

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



LAVALEF

Département de Génie Chimique

Laboratoire de Valorisation des Energies Fossiles

Mémoire de Master en Génie Chimique

**Utilisation de l'éthanol comme carburant et comme substituant au
MTBE**

Melle Djahida BOUDJENAH

Sous la direction de M. C.E CHITOUR Professeur

Présentée et soutenu publiquement le (19/06/2017)

Composition du jury :

| | | | |
|------------|--------------------|-------------|-----------|
| Président | M.T.AHMED-ZAID, | Professeur, | ENP |
| Promoteur | M. C.E CHITOUR, | Professeur | ENP |
| Examineurs | M. E-H BENYOUSSEF, | Professeur, | ENP |
| | Mme. F.KIES, | MCA, | ENP |
| Invité | M.C. AMEUR, | DRD, | SONATRACH |

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



LAVALEF

Département de Génie Chimique

Laboratoire de Valorisation des Energies Fossiles

Mémoire de Master en Génie Chimique

**Utilisation de l'éthanol comme carburant et comme substituant au
MTBE**

Melle Djahida BOUDJENAH

Sous la direction de M. C.E CHITOUR Professeur

Présentée et soutenue publiquement le (19/06/2017)

Composition du jury :

| | | | |
|------------|--------------------|-------------|-----------|
| Président | M.T.AHMED-ZAID, | Professeur, | ENP |
| Promoteur | M. C.E CHITOUR, | Professeur | ENP |
| Examineurs | M. E-H BENYOUSSEF, | Professeur, | ENP |
| | Mme. F.KIES, | MCA, | ENP |
| Invité | M.C. AMEUR, | DRD, | SONATRACH |



Dédicace

*A celle qui m'a élevé avec tendresse, encouragé tout le long de mon cursus, et à qui je dois toute la reconnaissance pour son sacrifice, soutien, présence, et aide ...**Ma chère mère.***

*A celui qui m'a offert une éducation digne de confiance, un savoir vivre, des conseils de valeurs**Mon cher père.***

*A ma petite, ma sœur, ma nièce **Fatima** –Que son âme repose en paix– que j'aime tant, tu n'es plus là. J'espère que tu es fier de moi de là ou tu es.*

*A ce qui m'a aidé à réaliser ce projet et qui a toujours été là pour moi ... **Mon cher marié Hicham.***

*A mes chères sœurs, **Hasnia, Wiam, Mouna, Amina** pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,*

A mes chers frères, ... pour leur appui et leur encouragement,

*A toute ma grande famille, mes oncles et mes tantes, mes cousins et cousines spécialement **Khaira et Noura.***

Merci d'être toujours là pour moi.

*Au meilleur binôme et mon amies que j'ai jamais eu **Assouma.***

*A mon amie d'enfance, **Amel.***

*A tous mes sœurs amies, **Ranouch, Safo, Imène, Salma, Loubna, Houda, Daloula, Asma, Hannonna, Houria, Zaho, Nadjjet, Miri...** qui ont été là pour moi dans le bien et dans le mal.e*

A toute ma promotion d'ingénieurs en Génie chimique 2014/2017.

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.... A tous mes professeurs depuis le primaire, particulièrement mon enseignant **Hakim** et ma prof de science Islamique **Nigazieu** .*

A tous ceux qui m'aiment

Djahida

Remerciement

*Au terme de ce mémoire, je tiens à remercier **Dieu** le tout puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience pour achever ce travail.*

*J'ai l'honneur et le plaisir de présenter ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à monsieur le professeur **Chems eddine CHITOUR**, pour sa précieuse aide, ces orientations et le temps qu'il m'a accordé pour mon encadrement.*

Mes remerciements les plus sincères et les plus profonds sont adressés à messieurs :

*Professeur **T.AHMED-ZAID** pour l'honneur qu'il me fait en présidant ce jury.*

*Professeur **El-Hadi .BENYOUSSEF** et Docteur **Fairouz KIES** qui ont bien voulu accepté d'évaluer mon travail.*

*Monsieur **Chafik. AMEUR** DRD de l'entreprise SONATRACH qui a bien voulu assister à la soutenance.*

Un très grand merci, à mes enseignants, qui ont contribué à ma formation durant mes études à l'Ecole Nationale Polytechnique, et spécialement mes maitres du département génie chimique.

Mes sincères remerciements s'adressent à toutes celles et ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

ملخص

الطلب المتزايد أكثر فأكثر للمنتجات النفطية المستخدمة في المقام الأول في قطاع النقل في الجزائر، والتأثير المتزايد على البيئة يؤدي بنا لطرح السؤال. كيف سيكون مستقبل الطاقة في البلاد مع أسطول من السيارات التي لا تزال تنمو وتخفيض صفقات الوقود على نحو متزايد بسبب احتياطات التراجع؟ الجزائر تستورد بالفعل ما يقرب من 20٪ من وقودها لأن طاقة التكرير غير كافية وعلاوة على ذلك الأنواع أصبحت أكثر وأكثر كفاءة، فمن الضروري إضافة التكميلات ليحل محل رابع إيثيل الخطير.

في هذه الدراسة، من أجل تحسين كمية ونوعية الوقود، نقترح استخدام الإيثانول كوقود متجدد (التحلل النفايات من التمور وتفل الزيتون) وكمادة مضافة المستبدلة لرابع إيثيل الرصاص أو ثلاثي الميثيل البيثيل الأثير المستورد. هذا لتجنب الموارد المالية، وزيادة هذا تطوير الأوكتان. والهدف هو أيضا حماية البيئة باعتبارها ناقل الطاقة مع خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

الكلمات الدالة : اوكتان، الإيثانول، الاشتعال الذاتي، وقود.

Abstract

The increasing demand for petroleum products used mainly in the transport sector in Algeria and its growing impact on the environment lead us to ask ourselves how to comment on the energy future of the country with a car park that keeps growing And Increasingly reduced fuel offers due to declining reserves? Algeria already imports nearly 20% of its fuels due to the fact that its refining capacity is insufficient. In addition, with the use of gasoline, it is necessary to add additives to replace hazardous tetraethyl lead.

In this study, in order to improve the quantitative and qualitative aspect of fuels, we propose the use of ethanol as a fuel of renewable origin (decomposition of the waste of dates and olive pomace) and as additive and substituting of Pb (C₂H₅)₄ or the imported methyl tertiary butyl ether (MTBE). This in order to save financial resources, increasing by this octane addition. The aim is also to protect the environment as an energy carrier with low CO₂ emissions.

Keyword: octane, ethanol, auto-ignition, fuel

Résumé

La demande de plus en plus importante en produits pétroliers utilisés essentiellement dans le secteur transport en Algérie, et son impact grandissant sur l'environnement nous amènent à nous demander comment sera l'avenir énergétique du pays avec un parc de voitures qui ne cesse de grandir et des offres de carburant de plus en plus réduite du fait du déclin des réserves ? L'Algérie importe déjà près de 20 % de ses carburants du fait aussi que sa capacité de raffinage est insuffisante De plus les essences devenant de plus en plus performantes, il est nécessaire d'ajouter des additifs pour remplacer le plomb tétra éthyle dangereux

Dans cette étude, dans le but d'améliorer l'aspect quantitatif et qualitatif des carburants nous proposons d'examiner l'utilisation de l'éthanol comme carburant d'origine renouvelable (décomposition des déchets de dattes et de grignons d'olive) et comme additif et substituant au soit au Pb (C₂H₅)₄ ou au méthyl tertio buthyl ether (MTBE) importé. Ceci dans le but

d'épargner des ressources financières, en augmentant par cet ajout l'indice d'octane. Le but sera aussi de protéger l'environnement comme vecteur énergétique à faible émission de CO₂.

Mot clé : indice d'octane, éthanol, auto-inflammation, carburant.

Sommaire

Abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Introduction Générale..... | 11 |
| Chapitre 1 | 12 |
| Présentation du raffinage du pétrole en Algérie..... | 12 |
| 1.1-Introduction..... | 13 |
| 1.2-Le raffinage du pétrole en Algérie | 13 |
| 1.3-Présentation de la raffinerie d'Alger | 14 |
| 1.3.1- Historique..... | 14 |
| 1.3.2- Les différentes unités | 14 |
| Chapitre 2 | 16 |
| Généralités sur les combustibles automobiles..... | 16 |
| 2.1- Définition d'un carburant..... | 17 |
| 2.2- Critères de performance | 17 |
| 2.3- Classification des carburants..... | 17 |
| 2.4- Etude des carburants issus du pétrole | 18 |
| 2.4.1- Les essences | 18 |
| 2.4.2- Densité | 18 |
| 2.4.3- Volatilité | 19 |
| 2.4.3.1- Distillation ASTM | 19 |
| 2.4.3.2- La tension de vapeur | 19 |
| 2.4.4- Le PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur)..... | 20 |
| 2.4.5- Indice d'octane..... | 20 |
| 2.4.5.1- Le phénomène de cliquetis..... | 21 |
| 2.4.5.2- Effets | 21 |
| 2.4.5.3- Le moteur CFR | 22 |
| 2.5- Etude sur les biocarburants | 22 |
| 2.5.1- Définition | 23 |
| 2.5.2- Filières de production | 23 |
| 2.5.3- Les atouts des biocarburants | 24 |
| 2.5.4- la production de bioéthanol à partir de dattes en Algérie | 24 |

| | |
|--|----|
| 2.6- l'amélioration de l'indice d'octane | 25 |
| 2.6.1- Reforming catalytique..... | 25 |
| 2.6.2- les additifs oxygénés au carburant | 26 |
| 2.6.2.1- Les alcools | 26 |
| 2.6.2.1.1- Propriétés physico-chimiques de l'éthanol | 26 |
| 2.6.2.1.2- Mode de production de l'éthanol | 27 |
| 2.6.2.1.3- Prix de l'éthanol..... | 30 |
| 2.6.2.1.4- Utilisation d'éthanol..... | 31 |
| 2.6.2.1.5- Le mélange carburant - éthanol..... | 31 |
| 2.6.2.1.6-Utilisation de mélange riche en éthanol..... | 32 |
| 2.6.2.1.7- Avantages..... | 32 |
| 2.6.2.1.8-Inconvénients | 32 |
| 2.6.2- Le MTBE | 33 |
| 2.6.2.1- Définition | 33 |
| 2.6.2.2- Production | 33 |
| 2.6.2.3- Les avantages et les inconvénients | 33 |
| 2.6.2.4- la réalisation d'une unité de production de MTBE en Algérie | 33 |
| Chapitre3 | 35 |
| La partie expérimentale | 35 |
| 3.1. Objectif..... | 36 |
| 3.2. La mise en œuvre de manipulation | 36 |
| 3.3. Les manipulations effectuées | 37 |
| 3.3.1. Densité..... | 37 |
| 3.3.2. Distillation ASTM..... | 39 |
| 3.3.3. La tension de vapeur | 43 |
| 3.3.4. L'indice d'octane..... | 46 |
| 3.4. Conclusion..... | 48 |
| Conclusion générale | 49 |
| Bibliographie..... | 51 |

Abréviations

MTBE: Méthyl Tert Butyl Ether

ASTM: American System for Testing Materials

HMD : Hassi Messaoud

Sr : Straigh run

TVR : Tension de Vapeur Reid

AFNOR : Association Française de Normalisation

PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur

CFR : Cooperative Fuel Research

ISO: Internationel Standard Organisation

GES : Gaz a Effet de Serre

CDER : Centre de Developpement des Energies Renouvelables

ETBE: Éthyl Tertio Butyl Éther

NO: Nombre d'Octane

Tmav: Temperature mean average

RNO : indice d'octane recherché

MNO : indice d'octane moteur

FFV : Flexi Fuel Vehicle

RVP : Reid Vapeur Pression

d : densité

E : erreur relative

V : volume

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 2.1 : Schéma d'un moteur CFR | 22 |
| Figure 2.2 : Schéma explicatif des modes de production de l'éthanol..... | 24 |
| Figure 2.3 : Procédés de fabrication de l'éthanol de première génération..... | 28 |
| Figure 2.4 : Procédé de fabrication de l'éthanol de deuxième génération..... | 29 |
| Figure 3.1 : schéma d'un aéromètre | 38 |
| Figure 3.2 : Variation de la densité en fonction du pourcentage d'éthanol..... | 39 |
| Figure 3.3 : l'appareil de la distillation ASTM | 40 |
| Figure 3.4 : Courbe de distillation ASTM du mélange essence Sr + méthanol | 41 |
| Figure 3.5 : Courbe de distillation ASTM du mélange plat format + méthanol | 42 |
| Figure 3.6 : Appareil qui mesure la tension de vapeur Reid | 43 |
| Figure 3.7 : Variation de la tension de vapeur Reid du mélange « essence Sr + éthanol » en fonction de volume distillat..... | 44 |
| Figure 3.8 : Variation de la tension de vapeur Reid du mélange « plat format+ éthanol » en fonction de volume distillat..... | 45 |
| Figure 3.9 : représentation des NO du mélange « essence Sr+ éthanol » en fonction d'addition d'éthanol..... | 46 |
| Figure 3.10 : représentation des NO du mélange « plat format+ éthanol » en fonction d'addition d'éthanol. | 47 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1.1 : les cinq raffineries en Algérie | 13 |
| Tableau 2.1 : Valeurs de quelques PCI de la littérature | 20 |
| Tableau 3.1 : Caractéristiques des produits utilisés | 36 |
| Tableau 3.2 : proportions en pourcentage et en volume des produits dans les mélanges | 37 |
| Tableau 3.3 : la variation de la densité mesurée et calculée du mélange « essence Sr/éthanol » | 38 |
| Tableau 3.4: la variation de la densité du mélange « plat format/ éthanol »..... | 38 |
| Tableau 2.2 : Caractéristiques de l'éthanol. | 27 |
| Tableau 3.5 : Distillation ASTM de mélange essence Sr et éthanol | 40 |
| Tableau 3.6 : volume distillé de mélange essence Sr et éthanol | 41 |
| Tableau 3.7: Distillation ASTM de mélange plat format et éthanol | 41 |
| Tableau 3.8: volume distillé de mélange plat format et éthanol | 42 |
| Tableau 3.9: Variation de la tension de vapeur Reid du mélange « essence Sr + éthanol » | 44 |
| Tableau 3.10 : Variation de la tension de vapeur Reid du mélange « plat format+ éthanol » . | 44 |
| Tableau 3.11 : variation de NO de l'essence Sr | 46 |
| Tableau 3.12 : variation de NO de plat format..... | 47 |

Introduction Générale

Le secteur de transport en Algérie est considéré comme l'un des secteurs les plus énergivores avec 41% de la consommation d'énergie finale du pays. La demande en produits pétroliers utilisés dans le secteur de transport ne cesse d'augmenter d'une manière appréciable ce qui a engendré un déficit de carburants dans ces dernières années, Cela devient inquiétant, et sa nuisance grandissante à l'environnement rend nécessaire de reconsidérer nos ressources en faisant appel à des technologies propres et moins énergivores en carburants pétroliers. Pour répondre aux ces contraintes en termes de disponibilité des ressources énergétiques d'origine fossile et pour contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, de multiples solutions sont envisagées : une de ces solutions passe par les biocarburants qui peuvent être produits et ajoutés dans une proportion compatible avec la combustion dans le moteur

L'éthanol est un carburant d'origine végétale, L'idée de l'utiliser comme carburant a été conçue par Henry Ford, quand il développait sa première automobile. Aux États-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. Deux pays leaders dans la production de carburants mixtes, d'abord Cuba qui utilise les déchets de la canne à sucre pour produire l'éthanol et surtout le Brésil qui arrive à incorporer l'éthanol dans une proportion pouvant aller jusqu'à atteindre 100 %, De plus, la baisse de prix du maïs au cours des années 80 a contribué au développement de la production d'éthanol à base de maïs. Les groupes agricoles et autres groupes d'intérêt aux États-Unis et en Europe ont annoncé l'éthanol comme une alternative sûre, En 2003, la Californie a été le premier État des États Unis à commencer à remplacer le MTBE par de l'éthanol. Plusieurs autres États ont commencé à changer peu après. L'objectif de ce projet était d'utiliser l'éthanol comme carburant et comme substituant au MTBE.

La présentation du travail est constituée de deux parties théorique et expérimentale. La partie théorique de ce travail renferme deux chapitres : Le premier chapitre comporte une généralité sur le raffinage en Algérie et une brève présentation de la raffinerie d'Alger. Le deuxième chapitre résume des généralités sur les combustibles automobiles et les additifs ajoutant aux carburants. La partie expérimentale consiste à mesurer les spécifications les plus importantes d'un carburant, qui sont : la densité, la tension de vapeur, la distillation ASTM et l'indice d'octane des mélanges éthanol-carburant avec les différents pourcentages. Puis sur la base de l'interprétation des résultats obtenus, et de l'observation des variations des propriétés sur ces spécifications après l'ajout d'éthanol.

Nous concluons par une conclusion générale où nous ferons des recommandations

Chapitre 1

Présentation du raffinage du pétrole en Algérie

Chapitre 1

Présentation du raffinage du pétrole en Algérie

1.1-Introduction

Le raffinage du pétrole est une industrie lourde qui transforme par des opérations physiques de séparation le pétrole brut, en coupes pétrolières qui deviendront des produits énergétiques et non énergétiques après avoir subi des opérations de transformation moléculaire et des ajouts d'additifs qui leur permettent d'avoir les caractéristiques des produits finis commercialisables et répondant aux normes internationales en vue de leur utilisation . Cette transformation s'effectue dans les raffineries qui sont des usines à feux continus, automatisées et très complexes qui se diversifient selon la gamme des produits fabriqués et la qualité des pétroles bruts comparée aux exigences du marché.

1.2-Le raffinage du pétrole en Algérie

En Algérie, l'industrie de raffinage est née avec la découverte et la production du pétrole brut de Hassi Messaoud. La première unité fut construite sur les lieux même de la découverte qui a été orientée vers la satisfaction des besoins excessifs des sociétés opérantes dans le cadre de la recherche et l'exploitation de pétrole brut.

Aussitôt l'indépendance acquise, l'Algérie s'est attachée à l'idée d'accéder au développement économique en avantageant la mise en place d'une industrie pétrolière par la transformation systématique de ses hydrocarbures.

C'est ainsi que vont être réalisées diverses unités industrielles et des expansions de celles déjà en place en vue d'accroître les capacités de première transformation.

Dans le domaine de raffinage, l'Algérie possède cinq raffineries d'une totale capacité de production de 21.7106 t/an, à l'origine, ces raffineries étaient une partie intégrante dans SONATRACH. [1]

Tableau 1.1 : les cinq raffineries en Algérie [1]

| Raffinerie | Capacité totale (millions de tonne/an) | Capacité (barils /jr) |
|-------------------|--|-----------------------|
| Raffinerie Skikda | 15 | 321 000 |
| Raffinerie Alger | 2.7 | 59 000 |
| Raffinerie Arzew | 3.5 | 54 000 |
| Raffinerie HMD | 0.12 | 27 000 |
| Raffinerie Adrar | 0.6 | 12 500 |

Ces raffineries ont été réalisées avant 1980, et la consommation de carburants étant faibles, l'Algérie exportait une grande partie des carburants. Ce n'est plus le cas actuellement, au vue de l'évolution du parc de voitures, d'une politique des prix inadéquates, de l'hémorragie aux frontières, l'Algérie importe pour près de 3 milliards de dollars de carburants à près d'un dollar le litre, elle le commercialise à 0,28 dollars !

1.3-Présentation de la raffinerie d'Alger

1.3.1- Historique

La raffinerie d'Alger est une unité de traitement et de raffinage du pétrole brut ; elle a été construite en 1960 par la société Foster Wheeler .Le démarrage de cette dernière a eu lieu le 1964, et le complexe a coûté 27 milliards de centimes.

La raffinerie est située à 5km au sud de la ville d'El-Harrach et à 20 km de la capitale Alger au lieu dit: Sidi Arzine, et elle occupe une superficie de 182 hectares. Elle a pour but de traiter le brut de Hassi Messaoud ainsi que les condensats de Hassi R'mel, et cela afin de satisfaire la consommation croissante en carburant du marché national.

Depuis le 10 janvier 1964 jusqu'à 1971, la raffinerie était alimentée par tankers du port pétrolier de Bejaïa et le port pétrolier d'Alger et ensuite par pipe de diamètre égale à 26 m jusqu'au parc de stockage. A partir de 1979, un piquage de Beni-Mansour à partir du pipe de diamètre à 24m reliant HMD/Bejaïa a été opéré, un oléoduc de diamètre à 16m d'une longueur de 131 Km jusqu'à la raffinerie, avec un débit horaire de 500m³ permet l'alimentation direct de la raffinerie. [1]

1.3.2- Les différentes unités

La raffinerie comporte deux unités principales : une unité de production et une unité d'installations générales :

Unité de production

Elle comporte essentiellement les unités suivantes :

- Unité de distillation atmosphérique (unité100), d'une capacité de 2,7 millions de tonnes par an qui est destinée à séparer les différents produits pétroliers (propane et butane, essence Sr, solvant lourd et léger, kérosène, gas-oil lourd et léger).
- Unité de reforming catalytique (unité200), qui permet d'améliorer l'indice d'octane du solvant total. Le produit obtenu appelé plat-format a un indice d'octane assez élevé et la capacité de production est de 2500m³/jour.
- Unité de gaz-plant (unité300): elle a pour objectif de séparer le mélange de gaz (L.P.G) en produits liquides finis qui sont le propane et le butane.
- Pomperie d'expédition pour le transfert des produits finis.
- Unité de mélange (éthylation) : elle a pour rôle l'obtention de deux essences ayant un indice d'octane de 90 pour le normal et de 96 pour le super. [1]

Unité d'installation générale

Elles sont constituées de :

- Une centrale thermoélectrique pour produire de l'électricité, de la vapeur à basse et haute pression, et de l'air ;
- Une station de traitement des eaux ;
- Des ateliers d'entretien ;

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

- Un laboratoire de contrôle des produits ;
- Un parc de stockage du pétrole brut et des produits finis réparti comme suit pétrole brut : 105000 m³, produits finis et semis finis : 185000 m³.
- Une rampe d'alimentation en Propane /Butane des centres de Tizi-Ouzou, Ain Oussera et Chlef.

Chapitre 2

Généralités sur les combustibles automobiles

Chapitre 2

Généralités sur les combustibles automobiles

Pour fonctionner le moteur thermique a besoin d'un carburant, donc la combustion avec l'air ambiant lui permettra de transformer l'énergie thermique y résultant en énergie mécanique nécessaire au déplacement du véhicule. Les carburants les plus utilisés sont ceux dérivés du pétrole brut. Le Monde consomme environ 2,7 milliards de tonnes d'essence pour un parc dépassant 1 milliard de véhicules.

Cependant, le constat de la raréfaction des énergies fossiles est réel et des alternatives permettent de préparer l'avenir tout en minimisant les effets sur la planète. Donc, il est important de signaler le net essor, bien que marginal dans le bilan mondial des essences, des nouvelles sources d'énergie en générale et des biocarburants en particulier. Ceci sans oublier de signaler l'avènement de la révolution de la locomotion électrique avec une électricité renouvelable qui augmente d'une façon spectaculaire après un démarrage, il y a peine quelques années, en 2016, 2 millions de voitures électriques sur une production actuelle de l'ordre de 75 millions de voitures; il est prévu d'après le site spécialisé *Blomberg*, près de 30 millions en 2020 et surtout de par l'augmentation spectaculaire, près de 400 millions de véhicules électriques en 2035 qui représenteront près d'un tiers du milliard de voitures prévu en 2035 !. L'Algérie devra de ce fait rentrer dans cette nouvelle dynamique et épargner ce qui reste de pétrole pour les générations futures.

2.1- Définition d'un carburant

Un carburant est une substance dont la combustion fournit l'énergie nécessaire au fonctionnement des moteurs thermiques (moteur à allumage commandé, moteur diesel, moteur d'avion). [2]

2.2- Critères de performance

- La volatilité ;
- Caractéristiques antidétonantes et autoallumage;
- La chaleur de combustion par unité de masse et de volume ;
- Température d'évaporation ;
- Stabilité chimique, neutralité et pureté ;
- La sécurité ;
- Le coût et l'accessibilité.
- Un autre critère est aujourd'hui d'actualité c'est la propreté du point de vue environnemental.

2.3- Classification des carburants

Il existe deux grandes familles de carburant:

- Les carburants d'origine fossile qui sont des distillats du pétrole brut (essence, gazole, kérosène) ;

- Les biocarburants ou carburants d'origine végétale (biodiesel, bioéthanol).

2.4- Etude des carburants issus du pétrole

2.4.1- Les essences

L'essence est un composé d'hydrocarbures issu de la distillation fractionnée du pétrole brut. Elle désigne l'ensemble des carburants utilisables dans les moteurs à allumage commandé. Puisque l'essence est un mélange d'hydrocarbures auxquels sont parfois ajoutés d'autres produits combustibles adjuvants. On y trouve en moyenne :

- 20 à 30 % d'alcane, hydrocarbures saturés ;
- 5 % de cycloalcanes, hydrocarbures saturés cycliques ;
- 30 à 45 % d'alcènes, hydrocarbures non saturés ;
- 30 à 45 % d'hydrocarbures aromatiques de la famille du benzène ;
- Du plomb ou du potassium.

L'essence est classée selon leur nombre d'octane super ou normal, elle peut aussi être classée sur la base de présence ou non de plomb on retrouve par exemple en Algérie le super sans-plomb 95, le super 96 (plombé) et le normal 90 (plombé).

L'essence s'évapore entre la température ambiante et 200 ou 215°C sous pression atmosphérique. Sa densité (liquide) est d'environ 0,775 soit bien inférieure à celle de l'eau (1,000). La vapeur d'essence est trois fois plus lourde que l'air. [3]

➤ **Les caractéristiques des essences**

Les propriétés physiques du carburant exercent une influence primordiale sur l'alimentation et la combustion, notamment dans toutes les conditions d'utilisation les plus difficiles (démarrage, mise en action, fonctionnement par temps très froid ou très chaud). Les caractéristiques les plus significatives sont la densité et la volatilité.

➤ **Le reformat (plat format)**

Il issu de l'unité de reforming qui est un procédé de transformation moléculaire visant à favoriser la formation d'iso-paraffine et d'aromatiques à indice d'octane. On utilise généralement des catalyseurs à base d'un métal noble (le platine qui favorise la fonction hydrogénante/déshydrogénante) déposé sur un support de silice alumine (pour la fonction acide). Les catalyseurs actuels sont bi métalliques. C'est le cas de celui de la raffinerie d'Alger qui a été longtemps monométallique.

2.4.2- Densité

La densité est un essai normalisé qui correspond à une spécification qui obier à un protocole, c'est le rapport de la masse volumique d'un corps à une température donnée au masse volumique d'eau à une température standard. La densité des produits pétroliers liquide est généralement mesurée à 20°C, elle est donnée par l'expression suivante :

$d_4^{20} = (\text{poids d'un volume de produit à } 20^\circ\text{C}) / (\text{poids du même volume d'eau à } 4^\circ\text{C})$

La mesure de la densité au moyen d'un hydromètre implique la lecture simultanée de la température de l'échantillon. La valeur trouvée est ensuite corrigée par des tables, des formules ou des abaques, pour obtenir la valeur de la densité d_4^{20} ou celle de la sp.gr. La douane admet la formule de correction suivante :

$d^{20} = d^t \pm k(t-20)$ où **k** est un coefficient dépendant de la densité du produit.

La mesure de la densité peut être réalisée à l'aide des pycnomètres (méthode du flacon) ou encore la balance de précision équipée d'un plongeur selon les produits.

2.4.3- Volatilité

En accord avec les spécifications édictées sous forme de normes, il est important de connaître l'importance de la volatilité dans le mélange air – carburant. La volatilité est la capacité qu'a un produit liquide à passer sous forme de vapeur. Un suivi strict de la volatilité de l'essence est essentiel pour garantir un bon fonctionnement du moteur dans toutes les conditions. La volatilité est trop faible, le moteur démarre difficilement par temps froid. Si elle est trop élevée, le moteur peut caler ou présenter des difficultés de redémarrage par temps chaud. [2]

2.4.3.1- Distillation ASTM

La méthode de distillation ASTM permet de donner une indication des performances d'un carburant et de déterminer des caractéristiques de distillation pour des essences, kérosènes, naphthas, gasoil et autres produits pétroliers sous pression atmosphérique, ASTM sont les premières lettres de nom de la norme ASTM « American System for Testing Materials ». La distillation ASTM d'une fraction pétrolière consiste à la chauffer dans un ballon à une vitesse bien déterminée, les vapeurs formées sont condensées dans un tube passant dans un condenseur à eau puis recueillies dans une éprouvette graduée.

L'opérateur note la température d'apparition de la première goutte de condensat à la sortie de tube c'est le **point initial** de la distillation ensuite la température est élevée régulièrement lorsque 10,20,...90ml du produit sont distillés. La température de la dernière goutte distillée caractérise le **point final**. La courbe de la température en fonction du pourcentage distillé est appelé « courbe de distillation ASTM ».

2.4.3.2- La tension de vapeur

La tension de vapeur a une température donnée mesure la tendance des molécules à s'échapper d'une phase liquide à une température donnée, pour engendrer un équilibre thermodynamique, elle est directement liée à sa composition et elle est d'autant plus élevée que le produit contient des composés volatils. Limiter la tension de vapeur d'un produit revient donc à limiter la quantité de produits légers qu'il peut contenir.

➤ La tension de vapeur « REID »

La tension de vapeur Reid (TVR) est la pression développée par les vapeurs d'un produit pétrolier contenu dans une bombe normalisée à la température de 37,8°C. Cet essai s'applique

surtout à carburantes autos. Dans le cas de l'essence commerciale c'est le contrôle de la quantité de butanes dans le carburant qui permet d'ajuster la TVR à la valeur désirée.

La tension de vapeur est exprimée en différentes unités : mmHg, atm pascal, psi (pound square inch : psia), bar... Un carburant répondant aux normes de commercialisation doit avoir une TVR de 10 psia soit 0,700 kg/cm²

La tension de vapeur fait l'objet de la norme ASTM et de la norme AFNOR. Il existe aussi les normes ISO.

2.4.4- Le PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur)

Le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) est une caractéristique importante dans l'étude des carburants car il détermine la puissance du moteur. Le PCI d'une essence est la quantité de chaleur libérée à pression et température données, l'eau restant à l'état vapeur car elle est dégagée avec le CO₂. Le tableau suivant donne quelques valeurs de PCI.

Tableau 2.1 : Valeurs de quelques PCI de la littérature [4]

| Carburants additifs | et | Essence Super | Méthanol | Ethanol | MTBE |
|------------------------|----|------------------|----------|---------|--------|
| PCI (KJ/Kg) | | 32020 | 16000 | 23.000 | 26.200 |

Il vient que par ajout d'additif oxygéné, on améliore le NO, mais le pouvoir calorifique du mélange va diminuer

2.4.5- Indice d'octane

Quand un carburant est de mauvaise qualité il risque de s'enflammer spontanément lors de la compression dans le cylindre. Ce phénomène fatigue l'embellage et est source d'un bruit dit cliquetis .

Pour y remédier, depuis 1923, et afin d'alimenter des moteurs toujours plus puissants, les fabricants de carburant ont dû introduire dans l'essence des additifs chimiques antidétonants permettant son utilisation dans des moteurs à plus haut taux de compression, et donc potentiellement à plus haut rendement (l'additif le plus utilisé est un organométallique, le tétra éthyle de plomb). Il est maintenant interdit dans la législation environnementale des pays riches en raison de son caractère toxique et très polluant, mais il est encore très utilisé dans les pays en développement en y posant de graves problèmes de santé environnementale (par exemple au Venezuela, au Mexique , au Nigeria et au Congo environ 63 % des nouveau-nés et des moins de six ans y sont atteints de saturnisme (plombémie > 100 µg/L), contaminés in utero, par le plomb passé dans lait maternel ou issu de l'environnement).[5]

Le tétraéthylplomb est un liquide incolore, huileux, d'odeur caractéristique de formule brute Pb(C₂H₅)₄ et très toxique.il a été ajouté dans les essences pendant plus de 50 ans, parce qu'il constituait le moyen le plus souple et le plus économique d'atteindre des indices d'octane élevés. Le plomb tétra éthyle est obtenu par la réaction du chlorure d'éthyle et du plomb :



À température élevée, il se décompose en formant du $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_3\text{Pb}$ et des radicaux éthyles. Cette propriété a été mise à profit pour accroître l'indice d'octane des carburants.

2.4.5.1- Le phénomène de cliquetis

Le phénomène parasite est le cliquetis : il s'agit d'une auto-inflammation instantanée et en masse d'une partie de la charge non encore brûlée et portée à température et pression élevées par le mouvement du piston et par le dégagement d'énergie dû à la propagation du front de flamme. Il en résulte une augmentation locale de la pression suivie de vibrations de la masse gazeuse qui créent un bruit caractéristique évoquant un tintement métallique, d'où l'origine du terme : cliquetis. [6.7.8]

2.4.5.2- Effets

Les indices d'octane élevés sont corrélés à des énergies d'activation plus importantes (la quantité d'énergie appliquée nécessaire pour initier la combustion). Puisque les carburants à indice d'octane plus élevé ont des besoins énergétiques d'activation plus élevés, il est peu probable qu'une compression donnée provoque une inflammation incontrôlée, autrement connue comme auto-allumage ou détonation automatique.

Un carburant avec un indice d'octane plus élevé est moins sujet à l'auto-allumage et peut résister à une température plus élevée pendant la compression du moteur à combustion interne sans auto-inflammation. [5]

L'indice d'octane définit la capacité antidétonante d'un carburant. Ces détonations diminuent la puissance du moteur à allumage commandé à l'auto-allumage. C'est une échelle arbitraire définie à la fin des années trente par deux ingénieurs de la société CFR (Coopérative Fuel Research). L'indice d'octane du n heptane est noté zéro car c'est l'hydrocarbure qui donne le plus de détonation et l'iso octane (l'un des isomères) qui donne le cliquetis (détonation) le plus faible quand il est analysé dans le moteur CFR

On dit qu'un carburant a un indice d'octane de 95 par exemple, il est composé de 5 % de n-heptane qui favorise l'auto-inflammation du mélange (son indice est de 0 par définition), et de 95 % d'iso-octane qui au contraire retarde l'auto-inflammation du mélange (son indice est de 100 par définition).

L'indice d'octane mesure donc la proportion d'octane par rapport à l'heptane. Plus ce taux est élevé et meilleure sera la résistance à l'auto-inflammation et repoussera l'apparition de phénomène de cliquetis moteur (capacité antidétonante).

Dans le cas des hydrocarbures, l'indice d'octane augmente dans l'ordre suivant :

- Les paraffines à chaîne longue ;
- Les paraffines à chaîne courte ;
- Les oléfines ;
- Les naphènes ;
- Les isoparaffines (ex. iso-octane, indice d'octane = 100) ;

- Les hydrocarbures aromatiques (ex. benzène, toluène, indice d'octane = 100). [5].

2.4.5.3- Le moteur CFR

La mesure de l'indice d'octane s'effectue au moyen d'un moteur de laboratoire appelé CFR (Cooperative Fuel Research). Dans le schéma suivant nous présentons le moteur CFR



Figure 2.1 : Schéma d'un moteur CFR.

Le moteur CFR est monocylindre et présente une structure très robuste, afin de résister sans incident à un cliquetis prolongé, il fonctionne à pleine admission et à faible régime de rotation (600 ou 900 tr/min selon la méthode normalisée choisie). Le taux de compression variable peut être réglé en marche en déplaçant verticalement. [3]

- **Constitution d'un moteur CFR et méthode de mesure**

Les essais sur ce moteur obéissent à une norme d'analyse. Nous donnons quelques exemples sur la norme ISO : ISO 5163:2014, L'ISO 5163:2014 spécifie une méthode de cotation des carburants liquides pour moteurs à allumage commandé, exprimée sur une échelle arbitraire d'indice d'octane, en utilisant un moteur monocylindre à quatre temps, à taux de compression variable, à carburateur, le moteur CFR fonctionnant à vitesse constante.

2.5- Etude sur les biocarburants

Pour répondre aux différentes contraintes à la fois en terme de disponibilité des ressources énergétiques d'origine fossile, pour contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, mais aussi **pour remplacer qualitativement et quantitativement** des additifs permettant de booster l'indice d'octane, de multiples solutions sont envisagées : une de ces solutions passe donc par les biocarburants.

Le développement des filières biocarburants semble prometteur. Plusieurs pays tels que : le Brésil les USA, la France et la Suède s'y sont lancés avec beaucoup de succès, tout simplement en utilisant la « biomasse ». [9]

2.5.1- Définition

Le biocarburant est un carburant (biocombustible liquide ou gazeux) constitué de dérivés industriels tels que les gaz, alcools, éthers, huiles et esters obtenus après transformation de produits d'origine végétale ou animale. Les biocarburants sont assimilés à une source d'énergie renouvelable. Leur combustion ne produit que du CO₂ et de la vapeur d'eau et pas ou peu d'oxydes azotés et soufrés (NO_x, SO_x). [10,11]

Exemples

- **Bioéthanol** : éthanol produit à partir de la biomasse et/ou de la partie biodégradable des déchets et destiné à être utilisé comme biocarburant.
- **Biodiesel** : ester méthylique produit à partir d'huile végétale ou animale, de qualité diesel et destiné à être utilisé comme biocarburant.
- **Biométhanol** : méthanol produit à partir de biomasse (biogaz) et destiné à être utilisé comme biocarburant.
- **Bio-ETBE** : ET BE (Éthyl Tertio Butyl Éther) produit sur la base de l'éthanol, le pourcentage en volume de bio-ETBE considéré comme biocarburant est de 47 % (énergie à 47 % renouvelable).
- **Bio-MT BE** : MTBE (Méthyl Tertio Butyl Éther) produit sur la base de méthanol, le pourcentage en volume de bio-MTBE considéré comme biocarburant est de 36 % (énergie à 36 % renouvelable).

2.5.2- Filières de production

Actuellement deux filières principales pour la production des biocarburants :

- **La filière éthanol** qui comprend l'éthanol d'origine biomasse sachant qu'il peut être obtenu d'une façon chimique et l'ETBE (Éthyl Tertio Butyl Éther) pour les véhicules essence.
- **La filière des huiles végétales** avec l'EMHV (Esters Méthyliques d'Huiles Végétales) pour les véhicules diesel.

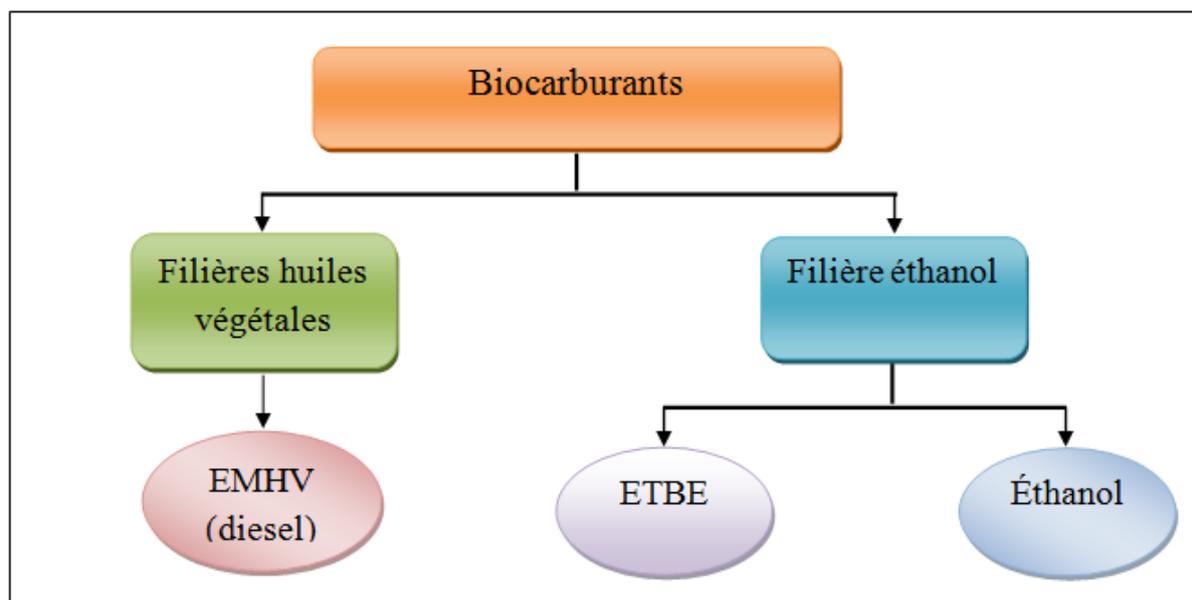


Figure2.2 : Schéma explicatif des modes de production de l'éthanol

2.5.3- Les atouts des biocarburants

L'atout majeur des biocarburants est la réduction considérable des émissions de gaz à effet de serre. L'utilisation de l'huile de colza ou de tournesol à la place du gazole permet une réduction de trois quarts des GES émis pendant l'ensemble du cycle de vie du carburant (de sa production à sa combustion, pour un même contenu énergétique). L'utilisation de biocarburants « purs » est donc très intéressante écologiquement.

Par opposition aux rejets massifs des énergies d'origines fossiles que rien ne compense et qui sont libérés lors de la combustion de l'essence ou du gazole, le CO₂ émis par les biocarburants durant leur combustion est compensé par le CO₂ absorbé par les plantes (colza, tournesol, betteraves, blé, maïs...) tout au long de leur culture. C'est cette compensation naturelle qui explique la réduction des émissions de gaz à effet de serre lors de l'utilisation de biocarburants. De plus, ces carburants verts ne dégagent ni particules, ni ozone, ni soufre durant leur combustion. [12]

2.5.4- la production de bioéthanol à partir de dattes en Algérie

L'Algérie produit 300.000 tonnes de dattes par an dont la moitié seulement est commercialisée, le reste servant d'aliment pour le bétail, Or, ce fruit contient 65% de sucre et nous comptons utiliser au départ les 150.000 tonnes de dattes communes impropres à la consommation pour fabriquer ce bioéthanol.

D'autre part, ce bioéthanol non polluant pourra s'intégrer dans le secteur des hydrocarbures dont les raffineries, qui pourront l'utiliser dans les carburants à la place du plomb ou du benzène qu'elles utilisent actuellement pour les oxygéner, sachant que 5% de bioéthanol par litre d'essence permet de réduire de 30% les émissions de monoxyde de carbone. [13]

Une tentative d'installation en 2011 par un entrepreneur algérien d'une unité de production du *nakhoil*, un bioéthanol non polluant et favorisant la sécurité alimentaire fabriquée à base

de dattes n'a pas abouti. Pourtant la société *Oasis Ltd*, a mis au point la fabrication de ce bioéthanol qui utilisera dans un premier temps le surplus de dattes produites en Algérie pour fabriquer *le nakhoil*.

Une étude réalisée au CDER sous la supervision du docteur Touzi a permis de préciser le protocole opératoire. Nous lisons ses principales conclusions : « La palmeraie algérienne, qui représente le pivot de l'écosystème oasien à travers l'importance de sa production, génère à chaque campagne des quantités importantes de déchets. En effet, selon les statistiques du Ministère de l'agriculture, la production nationale a atteint 387.313 tonnes en 1998 dont 30 à 50 % sont constitués de déchets et des dattes de faible valeur marchande, soit environ 120.000 tonnes qui pourraient être valorisés. Parmi les quelques substances à forte valeur ajoutée, susceptible d'être dégagées de cette valorisation, on peut citer l'alcool éthylique, substance énergétique stratégique et base de nombreuses industries. Dans cette optique, notre étude se propose de produire de l'alcool éthylique à partir des déchets de dattes riches en sucres fermentescibles (60 %). Le procédé utilisé consiste à une fermentation alcoolique classique (en anaérobiose) suivie d'une double distillation. Le dispositif expérimental semi-pilote étudié se compose principalement d'une cuve d'une capacité de 500 litres faisant office de fermenteur munie de tous les instruments de contrôle du déroulement de la fermentation et d'une deuxième cuve pour la distillation afin d'obtenir de l'alcool éthylique à 92°GL, pour 200 g de pulpes de datte et 800 ml d'eau, le degré alcoolique varié entre 18°, 19° et 22° » Touzi et al.

La production de l'éthanol à partir des déchets de dattes constitue une solution intéressante sur le plan économique, cet alcool peut remplacer le pétrole léger comme carburant ou au moins permettre le coupage de l'essence (5 à 10% d'éthanol). [14]

2.6- l'amélioration de l'indice d'octane

2.6.1- Reforming catalytique

Le reforming catalytique est l'un des premiers procédés à grande échelle utilisés dans l'industrie avec un catalyseur multifonctionnel. Il permet la transformation avec rendement relativement bon de n'importe quelle essence qu'elle soit lourde, moyenne ou légère en un carburant d'indice d'octane élevé.

À l'origine, le but du reforming catalytique était essentiellement la transformation de coupes pétrolières à faible indice d'octane, en des carburants à hauts indices d'octane. Cette amélioration résultant essentiellement d'une forte augmentation de la teneur en aromatiques, on envisagea l'utilisation du procédé pour la production de ceux-ci.

Cependant, à la fois pour des raisons économiques et techniques, cette distinction s'est estompée. En effet, les besoins en carburants à hautes performances ont crû plus vite que ceux de la chimie en benzène, toluène et xylènes.

2.6.2- les additifs oxygénés au carburant

Nous avons parlé des méfaits du plomb tétra éthyle. Dans cette partie nous allons discuter des produits oxygénés ; Les additifs sont des molécules actives qui améliorent les propriétés des carburants notamment le NO mais aussi la Tension de vapeur si leur point d'ébullition est inférieur à la T_{max} du carburant essence c'est à dire autour de 120°C pour l'essence. Ils augmentent aussi la densité. Ce qui veut dire que le pouvoir calorifique aussi.

Nous pouvons citer plusieurs familles d'hydrocarbures, Ce sont des « substances oxygénées », moins toxiques que les organométalliques à base de plomb ou de manganèse, et pour certaines pouvant être facilement produites à partir de filières agricoles (colza, betterave, canne à sucre, etc.) et être directement introduites comme agrocarburant Nous distinguerons les alcools et les éthers :

Parmi les alcools : Il y a le Méthanol (MeOH) ; l'Éthanol (EtOH) ; l'Isopropanol (IPA) ; le n-butanol (BuOH) ;

Parmi les Ethers : citons le Méthyl tert-butyl éther (MTBE) ; le Méthyl tert-amyl éther (en) (TAME) ; Le Méthyl tert-hexyl éther (THEME) ; l'Ethyl tert-butyl éther (ETBE) ; l'Ethyl tert-amyl éther (TAEE) ; le Di-isopropyl éther (en) (DIPE).

Chacun de ces additifs a ses avantages et ses inconvénients en termes d'apport de NO, de compatibilité avec l'essence de pouvoir calorifique et naturellement du prix.

2.6.2.1- Les alcools

Un alcool est un composé organique dans lequel un groupe hydroxyle -OH est fixé sur un atome de carbone tétragonal. La formule générale d'un alcool à chaîne saturée est donc $C_nH_{2n+1}OH$, souvent noté R-OH. Parmi les alcools on peut citer : le méthanol, l'éthanol, le propanol, le butanol...etc. Les alcools sont certes différents du point de vue structurel, mais tous sont liés par des propriétés spécifiques. Ces propriétés permettent aux alcools d'être utilisés dans bien de domaines. [1]

2.6.2.1.1- Propriétés physico-chimiques de l'éthanol

L'éthanol est utilisé dans l'industrie comme solvant ou désinfectant. Concentré et hydraté, l'éthanol devient le bioéthanol, biocarburant qu'on mélange à l'essence ou au diesel pour la consommation des moteurs. [9]

L'éthanol est un liquide volatil, incolore et qui a une odeur. Sa combustion est sans fumée et donne une flamme bleutée. Les propriétés physico-chimiques de l'éthanol proviennent principalement de la présence du groupement hydroxyle et de la courte chaîne carbonée. Le groupement hydroxyle peut former des liaisons hydrogène, rendant l'éthanol plus visqueux et moins volatil que des solvants organiques de masses moléculaires équivalentes. [15]

Tableau 2.2 : Caractéristiques de l'éthanol. [15]

| formule chimique | C ₂ H ₅ OH |
|--|----------------------------------|
| Rapport H/C | 3 |
| Masse molaire (g/mol) | 46.07 |
| Densité (Kg/m ³) | 794 |
| Chaleur latente de vaporisation (KJ/Kg) | 854 |
| Distillation (°C) | 78.4 |
| PCI (pouvoir calorifique intérieur) massique (KJ/Kg) | 26805 |
| NO | 116 |

Remarque : Le PCI est donnée à 26800 kJ /Kg d'autres références avancent 23.000 kJ/Kg

2.6.2.1.2- Mode de production de l'éthanol

Les procédés de fabrication de l'éthanol se divisent en deux groupes :

Le 1^{er} groupe : Les techniques de fermentation des hydrates de carbone, ces substances étant directement fermentescibles (matière sucrées), après saccharification (amidon, matières cellulosiques).

La production de l'éthanol de première génération

Elle est réalisée à partir de plantes sucrières (betterave, canne à sucre...) ou de plantes amylacées (pomme de terre, manioc...)

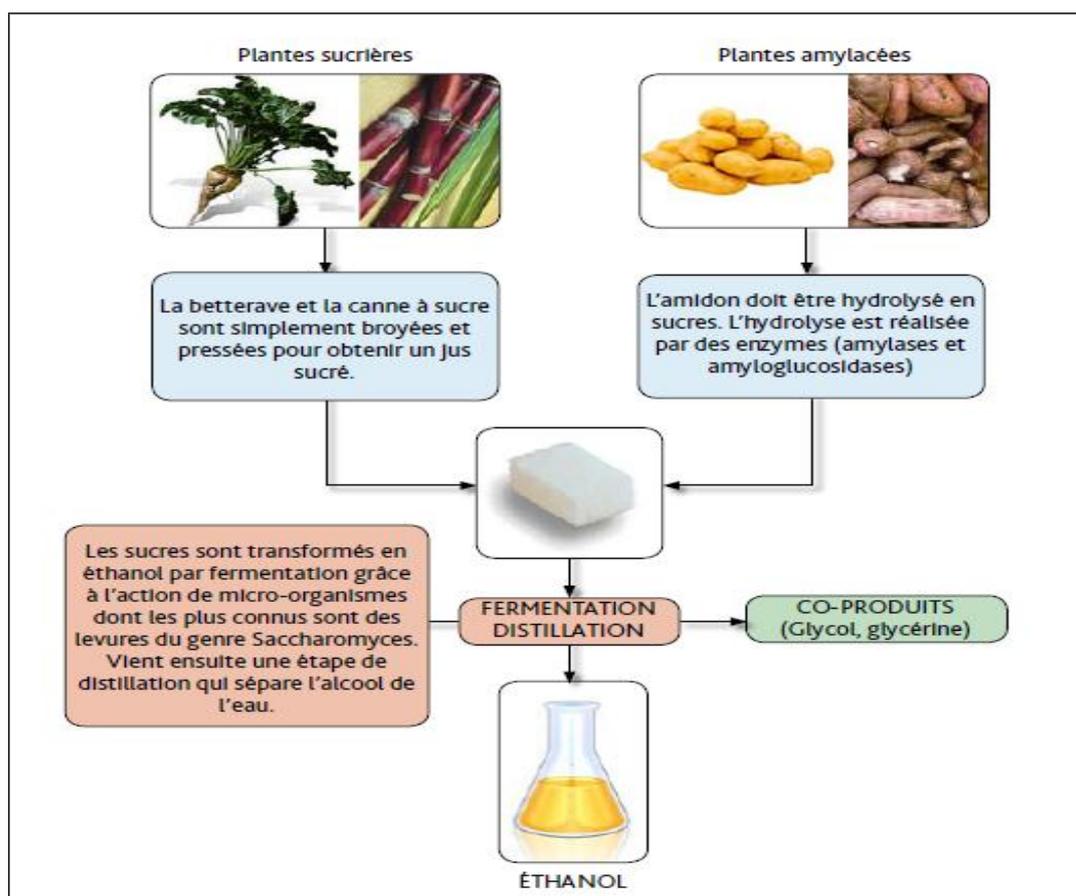


Figure 2.3 : Procédés de fabrication de l'éthanol de première génération. [11]

➤ Critiques :

L'éthanol issu du processus de production de première génération ne remplacera jamais les besoins pétroliers. En effet, les volumes potentiels de production et la concurrence directe de cette production avec les filières alimentaires restent problématiques.

Cependant, son utilisation à petite échelle en mélange à l'essence permet de réduire la teneur en carbone du carburant et permet ainsi de limiter les émissions de CO₂.

• La production de l'éthanol de deuxième génération

Elle est réalisée à partir de la biomasse cellulosique, s'effectue par voie biochimique.

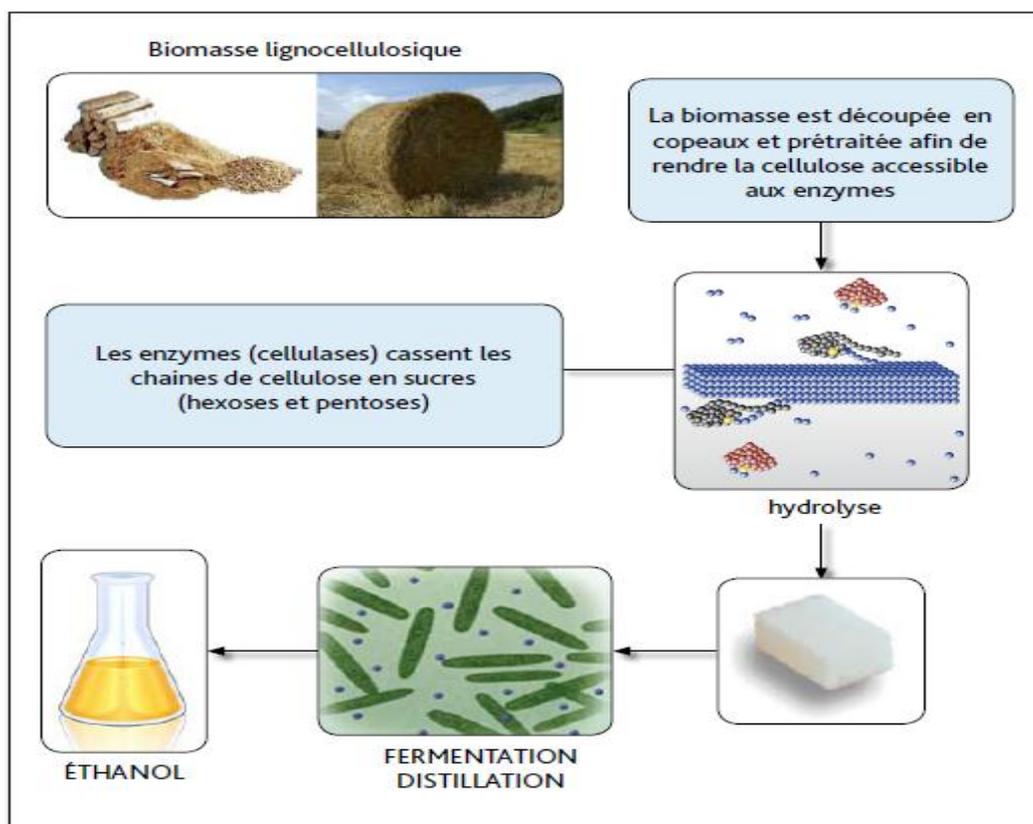


Figure 2.4 : Procédé de fabrication de l'éthanol de deuxième génération. [11]

➤ Critiques

La production de biocarburants de deuxième génération présente plusieurs avantages :

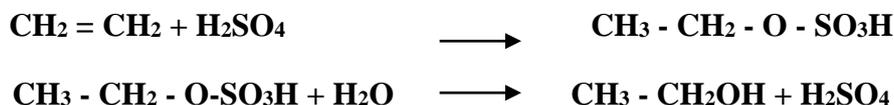
- des volumes de biocarburants produits plus importants,
- un coût des matières premières plus faible,
- l'absence de compétition avec les filières alimentaires, et l'absence de co-produits à valoriser (glycérine, glycol...).

En revanche, l'hydrolyse qui peut se réaliser de deux façons différentes (hydrolyse chimique ou hydrolyse enzymatique) reste une étape très coûteuse et relativement longue dans la production d'éthanol. Les études actuelles visent à améliorer la transformation des pentoses en éthanol en réalisant une étape unique associant l'hydrolyse à la fermentation.

Le 2^{ème} groupe : Les procédés de synthèse, dont la matière première industrielle est essentiellement l'éthylène et qui font appel à

➤ Estérifications de l'éthylène par l'acide sulfurique

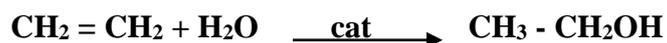
C'est un ancien procédé de production de l'éthanol qui consistait à une réaction d'estérification de l'éthylène (C₂H₄) par l'acide sulfurique (H₂SO₄) et une réaction d'hydrolyse. Ces réactions sont les suivantes :



Cette méthode a été abandonnée du fait de la corrosion des appareillages provoquée par l'acide sulfurique et aussi par la production non négligeable de diéthyl-éther comme sous produit.

➤ Méthode par hydratation de l'éthylène

Celui-ci consiste essentiellement à l'addition de l'eau sur l'éthylène en présence d'un catalyseur constitué d'acide ortho phosphorique, portée à la température comprise entre 270 et 280 °C sous une pression de l'ordre de 70 bar. L'éthylène utilisé ici provient généralement des gaz de craquages des produits pétroliers. L'équation théorique de production se résume en ces termes :



Cette réaction est très exothermique et s'effectue avec diminution de volume. La température élevée à laquelle on opère est nécessaire pour obtenir une vitesse d'hydratation suffisante. Le passage de l'éthanol hydraté à l'éthanol anhydre se fait par distillation azéotropique en présence de benzène. [16]

Ce procédé donne le meilleur rendement par rapport à tous les autres, mais il reste classé parmi ceux qui présentent le plus de risques pour l'environnement.

2.6.2.1.3- Prix de l'éthanol

Le prix de revient des biocarburants n'est pas fixe : il varie en fonction du cycle économique des matières premières agricoles, dont les cours peuvent augmenter ou diminuer fortement du fait de la croissance économique ou d'aléas climatiques défavorables... Au Canada le prix de l'essence est à 1,34 \$ le litre plus cher que l'éthanol Il y a 10 ans, dans ce pays l'éthanol comptait pour environ 1 % de l'offre de carburant. Actuellement il est à 10 %. Cela signifie que beaucoup moins de pétrole brut n'est utilisé cela a un grand effet sur le prix de l'essence Aux Etats Unis qui utilisent 14 milliards de gallons d'éthanol ont une incidence sur les prix à la pompe qui seraient bien plus élevés sans éthanol. Dans une étude de *Iowa State University* l'éthanol réduirait le prix de l'essence de jusqu'à 90 cents le gallon (23 cents le litre). Dans un mélange E10, avec 10 % d'éthanol, un gallon d'essence est 10 cents moins cher que s'il ne contenait pas d'éthanol.

En Europe, d'après les statistiques sur les prix de l'éthanol E85 au 19/07/2016, en France un litre d'éthanol coûte 0.8481 euro moins que le litre de carburant essence autour de 1,4 euros. [17], De même le Brésil est le seul pays où, compte tenu de coûts de production plus faibles, l'éthanol est compétitif par rapport à l'essence.

2.6.2.1.4- Utilisation d'éthanol

- **Carburant**

L'éthanol produit dans le monde est principalement utilisé comme carburant. La quantité d'éthanol peut varier de quelques pour cent dans l'essence en Europe de l'Ouest à 95 % vol dans l'essence au Brésil, où 90 % des nouveaux véhicules utilisent la technique **Flexi fuel** et peuvent rouler avec ce mélange. Plus de 66 % de l'éthanol utilisé comme carburant provient de la fermentation alcoolique.

Il vient que l'ajout d'éthanol serait aussi une source d'octane plutôt abordable. L'éthanol a un indice d'octane de 116 (120 selon d'autres sources), alors que l'indice de l'essence est faible, L'éthanol serait donc utilisé pour rehausser à la fois la qualité de l'essence par l'augmentation de l'indice d'octane, mais aussi les quantités de carburants de 10% en volume.

- **Matière première**

Il est notamment utilisé lors de la préparation des halogénures d'éthyle, des esters éthyliques, des amines éthyliques, de l'acide acétique, et dans une moindre mesure du butadiène.

- **Solvant**

L'éthanol est miscible avec l'eau, et est un bon solvant. On peut le trouver dans les peintures, les teintures industrielles, les vernis traditionnels...

2.6.2.1.5- Le mélange carburant - éthanol

- **Emission de polluant**

Le fait que l'éthanol contienne de l'oxygène constitue un facteur favorable pour la réduction des émissions de certains polluants (monoxyde de carbone, hydrocarbures imbrûlés, particules). Par ailleurs, ce produit diminue, dans la formulation des carburants, la teneur en constituants comme les aromatiques et les oléfines, générateurs de polluants [8, 18, 19].

- **Gain d'indice d'octane**

L'éthanol, ajouté à raison de 5 à 10% dans les essences, présentes des indices d'octane de mélange atteignant respectivement 120-125 pour le RON (*Research Octane Number* : moteur roulant à 600tr/mn en ville), 95 à 100 pour le MON (*Motor Octane Number* le moteur roulant à 900 tr minutes, sur autoroute) .

- **Volatilité**

L'introduction de l'éthanol dans l'essence entraîne un accroissement de la tension de vapeur (TVR). L'accroissement enregistré, pour des teneurs en éthanol égal ou supérieur à 3%, est de l'ordre de 60 à 80 mbar. On note qu'une essence à 5% d'éthanol devra contenir à volatilité égale, 1% de moins de coupes C4 qu'une essence classique. Cette contrainte tend à réduire le nombre d'octane puisque le butane présente une bonne résistance aux cliquetis. [18, 20, 21]

- **Pureté**

L'éthanol utilisé pur dans une base de motorisation essence adaptée à ce type de carburant offre des performances et des gains en émissions de polluants très intéressants.

Cependant, son utilisation « pur » pose des difficultés :

- problème lié aux capacités de production à grande échelle,
- problème de démarrage à froid des véhicules.

L'utilisation de l'éthanol pur est donc réservée aux pays chauds ayant des possibilités de production importantes (Brésil, États-Unis...).

2.6.2.1.6-Utilisation de mélange riche en éthanol

Les alcools sont principalement utilisés en mélange avec l'essence dans des véhicules appelés "fuel flexible" ou FFV. Ces véhicules peuvent fonctionner avec n'importe quel mélange alcool-essence. Les adaptations nécessaires des véhicules essence au FFV sont minimales.

La plupart des moteurs devraient être modifiés pour consommer de l'éthanol pur comme carburant. Mais, avec un taux de 10% d'éthanol, le moteur n'a besoin d'aucune modification et ce mélange contribue néanmoins à réduire les émissions.

L'éthanol est mélangé à l'essence dans des proportions qui varient selon les pays. En Europe, il y a aujourd'hui jusqu'à 5 % d'éthanol dans toutes les essences (passage à 7 % en 2010, puis à 10 % en 2015).

Au Brésil, la proportion d'éthanol dans l'essence varie de 24 à 100 %, la moitié des véhicules peuvent fonctionner avec de l'éthanol pur. Quant aux États-Unis, cette proportion est pour l'instant fixée à hauteur de 10 %.

2.6.2.1.7- Avantages

Les avantages de l'éthanol sur l'essence sont les suivants :

- une bonne aptitude au mélange avec l'essence,
- un très bon indice d'octane,
- un rapport H/C plus important (pour rappel, à iso-énergie, plus le rapport H/C est important, plus les émissions de CO₂ sont faibles),
- un impact moindre de la combustion sur l'environnement (réduction du CO₂ émis et des hydrocarbures consommés).

2.6.2.1.8-Inconvénients

Les principaux inconvénients de l'éthanol par rapport à l'essence ont trait :

- au PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur) : celui de l'éthanol est inférieur de 1/3 par rapport à celui de l'essence,
- à l'augmentation de la tension de vapeur (en mélange à l'essence entre 0 et 40 %),

- aux risques de démixtion en présence d'eau (séparation des phases essence et alcool).

2.6.2- Le MTBE

2.6.2.1- Définition

L'éther méthylique de tert-butyle est un composé organique de formule moléculaire $(\text{CH}_3)_3\text{COCH}_3$. Le MTBE est un liquide volatil, inflammable, riche en octane, oxygéné et incolore qui est peu soluble dans l'eau. . Il a une odeur très distincte,

Le MTBE est un additif à l'essence, utilisé comme oxygène pour augmenter le nombre d'octanes. Cependant sa teneur est limitée à 15% (vol) dans la plupart des pays du monde, ceci afin de maintenir un pouvoir calorifique suffisant et de ne pas provoquer un abaissement de la richesse trop important (La richesse d'un mélange réactif est un rapport adimensionnel de la quantité relative de combustible à cette même quantité relative dans le mélange stœchiométrique). [22,23]

2.6.2.2- Production

Le MTBE est fabriqué par la réaction chimique du méthanol et de l'isobutylène. Le méthanol est dérivé du gaz naturel, et l'isobutylène dérive du butane obtenu à partir du pétrole brut ou du gaz naturel, de sorte que le MTBE provient des combustibles fossiles.

La production mondiale de MTBE a été constante à environ 21 millions de tonnes / an en raison de la croissance dans les marchés asiatiques moins soumis aux subventions à l'éthanol. Il faut ajouter que les Etats Unis précurseurs se sont apert. [23]

2.6.2.3- Les avantages et les inconvénients

Le MTBE, incorporé à une essence, n'entraîne pas les inconvénients de démixtion ni l'accroissement de la volatilité observé avec le méthanol. Par ailleurs, le MTBE présente des indices d'octane de mélange très élevé 115 à 120, il est non-corrosif et relativement bon marché.

La plupart des raffineurs ont choisi le MTBE par rapport aux autres composés oxygénés principalement pour ses caractéristiques de mélange et à faible coût.

Malgré tous les avantages que nous avons cités, le MTBE présente un problème majeur, qui est sa migration vers les nappes phréatiques qui va polluer l'eau (ce produit a vu son interdiction ces dernières années aux Etats-Unis). En Europe cela fait quelques années que les usines de MTBE produisent. Mais il est probable que ces usines soient arrêtées comme aux Etats Unis. L'Algérie envisage de mettre en place une unité de MTBE avec les dangers qui vont avec !!!

2.6.2.4- la réalisation d'une unité de production de MTBE en Algérie

Le 18 décembre 2016, La compagnie nationale Sonatrach a signé un contrat d'une durée de 18 mois et d'un montant de 5,17 millions d'euros, avec la société française Amec Foster Wheeler dans le domaine de raffinage des hydrocarbures, Il porte sur l'élaboration d'études de base de type feed pour le projet Méthyl Tert Butyl Ether (MTBE) et l'assistance de Sonatrach dans l'analyse des offres techniques des soumissionnaires, dans le cadre de la sélection d'un contrat pour la réalisation du complexe MTBE.

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Ce projet permettra le traitement annuel de 75 000 tonnes de méthanol et de 150 000 tonnes de butane, permettant une production annuelle de 200 000 tonnes de MTBE destinées à augmenter de 80 à 95% l'indice d'octane des essences produites par les raffineries de Sonatrach. [24]

C'est dans ce cadre que se situe dans l'éventualité ou pour des raisons diverses notamment de trésorerie, ce projet ne verrait pas le jour l'idée est de le remplacer par des additifs disponibles en partie en Algérie, il s'agit du méthanol produit à Arzew mais aussi de l'éthanol produit à partir de la fermentation de déchets agricoles et de dattes.

Chapitre3

La partie expérimentale

Chapitre 3

La partie expérimentale

3.1. Objectif

L'objectif de notre travail consiste à élaborer des mélanges de façon à évaluer l'influence des différents ajouts d'éthanol de proportion (5%,10%,15% et 20%) sur les propriétés les plus importantes des coupes pétrolière « essence Sr et plat format » qui sont : la densité, la tension de vapeur et surtout l'indice d'octane qui est difficile à atteindre mais aussi sur la distillation ASTM, et analyser l'aspect qualitatif et quantitatif.

En général, un carburant commercialisable doit avoir une densité comprise entre 0,72 et 0,78 à 15 °C et un indice d'octane de 95 au moins. La tension de vapeur doit atteindre les 700 g/cm² « 10 RVP » ou encore 0,686 bar.

3.2. La mise en œuvre de manipulation

Les produits utilisés dans les expériences sont : essence Sr (essence de première distillation), plat format et l'éthanol. Qui ayant les caractéristiques suivantes :

Tableau 3.1 : Caractéristiques des produits utilisés

| | Plat format | Essence Sr | Ethanol |
|----------------|-------------|------------|---------------|
| Densité (15°C) | 0.7656 | 0.6606 | 0.7974-0.8004 |
| TVR (bar) | 0.380 | 0.8600 | 0.7285 |
| Téb (°C) | 41.8 | 29.4 | 78.3-78.8 |
| NO | 86 | 76 | 116 |

- Pour l'essence Sr : la masse volumique est faible (inférieure à celle fixée par la norme (0,750g/cm³), La TVR est élevée supérieure à la valeur donnée par les normes 10RVP (0,700 kg/cm²) et Le NO est loin de 14 points d'une essence normale et de 20 a points d'une super. D'où la nécessité de réaliser le (reforming) plat format puis d'un ajout de éthanol.
- Pour le plat format : la densité est répond aux caractéristiques d'une essence commercialisable, Par contre la TVR étant faible, il est possible d'ajouter du butane jusqu'à 4 %. Nous ajusterons la TVR et nous gagnons en NO parce que le NO du butane est de 100. Cependant nous n'arrivons pas à la valeur 90 ou 96 C'est là qu'interviennent les additifs et dans notre cas nous allons voir l'apport d'éthanol dans l'augmentation du NO, ceci pour éviter l'ajout d'aromatiques qui doit être règlementé.

1^{er} : Nous avons fait les analyses des coupes pétrolières avant l'ajout d'éthanol (densité, TVR, distillation ASTM et le NO).

2^{ème} : Nous avons effectué les analyses des mélanges, Nous avons travaillé sur un volume total de 500 ml par mélange « 8 mélanges », cette quantité a été soigneusement calculée pour suffire à tous les essais de caractérisations (notamment le nombre d'octane qui consomme 300 ml au minimum), et d'éviter de gaspiller le produit « éthanol » qui est en quantité limitée.

PARTIE EXPERIMENTALE

Nous avons pris la précaution de refroidir les flacons et la verrerie à -4°C afin minimiser la perte des légers lors de la manipulation.

Nous avons préparé 8 mélanges de volume de 500 ml (plat format+ éthanol et essence Sr+ éthanol) avec les proportions suivantes :

Tableau 3.2 : proportions en pourcentage et en volume des produits dans les mélanges

| | % d'éthanol | % de la fraction pétrolière | Volume d'éthanol (ml) | volume de la coupe pétrolière (ml) |
|----------|-------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| 1 | 5 | 95 | 25 | 475 |
| 2 | 10 | 90 | 50 | 450 |
| 3 | 15 | 85 | 75 | 425 |
| 4 | 20 | 80 | 100 | 400 |

3.3. Les manipulations effectuées

3.3.1. Densité

La densité est une propriété additive par rapport au volume c'est-à-dire :

$$d_{mél} = \frac{\sum x_i d_i}{\sum x_i}$$

Où :

$d_{mél}$: La densité du mélange à 15°C / eau à 4°C ;

x_i : La concentration en % volumique du constituant i ;

d_i : La densité du constituant i ;

- **But de la manipulation**

Tous les produits intermédiaires ou finis subissent un certain nombre de tests classiques appelés : « essais normalisés ». La densité, est parmi les essais indispensables des carburants, dont la mesure fera le but de cette manipulation. La mesure de la densité fait l'objet de la norme : D1298-99

Appareillage

Des aréomètres. Un thermomètre, Une éprouvette d'essai.

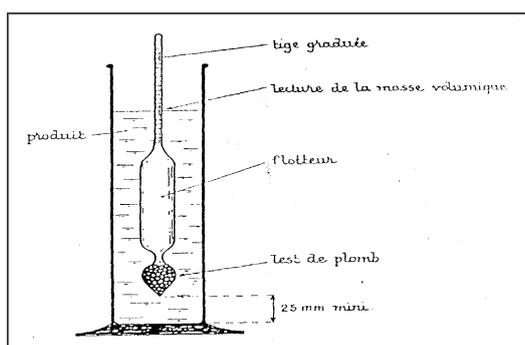


Figure 3.1 : schéma d'un aéro-mètre

- **Le principe de mesure**

La mesure implique un certain nombre de précautions. Elle est faite par lecture directe, l'œil étant juste au-dessus du niveau du liquide. Simultanément nous devons lire la température de l'échantillon.

- **Résultats obtenus**

Nous pouvons calculer l'erreur :

$$E = \frac{\text{valeur calculée} - \text{valeur mesurée}}{\text{valeur mesurée}}$$

Mélange essence Sr + éthanol

Tableau 3.3 : la variation de la densité mesurée et calculée du mélange « essence Sr/éthanol »

| % d'éthanol | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Densité mesurée | 0.6570 | 0.6626 | 0.6661 | 0.6742 | 0.6782 |
| Densité calculée | 0.6570 | 0.6640 | 0.6711 | 0.6782 | 0.6853 |
| Erreur (%) | | 0.21 | 0.75 | 0.59 | 1.00 |

Mélange plat format +éthanol

Tableau 3.4: la variation de la densité du mélange « plat format/ éthanol »

| % d'éthanol | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Densité mesurée | 0.7656 | 0.7669 | 0.7680 | 0.7690 | 0.7715 |
| Densité calculée | 0.7656 | 0.7672 | 0.7689 | 0.7705 | 0.7722 |
| Erreur | 0.0 | 0.03 | 0.11 | 0.19 | 0.09 |

Nous avons calculé l'erreur relative entre la mesure et le modèle de l'additive qui est varié entre 0.03%- 1%, Nous supposons que l'erreur pourrait être engendrée par les erreurs de

PARTIE EXPERIMENTALE

mesure du volume et par la présence de grandeurs d'excès vu que nos coupes pétrolière sont composées de différentes familles chimiques qui créent des interactions et rendent l'additivité non applicable.

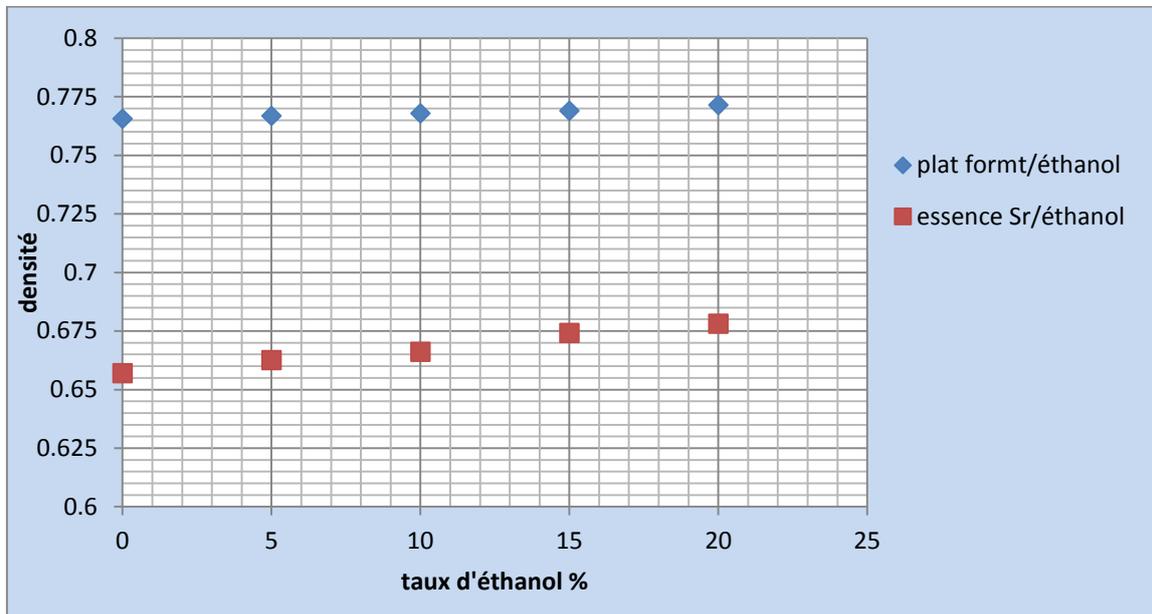


Figure 3.2 : Variation de la densité en fonction du pourcentage d'éthanol.

- **Interprétation des résultats**

L'éthanol est plus lourd que l'essence SR et le plat format, Nous remarquons que l'ajout de l'éthanol avec les différentes proportions ne influe pas beaucoup sur la densité d'essence, nous constatons une augmentation légère de densité, donc la densité de l'essence SR est un peu faible par rapport à la valeur exigée (spécifications), nous pouvons corriger ça par ajout d'essences à densité plus élevée. Par contre la densité du plat format réponds aux spécifications.

3.3.2. Distillation ASTM

- **Objectif**

La réalisation de la distillation ASTM de 100ml d'un mélange dans des conditions normalisées selon la norme ISO 3405 et relever les températures correspondant aux volumes de distillat évaporé ou recueillis (la température correspondant à chaque 10ml de distillat).

- **Appareillage**

Eprouvette, thermomètre, ballon de distillation, condenseur, chronomètre, bain de refroidissement à 21°C.

- **Le mode opératoire**

Nous avons met 100 ml de mélange dans le ballon de distillation que le nous avons chauffé et distillons à une vitesse déterminée (5 ml/mn). Les vapeurs formées sont condensées dans un

PARTIE EXPERIMENTALE

tube baignant dans un bain marin à 21°C, puis recueillies dans une éprouvette graduée comme le montre le schéma suivant :

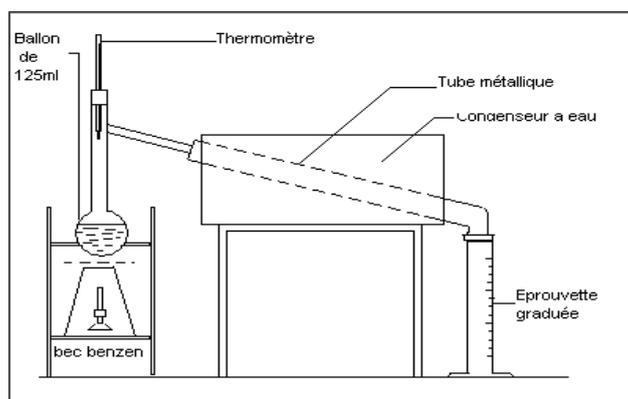


Figure 3.3 : l'appareil de la distillation ASTM

Nous avons noté la température dans le ballon dès l'apparition de la première goutte de condensât à la sortie du tube, c'est le point initial (PI) de la distillation. Ensuite, la température est augmentée régulièrement, pour chaque 10ml de distillat, nous avons noté la température correspondant. En fin de distillation, la température décroît par la suite de l'altération thermique des dernières traces liquides dans le ballon. Le maximum de température est le point final (PF) de distillation. Ensuite, nous avons présenté la température d'ébullition en fonction du pourcentage distillé. Cette méthode est plus rapide mais elle ne se fait qu'à pression atmosphérique et il ne faut pas dépasser une température de 300°C afin d'éviter la rupture des liaisons.

- **Les résultats expérimentaux**

Les tableaux suivants regroupent les valeurs de températures correspondant à chaque volume distillé de mélange :

- **Mélange essence Sr /éthanol**

Tableau 3.5 : Distillation ASTM de mélange essence Sr et éthanol

| % V | 0% éthanol | 5% éthanol | 10% éthanol | 15% éthanol | 20% éthanol |
|-----------|--------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| PI | 29.4 4mn 7s | 29.5 5mn4s | 29.4 4mn34s | 32 5mn36s | 28.8 4mn49s |
| 10 | 41.7 | 35 | 37 | 38 | 37.8 |
| 20 | 44.1 | 37 | 38.9 | 39.5 | 39.9 |
| 30 | 49.4 | 39 | 40.8 | 41 | 42 |
| 40 | 52.9 | 41 | 42.8 | 43.5 | 44.4 |
| 50 | 57.4 | 43 | 45.1 | 46 | 47.5 |
| 60 | 63.9 | 46 | 48 | 49.5 | 51.2 |
| 70 | 72.4 | 53 | 51.7 | 54.5 | 56.7 |
| 80 | 84.3 | 64 | 56.6 | 60 | 63.2 |
| 90 | 90.1 | 79 | 62.3 | 66.5 | 75.7 |
| PF | 97.1 4mn 30s | 99 1mn3s | 92.3 6mn40s | 77 1mn30s | 84.9 9mn59s |

PARTIE EXPERIMENTALE

Tableau 3.6 : volume distillé de mélange essence Sr et éthanol

| % de l'éthanol | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
|---------------------------------------|------|----|------|------|------|
| V distillé (ml) (essence Sr+ éthanol) | 94.3 | 94 | 96.8 | 98.5 | 97.3 |

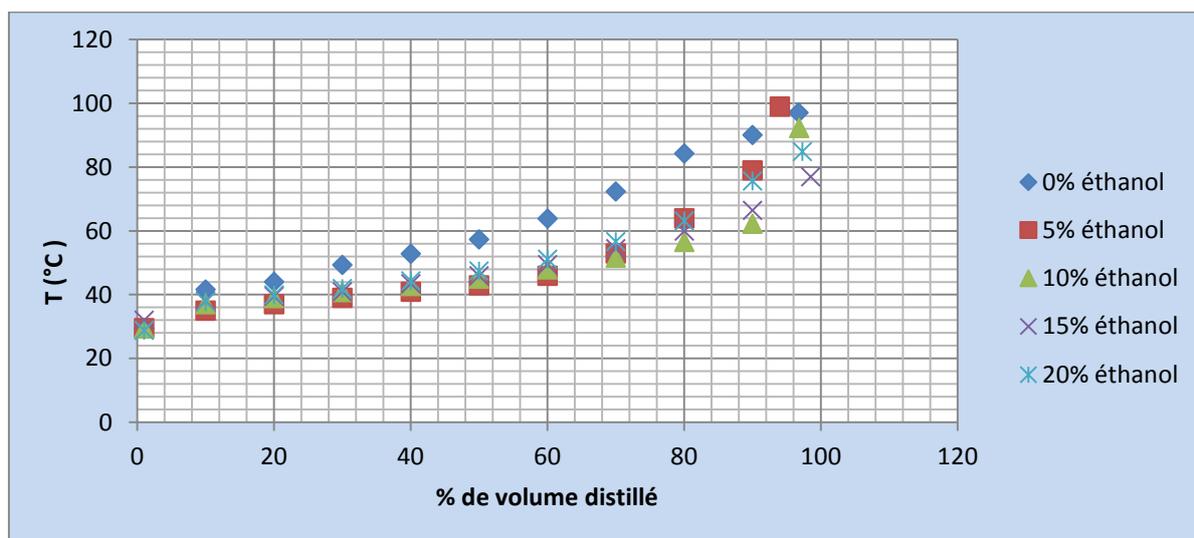


Figure 3.4 : Courbe de distillation ASTM du mélange essence Sr + méthanol

- Mélange plat format /éthanol**

Nous avons réalisé la distillation du plat format mélangé à l'éthanol, les valeurs sont données dans le tableau suivant.

Tableau 3.7: Distillation ASTM de mélange plat format et éthanol

| % V | 0% éthanol | 5% éthanol | 10% éthanol | 15% éthanol | 20% éthanol |
|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| PI | 41.8 7mn | 48.4 8mn14s | 53 7mn28s | 48.5 | 52 6mn5s |
| 10 | 12s | 62.6 | 63 | 8mn15s | 65 |
| 20 | 71.5 | 73 | 71 | 64 | 68 |
| 30 | 81.5 | 78 | 75 | 67 | 73 |
| 40 | 90 | 88 | 86 | 70 | 78 |
| 50 | 99 | 105 | 102 | 72 | 100 |
| 60 | 110 | 114.5 | 113 | 99 | 118 |
| 70 | 125 | 130 | 128 | 117 | 130 |
| 80 | 135 | 139 | 137 | 128 | 144 |
| 90 | 145 | 160 | 159 | 142 | 160 |
| PF | 162 | 187 1mn 3s | 181 1mn30s | 157.5 | 181 1mn42s |
| | 185.8 | | | 183.5 | |
| | 1mn5s | | | 1mn57s | |

PARTIE EXPERIMENTALE

Tableau 3.8: volume distillé de mélange plat format et éthanol

| % de l'éthanol | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
|---|------|------|----|------|----|
| V distillé (ml) (plat format + éthanol) | 98.9 | 94.7 | 96 | 97.8 | 97 |

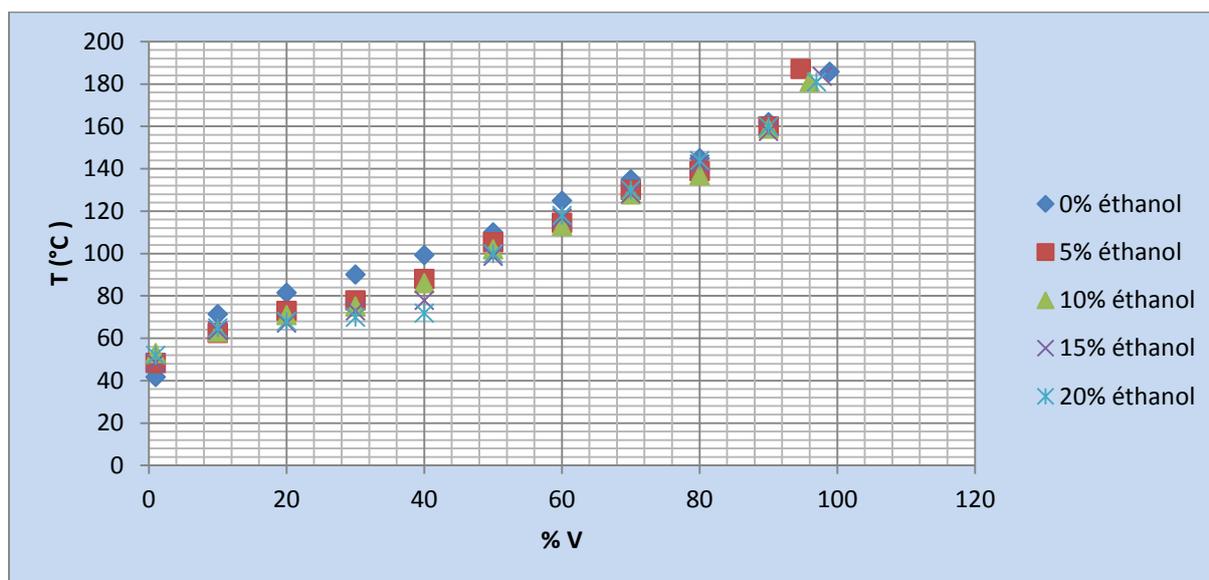


Figure 3.5 : Courbe de distillation ASTM du mélange plat format + méthanol

- **Interprétation des résultats**

- ✓ La courbe de distillation ASTM « essence Sr/ éthanol »

Nous remarquons que l'ajout d'éthanol au carburant essence Sr entraîne une chute de la température d'ébullition des mélanges. La température d'ébullition d'éthanol est de 78.4 °C, pour une T_{nav} moyenne de l'essence de 65 °C en première approximation., l'ajout d'éthanol crée une hystérésis (Formation d'une lentille) dont la largeur varie avec la proportion d'éthanol comme montrée dans la figure, Par conséquent à la même vitesse de chauffe 5 ml/min la vitesse de distillation augmente, par exemple pour une distillation de volume de 40% du mélange « essence + 5% éthanol », permet un gain de 12 °C cela voudrait dire que l'éthanol ralentit la distillation qui devient rapide vers la fin de la distillation

- ✓ La Courbe de distillation ASTM « plat format + méthanol »

Nous remarquons que la courbe d'hystérésis est d'autant volumineuse que la quantité d'éthanol est importante. Après la température augmente brutalement quand environ 60 % ont été distillés pour rejoindre la courbe de distillation du plat format seul.

3.3.3. La tension de vapeur

- **But de la manipulation**

Le but de la manipulation est la détermination de la pression de vapeur "Reid " du mélange prise dans des conditions normalisées.

- **Appareillage**

Il contient principalement de :

- ✓ Une bombe REID Constituée par deux chambres se raccordant l'une sur l'autre Une chambre à carburant et une chambre a air de même diamètre ;
- ✓ Un manomètre ;
- ✓ Un bain d'eau thermo statique Maintenu à la température de 37,8°C.

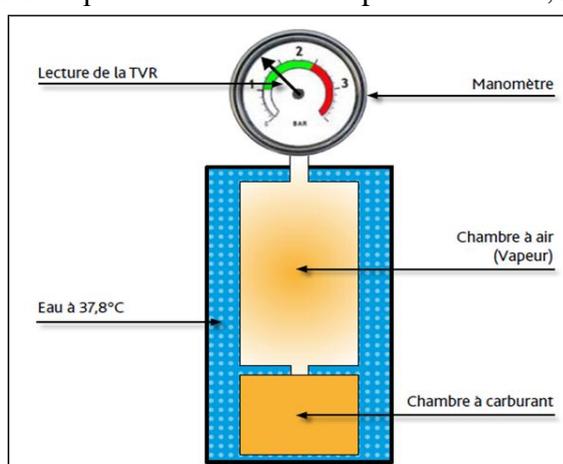


Figure 3.6 : Appareil qui mesure la tension de vapeur Reid

- **Principe de mesure**

Avant la mesure il est important de prendre un certain nombre de précautions

La chambre à air est placée dans le bain thermostatique (37,8°)

La chambre a carburant est refroidie a la température de l'échantillon (0 à 4°C en général).il est nécessaire en effet d'éviter l'évaporation des constituants légers de l'échantillon.

Nous avons transvasé ensuite l'échantillon dans la chambre à carburant jusqu'à débordement puis nous avons relié rapidement les deux chambres et après agitation, nous avons immergé complètement l'appareil dans le bain thermostatique. Ensuite après 5minutes, nous avons retiré périodiquement l'appareil pour le secouer énergiquement jusqu'à stabilisation de l'indication du manomètre (au moins 5 fois).

PARTIE EXPERIMENTALE

- Les résultats obtenus

Mélange essence Sr /éthanol

Tableau 3.9: Variation de la tension de vapeur Reid du mélange « essence Sr + éthanol »

| % d'éthanol | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TVR (bar) | 0.860 | 0.949 | 1.000 | 1.070 | 1.035 |

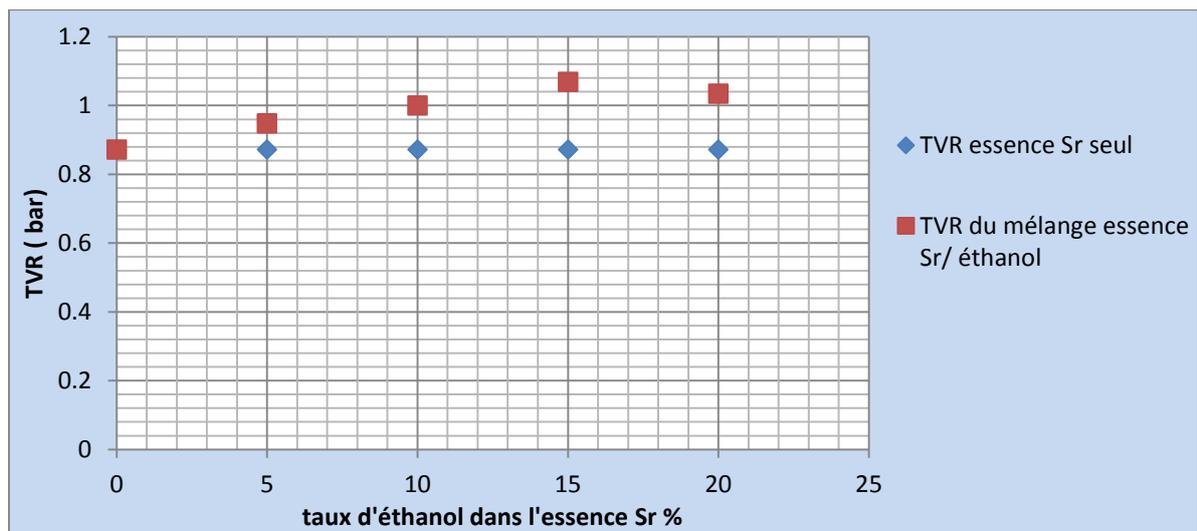


Figure 3.7 : Variation de la tension de vapeur Reid du mélange « essence Sr + éthanol » en fonction de volume distillat.

Mélange plat format /éthanol

Tableau 3.10 : Variation de la tension de vapeur Reid du mélange « plat format+ éthanol »

| % d'éthanol | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TVR mesuré (bar) | 0.380 | 0.397 | 0.449 | 0.431 | 0.414 |

PARTIE EXPERIMENTALE

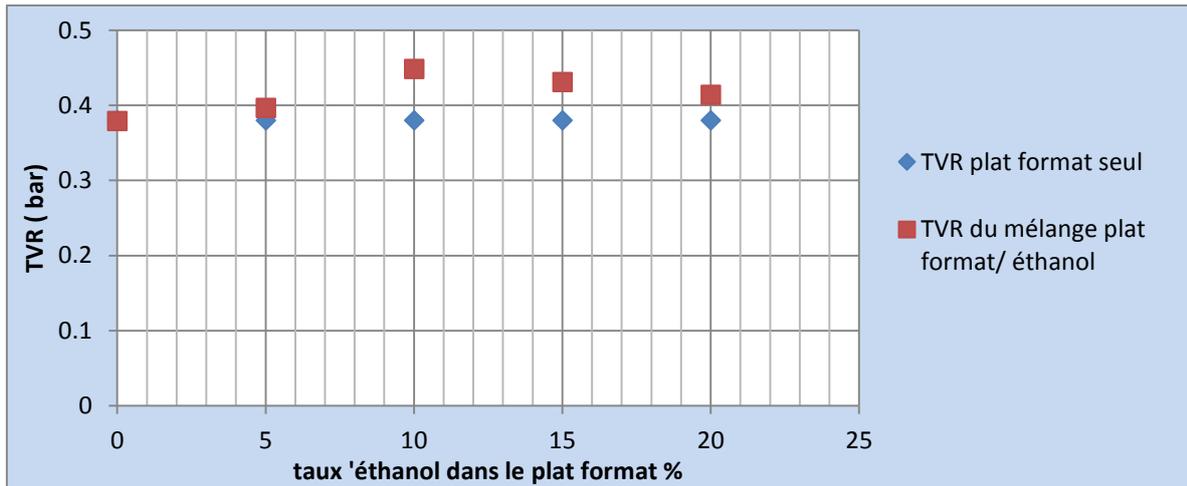


Figure 3.8 : Variation de la tension de vapeur Reid du mélange « plat format+ éthanol » en fonction de volume distillat

- **Interprétation des résultats**

Comme le montre les graphiques, l'intégration d'un faible pourcentage d'éthanol dans le plat format et l'essence Sr (de 1 à 20 % environ) entraîne une augmentation de la tension de vapeur, ou elle atteint un maximum de 1.070 bar pour un taux de 15% d'éthanol dans l'essence Sr, et une incorporation de 10% d'éthanol dans le plat format augmente la TVR au maximum de 0.449 bar car la tension de vapeur de l'éthanol est plus élevée que celle du plat format, puis nous constatons une diminution légère dans les deux mélanges.

La tension de vapeur des deux mélanges ne répond pas aux spécifications :

La TVR des mélanges essence Sr/ éthanol est supérieure à la norme, Cela pose un problème car la TVR est supérieure de 20%, L'ajout d'éthanol permet d'augmenter le NO mais pose un problème de stabilité du fait que la TVR est élevée. La solution consiste soit à changer d'additif soit à augmenter pour diminuer le % d'éthanol Comme conséquence, il n'y aura pas d'augmentation du NO.

La TVR des mélanges plat format/ éthanol est inférieure à la norme, La tension de vapeur de ces mélanges obtenus doit être améliorée, en ajoutant de butane jusqu'à arriver à la norme de la TVR exigée qui est de 700 g/cm². A titre d'exemple, nous prenons le mélange à 5% éthanol pour calculer le volume nécessaire ajouté du butane ;

$TVR_{mél} = 0.397$ bar et $TVR_{C4} = 13.7$ bar, nous proposons un volume de 1 million de tonne pour le mélange plat format/ éthanol

$$V_T = V_{mél} + V_{C4}$$

$$V_T * TVR = V_{mél} * TVR_{mél} + V_{C4} * TVR_{C4}$$

Il nous faut un volume du butane de 23308 T, (2.3% < à 4% limité supérieure,)

3.3.4. L'indice d'octane

- **Objectif**

Etudier l'influence de l'éthanol de différentes proportions sur l'indice d'octane des carburants « essence Sr et plat format »

- **Appareillage**

Moteur monocylindrique spécial (moteur CFR ou Cooperative Fuel Research)

- **Mode opératoire**

Nous mesurons l'indice d'octane des mélanges, et par comparaison avec les valeurs obtenues dans la mesure des produits de référence, nous connaissons l'indice d'octane des mélanges. Le moteur CFR est alimenté, tour à tour, avec le carburant et des carburants de référence dont les pourcentages respectifs d'iso-octane et d'heptane sont connus.

- **Résultats obtenus**

Mélange essence Sr/ éthanol

Tableau 3.11 : variation de NO de l'essence Sr

| % éthanol | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
|--------------------------------|----|----|----|----|----|
| NO (essence Sr/ éthanol) | 76 | 79 | 82 | 86 | 90 |

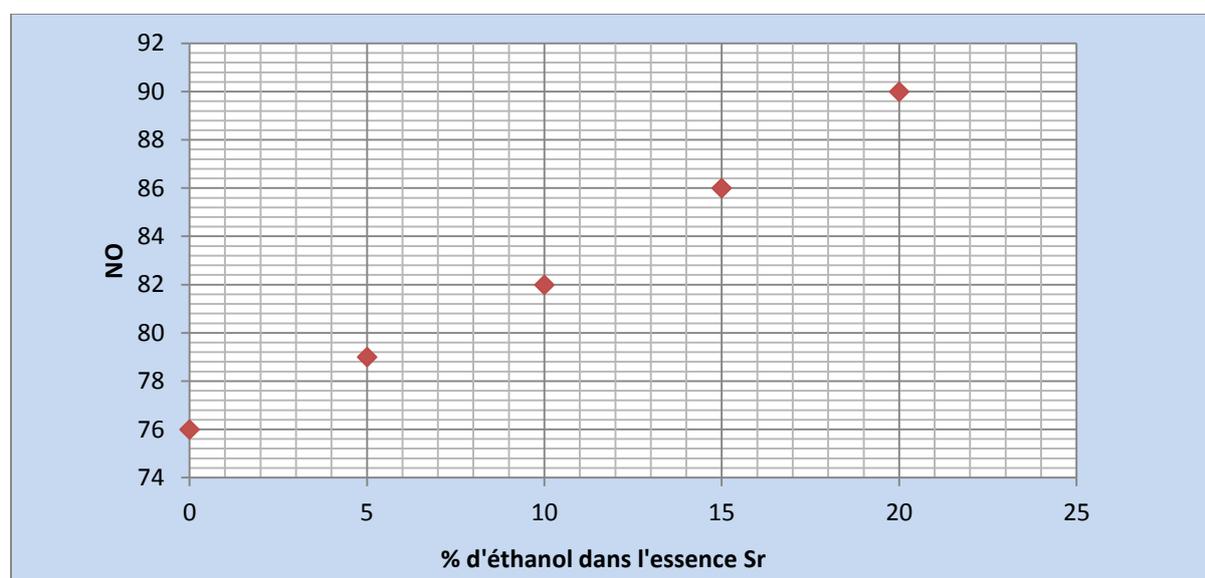


Figure 3.9 : représentation des NO du mélange « essence Sr+ éthanol » en fonction d'addition d'éthanol.

Mélange plat format/ éthanol

Tableau 3.12 : variation de NO de plat format

| % éthanol | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
|---------------------------|----|----|----|----|----|
| NO (plat format/ éthanol) | 86 | 88 | 89 | 93 | 96 |

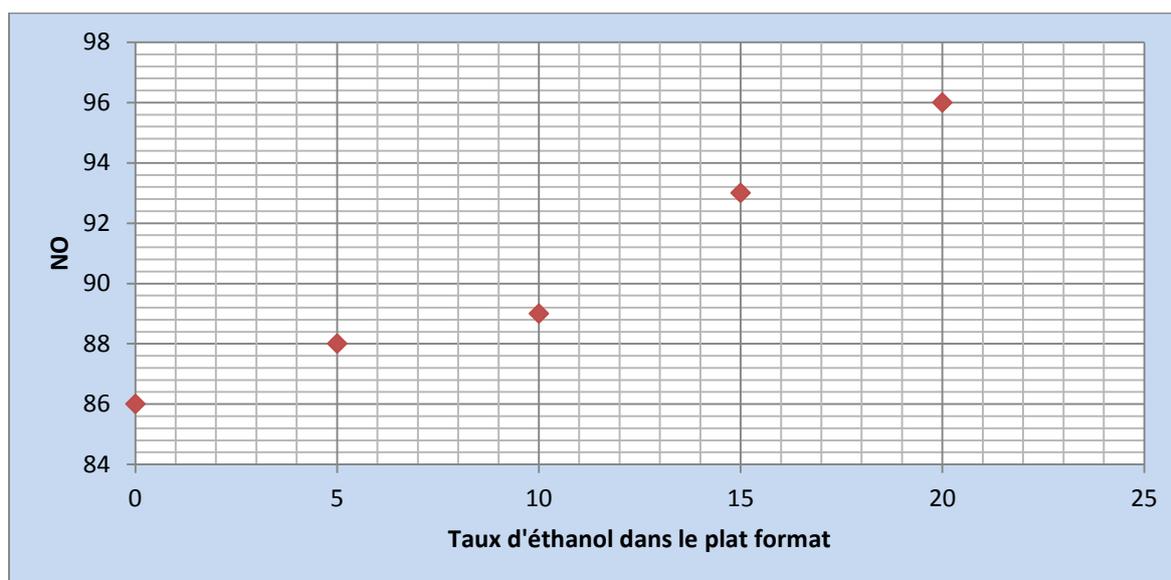


Figure 3.10 : représentation des NO du mélange « plat format+ éthanol » en fonction d'addition d'éthanol.

- Interprétation des résultats**

L'ajout d'éthanol qui a un indice d'octane élevé de 116 permet une augmentation importante du NO d'essence SR, soit une différence de plus de 14 points pour un pourcentage de 20 % d'éthanol seulement. Une amélioration marquante des qualités de combustion de carburant « essence SR » mais aussi une augmentation quantitative du volume total.

Nous remarquons que l'ajout de l'éthanol dans le plat format résulte une augmentation d'indice d'octane passe de NO=86 pour 0% éthanol à NO=96 pour une addition de 20% d'éthanol, soit une augmentation d'environ 12 %. Cette élévation d'indice d'octane est due à l'indice d'octane très élevé de l'éthanol qui environ de 116.

Un indice d'octane de plat format de 96 pour une proportion de 20 % d'éthanol est dans les normes de NO exigées « Supérieur à 95 ». Nous remarquons à la fois l'obtention d'un bon NO mais aussi une augmentation quantitative du volume total. Cependant il reste que le problème de la tension de vapeur peut être réglée par l'ajout de butane jusqu'à 4%.

3.4. Conclusion

D'après les résultats obtenus, nous pouvons conclure que l'ajout d'éthanol, à l'essence Sr et au plat format améliore certaines propriétés telles la densité, et l'indice d'octane en augmentant ainsi l'aptitude de l'essence à résister à l'auto-inflammation. La volatilité s'améliore aussi par l'ajout en quantités différentes de cet additif oxygéné. Cependant, la tension de vapeur présente un véritable problème qui peut être résolu en ajoutant de butane jusqu'à 4%.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le pétrole a fait son temps, il faut le reconnaître sans être nostalgique. Même son poids économique ne milite plus en sa faveur. Menace sur l'écosystème et sur la biodiversité, pollution pendant sa combustion, sont quelques griefs qui lui sont adressés. Des pays ont réussi dans la filière biocarburant, Le Brésil a utilisé la canne à sucre, les USA le maïs et la France la betterave sucrière, Les biocarburants, et en particulier le bioéthanol, contribueraient donc réellement à une diversification des alternatives au pétrole. Compte tenu des conditions agro-climatiques favorables et de la disponibilité de la matière de base, nous avons porté notre choix sur les déchets de dattes et grignons d'olive comme matières premières dans l'élaboration du bioéthanol.

L'Algérie est confrontée à un déficit de NO dans les essences qu'elle produit, le plat format produit n'arrive pas en normes de NO 96 et 90. Pendant longtemps, on utilisait du plomb tétraéthyle qui est un produit dangereux même à petites quantités. De plus, il est de moins au moins fabriqué dans le monde.

L'Algérie produit depuis quelques années de l'essence sans plomb à 95, obtenue par un additif de type MTBE mais surtout par une proportion d'aromatique élevée, ce qui est un danger pour la santé publique.

L'Algérie pense à mettre en place une usine de MTBE, dont l'intervalle la Sonatrach a confiée à l'école nationale polytechnique une étude d'ajout d'alcools méthanol ou éthanol pour évaluer les gains en NO réalisées. Notre étude montre qu'il est possible d'aller jusqu'à 20 % d'éthanol, L'intégration de l'éthanol comme additif et comme substituant au MTBE, augmenter l'indice d'octane des carburants, et par conséquent, diminuer la proportion d'aromatique, et donc protéger la santé publique, et protéger l'environnement.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

[1] : présentation de la structure d'accueil « SONATRACH », disponible sur le site : www.sonatrach.dz.

[2] : Etude de l'influence de la température du fluide sur la performance d'un échangeur de chaleur de la raffinerie d'Alger, disponible sur le site : www.memoireonline.com Sciences.

[3]: W.L.Nelson, « Petroleum refinery engineering », édition Mc Graw Hill, (1985)

[4]: pouvoir calorifique inférieur, disponible sur le site: http://www.appa.asso.fr/_docs/7/fckeditor/file/Revues/AirPur/Airpur_57_Sawerysyn.pdf

[5]: Indice d'octane, disponible sur le site : https://fr.wikipedia.org/wiki/Indice_d%27octane

[6] : J.C. GUIBET « carburants liquides », technique de l'ingénieur, traité génie énergétique TI-be8545

[7] : J.C. GUIBET « caractéristique des produits pétrolier » technique de l'ingénieur TIPeps-k325

[8] : B. GOUVERTS « plan d'expériences pour traiter des problèmes de mélange » institue de statistiques universités catholiques de LOUVAIN 2010.

[9] : les biocarburants et l'environnement, disponible sur le site : www.actu-environnement.com

[10] : les biocarburants, disponible sur le site : www.geo.fr/environnement/les-mots-verts/ethanol-bio.

[11] : La filière biocarburant dossier créé avec la collaboration du GNFA regroupement nationale pour la formation automobile, édition ANFA2009.

[12] : Les atouts des biocarburants, disponible sur le site : www.tpe-biodiesel.over-blog.com.

[13] : Un entrepreneur algérien va lancer un bioéthanol à partir de dattes, disponible sur le site : www.algeria.com/forums/business-affaires/24277-

[14]: valorisation des déchets de dattes, disponible sur le site : http://www.cder.dz/download/bio_11.pdf

[15] :éthanol, disponible sur le site : fr.wikipedia.org.

[16] : Pierre LEPRINCE, « procédés des pétrochimies », édition TECHNIP Paris, 1981.

[17] : prix d'éthanol, disponible sur le site : ethanol-e85.fr/prix_ethanol_E85.html.

[18] :J. C. GUIBET « Carburant et moteurs », Tome 1, édition TECHNIP, 1997

[19] : J. C. GUIBET « Carburant et moteurs », Tome 2, édition TECHNIP, 1997.

BIBLIOGRAPHIE

[20] : J. C. GUIBET « les carburants et la combustion » technique de l'ingénieur traité de mécanique TI-bm2520

[21] : R. RENZONI «les biocarburants et carburant alternatif ».

[22] : Med Amine ABERKANE Salah AKKACHE, Utilisation des plans d'expériences pour optimiser la formulation d'une essence par adjonction d'éthanol.PFE réalisé sous la direction de Pr C-E CHITOUR. Département Génie Chimique. ENP. Juin 2011

[23] : Mosinter group limited, disponible sur le site : french.mosinterchem.com/products/l-ether-de-methyle.

[24] : Sonatrach : signature de contrats de raffinage, disponible sur le site : www.algeriepatriotique.com/article/sonatrach