

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ de BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GENIE DES PROCEDES

spécialité : Génie Chimique

Intitulé du mémoire

**Essai de formulation de l'Intermédiaire Fuel-oil (IFO) 30
cSt selon la norme ISO 8217**

Présenté par :

- BOURREK Malika
- LAZELA Kahina

Encadré par :

Dr D. EL HADI
Mr A. KAZZOUL

Année universitaire 2019/2020

REMERCIEMENTS

*Comme l'a dit un jour l'ancien président des états –unis, Bill Clinton,
" Nous ne pouvons construire notre propre avenir sans aider les autres à
construire leur ".*

*Par cette citation, nous voudraient remercier toutes les personnes qui ont
accompagnés dans la réalisation de ce mémoire.*

*Nous rendons grâce tout d'abord Allah le tout puissant de nous avoir donné le
courage, la patience, la santé, et la volonté pour parachever le présent travail.*

*Nous tenons à exprimer nos profonds et sincères remerciements à notre
promoteur Monsieur **EL HADI** pour l'aide précieuse qu'il a apporté ainsi que
son expertise qui ont été indispensable pour structurer notre travail ainsi que la
qualité de notre mémoire.*

*Pour la même occasion, nous remercions le **Dr. BOUCHRIT** pour l'orientation,
conseils ainsi que l'enseignement qu'il a fourni pour nous. Nos remerciements
s'étendent aussi à tous nos enseignants du département de Génie des Procèdes.*

*Nous tenons à remercier vivement à notre encadreur de stage Monsieur
KAZZOUL qui nous a formé et accompagné tout au long de cette expérience
avec beaucoup de patience et à tout l'équipe du laboratoire centrale de Dar el
Beida pour leur aide et encouragement.*

*Nous exprimons notre gratitude aux membres du jury qui ont acceptés
d'évaluer ce travail.*

*Enfin, à tous ceux qui nous ont contribués de près ou de loin tout au long dans
l'élaboration de ce mémoire.*

DEDICACE

En signe de respect et de reconnaissance, je dédie ce modeste travail à :

A ma chère mère,

A mes chères sœurs : Halima, Hassina, Nassime,

A ma chère princesse ma petite sœur Djoumana ,

A ma nièce Rifal,

A mes neveux Necreddine et Amir,

A mes cousins : Lais, chemseddine,

*A mes amis : Loubna, Lydia, Fareil, Amina, Nesrine, Djawad,
yaakoub, Rafik,*

A mon cher ami Aziz,

A mon binôme Kahina,

Malika

DEDICACE

Je remercier particulièrement mon créateur, qui m'a donné la santé, le bien-être et la capacité de poursuivre ma carrière académique et m'a aidé à surmonter les obstacles et les difficultés qui m'ont confronté au cours de ces années qu'il a été et restera ma force dans cette vie.

Remerciements spéciaux en deuxième lieu à mes chers parents qui ont été la raison de mon existence. A ma mère qui a pris sa vie pour nous m'a élevé pris soin de moi, m'a soutenu toute sa vie, elle a été non seulement une maman, mais aussi ma bien aimée, ma sœur, et mon amie, ses conseils et sa direction avec un cœur effronté et affectueux m'ont guidé à la bonne voie. A mon cher père bien aime, il n'a jamais rien ignoré de nous c'est la bénédiction du père, il était le juste conseiller, le protecteur amical .tout était pour moi.

En particulier, à mes chers frères : A mon frère aîné Lotfi que je considère comme le deuxième père, un ami, un frère qui m'a soutenu dans tous mes parcours académiques, et même dans ma vie. À mon petit frère Mahdi qui a ajouté à nos vies une autre saveur qui a égayé ma vie avec sa venue.

Au plus beau cadeau que dieu m'a fait à mon frère Karim que je respecte et aime beaucoup tant pour sa morale, générosité, sa gentillesse et sa sérénité qui n'a pas de limites .C'est le fruit de cinq années à l'université.

Mes sincère remerciements pour toute ma famille Lazela et Abdellaoui.

A chef, l'homme mystérieux dont je ne connais rien d'autre que considérais comme mon cadeau de dieu venu à l'époque, il m'a soutenu, conseillé, il a beaucoup m'aidé. Merci ne suffira pas dieu est celui qui vous récompensera avec ce que vous méritez.

A mon binôme Malika avec qui j'ai partagé les difficultés et les joies tout au long de la rédaction de cette mémoire. Grand remerciement à mes proches amies : Niso, Fadila, Chérifa et Youcef. A tous mes sœurs et frères de la meilleure promotion GC 2019/2020.

Que dieu vous protèges et vous gardent en bonne santé.

Kahina

TABLE DES MATIERES

Résumé.

Liste des Tableaux.

Liste des Figures.

Liste d'abréviations.

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LE PETROLE BRUT

1.1. PETROLE BRUT 2

1.2. PROCESSUS DE FORMATION DU PETROLE BRUT 2

1.3. COMPOSITION CHIMIQUE DU PETROLE BRUT 3

1.4. CLASSIFICATION DES PETROLES BRUTS 4

1.5. RAFFINAGE DU PERTOLE BRUT 6

1.5.1. Définition du raffinage 6

1.5.2 Les différents produits issus du raffinage 6

1.5.3. Les différentes opérations de raffinage 7

1.6. LES BRUTS DE REFERENCE..... 9

1.7. PETROLE BRUT EN ALGERIE 9

CHAPITRE 2 : CARBURANTS MARINS

2.1. DEFINITION DES CARBURANTS 10

2.2. ORIGINE DES CARBURANTS 10

2.3. LES DIFFERENTS TYPES DE CARBURANTS 10

2.4. LES CARBURANTS MARINS 11

2.4.1. Fuel-oil 11

2.4.1.1. Définition 11

2.4.1.2. Classification des fuel-oils 11

2.4.1.3. Types des fuel-oils 12

a. Fuel-oil domestique (FOD) 12

b. Fuel-oil lourd (FOL) 12

2.4.1.4. Utilisation du fuel-oil 12

2.4.2. Gasoil marin 12

2.4.2.1. Définition 12

2.4.2.2.Utilisation	13
2.5. LES CARACTERISTIQUES DES CARBURANTS MARINS	13
2.5.1. La viscosité cinématique	13
2.5.2. La densité	13
2.5.3. Point d'écoulement	13
2.5.4. Point d'éclair	14
2.5.5. Teneur en eau	14
2.5.6. Teneur en soufre	14
2.5.7. Teneur en sédiments.....	14
2.5.8. Indice de carbone aromatique calculé CCAI.....	14
2.5.9. Cendre	15
2.5.10. Indice d'acide	15
2.5.11.Résidu de carbone	15
2.5.12. Indice de cétane	15
2.6. CLASSIFICATION DES CARBURANTS MARINS	15

CHAPITRE 3: MATERIEL ET METHODES

3.1. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE NAFTAL	18
3.1.1. L'entreprise NAFTAL	18
3.1.2. Les missions de NAFTAL	18
3.1.3. Produits commercialisés par NAFTAL	19
3.1.4. La Branche Carburants	19
3.1.5. Laboratoire Central	20
3.2. MATERIEL ET METHODES	22
3.2.1. La compatibilité par l'essai à la tache selon ASTM 4740.....	22
3.2.2. La viscosité cinématique à 50°C selon ASTM D445.....	23
3.2.3. La densité à 15 °C selon ASTM D1298.....	24
3.2.4. Point d'écoulement selon ASTM 97	25
3.2.5. Point d'éclair selon ASTM D93	26
3.2.6. Teneur en eau selon ASTM D95	27
3.2.7 .Teneur en soufre selon ASTM D2622	28
3.2.8. Teneur en sédiments totaux après vieillissement selon la norme ISO10307-2	29
3.3. LES PRODUITS UTILISES.....	30

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. LES CARACTERISTIQUES DES PRODUITS UTILISES	31
4.2. FORMULATION ACTUELLE DE L'IFO 30CST PAR NAFTAL	34
4.2.1. Analyse de l'IFO 30 cSt	34
4.2.2. Correction de mélange (IFO80 cSt-GOP)	35
a. Par l'ajout de xylène	35
b. Par l'ajout de Jet A1	36
c. Par l'ajout d'éthanol	36
4.3. FORMULATION DE L'IFO 30 cSt A PARTIR DE L'IFO 80 cSt AVEC LE JET A1 ET AVEC LE GOR	37
4.4. FORMULATION DE L'IFO 30 cSt A PARTIR DE L'IFO 180 cSt ET LE GOP.....	40
4.5. FORMULATION DE L'IFO 30 cSt A PARTIR DE L'IFO 380 cSt AVEC LE GOP ET AVEC LE GOR.....	41
CONCLUSION GENERALE	43
ANNEXE	
BIBLIOGRAPHIE	

ملخص:

الوقود الوسيط 30 cSt هو وقود بحري يستخدم لمحركات الديزل. لا يُشتق من النفط الخام، ولكنه منتج صاغته شركة توزيع وتسويق المنتجات البترولية (NAFTAL). الهدف من هذا العمل هو المساهمة في تحقيق تركيبة جديدة من IFO 30 cSt ، والتي تتكون من زيوت وقود مختلفة الدرجة (IFO 80 cSt , IFO 180 cSt و IFO 380 cSt) ومنتجات خفيفة (gasoil propre ,gasoil de rinçage و Jet A1) يتوافق مع مواصفات ISO8217: 2017. في هذه الدراسة، قمنا أيضًا بترقية gasoil propre بدلاً من معالجته ليحل محل gasoil de rinçage والذي يمكن أن يحقق مكاسب كبيرة إلى حد ما لشركة NAFTAL. وفقًا للنتائج التي تم الحصول عليها، فإن الخليط (IFO 60% 380 cSt – 40% gasoil de rinçage) يجعل من الممكن صياغة IFO 30 cSt متوافقة و ربحية.

الكلمات المفتاحية: الوقود الوسيط 30 cSt ، تركيبة ، gasoil ، Jet A1 ، نقطة الصب.

Résumé :

L'intermédiaire fuel 30 cSt est un carburant marin utilisé pour les moteurs diesel. Il n'est pas dérivé du pétrole brut, mais c'est un produit formulé par l'entreprise de la distribution et de la commercialisation des produits pétroliers (NAFTAL). L'objectif de ce travail est de contribuer à la réalisation d'une nouvelle formulation d'IFO 30 cSt, qui se compose de différents fuel-oils des grades (IFO 80 cSt, IFO 180 cSt et IFO 380 cSt) et de produits légers (gasoil propre, gasoil de rinçage et Jet A1) conformes aux spécifications de la norme ISO 8217 :2017. Dans cette étude, nous avons aussi valorisé le gasoil de rinçage au lieu de le traiter afin de remplacer le gasoil propre, ce qui peut apporter un gain assez important pour l'entreprise NAFTAL. D'après les résultats obtenus, le mélange (60% IFO 380 cSt - 40% gasoil de rinçage) permet de formuler un IFO30cSt conforme aux normes et rentable.

Mots clés : intermédiaire fuel 30cSt, formulation, gasoil, Jet A1, point d'écoulement.

Abstract:

The 30 cSt fuel intermediate is a marine fuel used for diesel engines. It is not derived from crude oil, but is a product formulated by the Petroleum Products Distribution and Marketing Company (NAFTAL). The objective of this work is to contribute to the realization of a new formulation of IFO 30 cSt, which consists of different fuel oils of the grades (IFO 80 cSt, IFO 180 cSt and IFO 380 cSt) and light products (clean gasoil, gasoil rinse aid and Jet A1) conform to the specifications of ISO8217: 2017. In this study, we also valued the flushing gasoil instead of treating it in order to replace clean gasoil, which can provide a fairly significant gain for the NAFTAL Company. According to the results obtained, the mixture (60% IFO 380 cSt - 40% flushing gasoil) makes it possible to formulate a compliant and profitable IFO 30 cSt.

Keywords : 30 cSt fuel intermediate, formulation, gasoil, Jet A1, pour point.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1	Caractéristiques des grades de Fuel-oils selon la norme ISO 8217 :2017	16
Tableau 2.2	Caractéristiques du gasoil marin selon la norme ISO 8217 :2017.	17
Tableau 4.1	Caractéristiques spécifiques du l'IFO 80 cSt.	31
Tableau 4.2	Caractéristiques spécifiques de l'IFO 180 cSt.	32
Tableau 4.3	Caractéristiques spécifiques de l'IFO 380 cSt.	33
Tableau 4.4	Caractéristiques spécifiques du GOP.	33
Tableau 4.5	Principales caractéristiques de Jet A1	34
Tableau 4.6	Caractéristiques des mélanges formulés par l'ajout de Xylène.	35
Tableau 4.7	Caractéristiques des mélanges formulés par l'ajout de Jet A1.	36
Tableau 4.8	Caractéristiques des mélanges formulés par l'ajout d'éthanol.	36
Tableau 4.9	Caractéristiques des mélanges formulés à partir de l'IFO 80 cSt avec le Jet A1 et avec le GOR.	37
Tableau 4.10	Caractéristiques des mélanges formulés à partir de l'IFO 80 cSt et le GOR avec l'ajout des différents additifs.	39
Tableau 4.11	Caractéristiques des mélanges formulés à partir de l'IFO 180 cSt et le GOP.	40
Tableau 4.12	Caractéristiques des mélanges formulés à partir de l'IFO 380 cSt avec le GOP et avec le GOR.	42

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Les composés du pétrole brut	4
Figure 2.2	Schème simplifié de la distillation	8
Figure 3.1	Organisation du laboratoire central	21
Figure 3.2	Le test de la compatibilité	23
Figure 3.3	Dispositif de détermination de la viscosité cinématique	24
Figure 3.4	Appareil de mesure de la masse volumique	25
Figure 3.5	Dispositif du point d'écoulement	26
Figure 3.6	Appareil de Pensky-Martens	27
Figure 3.7	Dispositif de distillation à reflux pour la mesure de la teneur en eau	28
Figure 3.8	Appareil de détermination de la teneur en soufre aux rayons X	29
Figure 3.9	Dispositif de mesure de la teneur en sédiments	30
Figure 4.1	Tâche correspondant à la proportion (82% IFO80 cSt et 18% de GOP)	34
Figure 4.2	Tâches correspondant aux mélanges binaires (IFO 80 cSt-Jet A1 et IFO 80 cSt-GOR)	38
Figure 4.3	Tâches correspondant aux différents mélanges binaires (IFO 180-GOP)	41
Figure 4.4	Tâches correspondant aux mélanges binaires (IFO 380-GOP et IFO 380-GOR)	42

LISTE D'ABREVIATIONS

API	American petroleum Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
BTS	Basse Teneur en Soufre
CCAI	Indice de carbone aromatique calculé
cSt	Centistokes
DSV	Distillation sous vide
FOD	Le fuel-oil domestique ordinaire
FOL	Le fuel-oil lourd
FQS	Le fuel-oil de quantité supérieure
GOP	Gasoil Propre
GOR	Gasoil de Rinçage
GPL	Gaz du Pétrole Liquéfié
HTS	Haute Teneur en Soufre
IFO	Inter Fuel Oil
ISO	Organisation International de normalisation
JET A1	Kérosène
RMB	Résidu marin grade B
RMD	Résidu marin grade D
RME	Résidu marin grade E
RMG	Résidu marin grade G
RSV	Résidu Atmosphérique
TBTS	Très Basse Teneur en Soufre
TTBTS	Très Très Basse Teneur en Soufre

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La ressource indispensable à l'économie contemporaine est le pétrole, mais il est très inégalement réparti dans le monde, c'est pour cette raison que les échanges de produits pétroliers sont très importants. Le pétrole est un liquide d'origine naturelle, constitué essentiellement d'hydrocarbures dont, il existe trois grands types : les alcanes, les cyclo-alcanes et les aromatiques. Le pétrole doit être raffiné, transformé pour être utilisé dans le but de tirer le maximum de produits à hautes valeurs commerciales qui sont appelés les carburants tels que le kérosène, le gasoil, et le fuel-oil.

Le fuel est l'un des produits pétroliers de type marin, utilisé comme carburant des gros moteurs diesel de navires ou comme combustible de centrales thermiques. Il est issu des coupes lourdes de la distillation atmosphérique du pétrole brut. Il est composé principalement d'hydrogène, carbone, d'azote, oxygène ainsi que des asphaltènes, résines et des hétéros-atomes. Les caractéristiques du fuel sont très proches de celles du gasoil et font que ces deux produits peuvent techniquement être utilisés par les mêmes dispositifs.

L'entreprise NAFTAL a pour but de répondre aux exigences des clients internationaux sauf que lors de l'application de la norme de classification des fuel-oils ISO8217 :2017, elle a rencontré un problème de la conformité de l'IFO 30 cSt concernant le point d'écoulement (+24 °C) qui est hors de cette norme.

L'objectif de notre travail est l'étude de la possibilité de la formulation d'un IFO 30 cSt conforme et rentable à l'échelle nationale qui est un mélange entre fuel-oil à différents grades (IFO 80 cSt, IFO 180 cSt, IFO 380 cSt) et un produit léger (gasoil propre, kérosène), ainsi que la possibilité de valoriser certains rejets tels que le gasoil de rinçage.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres. Le premier chapitre est consacré aux généralités sur le pétrole. Le deuxième chapitre comporte des informations sur les carburants marins. Nous nous penchons ensuite au troisième chapitre qui est une présentation de l'entreprise NAFTAL ainsi que les méthodes d'analyses et le matériel utilisé. Le dernier chapitre décrit l'ensemble des résultats obtenus et leurs discussions et enfin, nous terminons ce travail par une conclusion générale.

CHAPITRE 1 :
GENERALITES SUR LE PETROLE
BRUT

Le pétrole ou l'or noir est l'une des matières premières la plus recherchée actuellement dans le monde entier, vu son importance dans le développement économique, énergétique et technologique en général.

Dans ce chapitre, on va présenter des généralités sur le pétrole, son processus de formation, sa composition chimique ainsi que sa classification. Ce brut subit une série d'opérations de raffinage qui permet d'obtenir des produits pétroliers finis.

1.1. Pétrole brut

Le pétrole, vient du mot latin " Petra " et " oléum ", soit 'Huile de pierre'. C'est un liquide brun plus ou moins visqueux d'origine naturelle, un mélange complexe d'hydrocarbures. Son exploitation est l'un des piliers de l'économie industrielle contemporaine. Le pétrole est aussi souvent appelé " Or noir " en référence à sa couleur et à son coût élevé [1].

1.2. Processus de formation de pétrole brut

Sa constitution est issue de la géologie sédimentaire d'un lieu et plus spécifiquement de la succession de ces trois étapes :

Le pétrole se forme à partir de composés organiques issus d'êtres vivants tels qu'animaux ou végétaux qui vivent à la surface du globe et particulièrement dans les océans, les milieux aquatiques. La matière organique se dépose alors au fond des mers et des lacs où elle va être mélangée aux sédiments qui vont ensuite former la roche-mère. C'est ce qu'on appelle le processus de sédimentation et de décomposition [2].

Ensuite, au fond de ces bassins sédimentaires, cette matière organique va se transformer progressivement en hydrocarbures sous forme de fluides ou sous forme "mobiles" sous l'action de l'enfouissement et de la température. Ces hydrocarbures vont s'accumuler dans des roches poreuses et donc perméables qui sont appelées " roches réservoirs". Arrive à ce moment les processus de maturation et de migration [2].

Enfin, le pétrole pour former des gisements, va être emprisonné sous des couches imperméables, appelées "roches-couvertures" et vont former ce que l'on appelle des pièges [2].

1.3. Composition chimique du pétrole brut

1.3.1. Les hydrocarbures

Le pétrole brut est formé essentiellement d'hydrocarbures (le carbone présente 83 à 87% et l'hydrogène 10 à 14 %).

Les hydrocarbures contenus dans le pétrole sont regroupés en trois familles :

a. Hydrocarbures paraffiniques (alcanes)

Ce sont des hydrocarbures dont les atomes de carbone sont reliés entre eux par des liaisons simples qui forment une chaîne linéaire ou ramifiée, mais ne formant pas de cycles. Les alcanes sont des hydrocarbures saturés. Les atomes d'hydrogène occupent toutes les autres liaisons disponibles sur les atomes de carbone. Ils ont pour formule C_nH_{2n+2} . Le butane (C_4H_{10}), le méthane (CH_4) ou encore le propane (C_3H_8) font partis de ces hydrocarbures. Ces hydrocarbures linéaires sont les plus abondants, ces bruts sont les plus recherchés car ils donnent directement une grande proportion de produits légers comme l'essence, le gasoil, le mazout, le pétrole lampant, le kérosène, l'huile de graissage [3].

b. Hydrocarbures naphténiques (cyclo-alcanes)

Leurs atomes de carbone (C) sont reliés par une liaison simple qui forme au moins un cycle. Sur celui-ci, une ou plusieurs chaînes linéaires ou ramifiées peuvent être greffées. Les atomes d'hydrogènes (H) occupent alors les liaisons libres sur les atomes de carbone. Ils ont pour formule C_nH_{2n} . Dans ce groupe, on peut trouver le cyclobutane C_4H_8 , le cyclohexane C_6H_{12} ou encore le cyclopropane C_3H_6 . Ce sont beaucoup d'hydrocarbures à cycle saturé [3].

c. Hydrocarbures aromatiques

Dans ce groupe d'hydrocarbures, les atomes de carbone sont reliés entre eux pour former au moins un cycle. Ils ont pour formule C_nH_{2n-6} .

Les hydrocarbures présentant un cycle carboné insaturé sont plus abondants dans les aromatiques comme le xylène C_8H_{10} [3].

1.3.2. Composés soufrés

Les composés soufrés sont présents dans le pétrole brut sous forme de composés organiques soufrés, le sulfure d'hydrogène H_2S est le seul composé non organique présent dans le brut. Leur teneur dans le pétrole varie entre 0,05% - 6%.

1.3.3. Composés oxygénés

Ces composés sont représentés dans le pétrole sous forme de phénol et d'acides naphténiques. Leur teneur dans le pétrole est faible [4].

1.3.4. Composés azotés

Ce sont des composés hétérocycliques contenant l'élément azote, leur teneur dans le pétrole varie de 0,02% à 2,5%, elle augmente avec l'augmentation de la température d'ébullition des fractions, on le retrouve sous forme de quinoléine et pyridine [5].

1.3.5. Composés résineux et asphaltiques

Ces substances sont présentes dans le pétrole sous forme d'un mélange très complexe de composés hétérocycliques à noyau contenant le soufre, l'azote, l'oxygène et les métaux [5].

1.3.6. Composés minéraux

Le pétrole brut contient de l'eau dont la combinaison donne une émulsion qui peut être stable, il contient aussi des sels et des impuretés [5].

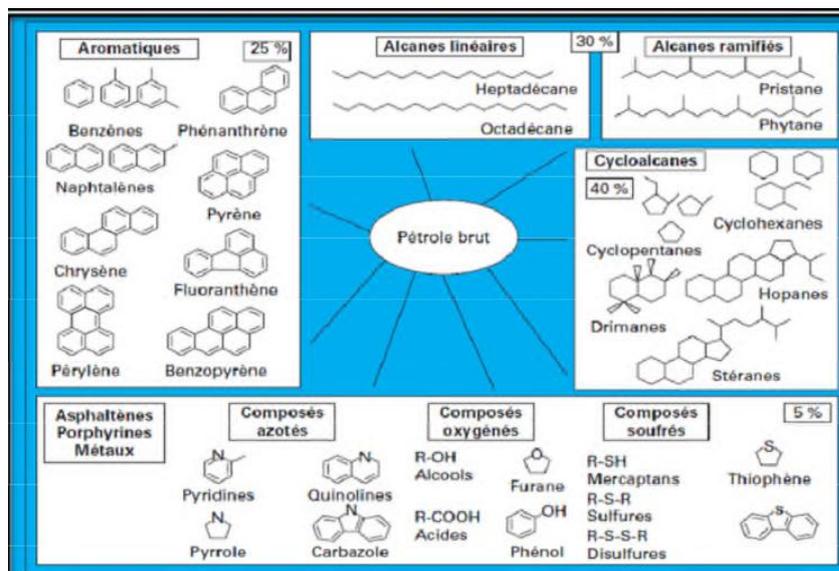


Figure 1.1 : Les composés du pétrole brut.

1.4. Classification des pétroles bruts

A la découverte d'un gisement du pétrole, ce dernier subit une série d'analyse, permettant sa classification. La classification du pétrole est d'une extrême importance car elle nous permet de connaître les méthodes de traitements de ce même pétrole, l'assortiment et les qualités des produits à obtenir [6].

On distingue trois types de classification :

1.4.1. Classification selon la densité (API)

La densité API est une échelle permettant d'exprimer la densité du pétrole brut en degré API ($^{\circ}$ API), calculée à partir de la densité, par la formule suivante [6] :

$$\text{Densité API} = \frac{141,5}{\text{densité à } 60^{\circ}\text{F}} - 131,5$$

Quatre types de pétrole sont définis :

- pétrole léger "light" : $^{\circ}\text{API} > 31,1$
- pétrole moyen "medium" : $22,3 < ^{\circ}\text{API} < 31,1$
- pétrole lourd "heavy" : $10 < ^{\circ}\text{API} < 22,3$
- pétrole extra-lourd "extra heavy" : $^{\circ}\text{API} < 10$

1.4.2. Classification selon la teneur en soufre

Les pétroles avec une faible teneur en soufre (inférieure à 0,5% en poids) sont qualifiés de "sweet" ou "doux", au de-là les pétroles sont qualifiés de "sour" ou "soufrés". Ceci est important car le soufre est un "polluant corrosif et poison" que les raffineurs doivent retirer [6]. Les pétroles sont classés selon la teneur en soufre en trois classes :

- **Classe A** : pétrole peu sulfureux $\% S \leq 0,5\%$.
- **Classe B** : pétrole sulfureux $0,5\% < \% S < 2\%$.
- **Classe C** : pétrole très sulfureux $\% S > 2\%$.

1.4.3. Classification selon la composition chimique

Le pétrole est classé selon leur composition en trois classes :

- Pétroles paraffiniques : le pourcentage des hydrocarbures paraffiniques est supérieur à 50%.
- Pétroles naphthéniques : le pourcentage des hydrocarbures naphthéniques est supérieur à 50% dans le brut.
- Pétroles aromatiques : le pourcentage des hydrocarbures benzéniques est supérieur à 35% [6].

1.5. Raffinage du pétrole brut

1.5.1. Définition du raffinage

Le raffinage du pétrole est la transformation du pétrole brut en produits pétroliers finis. Sans transformation, le pétrole brut ne possède qu'une faible utilité. A

travers la séparation et la transformation de ses composants, le raffinage permet d'en extraire aussi bien des produits nécessaires aux activités de la vie courante (chauffage, transport, cuisine...) que des produits dérivés utilisés dans des processus industriels (pétrochimie, revêtements routiers...). Cette gamme de produits illustre l'importance du raffinage dans l'économie [7]. L'objectif du raffinage est de mettre à la disposition du consommateur des produits de qualité, dans le respect de normes précises, notamment environnementales et aux quantités requises par le marché.

1.5.2. Les différents produits issus du raffinage

On peut classer les produits finis pétroliers en quatre catégories [7]:

a. Les carburants

- Les supercarburants, pour le transport routier.
- Le gasoil, pour le transport routier, ferroviaire et maritime.
- Les carburéacteurs, pour le transport aérien.

b. Les combustibles

- Le fuel domestique, pour le chauffage domestique.
- Le fuel lourd, pour la génération d'électricité, les usages énergétiques industriels ou le transport maritime.

c. Les produits de spécialité

- Les gaz de pétrole liquéfiés (le butane et le propane), aussi bien utilisés comme matière première dans l'industrie chimique que pour un usage domestique (transports, chauffage, cuisine...)
- Les lubrifiants.
- Le bitume, utilisé comme liant dans les enrobés routiers
- Le coke, utilisé pour l'élaboration de produits spécifiques, tels que les électrodes.

d. Les matières premières industrielles

Le naphta et certains gaz (éthylène par exemple) pour la pétrochimie.

1.5.3. Les différentes opérations de raffinage

La transformation du pétrole brut est une opération incontournable. Dans une raffinerie, le brut est transformé en produits finis suivant des processus rigoureux appartenant à trois types principaux d'opérations : séparation, conversion et amélioration.

1.5.3.1. La séparation

La distillation est l'un des procédés de séparation, la première étape du raffinage du pétrole, consiste à séparer les différentes molécules en fonction de leur poids. Ils sont différenciés selon leurs points d'ébullitions et classés par ordre d'instabilité décroissante en gaz, distillats légers, distillats moyens, gasoil et résidus.

La distillation du pétrole brut est réalisée en deux étapes qui sont complémentaire, la distillation atmosphérique et la distillation sous vide :

a. La distillation atmosphérique

La distillation atmosphérique ou distillation primaire constitue la première et la principale étape du raffinage. Précédée d'une opération de dessalage (lavage à l'eau et à la soude) pour enlever les minéraux, cette opération permet de fractionner le pétrole brut en différentes coupes pétrolières, traditionnellement nommées coupes Straight Run. En tête de colonne, il est récupéré la coupe gaz puis les coupes essence, kérosène et gasoil sont obtenues sur les plateaux intermédiaires de la colonne. Ces coupes seront ensuite soumises à des procédés d'amélioration de propriétés et / ou à des procédés de finition pour obtenir les produits pétroliers à haute valeur commerciale. La fraction non distillée du brut, appelé aussi résidu atmosphérique, est soit utilisée directement comme fuel industriel, soit envoyée à la distillation sous vide [8].

b. La distillation sous vide

La distillation sous vide est une étape complémentaire de la distillation primaire. En effet, le résidu atmosphérique contient les molécules avec un point d'ébullition supérieur à 340-380 °C. Au-delà de cette gamme de températures, les molécules commencent à subir des réactions de craquage thermique avant de s'évaporer c'est pourquoi, la distillation du résidu atmosphérique est effectuée sous pression réduite.

Cette opération permet de récupérer en tête de colonne, le distillat sous vide (DSV) qui sera ultérieurement soumis à des procédés de conversion pour obtenir des produits valorisables. La fraction non distillée correspond à la coupe résidu sous vide (RSV) qui contient la majeure partie des impuretés du brut, comme le soufre, l'azote, les métaux et les asphaltènes. Le RSV peut être utilisé dans la fabrication des bitumes, la production de fuels lourds ou comme charge pour des procédés de conversions, comme l'hydro conversion, la cokéfaction ou la viscoréduction [8].

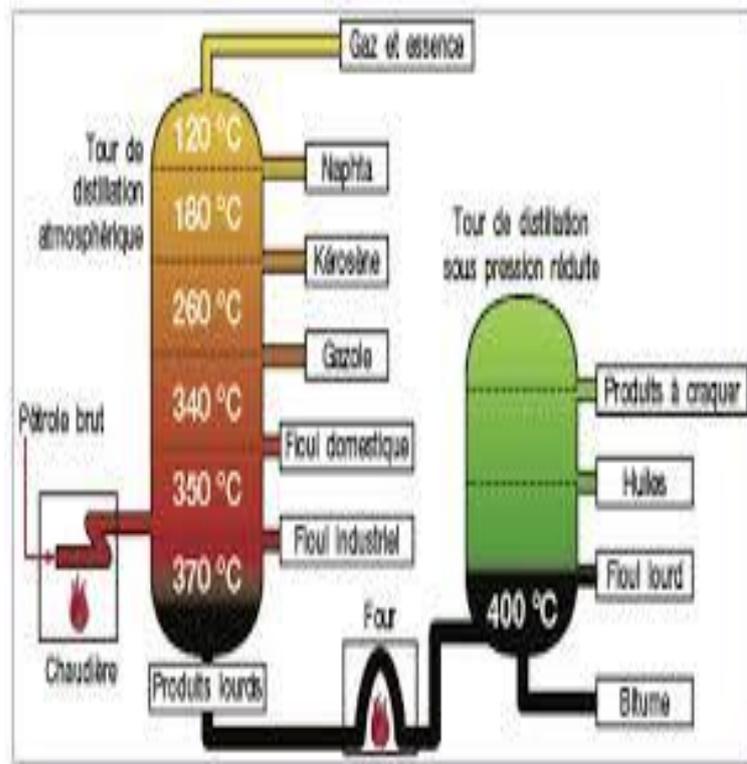


Figure 1.2 : Schème simplifié de la distillation.

1.5.3.2. La conversion

La conversion est la seconde étape du raffinage du pétrole et a pour objectif de transformer les molécules lourdes en produits plus légers. Elle permet ainsi d'obtenir de l'essence, du kérosène, du diesel ou du fioul domestique. Différentes méthodes sont utilisées, notamment le craquage catalytique et l'hydrocraquage : le premier permet de décomposer les molécules lourdes sous l'effet d'un catalyseur et sous très haute température (500 °C environ), le second permet de produire du gasoil sans soufre grâce à l'ajout d'hydrogène [9].

1.5.3.3. L'amélioration

Cette troisième étape du raffinage du pétrole sert à éliminer les impuretés, les composants acides, corrosifs ou néfastes pour l'environnement qui sont présents dans le pétrole raffiné. On obtient ainsi un produit de meilleure qualité et respectant les normes en vigueur. Ainsi, l'amélioration permet par exemple de réduire la teneur en soufre du fuel grâce à l'hydrodésulfuration. Un lavage à la soude est également effectué pour le kérosène et les gaz butane et propane, afin de débarrasser ces produits des mercaptans [9].

1.6. Les bruts de référence

Plus de 130 types de pétroles bruts sont commercialisés à travers le monde, sur un total de 400 types de bruts connus. Leur prix est établi par différentiel à partir de bruts de référence dont la qualité standard est connue. Ces bruts de référence sont [10]:

– **Le WTI (West Texas Intermediate):** (40 °API et 0,3 % S)

Ce type de brut est utilisé comme référence en Amérique du Nord. C'est un brut léger, non sulfuré. C'est le prix du WTI qui est habituellement cité dans les articles de journaux.

– **Le Brent :** (38 °API et 0,3 % S)

Le Brent est un type de pétrole brut (léger et non soufré) issu de champs de la Mer du Nord. D'après l'International Petroleum Exchange où le prix du Brent est coté, ce prix est utilisé pour fixer le prix des deux tiers des pétroles bruts vendus mondialement.

– **Le Dubaï light :** (environ 32 °API et 2 % S)

Un brut (léger sulfuré) dans le golfe Persique, le Dubaï light est utilisé comme référence pour fixer le prix de vente d'autres bruts de la région à destination de l'Asie, le Moyen-Orient et l'Asie.

1.7. Pétrole brut en Algérie

Membre de l'OPEP (Organisation des Pays Exportateurs du Pétrole), l'Algérie figure parmi les pays producteurs et exportateurs du pétrole brut dans le monde. Quatrième réserve en Afrique, derrière la Libye, le Nigeria et l'Angola [11]. Les réserves pétrolières prouvées de l'Algérie sont 1,340 millions de tonnes, soit 10 milliards de barils en 2020, et classée le 12^{ème} dans le monde de 0,8 % des réserves totales mondiales et 27 années d'exploitation au rythme de la production actuelle [12]. La plus grande partie de ses réserves est concentrée dans la partie sud-est du pays est dans les bassins de Hassi Messaoud et Hassi Berkine. La variété du brut algérien s'appelle le Sahara Blend, c'est un pétrole léger et à moindre teneur en soufre. Il est de ce fait apprécié des raffineurs. De plus, le Sahara Blend est l'un des meilleurs et plus chers pétroles au monde [11].

CHAPITRE 2 :
CARBURANTS MARINS

Dans ce chapitre, nous présentons quelques informations sur les carburants et leurs origines. Nous présentons aussi quelques types de carburants (aviation, terre, marine). Nous traitons par la suite les carburants marins (les fuel-oils et le gasoil marin), à savoir leurs caractéristiques selon la norme ISO 8217 ainsi que leurs utilisations, en se basant sur le fuel-oil qui est notre produit essentiel. Ce dernier est le plus utilisé pour les moteurs diesel marins.

2.1. Définition des carburants

Les carburants sont des produits le plus souvent liquides, plus rarement gazeux [13]. Ce sont des produits dont la combustion en présence d'air permet le fonctionnement des moteurs thermiques, que ceux-ci soient à pistons (de type essence ou diesel), ou bien à flux continu (réacteurs d'avion, turbines à gaz) [14].

2.2. Origine des carburants

Les carburants classiques proviennent du:

2.2.1. Pétrole

Celui-ci subit des opérations de raffinage très poussées pour obtenir plusieurs types de produits destinés à alimenter des véhicules très différents, depuis les voitures particulières jusqu'aux avions et navires : essences, gazole, kérosène, carburants lourds.

2.2.2. Biomasse

Elle permet d'obtenir des " biocarburants " comme le bioéthanol et le biodiesel. S'ils sont pour l'instant peu compétitifs par rapport aux carburants issus de la filière pétrole, ils présentent l'avantage d'exploiter des ressources renouvelables, contrairement aux combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel et charbon). Ce sont plus respectueux de l'environnement par rapport à celui issu du pétrole car l'essence et le gazole sont les carburants les plus polluants (rejet d'oxydes d'azote, monoxyde de carbone...).

2.3. Les différents types de carburants

Il existe trois types de carburants :

- Carburants Terre : Le Gasoil, les essences.
- Carburants Aviation : Le kérosène (Jet A1), l'essence AVGAS 100LL.
- Carburants Marine : Les Fuel-oils, Le Gasoil Marin.

2.4. Les carburants marins

Le carburant marin est l'un des carburants classiques provenant essentiellement du raffinage de pétrole brut. Ce carburant permet d'alimenter les bateaux et les navires. Encore appelés " les carburants lourds" représentant un ensemble hétérogène de molécules de hauts poids moléculaires et de haut point d'ébullition, ils sont utilisés dans des moteurs diesel servant à la propulsion des gros navires [15]. Nous distinguons deux types de carburants : le Fuel-oil et le gasoil marin.

2.4.1. Fuel-oil

2.4.1.1. Définition

Les Fuel-oils sont des produits issus de diverses fractions de raffinerie, en général les plus lourdes. Leur composition est complexe et varie selon la provenance du pétrole brut. Ils sont constitués de produits d'origine paraffinique, naphthénique et aromatique et peuvent contenir des dérivés de soufre et des acides organiques [16].

2.4.1.2. Classification des fuel-oils

Les principales caractéristiques de classification des fuel-oils sont la viscosité et la teneur en soufre.

a. Classification selon la viscosité

Les Fuel-oils sont classés selon la viscosité en quatre catégories :

- Fuel domestique : la viscosité est inférieure ou égale à 9,5 cSt (à 20 °C).
- Fuel-oil léger : la viscosité est inférieure ou égale à 15 cSt (à 50 °C).
- Fuel-oil lourd N°1 : la viscosité est comprise entre 15 et 110 cSt (à 50 °C).
- Fuel-oil lourd N°2: la viscosité est comprise entre 110 et 380 cSt (à 50 °C).

b. Classification selon la teneur en soufre

Les Fuel-oils sont classés selon leur teneur en soufre en :

- Le fuel TTBT (Très Très Basse Teneur en Soufre) : %S < 0,5 %.
- Le fuel BT (Très Basse Teneur en Soufre) : 0,5 % < %S < 1%.
- Le fuel B (Basse Teneur en Soufre) : 1% < %S < 2%.
- Le fuel HT (Haute Teneur en Soufre) : %S > 4 %.

2.4.1.3. Types des fuel-oils

On distingue deux grandes catégories: le fuel domestique et le fuel lourd.

a. Fuel-oil domestique (FOD)

C'est un combustible généralement utilisé dans les chaudières, il est constitué d'un mélange d'hydrocarbures de C_9 à C_{20} avec un point d'ébullition compris entre 163 °C et 357 °C. Le fuel domestique à une composition très proche du gasoil [17].

Il existe deux types de fuel domestique :

Le fuel domestique ordinaire ou standard FOD; il répond aux réglementations en vigueur concernant la couleur du liquide, et la teneur en soufre maximale. Il est utilisé dans les installations de chauffage. Il est le plus abordable que le fuel de qualité supérieure.

Le fuel de qualité supérieure FQS remplit la même fonction que FOD. Il contient des additifs spécifiques qui améliorent les caractéristiques et les propriétés (odeur, point d'écoulement ...). Le FQS se conserve plus facilement que FOD [18].

b. Fuel-oil lourd (FOL)

Le FOL est le carburant marin le plus exploité, le moins cher, mais c'est aussi celui qui contient la plus haute teneur en soufre. C'est un liquide très visqueux à la limite goudronneuse qui doit être préchauffé avant son utilisation [19]. Il est généralement mélangé à des gasoils plus légers avant d'être vendu.

2.4.1.4. Utilisation du fuel-oil

Le fuel est utilisé pour :

- Le chauffage.
- Servir pour les moteurs diesel.
- Alimentation des chaudières industrielles.
- Autoconsommation au niveau des raffineries.
- Utilisation par les industries pour satisfaire leurs besoins énergétiques.
- Carburants pour les bateaux.
- Production d'électricité.

2.4.2. Gasoil marin**2.4.2.1. Définition**

Le gasoil est une huile lourde composée d'un mélange d'hydrocarbures (paraffiniques, naphthéniques, aromatiques et oléfiniques). Il est utilisé comme carburant dans les moteurs diesel, dont la température de distillation se situe entre 200 et 380 °C. Leur point d'éclair est toujours supérieur à 50 °C et leur densité supérieure à 0,82 [20].

Le gasoil marin quant à lui est moins visqueux que le fuel lourd. Il contient par ailleurs des quantités moindres de soufre, ce qui justifie (entre autres) son prix plus élevé. C'est une fraction obtenue par distillation poussée (ce qui explique sa plus grande " pureté ") et qui possède un point d'ébullition plus faible que le fuel-oil lourd [19]. Tout carburant gasoil contient des paraffines. La teneur en paraffines est une caractéristique importante du gasoil car elle lui confère son niveau élevé d'indice de cétane qui rend la combustion performante.

2.4.2.2. Utilisation

Le gasoil marin est utilisé dans :

- Les petites unités auxiliaires de moyenne à grande vitesse.
- Les moteurs auxiliaires.
- Les moteurs de navires.

Ces derniers se trouvent généralement à bord de bateaux de pêche, de petits traversiers ou de remorqueurs. Contrairement au fuel-oil lourd, le gasoil marin (qui est basé sur les distillats légers) a une faible viscosité et peut facilement être pompé dans le moteur à des températures d'environ 20 °C [19].

2.5. Caractéristiques des carburants marins

2.5.1. La viscosité cinématique

La viscosité est généralement définie comme étant la caractéristique de la résistance à l'écoulement d'un fluide [21]. Lorsque la viscosité augmente, la capacité du fluide à s'écouler diminue. Pour un liquide, la viscosité tend généralement à diminuer lorsque la température augmente et son unité est exprimée en centistokes (cSt) [22].

2.5.2. La densité

C'est le rapport absolu qui existe entre la masse et le volume à une température donnée. Elle s'exprime en kg/m^3 à une température de référence de 15 °C en général [23]. Sa valeur est comprise entre 890 et 920 kg/m^3 pour les distillats, entre 975 et 1010 kg/m^3 pour les résidus.

2.5.3. Point d'écoulement

Le point d'écoulement est la température la plus basse à laquelle, dans des conditions normalisées, le carburant continue à s'écouler [24]. Ce point permet d'apprécier les limites de température à respecter dans la mise en œuvre des produits, en particulier, pour leurs pompages en hiver. Le point d'écoulement est donc une

caractéristique particulièrement importante pour les produits pétroliers quand il s'agit de leurs utilisations aux basses températures. Il est exprimé en degrés Celsius [25].

2.5.4. Point d'éclair

C'est la température la plus basse à partir de laquelle un produit pétrolier dégage assez de vapeurs pour former un mélange inflammable dans des conditions normalisées [26].

2.5.5. Teneur en eau

C'est la mesure du volume d'eau présente dans le produit pétrolier. La teneur en eau du solvant est déterminée par distillation d'une quantité équivalente à celle utilisée pour l'échantillon ; cette valeur est utilisée pour corriger le volume d'eau dans l'échantillon [27].

2.5.6. Teneur en soufre

La teneur en soufre d'un carburant marin dépend de l'origine du pétrole brut et du processus de raffinage. Lors de la combustion, le soufre est converti en oxydes de soufre. Ces oxydants sont corrosifs pour le revêtement des pistons de moteur et doivent être neutralisés par le lubrifiant du cylindre [28].

2.5.7. Teneur en sédiments

Les sédiments sont des produits solides non solubles dans les hydrocarbures ou dans l'eau et peuvent être entraînés avec le brut. Ce sont de fines particules de sable, de boues de forage ou de débris de roche. La présence de tels produits dans le pétrole est extrêmement gênante puisqu'ils peuvent boucher les tuyauteries et détériorer la qualité des fuels [29].

2.5.8. Indice de carbone aromatique calculé CCAI

CCAI est seulement applicable aux fuels résiduels et fournit une indication du retard à l'allumage d'un fuel-oil [28]. La valeur de CCAI est comprise entre 800 et 880, la valeur inférieure étant la meilleure qualité de l'inflammation. Le CCAI est calculé par l'équation suivante [30] :

$$\text{CCAI} = \rho_{15} - 81 - 141 * \log[\log(\mu + 0.85)] - 483. \log \frac{T+273}{323}$$

Avec :

- ρ_{15} est la masse volumique à 15 °C, exprimée en kilogrammes par mètre cube.
- Log est le logarithme de base 10.

- μ est la viscosité cinématique à la température de 50°C, exprimée en millimètres carré par seconde.
- T est la température, exprimée en degrés Celsius, à laquelle la viscosité cinématique est déterminée.

2.5.9. Cendre

La teneur en cendre est une mesure des métaux présents dans le fuel, soit inhérentes au combustible ou contamination [28]. Les principaux métaux sont : le vanadium, le silicium et le sodium.

2.5.10. Indice d'acide

Tous les carburants ont une acidité d'origine naturelle, mais les carburants avec des indices élevés peuvent causer des dommages aux moteurs diesel, en particulier l'équipement d'injection de carburant [28].

2.5.11. Résidu de carbone

Le résidu de carbone est déterminé par un test de laboratoire réalisé sous fourniture déterminée d'air réduit. Cela ne représente pas des conditions de combustion dans un moteur. Il donne une indication de la qualité d'hydrocarbures contenus dans le carburant qui ont des caractéristiques de combustion difficiles, mais il n'y a pas de corrélation concluante entre les chiffres de résidus de carbone et de l'expérience réelle sur le terrain. La méthode de détermination du résidu de carbone (la méthode micro) est spécifiée par la norme ISO 8217 [28].

2.5.12 Indice de cétane

L'indice de cétane mesure l'aptitude des carburants diesel à s'auto-enflammer dans une chambre de combustion de moteur à allumage par compression, il caractérise le délai d'auto-inflammation du gasoil [31].

2.6. Classification des carburants marins

La classification des carburants marins se fait par rapport à la norme ISO 8217: 2017. Cette norme décrit les différents grades de fuel-oils et les distillats marins par rapport aux paramètres de viscosité, teneur en soufre, point d'écoulement...etc. La catégorie de carburant est caractérisée par un ensemble de trois lettres:

- D ou R désigne le type de produit (Distillat ou Résidu);
- M se réfère à l'usage marine;

- B, D, E et G représentent les différents grades.

Enfin, dans la famille de fuel-oil, l'identification du carburant est complétée par un nombre (30,80, 180,.....) indiquant la viscosité cinématique maximale (en cSt) à 50 °C.

Nous présentons dans les tableaux 2.1 et 2.2 respectivement, les différentes caractéristiques de Fuel-oils et de gasoil marin selon la norme ISO 8217 :2017.

Tableau 2.1 : Caractéristiques des grades de Fuel-oils selon la norme ISO 8217 :2017.

Caractéristiques		Limites	RMB IFO 30	RMD IFO 80	RME IFO 180	RMG IFO 380
Viscosité cinématique à 50 °C (cSt)		Max	30	80	180	380
Masse volumique à 15 °C (kg /m ³)		Max	960,0	975,0	991,0	991,0
Teneur en Soufre (% masse)		Max	0,50	0,50	1,5	3,5
Point d'éclair PM (°C)		Min	60	60	60	60
Point d'écoulement (°C)	Eté	Max	6	30	30	30
	Hiver	Max	0	30	30	30
Teneur en eau (% volume)		Max	0,50	0,50	0,50	0,5
Sédiments totaux après vieillissement (% masse)		Max	0,10	0,10	0,10	0,10
Teneur en Cendres (% masse)		Max	0,070	0,070	0,100	0,100
CCAI		Max	860	860	870	870
Indice d'acide (mg KOH/g)		Max	2,5	2,5	2,5	2,5
Résidu de carbone (% masse)		Max	10,00	14,00	18,00	18,00

Tableau 2.2 : Caractéristiques du gasoil marin selon la norme ISO 8217 :2017.

Caractéristiques		Limites	
		Min	Max
Masse volumique à 15°C (kg /m ³)		-	890,0
Point éclair PM (°C)		60	-
Point d'écoulement (°C)	Hiver	-	-6
	Été	-	0
Soufre total (% en masse)		-	0,10
Viscosité à 40°C (cSt)		2,000	6,000
Teneur en cendre (% en masse)		-	0,010
Indice d'acide (mg KOH/g)		-	0,5
Indice de cétane		40	-
Résidu de carbone (% en masse)		-	0,30

CHAPITRE 3 :
MATERIEL ET METHODES

La partie expérimentale de ce travail a consisté en l'analyse des caractéristiques physico-chimiques de l'intermédiaire fuel 30 cSt formulé à partir des différents mélanges (IFO 80 cSt, IFO 180 cSt, IFO 380 cSt, gasoil, kérosène...).

Les principales analyses effectuées sont : le test de compatibilité, la viscosité, la densité, le point d'écoulement, le point d'éclair, la teneur en eau, la teneur en soufre et la teneur en sédiments.

Les expériences sont effectuées au niveau du laboratoire central de la Branche Carburants, NAFTAL d'Alger.

3.1. Présentation de l'entreprise NAFTAL

3.1.1. L'entreprise NAFTAL

NAFTAL est une entreprise pétrolière algérienne, spécialisée dans la distribution et la commercialisation des produits pétroliers sur le marché national. Elle est organisée en branches :

- La Branche GPL.
- La Branche Carburants.
- La Branche Commercialisation.

3.1.2. Les missions de NAFTAL

Les activités de NAFTAL consistent à commercialiser les produits pétroliers à travers l'organisation et la gestion d'un réseau de distribution sur l'ensemble du territoire national, ses missions sont :

- Organiser et développer l'activité de commercialisation et de distribution des produits pétroliers.
- Stoker, transporter et/ou faire transporter tout produit pétrolier commercialisé sur le territoire national (les carburants des GPL, des lubrifiants, des bitumes, des pneumatiques, du GPL carburant, essence SP, normal, super, gaz des produits aviations marins).
- Veiller à l'application et au respect des mesures relatives à la sécurité industrielle et à la sauvegarde de la protection de l'environnement en se mettant en relation avec les organismes concernés.

- Procéder à toute étude de marché en matière d'utilisation et de consommation des produits pétroliers.
- Redéfinir et développer une politique en matière d'audit, concevoir et mettre en œuvre des systèmes intègres d'information.
- Développer et mettre en œuvre les actions visant à une utilisation optimale rationnelle des infrastructures.
- Veiller à l'application et au respect des mesures liées à la sûreté interne de l'entreprise conformément à la réglementation.
- Enfutage des GPL et formulation des bitumes.

3.1.3. Produits commercialisés par NAFTAL

a. Carburants pour aviation

- Le Carburateur Jet A1 destiné aux avions turboréacteurs.
- L'essence Avgas-100 LL, destinée aux moteurs d'avions à pistons (à hélices).
- Les Produits spéciaux de refroidissement (Méthmix).

b. Carburants marins

- Les fuel-oils Bunker C de haute viscosité (HS & LS), issus des importations et destinés aux navires de gros tonnages (moteurs lents).
- Le fuel-oil BTS (Basse Teneur en Soufre), issu du pétrole Algérien et provenant des raffineries Algériennes, destiné aux moteurs semi rapides.
- Les inters fuel-oils de différentes viscosités, issus des mélanges de fuel-oil (bunker C et /ou BST) et de gasoil.
- Le gasoil.
- Les lubrifiants et produits spéciaux marins.

c. Carburants terre

- Le gasoil, utilisé dans les véhicules, engins et machines à moteur diesel ainsi que les besoins domestiques (éclairage, chauffage, etc.).
- Les essences utilisées dans les véhicules et engins à moteurs thermiques ou les moteurs à combustion à allumage commandé.

3.1.4. La Branche Carburants

3.1.4.1. Présentation de la Branche Carburants

La Branche Carburant de NAFTAL qui est située dans la wilaya d'Alger plus précisément dans la commune de Dar El Beida à 300 m de l'aéroport HOUARI

BOUMEDIENE, est chargée des activités d'approvisionnement, de stockage et de livraison des carburants aviation (Jet A1), marine (fuel-oil) et terre (essence super, normal et sans plomb, gasoil, white spirit) ainsi que les lubrifiants.

3.1.4.2. Missions principales de la Branche Carburants

- Superviser, coordonner et contrôler les activités approvisionnement, stockage, ravitaillement, livraison et transport des carburants aviations et marins, sur les aéroports et ports où la BC/AVM est présente.
- Assurer la présentation de la conformité du produit depuis son approvisionnement jusqu'à la livraison de celui-ci et ce, conformément aux exigences du client.
- Assurer la maintenance des installations fixes et des moyens de distribution.
- Assurer une qualité de service répondant aux attentes de la clientèle et veiller au maintien de l'image de marque de l'entreprise.

3.1.5. Laboratoire Central

Il est chargé de :

- Contrôler la qualité des carburants commercialisés par la branche.
- Veiller respecter strictement les normes exigées.
- Etablir des bulletins d'analyses des produits contrôlés.
- Contrôler la présence d'eau et de soufre dans les carburants.
- Veiller à la transmission des résultats d'analyses aux différents centres et dépôts.
- Vérifier et suivre l'étalonnage des équipements de mesure du laboratoire.
- Mettre à jour tous les documents et dossiers qui relèvent des équipements du laboratoire.

3.1.5.1. Organisation du laboratoire central

Le laboratoire central dispose de deux services :

Inspection : inspecter les produits provenant des raffineries et des caboteurs (analyses complètes).

Analyse : consiste à ré-certifier les produits stockés par NAFTAL à des fins de distribution.

Le laboratoire central de NAFTAL est représenté par l'organigramme suivant:

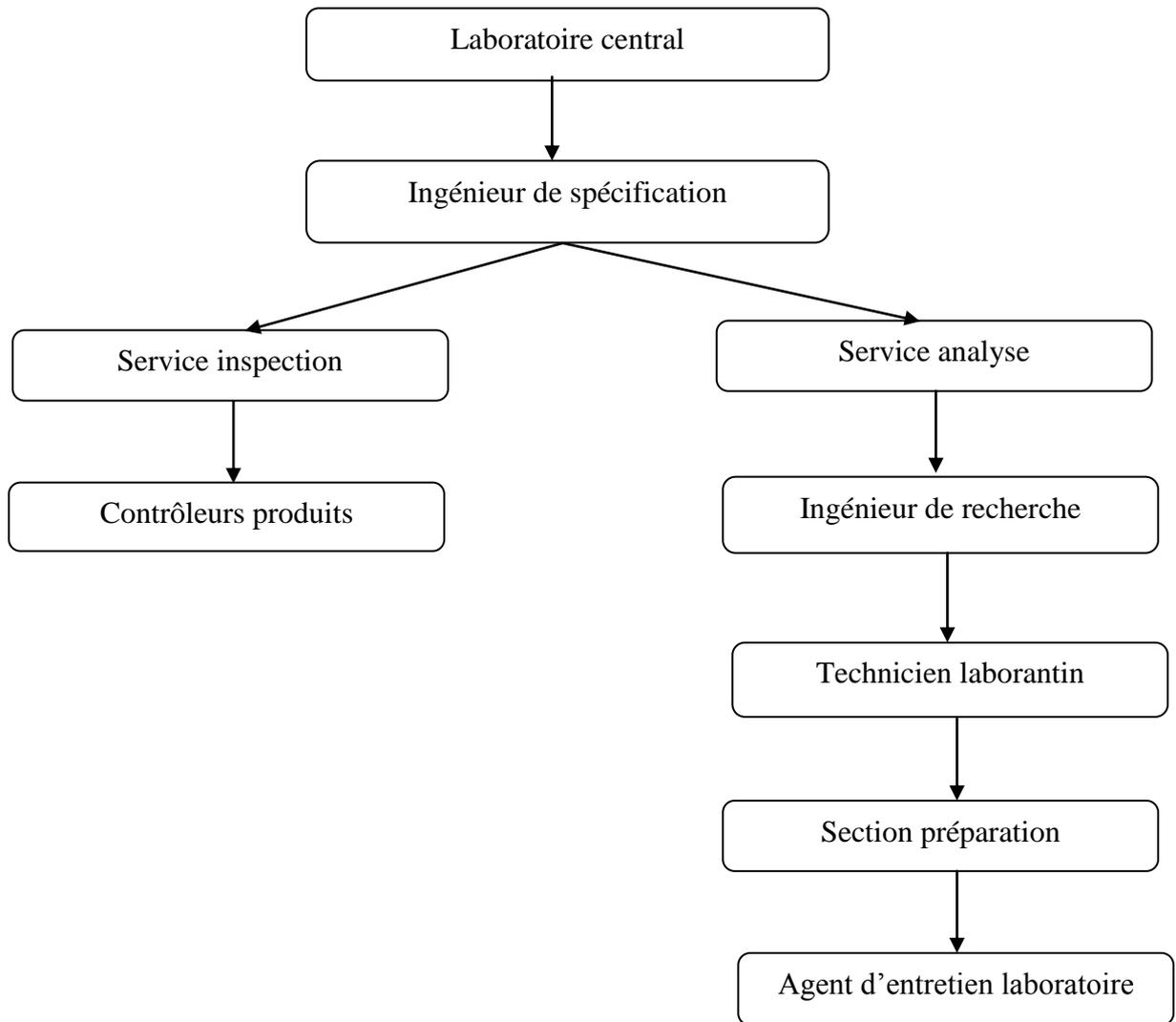


Figure 3.1 : Organigramme du laboratoire central.

3.1.5.2. Analyses effectuées dans le laboratoire

a. Analyse complète de spécification

Cette analyse recouvre la détermination de la totalité des caractéristiques définies par la spécification en vigueur du produit, elle s'applique pour les produits prélevés sur les bacs des raffineries.

b. Analyse de repentification

Cette analyse a pour but de vérifier la qualité du produit après son transport par un système non spécialisé et concerne les bacs ou bien suite à sa réception par un système de transport spécialisé utilisé uniquement pour le transport du Jet A1 ainsi que le transport par camion.

c. Analyse périodique

Cette analyse est effectuée pour certifier que le produit qui est en stockage depuis un certain temps reste conforme à sa spécification et que la qualité du produit n'a pas évolué depuis les dernières analyses.

d. Analyse de contamination

Cette analyse est effectuée par un laboratoire local et a pour but de détecter une éventuelle contamination après changement d'un navire par exemple.

3.2. Matériel et méthodes

Les différents matériel et méthodes utilisés durant les analyses effectuées au niveau du laboratoire sont regroupés dans ce qui suit :

3.2.1. La compatibilité par l'essai à la tâche selon ASTM 4740

On entend par la compatibilité le fait que le mélange de deux produits pétroliers d'origine différente soit stable dans le temps. La conséquence de mélanger deux produits non compatibles est donc la déstabilisation du produit fabriqué. On détermine la compatibilité par la méthode de l'essai à la tâche.

Appareillage

- Etuve.
- Plaque chauffante.
- Support papier test.
- Tige en verre.
- Agitateur.
- Papier test : papier chromatographique ou papier filtre whatman N°2.
- Bécher.

Mode opératoire

- Chauffer le mélange avec l'agitation à 90 °C.
- À partir de 90 °C on lance le chronomètre.
- Positionner le papier test sur un support creux sur la partie centrale de manière à ce que la partie test ne touche aucune partie du support et le placer dans l'étuve chauffée à 100 °C pendant 5 minutes.
- Après 20 minutes plonger la tige dans l'échantillon et agiter environ 5 fois.

- Retirer la tige et laisser tomber la première goutte dans l'échantillon puis faire tomber la seconde goutte sur le papier test.
- Positionner le papier test de façon à ce que la partie test ne touche pas le support et le placer dans l'étuve à une température de 100 °C pendant 1 h.
- Comparer la tâche avec les tâches de référence (ANNEXE 1).



Figure 3.2 : Le test de la compatibilité.

3.2.2. La viscosité cinématique à 50 °C selon ASTM D445

La viscosité cinématique est déterminée par la mesure du temps d'écoulement dans un viscosimètre capillaire calibré à la température 50 °C.

Appareillage

- viscosimètre
- Support de viscosimètre.
- Bouchon.
- Bain thermostat à 50 °C.
- Chronomètre.

Mode opératoire

- Mettre en marche le bain thermostat et le laisser se stabiliser à une température de 50 °C.
- Choisir le viscosimètre adéquat pour le test.
- Chauffer l'échantillon en agitant avec une tige.
- Remplir le viscosimètre, le placer dans le support du viscosimètre, puis l'immerger dans le bain pendant 30 min, en le fermant avec un bouchon.

- Après 30 min, on enlève le bouchon et on lance le test , en laissant l'échantillon s'écouler librement et on mesure le temps en seconde que met le produit pour passer du première trait de jauge au deuxième t_1 et le temps du deuxième trait de jauge au troisième t_2 .
- Faire la moyenne des deux résultats.

Le calcul de la viscosité se fait par cette formule :

$$\mu = C \times t$$

Avec :

μ : c'est la viscosité cinématique en centistokes (mm^2/s).

C : la constante d'étalonnage du viscosimètre (mm^2/s^2).

t : le temps d'écoulement en (secondes).



Figure 3.3 : Dispositif de détermination de la viscosité cinématique.

3.2.3. La densité à 15 °C selon ASTM D1298

La détermination de la densité de fuel-oil se fait à l'aide d'un densimètre en verre à la température de 15 °C.

Appareillage

- Eprouvette.
- Densimètre.
- Thermomètre.
- Bain thermostaté.

Mode opératoire

- Remplir une éprouvette graduée de 500 ml de volume de mélange.

- Insérer le thermo-densimètre lentement dans l'éprouvette jusqu'à ce qu'il ne flotte pas, en utilisant une combinaison de mouvements verticaux et de rotation pour assurer une uniformité dans toute l'éprouvette.
- Une fois que le thermo-densimètre arrête d'osciller, on fait la lecture de valeurs.
- Il est important de mesurer la température en même temps que la viscosité.
- On corrige la valeur de la densité à partir de l'équation suivante :

$$d^{15} = d_{lue} + a(T-15)$$

Avec :

d^{15} : la densité à 15 °C.

d_{lue} : densité lue par le thermo-densimètre.

a : facteur de correction (ANNEXE 3).

T : température de l'essai °C



Figure 3.4 : appareil de mesure de la masse volumique.

3.2.4. Point d'écoulement selon ASTM 97

L'échantillon est préalablement refroidi à une température déterminée et ses caractéristiques d'écoulement sont observées à des intervalles de 3 °C. La température la plus basse à laquelle il coule encore est notée, elle correspond au point d'écoulement.

Appareillage

- Tube à essai cylindrique en verre transparent.
- Thermomètre (ASTM 5C, 6C).
- Bouchon s'adaptant au tube à essai et percé d'un trou central pour le thermomètre.

- Bain réfrigérant.

Mode opératoire

- Verser l'échantillon dans le tube à essai jusqu'au trait de jauge et le fermer avec son bouchon équipé par un thermomètre approprié.
- Chauffer l'échantillon dans un bain d'eau à une température présumé de 50 °C.
- Lorsque l'échantillon est chauffé à 50 °C, on le retire du bain, on le laisse refroidir jusqu'à 26 °C, on le place dans l'équipement de mesure du point d'écoulement et chaque 3 °C on incline le tube pour voir si le carburant cesse de s'écouler.
- Dès que l'échantillon ne coule plus noter la valeur observée du thermomètre et ajouter 3 °C comme étant le point d'écoulement ASTM D97.



Figure 3.5 : Dispositif du point d'écoulement.

3.2.5. Point d'éclair selon ASTM D93

La détermination du point éclair est effectuée à l'aide d'un appareil Pensky Martens, qui nous permet de mesurer la température à laquelle les vapeurs du produit s'enflamment dans des conditions normalisées.

Appareillage

- Appareil de point d'éclair: appareil Pensky-Martens.
- Source de gaz ou une source de chaleur électrique.
- Thermomètre : ASTM 9 °C.

Mode opératoire

- Nettoyer le dispositif.

- Remplir le vase jusqu'au niveau indiqué, on lui met son couvercle, sous agitation continue et placer le thermomètre adéquat.
- Allumer la flamme, en la réglant à 3 mm et choisir la 3ème vitesse dans l'appareil.
- Une source d'inflammation est dirigée à travers une ouverture du couvercle du vase d'essai à des intervalles de températures régulières avec interruption simultanée de l'agitation.
- À partir de 48 °C, chaque 5 °C on présente la flamme, il faut qu'elle soit abaissée jusqu'au-dessus du vase où sont émises les vapeurs. On la laisse en position basse pendant 1 s et on relève rapidement jusqu'à sa position haute.
- Lors d'un flash, le moment où la présentation provoque un éclair net à l'intérieur du vase d'essai, on note la température lue sur le thermomètre, cette température représente le point d'éclair.

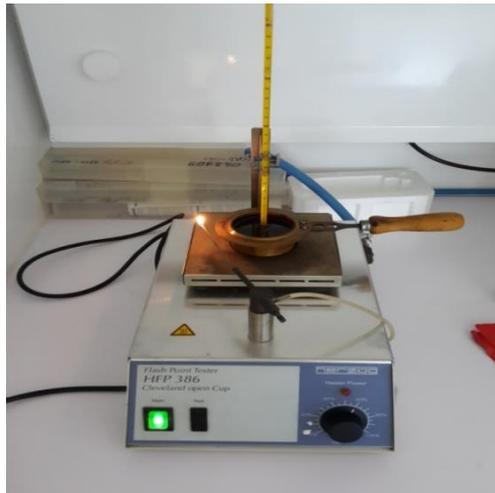


Figure 3.6 : Appareil de Pensky-Martens.

3.2.6. Teneur en eau selon ASTM D95

On détermine le volume d'eau dans le fuel-oil par la méthode de distillation; on utilise le kérosène comme solvant.

Appareillage

- Un ballon de distillation en verre d'une capacité de 500 ml.
- Une quantité de kérosène (solvant 100 g).
- Une source de chaleur.
- Un réfrigérant à reflux.
- Un tube gradué en verre.

Mode opératoire

- Placer 100 g d'échantillon dans le ballon, puis lui rajouter 100 g du kérosène.
- Assembler les composants de l'appareil en choisissant le tube de recette en fonction de la teneur en eau présumée de l'échantillon, et en s'assurant que tous les raccords sont étanches à la vapeur et au liquide.
- Chauffer le mélange durant 30 minutes.
- Les vapeurs formées sont refroidies par l'eau puis récupérées dans le tube gradué.
- Noter directement le volume d'eau condensé dans le tube.



Figure 3.7 : Dispositif de distillation à reflux pour la mesure de la teneur en eau.

3.2.7. Teneur en soufre selon ASTM D2622

C'est la détermination de la quantité du soufre présente dans le fuel-oil à l'aide des rayons X.

Appareillage

- L'appareil OXFORD à tube rayon X.
- Une bouteille de gaz d'hélium.

Mode opératoire

- Ouvrir la bouteille d'hélium.
- Allumer l'appareil OXFORD et attendre que le MENU PRINCIPAL s'affiche sur l'écran.
- Préparer l'échantillon à analyser.
- Placer l'échantillon dans la chambre d'analyse.

- Entrer les informations concernant l'échantillon cliquer sur Ok; quand l'analyse est terminée, l'écran de l'appareil contiendra les résultats finaux de l'analyse.
- Imprimer les résultats.



Figure 3.8 : Appareil de détermination de la teneur en soufre aux rayons X.

3.2.8. Teneur en sédiments totaux après vieillissement selon la norme ISO10307-2

Les sédiments totaux après vieillissement sont la quantité totale de sédiments qui peut être formée dans son stockage.

On détermine la teneur en sédiments selon la norme ISO10307-2 par la filtration et on utilise l'hexadécane (cétane) comme réactif. La teneur en sédiments ne doit pas dépasser 0,10%.

Appareillage

- Bain de vieillissement.
- Thermomètre.
- Condenseur.
- Agitateur.
- Bouchon.
- Vase en métal.
- Microburette de 5 ml de capacité minimale graduée tous les 0.02 ml.
- Fiole conique de 50 ml de capacité.
- Spatule.

Mode opératoire

- Mettre le bain de vieillissement en marche, et régler la température à 100 °C.
- 50 ml de l'échantillon est ajouté dans la fiole conique remplis à 50 ml de solvants (hexadécane).
- Boucher le Fiole conique avec un bouchon et agiter vigoureusement jusqu'à ce que le contenu soit bien mélangé.
- Mélanger bien l'échantillon avec un agitateur.
- Le dispositif de mesure est représenté sur la figure 3.9.



Figure 3.9 : Dispositif de mesure de la teneur en sédiments.

3.3. Les produits utilisés**3.3.1. Les produits de base**

- IFO 80 cSt
- IFO 180 cSt
- IFO 380 cSt

3.3.2. Les produits légers

- Gasoil propre
- Gasoil de rinçage
- Jet A1

3.3.3. Les additifs

- Xylène
- Ethanol
- Propanol2

CHAPITRE 4:
RESULTATS ET DISCUSSIONS

Nous présentons dans ce chapitre tous les essais que nous avons effectués pour la formulation de l'IFO 30 cSt.

Tout d'abord, on a essayé de résoudre le problème du point d'écoulement pour le mélange actuellement fabriqué par NAFTAL à partir de l'IFO 80 cSt et le gasoil propre. Après, on a étudié la possibilité de formulation de l'IFO 30 cSt à partir des produits suivants: l'IFO 80 cSt, l'IFO 180 cSt, l'IFO 380 cSt, Jet A1, gasoil propre et gasoil de rinçage.

4.1. Les caractéristiques des produits utilisés

4.1.1. IFO 80 cSt

L'IFO 80 cSt est un produit propre car il est non polluant, il est classé parmi les fuel-oils BTS ($\% S \leq 0.5\%$). Il est caractérisé aussi par une faible viscosité (produit léger et coûteux par rapport aux autres).

Les caractéristiques spécifiques du l'IFO 80 cSt sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 4.1 : Caractéristiques spécifiques du l'IFO 80 cSt.

Caractéristiques	résultats
Masse volumique à 15°C (kg/m ³)	894,9
Viscosité cinématique à 50°C (cSt)	47,68
Teneur en soufre (% en mass)	0,13
Point éclair PM (°C)	>110
Point d'écoulement qualité hiver (°C)	+24
Sédiments totaux après vieillissement (% en mass)	0,0633

D'après ces résultats, nous constatons que ce produit est conforme par identification avec la fiche technique de l'IFO 80 cSt (ANNEXE 5).

4.1.2. IFO 180 cSt

L'IFO 180 cSt est un produit dérivé de l'IFO 380 cSt. C'est un produit polluant, car il est caractérisé par sa teneur en soufre qui est supérieure à celle de l'IFO 80 cSt et avec une viscosité élevée (produit lourd); il est donc moins cher que l'IFO 80 cSt.

Les caractéristiques spécifiques du l'IFO 180 cSt sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 4.2 : Caractéristiques spécifiques de l'IFO 180 cSt.

Caractéristiques	Résultats
Masse volumique à 15°C (kg/m ³)	988,0
Viscosité cinématique à 50°C (cSt)	155,8
Soufre (% en mass)	0,5084
Point éclair PM°C	96
Point d'écoulement qualité hiver (°C)	+12
CCAI (Indice de carbone aromatique calculé)	859
Sédiments totaux après vieillissement (% en mass)	0,03

D'après ces résultats, nous constatons que ce produit est conforme par identification avec la fiche technique de l'IFO 180 cSt (ANNEXE 6).

4.1.3. IFO 380 cSt

IFO 380 cSt est un produit très polluant, car il est soufré (IFO HTS). Il est caractérisé aussi par sa haute viscosité (plus lourd). C'est donc le moins coûteux par rapport aux autres produits.

Les caractéristiques spécifiques du l'IFO 380 cSt sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 4.3 : Caractéristiques spécifiques de l'IFO 380 cSt.

Caractéristiques	Résultats
Masse volumique à 15°C (kg/m ³)	990,9
Viscosité cinématique à 50°C (cSt)	367,68
Soufre total (% en mass)	0,5084
Point d'écoulement qualité hiver (°C)	0
Point éclair (°C)	+70
Teneur en soufre (% en mass)	1,997
Teneur en eau (%en vol)	0,1

D'après ces résultats, nous constatons que ce produit est conforme par identification avec la fiche technique de l'IFO 380 cSt (ANNEXE 7).

4.1.4. Gasoil propre (GOP)

Les caractéristiques spécifiques du GOP sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 4.4 : Caractéristiques spécifiques du GOP.

Caractéristiques	Limites		Résultats
	Min	Max	
Masse volumique à 15°C (kg/m ³)	-	890,0	828
Point éclair PM (V.F) (°C)	60	-	66
Point d'écoulement (°C)	Hiver	-6	-15
	Eté	0	-
Soufre total (% en mass)		0.10	0.07
Viscosité à (+40°C) (cSt)	2,000	6,000	3,70
Indice de cétane	40	-	53

D'après ces résultats, nous constatons que ce produit (GOP) est conforme par identification avec sa fiche technique.

4.1.5. Le Jet A1

Les principales caractéristiques de Jet A1 sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 4.5 : Principales caractéristiques de Jet A1.

Caractéristiques	Limites		Résultats
	Min	Max	
Masse volumique à 15°C (kg/m ³)	775,0	840,0	777,7
Point éclair PM (V.F) (°C)	38,0	-	50
Point d'écoulement (°C)	-	-47,0	-58,2

D'après ces résultats, nous constatons que ce produit (Jet A1) est conforme par identification avec sa fiche technique.

4.2. Formulation actuelle de l'IFO 30 cSt par NAFTAL

L'IFO 30 cSt est formulé par la société algérienne NAFTAL à partir de 82% de l'IFO 80 cSt et 18% de gasoil propre.

4.2.1. Analyse de l'IFO 30 cSt

Après la préparation de mélange, on a commencé directement les tests d'analyse :

a. la compatibilité

La tâche du produit élaboré est représentée par la figure suivante :



Figure 4.1: Tâche correspondant à la proportion (82% d'IFO 80 cSt et 18% de GOP).

En comparant la tâche du produit formulé (Figure 4.1) avec les tâches de référence (ANNEXE 1), nous remarquons que, notre tâche correspond à la tâche N°1. Notre mélange est donc compatible. Le test de la compatibilité étant positif, il nous permet de réaliser les autres tests.

b. la viscosité et le point d'écoulement

On a obtenu une viscosité de 25,76 cSt à 50°C et un point d'écoulement de +15°C.

Interprétation

D'après ces résultats, nous remarquons que le point d'écoulement est différent de la norme (0°C en hiver), on peut dire donc que le produit formulé est non conforme. Cela est dû probablement à la présence des paraffines. Le mélange contenant du GOP qui a un point d'écoulement de (-15°C) par rapport à l'IFO 80 cSt (+24°C), il faut donc ajouter un additif adéquat avec un point d'écoulement plus bas.

4.2.2. Correction de mélange (IFO 80 cSt-GOP)

Pour régler ce problème de point d'écoulement, on essaye de faire des corrections par d'autres carburants adéquats.

a. Par l'ajout du xylène

On a choisi le xylène (C₈H₁₀) comme additif, qui a un point de fusion de (-35°C).

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 4.6 : Caractéristiques des mélanges formulés par l'ajout de Xylène.

Composition (%)	Compatibilité	Viscosité (cSt)	Point d'écoulement (°C)
82 % IFO 80 cSt, 15% GOP, 3% Xylène	compatible tâche N°1	25	+18
82 % IFO 80 cSt, 13% GOP, 5% Xylène	compatible tâche N°1	27,33	+21

Interprétation

D'après ces résultats, nous remarquons que le produit formulé est compatible avec le produit de référence. Mais son point d'écoulement est supérieur à celui de référence. Cela peut être expliqué par le fait que les asphaltènes présents dans le fuel ont désactivé la fonction principale de cet additif ; on peut dire donc que l'ajout de xylène ne répond pas à notre objectif pour baisser le point d'écoulement.

b. Par l'ajout de Jet A1

Nous avons choisi le kérosène parce qu'il a une limite maximale de -47°C de point d'écoulement.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 4.7 : Caractéristiques des mélanges formulés par l'ajout de Jet A1.

Composition (%)	Compatibilité	Viscosité (cSt)	Point d'écoulement (°C)
82 % IFO 80 cSt, 13% GOP, 5% Jet A1	compatible tâche N°1	19,51	+21
82 % IFO 80 cSt, 9% GOP, 9% Jet A1	compatible tâche N°1	18,11	-9

Interprétation

D'après ces résultats, nous remarquons qu'avec l'ajout de 9% de Jet A1, le point d'écoulement est dans la norme (0°C en hiver), sauf sa viscosité qui est très loin de sa valeur maximale (30 cSt) à 50°C. On peut donc dire que le produit formulé est non conforme. Mais les 5% de Jet A1 ne sont pas assez suffisants pour atteindre la valeur désiré de point d'écoulement (0°C en hiver). L'avantage du Jet A1 est à un double effet, car au fur et à mesure de l'ajout de cet additif, la viscosité et le point d'écoulement diminuent.

c. Par l'ajout d'éthanol

Nous avons choisi l'éthanol qui a un point d'écoulement de -117°C (plus bas que celle de Jet A1).

Les résultats de cet essai sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4.8 : Caractéristiques des mélanges formulés par l'ajout d'éthanol.

Composition (%)	Compatibilité	Viscosité (cSt)	Point d'écoulement (°C)
82 % IFO 80 cSt, 15% GOP, 3% Ethanol	compatible tâche N°1	24,105	+15
82 % IFO 80 cSt, 13% GOP 5% Ethanol	compatible tâche N°1	30,6	+12

Interprétation

D'après ces résultats, nous remarquons que les produits formulés sont compatibles avec le produit de référence (ANNEXE N°1). Mais leurs points d'écoulements sont supérieurs à ceux de référence (0°C en hiver). Cela est dû à la présence des asphaltènes qui ont désactivé ce solvant par leur forte teneur en hétéro-

éléments. On peut donc dire que l'ajout de l'éthanol ne répond pas à notre objectif pour baisser le point d'écoulement. Nous concluons que ces mélanges sont non conformes.

4.3. Formulation de l'IFO 30 cSt à partir de l'IFO 80 cSt avec le Jet A1 et avec le GOR

Après la vérification de la conformité de ces produits (IFO 80 cSt, Jet A1 et GOR), on va préparer les mélanges qui sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 4.9 : Caractéristiques des mélanges formulés à partir de l'IFO 80 cSt avec le Jet A1 et avec le GOR.

Mélange	IFO 80 cSt + Jet A1		IFO 80 cSt + GOR	
	Composition (%)	95 % IFO 80 cSt, 5% Jet A1	90% IFO 80 cSt, 10% Jet A1	90% IFO 80 cSt, 10% GOR
Compatibilité	tâche N°1(a)	tâche N°1 (b)	tâcheN°1(c)	tâche N°1(d)
Viscosité (cSt)	54,145	29,88	29,64	27,46
Point d'écoulement (°C)	-15	-21	+21	+18

Les tâches des produits binaires sont représentées par la figure suivante :

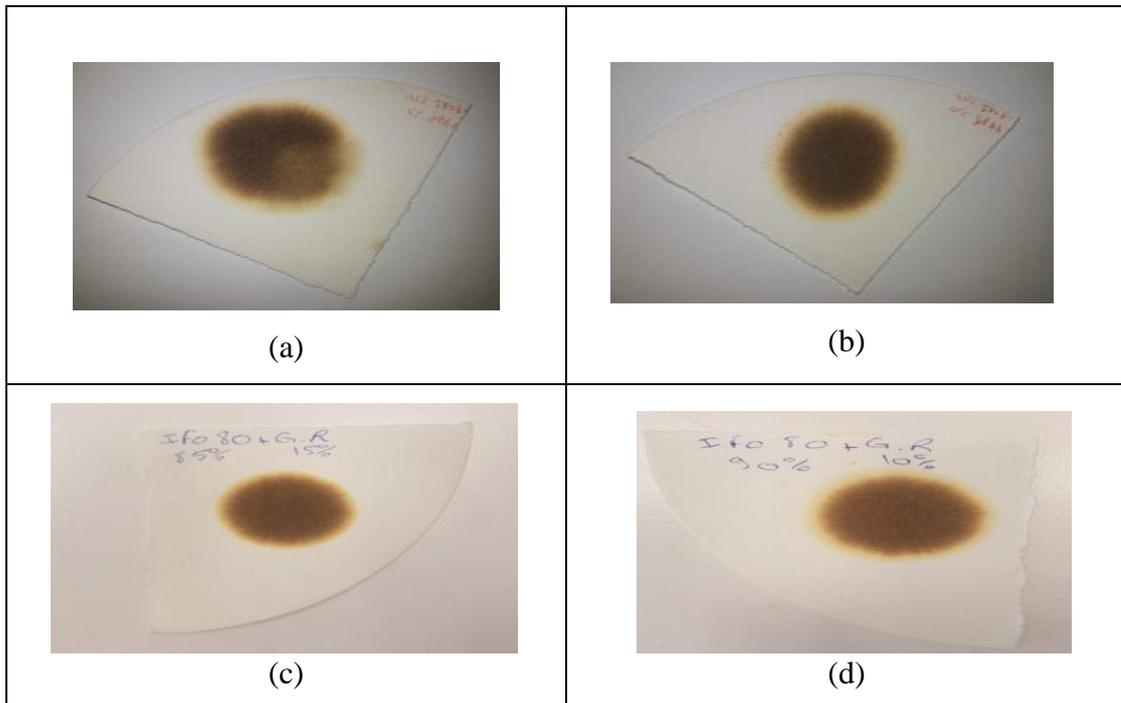


Figure 4.2 : Tâches correspondant aux mélanges binaires (IFO 80 cSt-Jet A1 et le IFO 80cSt-GOR).

En comparant les tâches des produits formulés (Figure 4.2) avec les tâches de référence (ANNEXE 1), nous remarquons que nos tâches correspondent à la tâche N°1, donc nos mélanges sont compatibles. Puisque le test de la compatibilité est positif, à permet de réaliser les autres tests.

Interprétation

D'après ces résultats, nous remarquons que la formule élaborée par le mélange (90 % d'IFO 80 cSt et 10% Jet A1) est conforme aux spécifications de la norme. Cela est dû à la présence d'une grande quantité d'aromatiques dans le Jet A1 (basse température de fusion). L'inconvénient de cette formulation est le prix élevé de Jet A1.

Par contre, avec l'utilisation de gasoil de rinçage, nous avons obtenu des points d'écoulements ne répondant pas à la norme (0°C en hiver). Malgré la présence de ces fuels et gasoil dans le GOR, il reste toujours que les paraffines sont assez disponibles pour neutraliser les asphaltènes. Les mélanges sont donc non conformes.

Nous pouvons faire des corrections à ces mélanges par l'ajout des additifs adéquats qui sont représentés dans le tableau 4.10.

Tableau 4.10 : Caractéristiques des mélanges formulés à partir de l'IFO 80 cSt et le GOR avec l'ajout des différents additifs.

Composition (%)	Compatibilité	Viscosité (cSt)	Point d'écoulement (°C)
90 % IFO 80 cSt, 7% GOR, 3% xylène	tâche N°1	24,22	+21
85 % IFO80 cSt, 10% GOR, 5% xylène	tâche N°1	19,9	+18
87 % IFO 80 cSt, 10% GOR, 3% Jet A1	tâche N°1	28,87	+24
90 % IFO80 cSt, 5% GOR, 5% Jet A1	tâche N°1	26,83	+21
84% IFO80 cSt, 15% GOR, 1% Propanol2	tâche N°1	22,55	+15
83 % IFO 80 cSt, 15% GOR, 2% Propanol2	tâche N°1	21,05	+18
85 % IFO 80 cSt, 10% GOR, 5% Propanol2	tâche N°1	20,28	+21
90 % IFO 80 cSt, 6,5% GOR, 3,5% Ethanol	tâche N°1	35,5	+21
90 % IFO80 cSt, 5% GOR, 5% Ethanol	tâche N°1	42,11	+24

Interprétation

D'après ces résultats, nous remarquons que tous les points d'écoulement sont élevés (ne répondent pas à la norme), à cause de la présence des asphaltènes (forte

teneur en hétéro-éléments) dans le fuel, d'où la désactivation du rôle de la fonction souhaitée des différents solvants.

Nous concluons que ces mélanges sont non conformes. Donc nous essayons avec le fuel-oil 180 cSt.

4.4. Formulation de l'IFO 30 cSt à partir de l'IFO 180 cSt et le GOP

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau 4.11 : Caractéristiques des mélanges formulés à partir de l'IFO 180 cSt et le GOP.

Composition (%)	Compatibilité	Viscosité (cSt)	Point d'écoulement (°C)
90 % IFO 180 cSt, 10% GOP	Compatible tâche N°1 (e)	80,23	-15
75 % IFO 180 cSt, 25% GOP	Non compatible tâche N°5 (f)	38,34	-18
65 % IFO 180 cSt, 35% GOP	Non compatible tâche N°5 (g)	21,95	0
90 % IFO 180 cSt, 7% GOP, 3% Xylène	Non compatible tâche N°5	53,03	-18
90 % IFO 180 cSt, 5% GOP, 5% Xylène	Non compatible tâche N°5	38,12	-12
90 % IFO 180 cSt, 3% GOP, 7% Jet A1	non compatible tâche N°5	39,65	+6
82 % IFO 180 cSt, 10% GOP, 8% Jet A1	non compatible tâche N°5	25,90	+3
90 % IFO 180 cSt, 9% GOP, 1% Propanol2	Non compatible tâche N°5	42,42	+9
90 % IFO 180 cSt, 7% GOP, 3% Propanol2	Non compatible tâche N°5	52,65	-12
90 % IFO 180 cSt, 5% GOP, 5% Propanol2	Non compatible tâche N°5	54,9	+3

Les tâches des produits binaires sont représentées par les figures suivantes :

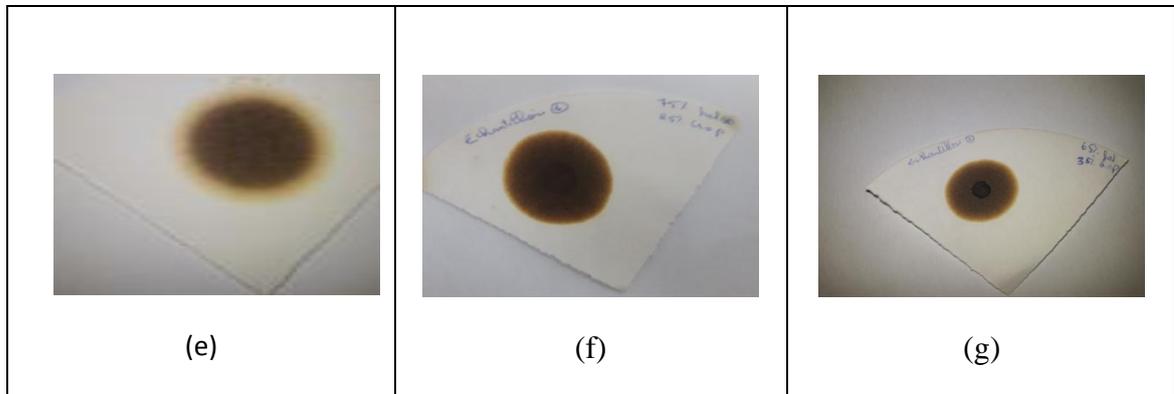


Figure 4.3 : Tâches correspondant aux différents mélanges binaires (IFO 180 cSt - GOP).

Interprétation

D'après ces résultats, nous remarquons que ses mélanges sont non compatibles (tâche N°5), donc les produits formulés sont non conformes. Par contre, le mélange (90% IFO 180 cSt, 10% GOP) est Compatible mais on a obtenu une viscosité qui ne répond pas à la norme. On doit essayer de diminuer la viscosité avec l'ajout d'un additif qui sert à régler ce problème. L'IFO 30 cSt n'est pas conforme car l'IFO 180 cSt utilisé contient beaucoup d'asphaltènes qui a causé l'incompatibilité avec le produit léger GOP qui contient beaucoup de paraffines.

Nous concluons que ces mélanges ne sont pas conformes. Donc nous essayons avec le fuel-oil 380 cSt.

4.5. Formulation de l'IFO 30 cSt à partir de l'IFO 380 cSt avec le GOP et avec le GOR

a. La compatibilité

Les tâches des produits élaborés sont représentées par les figures suivantes :

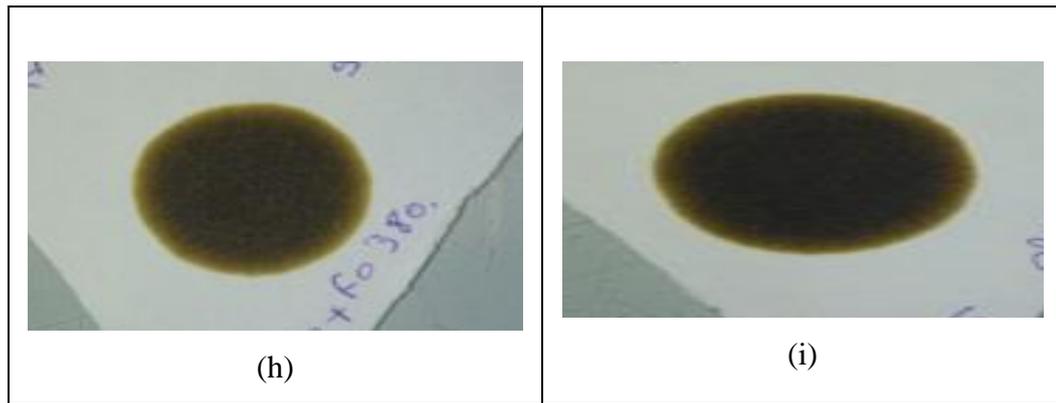


Figure 4.4 : Tâches correspondant aux mélanges binaires (IFO 380-GOP et IFO 380-GOR).

En comparant les tâches des produits formulés (Figure 4.4) avec les tâches de la référence (ANNEXE N°1), nous remarquons qu'elles ressemblent à la tâche N°1, donc nos mélanges sont compatibles.

Les résultats des trois tests sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 4.11 : Caractéristiques des mélanges formulés à partir de l'IFO 380 cSt avec le GOP et avec le GOR.

Composition (%)	Compatibilité	Viscosité (cSt)	Point d'écoulement (°C)
60 % IFO 380 cSt, 40% GOP	Compatible tâche N°1(h)	20,08	-27
60 % IFO 380 cSt, 40% GOR	Compatible tâche N°1(i)	27,9	-3

Interprétation

L'utilisation du GOP est ici assez importante, donc comme le GOP n'a pas donné un bon résultat, nous avons pensé à utiliser un autre type de solvant disponible dans le laboratoire qui est le gasoil de rinçage. D'après ces résultats, nous constatons la conformité du produit. On peut dire donc qu'avec le gasoil de rinçage on est arrivé à un produit conforme selon la norme. En plus, il est rentable.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de notre étude est de reformuler un IFO 30 cSt qui répond aux spécifications de la norme internationale ISO8217: 2017.

Avant de préparer les mélanges binaires, nous avons vérifié la conformité des produits utilisés pour formuler le produit souhaité. Tout d'abord, nous avons essayé de résoudre le problème du point d'écoulement du mélange que NAFTAL fabrique actuellement, en ajoutant des additifs qui ont des points d'écoulements très bas comme le Jet A1, l'éthanol.... Ensuite, nous avons suggéré d'autres mélanges binaires basés sur différents fuel-oils (IFO 80 cSt, IFO 180 cSt et IFO 380 cSt) avec l'ajout de produits légers (GOP, GOR et Jet A1).

Au cours de la réalisation de ce travail au niveau du laboratoire central de la Branche des carburants NAFTAL, nous avons pris connaissance des différentes analyses physico-chimiques du carburant marin (fuel-oil) et nous avons également tiré des résultats importants :

IFO 80 cSt est un produit qui ne contient pas beaucoup d'aspheltènes et ne nécessite pas une grande proportion de gasoil et de Jet A1 par rapport aux autres fuel-oils, donc ce produit est économique. Mais cela a donné un IFO 30 cSt coûteux nécessitant une grande quantité de Jet A1, donc on ne peut pas prendre en compte ce mélange.

IFO 180 cSt est un produit qui contient beaucoup d'aspheltènes avec le gasoil propre qui est un produit léger paraffinique. Ces molécules sont responsables des problèmes de la compatibilité. Il nécessite aussi une grande quantité de gasoil pour atteindre la norme.

IFO 380 cSt est un produit plus lourd que l'IFO 180 cSt, il faut donc une grande quantité de gasoil pour obtenir un produit qui répond aux exigences de la norme.

Les pourcentages d'additifs (éthanol, xylène, etc.) qui sont ajoutés lors de la correction des mélanges non conformes sont limités (ne dépassant pas 5%) car ils sont volatils et très coûteux.

Le mélange (60% d'IFO 380 cSt et 40% de gasoil de rinçage) est la formule qui permet de valoriser ce rejet d'une part et d'autre part de formuler un IFO 30 cSt rentable

et conforme (compatibilité, viscosité et point d'écoulement) aux exigences de la norme ISO 8217 : 2017, rendant cela apporter des avantages économiques à l'entreprise.

Le gasoil de rinçage est un produit gratuit, qui n'est pas valorisé au niveau du NAFTAL. Il est utilisé dans le but de rincer les pipes et les bacs. Au lieu de le traiter pour éviter les coûts élevés et son rejet dans l'environnement, nous avons remplacé le gasoil propre par ce rejet afin de formuler notre produit de manière rentable et de réduire la pollution de l'environnement.

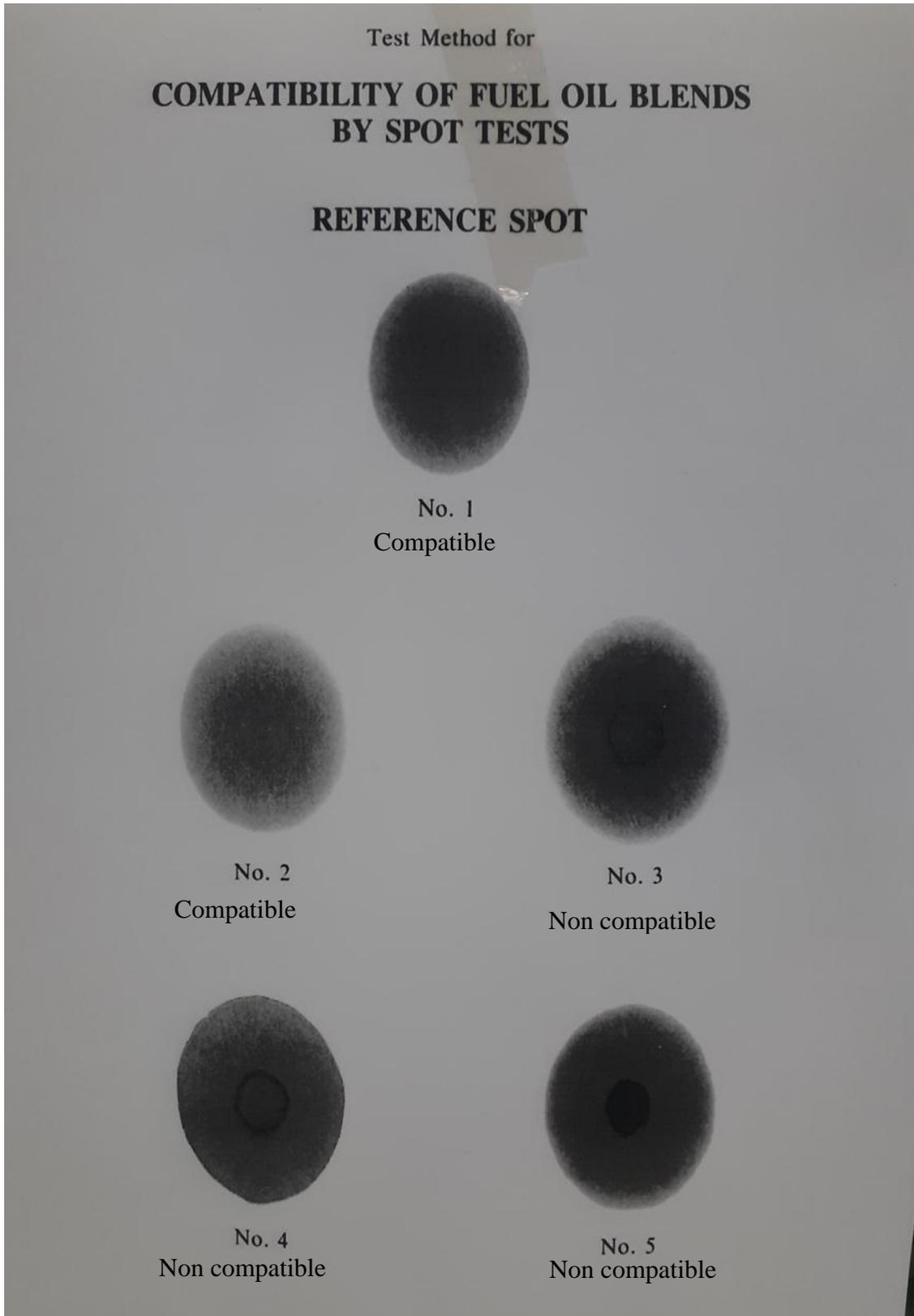
Ce travail réalisé se situe dans un domaine d'actualité. De nouvelles idées peuvent être proposées pour qu'il continue d'avancer telles que :

- Pour confirmer, il faut réaliser ces résultats par d'autres expériences afin d'arriver à une formule stable.
- Nous proposons dans l'avenir l'application de la méthode des plans d'expériences pour résoudre le problème exposé d'une manière scientifique et logique.

ANNEXE

ANNEXE 1

Tâche de références pour le test de compatibilité



ANNEXE 2

Tableau de viscosimètres et leurs constantes en fonction de la température de l'essai

Séries	N° de série	-20°C	20°C	40°C	50°C	100°C
75	G 534	0,010002	0,009975	0,009962	0,009955	0,009922
75	4955	0,0079784	0,0079576	0,0079472	0,007942	0,0079160
75	5052	0,008330	0,008308	0,0082974	0,008292	0,0082648
75	4956	0,008238	0,008217	0,0082058	0,008200	0,0081736
75	4939	0,007880	0,007859	0,0078489	0,007844	0,0078181
100	4634	0,015082	0,015043	0,015024	0,015014	0,014966
100	4701	1B 0,015090	0,01513	0,015150	0,015160	0,015210
		2B 0,01094	0,01097	0,010980	0,01099	0,011023
100	4642	0,014993	0,014954	0,014934	0,014924	0,014875
150	5164	0,038974	0,038872	0,038821	0,038796	0,038668
150	4719	1B 0,032647	0,032733	0,032776	0,032798	0,032905
		2B 0,02444	0,02450	0,024532	0,02455	0,024629
150	5158	0,037975	0,037876	0,037827	0,037802	0,037679
150*	5162	0,040466	0,040360	0,040307	0,040281	0,040148
200	F 67	0,1166	0,1162	0,1161	0,1160	0,1156
200	4737	1B 0,101080	0,101347	0,10148	0,101547	0,10188
		2B 0,07546	0,07566	0,075755	0,07580	0,076052
300	F490	0,2692	0,268467	0,2681	0,267917	0,2670
300	F677	0,2524	0,251733	0,2514	0,251233	0,2504

ANNEXE 3

Tableau de facteur de correction

Densité à la température de l'essai T Densité mesurée (g / ml)	Facteur de correction à g / ml degré	Densité à la température de l'essai T Densité mesurée (g / ml)	Facteur de correction à g / ml degré
0,620 - 0,625	0,00097	0,775 - 0,780	0,00073
0,625 - 0,630	0,00096	0,780 - 0,785	0,00073
0,630 - 0,635	0,00095	0,785 - 0,790	0,00072
0,635 - 0,640	0,00094	0,790 - 0,795	0,00072
0,640 - 0,645	0,00093	0,795 - 0,800	0,00071
0,645 - 0,650	0,00092	0,800 - 0,805	0,00070
0,650 - 0,655	0,00092	0,805 - 0,810	0,00069
0,655 - 0,660	0,00091	0,810 - 0,815	0,00069
0,660 - 0,665	0,00090	0,815 - 0,820	0,00069
0,665 - 0,670	0,00089	0,820 - 0,825	0,00068
0,670 - 0,675	0,00089	0,825 - 0,830	0,00067
0,675 - 0,680	0,00088	0,830 - 0,835	0,00067
0,680 - 0,685	0,00087	0,835 - 0,840	0,00067
0,685 - 0,690	0,00087	0,840 - 0,845	0,00066
0,690 - 0,695	0,00086	0,845 - 0,850	0,00066
0,795 - 0,700	0,00086	0,850 - 0,855	0,00066
0,700 - 0,705	0,00085	0,855 - 0,860	0,00066
0,705 - 0,710	0,00084	0,860 - 0,870	0,00065
0,710 - 0,715	0,00083	0,870 - 0,880	0,00064
0,715 - 0,720	0,00083	0,880 - 0,890	0,00064
0,720 - 0,725	0,00082	0,890 - 0,900	0,00064
0,725 - 0,730	0,00082	0,900 - 0,910	0,00064
0,730 - 0,735	0,00081	0,910 - 0,920	0,00064
0,735 - 0,740	0,00080	0,920 - 0,930	0,00064
0,740 - 0,745	0,00079	0,930 - 0,940	0,00063
0,745 - 0,750	0,00079	0,940 - 0,950	0,00063
0,750 - 0,755	0,00078	0,950 - 0,960	0,00063
0,755 - 0,760	0,00077	0,960 - 0,970	0,00063
0,760 - 0,765	0,00076	0,970 - 0,980	0,00063
0,765 - 0,770	0,00075	0,980 - 0,990	0,00063
0,770 - 0,775	0,00074	0,990 - 1,000	0,00063

ANNEXE 4

Fiche technique de l'IFO 30 cSt

	كشف تحليلي BULLETIN D'ANALYSE IFO 30 cSt (RMB)	ERQ LB 39 08
---	--	---------------------

Provenance :

Date d'échantillonnage :

Echantillon :

Date de réception :

Lot :

Date d'analyse :

Source de transfert :

Bulletin IFO 30 cSt N° :

Année :

CARACTERISTIQUES	UNITES	NORMES	LIMITES		RESULTATS
			MIN	MAX	
Viscosité cinématique à 50°C	cSt	ISO 3104	-	30.00	
Masse volumique à 15 °C	Kg/m ³	ISO 3675	-	960.0	
Indice de Carbone Aromatique Calculé	-	-	-	860	
Teneur en Soufre Total	%masse	ISO 8754	-	0.50	
Point d'éclair	°C	ISO 2719	60	-	
Hydrogène sulfuré H ₂ S	mg/kg	IP 570	-	2.00	
Indice d'acide TAN	mgKOH / g	ASTM D 664	-	2.5	
Sédiments totaux après vieillissement	%masse	ISO 10307-2	-	0.10	
Résidu de carbone – méthode micro	%masse	ISO 10370	-	10.00	
Point d'écoulement (Supérieur)	Qualité Hiver	°C	-	0	
	Qualité été		-	6	
Teneur en eau	%volume	ISO 3733	-	0.5	
Teneur en Cendres	%masse	ISO 6245	-	0.070	
Vanadium	mg/kg	IP 470	-	150	
Sodium	mg/kg	IP 470	-	100	
Aluminium plus Silicium	mg/kg	IP 470	-	40	
Huiles lubrifiantes usagées (HLU)	Calcium et Phosphore	mg/kg	IP 470	Calcium Max 30	
	Ou Calcium et Zinc			Phosphore Max 15	
				Calcium Max 30	
				Zinc Max 15	

Le Responsable du Laboratoire

Adresse : Laboratoire Central – Branche Carburants – Aéroport Houari Boumediene – BP 70 – D.E.B – Alger - Algérie

Tél / Fax : (+213) - 21- 50 95 66

E-mail : labo@naftal.dz

ANNEXE 5

Fiche technique de l'IFO 80 cSt

	كشف تحليلي BULLETIN D'ANALYSE IFO 80 cSt LS 0.5% (RMD)	ERQ LB 62 01
---	--	---------------------

Provenance :	Date d'échantillonnage :
Echantillon :	Date de réception :
Lot :	Date d'analyse :
Source de transfert :	Bulletin IFO 80 cSt LS N° : Année :

CARACTERISTIQUES	UNITES	NORMES	LIMITES		RESULTATS
			MIN	MAX	
Viscosité cinématique à 50°C	cSt	ISO 3104	-	80.00	
Masse volumique à 15 °C	Kg/m ³	ISO 3675	-	975.0	
Indice de Carbone Aromatique Calculé	-	-	-	860	
Teneur en Soufre Total	% _{masse}	ISO 8754	-	0.50	
Point d'éclair	°C	ISO 2719	60	-	
Hydrogène sulfuré H ₂ S	mg/kg	IP 570	-	2.00	
Indice d'acide	mg _{KOH} /g	ASTM D 664	-	2.5	
Sédiments totaux après vieillissement	% _{masse}	ISO 10307-2	-	0.10	
Résidu de carbone – méthode micro	% _{masse}	ISO 10370	-	14.00	
Point d'écoulement (Supérieur)	Qualité Hiver	°C	-	30	
	Qualité été		-	30	
Teneur en eau	% _{volume}	ISO 3733	-	0.5	
Teneur en Cendres	% _{masse}	ISO 6245	-	0.070	
Vanadium	mg/kg	IP 470	-	150	
Sodium	mg/kg	IP 470	-	100	
Aluminium plus Silicium	mg/kg	IP 470	-	40	
Huiles lubrifiantes usagées (HLU)	Calcium et Phosphore	mg/kg	IP 470	Calcium Max 30 Phosphore Max 15	
	Ou Calcium et Zinc			Calcium Max 30 Zinc Max 15	

Le Responsable du Laboratoire

Adresse : Laboratoire Central – Branche Carburants – Aéroport Houari Boumediene – BP 70 – D.E.B – Alger - Algérie
Tél / Fax : (+213) - 21- 50 95 66
E-mail : labo@naftal.dz

Annexe 6

Fiche technique de l'IFO 180 cSt

	كشف تحليلي BULLETIN D'ANALYSE IFO180 CST 1,5 % RMG	ERQ LB 45 07		
Provenance : Espagne		Date d'échantillonnage : 16/08/2018		
Echantillon : NAVIRE CHEM LYRA		Date de réception : 16/08/2018		
Lot N° : -		Date d'analyse : 16/08/2018		
Source de transfert : TANKS 1,2,3,4,5 S/P		BUL- IFO 180 Cst LS (RMG) N° 11 / 2018		
CARACTERISTIQUES	UNITES	Méthodes	LIMITES	RESULTATS
Masse volumique à 15°C	Kg/m3	ISO 3676	Max 991,0	977,2
Viscosité cinématique à 50 °C	cst (mm2/s)	ISO 3104	Max 180	169,7
CCAI Indice de carbone aromatique calculée	-	-	Max 870	847
Teneur en soufre	% en masse	ISO 8754	Max 1,5	0,734
Point éclair PM °C	°C	ISO 2719	Min 60	170
Hydrogène sulfure	mg/kg	IP 570	Max 200	-
Indice d'acide	mg KOH/g	ASTM D 664	Max 2,5	0,073
Sédiments totaux après vieillissement	% en masse	ISO 10307-2	Max 0,10	0,04
Résidu de carbone - Méthode micro	% en masse	ISO 10370	Max 18,00	7,98
Point d'écoulement Qualité été	°C	ISO 3016	Max 30	+9
Point d'écoulement Qualité hiver	°C	ISO 3016	Max 30	-
Teneur en eau	% en volume	ISO 3733	Max 0,50	0,20
Teneur en cendres	% en masse	ISO 6245	Max 0,100	0,020
Vanadium	mg/kg	IP 470	Max 350	-
Sodium	mg/kg	IP 470	Max 100	-
Aluminium plus silicium	mg/kg	IP 470	Max 60	-
Huiles lubrifiantes usagées (HLU) Calcium et zinc ou Calcium et phosphore	mg/kg	IP 470	Le combustible doit être exempt de HLU Calcium > 30 et Zinc > 15 ou Calcium > 30 et Phosphore > 15	
Le Responsable du Laboratoire				
Conforme A ISO 8217 Quant Aux Tests Réalisés				
مخبر تفتال المركزي مطار هواري بومدين دار البيضاء الجزائر Laboratoire central de Dar El Beida Aéroport Houari Boumediene ☎ - Tél. / Fax 021-50.95.66 - 021. 50.95.68 Standard : 021/50/95/52 / 54 - 02150/91/43 - 44 -47				
* Edition : Décembre 2013				

ANNEXE 7

Fiche technique de l'IFO 380 cSt

 Branche Carburants	FICHE TECHNIQUE PRODUIT / PRODUCT DATA SHEET				
<u>PRODUIT / PRODUCT : FUEL 380 CST LS 0.5% (RMG)</u>					
Caractéristiques / Characteristics	Unité /Unit	Limites/Limit		Méthode d'essai /Test méthode	
		Min	Max		
Viscosité cinématique à 40°C/Kinematic Viscosity at 40 °C	mm ² /s (cSt)		380.00	ISO 3104	
Masse volumique à 15°C/Density at 15°C	kg/m ³	-	991.0	ISO 3675	
Soufre total /Sulphur conten	% en masse	-	3.50	ISO 8754	
Point éclair /Flash Point	°C	60	-	ISO 2719	
Point d'écoulement /Pour point	Hiver /winter	°C	-	30	ISO 3016
	Eté /summer	°C	-	30	ISO 3016
Teneur en Eau /Water content		% en volume	0,50	ISO 3733	

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]: L. Nouh, M. Bebboukha, « Optimisation de la TVR de l'Essence par l'Etude des Paramètres de March du Débutaniseur et la Vérification du Rebouilleur », 2015.
- [2]: <http://www.marees-noires.com/fr/petrole/qu-est-ce-que-lepetrole/genese-petrole-animation.php>
- [3]: <http://lepetrolentpe.e-monsite.com/pages/i-le-petrole-qui-nous-entoure/1-qu-est-ce-que-le-petrole/b-sa-comoposition.html>
- [4]: J.P. WAUQUIER, le raffinage de pétrole brut, (Tome 2), Procédés séparation, Edition TECHNIP 1998, Paris p (213-228).
- [5]: P.WITHIER, Le pétrole raffinage et génie chimique (Tome 1) Edition technique, 1972, Paris.
- [6]: P. Wuithier, "Le pétrole-Raffinage et génie chimique ", tome 1, deuxième Ed. Technip, 1972.
- [7]: <http://www.ufip.fr/avtivites/raffinage/comment-fonctionne-une-raffinerie4>
- [8]: L. Carlos Pereira d'Oliveira. Développement d'une méthodologie de modélisation cinétique de procédés de raffinage traitant des charges lourdes. Autre. Ecole normale supérieure de Lyon – ENS LYON, 2013. Français. <NNT : 2013ENSL0812>. <Tel-00839871>.
- [9]: <https://www.fioulmarket.fr/astuces-conseik/tout-savoir-sur-le-fioul/raffinage-du-petrole-les-principales-etapes>.
- [10]: http://www.guide.be/article/les_types_de_petrole.html
- [11]: ADJIR .M, .BENKEZIM .R, Raffinage du pétrole et caractérisation d'un sous-produit « huile moteur commerciale pour véhicules lourds de type diesel », mémoire de master, Université A. MIRA – Béjaia, Algérie ,2018.
- [12]: <http://www.aps.dz/economie/104415-petrole-l-allgerie-dispose-de-reserves-provees-de-1-340-mns-de-tonnes>
- [13]: <https://www2.saacke.com/fr/combustibles/combustibles-standards/fioul-lourd/>
- [14]: J.C. GUIBET, Carburants et moteurs, Ed .TECHNIP, 1997
- [15]: www.universalis.fr > encyclopédie > 4-les-carburants-lourds
- [16]: J.C. GUIBET & E.FAURE, Carburants et moteurs : technologies, énergies et environnement. Tome1 Paris: Ed. Technip, 1997.

- [17]: C. PILORGET, B. DANANCHE, D. LUCE, J. FEVOTTE. (2007). "Éléments techniques sur l'exposition professionnelle aux carburants et solvants pétroliers". Institut de veille sanitaire, pp. 6-8. 2007.
- [18]: <https://www.fioulmarket.fr/astuces-conseils/tout-savoir-sur-le-fioul/quels-sont-les-differents-types-de-fioul>.
- [19]: http://www.chem4us.be/environnement/carburants_marin/
- [20]: Publications Un. "2000 Annuaire des statistiques de l'énergie ", pp. 114-117. Nations Unies, 2002.
- [21]: É. Guyon, J.-P. Hulin et L. Petit, Hydrodynamique physique, EDP Sciences, CNRS Éd., 674 p., 2001 (ISBN 2-868-83502-3).
- [22]: http://www.eni.com/fr_FR/produits-services/lubrifiants-automobiles/savoir-faire/specifications-caracteristiques-lubrifiants/specifications-caracteristiques-lubrifiants.shtml 20 juin 2019.
- [23]: http://www.ciment.wikibis.com/masse_volumique.php 20 juin 2019.
- [24]: J.-P. FAVENNEC (1998). " Le Raffinage du pétrole : Exploitation et gestion de la raffinerie". Tome 5, pp. 55-126. Éditions OPHRYS, 1998.
- [25]: K. NEJJAR. Etude de la Réactivité Thermique d'une Huile de Lubrification des Moteurs Diesel. Thèse de doctorat de l'université des sciences MOHAMMED V – AGDAL, Rabat, 2011.
- [26]: J-M. PETIT, J-L. POYARD. "Les mélanges explosifs : Gaz et vapeurs". ED 911 Institut National de Recherche et de Sécurité, pp. 8-9. 2004.
- [27]: http://www.eni.com/fr_FR/produits-services/lubrifiants-automobiles/savoir-faire/specifications-caracteristiques-lubrifiants/specifications-caracteristiques-lubrifiants.shtml 20 juin 2019.
- [28]: Everything You Need to Know About Marine Fuels Published by Chevron Global Marine Products June 2012 Prepared by Monique B. Vermiere Ghent, Belgium.
- [29]: BAHAMAOU .A, LAMIR.O " Étude de dessalage du pétrole brut", Mémoire de master, Université d'Adrar, 2017.
- [30]: NORME INTERNATIONALE, ISO 8217 :2017 F, Spécifications des combustibles pour la marine (Petroleum products, Fuels (class F), Spécifications of marine fuels).
- [31] : J-C. GUIBET. " Carburants et moteurs : Technologies, énergie, environnement". Tomes 1 et 2, pp. 339-375. Éditions Technip, 1997.