

## **TABLE DES MATIERES**

<b>REMERCIEMENT</b> .....	<b>i</b>
<b>LISTE DES ACRONYMES</b> .....	<b>vi</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>vii</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>viii</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>PREMIERE PARTIE: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
<b>CHAPITRE I: GENERALITES SUR LE CARBUREACTEUR</b> .....	<b>3</b>
<b>I.1.- DEFINITION</b> .....	<b>3</b>
<b>I.2.- OBTENTION DU CARBUREACTEUR</b> .....	<b>3</b>
<b>I.2.1.- LA DISTILLATION FRACTIONNEE</b> .....	<b>3</b>
<b>I.2.2.- PROCEDE D'ADOUCCISSEMENT</b> .....	<b>4</b>
<b>I.2.3.- PROCEDE D'AMELIORATION</b> .....	<b>4</b>
<b>I.3.- LES DIFFERENTS TYPES DE CARBUREACTEUR</b> .....	<b>5</b>
<b>I.4.- LA COMPOSITION CHIMIQUE D'UN CARBUREACTEUR</b> .....	<b>6</b>
<b>I.4.1.- LES HYDROCARBURES</b> .....	<b>6</b>
<b>I.4.1.1.- les hydrocarbures aromatiques</b> .....	<b>6</b>
<b>I.4.1.3.- les hydrocarbures paraffiniques</b> .....	<b>7</b>
<b>I.4.1.4.- les hydrocarbures mixtes</b> .....	<b>7</b>
<b>I.4.2.- LES PRODUITS SOUFRES</b> .....	<b>7</b>
<b>CHAPITRE II: CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DU CARBUREACTEUR</b> .	<b>9</b>
<b>II.1.- LES PROPRIETES PHYSIQUES</b> .....	<b>9</b>
<b>II.1.1.- LA DISTILLATION ASTM</b> .....	<b>9</b>
<b>II.1.2.- LA DENSITE</b> .....	<b>10</b>
<b>II.1.3.- LA VISCOSITE</b> .....	<b>11</b>
<b>II.1.4.- L'INDICE DE REFRACTION</b> .....	<b>12</b>
<b>II.1.5.- LE POINT D'ECLAIR</b> .....	<b>12</b>
<b>II.2.- LES PROPRIETES CHIMIQUES</b> .....	<b>13</b>

<b>II.2.1 LA MASSE MOLECULAIRE MOYENNE .....</b>	<b>13</b>
<b>II.2.1.1.- la méthode des abaques .....</b>	<b>13</b>
<b>II.2.1.2.- la méthode de Huang .....</b>	<b>15</b>
<b>II.2.1.3.- la méthode de Riazi-Daubert .....</b>	<b>15</b>
<b>II.2.2 LE FACTEUR DE CARACTERISATION <math>K_{UOP}</math> .....</b>	<b>16</b>
<b>II.2.2.1.- Par la méthode des abaques .....</b>	<b>16</b>
<b>II.2.2.2.- Par calcul .....</b>	<b>16</b>
<b>II.2.3 LA REPARTITION PAR FAMILLE .....</b>	<b>17</b>
<b>II.2.3.1.- la méthode de Huang .....</b>	<b>17</b>
<b>II.2.3.2.- La refractivity intercept <math>RI</math> .....</b>	<b>17</b>
<b>II.2.3.3- la chromatographie en phase gazeuse ou CPG.....</b>	<b>18</b>
<b>II.2.3.4.1.- Principe de la CPG .....</b>	<b>18</b>
<b>II.2.3.4.2.- Appareillage et fonctionnement .....</b>	<b>18</b>
- l'injecteur .....	19
- la colonne chromatographique .....	19
- la phase stationnaire.....	20
- le système de chauffage.....	21
- le détecteur et enregistreur .....	21
<b>II.2.3.4.3.- L'indice de rétention de Kovats <math>I_K</math> .....</b>	<b>22</b>
<b>DEUXIEME PARTIE: TRAVAUX PERSONNELS</b>	
<b>CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSIONS.....</b>	<b>24</b>
<b>III.1.- ETUDES DES PROPRIETES PHYSIQUES .....</b>	<b>24</b>
<b>III.1.1.- MESURE DE LA VISCOSITE CINEMATIQUE .....</b>	<b>24</b>
<b>III.1.2.- MESURE DU POINT D'ECLAIR .....</b>	<b>25</b>
<b>III.1.3- MESURE DE L'INDICE DE REFRACTION.....</b>	<b>25</b>
<b>III.1.4.- MESURE DE LA DENSITE .....</b>	<b>25</b>
<b>III.1.5.- DISTILLATION ASTM .....</b>	<b>25</b>
<b>III.2.- ETUDE DES PROPRIETES CHIMIQUES.....</b>	<b>27</b>
<b>III.2.1 MASSE MOLECULAIRE MOYENNE .....</b>	<b>27</b>

<i>III.2.1.1.- Par la méthode des abaques .....</i>	<b>27</b>
<i>III.2.1.2.- Par la méthode de Huang .....</i>	<b>28</b>
<i>III.2.1.3- Par la méthode de Riazi- Daubert.....</i>	<b>28</b>
<b>III.2.2.- REPARTITION PAR FAMILLES .....</b>	<b>29</b>
<i>III.2.2.1.- Facteur de caractérisation de Huang I .....</i>	<b>29</b>
<i>III.2.2.2.- Refractivity intercept RI .....</i>	<b>30</b>
<i>III.2.2.3.- Facteur de caractérisation <math>K_{UOP}</math>.....</i>	<b>30</b>
<i>III.2.2.4- Méthode chromatographique en phase gazeuse .....</i>	<b>31</b>
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>40</b>
<b>PARTIE EXPERIMENTALE</b>	
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>50</b>

## **LISTE DES ACRONYMES**

- AFQRJOS: Aviation Fuel Quality Requirements for Jointly Operated Systems
- ASTM: American Society for Testing Materials
- API: American Petroleum Institute
- CPG: Chromatographie en Phase Gazeuse
- CGS: Centimètre Gramme Seconde
- FIA: Flow Injection Analysis
- LCP: Laboratoire de Contrôle des Pesticides
- OMH: Office Malgache des Hydrocarbures
- RMN: Résonance Magnétique Nucléaire
- UOP: Universal Oil Product
- sp.gr: Specific gravity
- SI: Système International

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Caractéristiques des carburants pour avion.....	6
Tableau 2: Valeur de I pour les familles d'hydrocarbures.....	17
Tableau 3: Valeur de RI pour chaque famille d'hydrocarbures.....	17
Tableau 4 : Quelques types des phases stationnaires .....	20
Tableau 5: Différents types de détecteurs.....	21
Tableau 6: Viscosité du jet A1.....	24
Tableau 7: Point d'éclair du jet A1.....	25
Tableau 8: Distillation ASTM du jet A1.....	26
Tableau 9: Bilan volumétrique de la distillation.....	26
Tableau 10: Masse moléculaire moyenne.....	28
Tableau 11: Masse moléculaire moyenne selon Huang.....	28
Tableau 12: Masse moléculaire moyenne selon la méthode Riazi-Daubert.....	29
Tableau 13: Valeur de I.....	29
Tableau 14: Valeur de RI.....	30
Tableau 15: Résultat de l'analyse chromatographique par nombre d'atomes de carbone.....	36
Tableau 16: les squelettes carbonés majoritaires.....	36
Tableau 17: Résultat de l'analyse chromatographique par familles chimiques.....	38
Tableau 18 : Pourcentage par familles.....	38
Tableau 19: tableau récapitulatif des analyses.....	40
Tableau 20: les paramètres de température.....	44
Tableau 21: les paramètres des gaz.....	44
Tableau 22: Valeurs des viscosités cinématiques.....	48
Tableau 23: Valeurs obtenues lors de la mesure de la densité.....	49

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Les différentes coupes pétrolières.....	4
Figure 2: Détermination des différentes températures moyennes d'ébullition .....	14
Figure 3 : courbe iso-propriété des facteurs de caractérisation.....	15
Figure 4 : Représentation schématique d'un CPG.....	19
Figure 5: Courbes de distillation ASTM du jet A1.....	27
Figure 6 : Chromatogramme de l'échantillon jet A1.....	32
Figure 7 : Chromatogramme du mélange d'hydrocarbures linéaires de référence.....	33
Figure 8 : Représentation schématique d'un réfractomètre.....	46
Figure 9 : Schéma du viscosimètre type Ubbelohde.....	48

# INTRODUCTION

Le pétrole, depuis sa formation, qui remonte à des millions d'années, n'a cessé d'être utilisé pour diverses fins. Il fut longtemps utilisé à l'état brut pour en faire des revêtements et des torches. Mais c'est vers la moitié du 19<sup>ème</sup> siècle qu'une véritable exploitation du pétrole voit le jour notamment avec les travaux d'Abraham Gessner sur le pétrole brut pour obtenir du pétrole lampant.

Depuis, l'industrie de pétrole n'a cessé de se moderniser, grâce aux découvertes successives d'immenses puits de pétrole ainsi qu'aux divers travaux de recherche portant sur les carburants et les moteurs (essence, diesel, à réaction).

De nos jours, bien que cible de plusieurs critiques, le pétrole et ses dérivés demeurent indispensables pour de nombreux domaines. C'est la première source mondiale d'énergie. Les revenus sur les industries pétrolières sont très importants pour l'économie des pays producteurs. Pour certains pays, le pétrole est devenu une arme politique.

Plusieurs gammes de produits pétroliers sont commercialisées à Madagascar, partant des plus légers: gaz et essence, jusqu'au plus lourds comme les bitumes. De nombreux travaux ont été déjà faits concernant l'étude de ces produits. Pour notre part, nous nous efforcerons d'apporter des compléments de connaissance concernant l'étude physico-chimique du carburant utilisé dans les réacteurs des avions, communément appelé carburéacteur.

Pour mener à bien notre travail, nous allons adopter le plan suivant:

- La première partie concerne les études bibliographiques portant sur les généralités et les caractéristiques physico-chimiques du carburéacteur.
- En deuxième partie nous apporterons les résultats des analyses effectuées sur un échantillon de carburéacteur commercialisé à Madagascar suivis de discussions et interprétations.
- La dernière partie sera consacrée aux protocoles opératoires qui nous ont permis d'obtenir les résultats.

## **PREMIERE PARTIE: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**



# **Chapitre I: GENERALITES SUR LE CARBUREACTEUR**

## **I.1.- DEFINITION**

Le carburéacteur également appelé kérosène est un produit provenant directement de la distillation atmosphérique du pétrole brut, le rendement volumique sur le brut, de la fraction carburéacteur se situe entre 11 et 12 %. Il fait partie de la gamme dite de produit blanc qui est la fraction distillée entre 150°C et 250 °C. C'est un carburant destiné essentiellement à alimenter les avions à réaction, mais ce type de carburant est également utilisé dans les turbines terrestres.

## **I.2.- OBTENTION DU CARBUREACTEUR**

Le carburéacteur fait partie des divers produits de raffinage du pétrole brut. Le raffinage est l'ensemble de méthode permettant de transformer le pétrole brut en plusieurs fractions avec des caractéristiques bien définies.

### ***I.2.1.- LA DISTILLATION FRACTIONNEE [1]***

C'est l'étape principale du raffinage; elle permet de regrouper les fractions pétrolières selon leurs points d'ébullition. Les produits de la distillation sont recueillis par ordre de température d'ébullition croissante. Les différentes coupes obtenues lors du raffinage du pétrole brut sont données à la figure 1.

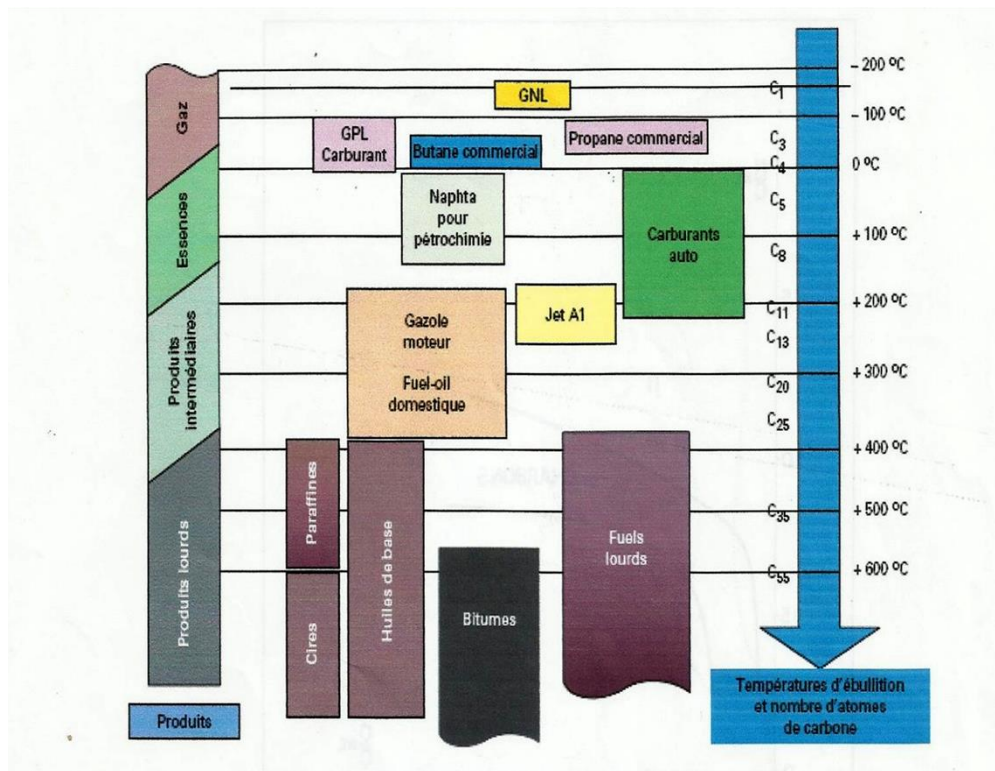


Figure 1: Les différentes coupes pétrolières

### ***1.2.2.- PROCÉDE D'ADOUCCISSEMENT [2]***

Cette méthode consiste à réduire fortement ou éliminer les molécules corrosives ou néfastes à l'environnement contenues dans la fraction carburéacteur, en particulier l'hydrogène sulfureux et les mercaptans.

Les procédés les plus connus sont:

- L'oxydation catalytique des thiols (RSH) en disulfures (RSSR) stables et neutres ;
- Le lavage à la soude pour neutraliser le soufre de l'hydrogène sulfuré ou les mercaptans.

### ***1.2.3.- PROCÉDE D'AMÉLIORATION [3]***

Avec cette méthode on peut accroître la performance d'un carburéacteur par l'adjonction de divers produits chimiques qu'on appelle les additifs. Selon l'amélioration demandée, on distingue plusieurs types d'additifs:

- les antioxydants pour annuler l'oxydation des hydrocarbures non saturés qui sont à l'origine des dépôts de gommages dans les réacteurs.

Exemples: les diamines aromatiques et les alkylphénols

- Les antirouilles pour neutraliser les traces d'humidité dans le carburéacteur.
- Les antigels qui sont des produits qui absorbent l'eau dissoute dans le carburéacteur et qui abaisse le point de congélation. Ce traitement est réservé uniquement pour les carburants utilisés dans la zone froide ainsi que dans le domaine militaire.

Exemples:

Le 2-méthoxyéthanol:  $\text{CH}_3\text{-O-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$

Le  $\beta$ -(méthoxyéthoxy) éthanol:  $\text{CH}_3\text{-O-CH}_2\text{-CH}_2\text{-O-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$

- Les antistatiques: ce sont des solutions à base de sels de chrome ou de calcium qui, à des doses comprises entre 3 et 8 ppm, accroissent la conductivité électrique dans le carburant à fin de dissiper les charges électrostatiques.

### **I.3.- LES DIFFERENTS TYPES DE CARBUREACTEUR [4]**

Selon le domaine d'utilisation, civile ou militaire, il existe plusieurs types de carburéacteur. Mais leur dénomination aussi peut varier selon leur provenance.

C'est dans le domaine militaire qu'on trouve le plus de variétés de carburéacteurs; on peut citer le TR ou turboréacteur, le JP ou le Jet Propelled, le TS qui répond aux normes de la Russie.

En aviation civile, le carburant le plus utilisé est le Jet A1 qui est défini par la norme internationale AFQRJOS. Il y a aussi le Jet A américain dont la fabrication est moins coûteuse mais avec une tenue au froid moins performante que la première.

Le tableau 1 suivant donne les caractéristiques de quelques carburants pour avion

Tableau 1: les caractéristiques des carburants pour avion.

	<b>Jet A</b>	<b>Jet B</b>	<b>Jet A1</b>	<b>TR4</b>	<b>JP4</b>
Aromatique, Vol % (max)	25	25	25	25	25
Soufre total, masse% (max)	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
Point d'ébullition finale en °C	300		300	250	270
Point d'éclair en °C	38		38		
Point de congélation en °C	- 40	-50	- 47	- 60	- 58
Densité à 15°C, en kg/m <sup>3</sup>	775-840	751-802	775-840	751-802	751-802
Energie de combustion, MJ/kg (min)	42,8	42,8	42,8		42,8

#### **I.4.- LA COMPOSITION CHIMIQUE D'UN CARBUREACTEUR**

Comme c'est un produit dérivé du pétrole, le carburéacteur est composé en majeure partie par diverses familles chimiques d'hydrocarbures: paraffinique, naphténique et aromatique.

D'autres produits se trouvent aussi mélangés dans le carburéacteur, mais en plus faible quantité: comme les produits soufrés, des traces de métaux ainsi que de l'eau dissoute.

Par ailleurs, pour améliorer sa qualité, d'autres produits chimiques sont ajoutés au carburéacteur; on les appelle des additifs.

##### ***I.4.1.- LES HYDROCARBURES [5]***

Le carburéacteur est un mélange complexe d'hydrocarbures avec des squelettes carbonés allant de C<sub>7</sub> à C<sub>15</sub>. Les atomes de carbone et d'hydrogène sont associés dans des proportions très variables.

##### ***I.4.1.1.- les hydrocarbures aromatiques***

Le cycle à six atomes de carbone ou benzénique est le plus répandu, ceci peut s'expliquer par sa forme la plus stable. Par ailleurs plusieurs cycles peuvent se condenser pour avoir une molécule compacte à haute pouvoir calorifique.

#### ***I.4.1.2.- les hydrocarbures naphténiques***

Les naphtés ont pour formule générale  $C_nH_{2n}$ . Les atomes de carbone sont associés en cycles et les valences sont toutes saturées. Et comme pour les aromatiques, des formes condensées peuvent exister.

#### ***I.4.1.3.- les hydrocarbures paraffiniques***

C'est la famille d'hydrocarbures la plus répandue dans le carburéacteur, sa proportion volumique peut atteindre les 80 % pour certains types de carburéacteurs. On distingue la paraffine normale à longue chaîne droite et l'isoparaffine de forme ramifiée.

#### ***I.4.1.4.- les hydrocarbures mixtes***

On parle d'hydrocarbures mixtes quand deux familles d'hydrocarbures se substituent. Des cycles et des chaînes paraffiniques peuvent s'additionner pour former une nouvelle molécule.

Le pourcentage de chacune de ces familles d'hydrocarbures dans le carburéacteur est un critère de qualité important du produit. Il existe plusieurs méthodes permettant de différencier ces proportions:

- les méthodes chromatographiques (FIA, CPG)
- les méthodes prédictives (Riazi-Daubert, Huang)
- les méthodes spectroscopiques (spectrométrie de masse, RMN)

Signalons que les proportions respectives de ces familles hydrocarbures dans le carburéacteur dépendent de la provenance du pétrole brut.

### ***I.4.2.- LES PRODUITS SOUFRES [6]***

Le soufre et ses produits dérivés sont des impuretés omniprésentes dans les produits pétroliers. Ils sont réputés être très agressifs vis-à-vis des pièces métalliques. Dans le carburéacteur le soufre se présente sous plusieurs formes.

- le sulfure d'hydrogène **H<sub>2</sub>S** ;
- le sulfure **R-S** et le polysulfure,
- le mercaptan **R-SH**
- le sulfure cyclique: le thiophène.

La masse totale de soufre dans le carburéacteur est un critère qui détermine la qualité du produit. La norme internationale **AFQRJOS** mentionne que le pourcentage en masse de soufre pour le Jet A1 ne doit pas dépasser le 0,3 %.

## CHAPITRE II: CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DU CARBUREACTEUR

Pour définir la qualité d'un produit pétrolier plusieurs propriétés doivent être étudiées. Pour le carburéacteur deux grandes propriétés sont à considérer. L'une concerne les propriétés physiques et l'autre, les propriétés chimiques.

### II.1.- LES PROPRIETES PHYSIQUES

Ce sont des paramètres habituellement demandés lors de contrôle de qualité du carburéacteur. Ils sont de plusieurs types.

#### *II.1.1.- LA DISTILLATION ASTM [7]*

La distillation est un procédé de séparation qui est basée sur la différence des points d'ébullition entre les produits qui se mélangent et même se dissolvent les uns dans les autres. Chaque produit se vaporise et se condense successivement après passage à travers un refroidisseur; le liquide ainsi recueilli est le distillat.

La distillation est réalisée avec un appareil comportant un chauffe ballon, un ballon de 100 ou 200 cm<sup>3</sup> surmonté d'un réfrigérant à eau et une éprouvette graduée pour recueillir les distillats.

La courbe de distillation ASTM est la courbe obtenue en distillant le produit à analyser dans un appareillage simple soumis à des conditions normalisées: volume du ballon de distillation, vitesse de chauffage, volume de la prise d'essai...

La température d'apparition de la première goutte de condensat est notée **PI** ou point initial. Des différentes températures sont aussi relevées pour les 5, 10, 15, 20. . . . 90 et 95 % en volume distillé.

La dernière goutte vaporisée indique la fin de la distillation et la température correspondante est le point final ou **PF**

On peut faire alors le bilan volumétrique suivant:  $\boxed{r + d + p = 100}$  (1)

**d** est le pourcentage de distillat recueilli

**r** est le pourcentage du liquide résiduel

**p** est le pourcentage de la perte

Les valeurs sont reportées sur un diagramme ayant les pourcentages distillés en abscisse et les températures en ordonnée. Enfin tous les points sont réunis en une seule courbe et on obtient ainsi la courbe de distillation ASTM du produit.

La courbe de distillation ASTM peut nous renseigner sur la composition chimique du produit et les données ainsi obtenues sont très importantes lors de son étude.

Pour le carburéacteur les normes en vigueur exigent que plus de 10 % soient distillés à 204 °C et que le point final soit inférieur à 300 °C.

### **II.1.2.- LA DENSITE [8]**

La densité est une grandeur nécessaire pour effectuer le bilan massique d'un produit. Elle est obtenue par l'utilisation d'un hydromètre mais pour une mesure plus précise on a recours à la méthode de flacon ou pycnomètre.

- **La densité relative** est le rapport du poids d'un volume d'échantillon prise à une température *t* au poids d'un même volume d'eau prise à une température standard qui est de 4°C. Le choix de l'état standard à 4°C est que la masse volumique de l'eau y est maximale.

$$d_4^t = \frac{\text{Poids d'un volume de produit à la température } t}{\text{Poids du même volume d'eau à } 4^\circ\text{C}} \quad (2)$$

- **La densité API** ou API gravity est définie par la formule suivante :

$$^\circ \text{API} = \frac{141,5}{\text{sp. gr } 60/60 \text{ F}} - 131,5 \quad (3)$$

Où sp.gr 60/60F est la densité mesurée à 60°F

Se rappeler que  $^\circ\text{F} = 1,8(^\circ\text{C}) + 32$



Signalons aussi que pour les pays anglo-saxons les mots *specific gravity* et *density* signifient respectivement densité et masse volumique.

### ***II.1.3.- LA VISCOSITE [9]***

La viscosité est la propriété d'un fluide qui tend à empêcher son écoulement lorsqu'il est soumis à l'application d'une force.

- ***La viscosité dynamique  $\mu$*** , exprimée en pascal par seconde " $\text{Pa.s}^{-1}$ ", s'écrit

$$\mu = \frac{\text{force} \times \text{longueur}}{\text{surface} \times \text{vitesse}} \quad (4)$$

- ***La viscosité relative*** est le rapport de la viscosité du liquide à celle de l'eau mesurée à 20 °C.

- ***La viscosité cinématique  $\nu$***  est par définition le rapport entre la viscosité absolue et la densité mesurées à la même température. Elle peut être obtenue en utilisant le temps d'écoulement  $t$  du produit à travers le capillaire d'un viscosimètre. Elle s'exprime en stokes (CGS) ou en  $\text{m}^2/\text{s}$  (SI). On distingue plusieurs types de viscosimètres qui répondent aux normes tels:

- Le viscosimètre Ubbelohde
- Le viscosimètre de type Cannon- Fenske
- Le viscosimètre Fitz Simon
- Le viscosimètre Zeifuchs et Pinkevitch

$$\nu = K (t - \theta) \quad [10] \quad (5)$$

$t$  = est le temps d'écoulement du produit à travers un viscosimètre.

$\theta$  = est la correction en seconde.

$K$  = est une constante proportionnelle au viscosimètre.

#### ***II.1.4.- L'INDICE DE REFRACTION [11]***

On appelle réfraction le changement de direction que subit un rayon lumineux en passant d'un milieu optique donné à un autre. Ce changement est dû à une modification de la vitesse de propagation de la lumière au contact de l'interface de ces deux milieux.

Plus précisément, pour une onde monochromatique, de longueur d'onde  $\lambda$  à température et pression fixées, l'indice  $n$  d'un milieu est défini par le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide, notée  $c$  et celle mesurée dans ce milieu, notée  $v$ .

$$n = \frac{c}{v} \quad (6)$$

Dans la pratique, l'indice de réfraction est mesuré à l'aide d'un réfractomètre muni de deux prismes éclairés par une lampe avec une longueur d'onde bien précise.

Afin de préciser la température et la longueur d'onde utilisée, on fait suivre l'indice de réfraction  $n$  d'un exposant représentant la température et d'un indice indiquant la nature de la radiation monochromatique de référence considérée. Dans la littérature, l'indice de réfraction est souvent donné à 20 °C, à la longueur d'onde de référence de la raie D du sodium (589 nm). On le note alors  $n_D^{20}$ .

#### ***II.1.5.- LE POINT D'ECLAIR [12]***

Le point d'éclair est la température à laquelle la vapeur du produit s'enflamme spontanément et émet une petite explosion au contact d'une mèche de flamme.

Le point d'éclair se mesure en vase clos ou ouvert muni d'un thermostat. La flamme est alimentée avec de l'acétylène.

Cette essai nous renseigne sur la teneur en produits volatils du carburacteur et nous permet ainsi de connaître à quelle température il peut être chauffé sans risque d'explosion.

## II.2- LES PROPRIETES CHIMIQUES

Les produits pétroliers sont des mélanges de plusieurs familles d'hydrocarbures; aromatiques, paraffiniques, naphéniques, oléfiniques et d'autres composés chimiques. Une étude sur les propriétés chimiques va nous permettre de confirmer la présence de ces familles chimiques et de prédire leurs quantités respectives.

### II.2.1 LA MASSE MOLECULAIRE MOYENNE

La fraction pétrolière est composée d'innombrable molécules d'hydrocarbures ainsi que d'autres molécules chimiques (additifs, impuretés...). Pour l'étude des produits pétroliers, on utilise le terme de masse moléculaire moyenne par nombre symbolisé par  $M_n$ ; c'est la valeur obtenue en pondérant chaque masse molaire par le nombre de molécules présentes dans l'échantillon. Nous avons alors:

$$M_n = \frac{1}{N} \sum_i N_i M_i \quad (7)$$

$M_i$  : masse molaire du constituant  $i$

$N_i$  : nombre de molécules de masse molaire  $M_i$

$N$  : nombre total de molécules dans l'échantillon

Pour le carburéacteur, plusieurs techniques permettent de mesurer la masse moléculaire moyenne

#### II.2.1.1.- la méthode des abaques [13]

Par cette méthode la masse moléculaire est obtenue à partir des courbes iso-propriétés représentées dans les figures ci-dessous en utilisant la densité et la température moyenne d'ébullition  $t_{mav}$  du produit

$$\text{La pente} \quad S = \frac{t_{70} - t_{10}}{60} \quad \text{exprimée en } ^\circ\text{C}/\% \quad (8)$$

La température moyenne volumique  $t_v = \frac{t_{10} + 2t_{50} + t_{90}}{4}$  (9)

La figure 2 fournit les corrections à apporter à  $t_v$  pour obtenir la température moyenne pondérée  $t_{mav}$  tandis que la figure 3 permet d'obtenir la masse moléculaire moyenne.

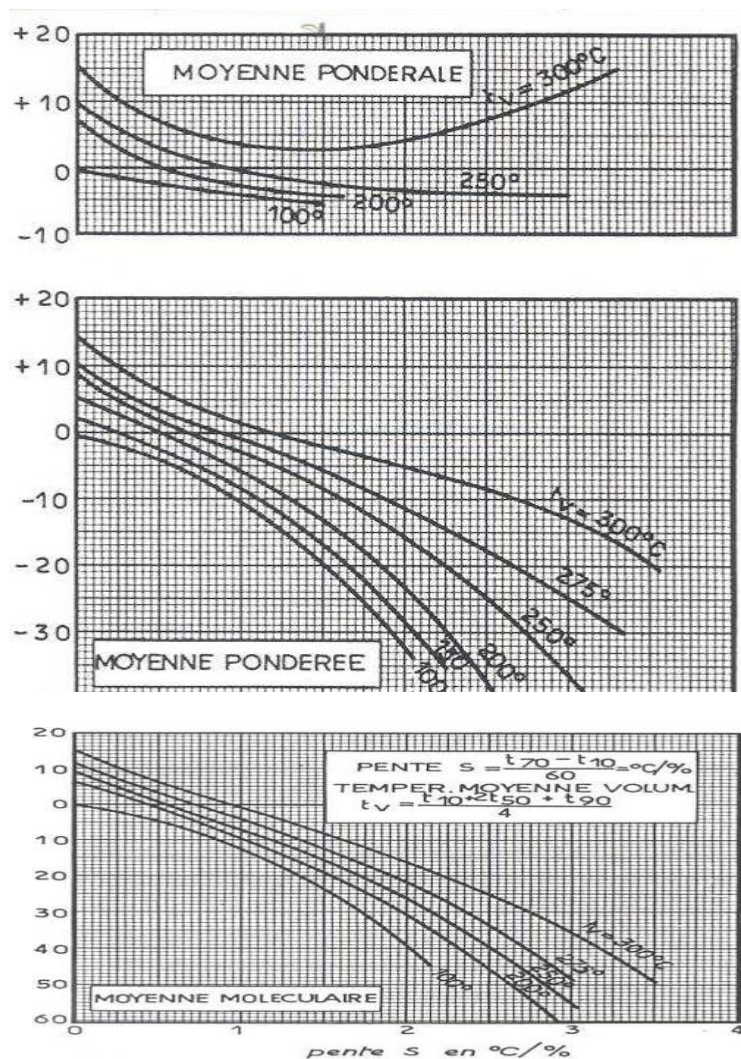


Figure 2: Détermination des différentes températures moyennes d'ébullition



### ***II.2.2 LE FACTEUR DE CARACTERISATION $K_{UOP}$ [13]***

Nous savons que le pétrole brut et les fractions pétrolières sont des mélanges de nombreux hydrocarbures purs et qu'un simple travail de laboratoire ne permet pas leur identification individuelle. Mais en utilisant le facteur de caractérisation  $K_{UOP}$  il est possible de définir la nature chimique moyenne d'une fraction pétrolière comme le carburéacteur.

Le facteur de caractérisation  $K_{UOP}$  peut être obtenu de deux manières différentes:

#### ***II.2.2.1.- Par la méthode des abaques***

Connaissant la densité, la température d'ébullition et la masse moléculaire du produit, le facteur de caractérisation est obtenu par une simple lecture de la courbe sur la figure 3.

#### ***II.2.2.2.- Par calcul***

Trois chercheurs, Nelson, Watson et Murphy de la société UOP (Universal Oil Product) ont établi une relation mathématique entre la specific gravity et la température d'ébullition pour définir le facteur de caractérisation  $K_{UOP}$ .

$$K_{UOP} = \frac{\sqrt[3]{T(^{\circ}R)}}{sp.gr.60/60} \quad (12)$$

Avec  $T$  : la température d'ébullition en degrés Rankine.

$$^{\circ}R = 1,8(^{\circ}C) + 491,7$$

Les valeurs du  $K_{UOP}$  des hydrocarbures de différentes familles chimiques sont les suivantes :

- $K_{UOP} = 13$  : paraffiniques normaux ou iso ;
- $K_{UOP} = 12$  : hydrocarbures mixtes où le cycle et la chaîne sont équivalents ;
- $K_{UOP} = 11$  : naphténiques purs ou aromatiques légèrement substitués ;
- $K_{UOP} = 10$  : aromatiques purs.

### II.2.3 LA REPARTITION PAR FAMILLES

Une étude sur la répartition par famille des hydrocarbures est essentielle car elle permet de définir la composition chimique de l'échantillon.

#### II.2.3.1.- la méthode de Huang [13]

Pour différencier les familles d'hydrocarbures, Huang a proposé l'équation suivante qui fait intervenir seulement l'indice de réfraction **n**.

$$I = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \quad (13)$$

La valeur obtenue est alors comparée avec celles du tableau 2 suivant pour permettre d'attribuer la nature chimique de l'échantillon.

Tableau 2: la valeur de I pour les familles d'hydrocarbures

Type d'hydrocarbure	Paraffinique	Naphténique	Aromatique
I	0,267-0,273	0,278-0,308	0,298-0,362

#### II.2.3.2.- La refractivity intercept RI [13]

La refractivity intercept ou RI est une méthode proposée par Kurtz et Ward afin de caractériser les familles chimiques d'hydrocarbures : paraffinique, naphténique et aromatique. Elle utilise comme paramètres l'indice de réfraction **n** et la densité **d**.

$$RI = n - \frac{d}{2} \quad (14)$$

Le tableau suivant nous donne les fourchettes de valeur pour chaque famille chimique d'hydrocarbure.

Tableau 3: Valeur de RI pour chaque famille d'hydrocarbures

Type d'hydrocarbure	Paraffinique	Naphténique	Aromatique
RI	1,048-1,050	1,030-1,046	1,070-1,105

### ***II.2.3.3- la chromatographie en phase gazeuse ou CPG [14]***

Martin et Synge (en 1941) ont eu l'idée d'utiliser un gaz comme phase mobile dans une expérience de chromatographie. A cette époque la chromatographie liquide- liquide était la seule méthode existante.

Actuellement, grâce à de multiples avantages, l'utilisation du CPG est en plein essor:

- Possibilité de séparer les constituants d'un mélange très complexe;
- Possibilité de travailler sur des quantités très faibles d'échantillon;
- Simplicité de la technique par rapport aux autres méthodes ;
- Résultats facilement interprétables.

#### **II.2.3.4.1.- Principe de la CPG [15]**

La chromatographie en phase gazeuse (CPG) est une technique de séparation et de quantification des mélanges complexes, liquide ou gazeux. Elle est basée sur le principe d'adsorption; le mélange à analyser est entraîné à travers une colonne remplie de phase stationnaire par le gaz vecteur qui est un composé inerte (en général de l'azote, de l'hélium ou de l'hydrogène). Tous les constituants du mélange viennent alors s'adsorber sur la phase stationnaire et le temps de passage de chaque constituant à travers la colonne dépend alors de leur affinité vis-à-vis de la phase stationnaire; les constituants les moins adsorbés sortent de la colonne en premier. A la sortie de la colonne tous les constituants sont détectés en fonction de leur temps de rétention à travers la colonne.

#### **II.2.3.4.2.- Appareillage et fonctionnement [16]**

Schématiquement un appareil de CPG comprend quatre parties bien distinctes; à savoir le système d'injection (1), le système de séparation (2), le détecteur (3) qui est relié à une sortie électronique (4) qui nous donne les résultats sous forme des chromatogrammes. Un chromatographe en phase gazeuse est représenté schématiquement par la figure 4 suivante :



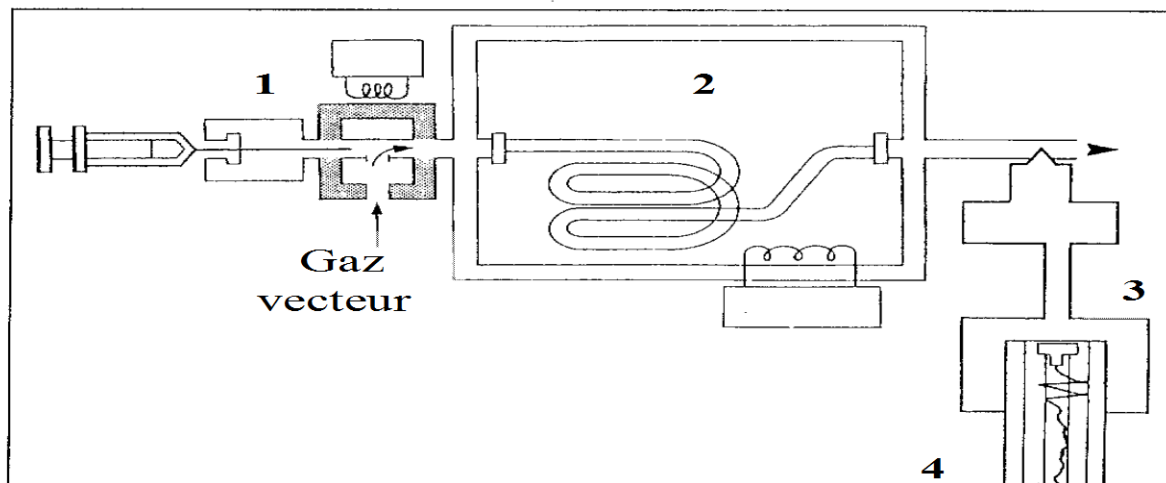


Figure 4 : Représentation schématique d'un CPG [17]

#### - l'injecteur

L'injection du mélange à analyser se fait au moyen d'une seringue hypodermique de petite capacité (1 à 10  $\mu\text{l}$ ) à travers l'orifice de l'injecteur (le septum). À l'intérieur de l'injecteur, le composé est mélangé avec le gaz vecteur et entraîné dans la colonne.

À l'intérieur de l'injecteur, il est primordial de bien contrôler la pression et le débit du gaz vecteur car cela influence directement la qualité de la séparation, d'où la nécessité de placer un régulateur de gaz.

#### - la colonne chromatographique [18]

C'est le cœur du chromatographe. C'est dans cette section que la séparation du produit en ses différents constituants se poursuit.

La colonne chromatographique est constituée d'une part d'un contenant qui est un tube en métal, en verre ou en plastique de dimensions bien spécifiées (longueur et diamètre) et d'autre part d'un contenu constitué par le support et la phase stationnaire qui détermine la spécification de la colonne.

On distingue deux types de colonnes:

- **les colonnes remplies**: en verre ou en acier, de 1 à 3 m de longueur et d'un diamètre interne compris entre 1 à 4 mm.

- **les colonnes capillaires**: formées d'un tube en métal, en verre ou en silice fondue. Le diamètre intérieur est de l'ordre de 0,2 à 0,5 mm et la longueur varie de 25 à 100 m ou plus.


- **la phase stationnaire** [19]

La phase stationnaire est déposée en couche mince de 0,1 à 5 µm sur le support (pour les colonnes remplies) ou bien sous forme d'enduit sur la paroi interne de la colonne (pour les colonnes capillaires).

En général on distingue deux types de phases stationnaires; les phases apolaires constituées par des molécules de très faible polarité et les phases polaires, mais il existe des phases à polarité intermédiaire qui sont de combinaison des composés polaires et apolaires.

Le tableau 4 ci-dessous nous donne quelques types de phases stationnaires avec leurs polarités ainsi que leur domaines d'utilisation.

Tableau 4 : quelques types des phases stationnaires

<b>POLARITE</b>	<b>PHASE STATIONNAIRE</b>	<b>DOMAINES D'UTILISATION</b>
Apolaire  	Le squalane (C <sub>30</sub> H <sub>62</sub> )	
	Polydiméthyl siloxane	Hydrocarbure, aromatique
	5 % phényl-polydiméthyl siloxane	Esters méthyliques, alcaloïdes...
	50 % phényl-polydiméthyl siloxane	Pesticides, glycols...
	70 % trifluoropropyl-polydiméthyl siloxane	Composés chlorés, cétones...
	14 % cyanopropylphényl - 86 % diméthyl polysiloxane	Pesticides, alcool...
	50 % cyanopropyl-polydiméthyl siloxane	Acides gras polyinsaturés...
	Carbowax	Acide aminé
Polaire	Diéthylèneglycolsuccinate	Pesticides...

- **le système de chauffage**

Chaque partie de la chromatographe est équipée d'un système de chauffage permettant de garder le mélange soluté solvant sous forme de gaz tous au long de l'opération.

Pour l'injecteur et le détecteur, la vaporisation est assurée par une résistance chauffante tandis que pour la colonne le système de chauffage est à bain d'air, il est composé d'une résistance chauffante, d'un système de ventilation et de brassage.

- **le détecteur et enregistreur** [20]

Le détecteur est un dispositif permettant d'identifier la composition chimique du soluté. Les informations chimiques provenant de l'effluent de la colonne sont converties en un signal électrique qu'on enregistre sous forme de chromatogramme. Le chromatogramme obtenu est constitué par des pics qui représentent le temps de passage de l'élément au niveau du détecteur et de sa quantité dans le mélange.

Selon le type de produit qu'on veut analyser, il existe plusieurs variétés de détecteur. Le tableau 5 suivant donne différents types de détecteurs.

Tableau 5: Les différents types de détecteurs

Type de détecteurs	Types de produits
Ionisation à flamme (FID)	hydrocarbures, esters méthyliques, acides gras et des stéroïdes.
Conductibilité thermique (TCD)	Standard
Capture d'électrons (ECD)	les pesticides chlorés, l'étude de pollution de l'atmosphère
Thermo-ionisation (TID)	Produits azotés ou phosphorés
Photo-ionisation (PID)	Produits oxygénés, soufrés, organométalliques...
Photométrie (FPD)	présence de soufre et phosphore

#### II.2.3.4.3.- L'indice de rétention de Kovats $I_K$ [20]

L'indice de rétention de Kovats  $I_K$  est un paramètre universel permettant l'identification d'un constituant chimique, il est calculé à partir des temps de rétention du mélange et les temps de rétention d'un échantillon d'hydrocarbures linéaires.

Des bases de données comportant les indices de Kovats de nombreux composés chimiques sont accessibles afin de faciliter la détermination des constituants lors d'une analyse en CPG, citons à titre d'exemples : THE PHEROBASE, NIST LIBRARY, LOTUS CONSULTING....

Le calcul de l'indice de Kovats [21] peut être fait de deux manières:

$$\text{A gradient de température} \quad I = 100 \times \left( n + (N - n) \frac{t_R(X) - t_R(n)}{t_R(N) - t_R(n)} \right) \quad (22)$$

$$\text{A température constante} \quad I = 100 \times \left( n + (N - n) \frac{\log t_R(X) - \log t_R(n)}{\log t_R(N) - \log t_R(n)} \right) \quad (23)$$

Avec : n le nombre d'atomes de carbone de l'alcane du pic précédent.

N le nombre d'atome de carbones de l'alcane du pic suivant.

X désigne le pic inconnu.

$t_R$  est le temps de rétention.

## DEUXIEME PARTIE: TRAVAUX PERSONNELS

*Rapport-gratuit.com*   
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

## CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSIONS

Dans cette partie, nous allons essayer de déterminer les propriétés développées dans les chapitres précédents sur un échantillon de carburéacteur de type jet A1 mis gracieusement à notre disposition par l'Office Malgache des Hydrocarbures (OMH).

Toutes les mesures physico-chimiques faites sur l'échantillon ont été réalisées au sein du Laboratoire de Contrôle de Pesticides (LCP) sis à Nanisana.

### III.1.- ETUDES DES PROPRIETES PHYSIQUES

L'étude des propriétés physiques englobe plusieurs mesures qui nous seront utiles pour vérifier la qualité de notre échantillon et pour faire des analyses plus profondes de notre produit.

#### *III.1.1.- MESURE DE LA VISCOSITE CINEMATIQUE*

La mesure de la viscosité est effectuée à l'aide d'un viscosimètre capillaire du type Ubbelohde avec niveau sphérique suspendu répondant aux normes ISO 3015, ASTM D 2515

Le tube capillaire est du type  $I_c$  avec un diamètre de 0,84 mm.

La mesure de la viscosité a été faite pour deux températures différentes, à 20 °C et 40 °C. Les résultats sont inscrits dans le tableau 6 ci-dessous.

Tableau 6:Viscosité du jet A1

Température	Viscosité (cSt)
20 °C	<b>1,390</b>
40 °C	<b>1,320</b>

On constate à partir de ce résultat que la viscosité diminue à mesure que la température augmente. En effet, la fluidité de l'échantillon augmente avec la température, ce qui a pour conséquence de diminuer la viscosité de l'échantillon.

### ***III.1.2.- MESURE DU POINT D'ECLAIR***

La mesure est faite à l'aide d'un Seta-Flash enflammé par de l'acétylène. La mesure est effectuée trois fois pour assurer la reproductibilité de nos résultats. Le tableau 7 suivant résume les résultats obtenus.

Tableau 7: Point d'éclair du jet A1

Mesures	1	2	3
Point d'éclair (°C)	44	44	44

Ce résultat indique la présence de composés volatils dans notre échantillon.

### ***III.1.3- MESURE DE L'INDICE DE REFRACTION***

Le matériel utilisé est un réfractomètre d'ABBE de marque KRUSS utilisant la raie D du sodium. La mesure est faite à une température de 20 °C. La valeur obtenue est  $n_D^{20} = 1,4395$ .

### ***III.1.4.- MESURE DE LA DENSITE***

La mesure est effectuée à l'aide d'un pycnomètre de 25 mL. Pour la masse d'eau à 4 °C, on s'est référé à la valeur donnée par la littérature. La densité obtenue de 0,7892 indique que l'échantillon étudié est conforme à la norme pour le carburéacteur.

### ***III.1.5.- DISTILLATION ASTM***

La distillation est faite avec une prise d'essai de 200 mL et l'expérience est effectuée deux fois.

Les résultats de la distillation sont notés dans les tableaux 8 et 9 suivants.

Tableau 8: Distillation ASTM du jet A1

ESSAI N°1				ESSAI N°2			
% vol	T (°C)	% vol	T (°C)	% vol	T (°C)	% vol	T (°C)
PI	135,6			PI	133,2		
5	148,5	55	195.2	5	144,5	55	195.5
10	153,2	60	198	10	160,1	60	201
15	161,3	65	204	15	166,1	65	205
20	166,1	70	210	20	169,7	70	210
25	168,7	75	216	25	171,8	75	221
30	172,5	80	222	30	176,0	80	224
35	177,7	85	227	35	179,6	85	228
40	180,2	90	233	40	185,2	90	235
45	183,4	95	-	45	189,6	95	-
50	191,5	PF	237	50	193,4	PF	239

Tableau 9: Bilan volumétrique de la distillation

ESSAI N°1				ESSAI N°2			
Prise ml	Recueilli % vol	Résidu % vol	Perte % vol	Prise ml	Recueilli % vol	Résidu % vol	Perte % vol
200	98	1	1	200	97,5	1,75	0,75

Les volumes recueillis au tableau 8 permettent de tracer la courbe de distillation ASTM de notre produit.



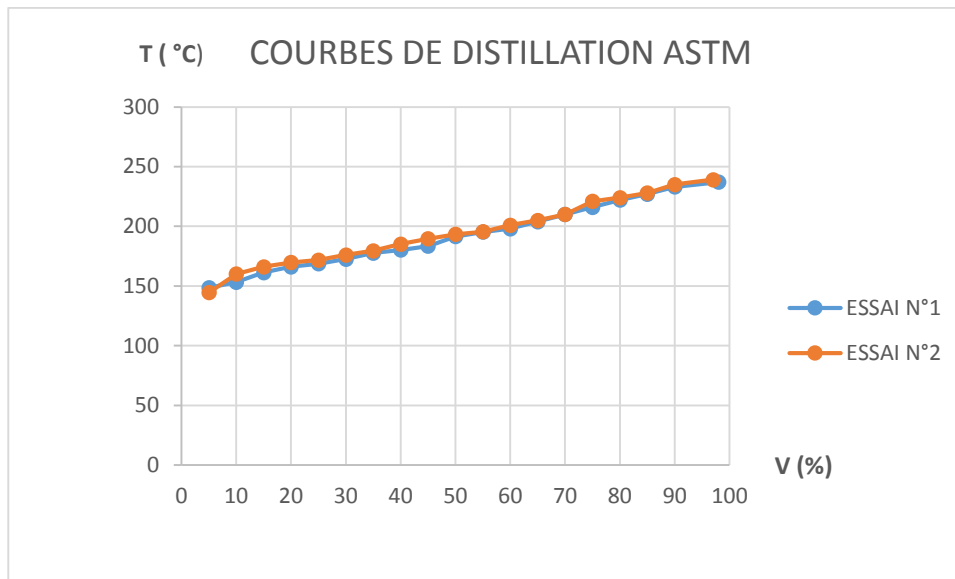


Figure 5: Courbes de distillation ASTM du jet A1

A partir des résultats de la distillation et des courbes de distillation ASTM nous pouvons admettre que notre échantillon répond bien aux normes exigées pour le carburéacteur : point 10 % inférieur à 205 °C et point final de distillation inférieur à 300 °C. C'est aussi le cas pour le bilan volumétrique.

## III.2.- ETUDE DES PROPRIETES CHIMIQUES

Cette partie va nous permettre d'avoir des renseignements sur la composition chimique de notre échantillon.

### III.2.1 MASSE MOLECULAIRE MOYENNE

Plusieurs méthodes sont à notre disposition pour permettre de calculer la masse moléculaire moyenne de notre produit

#### III.2.1.1.- Par la méthode des abaques

Pour parvenir à la valeur du poids moléculaire moyenne il nous faut calculer la température moyenne pondérée ( $T_{\text{mav}}$ ) de notre échantillon.

Les valeurs obtenues sont dans le tableau ci-dessous:

Tableau 10: Masse moléculaire moyenne

	<b>S</b>	<b>T<sub>v</sub></b>	<b>T<sub>mav</sub></b>	<b>M</b>
<b>ESSAI N°1</b>	0,946	192,3	186,3	<b>150</b>
<b>ESSAI N°2</b>	0,831	195,4	1904	<b>155</b>

Par cette méthode, nous pouvons dire que la masse moléculaire moyenne est de 153.

### **III.2.1.2.- Par la méthode de Huang**

Selon Huang, connaissant la température d'ébullition, la densité et le facteur de caractérisation d'Huang, la formule suivant nous permettra d'estimer la valeur du poids moléculaire moyen de notre produit.

$$M = 7.7776 \times 10^{-6} \times T_{eb}^{2.11987} \times I^{-2.089} \times d$$

Tableau 11: Masse moléculaire moyenne selon Huang

	<b>T<sub>éb</sub> (°R)</b>	<b>I</b>	<b>Densité</b>	<b>M</b>
<b>Essai N°1</b>	827.04	0,2633	07892	153
<b>Essai N°2</b>	834.42	0,2633	0.7892	155

Cette méthode de Huang conduit à une masse moléculaire moyenne de 154.

### **III.2.1.3- Par la méthode de Riazi- Daubert**

Comme nous avons les valeurs de la densité et de la température d'ébullition de notre échantillon, la valeur du poids moléculaire moyen est déduite de la formule (F12).

$$M = 981,62 \times e^{\left(-1,135 \cdot 10^{-3} \times T_{eb} - 11,869 \times d + 2,509 \cdot 10^{-3} \times T_{eb} \times d\right)} \times T_{eb}^{1,2752} \times d^{7,4615}$$

Tableau 12: Masse moléculaire moyenne selon la méthode Riazi-Daubert

	<b>T<sub>eb</sub> (°R)</b>	densité	<b>M</b>
<b>ESSAI N°1</b>	827,04	0,7892	152
<b>ESSAI N°2</b>	834,42	0,7892	154

En utilisant, la méthode de Riazi-Daubert, la masse moléculaire moyenne de l'échantillon de Jet A1 est de 153.

A partir de ces trois méthodes, nous en déduisons que la masse moléculaire moyenne de notre échantillon est d'environ 153. Nous pouvons alors estimer que les hydrocarbures ayant entre dix et onze atomes de carbone sont les plus répandus dans notre échantillon.

### ***III.2.2.- REPARTITION PAR FAMILLES***

Plusieurs méthodes sont à notre disposition pour nous permettre de déterminer la nature chimique de l'échantillon étudié et de connaître avec plus de précision la répartition par familles des constituants hydrocarbonés.

#### ***III.2.2.1.- Facteur de caractérisation de Huang I***

La valeur du facteur de caractérisation de Huang est donnée au tableau 13 suivant.

Tableau 13: Valeur de I

<b>n</b>	<b>I</b>
1,4395	<b>0,2633</b>

En comparant le résultat obtenu avec celui du tableau 2 nous pouvons dire que notre échantillon est de nature paraffinique.

### ***III.2.2.2.- Refractivity intercept RI***

La valeur de la RI pour l'échantillon est donnée au tableau 14 ci-dessous.

Tableau 14: Valeur de RI

<b>n</b>	<b>d</b>	<b>RI</b>
1,4395	0,7892	<b>1,0449</b>

La valeur de la RI trouvée est comprise entre 1,030-1,046, alors nous pouvons dire que notre échantillon est de nature naphénique.

### ***III.2.2.3.- Facteur de caractérisation $K_{UOP}$***

La valeur du facteur de caractérisation est lue sur la figure 3 en apportant la température d'ébullition en abscisse et celle de la densité en coordonnée. Nous en déduisons les valeurs suivantes.

Tableau 15: valeur du facteur de caractérisation selon la méthode des abaques

	<b>d</b>	<b>T<sub>éb</sub></b>	<b><math>K_{UOP}</math></b>
<b>ESSAI N°1</b>	0,7892	186,3	<b>12</b>
<b>ESSAI N°2</b>	0,7892	190,4	<b>12</b>

Puisque les valeurs de  $K_{UOP}$  correspondant aux familles chimiques d'hydrocarbures sont les suivantes :

- $K_{UOP} = 13$  : paraffinique normaux ou iso ;
- $K_{UOP} = 12$  : hydrocarbures mixtes où les cycles et les chaînes sont équivalents ;
- $K_{UOP} = 11$  : naphéniques purs ou aromatiques légèrement substitués ;
- $K_{UOP} = 10$  : aromatiques purs.

Nous pouvons déduire que le jet A1 est composé majoritairement par des hydrocarbures mixtes où les chaînes et les cycles sont équivalents.

#### ***III.2.2.4- Méthode chromatographique en phase gazeuse***

L'analyse de notre échantillon sera faite par un chromatographe en phase gazeuse de marque SHIMADZU du type GC 8A avec un détecteur à ionisation de flamme (FID). Les calculs sont effectués à l'aide du logiciel WINLAB 10.

- **Analyse du jet A1 par GC-FID**

La GC- FID va nous permettre de connaître la composition chimique de notre échantillon. Nous pouvons alors identifier les molécules qui composent notre échantillon ainsi que leurs concentrations respectives.

Les conditions d'opérations pour l'analyse seront les suivantes.

**Colonne capillaire apolaire:** OV1 (30m x 0,32 mm x 0,25  $\mu$ m)

**Gaz vecteur:** Azote U - Debit: 3 ml/min

**Injection:** 1  $\mu$ L avec un microsiringue standard de 10  $\mu$ L

**Rapport de fuite:** 1/50

**Intégration:** pourcentage d'aire

Le chromatogramme correspondant à l'analyse par GC-FID de l'échantillon jet A1 est donné à la figure 6 suivante

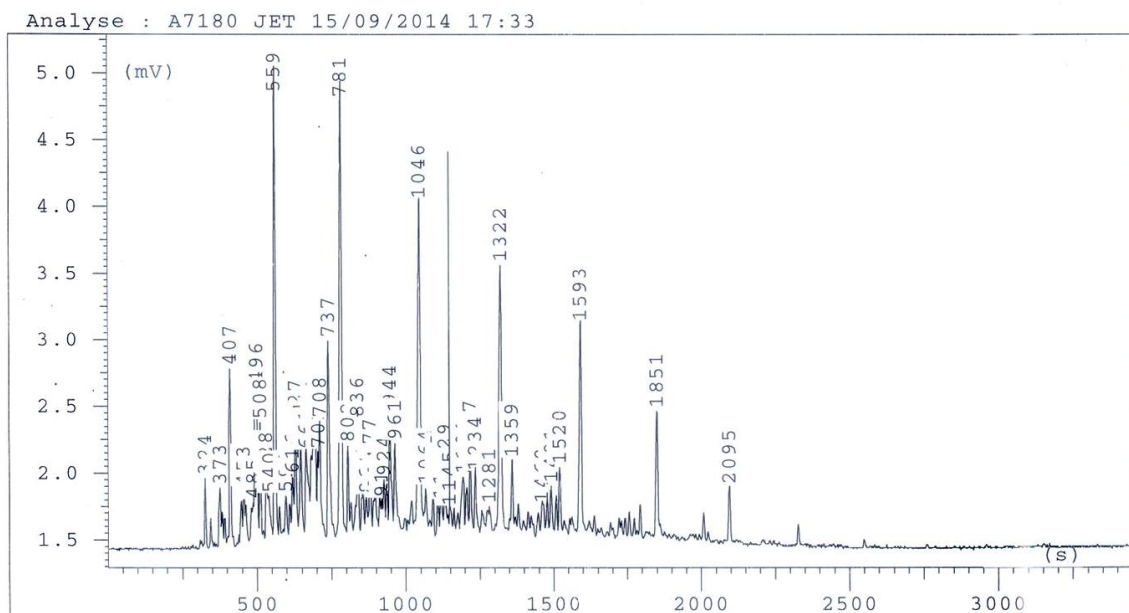


Figure 6 : Chromatogramme de l'échantillon jet A1.

- **Analyse des hydrocarbures C<sub>8</sub> à C<sub>22</sub>**

Le mélange de référence de paraffines linéaires est constitué par des hydrocarbures allant de C<sub>8</sub> à C<sub>22</sub>. Les temps de rétention de ces hydrocarbures vont nous permettre de calculer les indices de Kovats des constituants de notre échantillon.

La figure 7 ci-dessous donne le chromatogramme de ce mélange de référence.

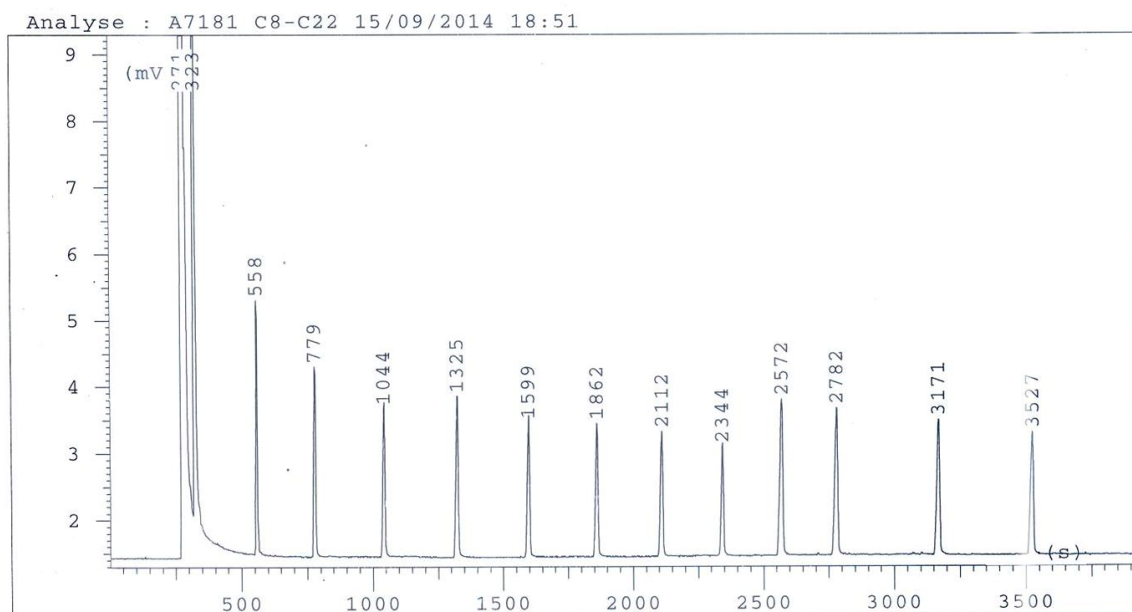


Figure 7 : Chromatogramme du mélange d'hydrocarbures linéaires de référence

Après avoir calculé l'indice de Kovats correspondant à chaque pic du chromatogramme du Jet A1 (figure 6) et en utilisant les bases de données disponibles, nous pouvons proposer les structures chimiques suivantes ainsi que leurs concentrations respectives.

Les résultats de l'analyse chromatographique sont donnés aux tableaux 15 et 16 suivants :

▪ **Résultat de l'analyse chromatographique par nombre d'atomes de carbone**

Tableau 15: Résultat de l'analyse chromatographique par nombre d'atomes de carbone

	<b>I<sub>K</sub></b>	<b>pourcentage</b>	<b>Structure moléculaire proposée</b>	<b>Formule brute</b>
<b>C<sub>7</sub></b>	<b>855,319</b>	<b>1,555</b>	Toluène	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>
		<b>1,555</b>		

<b>C<sub>8</sub></b>	<b>802,857</b>	<b>0,742</b>	Octane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>
	<b>868,936</b>	<b>1,095</b>	1-Ethylbenzène	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>
	<b>878,723</b>	<b>1,563</b>	1,3-Diméthylbenzène	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>

	887,234	1,139	1,4-Diméthylbenzène	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>
	821,277	0,898	1,3-Octadiène	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>
	835,745	2,162	cis-1,2-Diméthylcyclohexane	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>
		7,599		

C <sub>9</sub>	926,244	1,018	(1-Méthyléthyl) benzène	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>
	873,617	3,866	3-méthyl-octane	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>
	900,452	6,817	Nonane	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>
	962,443	1,859	(E)-2-Nonène	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>
	892,340	1,325	(2-Méthylpropyl) cyclopentane	C <sub>9</sub> H <sub>19</sub>
	916,290	0,937	cis-1-Ethyl-2-méthylcyclohexane	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>
	931,222	2,256	1-Propen-2-cylcyclohexane	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub>
	938,914	2,383	Propylcyclohexane	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>
		20,461		

C <sub>10</sub>	946,606	2,938	3, 4,5-Triméthylheptane	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>
	965,611	1,241	2-méthyl-nonane	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>
	1000,755	9,190	Décane	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>
	1051,698	0,914	2,2,5,5-Tetraméthylhexane	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>
	1032,075	0,764	3-Butenylbenzène	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub>
	1054,717	0,776	1,3-Diéthylbenzène	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>
	1135,943	1,067	5-Méthylindane	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub>
	1036,981	1,209	1-Méthyl-4-(1-méthyléthényle)-cyclohexène	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>
	958,371	3,088	2,2-Diméthyl-3-méthylènebicyclo [2.2.1] heptane	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>
	967,873	1,897	1-Isopropyl-4-méthylcyclohexane	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>
	980,995	3,944	1-tert-Butylcyclohexane	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>



	1008,679	1,060	(1S)-6,6-Diméthyl-2-méthylènebicyclo[3.1.1]heptane	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>
	1021,509	2,301	1,3-Diéthylcyclohexane	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>
	1027,925	0,961	Cyclodécane	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>
	1043,396	1,235	7,7-Diméthyl-2-méthylènebicyclo [2.2.1] heptane	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>
	1062,264	2,175	trans-2,6,6-Triméthylbicyclo[3.1.1]heptane	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>
	1068,679	1,796	1,7,7-Triméthylbicyclo[2.2.1]heptane	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>
		36,555		

C <sub>11</sub>	1100,712	7,526	Undécane	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>
	1107,117	0,763	(3-Méthylbutyl)-benzène	C <sub>11</sub> H <sub>16</sub>
	1152,313	1,585	1,3-Diméthyl-4-propylbenzène	C <sub>11</sub> H <sub>16</sub>
	1161,566	1,372	1,3-Diméthyl-2-propylbenzene	C <sub>11</sub> H <sub>16</sub>
	1184,342	0,732	1,2,5-Triméthyl-3-ethylbenzene	C <sub>11</sub> H <sub>16</sub>
	1260,584	0,949	1,2-Diméthylindane	C <sub>11</sub> H <sub>14</sub>
	1271,168	1,092	2-Méthyl-naphthalène	C <sub>11</sub> H <sub>10</sub>
	1121,708	0,719	Amylcyclohexane	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>
	1125,623	0,868	3-méthyltricyclo (5.2.1) décane	C <sub>11</sub> H <sub>12</sub>
	1130,249	1,431	Hexylcyclopentane	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>
		17,038		

C <sub>12</sub>	1167,616	0,860	2-Méthylundécane	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>
	1198,932	6,195	Dodécane	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>
	1249,270	0,979	1-Butyl-2,4-diméthylbenzène	C <sub>12</sub> H <sub>18</sub>
		8,035		

C <sub>13</sub>	1297,810	4,208	Tridecane	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>
-----------------	----------	-------	-----------	---------------------------------

	<b>1212,409</b>	<b>1,243</b>	3,6-Diméthylundecane	$C_{13}H_{28}$
		<b>5,451</b>		

<b>C<sub>14</sub></b>	<b>1395,817</b>	<b>2,334</b>	Tetradécane	<b>C<sub>14</sub>H<sub>30</sub></b>
		<b>2,334</b>		
<b>?</b>	<b>1493,200</b>	<b>0,972</b>	Inconnu	-

Tableau 16: les squelettes carbonés majoritaires

Nombre de carbone	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>
pourcentage	20,461	36,555	17,038

Ces valeurs montrent que les hydrocarbures en C<sub>10</sub> sont majoritaires, puis viennent les C<sub>9</sub> et C<sub>11</sub>. L'analyse par CPG-FID confirme ainsi les résultats obtenus par les méthodes prédictives qui donnent une masse moléculaire moyenne de 153.

#### ▪ Résultat de l'analyse chromatographique par familles chimiques d'hydrocarbures

Le tableau 17 suivant donne les résultats de l'analyse chromatographique selon les familles chimiques d'hydrocarbures.

Tableau 17: Résultat de l'analyse chromatographique par familles chimiques

t <sub>r</sub>	I <sub>K</sub>	%	MOLECULE	Formule brute
			<b>PARAFFINIQUE</b>	
324	<b>802,857</b>	<b>0,742</b>	Octane	$C_8H_{18}$
496	<b>873,617</b>	<b>3,866</b>	3-méthyl-octane	$C_9H_{20}$
559	<b>900,452</b>	<b>6,817</b>	Nonane	$C_9H_{20}$
661	<b>946,606</b>	<b>2,938</b>	3, 4,5-Triméthylheptane	$C_{10}H_{22}$
703	<b>965,611</b>	<b>1,241</b>	2-méthyl-nonane	$C_{10}H_{22}$
781	<b>1000,755</b>	<b>9,190</b>	Décane	$C_{10}H_{22}$

916	1051,698	0,914	2, 2, 5,5-Tetraméthylhexane	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>
1046	1100,712	7,526	Undécane	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>
1234	1167,616	0,860	2-Méthylundecane	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>
1322	1198,932	6,195	Dodécane	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>
1359	1212,409	1,243	3,6-Diméthylundecane	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>
1593	1297,810	4,208	Tridécane	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>
1851	1395,817	2,334	Tetradécane	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>
		48,074		
			<b>AROMATIQUE</b>	
453	855,319	1,555	Toluène	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>
485	868,936	1,095	1-Ethylbenzène	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>
508	878,723	1,563	1,3-Diméthylbenzène	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>
528	887,234	1,139	1,4-Diméthylbenzène	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>
616	926,244	1,018	(1-Méthyléthyl)-benzène	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>
864	1032,075	0,764	3-Butenylbenzène	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub>
924	1054,717	0,776	1,3-Diéthylbenzène	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>
1064	1107,117	0,763	(3-Méthylbutyl)-benzène	C <sub>11</sub> H <sub>16</sub>
1145	1135,943	1,067	5-Methylindane	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub>
1191	1152,313	1,585	1,3-Diméthyl-4-propylbenzène	C <sub>11</sub> H <sub>16</sub>
1217	1161,566	1,372	1,3-Diméthyl-2-propylbenzène	C <sub>11</sub> H <sub>16</sub>
1281	1184,342	0,732	1, 2,5-Triméthyl-3-éthylbenzène	C <sub>11</sub> H <sub>16</sub>
1460	1249,270	0,979	1-Butyl-2,4-diméthylbenzène	C <sub>12</sub> H <sub>18</sub>
1491	1260,584	0,949	1,2-Diméthylindane	C <sub>11</sub> H <sub>14</sub>
1520	1271,168	1,092	2-Méthyl-naphthalène	C <sub>11</sub> H <sub>10</sub>
		16,449		

			<b>OLEFINIQUE</b>	
373	821,277	0,898	1,3-Octadiène	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>
696	962,443	1,859	(E)-2-Nonène	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>
877	1036,981	1,209	1-Méthyl-4-(1-méthyléthényl)-cyclohexène	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>
		3,966		

			<b>NAPHTENIQUE</b>	
407	835,745	2,162	cis-1,2-Diméthylcyclohexane	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>
540	892,340	1,325	(2-Méthylpropyl) cyclopentane	C <sub>9</sub> H <sub>19</sub>
594	916,290	0,937	cis-1-Ethyl-2-méthylcyclohexane	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>
627	931,222	2,256	1-Propen-2-cylcyclohexane	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub>
644	938,914	2,383	Propylcyclohexane	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>
687	958,371	3,088	2,2-Diméthyl-3-méthylènebicyclo [2.2.1] heptane	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>
708	967,873	1,897	1-Isopropyl-4-méthylcyclohexane	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>

737	<b>980,995</b>	<b>3,944</b>	1-tert-Butylcyclohexane	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>
802	<b>1008,679</b>	<b>1,060</b>	(1S)-6,6-Diméthyl-2-méthylènebicyclo [3.1.1] heptane	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>
836	<b>1021,509</b>	<b>2,301</b>	1,3-Diethylcyclohexane	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>
853	<b>1027,925</b>	<b>0,961</b>	Cyclodecane	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>
894	<b>1043,396</b>	<b>1,235</b>	7,7-Diméthyl-2-méthylènebicyclo [2.2.1] heptane	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>
944	<b>1062,264</b>	<b>2,175</b>	trans-2, 6,6-Triméthylbicyclo [3.1.1] heptane	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>
961	<b>1068,679</b>	<b>1,796</b>	1, 7,7-Triméthylbicyclo [2.2.1] heptane	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>
1105	<b>1121,708</b>	<b>0,719</b>	Amylcyclohexane	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>
1116	<b>1125,623</b>	<b>0,868</b>	3-Méthyltricyclo (5.2.1) décane	C <sub>11</sub> H <sub>12</sub>
1129	<b>1130,249</b>	<b>1,431</b>	Hexylcyclopentane	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>
		<b>30,538</b>		
<b>Pic inconnu</b>				
2095	<b>1493,200</b>	<b>0,972</b>	Inconnu	-

Le tableau 18 suivant donne le pourcentage des différentes familles chimiques présentes dans l'échantillon de carburéacteur

Tableau 18 : Pourcentage par famille

<b>aromatique</b>	<b>paraffinique</b>	<b>naphténique</b>	<b>oléfinique</b>
<b>16,450</b>	<b>48,074</b>	<b>30,538</b>	<b>3,966</b>

### III.3.- INTERPRETATION ET DISCUSSION

Le dernier tableau montre que l'échantillon renferme majoritairement des hydrocarbures paraffiniques. Ce résultat confirme ceux obtenus à partir des méthodes prédictives, en particulier celle de Huang. Viennent ensuite les naphténiques et les aromatiques. Par contre il n'y a que très peu d'oléfiniques. Ce résultat montre aussi que les hydrocarbures cycliques forment environ 47 % des molécules et les chaînes 53 %, ce qui pourrait expliquer la valeur de K<sub>UOP</sub> de 12.

D'après le tableau 19 faisant une récapitulation des résultats obtenus, nous pouvons faire les remarques suivantes:

- Concernant la densité, la valeur trouvée égale à 0,7892 montre que notre échantillon respecte les normes imposées.
- Il en est de même pour le point d'éclair (44 °C) qui indique une valeur supérieure à celle indiquée pour réduire les risques dus aux produits volatils.
- La courbe de distillation ASTM montre aussi que notre échantillon est conforme aux normes : 10 % distillant à une température inférieure à 205 °C et un point final inférieur à 300 °C.
- Le Jet-A1 est composé essentiellement par des hydrocarbures avec de chaînes carbonées allant de C<sub>8</sub> à C<sub>13</sub> dont majoritairement les hydrocarbures à 10 atomes de carbone.
- Une teneur peu élevée en oléfines réduit les risques de formation de gommes actuelles et potentielles dues à la polymérisation des hydrocarbures oléfiniques.
- De même la teneur en hydrocarbures aromatiques inférieure à 25 % est conforme aux normes et limite le dépôt de carbone qui dépend de cette teneur.

Tableau 19: tableau de récapitulation des analyses

CARACTERISTIQUES		MESUREES	NORMES [22]
DENSITE (20°C)		0,7892	0,775 – 0,840
VISCOSITE (en cSt)		1,390 (20 °C) 1,320 (40 °F)	-
POINT D'ECLAIR		44 °C	≥ 38 °C
INDICE DE REFRACTION		1,4395	-
DISTILLATION ASTM	< à 10 %	153,2-160,1	<205 °C
	PF	237-239	<300 °C
	Résidu (%vol)	1 - 1,75	1,5 max
	Perte (%vol)	1 - 0,75	1,5 max
MASSE MOLECULAIRE	Abaque	150 - 155	-
	Huang	153 - 155	
	Riazi-Daubert	152 - 154	
REPARTITION PAR FAMILLES	K <sub>UOP</sub>	12	-
	RI	1,0449	-
	I	0,2633	-
	CPG	Aromatique = 16,450% Oléfinique = 3,966 % Paraffinique = 49,048 % Naphténique = 30,538 %	25 % max 5 % max - -

## CONCLUSION

L'étude que nous venons d'entreprendre nous a permis de dégager les points suivants:

- La mesure des différentes caractéristiques physico-chimique de notre échantillon, comme la densité, le point d'éclair, la viscosité, la distillation ASTM, nous ont

permis d'affirmer que le carburéacteur commercialisé à Madagascar est bien conforme aux normes.

- L'utilisation des méthodes prédictives ou des abaques conduits à une masse moléculaire moyenne aux environs de 153, ce qui nous amène à dire que le carburéacteur contient en moyenne des hydrocarbures à dix ou onze atomes de carbone. Ces méthodes donnent des résultats contradictoires quant à la nature chimique de l'échantillon : le facteur de caractérisation  $K_{UOP}$  nous a conduits à dire que notre échantillon est un mélange d'hydrocarbures mixtes où les cycles et les chaînes sont équivalents alors que le facteur de caractérisation de Huang I, indique une nature paraffinique. Par contre, l'estimation faite à partir de la refractivity intercept RI prédit que notre échantillon est de nature naphénique. Ces contradictions peuvent s'expliquer par le fait les résultats obtenus dépendent surtout de la nature de la fraction pétrolière étudiée : fraction légère ou fraction lourde.
- Les résultats obtenus avec la chromatographie en phase gazeuse (GC-FID) montrent que:
  - Toutes les familles d'hydrocarbures sont présentes dans notre échantillon : paraffinique, aromatique, naphénique et oléfinique.
  - Parmi ces familles d'hydrocarbures on constate une prédominance des hydrocarbures paraffiniques et naphéniques dont les molécules avec neuf (9) et dix (10) atomes de carbones sont les plus répandues.

Les différentes propriétés physico-chimiques ainsi que la répartition chimique des familles d'hydrocarbures que nous avons déterminées lors de nos travaux peuvent être complétées par d'autres études. Ainsi nous pouvons encore approfondir notre connaissance en élargissant notre recherche sur les différents paramètres suivants :

- Mesure de la tenue au froid qui est un critère très important sur la condition d'utilisation de notre échantillon
- Mesure de la viscosité cinématique à  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  pour voir le comportement de notre échantillon aux températures extrêmes.
- Détermination de présence des impuretés tels les produits soufrés et les produits oxygénés

- Spectrométrie de masse afin de confirmer les répartitions chimiques des hydrocarbures.
- La Résonance magnétique nucléaire (RMN) permettant la détermination des différents paramètres structuraux moyens de l'échantillon.



# **PARTIE EXPERIMENTALE**

## 1. CHROMATOGRAPHIE EN PHASE GAZEUSE

L'appareil que nous avons utilisé est un chromatographe de marque SHIMADZU de type GC 8A

Après avoir choisi et monté la colonne adéquate pour l'analyse, on fixe les conditions opératoires résumées dans les tableaux 20 et 21.

Tableau 20: les paramètres de température

	TEMPERATURE (°C)	
INJECTEUR	240	
DETECTEUR	260	
COLONNE (température programmée)	T <sub>initiale</sub>	60
	T <sub>finale</sub>	210
	°C/min	3

Tableau 21: les paramètres des gaz

GAZ	H <sub>2</sub>	AIR	N <sub>2</sub>	
			CARRIER M	CARRIER P
Pression (bar)	0.7	0.5	1	0.25

Après avoir bien rincé la seringue avec de l'hexane (50 fois minimum) et avec le produit à analyser, on procède aux injections.

**1<sup>ère</sup> Injection:** 1 µL du jet fuel

**2<sup>ème</sup> injection:** 1 µL d'hydrocarbure pure C<sub>8</sub> à C<sub>22</sub>

Les deux injections doivent être faites successivement et dans les mêmes conditions d'opérations.

On procède ensuite au calcul de l'indice de Kovats ( $I_K$ ) correspondant à chaque pic qui constitue le chromatogramme du jet fuel par la formule suivante.

$$I = 100 \times \left( n + (N - n) \frac{t_R(X) - t_R(n)}{t_R(N) - t_R(n)} \right)$$

Avec :             $n$  le nombre d'atome de carbone du pic précédent

$N$  le nombre d'atome de carbone du pic suivant

$X$  désigne le pic inconnu

$t_R$  est le temps de rétention

On attribue ensuite à chaque pic caractérisé par son indice de Kovats, le composé correspondant, en se référant à des bases de données.

## 2. DISTILLATION ASTM

### Montage

On fait le montage comportant les appareils suivants:

- un chauffe ballon de 200 mL
- un ballon de 200 mL
- un réfrigérant droit
- un thermomètre numérique
- une éprouvette graduée de 200 mL minimum
- quelques gains de pierre ponce.

### Mode opératoire

Une prise d'essai de 200 mL d'échantillon est introduit dans le ballon et on ajoute quelques grains de pierre ponce.

Le chauffe ballon et le système de réfrigérant sont mis en marche.

On prélève la température qui s'affiche sur le thermomètre lorsque la première goutte de distillat est recueillie dans l'éprouvette et on en fait de même pour chaque fraction de 5 % de volume recueilli.

La température finale de distillation est aussi enregistrée.

A la fin de la distillation on mesure la quantité de résidu restant dans le ballon puis on effectue le bilan volumique.

Le résultat de l'expérience est ensuite regroupé dans un tableau.

### 3. MESURE DE L'INDICE DE REFRACTION

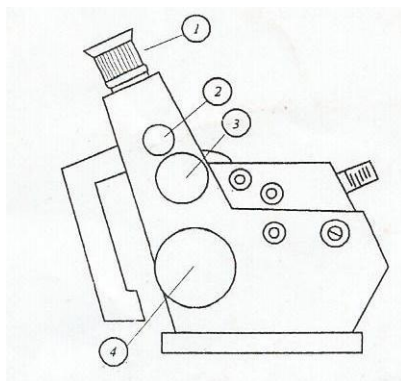


Figure 8 : Représentation schématique d'un réfractomètre [23]

On branche l'appareil et on le met en marche.

On procède ensuite au nettoyage de deux prismes par un coton imbibé d'alcool.

L'étalonnage de l'appareil est réalisé en utilisant un essai standard à blanc avec le SOLF d'indice de réfraction connu.

- on dépose quelques gouttes du standard sur le prisme inférieur et on rabat le prisme supérieur.
- on regarde la mire à travers l'oculaire (bouton 1).
- on agit sur le bouton 4 afin de différencier une ligne de démarcation entre la zone sombre et la zone claire.
- on tourne le bouton 3 jusqu'à ce que la ligne de démarcation soit bien nette.
- on tourne ensuite le bouton 4 afin d'amener la ligne de démarcation au centre de la mire.
- la valeur de l'indice de réfraction s'affiche sur la fenêtre de lecture qui est juste en dessus de la mire. On vérifie la valeur obtenue avec le produit étalon.

On sépare les deux prismes et on procède à nouveau au nettoyage de la lamelle comme précédemment.

On dépose quelques gouttes de l'échantillon étudié sur le prisme inférieur et on rabat le prisme supérieur.

On effectue les mêmes opérations que pour le produit étalon puis on lit la valeur de l'indice de réfraction affichée sur la fenêtre de lecture.

La lecture terminée, on procède de nouveau au nettoyage des prismes.

L'appareil est alors éteint et la prise débranchée.

#### 4. DETERMINATION DU POINT D'ECLAIR

La mesure est effectuée en vase clos avec un appareil de marque Seta-flash

On procède au nettoyage de l'appareil et de la seringue avec de l'alcool et on attend qu'ils sèchent.

2 mL d'échantillon sont alors placés dans le réservoir.

L'appareil est mis en marche

On ouvre la bouteille d'acétylène et on enflamme le bec, on règle bien pour avoir une flamme d'environ 3 cm.

On augmente petit à petit le thermostat. Lorsque le témoin du contrôle de couleur jaune s'éteint, on presse sur le bouton timer de couleur verte. Un bip sonore indique que l'appareil est prêt.

On teste à chaque fois l'inflammabilité jusqu'à l'observation d'une petite explosion.

Le point éclair du produit est alors la température indiquée par le thermomètre.

#### 5. MESURE DE LA VISCOSITE

L'appareil utilisé est un viscosimètre de types Ubbelohde

On vérifie d'abord que le viscosimètre est bien propre et sec.

On insère ensuite le viscosimètre dans son support métallique.

Dans le tube numéro 3 on injecte environ 15 mL d'échantillon.

La tuyauterie d'un vide est raccordée sur le tube numéro 1.

Le tube numéro 2 est maintenu fermé et en même temps on ouvre le robinet du vide.

On aspire tout doucement l'échantillon le long du tube capillaire 7 jusqu'à remplir la sphère 9 ; Il faut s'assurer qu'aucune bulle d'air ne se forme dans le tube numéro 1.

On ferme alors le vide et l'échantillon descend lentement le long du tube capillaire.

A l'aide d'un chronomètre on mesure l'intervalle de temps (t) pour que le bord inférieur du ménisque de l'échantillon puisse descendre de la marque annulaire M<sub>1</sub> à la marque annulaire M<sub>2</sub>.

Le terme de correction (θ) est déduit à partir du tableau de correction de Hagenbach.

Pour les valeurs intermédiaires on fait des interpolations.

La valeur de la viscosité cinématique (ν) en centistokes est obtenue à partir de la formule suivante:

$$\nu = K (t - \theta)$$

où

K est une constante caractéristique du viscosimètre.

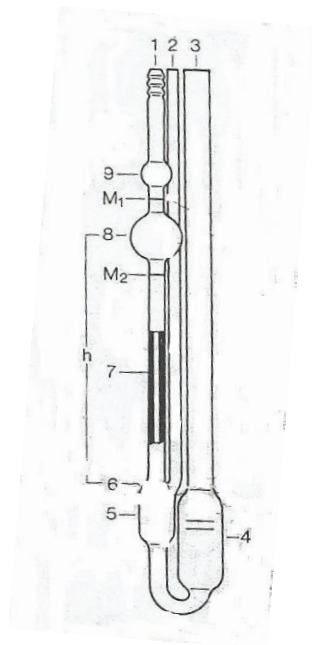


Figure 9 : Schémas du viscosimètre type Ubbelohde [9]

Le tableau 22 suivant résume les valeurs obtenues.

Tableau 22: Valeurs des viscosités cinématiques

Température (°C)	Temps de passage t (s)	Constante (K)	Correction θ (s)	Viscosité (cSt) ν= K (t- θ)
20	47.133	0.03	0.771	<b>1.390</b>
40	44.9	0.03	0.882	<b>1.320</b>

## 5. MESURE DE LA DENSITE

Pendant toutes les opérations qui vont suivre, il ne faut pas tenir le pycnomètre à pleine main, ni le placer en plein soleil pour éviter de le chauffer. Les dilatations qui s'ensuivraient provoqueraient une erreur systématique. Les conditions de remplissage devront se faire dans les mêmes conditions de température.

Un pycnomètre de 25 mL est lavé puis séché dans une étuve. On le refroidit ensuite à l'air libre.

Sur une balance adaptée, on réalise les pesées suivantes:

Pycnomètre vide et sec:  $M_v$

Pycnomètre rempli de liquide jusqu'au trait de jauge :  $M_L$

La masse de l'échantillon est alors:  $m_e = M_L - M_v$

Pour la masse d'eau à 4 °C on se réfère à la valeur mentionnée dans le Handbook:

$$M_E = 25 \text{ g} \times 0,9999973 = 24,9999325 \text{ g}$$

La valeur de la densité se déduit alors de la formule (2) à la page 10

Le tableau 23 donne les valeurs obtenues

Tableau 23: Valeurs obtenues lors de la mesure de la densité

$M_v$	$M_L$	$m_e$	$M_E$	Densité
31,95 g	51,68 g	19,73 g	24,9999325 g	0,7892

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] – X. NORMAND - (1968) Leçons sommaires sur l'industrie du raffinage du pétrole, Tome I, Technip, Paris
- [2] - J P WAUQUIER – (1994) Le raffinage du pétrole. Tome 1 : Pétrole brut - Produits pétroliers Schémas de fabrication, Technip, Paris
- [3] - HAROLD S.A. – (1976) Le pétrole et le gaz, Encyclopédie Larousse, Paris
- [4] - AFNOR- (1985) Produits pétroliers, Combustibles liquides, Tome I.
- [5] - J.C. GUIBET et E. FAURE – (1998) Carburant et Combustibles liquide Article: B.E 8545 Techniques de l'ingénieur, Paris.
- [7] - G MAHUZIER, M HAMON. (1990) Abrégé de Chimie analytique. Tome 2. Méthodes de séparation - Edition MASSON, Paris.
- [8] - P.W. ATKINS – (2000) Chimie Physique – De Boeck Université, Bruxelles
- [9] – J. AYEL – (1996) Techniques de l'ingénieur, Article: B 5340 Volume: B.A.D
- [10] – SCHOTT GERÄTE – Mode d'emploi de viscosimètre selon Ubbelohde.
- [11] – J.C. GUIBET – Caractéristique des produits pétroliers 2004, K-325, Techniques de l'ingénieur.
- [12] – P. WUITHIER – (1972) Le pétrole. Raffinage et génie chimique - Tome 1, Technip, Paris.
- [13] – A. RAFENOMANANTSOA – Cours AEA 2014 : Physico-chimie des combustibles. Faculté des Sciences d'Antananarivo.
- [14] – P. ARPINO, A. PREVOT, J. SERPINET, J. TRANCHANT, A. VERGNOL, P. WITTIER – (1995) Manuel pratique de chromatographie en phase gazeuse. Masson, Paris.
- [15] – <http://chephys.ustrasbg.fr/mpb>, Marie-Paule Bassez, consulté le 06/10/2014.
- [16] – A. ROUESSAC, F. ROUESSAC – (2004) Analyse Chimique. Méthodes et technique expérimentales modernes - 6<sup>ème</sup> édition, Dunod, Paris.



[17]. - LA CHROMATOGRAPHIE EN PHASE GAZEUSE

<https://web.acreims.fr/editice/images/stories/STI.../cpgtheorie> doc consulté le 13/10/2014

[18] – Atelier de Technologie d'Enseignement de Master (ATEM) Chimie, Université Lille 1. Faculté de Science et technologie.

[19] – G. LAVOUE- La chromatographie en phase gazeuse et ses applications. Labo-France, Paris.

[20] – IUPAC, Compendium of Chemical Technology, 2<sup>nd</sup> ed. (the "Gold Book") (1997).  
Online corrected version: (2006- ) "retention index, **I** in column chromatography".

[21] – Journal of chromatography A (1958-present) institute of Chemical Science and Engineering, KOVATS, Prof. Hon.

[22] – Office Malgache des Hydrocarbures

[23] – Laboratoire de Contrôle des Pesticides – Mode opératoire du réfractomètre

Nom : **ANDRIANANDRASANA**

Prénoms : **Zafindrazay Tohisoa Johan**

Adresse : **Lot A 60 Bis Atsinanantsena Sabotsy-Namehana Antananarivo 103**

Contacts : **0334291708 / 0343692620**

[Tohijohan18@gmail.com](mailto:Tohijohan18@gmail.com)

Titre : **ETUDE DES CARACTERISTIQUES ET IDENTIFICATION DES FAMILLES  
CHIMIQUES D'UN CARBUREACTEUR COMMERCIALISE A MADAGASCAR**

## **RESUME**

L'objet de ce mémoire portait sur l'étude physico-chimique et l'identification des constituants chimiques d'un échantillon de carburéacteur (Jet A1) commercialisé à Madagascar. Plusieurs paramètres et méthodes ont été appliqués au cours de notre travail : viscosité, densité, indice de réfraction, point d'éclair, distillation ASTM, méthodes prédictives, chromatographie en phase gazeuse.

Les résultats obtenus montraient que la qualité du carburéacteur commercialisé à Madagascar était bien conforme aux normes. Les méthodes prédictives ont conduit à une masse moléculaire moyenne de 153. L'analyse par chromatographie en phase gazeuse nous a permis de constater que l'échantillon étudié était constitué par 48 % d'hydrocarbures paraffiniques, 30,5 % de naphéniques, 16,5 % d'aromatiques et très peu d'éthyléniques. On a constaté aussi une prédominance des hydrocarbures à dix et onze atomes de carbone.

**Mots clés:** carburéacteur, caractéristiques physico-chimiques, distillation ASTM, chromatographie en phase gazeuse.

## **ABSTRACT**

The thesis aimed at studying the physical chemistry of a jet fuel (Jet A1) sample commercialized in Madagascar and identifying its chemical compositions. Several measures and methods were applied in our work: viscosity, density, refractive index, flash point, ASTM distillation, predictive methods, and gas chromatography.

The result showed the conformity of the jet fuel, commercialized in Madagascar, with the overage. Predictive methods lead to an average molecular weight of 153. The gas chromatography analysis allowed to conclude the studied sample is composed by 48% of paraffinic hydrocarbons, 30.5% of naphthenic, 16.5% of aromatic and very little quantity of ethylenic. There was also a predominance of ten and eleven carbon atoms hydrocarbons.

**Keywords:** fuel, physical chemistry characteristics, ASTM distillation, gas chromatography.

Encadreur : **RAFENOMANANTSOA ALPHONSE**  
**Professeur titulaire**