

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**

**Option : ...Génie chimique.....**

Intitulé du mémoire

**Amélioration du point d'écoulement du Gasoil par l'ajout  
d'additifs**

**Présenté par :**

KHELILI Mossaab.....

**Encadré par :**

Mr N. Bourtala....

Mr S. Ouzzane.....

Année universitaire 2021/2022

## ملخص

الهدف من هذا العمل هو حل مشكلة الديزل الذي تنتجه مصفاة الجزائر العاصمة ، والذي يخضع للتجمد بعد تبلور البارافينات التي تتكون منه ، في درجات حرارة منخفضة ، عن طريق إضافة مضافات. تحقيقا لهذه الغاية ، تم اختبار منتجين ومقارنتهما بالكبروسين وتمت دراسة آثارهما على نقطة التدفق ، كعامل رئيسي ، وعلى الخصائص الفيزيائية والكيميائية الأخرى ، لضمان امتثال الديزل الخاص بنا

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها فعالية المضافتين على تحسين نقطة التدفق دون التأثير بشكل كبير على الخصائص الأخرى. أثبتت المادة المضافة EC5905A أنها أكثر اقتصادا بسبب الكمية الصغيرة المطلوبة للعملية.

**الكلمات المفتاحية:** الديزل ، نقطة التدفق ، الكثافة ، اللزوجة ، التقطير ، نقطة الوميض ، رقم السيتان ، نالكو.

## Abstract

The aim of this work is to solve the problem of diesel oil produced by the Algiers refinery, which is subject to gelation after crystallization of the paraffins which make it up, at low temperatures, by the addition of additives. To this end, two products were tested and compared with kerosene and their effects on the pour point, the main parameter, and on the other physico-chemical properties, were studied, to ensure the conformity of our diesel oil.

The results obtained showed the effectiveness of the two additives in improving the pour point without appreciably affecting the other properties. The additive EC5905A was found to be more economical due to the small amount required for the operation.

### **Keywords:**

Gasoline, pour point, density, viscosity, ASTM distillation, flash point, cetane number, NALCO.

## Résumé

L'objectif de ce travail est de résoudre le problème du gasoil produit par la raffinerie d'Alger, sujet à la gélification après cristallisation des paraffines qui le composent, aux basses températures, par l'ajout d'additifs. A cet effet, deux matériaux ont été testés et comparés au kérosène. L'effet de ces derniers sur le point d'écoulement, principal paramètre, et sur les autres propriétés physico-chimiques, ont été étudiés, pour s'assurer de la conformité de notre gasoil.

Les résultats obtenus, ont montré l'efficacité des deux additifs sur l'amélioration du point

d'écoulement sans affecter notablement, les autres propriétés. L'additif EC5905A s'est avéré plus économique en raison de la faible quantité nécessaire pour l'opération.

**Mots clés:** Gasoil, point d'écoulement, densité, viscosité, distillation ASTM, point d'éclair, indice de cétane, NALCO.

## **DEDICACES**

*Ce mémoire, je le dédie particulièrement à :*

*Mes très chers parents qui représentent pour moi  
l'exemple de sacrifice, de fidélité et d'honnêteté.*

*Mes frères okba et oussama, et ma petite sœur ichrak*

*Toute ma grande famille.*

*Tous mes ami(e)s, Imad, Islam, Badis, Naziha, Abir.*

*Tous ceux qui travaillent pour un avenir meilleur*

*Khelili Mossaab*

***Remerciements***

*Lorsque je fais le bilan de ces deux dernières années, je réalise tout le travail effectué, les efforts fournis et les difficultés surmontées. C'est à la fois nostalgique et ça reste de la fierté d'avoir accomplie ce stage. A cet instant, je pense également à tous ceux qui m'ont aidés durant toutes ces années.*

*Je remercie avant tout, Allah (الله) le tout puissant de m'avoir donné la force de réaliser ce travail.*

*Je voudrais dans un premier temps remercier, le Co-Promoteur Mr.S.Ouzzane , pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.*

*Je tiens également à exprimer toute ma gratitude et faire part de ma profonde reconnaissance à mon directeur de mémoire, Mr N. BOURTALA chef de section contrôle, laboratoire, raffinerie d'Alger.*

*Je remercie aussi tous l'effectifs de laboratoire de la raffinerie d'Alger pour leurs accueil, gentillesse, présence et aussi pour leurs formation.*

*Nos sincères et profonds remerciements vont à nos professeurs du département génie des procédés.*

*Mes remerciements les plus vifs vont tout particulièrement à mes parents qui ont joué un très grand rôle dans ma vie en nous donnant un environnement idéal dans mon enfance et en nous enseignant les valeurs d'humilité et d'honnêteté.*

*Enfin, un grand merci s'adresse à toute ma famille et tous mes amis pour leurs amitiés, leurs soutient, leur appui moral ainsi que leur disponibilité.*

***Merci encore à tous ...***

## Table des matières

Résumé	
Dédicaces	
Remerciements	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
	Page
Introduction générale.....	1
<b>Chapitre 1 : Généralités sur le pétrole et le raffinage</b>	<b>3</b>
1.1. Généralités sur le pétrole brut .....	3
1.1.2. Origine du pétrole brut.....	3
1.1.3. Composition des pétroles bruts.....	3
1.1.3.1. Hydrocarbures aliphatiques.....	3
1.1.3.2. Hydrocarbures cycliques.....	4
1.1.3.3. Hydrocarbures mixtes.....	4
1.1.4. Autres composés contenus dans le brut.....	4
1.1.4.1. Composés sulfurés.....	4
1.1.4.2. Composés azotés.....	5
1.1.4.3. Composés oxygénés.....	5
1.1.4.4. Composées métalliques.....	5
1.1.5. Classifications des pétroles bruts.....	5
1.1.5.1 Classification Industrielle .....	5
1.1.5.2. Classification Chimique.....	6
1.1.5.3. Classification Technologique.....	6
1.1.6. Classement du brut algérien et demande.....	7
1.2 Généralités sur le raffinage.....	7
1.2.1. Pourquoi doit-on raffiner le pétrole brut ?.....	8
1.2.2. Le raffinage en Algérie.....	8
1.2.3. Historique et situation géographique de la raffinerie d'Alger.....	9
1.2.4. Objectif et capacité de production.....	10

	Page
<b>Chapitre 2 : Généralités sur le gasoil</b>	
	11
2.1. Notions générales sur le gasoil.....	11
2.2. Description des étapes de production du gasoil.....	11
2.2.1. Distillation atmosphérique.....	12
2.2.2. Distillation sous vide.....	13
2.2.3. Circuit du gasoil.....	14
2.2.4. Stockage du gasoil.....	15
2.3. Propriétés physico-chimiques du gasoil.....	16
2.3.1. Indice de cétane.....	16
2.3.2. Teneur en soufre.....	17
2.3.3. Densité.....	17
2.3.4. Distillation.....	17
2.3.5. Le point d'éclair (Pensky, Flash Point).....	18
2.3.6. Viscosité.....	18
2.4. Propriétés à froid du gasoil.....	18
2.4.1. Point d'écoulement (Pour Point).....	19
2.4.2. Point de trouble.....	19
2.4.3. Température limite de filtrabilité.....	19
2.5. Techniques d'amélioration des propriétés à froid du gasoil.....	19
2.5.1. Sélection et constitution de la coupe gasoil.....	20
2.5.2. Utilisation d'un catalyseur à base d'un mélange de zéolithes.....	20
2.5.3. Incorporation d'additifs.....	20
2.6. Additifs de carburants NALCO®.....	22
<b>Chapitre 3 : Méthodes expérimentales et moyens</b>	
	24
3.1. Produits utilisés.....	24
3.1.1. Gasoil utilisé.....	24
3.1.2. Additifs utilisés et leurs propriétés physico-chimiques.....	24
3.2. Méthodes expérimentales.....	26
3.2.1. Détermination du point d'écoulement.....	26
3.2.1.1. Principe de mesure selon la norme ASTM D 97.....	26

---

3.2.1.2. Matériels utilisés.....	26
	Page
3.2.1.3. Mode opératoire.....	27
3.2.2. Détermination du point de trouble.....	28
3.2.2.1. Principe de mesure selon la norme ASTM D5771.....	28
3.2.2.2. Matériels utilisés.....	29
3.2.2.3. Mode opératoire.....	29
3.2.3. Détermination de la densité.....	30
3.2.3.1. Principe de mesure.....	30
3.2.3.2. Matériels utilisés.....	30
3.2.3.3. Mode opératoire.....	30
3.2.4. Distillation ASTM.....	30
3.2.4.1. Principe de mesure.....	30
3.2.4.2. Matériels utilisés.....	30
3.2.4.3. Mode opératoire.....	31
3.2.5. Détermination du point d'éclair.....	32
3.2.5.1. Principe de mesure.....	32
3.2.5.2. Matériels utilisés.....	32
3.2.5.3. Mode opératoire.....	33
3.2.6. Détermination de la viscosité.....	33
3.2.6.1. Principe de mesure.....	33
3.2.6.2. Matériels utilisés.....	34
3.2.6.3. Mode opératoire.....	34
3.2.7. Détermination de la teneur en soufre.....	34
3.2.7.1. Principe de mesure.....	34
3.2.7.2. Matériels utilisés.....	36
3.2.7.3. Mode opératoire.....	36
3.2.8. Détermination de l'indice de cétane.....	37
3.2.8.1. Principe de mesure.....	37
<b>Chapitre 4 : Résultats et discussions</b>	<b>39</b>
4.1. Propriétés du gasoil produit par la raffinerie d'Alger.....	39
4.2. Effet de l'ajout de kérosène sur les propriétés du gasoil.....	40
4.2.1. Résultats des propriétés à froid du gasoil.....	40



---

	Page
4.2.1.2. Point trouble (PT).....	41
4.2.2. Effet du kérosène sur les propriétés physico-chimiques du gasoil.....	41
4.2.2.1. Densité.....	42
4.2.2.2. Point d'éclair (Pensky).....	42
4.2.2.3. Teneur en soufre.....	43
4.2.2.4. Indice de cétane.....	43
4.2.2.5. Viscosité.....	43
4.2.2.6. Distillation ASTM.....	44
4.2.3. Interprétation globale sur l'effet du kérosène sur le gasoil.....	45
4.3. Effet de l'ajout d'additifs NALCO sur les propriétés du gasoil.....	45
4.3.1. Effet des additifs sur les propriétés à froid du gasoil.....	46
4.3.1.1. Point d'écoulement.....	46
4.3.1.2. Point de trouble.....	47
4.3.2. Effet des additifs sur les propriétés physico-chimiques du gasoil.....	48
4.3.2.1 Densité.....	48
4.3.2.2. Distillation ASTM.....	49
4.3.2.3. Point d'éclair (Pensky).....	50
4.3.2.4. Viscosité.....	51
4.3.2.5. Teneur en soufre.....	51
4.3.2.6. Indice de cétane.....	52
4.4. Etude économique.....	53
Conclusion générale.....	55
Référence bibliographie.....	56
Annexe.....	58

## Liste des figures

	Page
<b>Figure 1.1</b> : Exemples d'hydrocarbures cycliques	4
<b>Figure 1.2</b> : Image satellitaire de la raffinerie d'Alger	11
<b>Figure 2.1</b> : Schéma du procédé de distillation atmosphérique	13
<b>Figure 2.2</b> : Schéma du procédé de distillation sous vide	15
<b>Figure 2.3</b> : Schéma simplifié de l'action des additifs sur le gasoil	22
<b>Figure 3.1</b> : Conditionnement des additifs utilisés	24
<b>Figure 3.2</b> : Appareil de mesure du point d'écoulement	27
<b>Figure 3.3</b> : Schéma de l'appareil de mesure du point de trouble	29
<b>Figure 3.4</b> : Photo d'appareil de mesure de point trouble	29
<b>Figure 3.5</b> : Schéma descriptive du montage de la distillation ASTM	31
<b>Figure 3.6</b> : Photo d'appareil de la distillation ASTM	31
<b>Figure 3.7</b> : Appareil Pensky -Martens	33
<b>Figure 3.8</b> : Schéma des viscosimètres utilisés	34
<b>Figure 3.9</b> : Dispositif pour la mesure de la teneur en soufre	35
<b>Figure 3.10</b> : Schéma de principe de l'analyseur de soufre total	36
<b>Figure 3.11</b> : Courbe d'étalonnage d'un échantillon de référence	37
<b>Figure 4.1</b> : Effet de l'ajout de kérosène sur le point d'écoulement du gasoil	41
<b>Figure 4.2</b> : Résultats de la distillation ASTM	45
<b>Figure 4.3</b> : Effet de l'additif EC5372A sur le point d'écoulement	46
<b>Figure 4.4</b> : Effet de l'additif EC5905A sur le point d'écoulement	47
<b>Figure 4.5</b> : Résultats de la distillation ASTM du gasoil de référence et des mélanges gasoil/additifs	50

## Liste des tableaux

	Page
<b>Tableau 1.1:</b> Production de la raffinerie d'Alger en tonnes par an.	10
<b>Tableau 2.1:</b> Propriétés des réservoirs de stockage du gasoil	15
<b>Tableau 3.1</b> Propriétés physico-chimiques du produit EC5372A	25
<b>Tableau 3.2 :</b> Propriétés physico-chimique du produit EC5905A	25
<b>Tableau 3.3 :</b> Gammes de température du bain et de l'échantillon	28
<b>Tableau 4.1 :</b> Propriétés du gasoil utilisé et spécifications	39
<b>Tableau 4.2 :</b> Effet de l'ajout de kérosène sur le point d'écoulement du gasoil	40
<b>Tableau 4.3 :</b> Effet de l'ajout de kérosène sur le point trouble du gasoil	41
<b>Tableau 4.4 :</b> Effet de l'ajout de kérosène sur la densité du gasoil	42
<b>Tableau 4.5 :</b> Effet de l'ajout de kérosène sur le point d'éclair du gasoil	42
<b>Tableau 4.6 :</b> Effet de l'ajout de kérosène sur la teneur en soufre du gasoil	43
<b>Tableau 4.7 :</b> Effet de l'ajout de kérosène sur l'indice de cétane du gasoil	43
<b>Tableau 4.8 :</b> Effet de l'ajout de kérosène sur la viscosité du gasoil	44
<b>Tableau 4.9 :</b> Résultats de la distillation ASTM	44
<b>Tableau 4.10 :</b> Effets des additifs sur le point d'écoulement du gasoil	46
<b>Tableau 4.11 :</b> Effets des additifs sur le point de trouble	48
<b>Tableau 4.12 :</b> Effet des additifs sur la densité du gasoil	49
<b>Tableau 4.13:</b> Résultats de la distillation ASTM du gasoil de référence et des mélanges gasoil/additifs	49
<b>Tableau 4.14:</b> Effets des additifs sur le point d'éclair du gasoil sans et avec additifs	50
<b>Tableau 4.15 :</b> Effets des additifs sur la viscosité cinématique à 20°C du gasoil	51
<b>Tableau 4.16:</b> Effets des additifs sur la teneur en soufre du gasoil	51
<b>Tableau 4.17 :</b> Effets des additifs sur l'indice de cétane du gasoil	52
<b>Tableau 4.18 :</b> Récapitulatif des résultats des propriétés du gasoil – Effet des additifs	52
<b>Tableau 4.19 :</b> Résultats comparatifs des coûts de revient du traitement du gasoil avec le kérosène et le EC5905A	54

## Liste des abréviations

A.P.I: American Petroleum Institute

ASTM : American Society for Testing and Materials

C : concentration

d : densité à 15°C

Fuel BTS : fioul à très basse teneur en soufre

GPL : Gaz de Pétrole Liquéfié.

HDS : Hydrodésulfuration

IC ; Indice de cetane

Jet A1 : Kérosène

k : Constante du viscosimètre

NA : Norme Algérienne

P : pertes

PE ; point d'écoulement

PF : point final

PI : Point Initial

ppm : partie par million.

PT ; Point trouble

R : résidu

R1AG : Raffinerie d'Alger

T : température

t : temps d'écoulement en secondes.

TND : teneur non déterminé

TLF : Température Limite de Filtrabilité

$V_c$ ,  $V_r$ ,  $V_d$ : Volume Condensé, Volume Récupéré ; Volume Distillé

$\nu$  : viscosité cinématique

# Chapitre 1

## Généralités sur le pétrole et le raffinage

### 1.1. Généralités sur le pétrole brut [2]

Le pétrole est un liquide d'origine naturelle, une huile minérale composée d'une multitude de composés organiques, essentiellement des hydrocarbures, piégé dans des formations géologiques particulières. L'exploitation de cette source d'énergie fossile est l'un des piliers de l'économie industrielle contemporaine, car le pétrole fournit la quasi-totalité des carburants liquides. Le pétrole dans son gisement, est fréquemment associé à des fractions légères qui se séparent spontanément du liquide à la pression atmosphérique, ainsi que diverses impuretés comme le dioxyde de carbone, le sulfure d'hydrogène, l'eau de formation et des traces métalliques.

#### 1.1.2. Origine du pétrole brut [2]

Depuis sa découverte, ainsi que son importance, plusieurs savants se sont penchés sur le problème de l'origine de cette source d'énergie. Pour cela, de nombreuses théories étaient émises, mais seules deux d'entre elles étaient prises en considération. La première, celle de l'origine minérale défendue autrefois par Moissan et Sabatier. Quant à la deuxième, la plus vraisemblable aujourd'hui, était défendue autrefois, par Engler et Hofer. En effet, ces deux savants ont réussi à obtenir au laboratoire, des hydrocarbures à partir des végétaux et des poissons, ce qui a permis d'expliquer la formation des immenses nappes de pétrole.

#### 1.1.3. Composition des pétroles bruts [2]

Le pétrole brut, appelé aussi hydrocarbure, est composé essentiellement de carbone (83%-87%) et d'hydrogène (11%-14%). De plus, on trouve aussi d'autres éléments tels que l'oxygène, le soufre, et l'azote (6% - 7%) qui sont plus au moins nocifs dans le traitement du brut ou lors de l'utilisation des fractions pétrolières finies. On peut également, détecter par l'analyse des cendres du pétrole, la présence d'autres éléments tels que : Cl, I, P, As, Si, Na, Fe,... Ces éléments chimiques forment les trois grandes familles d'hydrocarbures qui sont : les aliphatiques, les cycliques et les hydrocarbures mixtes.

##### 1.1.3.1. Hydrocarbures aliphatiques

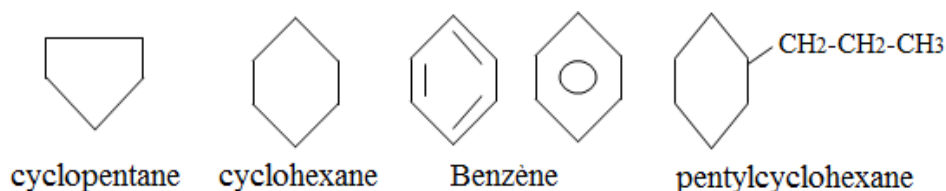
Ce sont les hydrocarbures à chaîne ouverte. On distingue :

- **Les composés saturés** : Ce sont les paraffines appelés aussi alcanes, de formule  $C_nH_{2n+2}$  qui sont, soit à structure normale, soit ramifiée. Les pétroles paraffiniques contiennent environ 50 % de paraffine (alcanes).
- **Les composés non saturés** : ils n'existent pas dans le brut, ils sont formés pendant le traitement du pétrole par les procédés de craquage thermique ou thermocatalytique. Ils peuvent être des alcènes (les oléfines) de formule générale  $C_nH_{2n}$  ou des alcynes (les acétyléniques) dont la formule est  $C_nH_{2n-2}$ .

### 1.1.3.2. Hydrocarbures cycliques

Généralement, le cycle comprend cinq ou six atomes de carbone. On distingue :

- **Les cycles saturés** : Ce sont les hydrocarbures naphténiques ayant la formule  $C_nH_{2n}$ . Ils sont divisés en naphténiques monocycliques, bicycliques et polycycliques. Comme exemple, on cite le cyclopentane et le cyclohexane (figure 1.1).



**Figure 1.1** : Exemples d'hydrocarbures cycliques

- **Les cycles non saturés** : Ce sont les aromatiques de formule chimique  $C_nH_{2n-6}$  et dont la formule de base est celle du benzène  $C_6H_6$  (figure 1.1). Parmi les composés aromatiques présents dans le brut, on cite les BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylène), le naphthalène, l'anthracène, le pyrène, etc.

### 1.1.3.3. Hydrocarbures mixtes

L'union des hydrocarbures cycliques et aliphatiques donne des molécules mixtes dont les propriétés sont fonction de l'importance du cycle ou des chaînes dans la structure (figure 1.1).

## 1.1.4. Autres composés contenus dans le brut [2]

### 1.1.4.1. Composés sulfurés

Pratiquement, tous les pétroles contiennent du soufre. La teneur de ce dernier augmente avec l'augmentation de la température d'ébullition de la fraction pétrolière. Ces composés sulfurés sont classés en trois groupes.

- **Le premier groupe :** comprend le  $H_2S$  et les  $R-SH$  (mercaptans) qui ont des propriétés acides, corrosive et une odeur désagréable.
- **Le deuxième groupe :** renferme les sulfures  $R-S-R'$  et disulfures  $R-S-S-R'$  qui sont neutres à froid et instables à une température élevée (entre 130 et 160°C).
- **Le troisième groupe :** renferme les composés hétérocycliques, instables à température élevée (de l'ordre de 500 à 600°C).

Les composés sulfurés sont indésirables parce qu'ils diminuent le nombre d'octane de l'essence, en agissant sur l'efficacité de l'action des additifs antidétonants, tels que le P.T.E (plomb-tétraéthyle). Ces composés empoisonnent aussi les catalyseurs utilisés dans les procédés catalytiques.

#### 1.1.4.2. Composés azotés

La teneur de l'azote dans le brut varie de 0,02 à 2,5 %; elle augmente avec l'augmentation de la température d'ébullition des fractions. On retrouve l'azote sous forme de quinoléine. La majorité des composés azotés sont des poisons pour les catalyseurs.

#### 1.1.4.3. Composés oxygénés

Dans le pétrole, se trouve une petite quantité d'oxygène, dans les acides naphthéniques, les phénols et les gommés.

#### 1.1.4.4. Composées métalliques

Ils existent sous forme de sels dissous dans l'eau mélangée avec le pétrole brut. Les métaux sont des poisons permanents pour les catalyseurs industriels. Parmi ces composés on trouve le Pb, As, P, V, Hg, ...

#### 1.1.5. Classifications des pétroles bruts [3]

A la découverte d'un gisement du pétrole, ce dernier subit une série d'analyses, permettant sa classification. La classification du pétrole est d'une extrême importance car elle nous permet de connaître les méthodes appropriées de son traitement, l'assortiment et les qualités des produits à obtenir. On distingue trois types de classification :

##### 1.1.5.1 Classification Industrielle

Selon la densité du brut mesurée à 15 °C ( $d_{15}$ ), on a:

- Un pétrole est léger si  $d_{15} < 0,828$
- Un pétrole est moyen si  $0,828 < d_{15} < 0,884$

- Un pétrole est lourd si  $d_{15} > 0,884$

Comme règle générale, un pétrole brut léger contient une qualité relativement importante de fractions légères (essence, kérosène, gasoil léger) et de paraffines. Mais il y a peu de soufre et de gommes. Cependant, d'habitude les pétroles lourds sont les pétroles aromatiques qui contiennent peu d'essence mais leur indice d'octane est élevé, ainsi que leur teneur en gommes. Cette classification qui ne tient compte que de la densité  $d_{15}$  reste incomplète.

### 1.1.5.2. Classification Chimique

En fonction de la prédominance d'une ou plusieurs familles d'hydrocarbures, on peut distinguer les pétroles suivants :

- Un pétrole paraffinique (Etats Unis).
- Un pétrole naphtéinique (République d'Azerbaïdjan).
- Un pétrole paraffino-naphtéinique (**Algérie**).
- Un pétrole aromatique (Indonésie).
- Un pétrole naphtéino-aromatique (Californie).
- Un pétrole paraffino-naphtéinique -aromatique (mixte).

La classification chimique ne reflète pas la vraie nature du pétrole car les fractions lourdes contiennent des hydrocarbures mixtes, et donc cette classification ne peut pas nous renseigner complètement sur la quantité et la qualité des produits à obtenir. Actuellement, la méthode la plus complète, et donc la plus utilisée reste la classification technologique.

### 1.1.5.3. Classification Technologique

Elle est basée sur :

#### a- La teneur en soufre dans le pétrole et dans les fractions pétrolières

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

#### b- La teneur potentielle en produits clairs ( $PF \leq 350^\circ\text{C}$ )

- Type 1 : teneur en produits clairs  $\geq 45\%$
- Type 2 : teneur en produits clairs entre 30 et 45%
- Type 3 : teneur en produits clairs  $\leq 30\%$



**c- La teneur en huiles de base et leurs qualités**

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

**d- La teneur en paraffines dans le pétrole**

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

- Pétrole peu paraffinique, teneur en paraffines  $\leq 1,5\%$
- Pétrole paraffinique, teneur en paraffines 1,5 à 6%
- Pétrole très paraffinique, teneur en paraffines  $> 6\%$

**1.1.6. Classement du brut algérien et demande**

La demande de produits pétroliers a considérablement évolué depuis le milieu du XX<sup>ème</sup> siècle. Dans les pays industrialisés, le développement des transports routiers et aériens s'est accéléré, entraînant une demande plus forte de produits légers, comme le carburant. Dans le même temps, la consommation de mazout lourd a diminué car d'autres sources d'énergie, telles que le gaz et l'énergie nucléaire, sont utilisées pour le chauffage et la production d'électricité.

Aujourd'hui, la demande mondiale de produits pétroliers se répartit approximativement comme suit :

- 40 % pour les distillats légers (carburant).
- 40 % pour les distillats moyens (fioul, gazole).
- 20% pour les distillats lourds (cire, asphalte ).

Le seul pétrole brut qui correspond plus ou moins à ces pourcentages avant raffinage est le mélange saharien léger d'Algérie

Le pétrole algérien est appelé Sahara Blend et se classe selon la classification chimique. Pétrole paraffino-naphténique, c'est un fioul à très basse teneur en soufre (Fuel BTS), grâce à sa teneur en soufre qui est inférieure ou égale à  $\leq 0,5\%$ .

**1.2 Généralités sur le raffinage**

Le raffinage du pétrole débute par la distillation ou fractionnement du pétrole brut en vue de le séparer en différents groupes d'hydrocarbures. Les produits obtenus dépendent directement des caractéristiques du brut traité. On transforme ensuite, la plupart de ces

produits de distillation en produits plus facilement utilisables, en modifiant leurs structures physique et moléculaire par craquage, reformage et par d'autres procédés de conversion, puis on soumet les produits obtenus à divers procédés de traitement et de séparation tels que l'extraction, l'hydrocraquage et l'adoucissement pour aboutir aux produits finis. Dans les raffineries les plus simples, on s'en tient habituellement à la distillation atmosphérique et à la distillation sous vide, alors que, dans les raffineries intégrées, on procède au fractionnement, à la conversion, au traitement et au mélange, ainsi qu'à la production de lubrifiants, de fiouls lourds et de bitumes; ces raffineries peuvent aussi comporter des installations de traitement pétrochimique.

### **1.2.1. Pourquoi doit-on raffiner le pétrole brut ? [4]**

L'essence ou le diesel que nous mettons dans notre voiture, le mazout que nous brûlons pour chauffer nos maisons en hiver et le gaz naturel que nous utilisons pour cuisiner sont tous des carburants et des sources de chaleur dérivés du pétrole et du gaz extraits des gisements du monde entier.

Essentiellement, le pétrole brut est un « mélange » de tous ces produits énergétiques. Pour répondre aux besoins des utilisateurs, il doit être séparé, transformé et traité dans un processus connu sous le nom de raffinage.

Dans le schéma de raffinage le plus ancien et le plus simple possible, le gasoil provient de la coupe moyenne de distillation directe du pétrole brut. Cette voie est présente, évidemment, dans les raffineries modernes, mais elle s'accompagne d'autres flux, afin de faire face à la demande du marché en matière de quantité et de qualité.

### **1.2.2. Le raffinage en Algérie**

En Algérie, l'industrie du raffinage est née avec la découverte et la production du pétrole de Hassi Messaoud. La première unité fut construite sur les lieux même de la découverte qui a été orientée vers la satisfaction des besoins excessifs des sociétés opérant dans le cadre de la recherche et l'exploitation de brut. Aussitôt l'indépendance acquise, l'Algérie s'est attachée à l'idée d'accéder au développement économique en avantageant la mise en place d'une industrie pétrolière par la transformation systématique de ses hydrocarbures. C'est ainsi que vont être réalisées diverses unités industrielles et des expansions de celle déjà en place en vue d'accroître les capacités de première transformation.

Dans le domaine du raffinage, l'Algérie possède cinq raffineries d'une capacité totale de production de 22,3 million de tonnes par an, soit 45% environ de sa production de pétrole

brut. A l'origine, ces raffineries étaient une partie intégrante de SONATRACH. En 1988, le raffinage a été séparé de l'activité distribution et érigé en entreprise nationale de raffinage de pétrole NAFTEC. En avril 1998, l'entreprise devient une filiale dont les actions détenues à 100 % par le holding raffinage et chimie SONATRACH avec un capital social de 12 milliards de dinars.

La société nationale de raffinage dénommé NAFTEC Spa a, pour principaux objectifs :

- Améliorer la valeur de la société sur le marché national.
- Continuer à assurer la couverture des besoins en produits raffinés sur le plan quantitatif et qualitatif dont un programme de suppression des essences avec plomb avec une réduction de 0,40 g/l depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1999 et de 0,15 g/l à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2002 et la suppression totale dans le proche avenir.
- Intégration d'une unité d'isomérisation pour la production de l'Eurosuper 95. Quant au gasoil, une unité d'hydrodésulfuration (HDS) est envisagée.

### 1.2.3. Historique et situation géographique de la raffinerie d'Alger [5,6]

La Raffinerie d'Alger est située à Sidi-Arcine près de Baraki à 5 km d'El Harrach et à 20 km à l'Est d'Alger (figure 1.2). Surnommée la doyenne des raffineries algériennes, elle a été érigée sur une superficie de 182 hectares. Cet emplacement a été fait suite à une étude des sols et à la découverte d'une nappe d'eau qui est nécessaire pour l'alimentation des systèmes de refroidissement.

En outre, le choix de la région algéroise émanait de ce qu'elle se présentait comme un pôle futur en développement industriel; en plus, elle a l'avantage d'être le plus grand centre de consommation avec une part de 40 % à 50 % de la demande intérieure.

Sa construction et son démarrage ont été effectués par la société française FOSTER WHEELER, et mise en service en 1964 avec :

- Démarrage en février de l'unité de distillation atmosphérique d'une capacité de 2.7 tonnes de brut par an.
- Démarrage en mars de l'unité reforming catalytique.

Une extension a été réalisée pour pouvoir atteindre jusqu'à 3,6 millions de tonnes de traitement de brut par an et satisfaire la demande du marché et l'augmentation de la capacité de réfrigération de certains équipements.



**Figure 1.2 : Raffinerie d'Alger**

#### 1.2.4. Objectif et capacité de production

Cette raffinerie a pour objectif de traiter le pétrole brut de HASSI-MESSOUAD seul ou mélangé avec du condensat provenant des champs de HASSI-R'MEL, afin d'obtenir des coupes pétrolières.

La capacité de traitement de la raffinerie d'Alger a augmenté après réhabilitation de 2.7 à 3.5 millions de tonnes par an de pétrole brut de Hassi-Messaoud, soit une allure de 10000 tonnes par jour, pour 350 jours de marche.

Le tableau suivant représente les quantités des produits de la raffinerie exprimés en tonnes par an.

**Tableau 1.1 : Production de la raffinerie d'Alger en tonnes par an.**

<b>Produit</b>	<b>Production (tonnes/an)</b>
Propane	69333
Butane	209667
Naphta	76000
Kérosene	620666
Gasoil	1261667
Fuel oil	60000
Isomérat	364333
Reformat	603333
Essence normal	600000
Essence super	757000
Essence RFCC	376000

## Chapitre 2

### Généralités sur le gasoil

#### 2.1. Notions générales sur le gasoil

Le gasoil appartient à la famille des gazoles, qui sont constitués principalement, d'hydrocarbures saturés et de composés aromatiques. Sous cette appellation, il faut entendre un hydrocarbure liquide susceptible d'être utilisé dans un moteur, Quelle que soit leur utilisation, à savoir gazole pour moteur automobile Diesel, moteur de bateaux, moteur d'engins agricoles et forestiers ou encore combustible de chauffage, ces produits demeurent de qualité et de composition très semblables.

Les qualités requises pour ces produits sont les suivantes :

- propreté (carbone Conradson, sédiments, eau, soufre),
- combustion (indice de cétane),
- fluidité et écoulement (viscosité et point d'écoulement)
- volatilité (points de distillation et point éclair).

Ces propriétés dépendent essentiellement, de la nature du pétrole brut utilisé et de l'intervalle de distillation choisi. Ainsi, les bruts paraffinés fournissent des coupes d'indice de cétane satisfaisant, mais des caractéristiques à froid médiocres; l'inverse est observé avec des bruts naphthéniques.

La demande croissante en gasoil pourrait inciter le raffineur à augmenter le point final de distillation, mais il en résulterait une détérioration du point d'écoulement. Ainsi, on admet généralement, qu'un gain de rendement sur brut de 0,5 % en masse, entraînerait une dégradation du point d'écoulement de 1K; le compromis entre quantité et qualité apparaît donc ici, particulièrement étroit.

Dans ce travail, on se limite à l'étude des gazoles destinés aux véhicules à moteur Diesel.

#### 2.2. Description des étapes de production du gasoil [7]

Le gasoil ou gazole préparé à base de pétrole brute est l'un des produits de la distillation atmosphérique (figure 2.1), qui se base sur le principe de l'évaporation partielle d'un liquide qui permet de fractionner un mélange d'hydrocarbures en des coupes pétrolières selon leurs température d'ébullition en opérant dans un système où la vapeur est en équilibre avec un liquide résiduel.

### 2.2.1. Distillation atmosphérique [7, 8]

La distillation du brut a lieu sous une pression atmosphérique ou sous vide (figures 2.1 et 2.2), et donne, généralement, les coupes pétrolières suivantes :

- les légers (composés gazeux et essences dont la température d'ébullition se situe entre 40 et 210°C),
- les moyens (kérosène, diesel et fuel domestique, dont la température d'ébullition se situe entre 170 et 360°C),
- les lourds (fuel lourd ou résidus).

L'alimentation liquide passe à travers un échangeur où elle est partiellement évaporée, et entre dans une colonne sous forme d'un mélange diphasique. Cette colonne assure une séparation du liquide et de la vapeur; la vapeur est condensée dans un condenseur et constitue le distillat. Le liquide recueilli au fond de la colonne constitue le résidu.

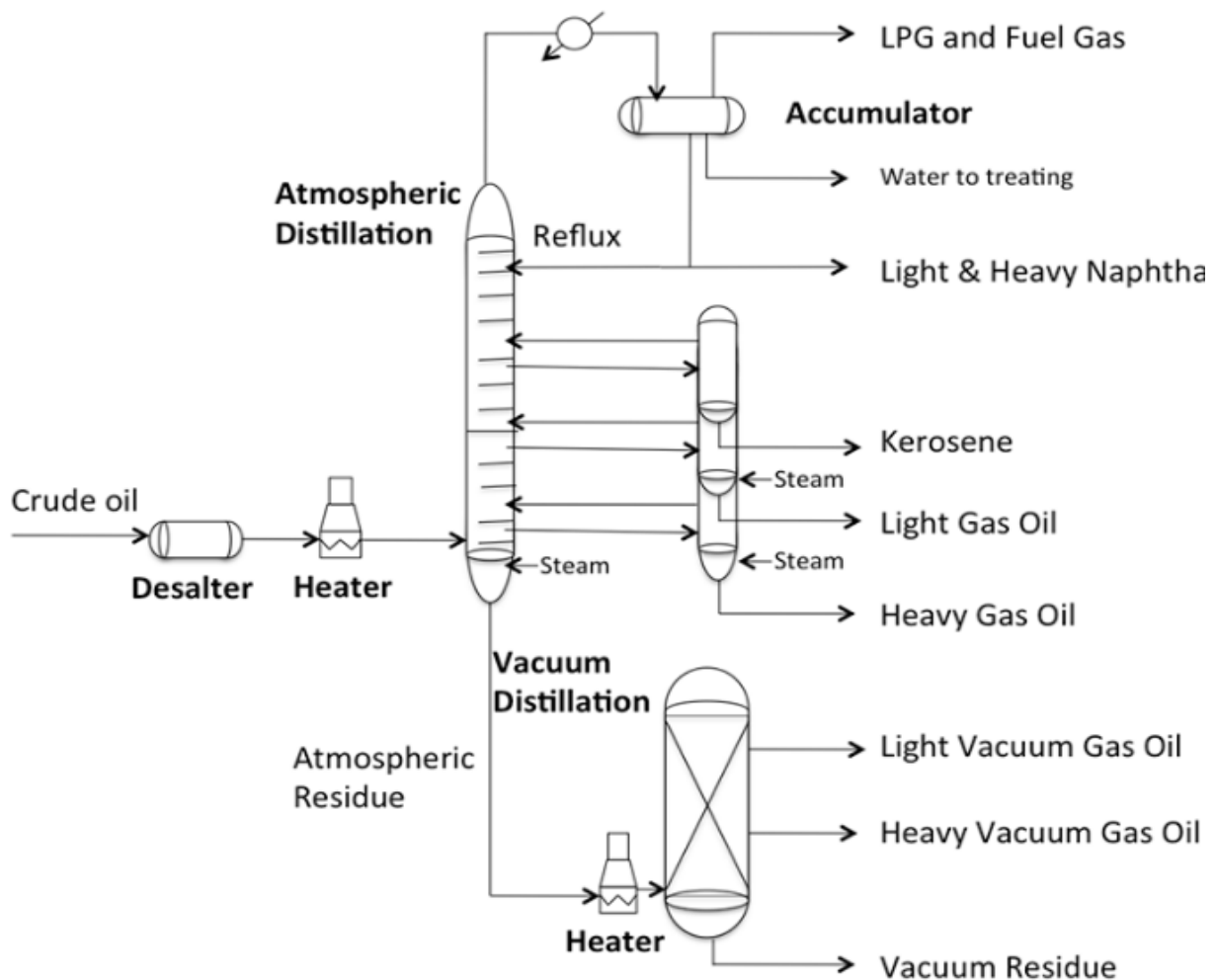


Figure 2.1 : Schéma du procédé de distillation atmosphérique

Les fractions ayant un intervalle d'ébullition intermédiaire, dont le gazole, le naphta lourd et les distillats, sont soutirées latéralement dans la section médiane de la tour. Elles sont soumises à des opérations de finition en vue d'être utilisées comme kérosène, carburant diesel, gasoil combustible (mazout), carburéacteurs, matières premières des unités de craquage catalytique et essences de base.

Les fractions plus lourdes à point d'ébullition plus élevé (appelées résidus ou queues de distillation) qui se condensent ou qui restent dans la partie inférieure de la tour, sont utilisées comme fiouls ou matières premières pour les unités de production de bitume ou de craquage, ou sont acheminées vers un réchauffeur et une tour de distillation sous vide pour subir un fractionnement plus poussé.

### 2.2.2. Distillation sous vide [9]

Le résidu de la distillation atmosphérique est envoyé dans une colonne de distillation sous vide afin de poursuivre son fractionnement (figure 2.2). Cette colonne fonctionne à pression inférieure à la pression atmosphérique, et permet d'obtenir des distillats sous vide (fraction C<sub>20</sub>-C<sub>50</sub>) et un résidu sous vide (fraction C<sub>>50</sub>) appelé aussi « fond du baril ».

L'aspect opérationnel le plus important d'une unité sous vide est la qualité du gasoil lourd sous vide, en particulier lorsqu'il alimente une unité d'hydrocraquage. Le niveau de carbone Conradson et/ou la teneur en métaux est très critique pour une unité d'hydrocraquage et dépend surtout du fonctionnement et de la performance de la section de l'huile de lavage dans l'unité de distillation sous vide ainsi que du dessaleur dans l'unité de distillation de brut.

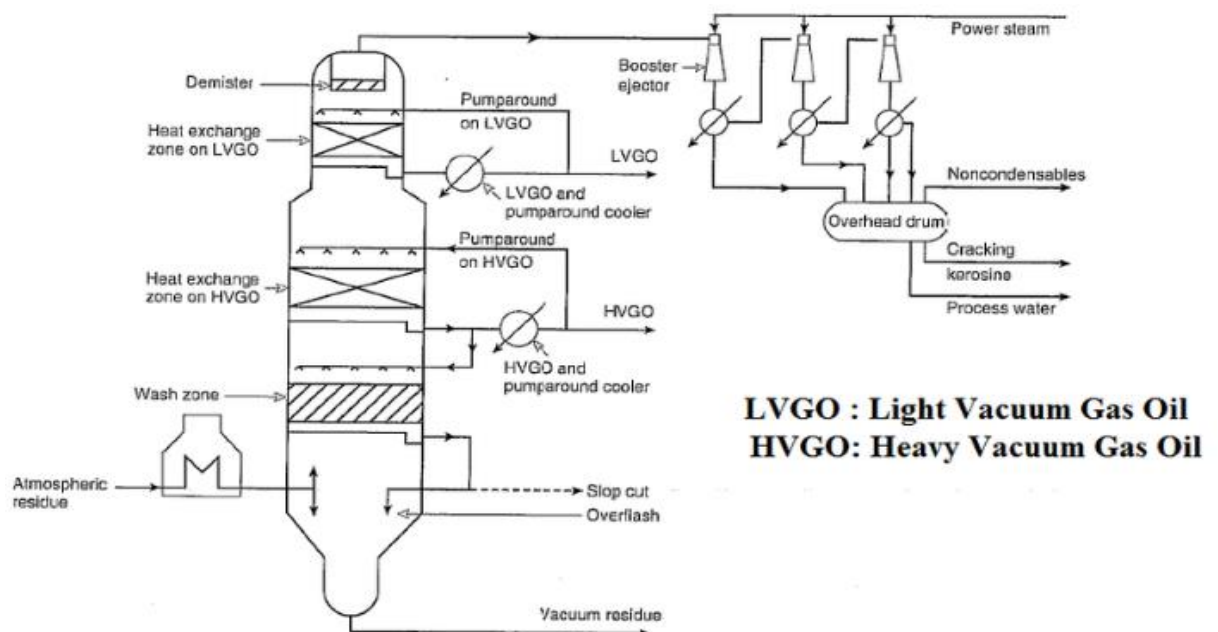


Figure 2.2 : schéma du procédé de distillation sous vide

### 2.2.3. Circuit du gasoil [8]

Le gasoil est soutiré de la tour du plateau 18 au 21 et s'écoule par gravité, vers le stripeur C102c par l'intermédiaire du régulateur LIC104 maintenant un niveau constant dans ce dernier, qui est analogue au C103.

Le stripage est réalisé par injection de vapeur BP (Basse Pression  $\approx 4$  Bar) surchauffée pour éliminer la partie légère de gasoil; celle-ci revient à la colonne de distillation.

Le fond du stripeur est refroidi dans les échangeurs E105 et E502 de 305 à 195°C par échange de calories avec le brut flashé.

Après le chauffage du pétrole brut, il revient le gasoil au sécheur (C-102-B).

L'installation dispose d'un éjecteur de vide pour créer du vide dans le sécheur (C-102-B) à travers un ballon (D-105). Ce procédé a pour objectif, l'élimination de l'eau. La partie Gasoil trouble est réinjectée dans le circuit de brut (D-102).

Le soutirage du gasoil se fait par une vanne automatique (FV0031) à l'aide de la pompe (P157); le gasoil sera ensuite refroidi et cette énergie thermique est récupérée pour chauffer le naphta instable (léger) dans l'échangeur (E-120).

La température du gasoil est abaissée de 140°C à 70°C par des aéro-réfrigérants (EA-105), puis de 70°C à 44°C dans un condenseur (E-158). A cette température, le produit est fini et transféré vers le stockage.

**NB:** une partie du gasoil léger, à la sortie de E114AR, peut être utilisée comme huile de rinçages et envoyée dans différents appareils comme :

- Fond C101, C103B, C103C.
- Entrée E110, E117 et E107.
- Entrée E115AR et E116AR.

### 2.2.4. Stockage du gasoil [10,11]

La raffinerie est équipée pour produire, stocker et expédier deux qualités d'essences finies (normal et super), jet A1, gasoil moteur, fuel BTS (fioul à très basse teneur en soufre) et naphta. Le gasoil est stocké dans des réservoirs (tableau 2.1) pour produits légers.

Le gasoil pour moteur est obtenu par mélange en ligne des deux produits gasoil léger et kérosène avec des proportions bien définies pour respecter les spécifications requises. Une fois préparé, le gasoil est analysé dans un laboratoire bien équipé.



**Tableau 2.1: Propriétés des réservoirs de stockage du gasoil**

Items	Repères	Services	Volume m <sup>3</sup>	Nature de toit
01	B7		5000	
02	A201	Stockage de Gasoil	20000	Toit flottant
03	A202		20000	

### 2.3. Propriétés physico-chimiques du gasoil

Toutes les propriétés exigées pour le choix et l'utilisation du gasoil se justifient par les caractéristiques du cycle diesel, en particulier:

- le mode d'introduction du carburant par injection sous haute pression;
- le déclenchement de la combustion grâce à une auto-inflammation en milieu hétérogène;
- le réglage de la puissance par modification du débit de gasoil introduit dans une même quantité d'air.

#### 2.3.1. Indice de cétane [12,13]

L'indice de cétane évalue la capacité d'un carburant à s'enflammer sur une échelle de 0 à 100. Il est particulièrement important pour les moteurs Diesel où le carburant doit s'auto-enflammer sous l'effet de la compression. Un carburant à haut indice de cétane est caractérisé par sa facilité à s'auto-allumer. L'indice de cétane est au moteur Diesel ce que l'indice d'octane est au moteur à essence.

Dans le moteur diesel, il est nécessaire que le gazole présente une structure chimique favorable à l'auto-inflammation. Les spécifications européennes imposent, pour les zones à climat tempéré, un indice de cétane supérieur à 50. Les valeurs observées en station-service se situent le plus souvent, entre 49 et 55. Un indice de cétane élevé contribue à améliorer de nombreuses qualités d'utilisation: démarrage aisé, bruit moins intense notamment, au ralenti à froid, émissions moins élevées de fumées noires. Par ailleurs, l'accroissement d'indice de cétane permet de réduire les rejets de polluants à l'échappement.

Il est parfois difficile d'obtenir l'indice de cétane minimal requis par simple mélange des produits disponibles en raffinerie. D'où, on utilise fréquemment, des additifs appelés

procétane. Par ailleurs, la relation entre l'indice de cétane et la nature chimique du gasoil, peut être exprimée par l'indice Diesel dont la valeur est fréquemment confondue avec celle de l'indice de cétane. L'indice Diesel est fonction de deux propriétés facilement mesurables: la densité exprimée en degré A.P.I (American Petroleum Institute) et le point d'aniline (température de dissolution d'un mélange équimoléculaire de gasoil et d'aniline pure). On définit ainsi, l'indice Diesel par la relation suivante

$$\text{Indice Diesel} = \frac{\text{point aniline } (^{\circ}\text{F}) \times \text{densité } (^{\circ}\text{A.P.I})}{100}$$

Notons que contrairement à l'indice cétane, l'indice Diesel ne fait pas partie des spécifications ASTM du gasoil.

On calcule l'indice de cétane du gasoil selon la méthode ASTM D976 à partir de l'équation suivant:

$$\text{Indice de cétane} = 454.74 - 1641.416d + 774.74d^2 - 0.554B + 97.803 (\log B)^2$$

avec:

d = densité à 15°C (-)

B= point 50 % de la distillation ASTM (°C)

### 2.3.2. Teneur en soufre [12]

Elle doit être comprise entre 0,05 et 0,55 % en poids. Tous les composés sulfurés provoquent une corrosion à froid, par l'acide sulfurique dilué qui se dépose, et agissent sur la formation et la dureté des dépôts. Des contrôles systématiques effectués depuis plusieurs années montrent une corrélation étroite entre la teneur en soufre et l'usure des chemises des moteurs Diesel. On a cherché à remédier à cette corrosion par l'incorporation de dopes d'onctuosité avec les huiles afin d'obtenir un film continu protecteur sur les chemises.

Par ailleurs, les techniques de désulfuration catalytique mises à disposition des raffineurs, ont permis de réduire considérablement la teneur en soufre, moyennant un supplément de coût acceptable jusqu'à 0,2 %. En Algérie, la teneur en soufre dans le produit gasoil issu de la distillation atmosphérique est environ de 0,06 %.

### 2.3.3. Densité [12,13]

La densité du gasoil mesurée à 15°C doit être comprise entre 0,810 et 0,890 dans les pays tempérés. La fixation d'une valeur minimale de la densité se justifie par le souci d'obtenir une puissance maximale suffisante pour le moteur, au moyen d'une pompe d'injection dont le

réglage de débit s'effectue en volume; plus la densité du gasoil est élevée, plus la quantité d'énergie délivrée à pleine charge est importante. Par ailleurs, on impose une limite maximale à la densité, afin de réduire les émissions de certains polluants et d'éviter la formation de fumées noires.

#### **2.3.4. Distillation [12,13]**

Le gasoil a un point initial de distillation qui se situe aux environs de 190°C et ainsi, contient donc, approximativement, une gamme d'hydrocarbures compris entre C14 et C20. Le point 50 % de la courbe de distillation ASTM représente des propriétés moyennes en termes de volatilité et viscosité, et le point 90% qui est inférieur à 350°C, limite la teneur en produits lourds et le point d'écoulement. Le dépassement de ces limites correspond à une mauvaise séparation dans la colonne de distillation et, en général, la couleur des produits dans ce cas, est mauvaise. Le point d'éclair du gasoil doit être compris entre 55°C et 120°C.

#### **2.3.5. Le point d'éclair (Pensky, Flash Point) [14]**

Le point d'éclair est la température à laquelle il faut porter un produit pétrolier liquide pour qu'il émette dans des conditions normalisées, des vapeurs en quantité suffisante pour que celle-ci puisse s'enflammer en présence d'une flamme. A une température supérieure à celle de son point d'éclair, les vapeurs émises par un produit pétrolier, forment avec l'air, un mélange inflammable. Cette température ne doit toutefois pas être confondue avec la température d'auto-inflammabilité du produit qui est la température à laquelle le produit s'enflamme spontanément dans l'air.

#### **2.3.6. Viscosité [12,13,15]**

Parmi les caractéristiques rhéologiques du gasoil, la viscosité doit être, elle aussi, comprise entre des limites précises. En effet, un carburant trop visqueux s'écoule faiblement en augmentant les pertes de charge dans la pompe et les injecteurs, ce qui tendrait à réduire la pression d'injection, à détériorer la finesse de pulvérisation et finalement, à affecter le processus de combustion. À l'inverse, une viscosité très basse et insuffisante, pourrait provoquer le grippage de la pompe d'injection. Dans les pays d'Europe à climat tempéré, la viscosité cinématique maximale du gasoil doit être de 9 cSt à 20 °C, cela veut dire que ce gazole est 9,5 fois plus visqueux que l'eau.

### **2.4. Propriétés à froid du gasoil [12]**

Les caractéristiques du gasoil à basse température, conditionnent d'avantage sa mise en œuvre que son comportement en matière de combustion. Cependant, nous les examinerons ici en raison de leur très forte implication dans l'utilisation satisfaisante du carburant.

Les paraffines à l'état pure se cristallisent selon la longueur de leur chaîne carbonée en une des structures suivantes : monoclinique (> 26 Carbones), triclinique (< 26 Carbones) et orthorhombique pour les alcanes primaires. Cependant, dans un mélange comme le gasoil, les paraffines se cristallisent dans une structure orthorhombique ou hexagonale.

#### **2.4.1. Point d'écoulement (Pour Point) [15]**

Le point d'écoulement noté (PE), est la température minimale à partir de laquelle le fluide s'écoule toujours. En effet, contrairement aux autres carburants pétroliers comme les essences et le kérosène, la fluidité du gasoil décroît nettement en abaissant la température (dès 0°C). Ce phénomène rhéologique est dû à l'apparition de cristaux dans le carburant, dont la présence peut provoquer divers incidents tels que le colmatage du filtre, le désamorçage de la pompe d'injection. Ces considérations justifient la nécessité d'adopter des spécifications très strictes en matière de comportement à froid du gasoil même si certains dispositifs technologiques (réchauffage des filtres sur les véhicules récents) contribuent à atténuer les risques d'incidents en service. Généralement, le point d'écoulement des différents gasoils moteur commercialisés est très proche de -10°C.

#### **2.4.2. Point de trouble [16]**

Le point de trouble noté (PT), est exprimé par la température d'apparition des premiers cristaux lorsque le carburant est refroidi sous une vitesse bien définie. Aux basses températures, le gasoil peut perdre sa limpidité après formation de cristaux de paraffines. En France, les valeurs exigées pour cette propriété, sont comprises entre -5 et 5°C.

#### **2.4.3. Température limite de filtrabilité [12]**

La température limite de filtrabilité (TLF), représente la température seuil de colmatage des filtres à carburant par des cristaux formés lors du refroidissement du carburant. Elle est étroitement liée aux températures de point d'écoulement et de point de trouble.

### **2.5. Techniques d'amélioration des propriétés à froid du gasoil**

En pratique, dans la plupart des raffineries, de remarquables quantités de kérosène produites sont additionnées à la fraction gasoil dans le but d'améliorer sa tenue au froid. Ce qui est une perte d'énergie et d'argent. En effet, la raffinerie d'Alger traite 8000 tonnes/jour de brut pour extraire 2000 tonnes/jours de gasoil, et afin d'optimiser et améliorer le point d'écoulement du gasoil, 200 tonnes/jours de kérosène sont mélangés avec le gasoil avant sa commercialisation. De ce fait, l'obtention par le raffineur, d'un gasoil possédant de bonnes caractéristiques à froid, résulte, comme toutes les opérations de raffinage, d'un compromis technico-économique. Les moyens d'action sont essentiellement de deux types.

### **2.5.1. Sélection et constitution de la coupe gasoil [15]**

La valeur du point final de distillation doit être la plus faible possible, afin de minimiser le taux de fractions lourdes dans le carburant. En effet, celles-ci contiennent fréquemment des n-paraffines responsables de la formation de cristaux à basse température. Un point initial bas favorise le maintien en solution des paraffines lourdes par les fractions légères ce qui améliore les caractéristiques à froid. Dans les pays où les hivers sont très sévères. L'abaissement du point initial impose parfois un recouvrement prononcé des coupes gazole et kérosène. Ce gasoil de type « grand froid » doit d'ailleurs recevoir des additifs qui accroissent sa viscosité et évitent ainsi les usures de systèmes d'injection, engendrés par la présence de coupes légères.

La structure chimique du pétrole brut traité a aussi une influence sur les propriétés à froid des gazoles, le pétrole brut aromatique ou naphthénique présente une bonne tenue à froid, ce qui n'est pas le cas du brut paraffinée. De même, les produits de craquage, riches en aromatiques, comme la coupe *Light Cycle Oil*, peuvent améliorer les caractéristiques à froid du gazole mais leur indice de cétane faible conduit à les utiliser de façon très modérée.

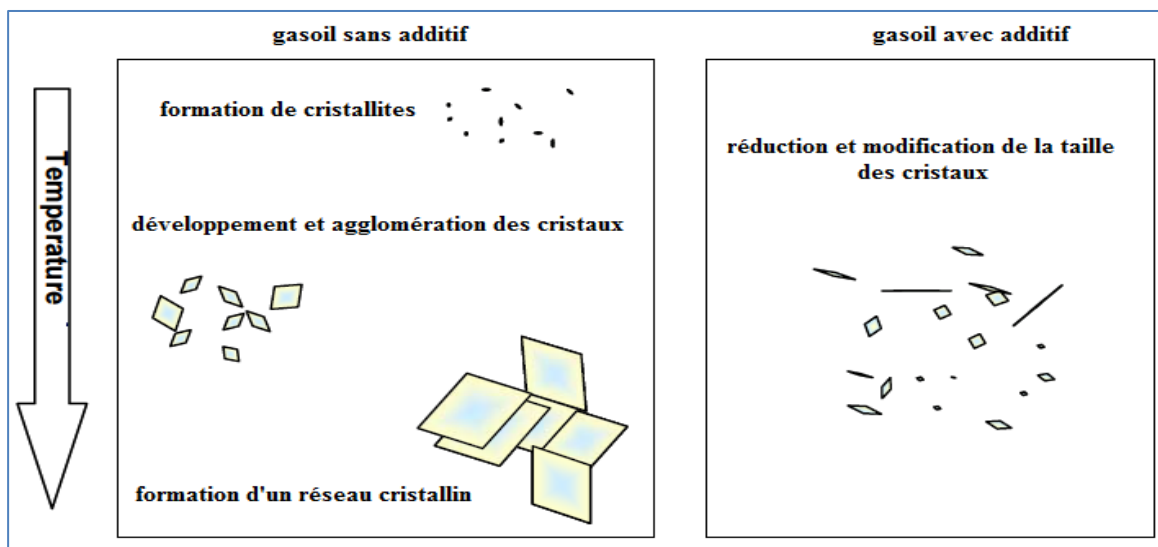
### **2.5.2. Utilisation d'un catalyseur à base d'un mélange de zéolithes [17]**

Cette technique consiste à l'amélioration du point d'écoulement de charges d'hydrocarbures issues du procédé de distillation atmosphérique, en particulier pour convertir, avec un bon rendement, les charges possédant des points d'écoulement élevés en une coupe présentant un point d'écoulement bas et un haut indice de viscosité. Pour les gasoils, un passage dans un catalyseur d'hydro-déparaffinage catalytique est nécessaire; Ce catalyseur doit comporter, au moins :

- une zéolithe (tamis moléculaire) choisie dans le groupe formé par les zéolithes de type structural TON (Theta-1, ZSM-22, ISI-1, NU-10),
- une zéolithe ZBM-30,
- une matrice minérale poreuse,
- un élément hydro-déshydrogénant, de préférence choisi parmi les éléments du groupe VIB et du groupe VIII de la classification périodique.

### 2.5.3. Incorporation d'additifs

Généralement, les additifs proposés pour améliorer l'efficacité des gasoils de moteurs diesel agissent sur différentes propriétés et fonctionnalités (indice de cétane, point d'écoulement, anti oxydation et anticorrosion, lubrification, anti mousse). Ces additifs sont classés selon les facteurs suivants : performance du moteur, manipulation, stockage et stabilité du carburant, ainsi que l'effet sur l'environnement.



**Figure 2.3: Schéma simplifié de l'action des additifs sur le gasoil [12]**

Les additifs permettant d'abaisser le point d'écoulement, agissent sur le processus de cristallisation des paraffines en modifiant leur structure cristalline selon plusieurs mécanismes; les plus connus sont :

- nucléation des cristaux
- inhibition de la formation des cristaux (figure 2.3).

Ils sont conçus de telle façon qu'une partie de leur molécule sera similaire aux cristaux paraffiniques et crée des sites de nucléation multipliant ainsi, les cristaux plus petits en co-cristallisant avec les paraffines. L'autre partie de la molécule, différente des cristaux de

paraffines, empêche le développement de gros cristaux et bloque la formation d'un réseau tridimensionnel responsable de la gélification du gasoil. Ceci permet de diminuer la viscosité et le point d'écoulement [18,19].

Les additifs utilisés pour améliorer les propriétés aux basses températures des carburants et huiles sont, généralement, des polymères (homopolymères, copolymères, ...). Les plus utilisés sont formés à base des copolymères  $\alpha$ -oléfines et acétate de vinyle, copolymères d'alkyl acrylates, et les copolymères d'anhydrides maléiques et ce, à cause de leur composition semi cristalline. En effet, la partie cristalline interagit avec la fraction cristallisable dans le carburant et la partie amorphe tend à modifier et retarder la formation de nouveaux cristaux. Par exemple, dans l'additif contenant le copolymère éthylène d'acétate de vinyle, la partie éthylène co-cristallise avec les chaînes de paraffines tandis que les groupes d'acétate de vinyle agissent sur la structure cristalline en formant de petits cristaux [19].

En pratique, l'efficacité de ces additifs dépend beaucoup de l'origine du brut et de la composition des gasoils. Ainsi, les pétroles bruts de la mer du nord sont moins enclins que d'autres à une amélioration de leurs caractéristiques à froid par des additifs.

Le coût de traitement du gasoil par ces additifs est relativement faible, de l'ordre de quelques centimes par litre de carburant. Soulignons qu'en pratique, un gasoil renfermant un additif fluidifiant se reconnaît par l'écart important (plus de 10°C) existant entre le point de trouble et la TLF. Les réductions de la TLF et de la température de point d'écoulement peuvent atteindre aisément 6 à 12 degrés pour des doses comprises entre 200 et 600 ppm massique [12]. En effet, cette technique est peu coûteuse en énergie, particulièrement intéressante et efficace, et peut facilement être complémentaire des opérations de raffinage.

Dans ce qui suit, nous allons présenter un type particulier d'additif qui va être testé sur le gasoil moteur de la raffinerie d'Alger.

## 2.6. Additifs de carburants NALCO® [20,21]

NALCO® est une société internationale dont les produits et additifs sont utilisés par les raffineurs dans le monde entier pour produire continuellement, des carburants répondant aux spécifications. Selon cette société, ses additifs sont conçus pour réduire les frais de retraitement au minimum. La gamme complète des additifs NALCO® pour carburants est la suivante:

- Abaisseurs de point d'écoulement pour pétrole brut, gasoil, mazout domestique et mazout lourd,
- Inhibiteurs de corrosion,

- Auxiliaires d'onctuosité,
- Additifs basses températures pour diesel,
- Agents d'adhésivité pour l'asphalte.
- Biocides pour diesel

Dans cette étude, nous avons utilisé deux additifs NALCO pour tester, pour la première fois, leur effet sur les propriétés rhéologiques et physico-chimiques à froid du gasoil pour moteur, préparé en Algérie, à savoir, le **EC5372A** et le **EC5905A**. La composition de ces deux additifs est inconnue.

Les deux composés utilisés sont classés comme produits dangereux, nocifs pour la santé, irritants et dangereux pour l'environnement.

Ces produits NALCO sont stockés dans des récipients hermétiquement fermés loin de la chaleur et des oxydants chimiques. Les cuves de stockage doivent être fabriquées par de l'acier au carbone, acier inoxydable. Des matériaux comme le caoutchouc naturel et le polypropylène ne sont pas compatibles avec ces additifs. Ainsi, la compatibilité avec les cuves en plastique peut varier, il faut donc que la compatibilité soit testée avant l'utilisation d'un récipient ou flacon pour stocker ces deux produits.



## Chapitre 3

### Matériels et méthodes

Les expériences et analyses présentées dans cette partie, ont toutes été effectuées au niveau du laboratoire d'analyse de la raffinerie d'Alger. Avant tout test ou analyse, on doit procéder à un échantillonnage en respectant certaines conditions. Ces dernières se résument aux opérations suivantes :

- Rincer le flacon d'échantillonnage avec l'échantillon.
- Refroidir ou chauffer l'échantillon si nécessaire.

### 3.1. Produits utilisés

#### 3.1.1. Gasoil utilisé

Dans ce travail nous avons utilisé des échantillons de gasoil pour moteur diesel qui a été produit et fourni par la raffinerie d'Alger; il est issu de la distillation atmosphérique de l'unité RA1G de cette raffinerie.

#### 3.1.2. Additifs utilisés et leurs propriétés physico-chimiques [20,21]

Les tableaux (3.1) et (3.2) regroupent les propriétés des deux additifs NALCO utilisés à savoir, le EC5372A et le EC5905A (figure 3.1), respectivement.



Figure 3.1 : Conditionnement des additifs utilisés

**Tableau 3.1 : Propriétés physico-chimiques du produit EC5372A**

Propriétés physico-chimiques	<u>EC5372A</u>
Etat physique	Liquide visqueux
Apparence	Jaune laiteux
Odeur	Aromatique
Densité relative	0,89 (50 °C)
Point d'écoulement	30 °C (ASTM D97)
Point d'ébullition initiale	150 °C
Point éclair	62 °C
Solubilité dans l'eau	Insoluble
Température d'auto-inflammation	>250 °C.
Viscosité cinématique.	118 m <sup>2</sup> /s (40 °C).

**Tableau 3.2 : Propriétés physico-chimique du produit EC5905A**

Propriétés physico-chimiques	EC5905A
Etat physique.	Liquide.
Apparence.	Opaque.
Odeur.	Solvant.
Densité relative.	0,91
Pression de vapeur.	0,045 kPa (20°C).
Point d'ébullition initiale.	185 °C.
Point éclair.	62 °C.
Solubilité dans l'eau.	Négligeable.
Température d'auto-inflammation.	>200 °C.
Viscosité cinématique.	78 m <sup>2</sup> /s (40 °C).

Les deux produits NALCO® sont chimiquement stables dans des conditions normales de température et de pression. Cependant, ils doivent être stockés loin de la chaleur et des sources d'inflammation, y compris les décharges statiques ainsi que les oxydant chimiques comme le chlore, les chromates, les peroxydes, l'acide nitrique, le perchlorate et le permanganate d'oxygène, qui peuvent générer de la chaleur, un feu, des explosions et des vapeurs toxiques.

## 3.2. Méthodes expérimentales

Le traitement du gasoil par des additifs a pour but d'obtenir un produit avec les propriétés d'écoulement adéquates tout en étant conforme aux spécifications (normes) nationales ou internationales recommandées par l'utilisateur. Ceci ne peut se réaliser sans un travail de coordination entre l'unité Topping et les services du laboratoire.

Ainsi, pour remédier aux problèmes liés au comportement du gasoil aux basses températures, l'effet des deux additifs NALCO sur les différentes propriétés a été examiné par la mesure du point d'écoulement, la densité, la viscosité, les points initial et final de la distillation ASTM, le point d'éclair, l'indice de cétane, la teneur en soufre ainsi que le point trouble.

### 3.2.1. Détermination du point d'écoulement

#### 3.2.1.1. Principe de mesure selon la norme ASTM D 97

Cette méthode permet de déterminer le point d'écoulement noté PE pour les produits pétroliers et qui correspond à la plus basse température à laquelle le produit s'écoule toujours. Elle peut être réalisée par un appareil automatique ou manuel selon la méthode d'essais ASTM D97. Son principe est de refroidir de façon progressive un échantillon de gasoil et faire des tests d'écoulement à des températures bien définies.

#### 3.2.1.2. Matériels utilisés

L'appareillage utilisé pour la mesure du point d'écoulement (figure 3.2) est constitué de :

- Un tube à essai cylindrique normalisé en verre claire avec des dimensions bien définies et un trait de jauge pour nous indiquer la quantité de l'échantillon à verser.
- Un thermomètre normalisé ASTM5C
- Un joint d'étanchéité pour fixer confortablement le tube à essai à l'intérieur de la jaquette. Le joint peut être fait de caoutchouc, de cuir ou d'un autre matériau suffisamment élastique pour s'accrocher au récipient d'essai et assez dur pour tenir sa forme et d'empêcher le tube de test de toucher la gaine.
- Un disque en liège ou en feutre de 6 mm d'épaisseur pour s'adapter au fond de la jaquette.
- Un bain maintenu à des températures prescrites avec un support ferme pour maintenir la jaquette en verticale. Les températures du bain requises peuvent être obtenues par réfrigération.

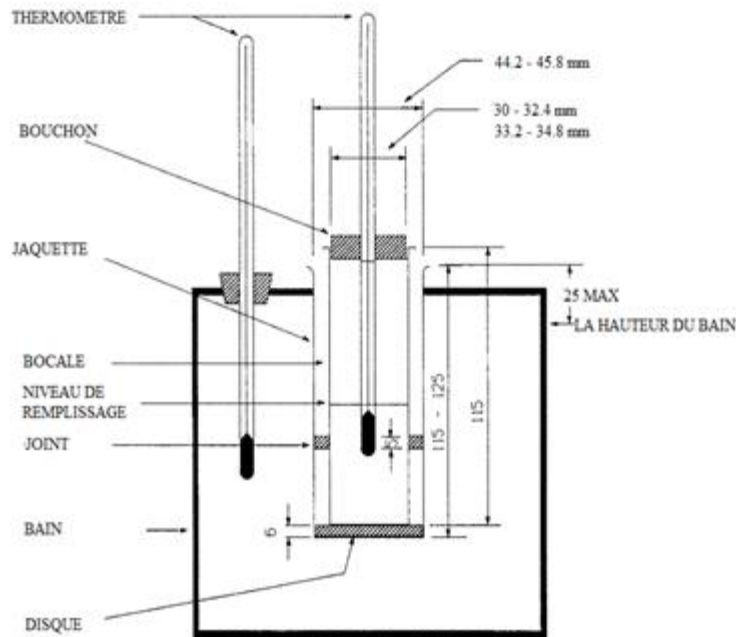


Figure 3.2 : Appareil de mesure du point d'écoulement

### 3.2.1.3. Mode opératoire

- Verser l'échantillon dans le tube à essai jusqu'au repère de niveau. Si nécessaire, chauffer l'échantillon dans un bain jusqu'à ce qu'il soit suffisamment liquide pour le verser dans le tube d'essai.
- Placer le bouchon de liège portant le thermomètre au tube à essai tout en s'assurant de son étanchéité, que le thermomètre et le tube soient coaxiaux et que l'ampoule du thermomètre soit immergée de sorte que le début du capillaire soit 3 mm sous la surface de l'échantillon
- S'assurer que le disque, le joint d'étanchéité et l'intérieur de la jaquette sont propres et secs. Placer le disque dans le bas de la jaquette et le joint d'étanchéité autour du pot d'essai, à 25 mm du bas. Insérer le bocal de test dans la jaquette.
- Après refroidissement de l'échantillon, qui permet la formation de cristaux de paraffine, il faut faire très attention à ne pas perturber la masse de l'échantillon, ni déplacer le thermomètre dans l'échantillon; toute perturbation du réseau spongieux des cristaux de cire conduira à des résultats non fiables et erronés.
- Lorsque la température de l'échantillon est de 9°C au-dessus du point d'écoulement attendu, on retire le flacon de test de la chemise après chaque lecture du thermomètre d'essai qui est un multiple de 3°C en dessous de la température de départ. Les points d'écoulements sont exprimés en nombres entiers positifs ou négatifs de 3°C. Pour enlever l'humidité condensée qui limite la visibilité, il faut essuyer la surface avec un chiffon

propre humecté d'alcool (éthanol ou méthanol).

- On incline, ensuite, le pot juste assez pour vérifier s'il y a un mouvement de l'échantillon dans le pot de test. Si le mouvement de l'éprouvette dans le récipient est noté, replacer le bocal d'essai immédiatement dans la veste et répéter l'essai à une autre température, 3°C inférieure à la précédente jusqu'à ce que l'échantillon ne montre aucun mouvement lorsque le pot d'essai est maintenu dans une position horizontale pendant 5 s. En règle générale, l'opération complète d'enlèvement, d'essuyage et de remplacement ne doit pas dépasser les 30 secondes.

**Tableau 3.3 : Gammes de température du bain et de l'échantillon**

Température de l'échantillon (°C)	Température du bain (°C)
≥ 27 °C	24 ± 1.5 °C
De 27 à 9 °C	0 ± 1.5 °C
De 9 à -6 °C	-18 ± 1.5 °C
De -6 à -24 °C	-33 ± 1.5 °C
De -24 à -42 °C	-51 ± 1.5 °C

Durant l'expérience, on prend soin de respecter les paliers de refroidissement représentés dans le tableau (3.3). On note la température observée dans le thermomètre et on monte de 3 °C.

### 3.2.2. Détermination du point de trouble

#### 3.2.2.1. Principe de mesure selon la norme ASTM D5771 [16]

Pour mesurer le point de trouble (PT), l'échantillon (gasoil seul ou gasoil/additif) est refroidi grâce à une jaquette thermostatée dans laquelle circule un fluide réfrigérant dont la température est abaissée par paliers. La température d'apparition des premiers cristaux est le point de trouble. La détection est effectuée par la mesure de l'intensité d'un faisceau lumineux passant de façon continue à travers le fluide. Le faisceau est réfléchi par un miroir tapissé dans le fond du tube et réceptionné par la sonde lumineuse.

#### 3.2.2.2. Matériels utilisés

Un appareil automatique est utilisé pour la détermination de la température de point de trouble (figures 3.3 et 3.4).

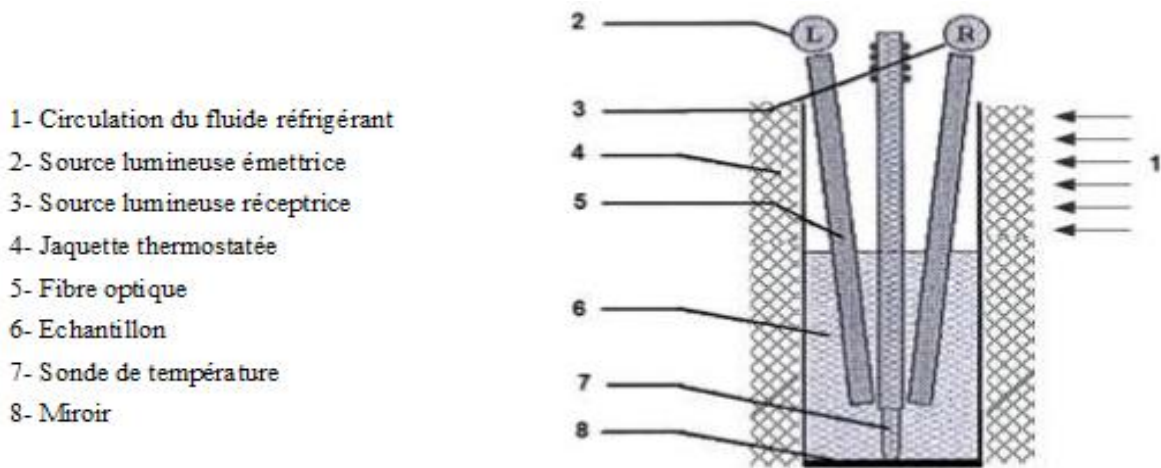


Figure 3.3 : Schéma de l'appareil de mesure du point de trouble [16]



Figure 3.4 : Photo de l'appareil de mesure du point de trouble

### 3.2.2.3. Mode opératoire

- Allumer l'unité centrale de l'ordinateur.
- Allumer l'appareil (bouton sur le front de l'appareil) et laisser stabiliser 20 minutes.
- Remplir le tube d'échantillon avec la prise d'essai jusqu'au niveau indiqué et le placer ensuite dans son emplacement sur l'appareil.
- Faire descendre le tube d'échantillon dans le bain, puis allumer l'appareil.
- Une fois l'analyse terminée, noter la température du point de trouble affichée sur l'ordinateur.

### 3.2.3. Détermination de la densité

### 3.2.3.1. Principe de mesure [23]

La technique de mesure varie suivant la précision du résultat recherché. Les mesures de routine s'effectuent le plus souvent avec un densimètre standard en verre lesté au plomb. Le densimètre est plongé dans le liquide préalablement placé dans une éprouvette. L'enfoncement dans le fluide varie en fonction de sa densité dont la valeur est lue directement grâce à une échelle graduée.

### 3.2.3.2. Matériels utilisés

- Densimètre ou aéromètre
- Eprouvette graduée
- Thermomètre.

### 3.2.3.3. Mode opératoire

- Remplir l'éprouvette jusqu'à ce que l'aéromètre flotte librement.
- Placer l'appareil verticalement dans l'échantillon, ainsi que le thermomètre à côté de l'aéromètre dans l'échantillon jusqu'à ce que la température se stabilise.

Après avoir vérifié que l'aéromètre n'est pas en contact avec les parois de l'éprouvette, lire la densité opératoire à la température de l'essai, pour qu'elle soit à 15°C il faut corriger avec la formule suivante :  $D_{15} = DT + a(T-15)$  et on note que :

**DT** : la densité opératoire. **a** : facteur de correction. **T** : température de l'essai.

## 3.2.4. Distillation ASTM

### 3.2.4.1. Principe de mesure [24]

Cette méthode s'applique à tous les produits pétroliers sauf aux gaz de pétrole liquéfiés et aux bitumes fluxés. Elle consiste à distiller 100 ml de produit dans des conditions normalisées et à relever les températures correspondant aux volumes de distillats évaporés ou recueillis. On s'intéresse généralement à la détermination des cinq températures suivantes :

- Température du point initial, notée **PI**, qui correspond à l'apparition de la première goutte de distillat.
- Température du point 50 %
- Température du point 65 %
- Température du point 90 %
- Température du point final, notée **PF**, qui est la température maximale relevée au cours de l'essai.

### 3.2.4.2. Matériels utilisés

L'appareillage correspondant à l'essai manuel de la distillation ASTM et conforme à la norme est représenté par les figures (3.5) et (3.6)

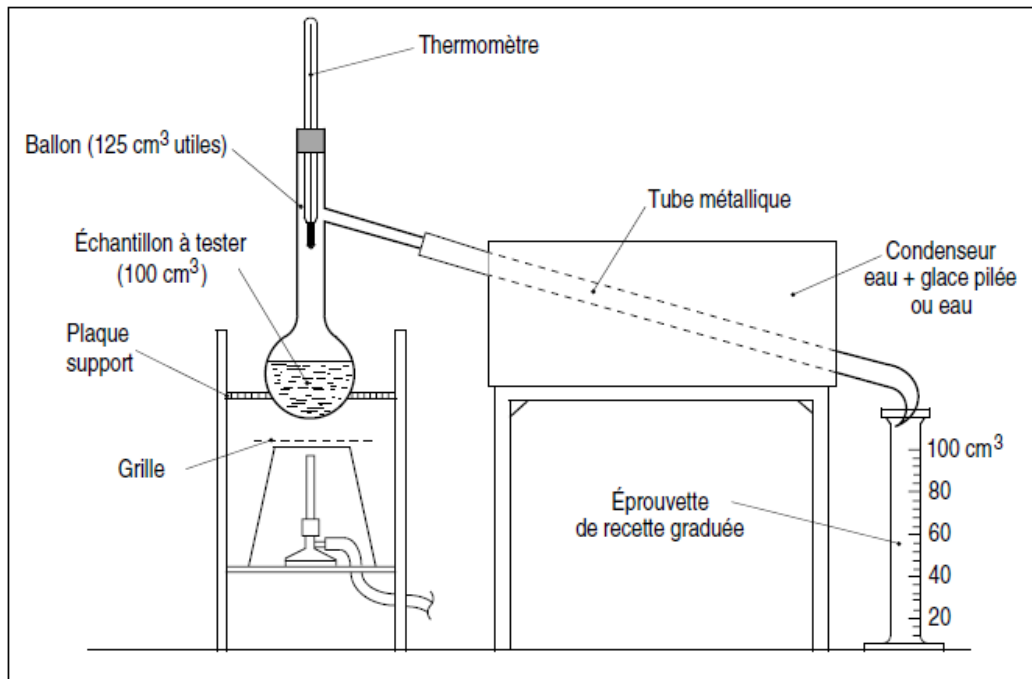


Figure 3.5 : Schéma descriptif du montage de la distillation ASTM [24]



Figure 3.6 : Photo d'appareil de la distillation ASTM

### 3.2.4.3. Mode opératoire [23, 24]

- Mettre une prise d'essai de 100 ml dans le ballon de distillation.
- Placer le ballon muni de son thermomètre traversant le bouchon, sur la plaque en verre.
- Placer l'éprouvette graduée sans la sécher, à la sortie du tube condenseur.
- Prendre toute les précautions pour que la température du bain entourant l'éprouvette



graduée reste dans les limites figurant au tableau de la norme.

- Régler le chauffage afin que le temps s'écoulant entre le début du chauffage et l'obtention du point initial n'excède pas la limite prescrite par de la norme.
- Immédiatement après avoir observé le point initial, régler le chauffage afin que le volume de condensât recueilli dans l'éprouvette augmente de façon uniforme et dans les limites prescrites par la norme.

### 3.2.5. Détermination du point d'éclair

#### 3.2.5.1. Principe de mesure

Dans une coupe pétrolière donnée, ce sont les constituants les plus volatils ou légers qui se vaporisent le plus facilement et qui constituent, au-dessus de la phase liquide, une atmosphère riche en vapeur d'hydrocarbures. Un enrichissement en légers a, de ce fait, pour conséquence d'abaisser la température du point d'éclair. Les résultats obtenus par les méthodes d'essais normalisés de mesure du point d'éclair sont d'ailleurs très sensibles à la présence de traces d'impuretés volatils ou de produits trop légers. Il faut noter que sur un même produit, ils donnent des résultats différents et qu'il est nécessaire d'accompagner la valeur de la mesure d'un point d'éclair de la nature de la norme correspondante.

#### 3.2.5.2. Matériels utilisés

L'appareil correspondant à cette analyse selon la norme ASTM D93, est celui de Pensky-Martens représenté dans la figure (3.7).

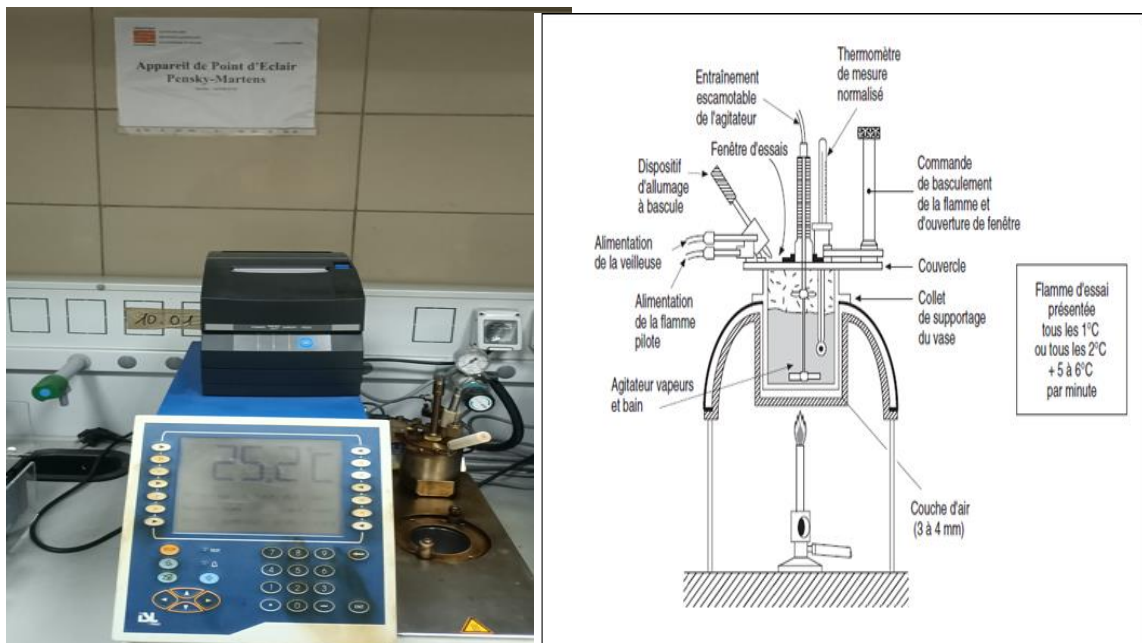


Figure 3.7 : Appareil Pensky -Martens ASTM D93 [23]

### 3.2.5.3. Mode opératoire [24]

- Remplir la coupe avec la prise d'essai jusqu'au niveau indiqué.
- Placer la coupe dans l'enceinte du bloc chauffant, placer le couvercle sur la coupe.
- Choisir une température présumée du point d'éclair.
- Appuyer sur START pour commencer l'analyse.

### 3.2.6. Détermination de la viscosité

#### 3.2.6.1. Principe de mesure [25]

La norme ASTM D445 décrit une méthode de mesure de la viscosité cinématique des produits pétroliers liquides. Elle consiste à mesurer le temps d'écoulement d'un liquide dans un capillaire calibré à température fixée. La viscosité cinématique est calculée à partir du temps d'écoulement en utilisant la formule suivante :

$$v = k \cdot t$$

Avec :

**v** = viscosité cinématiques en (cSt) ou (St)

**k** = constante du viscosimètre qui dépend de la taille du capillaire utilisé

**t** = temps d'écoulement en secondes.

#### 3.2.6.2. Matériels utilisés

On utilise le viscosimètre Ubbelohde à niveau suspendu pour les liquides transparents et le viscosimètre Cannon Fenske à écoulement inversé pour les liquides opaques (figure 3.8). En plus du viscosimètre de type capillaire, le matériel utilisé est : un bain thermostaté et un chronomètre.

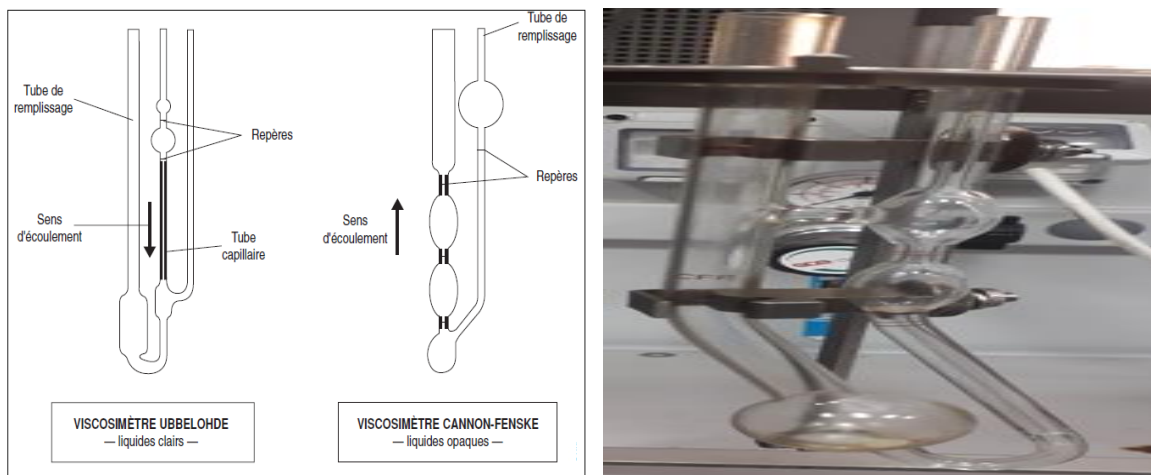


Figure 3.8: Schéma des viscosimètres utilisés [23]

### 3.2.6.3. Mode opératoire [23,25]

- Remplir le viscosimètre avec le produit à analyser d'une manière approprié à sa conception.
- Immerger le viscosimètre dans le bain préalablement chauffé à 20 °C et s'assurer qu'il est bien vertical
- Mesurer en secondes, le temps que met le ménisque pour passer de la première marque à la seconde et de la seconde à la troisième.

### 3.2.7. Détermination de la teneur en soufre [26]

#### 3.2.7.1. Principe de mesure

La première étape de la quantification, consiste en une combustion de l'échantillon à haute température en présence d'oxygène. Les différents travaux publiés mentionnent des températures de 900°C au minimum. Nous travaillons à 1000°C au moins, et à 1100°C au maximum. Cette combustion a lieu dans un tube en quartz dont la zone portée à haute température, mesure 30 cm de long environ. Ce tube en quartz est rempli de perle de quartz afin d'augmenter la surface de contact entre l'échantillon et l'atmosphère oxydante. Ce tube de combustion ne contient aucun autre élément, en particulier, pas de catalyseur.

Tous les composés soufrés sont convertis en dioxyde de soufre; les autres produits issus de cette combustion sont le dioxyde de carbone, l'eau, d'autres oxydes éventuels, l'excès d'oxygène et le gaz neutre. Ce mélange de gaz passe dans le tube sécheur qui élimine l'eau. Les gaz sont ensuite introduits dans le détecteur. Le maximum de fluorescence se situe vers 420 nm. A la sortie du détecteur de soufre, le mélange gazeux est donc constitué de dioxyde de carbone, d'oxygène, d'argon et de dioxyde de soufre.

Les réactions qui ont lieu, sont :

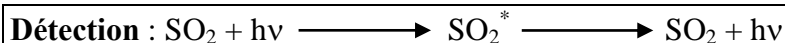
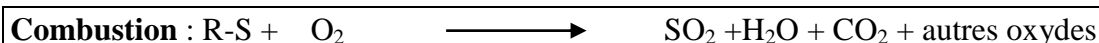




Figure 3.9: Dispositif pour la mesure de la teneur en soufre

### 3.2.7.2. Matériels utilisés

L'appareil utilisé est un analyseur de soufre par fluorescence UV présenté dans la figure (3.9).et schématisé par la figure (3.10).

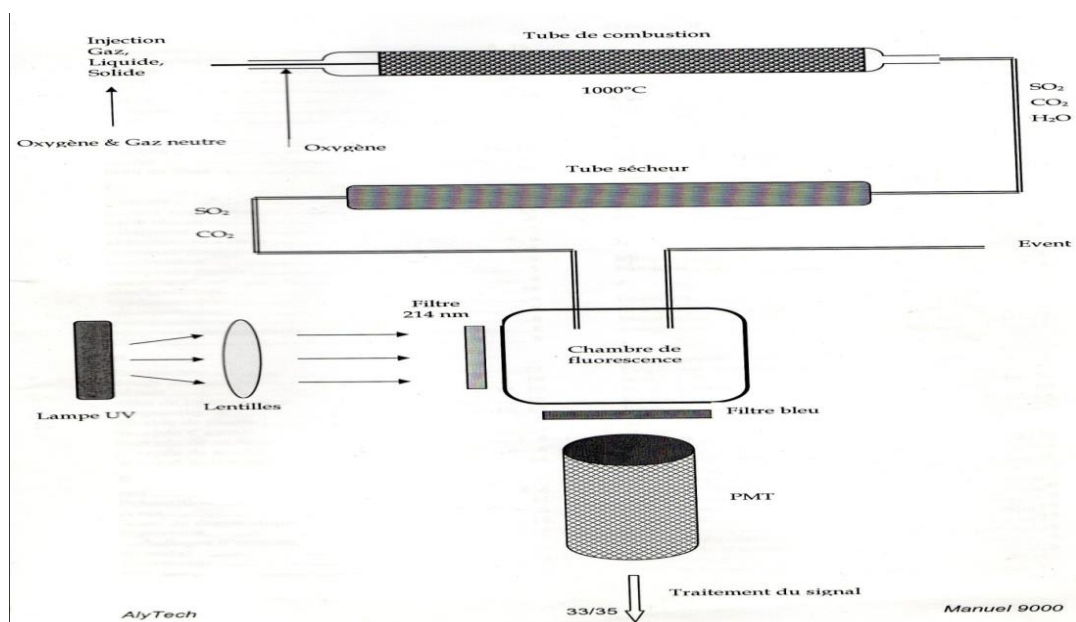


Figure 3.10 : Schéma de principe de l'analyseur de soufre total [26]

### 3.2.7.3. Mode opératoire

L'analyseur de soufre est doté d'un logiciel qui permet de fixer certains paramètres et, moyennant une courbe d'étalonnage, de calculer la teneur en soufre de l'échantillon injecté.

On fixe tous les paramètres analytiques et de traitement du signal. Les paramètres optimisés dans cette méthode sont :

- La température fixée à 1000°C.
- Les débits des gaz :
  - Argon, vecteur .....120 – 160 ml/min.
  - Oxygène, vecteur .....10 – 20 ml/min.
  - Oxygène, combustion .....450 -500 ml/min.

La courbe d'étalonnage se fait à partir de solutions de références de concentrations connues en soufre exprimées en ppm. Dans la gamme envisagée de 100 – 1000 ppm, il faut commencer par injecter l'étalon le plus concentré, par exemple celui à 1000 ppm; le pic doit être environ, au maximum de la plage dynamique 0 – 2 V. Il faut s'assurer que l'étalon à 100 ppm donne un signal significativement différent du bruit de fond sinon, il faut augmenter la sensibilité ou le voltage. La courbe d'étalonnage est obtenue grâce au logiciel de l'appareil (figure 3.11).

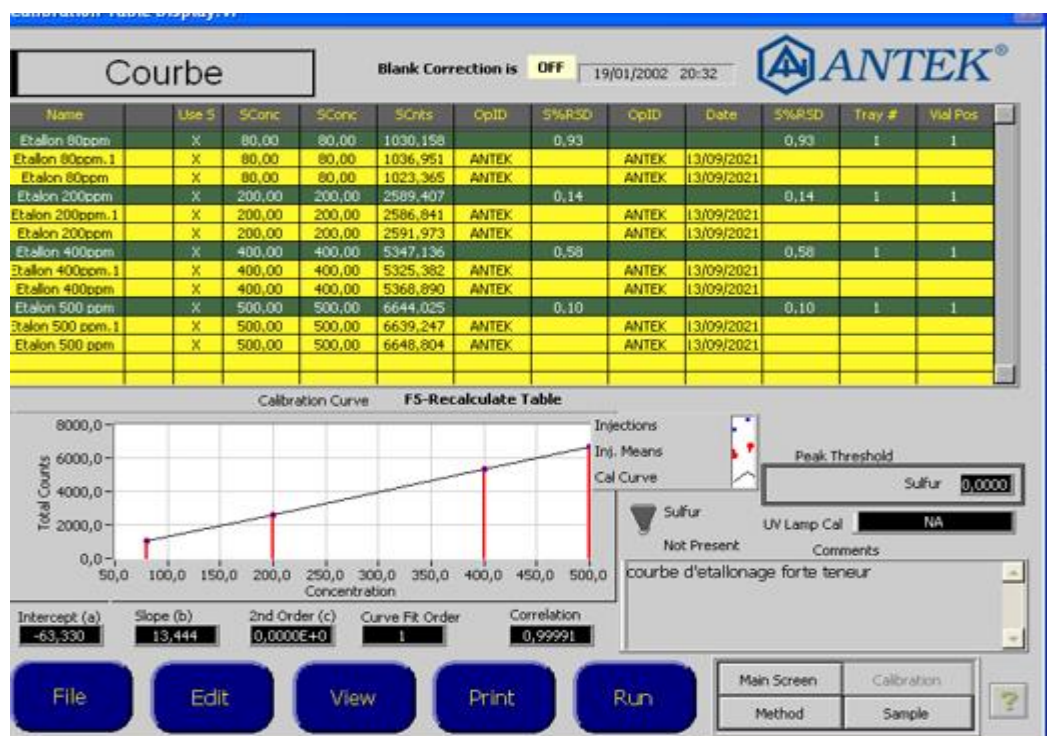


Figure 3.11 : Courbe d'étalonnage pour la teneur en soufre

### 3.2.8. Détermination de l'indice de cétane

#### 3.2.8.1. Principe de mesure

L'indice de cétane d'un carburant pour moteur diesel est déterminé par comparaison de sa qualité d'inflammabilité avec celle de mélanges de carburant d'indice connu. Cette qualité d'inflammabilité est obtenue par variation du rapport volumétrique de compression pour l'échantillon et chaque mélange de référence, afin d'obtenir un délai déterminé entre le but d'injection et le but d'allumage.

L'indice de cétane calculé est un moyen pratique pour estimer le nombre de cétane quand on ne dispose pas de moteur d'essai pour déterminer cette propriété. Il est donné par l'équation suivante :

$$\text{Indice de cétane} = 454,74 - 1641,416.d + 774,74 d^2 - 0,554.B + 97,803 (\log B)^2$$

Où :

d : densité à 15°C

B : point 50 % de la distillation ASTM (°C)

## Chapitre 4

### Résultats et discussions

#### 4.1. Propriétés du gasoil produit par la raffinerie d'Alger

Avant de présenter les résultats de cette étude, nous regroupons, sur le tableau (4.1) ci-dessous, les limites supérieures et inférieures ainsi que les méthodes d'analyses effectuées (méthodes ASTM) et les valeurs des normes algériennes notées NA exigées pour le gasoil des moteurs diesel. Sur la dernière colonne, sont regroupés les résultats d'analyse relatifs au gasoil non traité.

**Tableau 4.1 : Propriétés du gasoil utilisé et spécifications**

<i>Caractéristiques</i>		<i>Limites</i>	<i>Méthodes d'essai</i>	<i>Normes Algériennes</i>	<i>Résultats</i>
Densité à 15°C (kg/l)		0,810-0,860	ASTM D1298	NA 417	0,829
Couleur		2,5 MAX	ASTM D1500	NA 1145	<0,5
Point d'écoulement (°C)	1/11 au 31/03	-12 MAX	ASTM D 97	NA 2660	<b>-6</b>
	1/04 au 31/10	-7 MAX			
Viscosité à 20°C (cSt)		9 MAX	ASTM D 445	-	6,66
Point d'éclair (°C)		55 MIN	ASTM D 93	NA 2658	82,1
Teneur en cendres (% masse)		TND	ASTM D 482	NA 1660	TND
Teneur en eau (% vol)		TND	ASTM D 95	-	TND
Teneur en soufre (% masse)		0,15 MAX	ASTM D5453	-	0,019
Indice de cétane		48 MIN	ASTM D 976	NA 8117	56,43
DISTILLATION	Point initial		ASTM D86	NA 1445	203
	10%				235
	30%				254
	50%				277
	65%	250°C MIN			301
	70%				309
	90%	350°C MAX			<b>354</b>
	Point final	390°C MAX			380
	Distillation (% vol)				98,0
	Résidu (%)				1,0
	Pertes (%)				1,0
TND : Teneur non déterminée ; MAX : maximum ; MIN : minimum					

On remarque que le point d'écoulement et le point 90% de la distillation sont élevés par rapport aux normes, ce qui fait que notre gasoil est **non conforme**. Généralement, le point d'écoulement est proportionnel au point 90% de la distillation.

## 4.2. Effet de l'ajout de kérosène sur les propriétés du gasoil

Afin d'améliorer le point d'écoulement du gasoil, propriété qui nous intéresse le plus, on ajoute des quantités bien définies de kérosène pour pouvoir déterminer le pourcentage volumique optimal qui nous donnera un point d'écoulement au plus, égale à **-12°C**, valeur maximale exigée pour le gasoil (tableau 4.1). On précise que les mesures sont effectuées avec des échantillons contenant 300 ml (% de **kérosène** + le reste **gasoil**)

### 4.2.1. Résultats des propriétés à froid du gasoil

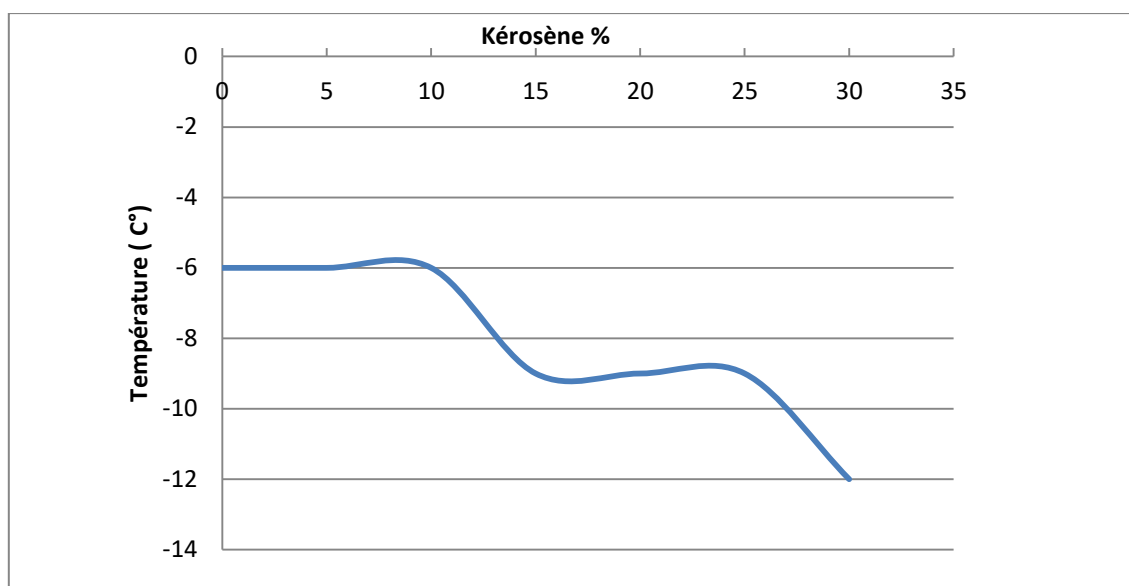
#### 4.2.1.1. Point d'écoulement (PE)

Les résultats concernant le point d'écoulement, sont présentés sur le tableau (4.2) et illustrés par la figure (4.1). Nous rappelons que notre gasoil de référence a un point d'écoulement d'une valeur de -6°C.

**Tableau 4.2 : Effet de l'ajout de kérosène sur le point d'écoulement du gasoil**

Teneur en kérosène (% vol)	Point d'écoulement (°C)
5 %	- 6
10 %	- 6
15 %	- 9
20 %	- 9
25 %	- 9
30 %	<b>- 12</b>





**Figure 4.1 : Effet de l'ajout de kérosène sur le point d'écoulement du gasoil**

Nous remarquons qu'au début, le kérosène n'a aucun effet sur le point d'écoulement. A partir d'une quantité de kérosène de l'ordre de 10 %, on assiste à une diminution progressive du PE de **-6** jusqu'à **-9**. Lorsque la fraction de kérosène ajouté atteint 30%, on arrive au point d'écoulement demandé qui est de **-12°C**.

#### 4.2.1.2. Point trouble (PT)

Le point trouble de notre gasoil pur (gasoil de référence) est : **-2**. Nous présentons, sur le tableau (4.3), l'évolution du PT avec l'ajout de kérosène.

**Tableau 4.3 : Effet de l'ajout de kérosène sur le point trouble du gasoil**

Teneur en kérosène (% vol)	Point trouble (°C)
5 %	- 4.8
10 %	- 5.3
15 %	- 5.9
20 %	- 6.3
25 %	- 6.5
30 %	- 7

On constate que l'ajout du kérosène fait baisser diminuer le point trouble au point qu'on a dépassé les normes exigées (§2.4.2).

#### 4.2.2. Effet du kérosène sur les propriétés physico-chimiques du gasoil

#### 4.2.2.1. Densité

Sur le tableau (4.4), sont présentés les résultats de l'effet du kérosène sur la densité du gasoil.

**Tableau 4.4 : Effet de l'ajout de kérosène sur la densité du gasoil**

Teneur en kérosène (% vol)	Densité à 15°C (kgs/l)
5 %	0.827
10 %	0.826
15 %	0.825
20 %	0.823
25 %	0.822
30 %	0.821

D'après le tableau (4.4), on remarque l'augmentation de teneur en kérosène provoque une diminution de la densité. Ceci provoque une diminution de l'énergie fournie par le carburant, car plus la densité du gasoil est élevée, plus la quantité d'énergie délivrée à pleine puissance est importante.

#### 4.2.2.2. Point d'éclair (Pensky)

Les résultats concernant l'effet de l'ajout de kérosène sur le point d'éclair sont présentés sur le tableau (4.5).

**Tableau 4.5 : Effet de l'ajout de kérosène sur le point d'éclair du gasoil**

Teneur en kérosène (% vol)	Pensky (°C)
5 %	79.2
10 %	78.2
15 %	77.2
20 %	76.1
25 %	75.2
30 %	73.2

On peut dire que la présence du léger fait diminuer le point d'éclair du gasoil, ce qui n'est pas bon car cette diminution accélère la production des vapeurs en quantités suffisantes pour que celles-ci puissent s'enflammer en présence d'une flamme.

#### 4.2.2.3. Teneur en soufre

Le tableau (4.6) présentant les résultats de l'effet du kérosène sur la teneur en soufre du gasoil, montre que l'ajout de kérosène fait baisser la teneur en soufre de ce dernier

**Tableau 4.6 : Effet de l'ajout de kérosène sur la teneur en soufre du gasoil**

Teneur en kérosène (% vol)	Teneur en soufre (ppm)
5 %	190.31
10 %	185.10
15 %	175.81
20 %	173.21
25 %	170.63
30 %	160.13

#### 4.2.2.4. Indice de cétane

L'évolution de l'indice de cétane avec l'ajout de kérosène est représentée sur le tableau (4.7). On remarque une décroissance de l'indice de cétane avec l'augmentation de la teneur en kérosène. Ceci n'est pas bénéfique pour le moteur puisque elle entraînerait des difficultés de démarrage, une combustion erratique, surtout au ralenti à froid et à faible charge, et un niveau de bruit plus important.

**Tableau 4.7 : Effet de l'ajout de kérosène sur l'indice de cétane du gasoil**

Teneur en kérosène (% vol)	Indice de cétane
5 %	54.59
10 %	53.99
15 %	53.43
20 %	52.88
25 %	52.76
30 %	51.99

#### 4.2.2.5. Viscosité

La viscosité du gasoil diminue fortement lorsque la quantité de kérosène ajoutée augmente (tableau 4.8). Cette baisse peut provoquer le grippage de la pompe d'injection.

**Tableau 4.8 : Effet de l'ajout de kérosène sur la viscosité du gasoil**

Teneur en kérosène (% vol)	Viscosité à 20°C
5 %	5.64
10 %	5.24
15 %	5.17
20 %	5.08
25 %	4.85
30 %	4.75

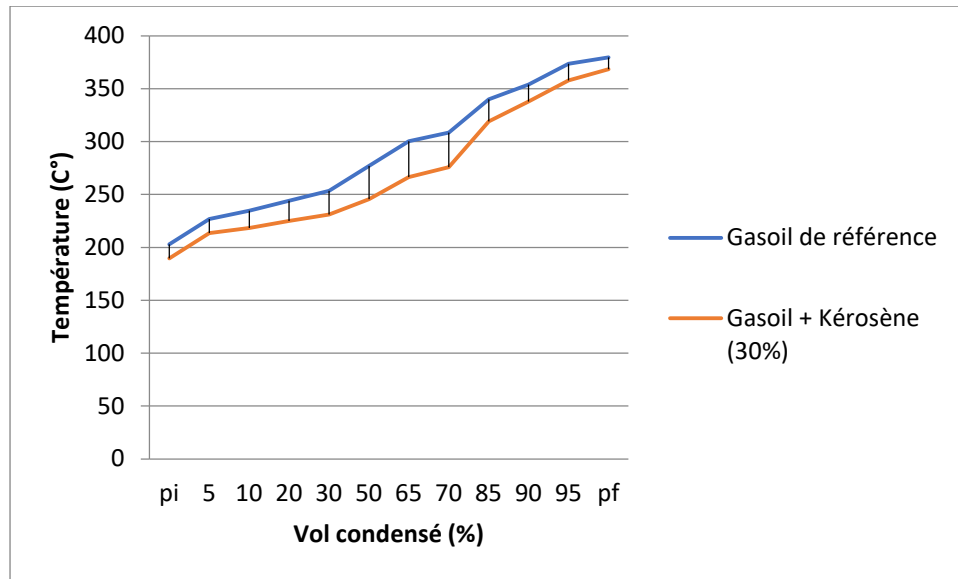
#### 4.2.2.6. Distillation ASTM

Sur le tableau (4.9), nous présentons les résultats de la distillation ASTM effectuée sur le gasoil de référence et du mélange gasoil/kérosène à 30 % en volume, valeur qui correspond au pourcentage optimal pour le point d'écoulement qui est de -12.

**Tableau 4.9 : Résultats de la distillation ASTM**

%vol condensé	Gasoil de référence	Gasoil +Kérosène (30%)
Pi	202.8	189.6
5	226.9	213.5
10	234.8	218.4
20	244.0	224.9
30	253.5	231.0
50	276.9	245.4
65	300.2	266.4
70	308.4	275.7
85	339.8	319.0
90	354.0	337.8
95	373.4	357.7
Pf	379.5	368.5

Pour une meilleure visibilité, nous avons illustré les résultats par le graphe de la figure (4.2).



**Figure 4.2 : Résultats de la distillation ASTM**

Les valeurs obtenues avec le mélange gasoil/kérosène restent inférieures à celles du gasoil de référence.

#### 4.2.3. Interprétation globale sur l'effet du kérosène sur le gasoil

D'après les analyses effectuées sur les échantillons du mélange gasoil/kérosène à différents volumes de kérosène ajouté, on constate, que l'ajout de kérosène, fait baisser le point d'écoulement du gasoil. Une teneur de 30 % correspond à la valeur du PE qui nous intéresse à savoir,  $-12^{\circ}\text{C}$ . Cependant, cette opération a des effets secondaires négatifs sur le carburant :

- Le carburant est consommé plus rapidement au niveau du moteur
- La plupart des propriétés physico-chimiques enregistrent une baisse qui rend le gasoil non conforme.
- La consommation importante de kérosène correspond à une perte en ce produit, plus cher que le gasoil et donc un manque à gagner.

#### 4.3. Effet de l'ajout d'additifs NALCO sur les propriétés du gasoil

L'ajout de kérosène qui s'est avéré efficace pour baisser le point d'écoulement a des aspects négatifs. Pour cela, on essaie de le remplacer par des produits commerciaux existant sur le marché. Dans ce qui suit, on étudie l'effet de deux additifs sur les différentes propriétés du gasoil et notamment, le point d'écoulement et déterminer les quantités optimales de ces produits. Ces additifs sont : NALCO EC5905 et NALCO EC5372.

### 4.3.1. Effet des additifs sur les propriétés à froid du gasoil

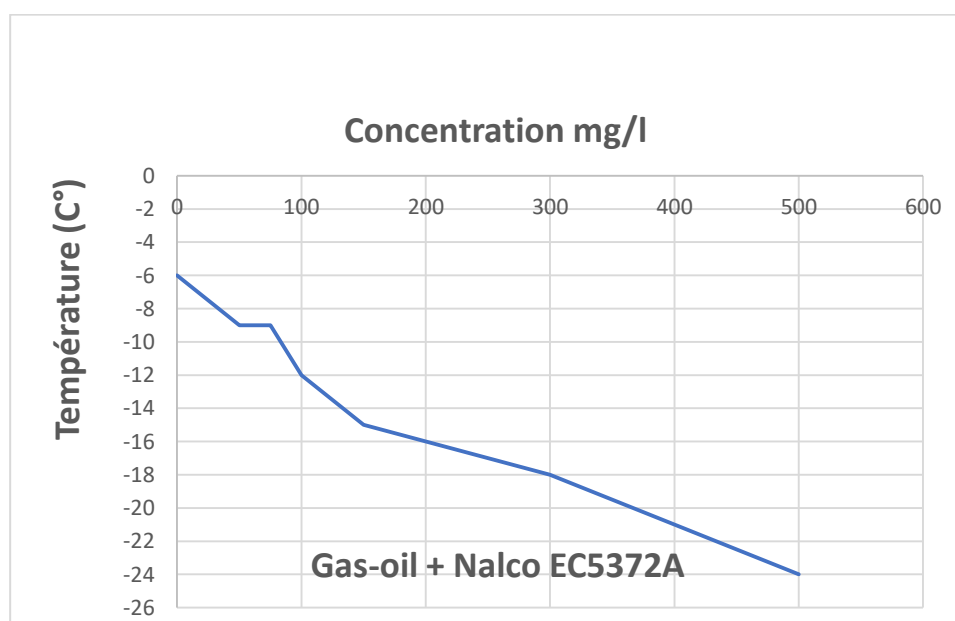
#### 4.3.1.1. Point d'écoulement

Le tableau (4.10) montre la variation du point d'écoulement en fonction de la concentration des deux additifs NALCO utilisés.

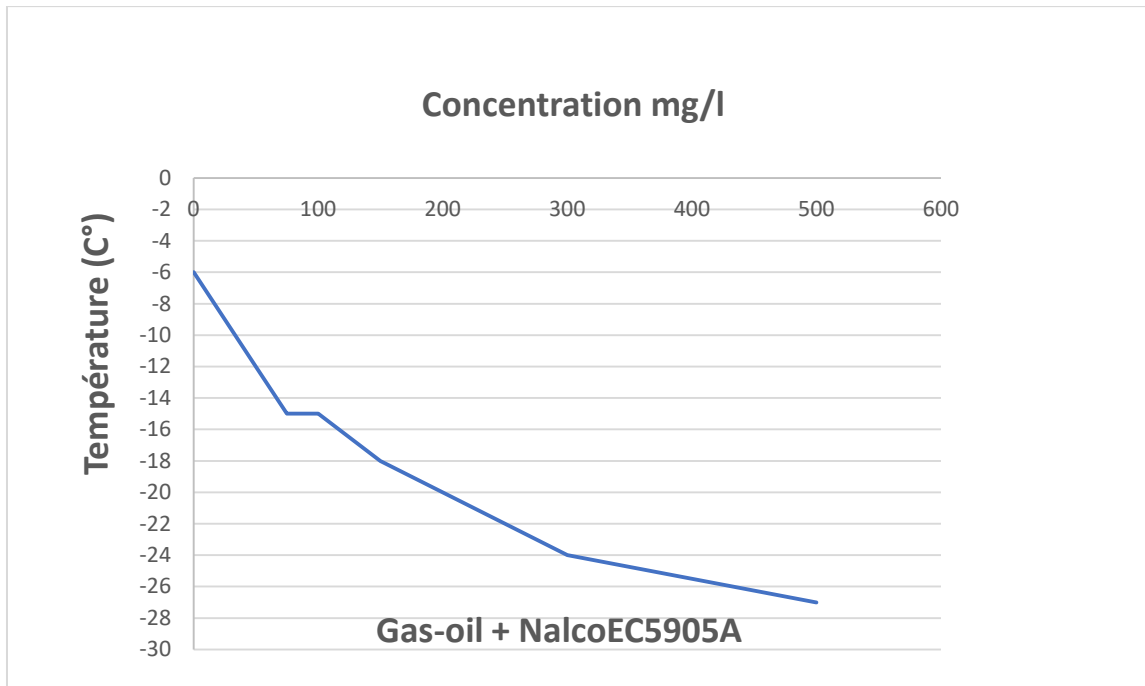
**Tableau 4.10 : Effets des additifs sur le point d'écoulement du gasoil**

Concentrations (ppm, mg/l)	Point d'écoulement (°C)	
	Gasoil + EC 5905 A	Gasoil + EC 5372 A
0	-6	-6
<b><u>50</u></b>	<b><u>-12</u></b>	-9
75	-15	-9
<b><u>100</u></b>	-15	<b><u>-12</u></b>
150	-18	-15
300	-21	-18
500	-24	-24

Les évolutions du PE en fonction des quantités d'additifs sont, également, représentées par les figures (4.3) et (4.4).



**Figure 4.3 : Effet de l'additif EC5372A sur le point d'écoulement**



**Figure 4.4 : Effet de l'additif EC5905A sur le point d'écoulement**

D'après le tableau (4.10) ou les figures (4.3) et (4.4), on constate une diminution régulière du point d'écoulement du gasoil avec l'augmentation de la concentration d'additifs. Comme la norme exigée pour le point d'écoulement, qui correspond à la valeur minimale tolérée, est de  $-12^{\circ}\text{C}$ , les valeurs des concentrations des additifs retenues sont de **50 mg/l** pour l'additif EC5905A, et de **100 mg/l** pour le EC5372A. Comparé à l'échantillon de gasoil seul dont le point d'écoulement est égale à  $-6^{\circ}\text{C}$  (tableau 4.1), pour de fortes concentrations en EC5905A et EC5372A cette valeur peut être réduite jusqu'à  $-24^{\circ}\text{C}$ . La variation du point d'écoulement (PE) pour le mélange gasoil/additifs est inversement proportionnelle à la concentration de l'additif.

#### 4.3.1.2. Point de trouble

Les valeurs obtenues du point de trouble pour le gasoil seul (sans additif) et avec additif sont regroupés dans le tableau (4.11) suivant.

**Tableau 4.11 : Effets des additifs sur le point de trouble**

Concentrations d'additif (mg/l)	Point de trouble (°C)	
	Gasoil + EC 5905 A	Gasoil + EC 5372 A
0	-2	-2
<b>50</b>	-1.7	-0.4
75	-2.3	-0.2
<b>100</b>	-2	-0.2
150	-2.5	-1.5
300	-3	-1.7
500	-2.7	-1.6

D'après le tableau (4.11), nous constatons une légère instabilité du point de trouble en augmentant la concentration des additifs. Avec l'additif EC 5905A, le point de trouble évolue très peu et reste proche de la valeur obtenue pour le gasoil de référence. Avec l'additif EC 5372A, le point de trouble augmente brutalement puis rechute pour se stabiliser. Cependant, les valeurs obtenues montrent peu d'effet sur le point de trouble. Pour les concentrations optimales choisies pour le point d'écoulement, à savoir 50 mg/l et 100 mg/l, les valeurs du PT restent comprises entre -5 et +5 comme l'exige la norme.

#### **4.3.2. Effet des additifs sur les propriétés physico-chimiques du gasoil**

##### **4.3.2.1 Densité**

Les valeurs de la densité mesurée à 15 °C des différents échantillons contenant le gasoil avec l'additif sont présentées sur le tableau (4.12). On constate l'absence d'effet significatif des additifs sur la densité du gasoil.



**Tableau 4.12 : Effet des additifs sur la densité du gasoil**

Concentrations d'additif (mg/l)	Densité à 15°C	
	Gasoil + EC 5905 A	Gasoil + EC 5372 A
0	0.829	0.829
50	0.829	0.830
75	0.829	0.830
100	0.829	0.830
150	0.829	0.830
300	0.829	0.830
500	0.824	0.830

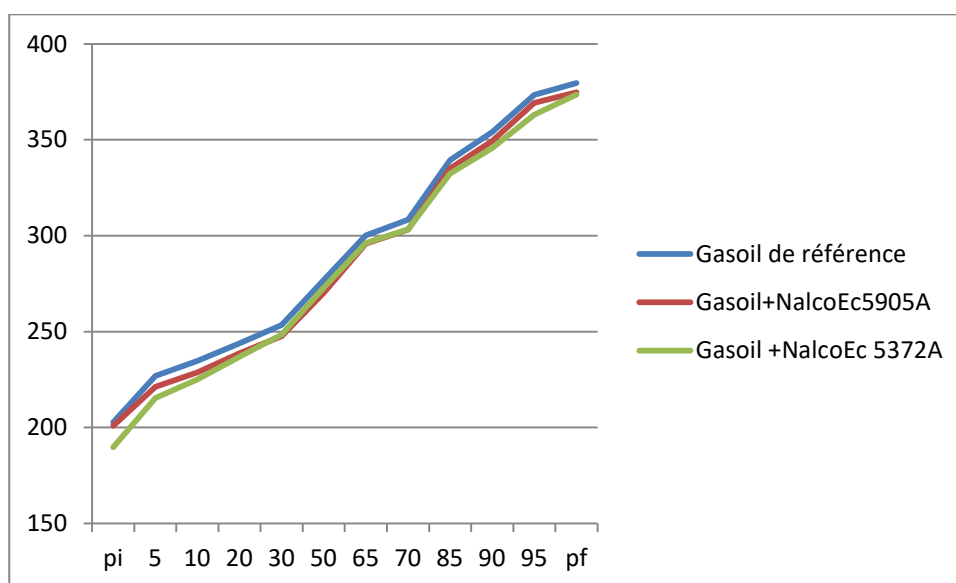
**4.3.2.2. Distillation ASTM**

Pour la distillation ASTM et pour le reste des analyses, nous avons limité les concentrations des additifs aux valeurs optimales obtenues pour le PE, à savoir, 50 mg/l pour le EC5905A et 100mg/l pour le EC5372A)

Les résultats de la distillation ASTM obtenus sont illustrés sur le tableau (4.13) et la figure (4.5)

**Tableau 4.13: Résultats de la distillation ASTM du gasoil de référence et des mélanges gasoil/additifs**

% Vol condensé	Gasoil de référence	Gasoil +Nalco Ec 5905A (50 mg/l)	Gasoil +Nalco Ec 5372A (100mg/l)
PI	202.8	200.9	189.8
5	226.9	221.3	215.5
10	234.8	228.8	225.1
20	244.0	238.7	236.9
30	253.5	247.7	248.5
50	276.9	270.3	272.9
65	300.2	295.9	296.2
70	308.4	303.1	303.4
85	339.8	335.1	332.3
90	354.0	349.3	345.7
95	373.4	369.3	363.1
Pf	379.5	374.7	373.5



**Figure 4.5: Résultats de la distillation ASTM du gasoil de référence et des mélanges gasoil/additifs**

D'après le tableau (4.13) la figure (4.5), nous remarquons qu'il n'y a pas un grand écart entre les points de la distillation ASTM du gasoil sans et avec les deux additifs (l'écart est entre 5 et 5°C). Nous concluons que les deux additifs NALCO testés n'ont pas d'effet significatif sur la distillation ASTM et que les échantillons de gasoil contenant des concentrations optimales d'additif restent dans la zone de conformité du produit. Les points initiaux et finaux de ces mélanges sont 200,9 et 374,7°C pour le EC5905A et 189,8 et 373,5°C pour le EC5372A.

#### 4.3.2.3. Point d'éclair (Pensky)

Les valeurs du point d'éclair obtenues pour les échantillons du gasoil avec et sans additif sont présentées dans le tableau (4.14)

**Tableau 4.14: Effets des additifs sur le point d'éclair du gasoil sans et avec additifs**

Echantillon	Point éclair (°C)
Gasoil de reference	82
Gasoil + additif EC5905 (50 mg/l)	87
Gasoil + additif EC5372 (100 mg/l)	81

On constate une amélioration de la valeur du point d'éclair Pensky obtenue pour le gasoil avec l'additif EC5905A par rapport au gasoil sans additif. Le EC5372A semble sans effet sur la valeur du point d'éclair.

#### 4.3.2.4. Viscosité

Les valeurs de la viscosité obtenues, à 20°C, pour des échantillons du gasoil sans et avec additifs sont présentées dans le tableau (4.15).

**Tableau 4.15 : Effets des additifs sur la viscosité cinématique à 20°C du gasoil**

Echantillon	Viscosité cinématique (cSt)
Gasoil de référence	6.66
Gasoil + additif EC5905 (50 mg/l)	5.91
Gasoil + additif EC5372 (100 mg/l)	6.79

Nos remarquons que la valeur de la viscosité du gasoil en présence de l'additif EC5905A est plus faible par rapport à celle du gasoil de référence. Ceci peut être dû au fait que cet additif joue aussi le rôle d'abaisseur de viscosité ou d'agent de dispersion. Notons que les valeurs obtenues avec les deux additifs sont toujours inférieures à 9 cSt, spécification du gasoil citée dans le tableau (4.1).

#### 4.3.2.5. Teneur en soufre

Les résultats de l'analyse de soufre sur les échantillons de gasoil en présence et en absence des additifs trouvés sont présentés dans le tableau (4.16) ci-dessous.

**Tableau 4.16: Effets des additifs sur la teneur en soufre du gasoil**

Echantillon	Teneur en soufre (% massique)
Gasoil de référence	0,01
Gasoil + additif EC5905 (50 mg/l)	0,01
Gasoil + additif EC5372 (100 mg/l)	0,01

Les additifs n'ont aucun effet sur la teneur en soufre qui reste constante.

#### 4.3.2.6. Indice de cétane

Le tableau (4.17) regroupe les résultats d'analyses de l'indice de cétane effectuées sur des échantillons de gasoil seul ou en présence d'additifs. On note que la présence d'additifs fait baisser, légèrement, l'indice de cétane qui reste, cependant, supérieur à 48, valeur minimale exigée par la norme.

**Tableau 4.17 : Effets des additifs sur l'indice de cétane du gasoil**

Echantillon	Indice de cétane
Gasoil de référence	57,10
Gasoil + additif EC5905 (50 mg/l)	55,09
Gasoil + additif EC5372 (100 mg/l)	55,27

#### Récapitulatif des résultats de l'étude

Nous présentons, ci-dessous, un tableau récapitulatif des résultats de cette étude (tableau 4.18) qui portent sur les différentes propriétés du gasoil seul et en présence des additifs. Nous précisons que les concentrations des additifs concernées sont celles optimales par rapport au point d'écoulement, principal souci de cette étude.

**Tableau 4.18 : Récapitulatif des résultats des propriétés du gasoil – Effet des additifs**

Analyses	Gas-oil de référence	Gas-oil + EC5372A (100 mg/l)	Gas-oil + EC5905A (50mg/l)
Point d'écoulement	-6	-12	-12
Point trouble	-2	-0.2	-1.7
Densité	0.829	0.830	0.829
Viscosité	6.66	6.79	5.91
Point d'éclair	82	81	87
Indice de cétane	57.10	55.27	55.09
Teneur en soufre	0.01	0.01	0.01
Distillation	P.I : 202.8 50% : 276.9 65% : 300.2 90% : 354.0 P.F : 379.5	P.I : 189.8 50% : 272.9 65% : 296.4 90% : 345.7 P.F : 379.5	P.I : 200.9 50% : 270.3 65% : 296.0 90% : 349.6 P.F : 374.7

Le tableau (4.18) montre que l'ajout d'une faible quantité d'additif, permet d'améliorer le point d'écoulement du gasoil jusqu'à la norme exigée (-12) sans apporter de modifications sensibles aux autres propriétés et notamment l'indice de cétane et ainsi, notre gasoil reste dans la zone de conformité. Dans un souci d'économie, le choix se porte sur le EC5905A puisqu'une concentration de 50 mg/l suffit et que le prix est le même pour les deux additifs.

#### 4.4. Etude économique

En Algérie, l'amélioration du point d'écoulement du gasoil se fait par l'ajout de kérosène, contrairement aux pays européens qui utilisent d'autres additifs. A titre de comparaison, nous avons réalisé une petite étude des prix de revient dans les cas d'utilisation du kérosène et du EC5905A comme additifs.

Les données nécessaires pour effectuer cette étude sont les suivantes :

- Masse volumique du gasoil : 0.829 kg/l
- Masse volumique du kérosène : 0.791 kg /l
- Capacité de production du gasoil : 60.000 tonnes/mois
- Quantité d'additif EC5905A utilisée : 50 mg/l
- Quantité de kérosène utilisée : 30 % (en volume)
- Prix d'additif : 640 DA/kg
- Prix de kérosène : 20 DA/kg
- Capacité de production du gasoil pour la saison d'hiver : 300.000 tonnes/5mois.

##### ► Application numériques

Les résultats obtenus, pour préparer une quantité de  $30.10^7$  kg de gasoil conforme, sont résumés dans le tableau (4.19).

**Tableau 4.19 : Résultats comparatifs des coûts de revient du traitement du gasoil avec le kérosène et le EC5905A**

Produit	EC5905A	Kérosène
Quantité nécessaire (kg)	17990	85380187
Prix unitaire (DA/Kg)	640	20
Prix total (DA)	11513600	1707603740
Bénéfice ou perte (DA)	<b><u>+1696090140</u></b>	

En remplaçant le kérosène par le EC5905A, on réalise une économie de 99,32 % sans compter que le kérosène économisé peut être vendu.

## Conclusion générale

Ce travail a été effectué sous forme de stage pratique, au niveau du laboratoire de la raffinerie d'Alger, qui a mis à notre disposition les moyens de l'Entreprise pour mener à bien cette tâche.

On s'était fixé comme objectif, l'amélioration du point d'écoulement (PE) du gasoil produit par la raffinerie, en testant deux types d'additifs commercialisés par l'entreprise NALCO et ce, pour remplacer le kérosène utilisé pour cette opération. Le problème du point d'écoulement qui se pose durant la période hivernale, consomme de grandes quantités de kérosène, carburant cher et très demandé ailleurs. Notre travail, consistait à tester l'effet des différents additifs sur le point d'écoulement, trouver les concentrations optimales et vérifier s'ils affectent les autres propriétés du gasoil, plus ou moins importants et notamment, la densité et l'indice de cétane.

Les résultats obtenus ont montré l'amélioration du PE et que les valeurs optimales des concentrations des additifs qui ont permis d'atteindre **une** du PE égale à  $-12^{\circ}\text{C}$ , objectif fixé au départ, sont 50 mg/l pour le EC5905A et 100 mg/l pour le EC5372A. Les résultats d'analyses effectuées sur les propriétés à froid et physico-chimiques du gasoil traité, on montré que l'additif EC5905A donne des résultats plus que satisfaisants et avec la concentration la plus faible.

Par ailleurs, l'analyse des différents échantillons de gasoil traité après optimisation du point d'écoulement, a vérifié, qu'en plus de l'amélioration du PE du gasoil produit dans la raffinerie, la présence d'additifs n'affectait pas la conformité des autres paramètres qui sont aussi importants, tels que viscosité, la densité, les points initial et final de distillation, la teneur en soufre, le point de trouble, le point d'éclair et l'indice de cétane.

L'étude de coût, a montré que l'utilisation de l'additif produit par NALCO pour abaisser le point d'écoulement du gasoil, permet de réduire de 99 %, le coût de revient par rapport à l'usage du kérosène sans compter l'économie de ce dernier.

## Références bibliographiques

- [1] J.P.WAUQUIER, «Le Raffinage du pétrole brut» Tome 1, Edition technique ; Paris 1994,
- [2] Documentation de la Division Forage, SONATRACK, Sahara.Hassi Messaoud 24 Février.
- [3] Cours de Raffinage I : Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie (FHC), Université A. BOUGUERRA, Boumerdes 2003-2004, Groupes : IGCR99 et IGCP99
- [4] Site internet, <https://www.planete-energies.com/en/medias/close/why-crude-oil-needs-be-refined>.
- [5] Documentation de la raffinerie d'Alger, « manuel d'exploitation, gaz plant »,1964.
- [6] Documentation de la raffinerie d'Alger, « Foster Wheeler », 1964.
- [7] Manuel opératoire de la raffinerie d'Alger, département de production, (1 janvier 2006)
- [8] Manuel opératoire de la raffinerie d'Alger, Unité 100, « Topping »,2006
- [9] Manuel opératoire de la raffinerie d'Alger, Unité 530, craquage catalytique RFCC.2018
- [10] RAFFINERIE D'ALGER, «Plan de contrôle qualité des carburant», SONATRACH, 2006.
- [11] RAFFINERIE D'ALGER, «Manuel opératoire stockage, mélange & expédition», SONATRACH, 2001.
- [12] M. N. MAITHUFI, (2010). «Synthesis, characterization and application of branched polymers as middle distillate fuels cold flow additives Eindhoven», Technische Universiteit Eindhoven
- [13] P.CISS, «Etude De L'utilisation Du Diesel Oil Dans Les Moteurs Diesel, Turbocompresseur aux ics plate-forme Darou», mémoire ingénieur, Université CHEIKH ANTA DIOP, 2002-2003.
- [14] M.Malainine (2011), «Désulfuration du Gas-oil Algérien selon les nouvelles normes Européennes», Mémoire de magister, université de Mostaganem.
- [15] J.C. GRUIBET, «Carburants et moteur: Technologie, Energie, Environnement» Tome 1, Edition Technique, Paris, 1997.



- [16] A. C. KOUAKOU, « Etude approfondie de la cristallisation des carburants et des combustibles : impact des nouvelles bases » mémoire de doctorat, université de PAU et des PAYS de l'ADOUR (2003).
- [17] E. BENAZZI, E. GUILLON, « Procédé d'amélioration du point d'écoulement de charges hydrocarbonées issues du procédé Fischer-Tropsch utilisant un catalyseur à base d'un mélange de zéolithes », Brevet WO 2005012461 A1, Institut Français Du Pétrole, 2001.
- [18] Site internet, <http://www.anticor-chimie.com/ppdf.html>, Article, Date : 13/04/2022
- [19] Site internet, [http://www.sgs.ca/fr-FR/Trade/Commodity-Trading/Oil Gas and Chemicals/Fuels Blending and Cargo Treatment/Fuels-Improvement.aspx](http://www.sgs.ca/fr-FR/Trade/Commodity-Trading/Oil_Gas_and_Chemicals/Fuels_Blending_and_Cargo_Treatment/Fuels-Improvement.aspx), Article, Date : 20/04/2022.
- [20] NALCO® EUROPE SARL, « EC 5372 A », fiche technique.
- [21] NALCO® EUROPE SARL, « EC 5905 A », fiche technique
- [22] ASTM D97-12, « Standard Test Method for Pour Point of Petroleum Products », West Conshohocken, 2014.
- [23] RAFFINERIE D'ALGER, « Manuel opératoire laboratoire », SONATRACH, 2016.
- [24] ASTM D86-01, « Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure », West Conshohocken, 2001.
- [25] ASTM D445. « Caractéristiques standard et Instructions pour capillaire en verre Viscosimètres cinématiques ». ASTM International, 2012.
- [26] Manuel d'équipement (analyse de soufre) Antek 9000

## Annexes

### **1. Information supplémentaire sur NALCO® 5372A (Codes de danger)**

La liste des codes qui commence par la lettre H mentionne un danger pertinent.

**H226** : Liquide et vapeur inflammables.

**H302** : Nocif en cas d'ingestion.

**H304** : Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires.

**H315** : Provoque une irritation de la peau.

**H319** : Provoque une irritation grave aux yeux.

**H332** : Nocif par inhalation.

**H335** : Provoque des irritations respiratoires.

**H336** : Peut provoquer des somnolences ou des vertiges.

**H351** : Suspectés de causer le cancer.

**H373** : Peut causer des lésions aux organes par une exposition prolongée ou répétée.

**H400** : Très toxique pour la vie aquatique.

**H410** : Très toxique pour la vie aquatique avec des effets durables.

**H411** : Toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme.

**Tableau 1 : Toxicité du NALCO 5372a**

<b>Toxicité</b>	
<b>Forme</b>	<b>Concentration et durée d'exposition</b>
- Toxicité pour les poissons	21 mg/l, pendant 96 heures
- Toxicité chronique pour les poissons	0.083 mg/l, pendant 14 jours
- Toxicité pour les dauphins et autres invertébrés aquatiques	68 mg/l, pendant 48 heures
- Toxicité chronique pour les daphnies et autres invertébrés aquatiques	0.2 mg/l, pendant 21 jours
- Toxicité pour les algues	22 mg/l, pendant 72 heures
- Toxique pour les bactéries	≥ 1000 mg/l, pendant 40 heures

**Informations écologiques**

La partie organique de cette préparation devrait être faiblement biodégradable, d'où 60 % de ce mélange est facilement biodégradable, après un temps d'exposition de 28 jours.	
<b>Bioaccumulation</b>	Les composants sont potentiellement bioaccumulables, d'où la portion dans l'eau devrait flotter à la surface.

**2. Information supplémentaire sur NALCO® 5905A****Tableau 2 : Toxicité du NALCO 5905A**

<b>Toxicité</b>		
<b>Population</b>	<b>Composé</b>	<b>Concentration et durée d'exposition</b>
Toxique pour les poissons.	Hydrocarbure : C10, aromatique, >1% naphène	2 mg/l, pendant 96 heures.
	1, 2, 4-triméthylbenzène.	7.7 mg/l, pendant 96 heures.
Toxicité pour les dauphins et autres invertébrés aquatiques.	Hydrocarbure : C10, aromatique, >1% naphène	3 mg/l, pendant 48 heures.
	Kérosène.	1.4 mg/l, pendant 48 heures.
	1, 2, 4-triméthylbenzène.	3.6 mg/l, pendant 48 heures.
Toxicité pour les algues.	Hydrocarbure : C10, aromatique, >1% naphène	>1 mg/l, pendant 72 heures.
	1, 2, 4-triméthylbenzène.	2.4 mg/l, pendant 96 heures.
Toxique pour les bactéries.	Hydrocarbure : C10, aromatique, >1% naphène	1.892 mg/l
Toxicité chronique pour les poissons.	Hydrocarbure : C10, aromatique, >1% naphène	0.487 mg/l, pendant 28 jours.
Toxicité chronique pour les daphnies et autres invertébrés.	Hydrocarbure : C10, aromatique, >1% naphène	0.851 mg/l, pendant 21 jours.
	1, 2, 4-triméthylbenzène.	0.367 mg/l, pendant 16 jours.

**Informations écologiques**

<b>Biodégradabilité</b>	la partie organique de cette préparation devrait être faiblement biodégradable.
<b>Bioaccumulation</b>	Les composants sont potentiellement bioaccumulables, d'où la portion dans l'eau devrait flotter à la surface.