

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Ecole Nationale Polytechnique  
Département de Génie Chimique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

Projet de Fin d'Etudes

**CONTRIBUTION A  
L'ETUDE DES  
DIFFERENTS GASOILS**

Proposé par :  
M<sup>me</sup>. A. MEFTI

Etudié par :  
Mr. A.ARBAOUI

Dirigé par :  
Mr. C.E.CHITOUR  
M<sup>me</sup>. A. MEFTI

Promotion  
Juin 2003

ENP. 10Avenue Hassen Badi- El Harrach-Alger

## المساهمة في دراسة عدة مازوتات

الغرض من هذا العمل هو المساهمة في دراسة عدة مازوتات (GASOILS) التي تستعمل كوقود للسيارات ذات المحرك ديزال (DIESEL) و التي تساهم بصفة مباشرة و غير مباشرة في تلويث البيئة عن طريق تحرير ديوكسيد الكبريت (Dioxyde de soufre) و ملوثات أخرى في الجو. و قد حاولنا في هذا العمل إيجاد كل الخصائص الفيزيوكيميائية لعدة عينات و ذلك عن طريق عدة تجارب تقييسية و عن طريق قوانين تجريبية أخرى، النتائج المتحصل عليها قورنت مع خصائص جزائرية و أوربية للعينات.

في الأخير اقترحنا عدة حلول تقنية حول تحسين نوعية المنتج الجزائري و ذلك باستعمال الطرق المتاحة لدينا في الجزائر.

كلمات مفتاحية: المازوتات، الخصائص الفيزيوكيميائية، خصائص جزائرية و أوربية، تلويث البيئة.

## RESUME

### Contribution à l'étude des différents gasoils

*Le présent travail consiste à une contribution à l'étude des différents gasoils algériens utilisés dans les moteurs diesel automobile qui constituent une source de pollution de l'environnement par l'émission de dioxyde de soufre et autres polluants dans l'atmosphère.*

*Dans ce travail, nous avons déterminé les caractéristiques physico-chimiques pour différents échantillons (Kérosène, gasoil léger, gasoil marché intérieur) par des essais normalisés et par calcul à partir des abaques et corrélations. Ensuite, nous avons comparé tous les résultats obtenus avec des normes algériennes (NA8109 et NA8110) et européennes (EN590) afin de vérifier si elles sont conformes. Ainsi une étude comparative entre les différents échantillons à été réalisée.*

*Des solutions ont été proposées autour de l'amélioration de la qualité des gasoils algériens en utilisant l'outil raffinage algérien.*

Mots clés : gasoils, caractéristiques physico-chimiques, spécifications algérienne et européenne, pollution de l'environnement.

## ABSTRACT

### Contribution to the study of the various gas oils

*This work consists with a contribution to the study of various Algerian gas oils used in the automobile diesel engines which constitute a source of pollution of the environment by the dioxide emission of sulphur and other pollutants in the atmosphere.*

*In this work, we determined the physicochemical characteristics for various samples (Kerosene, light gas oil, domestic market gas oil) by standardized tests and calculation starting from the abacuses and correlations. Then, we compared all the results obtained with Algerian standards (NA8109 and NA8110) and European (EN590) in order to check if they are in conformity. Thus a comparative study enters the various samples at summer realized.*

*Solutions were proposed around the improvement of the quality of the Algerian gas oils by using the tool Algerian refining.*

key Words: gas oils, physicochemical characteristics, specifications Algerian and European, pollution of the environment.

## DEDICACES

Je dédie ce travail

A

Mon PÈRE,

A

Ma MÈRE,

A

Mes frères, et sœurs

A

mon amie Amine

Et A

tous mes amis, chacun par leur prénom.

A

tous les étudiants de génie chimique, plus  
spécialement les étudiants de 5<sup>ème</sup> année

# TABLE DE MATIERE

## INTRODUCTION

## PARTIE THEORIQUE

### Chapitre 1 : Généralités

- 1) Définition des Carburants .....1
- 2) L'évolution du parc national et international.....1

### Chapitre 2 : Le GASOIL

#### 1) Etude des Pétroles Bruts

- 1.1) Nature des différents pétroles bruts algériens.....4
- 1.2) Qualité des différents pétroles bruts algériens.....4

#### 2) Circuit du gasoil

- 2.1) Du bacs de stockage jusqu'à l'unité TOPPING.....5
- 2.2) Circuit du gasoil marché intérieur..... 5

#### 3) Les principales Bases qui contribuent à la formulation gasoil

- 3.1) La coupe kérosène.....10
- 3.2) Les coupe gasoil.....10
- 3.3) Le craquage catalytique.....10
- 3.4) La viscoréduction et la cokéfaction.....10
- 3.5) L'hydrocraquage.....10
- 3.6) Le gasoil d'Oligomérisation.....10
- 3.7) Le gasoil de Fischer Tropsch.....10
- 3.8) Les esters méthyliques d'huiles végétales (EMHV).....11
- 3.9) les coupes gasoils du condensat..... 12

#### 4) Caractéristiques et propriétés physico-chimiques du gasoil

- 4.1) Introduction .....12
- 4.2) Propriétés physiques
  - 4.2.1) Etude de trois propriétés principales
    - a) Densité.....13
    - b) Volatilité.....13
    - c) Viscosité.....14
  - 4.2.2) sécurité d'emploi et stabilité au stockage.....14
  - 4.2.3) les caractéristiques à froid des carburants diesel.....15
    - a) Point de trouble.....18
    - b) Point d'écoulement.....18
    - c) Température limite de filtrabilité.....18

4.3) Propriétés chimiques	
4.3.1) L'aptitude à l'auto-inflammation	
a) Indice de cétane.....	19
b) Corrélations .....	21
c) Diesel index.....	22
4.3.2) pouvoir calorifique.....	22
4.3.3) La teneur en soufre dans le gasoil.....	23
4.3.4) la teneur en Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP).....	24
Chapitre 3 : Spécifications et Normes	
1) Contrôle de la qualité du gasoil.....	27
2) Les spécifications.....	27
3) Les normes.....	28
4) Norme algérienne pour le kérosène.....	29
5) Norme algérienne pour le gasoil.....	30
6) norme européenne pour le gasoil.....	31
Chapitre 4: protection de l'environnement.	
Introduction.....	33
1) Le dioxyde de soufre	
1.1) Effets de dioxyde de soufre sur la santé.....	34
1.2) Effets de dioxyde de soufre sur l'environnement.....	34
2) Techniques de désulfuration	
2.1) L'hydrodésulfuration (HDS).....	36
2.2) Les nouvelles techniques de désulfuration.....	37
2.2.1) La Biodésulfuration.....	38
2.2.2) Alkylation d'oléfine de soufre thiophenic.....	38
2.2.3) Extraction liquide-liquide.....	38
2.2.4) Les procédés SARS.....	38
2.2.5) Désulfuration des gasoils par transfert de charge.....	39
3) La pollution par les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP).....	41
<b>PARTIE EXPERIMENTALE</b>	
<b>PREAMBULE</b>	
Chapitre 5: Caractéristiques physico-chimiques des différents échantillons	
Introduction	
1) Conditions d'échantillonnage	
1.1) lieux de prélèvement .....	45
1.2) conditions d'échantillonnage pour les différents échantillons.....	45
2) Caractéristiques physico-chimiques des différents échantillons.....	48

2.1) Echantillon 1 : Kérosène (Kéro)	
2.1.1) Caractéristiques physico-chimiques du kérosène.....	48
2.1.2) Courbe de distillation ASTM D86 .....	50
2.1.3) Comparaisons des principaux résultats du kéro avec la Norme NA8109.....	51
2.2) Echantillon 2 : Gasoil léger	
2.2.1) Caractéristiques physico-chimiques du GOI.....	52
2.2.2) Résultats de la distillation ASTM D 86 du GOI.....	53
2.2.3) Courbe de distillation ASTM D 86 du GOI.....	54
2.2.4) courbe de lissage du GOI.....	54
2.2.5) Comparaison des principaux résultats du GOI avec NA 8110 et EN 590.....	55
2.2.6) Résumés des résultats du GOI.....	56
2.2.7) Commentaires sur les résultats obtenus.....	56
2.3) Echantillon 3 : Gasoil marché intérieur de la raffinerie d'Alger (GOMI <sub>A</sub> )	
2.3.1) Caractéristiques physico-chimiques du GOMI <sub>A</sub> .....	59
2.3.2) Résultats de la distillation ASTM D 86 du GOMI <sub>A</sub> .....	60
2.3.3) Courbe de distillation ASTM D 86 du GOMI <sub>A</sub> .....	61
2.3.4) courbe de lissage du GOMI <sub>A</sub> .....	61
2.3.5) Comparaison des principaux résultats du GOI avec NA 8110 et EN 590.....	62
2.3.6) Résumés des résultats du GOMI <sub>A</sub> .....	63
2.3.7) Commentaires sur les résultats obtenus.....	64
2.4) Echantillon 4 : Gasoil marché intérieur de la raffinerie de Skikda (GOMI <sub>S</sub> )	
2.4.1) Caractéristiques physico-chimiques du GOMI <sub>S</sub> .....	65
2.4.2) Résultats de la distillation ASTM D 86 du GOMI <sub>S</sub> .....	66
2.4.3) Courbe de distillation ASTM D 86 du GOMI <sub>S</sub> .....	67
2.4.4) courbe de lissage du GOMI <sub>S</sub> .....	67
2.4.5) Comparaison des principaux résultats du GOMI <sub>S</sub> avec NA 8110 et EN 590....	68
2.4.6) Résumés des résultats du GOMI <sub>S</sub> .....	69
2.4.7) Commentaires sur les résultats obtenus.....	69
2.5) Echantillon 5 : Gasoil de Hassi-Messaoud	
2.2.1) Caractéristiques physico-chimiques du GOHM.....	71
2.2.2) Résultats de la distillation ASTM D 86 du GOHM.....	72
2.2.3) Courbe de distillation ASTM D 86 du GOHM.....	73
2.2.4) courbe de lissage du GOHM.....	73
2.2.5) Comparaison des principaux résultats du GOMH avec NA 8110 et EN 590....	74
2.2.6) Résumés des résultats du GOHM.....	75
2.2.7) Commentaires sur les résultats obtenus.....	75

Chapitre 6 : synthèse des résultats obtenus

Introduction.....	77
1) Etude comparative entre les principaux résultats des échantillons de la raffinerie d'Alger.....	78
2) Etude comparative entre les principaux résultats GOMI <sub>S</sub> avec le kéro et le GOI de la RA.....	80
3) Etude comparative entre les principaux résultats du GOHM avec le kéro et le GOI de la RA.....	82
4) Etude comparative entre les principaux résultats du GOHM,GOMI <sub>A</sub> et GOMI <sub>S</sub> .....	85
Recommandations et conclusion	
SOLUTIONS IMMEDIATES .....	88
CONCLUSION.....	89
Annexes	
Annexe 1: Essais normalisés	
Annexe 2: Détermination des propriétés physico-chimiques par Abaques et Corrélations	
Annexe 3: Programmation sur le TURBO-PASCAL	

---

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

# Partie théorique

## INTRODUCTION

Ce travail fait suite à un travail de PFE de Melle S.KHIRANI [1], et à un travail de Magistère de Mr A.FETITA [2], au département de génie chimique.

Le concept de carburants propres, qui contribuent à une meilleure protection de l'environnement, s'est développé depuis le début des années 1980, tout d'abord aux Etats-Unis, puis dans le monde entier. Actuellement et pour longtemps encore, ce sont les contraintes relatives à la réduction de la pollution automobile qui gouverneront les évolutions des caractéristiques du carburant, notamment la limitation de la teneur en soufre et de la teneur en aromatiques.

Le présent travail entre dans ce concept et consiste à faire une étude physico-chimique sur différents gasoils algériens, dans le but d'étudier l'évolution de l'industrie de raffinage en Algérie dans le contexte mondial caractérisé par des spécifications de plus en plus sévères.

Pour ce faire, il faut vérifier si ces produits sont **conformes**, en les comparant avec des **spécifications algériennes et européennes** du gasoil.

En première partie, ce travail, consiste en synthèse bibliographique sur les points suivants :

- Les pétroles bruts algériens,
- Le circuit de production du gasoil,
- Les caractéristiques physico-chimiques du gasoil.
- Les spécifications algériennes et européennes du gasoil moteur,
- Les nouvelles techniques de désulfuration.

En deuxième partie, une étude physico-chimique a été réalisée sur différents échantillons (kérosène, gasoil léger, gasoils moteur marché intérieur). Ainsi, une étude comparative entre les différents échantillons.

Pour compléter ce travail nous avons tenté de proposer des solutions techniques autour de l'amélioration de la qualité des gasoils algériens.

---

# **CHAPITRE 1**

## **GENERALITES**

## 1. Définition des carburants

Les carburants sont des composés chimiques, le plus souvent liquides ou gazeux, dont la combustion en présence d'air permet l'obtention d'énergie mécanique dans les moteurs thermiques à pistons ou à flux continu. À l'origine, la dénomination «**carburant**» était réservée aux produits utilisés dans les moteurs classiques, à allumage commandé. Le terme carburant s'applique maintenant à l'ensemble des produits alimentant les divers types de moteurs (moteur classique à essence, moteur Diesel, réacteur d'avion) [3].

Dans leur version classique, les carburants sont des mélanges d'hydrocarbures issus des opérations de **raffinage** et de transformation du **pétrole brut**. Leurs caractéristiques ne sont pas rigoureusement constantes d'un échantillon à l'autre, mais restent à l'intérieur d'un domaine borné par des **spécifications officielles**. Les **caractéristiques physico-chimiques** de chaque type de carburant dépendent étroitement du type de convertisseur d'énergie envisagé, et résultent d'un compromis entre les exigences du système **moteur-véhicule**, les **contraintes de l'industrie du raffinage** et celles de **l'environnement** [4].

Les carburants contiennent en plus du carbone et de l'hydrogène certaines impuretés comme le **soufre (S)**, l'**azote (N)** ou l'**oxygène (O)**, ces éléments sont en partie responsables **des problèmes de pollution** causés par la combustion des produits pétroliers. La teneur en ces éléments dépend essentiellement du type de **pétrole brut** (léger, moyen, lourd) et de la nature des **produits** issus des opérations de raffinage (GPL-C, essence, kérosène, **gasoil**, fuel, etc.) [5].

## 2. L'évolution du parc automobile National et international

Avant d'aborder le sujet, il nous paraît utile de rappeler ici quelques éléments de conjoncture à l'approche des années 2003. Nous indiquerons plus précisément l'évolution du parc automobile à l'échelle internationale et nationale qui est liée évidemment à la demande en carburants et à la protection de l'environnement.

Entre 1938 et 2000, le parc automobile mondial est passé de **43 millions** à plus **700 millions** de véhicules; le cap d'**un milliard** sera vraisemblablement franchi vers les années 2010. En plus, Les prévisions de taux de croissance les plus élevés, concernent **les pays en**

---

**voie de développement** [6], et puisque l'Algérie fait partie de ceux-ci, il intéressant d'en savoir plus sur le parc automobile national.

Le parc automobile national au 31/12/2001 était de **2 938 252** [7]. Ce nombre risque d'augmenter de façon plus importante au cours des années prochaines, ce qui aura un impact direct sur la **demande en carburants**, et par voie de conséquence sur la pollution de l'environnement qui deviendra elle aussi plus importante.

Pour avoir une idée plus précise du parc automobile national, voici quelques informations sur la répartition selon les tranches d'âge des véhicules au 31/12/2001 :

- 41,28 % se composent de véhicules ayant 20 ans et plus,
- 26,88% se composent de véhicules ayant 15 à 19 ans,
- 16,25% ayant 10 à 14 ans,
- 8,40% ayant 5 à 9 ans,
- 7,39 % ayant moins de 5 ans[7].

D'après ces valeurs, on voit bien que le parc national automobile soit constitué à **92,81 % de véhicules ayant plus de 5 ans**.

En plus, et d'après des informations provenant de l'office national des statistiques (O.N.S).

Sur le parc automobile national selon la source d'énergie. **72,67%** du parc automobile est équipé d'un moteur à essence, et **27,33%**<sup>(1)</sup> du parc automobile est équipé d'un moteur diesel fonctionnant au gasoil.

Pour le gasoil les nouvelles restrictions concernent le **soufre et les polyaromatiques**. Les raffineries algériennes de type hydroskimming, bien qu'ayant l'avantage de la qualité du brut traité, risquent à l'avenir de devoir intégrer des unités de conversion pour répondre aux nouvelles qualités et quantités de carburants [8].

Dans ce travail, nous avons mené une étude sur différents gasoils, afin de savoir si les gasoils algériens sont et seront conformes à la norme algérienne et européenne. Par la suite, nous avons envisagé différentes solutions pour y parvenir en tenant compte de l'outil de raffinage algérien.

---

(1) : n'apparaissent pas les remorques et semi-remorques et les engins aussi qui consomment le gasoil.

---

# Chapitre 2

## LE GASOIL

## 1) Etudes des Pétroles Bruts

### 1.1) Nature des pétroles bruts Algériens

Les pétroles bruts algériens sont légers ( $d < 0,820$ ).

Certains produits pétroliers comme les essences ne portent que très peu de la nature et la qualité du brut à traiter, tandis que les coupes moyennes comme le gasoil par exemple, dépendent pour certaines caractéristiques de la nature du brut [6]. Il est nécessaire donc d'étudier les pétroles bruts algériens qui sont utilisés pour la formulation du gasoil.

La nature des pétroles diffère d'un pétrole à l'autre selon la zone de production; pour une même région géographique, elles peuvent même varier d'un gisement à l'autre. Le tableau montré ci-dessous présente les principales caractéristiques des différents bruts algériens.

Caractéristiques	Nom du brut		
	Hassi- Messaoud [9]	Zarzaitine [6]	Hassi R'mel [10] Condensat
Densité $d_4^{15}$	0,809	0,811	0,7190
Viscosité ( $\text{mm}^2/\text{s}$ )	2,6 à (20°C)	6,9 (à 10°C)	0,770 à (20°C)
Point de congélation (°C)	-60	--	- 60
Teneur en soufre total (p.p.m.)	1400	700	90

Tableau 2.1: Quelques caractéristiques physico-chimiques des pétroles bruts Algérien

### 1.2) Qualité des pétroles bruts Algériens

Comparativement aux autres pétroles bruts, les pétroles bruts algériens présentent une partie essence importante et engendre des faibles pourcentages en soufre comme le montre le tableau 1.2 suivant

Brut	Localisation	$d_4^{15}$	S (p.p.m.)	Point de Congélation (°C)
<b>Zarzaitine</b>	<b>Algérie</b>	<b>0,811</b>	<b>700</b>	<b>-12</b>
Agha Jari	Iran	0,856	24000	-29
Kuweit	Kuweit	0,869	41000	-15
Bachaquiro	Venezuela	0,954	36000	-23

Tableau 2.2: propriétés de quelques pétroles bruts [6]

Les pétroles avec une faible teneur en soufre (inférieure à 5000 p.p.m.) sont qualifiés de doux (BTS), au-delà, les pétroles sont qualifiés de sulfurés (MTS et HTS).

## 2) Circuit du gasoil

Nous donnons sur les figures de 1 à 4 les schémas de la raffinerie d'Alger et ces circuits des différents produits.

### 2.1) Du bacs de stockage jusqu'à l'unité TOPPING[10]

Nous allons décrire le cheminement emprunté par le gasoil à la raffinerie d'Alger.

Le pétrole brut provenant des bacs de stockage se dirige vers la pompe **P1**, ensuite vers une série d'échangeurs **E1** avant de pénétrer dans le ballon de flash **C1** où il se débarrasse alors de ces fractions légères (gaz incondensables et essences légères) et ce pour ne pas surcharger le four (figure 2.1 et 2.2 ).

Le brut flashé sortant du ballon **C1** se dirige grâce à la pompe **P2** vers le four **F1** où il est chauffé à une température de 340 °C.

A la sortie du four, il est mélangé à la fraction légère avant de pénétrer dans la colonne de distillation **C2** pour subir une rectification.

### 2.2) Circuit du gasoil marché intérieur [10]

Le gasoil léger est soutiré des plateaux n°17 ou 19 -à une température de 280 °C environ- subit un stripage dans la colonne **C102C** et ensuite il est séché dans la **C102B** .

Les vapeurs sortant de la tête de stripper retournent dans la **C101** au-dessus du 20<sup>ème</sup> plateau (figure 2.3 et 2.4).

Le gasoil séché est refoulé en totalité ou en partie à l'échangeur **E120**, traversant ensuite l'aéroréfrigérant **E114Ar**, et puis il subit trois fractionnements :

1. Une partie du gasoil léger est utilisée pour formuler du fuel léger,
2. Une partie est envoyée directement au bacs de stockage,
3. La troisième partie est **mélangé avec une certaine proportion du kérosène** puis envoyer directement vers les bacs de stockage, c'est ce mélange qui constitue **le gasoil marché intérieur**.

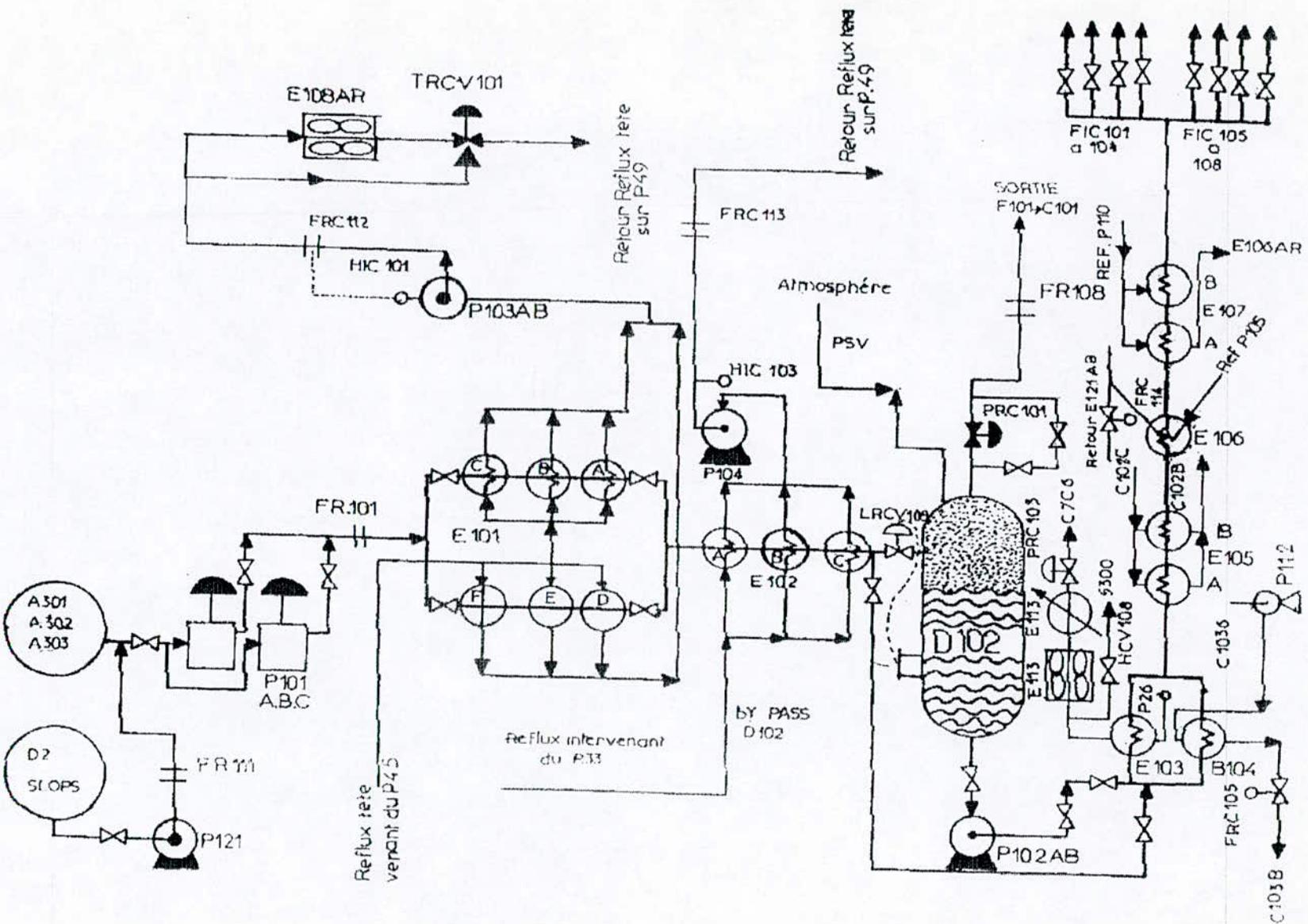


Figure 1.2: CIRCUIT PRECHAUFFE BRUT (III)

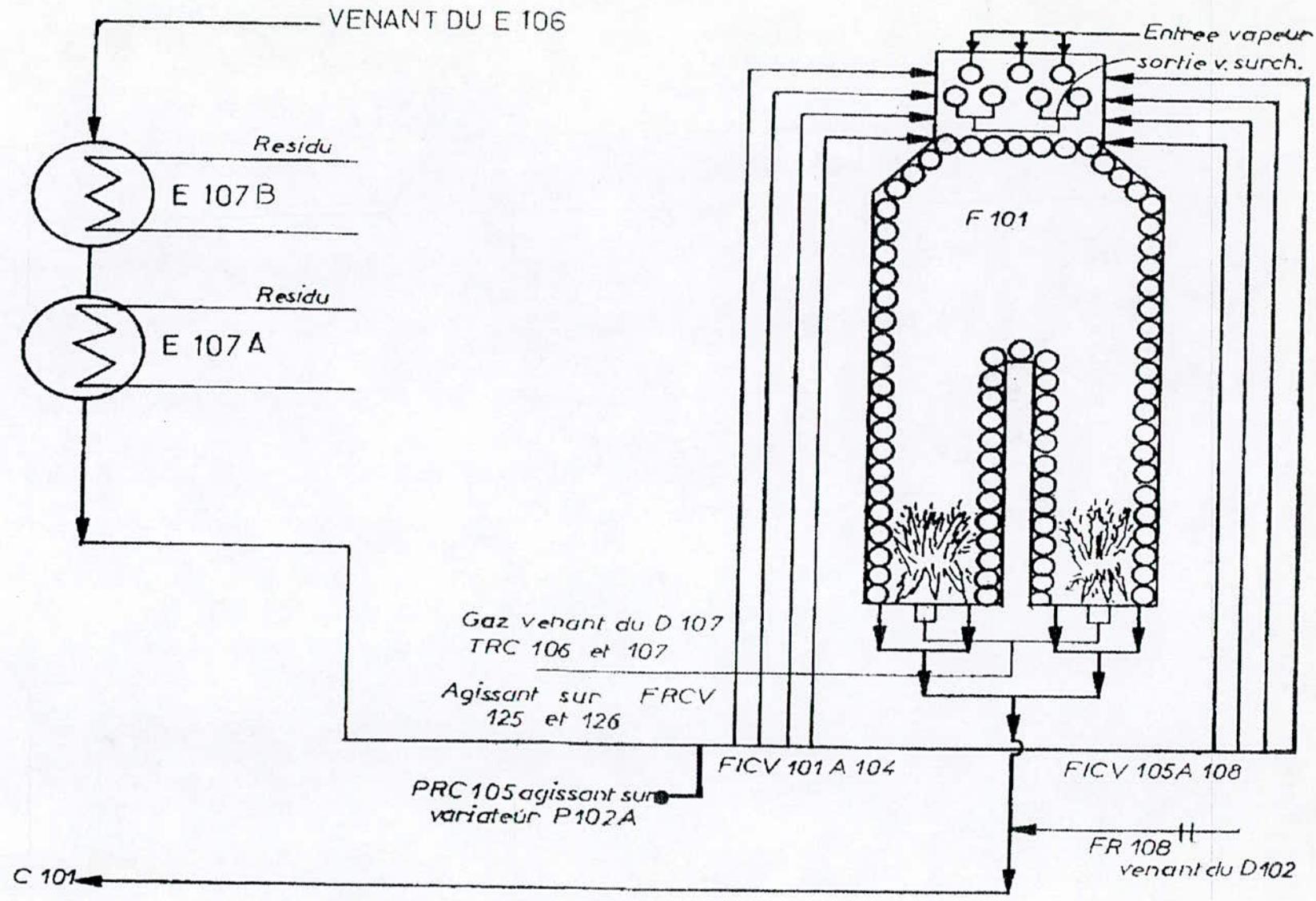
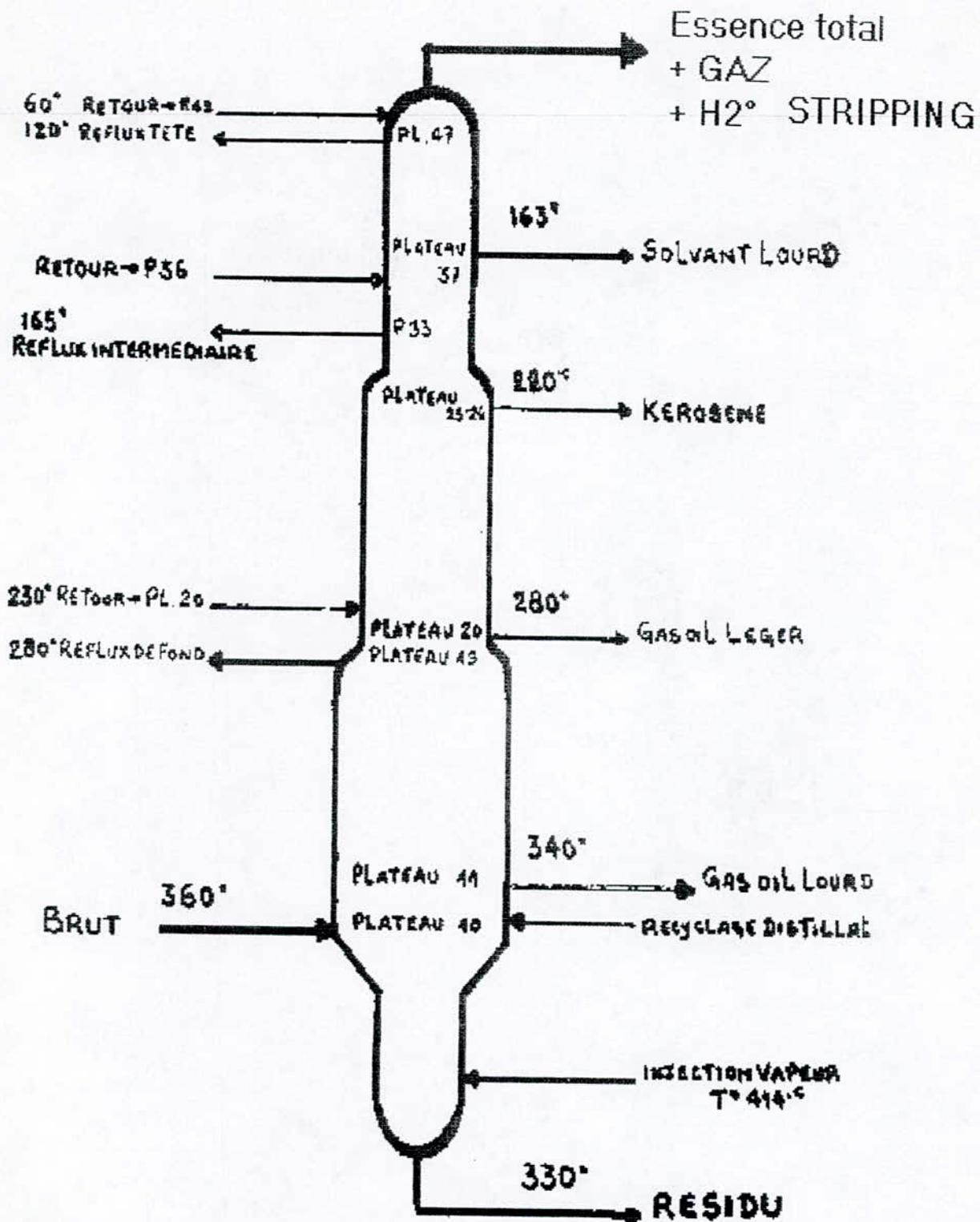


Figure 2.2: circuit du four[11]



### SOUTIRAGES ET REFLUX DE LA C101

Figure 2.3: distillation atmosphérique (C101) [11]

### CIRCUIT GAS OIL LEGER

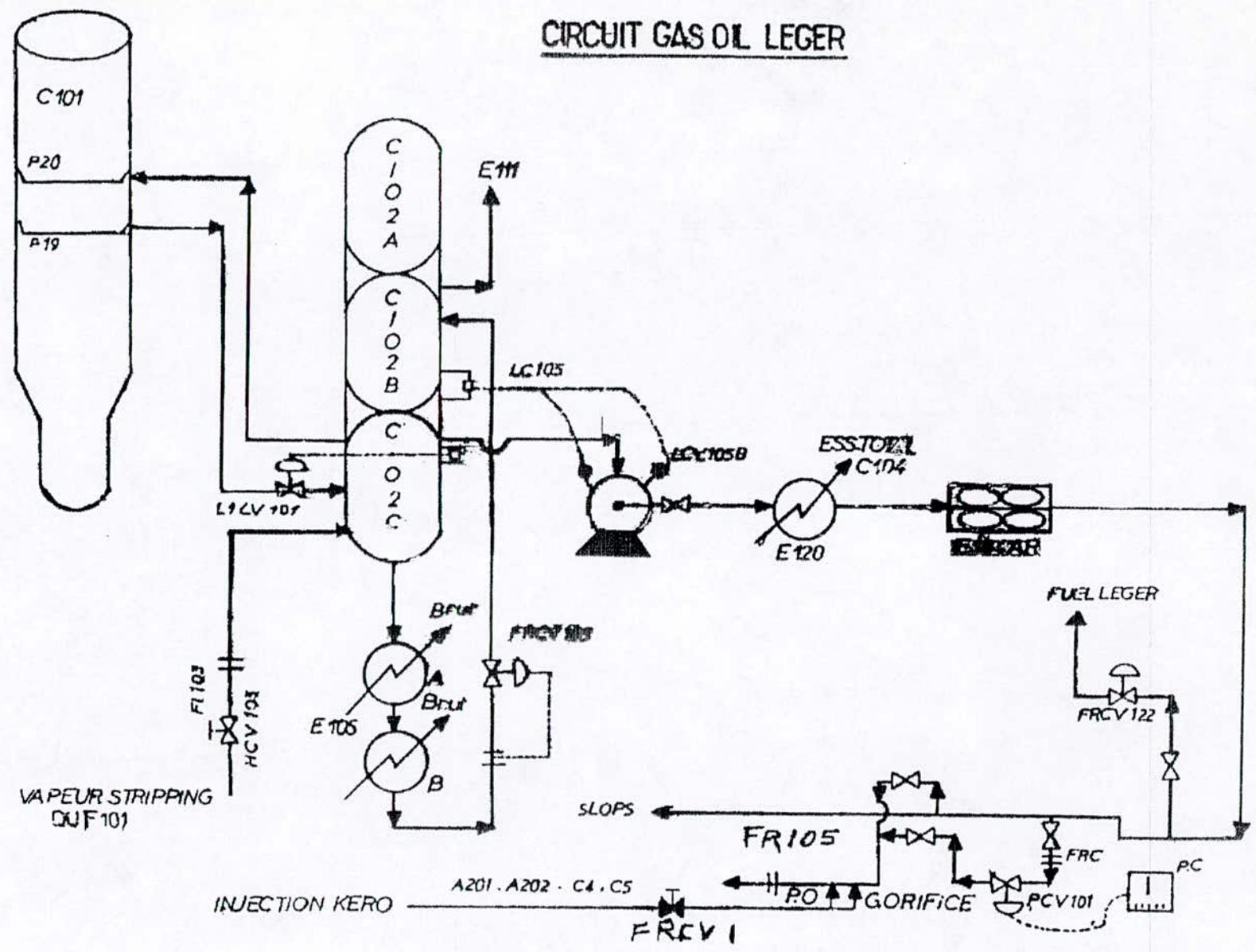


Figure 2.4: circuit gasoil léger[11]

### 3) Les principales bases qui contribuent à la formulation du gasoil

3.1) La coupe kérosène issue de la distillation atmosphérique est utilisée pour élaborer des carburateurs (carburants des avions civils équipés de turboréacteurs), dans ce cas, il subit généralement « un **adoucissement** du type MAEROX » pour satisfaire les spécifications des carburateurs. La coupe kérosène constitue également une base d'excellente tenue au froid pour la formulation du gasoil, elle contribue aussi à améliorer l'indice de cétane [5];

3.2) Les coupes gasoils issues des pétroles bruts sont destinées essentiellement à la constitution des gasoils moteurs et du fuel-oil domestique (FOD). Si elles sont obtenues à partir de bruts à teneur en soufre élevée elles doivent être alors désulfurées dans une proportion importante dans les unités d'hydrodésulfuration des gasoils [5];

3.3) Le **craquage catalytique** des distillats (F.C.C.) (s'agissant des coupes lourdes) produit une coupe de gasoil souvent nommée L.C.O. L'incorporation du LCO aux gasoils moteurs nécessite un traitement très sévère car cette coupe présente un indice de cétane faible, une teneur en aromatiques élevée et une forte teneur en soufre [5];

3.4) La **viscoréduction et la Cokéfaction** des résidus sous vide génèrent une faible quantité de gasoil. Un traitement dans une unité d'HDS des gasoils en mélange avec les gasoils de distillation permet d'obtenir **une base gasoil stable et à faible teneur en soufre** [5];

3.5) L'**hydrocraquage** de distillat sous vide fournit, quant à lui, des gasoils de qualité, aussi bien en matière d'indice de cétane que de comportement à froid, mais le procédé est coûteux [3].

3.6) Le **gasoil d'Oligomérisation** d'oléfines légères (propène), présente malheureusement des indices de cétane faibles [3];

3.7) Le **gasoil de Fischer Tropsch** provenant du gaz naturel via le mélange  $CO + H_2$ . Il s'agit d'un produit présentant toutes les qualités possibles, mais son coût d'accès est très élevé, ce qui bloque le développement de cette filière, tant que le cours du pétrole brut est à un niveau raisonnable (25 \$ de 2000 par exemple) [3];

Charge	Procédé	Intervalle de distillation (°C)	Indice de cétane	Point de trouble (°C)
Brut paraffinique	Distillation directe	170 à 370	50	-5
		180 à 375	51	-2
		170 à 400	54	+1
Brut naphténique	Distillation directe	180 à 350	54	-10
		170 à 370	43	-20
Distillat sous vide	Craquage catalytique (LCO)	170 à 370	24	-5
	Hydrocraquage	220 à 370	64	-17
Résidu sous vide	Viscoréduction	170 à 370	40	-4
	cokéfaction	170 à 370	28	-8
Résidu atmosphérique désasphalté	hydrocraquage	260 à 380	70	-13
Gasoil de distillation directe + LCO	hydrotraitement	212 à 347	60	-10
Oléfines légères	Oligomérisation	156 à 342	35	-48
Gaz naturel (CO+H <sub>2</sub> )	Synthèse	205 à 270	83	-9
	Fischer Tropsch			
Huile de colza + méthanol	Transestérification	320 à 350	49	-3

Tableau 2.3: Exemples de caractéristiques de quelques bases utilisables pour la formulation du gasoil [3]

**3.8) Les esters méthyliques d'huiles végétales (EMHV)** obtenus par action de ces huiles de colza principalement sur le méthanol. Ces produits dont le coût d'accès est élevé, mais qui font l'objet d'une fiscalité favorable, peuvent être incorporés, de façon banalisée, dans le pool gasoil, jusqu'à hauteur de 5% (vol.) [3].

**3.9) Les coupes gasoils du Condensat** constituent une excellente base pour le gasoil formulé, du point de vue densité, intervalle de distillation, Indice de cétane, tenue au froid et teneur en soufre.

Le tableau ci-dessous montre quelques caractéristiques du gasoil de condensât de Hassi R'mel.

<b>Gasoil Léger</b>	Intervalle de distillation (°C)	235-250
	Densité à 15°C	0,7970
	Point d'écoulement (°C)	<-37
	Indice de cétane	60,8
	<b>Teneur en soufre (p.p.m.)</b>	<b>30</b>
<b>Gasoil Lourd</b>	Intervalle de distillation (°C)	250-320
	Densité à 15°C	0,8110
	Point d'écoulement (°C)	-24
	Indice de cétane	67,3
	<b>Teneur en soufre (p.p.m.)</b>	<b>350</b>

Tableau 2.4: quelques caractéristiques des gasoils de condensat de Hassi R'mel [10]

#### 4) Caractéristiques et propriétés physico-chimiques du gasoil

##### 4.1) Introduction

L'adaptation mutuelle du gasoil et du moteur diesel a été longtemps considérée comme très satisfaisante. Cela, parce qu'il a été remarqué que le gasoil obtenu uniquement par distillation directe, présentait un ensemble de caractéristiques très favorables à la combustion par auto-inflammation dans la chambre de combustion du moteur diesel [6].

En résumé les propriétés demandées au 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 [3].

---

## 4.2) Propriétés physiques

La densité, la volatilité, la viscosité, le comportement à basse température forment un ensemble de caractéristiques physiques particulièrement importantes du gasoil [4], à prendre en compte pour obtenir un fonctionnement satisfaisant du moteur [3], ces caractéristiques souvent dépendantes l'une de l'autre, exercent une influence complexe sur l'injection et la préparation du mélange inflammable [6].

### 4.2.1) Etude des trois propriétés principales

#### a) la Densité

En Europe selon les normes en vigueur, la densité du gasoil à 15 °C doit être comprise entre 0,820 et, 860 kg/L (norme EN 590) dans les pays tempérés dont la France, entre 0,800 et 0,845 kg/l dans les pays froids [3]; aux Etats-Unis, il n'existe pas de spécifications officielles relatives à la densité [6]. En Algérie, la densité du gasoil à 15 °C doit être comprise entre 0,810 et 0,860 (IANOR et ISO) (cf.§.Chapitre 3).

Le constructeur de moteur souhaite que la plage de variation de la densité entre les différents produits proposés sur le marché soit aussi faible que possible, afin de ne pas entraîner des modifications de réglage du système d'injection [4].

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 de la 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 [3].

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, à pleine charge [6].

#### b) La volatilité

Elle est exprimée par deux caractéristiques : la courbe de distillation et le point éclair. Le **point éclair** constitue un critère de sécurité lors des opérations de stockage et de distribution. La **courbe de distillation** du carburant influe directement sur le déroulement de la combustion ; elle est établie suivant le mode opératoire (ASTM D 86) [12].

---

Les gasoils distillent habituellement entre 150-180 °C (point initial) et 360-380 °C (point final) [4]. La nécessité de réaliser une injection sous haute pression et une pulvérisation de fines gouttelettes au moyen d'un injecteur, impose, pour le gasoil, des contraintes bien précises en matière de caractéristiques de distillation. Ainsi, la norme européenne EN590 stipule-t-elle les valeurs suivantes :

- ❖ Dans les pays à climat tempéré, la fraction distillée à 250 °C doit être inférieure à 65%(vol.) et les fractions distillées à 350 °C et 370 °C supérieures respectivement à 85% et 95% (volume) [3].
- ❖ Dans les pays froids, la fraction distillée à 180 °C doit être inférieure à 10% et la fraction distillée à 340 °C, supérieure à 95% [3].

Les spécifications françaises exigent, par exemple, une fraction distillée inférieure à 65% à 250 °C et supérieure à 85% à 350 °C [4].

### c) La viscosité

La viscosité intervient dans le mécanisme de rupture et de pulvérisation du jet de gasoil à la sortie de l'injecteur; elle doit être, selon la réglementation, inférieure à 9,5 centistokes à 20 °C. En pratique, la viscosité des gasoils '**classiques**' est le plus souvent comprise entre 3 et 5 centistokes à 20 °C [4]. Désormais, la norme européenne EN 590, ainsi que la spécification américaine ASTM D975-94, définissent une plage de viscosité possible, non plus à 20 °C, mais à 40°C, ce qui semble plus représentatif du fonctionnement de la pompe d'injection [12], en Europe, la viscosité du gasoil à 40 °C doit donc être comprise entre 2,0 et 4,5 centistokes; aux États-Unis, la plage admise s'étend de 1,3 à 2,4 centistokes pour les gasoils alimentant les voitures de tourisme et de 1,9 à 4,1 centistokes pour les autres [4].

#### 4.2.2) Sécurité d'emploi et Stabilité au stockage

Sur le plan de la sécurité des installations des distributions (dépôts, stations-service), le gasoil rentre dans une catégorie de produits pétroliers, distincte de celle des essences, beaucoup plus volatiles [3].

Les spécifications européennes du gasoil stipulent que son point d'éclair doit être compris entre 50 et 120°C. le point d'éclair dépend étroitement du point initial de distillation, on cite

---

fréquemment à ce sujet une relation empirique :

$$PE=PI - 100$$

où le point d'éclair (PE) et le point initial (PI) sont exprimés en °C [3].

Ainsi, la formation de gommages et de sédiments provenant de réactions d'oxydation et de polymérisation doit-elle être contrôlée, afin d'empêcher le colmatage des filtres et l'encrassement des injecteurs. La stabilité du gasoil est appréciée par la détermination de sa couleur qui ne doit pas être plus prononcée que « jaune paille » (selon la norme NT-60-104) et par un test de vieillissement accéléré (norme ASTM D 2274) au terme duquel la teneur en gommages et sédiments ne doit pas dépasser, en Europe, 25 g/m<sup>3</sup> (15g/m<sup>3</sup> aux Etats-Unis) [3].

On contrôle également la teneur en eau du gasoil et on la limite au maximum à 200mg/kg, afin d'éviter des phénomènes de corrosion et de contamination par des micro-organismes (bactéries, levures ou champignons) qui se développent le plus souvent à l'interface eau-gasoil et qui, lorsqu'il migrent dans la phase gasoil, sont source d'incidents très graves (colmatage, corrosion, grippage des systèmes d'injection et du moteur [3].

La protection bactériologique s'effectue grâce à une grande hygiène (déshydratation) du produit du circuit de stockage, mais aussi par l'emploi d'additifs bactériologiques ou bactéricides [3].

#### 4.2.3) Les caractéristiques à froid des carburants diesel

L'obtention d'une très bonne tenue à froid du carburant Diesel implique une adaptation des techniques de raffinage (choix de pétroles bruts peu paraffiniques, intervalle de distillation plus étroit, mise en place de procédés d'hydrodéparaffinage...). L'incorporation d'additifs fluidifiants constitue également une solution efficace et intéressante sur le plan économique. Par ailleurs, certains aménagements sur le véhicule (disposition judicieuse des filtres, réchauffage) contribuent grandement à améliorer le fonctionnement des moteurs Diesel par temps froid [4].

Le gasoil doit traverser un filtre à mailles très fines avant son introduction dans la pompe d'injection; en effet, celle-ci constitue un organe d'une très grande précision mécanique et dont le fonctionnement risquerait d'être enrayé par des impuretés et des particules solides en suspension dans le liquide. Mais certains hydrocarbures paraffiniques (figure 2.5), présents dans

le gasoil, peuvent cristalliser partiellement à basse température et colmater le filtre disposé sur le circuit d'alimentation. Cet incident doit être évité car il peut entraîner une immobilisation du véhicule. Il existe donc un ensemble de spécifications très strictes relatives au comportement du gasoil à basse température, même si certains dispositifs technologiques (réchauffage des filtres sur les véhicules récents) contribuent à atténuer les risques d'incidents en service. Les caractéristiques prises en compte sont le *point de trouble*, la *température limite de filtrabilité* et le *point d'écoulement* [4].

Le tableau 2.5 indique les valeurs exigées en France pour ces trois caractéristiques, selon la saison et le type de carburant Diesel considéré. Depuis 1987, il a été décidé de distribuer, au cœur de la saison hivernale, un gasoil, dit «grand froid», plus fluide que le gasoil classique type «hiver» et présentant une température limite de filtrabilité inférieure à  $-18\text{ °C}$  [4].

Type de produit	Période considérée	Caractéristique (valeur maximale)		
		Point de trouble	Température limite de filtrabilité	Point d'écoulement
Gasoil classique	Du 1 <sup>er</sup> nov. Au 15 mars	$-5\text{ °C}$	$-15\text{ °C}$	$-18\text{ °C}$
	Du 16 mars au 31 oct.	$> +5\text{ °C}$	$-2\text{ °C}$	$-7\text{ °C}$
Gasoil grand froid	Non spécifié	$-8\text{ °C}$	$-18\text{ °C}$	$-21\text{ °C}$

Tableau 2.5: Caractéristiques au comportement du gasoil à basse température [4]

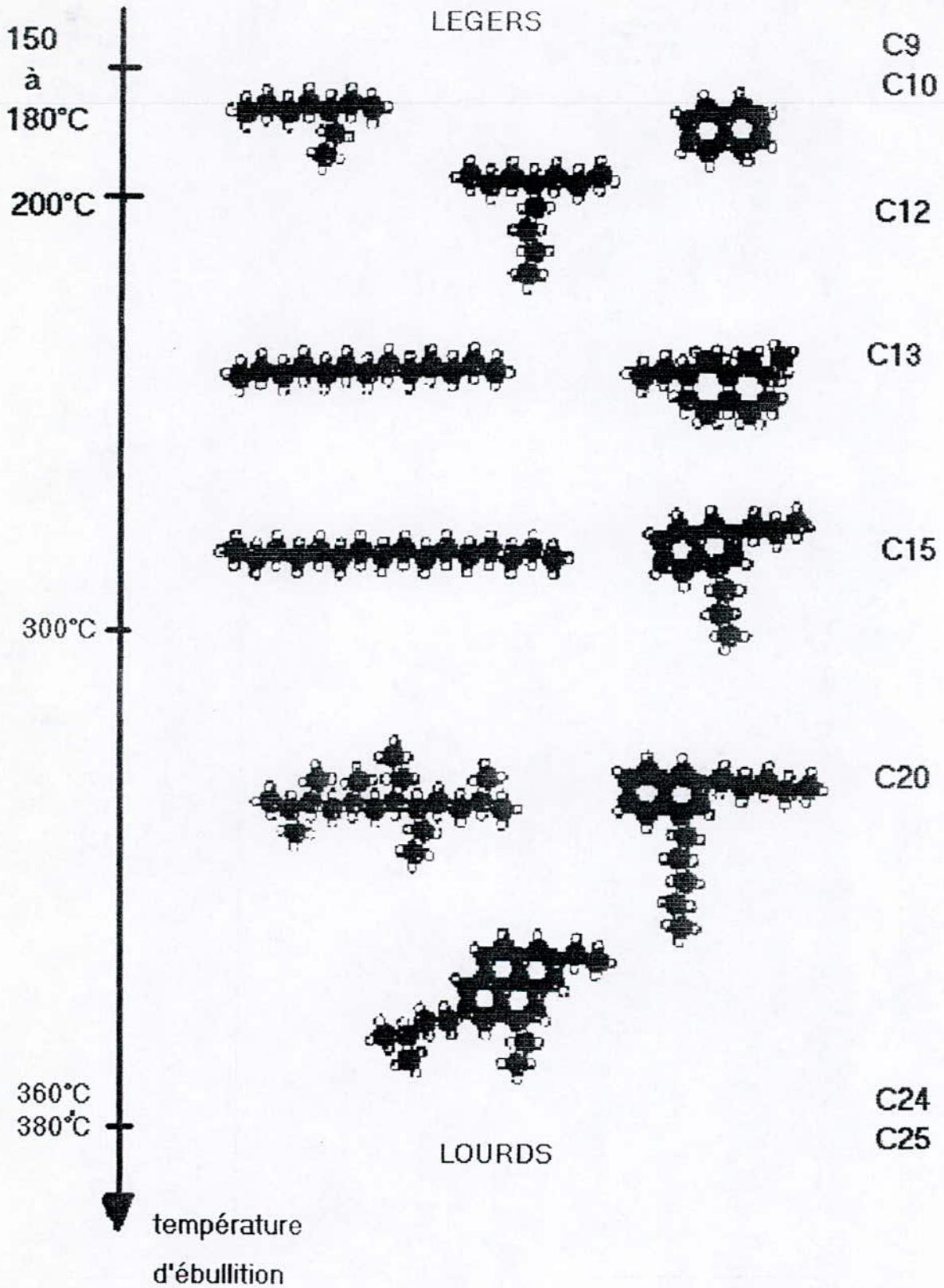


Figure 2.5 : Hydrocarbure composant le gasoil [5].

**a) Point de trouble**

Le point de trouble, parfois désigné par les sigles PT ou CP (*Cloud point* en anglais) (norme EN 590) [6], est déterminé visuellement ; c'est la température à laquelle les cristaux de paraffine, normalement dissous dans la solution constituée par l'ensemble des autres composants, commencent à apparaître et à affecter la limpidité du produit [3].

Sur le plan thermodynamique, le point de trouble constitue la manifestation extérieure du phénomène de germination et cristallisation commençante. Le gasoil peut être considéré, en effet, comme une solution dans laquelle les hydrocarbures paraffiniques sont maintenus à l'état liquide [6] (figure 2.5).

**b) Point d'écoulement**

Le point d'écoulement, appelé encore PE ou PP (*Pour point* en anglais) est la température la plus basse à laquelle le gasoil est encore susceptible de couler, il varie selon les pays de +4 °C (Inde) à -39 °C (Suède) [12] (pays froid).

A cette température plus basse, les cristaux augmentent de taille, s'organisent en réseaux qui emprisonnent le liquide et l'empêchent de s'écouler; on atteint alors le point d'écoulement inférieur au point de trouble de 5 à 15 °C, selon les cas [3].

**c) Température limite de filtrabilité**

La température limite de filtrabilité (TLF) est la température minimale pour laquelle un volume déterminé de gasoil traverse en un temps limite un appareil de filtration bien défini (normes NFM 07-042 et EN116). La TLF est généralement comprise entre les points de trouble et d'écoulement [3] (tableau 2.5).

Les spécifications européennes (norme EN 590) de comportement à froid du gasoil portent soit uniquement sur la TLF, soit à la fois sur le point de trouble et la TLF [3].

#### d) Dispositions technologiques permettant l'amélioration de l'opérabilité à froid des moteurs diesel

Les moyens dont dispose le raffineur pour améliorer les caractéristiques à froid du gasoil sont les suivants :

- ❖ Réduction du point final de distillation, compte tenu de la présence fréquente de n-paraffines dans les fractions les plus lourdes;
- ❖ Abaissement du point initial, ce qui implique un recouvrement plus prononcé avec la coupe kérosène utilisée pour la production de carburéacteur;
- ❖ Choix de fractions plus naphténiqes et aromatiques que paraffiniques, dans ce cas, l'origine du brut est un paramètre déterminant.

Une autre possibilité offrant plus de souplesse et se traduisant par des coûts économiques et énergétiques moindres, consiste à incorporer des additifs dits fluidifiants « **flow improvers** » (copolymères formés à partir de motifs éthylène et acétate de vinyle). Ils agissent essentiellement sur la TLF et le point d'écoulement, mais ne modifient pratiquement pas le point de trouble qui, lui, ne dépend véritablement que de la structure du raffinage. Ces additifs interviennent en favorisant la dispersion des cristaux de paraffine et en les empêchant ainsi de s'organiser en réseaux de grande taille, responsables de l'obstruction des pores de filtres (figure 2.5) [2].

### 4.3) Propriétés chimiques

#### 4.3.1) L'aptitude à l'auto-inflammation

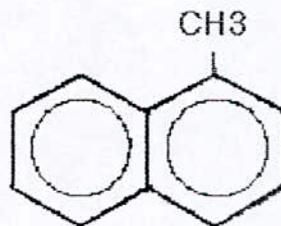
##### a) Indice de cétane

L'aptitude à l'auto-inflammation d'un carburant pour moteur Diesel est indiquée par l'**indice de cétane**. Dans ce type de moteur, on injecte le carburant sous haute pression dans l'air comprimé et l'inflammation naît spontanément après un temps très court, de l'ordre de 1 milliseconde. Ce processus est favorisé par accroissement du taux de compression qui peut varier entre 15 et 22, mais il faut en outre que le carburant présente une structure chimique favorable à l'auto-inflammation. Cette qualité s'exprime par l'indice de cétane IC [4]. Il est défini par le pourcentage volumique de cétane dans le mélange des 2 carburants de référence qui a le même délai d'allumage que le gasoil essayé dans le moteur CFR Diesel dans des conditions de

fonctionnement normalisées. La méthode consiste d'abord à rechercher le taux de compression critique correspondant à un délai d'auto-inflammation fixé, et ensuite à reporter la valeur obtenue sur une courbe d'étalonnage établie avec différents mélanges binaires des deux hydrocarbures de référence [4].

Les deux carburants choisis comme référence sont deux hydrocarbures purs :

- ❖ Le n-cétane ou hétéradécane :  $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_{14}\text{-CH}_3$ , auquel on attribue l'indice 100 ;
- ❖ L' $\alpha$  -méthylnaphtalène :



Qui reçoit l'Indice 0 [3].

En pratique, c'est pas l' $\alpha$  -méthylnaphtalène qui est utilisée comme référence, mais le 2, 2, 4, 4, 6, 8,8-heptaméthylnonane (HMN), isomère ramifié du n-cétane. Le HMN présente un indice de cétane de 15 [3].

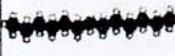
Types d'hydrocarbures	n paraffine	iso-paraffine	naphtène	aromatique	oléfine
					
Densité ou masse volumique	faible	faible	moyenne	forte	faible
Indice de cétane	+++	--	-	---	--
Tenue au froid	---	++	++	++	- à +
Stabilité	bonne	bonne	bonne	bonne	mauvaise

Figure 2.6: Caractéristiques physico-chimiques des différentes familles d'hydrocarbures qui constituent le gasoil [5]

La mesure normalisée de l'indice de cétane s'effectue sur un **moteur CFR** à chambre de combustion de type diesel [3].

La spécification française impose un indice de cétane minimal de 48. Un indice de cétane trop bas provoquerait des difficultés de démarrage à froid, une augmentation du niveau de bruit dû à des gradients de pression trop élevés dans la chambre de combustion et un fonctionnement erratique à faible charge. À l'inverse, si l'indice de cétane devenait trop élevé – supérieur à 60 par exemple –, le moteur serait peu bruyant mais présenterait un rendement thermodynamique nettement moins satisfaisant. **Il n'y a donc aucun intérêt technico-économique à accroître l'indice de cétane des gasoils au-delà de 50-55** [4].

b) Il existe plusieurs **corrélations** permettant d'estimer l'indice de cétane d'un gasoil à partir de certaines caractéristiques aisément mesurables comme la densité, la volatilité ou encore la solubilité [3]. Ainsi, actuellement, l'indice de cétane calculé (ICC), défini par la norme ASTM D 4737, correspond à l'équation suivante :

$$\text{ICC} = 45,2 + 0,0892 T_{10N} + (0,131 + 0,901 B) T_{50N} + (0,0523 - 0,420 B) T_{90N} \\ + 0,00049 [(T_{10N})^2 - (T_{90N})^2] + 107 B + 60 B^2$$

Avec  $d$  densité à 15 °C (norme ASTM D 1298),

$DN = d - 0,85$ ,

$B = \exp(-3,5 DN) - 1$ ,

$T_{10}$  température (°C) correspondant à 10% distillés,

$T_{10N} = T_{10} - 215$ ,

$T_{50}$  température (°C) correspondant à 50% distillés,

$T_{50N} = T_{50} - 260$ ,

$T_{90}$  température (°C) correspondant à 90% distillés,

$T_{90N} = T_{90} - 310$ .

Les indices de cétanes mesurés et calculés sont généralement proches l'un de l'autre, le second inférieur de 1 à 2 points au premier.

c) Une autre caractéristique permettant d'apprécier l'aptitude d'un gasoil à l'auto-inflammation est le **Diesel index (DI)**. Celui-ci se définit par la relation :

$$DI = \frac{(^{\circ}API) \times (PA)}{100}$$

Le degré API est utilisé pour exprimer la densité du pétrole brut et des fractions pétrolières. Il est fourni par l'équation :

$$^{\circ}API = \frac{141,5}{d} - 131,5$$

où  $d$  est la densité du gasoil relative à l'eau à 15°C. Quant au point d'aniline (PA), c'est la température à laquelle un mélange en volumes égaux d'aniline et de gasoil devient homogène.

d) Le **Diesel index** à été défini en tenant compte des relations entre la composition chimique du gasoil et son indice de cétane. Les paraffines sont en généralement plus aisément auto-inflammables que les aromatiques. Or, ces derniers sont à la fois plus denses (faible °API) et plus aisément solubles dans l'aniline (faible PA) ; ils montrent donc un Diesel index plus faible [3]( annexe2).

Il est parfois difficile d'obtenir l'indice de cétane minimal requis par simple mélange des bases disponibles en raffinerie. Aussi, utilise-t-on, de plus en plus fréquemment, des additifs appelés procétane (les peroxydes et les nitrates). Dans la pratique les nitrates sont souvent les plus utilisés en raison d'un meilleur compromis **coût-efficacité-facilité** de mise en œuvre [3].

#### 4.3.2) Pouvoir Calorifique

On fait la distinction entre le pouvoir calorifique supérieur (PCS) et le pouvoir calorifique inférieur (PCI), selon que l'eau obtenue par combustion se trouve à l'état liquide ou à l'état gazeux. La seule grandeur véritablement utile en pratique est le PCI, puisque, dans les produits de combustion des moteurs, l'eau est rejetée sous forme de vapeur[3].

Pour calculer le PCI, il faut connaître le PCS et la teneur en hydrogène  $W_H$  du carburant [3](annexe2).

La relation qui lie ces trois paramètres s'écrit :

$$PCI_m = PCS_m - 212,2.W_H [3]$$

Avec :  $PCI_m$  et  $PCS_m$  sont exprimés en kJ/kg

Et  $W_H$  en pourcentage en poids.

En pratique, c'est essentiellement  $PCI_v$ , qui intéresse l'utilisateur, puisque la consommation des divers carburants, sauf le fuel lourd, est comptabilisée et facturée en litres[3].

La connaissance de la masse volumique  $\rho$  du carburant permet de calculer le PCI volumique ( $PCI_v$ ) :

$$PCI_v = \rho . PCI_m [3]$$

Avec :  $\rho$  est exprimées en kg/l.

$PCI_m$  est exprimées en KJ/kg .

#### 4.3.3) La teneur en soufre

La teneur en soufre du gasoil fait partout l'objet de réglementations précises (cf. chapitre 3). Les raffineurs cherchent toujours, dans les techniques de raffinage, à réduire le plus la teneur en produits sulfurés, en raison de leur odeur désagréable pour l'utilisateur, de leur caractère corrosif (inhibiteur de corrosion) et de leur contribution à la pollution atmosphérique.

Les principales molécules présentes dans le gasoil sont représentées ci-dessous :

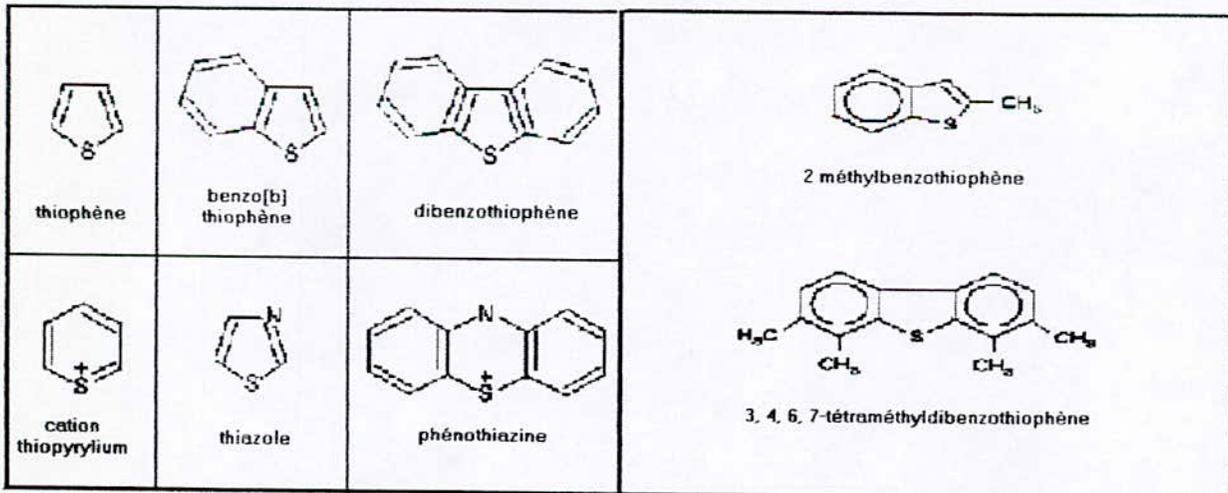


Figure 2.7: quelques composés sulfurés [4].

Le tableau ci-dessous montre que les sulfures cycliques comme les **thiophènes**,

**benzothiophènes et les sulfures lourds** sont les majoritaires dans le pole gasoil. A titre d'information ces molécules sont stables même à une **température élevée**.

Coupe pétrolière	Intervalle de distillation (°C)	Teneur en soufre (% masse)	Composés sulfurés (% masse du S total)		
			mercaptans	thiophènes	Benzothiophènes et sulfures lourds
Naphta	70-180	0,02	50	Trace	-
Kérosène	160-240	0,2	25	35	15
<b>Gasoil</b>	<b>230-350</b>	<b>0,9</b>	<b>15</b>	<b>35</b>	<b>35</b>
<b>Gasoil sous vide</b>	<b>350-550</b>	<b>1,8</b>	<b>5</b>	<b>30</b>	<b>55</b>
Résidu sous vide	550+	2,9	trace	10	90

Tableau 2.6: Distribution des composés sulfurés de quelques coupes pétrolières d'un brut à 1,2% masse de soufre [13].

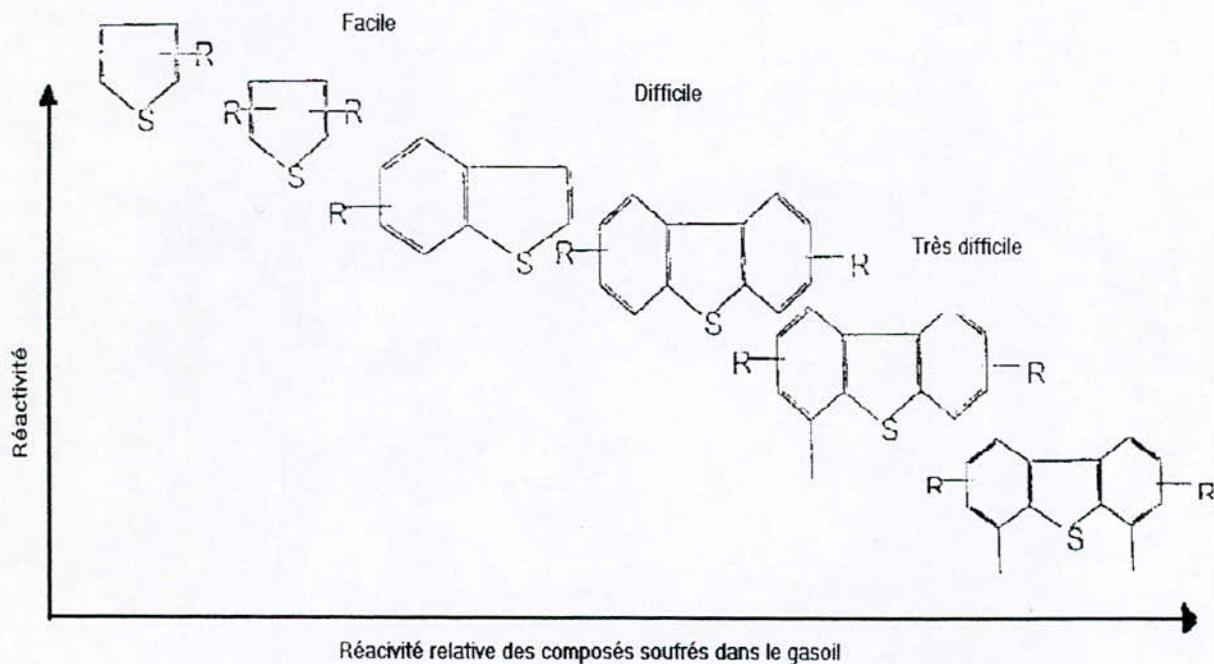


Figure 2.8: réactivité relative des composés sulfurés présent dans le gasoil [13]

En Europe, la commission européenne l'a décidé, le soufre présent dans les carburants devra diminuer fortement à 50 p.p.m. en 2005 et 10 p.p.m. en 2009. L'Europe n'est pas la seule à faire la chasse au soufre au Japon et aux Etats-Unis, les seuils sont fixés à 30 p.p.m. respectivement pour fin 2004 et 2006 [14], actuellement la teneur limitée en soufre se situe à 350 p.p.m. en Europe, aux Etats-Unis elle est de 500 p.p.m., au japon elle est de 50 p.p.m. dans les grandes villes (Tokyo, ...), elle sera généralisée dans tout le pays en juin 2003 [15].

#### 4.3.4) Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Les *hydrocarbures aromatiques polycycliques HAP*, possèdent des structures à plusieurs cycles benzéniques qui peuvent être substitués. Il est évidemment impossible de dénombrer les différents composés de cette famille compte tenu des multiples substitutions[6].

Le tableau suivant nous donne quelques hydrocarbures aromatiques polycyclique présent dans les produits de combustion des carburants et qui méritent une attention spéciale à cause de leur toxicité[6].

Nom	Formule	Nom	Formule
Anthracène		Benzo[b]fluoranthène	
Phénantrène		Benzo[a]pyrène	
Acénaphthène		Benzo[e]pyrène	
Fluorène		Pérylène	
Chrysène		Benzo[g, h, i]pérylène	
Benzo[a]anthracène		Dibenzo [a, h]anthracène	
Cholanthrène		Indénopyrène	
Pyrène		Coronène	
Fluoranthène		Anthranthène	
Benzo[k]fluoranthène			
Naphtacène			
Benzo[j]fluoranthène			

Figure 2.9: liste de quelques hydrocarbures aromatiques polycycliques [6].

---

## **Chapitre 3**

# **Spécifications et Normes**

---

## 1) Contrôle de la qualité du gasoil

Le contrôle de la qualité du gasoil est réalisé le plus souvent par des **essais normalisés** qui sont des méthodes de mesure dont le mode opératoire a été normalisé par un **organisme de normalisation [5]**, par exemple :

- A.S.T.M. American Society for Testing and Materials,
- API American Petroleum Institut,
- I.S.O. International Organisation for standardization,
- AFNOR Association Française de NORmalisation,
- C.E.N. Comité Européen de Normalisation,
- I.A.NOR Institut Algérien de NORmalisation.

## 2) Les spécifications

Les exigences de qualité se traduisent par des **spécifications** -qui définissent les caractéristiques auxquelles doivent répondre un produit- portant sur les résultats des mesures.

Les spécifications des carburants, comme celles de tous les produits pétroliers, sont des réglementations de caractéristiques et de composition des produits assurant un compromis entre trois types de critères :

- 1) Performances satisfaisantes du véhicule (rendement, puissance, comportement en endurance);
- 2) Faibles émissions de polluants conformément aux législation mises en place dans ce domaine et devenant d'ailleurs de plus en plus sévères, au cours du temps;
- 3) Possibilité de fourniture des produits en quantité nécessaires et à un coût abordable [3].

---

### 3) Les normes

Les normes présentent, elles aussi, une définition des caractéristiques d'un produit ou des moyens et méthodes à mettre en œuvre pour tester la qualité de ceux-ci. Elles ne sont généralement pas reprises par la loi, de sorte qu'elles ne s'imposent pas et relèvent de l'adhésion volontaire. **Leur seule force repose dans le consensus obtenu lors de leur élaboration.** Il existe toutefois quelques exceptions : il arrive qu'un arrêté ou une directive confère à une norme un **caractère obligatoire (norme homologuée)** [12].

Il existe deux types de normes sur les produits pétroliers :

- 1) Les normes de classifications et de caractéristiques : Elles sont tout à fait semblables aux spécifications mais leur respect n'est pas imposé par la loi.
- 2) Les normes de tests et de méthodes d'essais, qui sont citées en référence dans les normes de caractéristiques [12].

Les essais normalisés correspondent :

- Soit à des **mesures de propriétés physico-chimiques** : Densité, viscosité, teneur en soufre, etc. [5].
- Soit à des **essais de simulation** dans lesquels on place le produit dans des conditions similaires à celles d'utilisation : indice de cétane, température limitée de filtrabilité, etc. [5].

### 3) Spécifications du kérosène (pétrole lampant) selon la norme NA8109

Caractéristiques	Méthode	Limites (1992)
Aspect	Visuel	Limpide
<b>Densité à 15°C, (<math>d_4^{15}</math>)</b>	<b>NA 417</b>	<b>0,780 – 0825</b>
Point d'éclair (ABEL), (°C)	NA 2545	38 mini
Couleur saybolt	NA 1145	+ 20 mini
Acidité totale (mg KOH//h)	NA 2807	3 max
<b>Soufre total (p.p.m.)</b>	<b>NA 2810</b>	<b>1300</b>
Point de fumée en (mm)	NA 1658	21 mini
Doctor test	NA 8115	NEGATIF
Distillation, (°C)	NA 1445	
-50% vol		255 max
- 80%vo		285 max

Tableau 2.1: Spécifications du kérosène selon NA8109 [16]

### 5) Spécifications du gasoil selon la Norme Algérienne (NA 8110)

Caractéristiques	Normes	Limites (1992)	Limites (1999)
Couleur	NA 1145	2,5 max	2,5 max
Densité à 15 °C, ( $d_4^{15}$ )	NA 417	<b>0,810-0,860</b>	<b>0,810 – 0,860</b>
Distillation,(°C) <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 65% Vol</li> <li>▪ 90% Vol</li> <li>▪ PF</li> </ul>	NA 1445	250 mini 350 max 390 max	250 mini 350 max 390 max
Viscosité à 20°C, (cSt)	NA 1443	9 max	9 max
Teneur en soufre (ppm)	NA 2890	<b>2500</b>	<b>1500</b>
Teneur en cendres, (%pds)	NA 1660	TND	TND
Teneur en eau, (%pds)	NA 421	TND	TND
Point d'éclair (°C)	NA 2658	55 mini	55 mini
Point d'écoulement (°C) <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hiver du 1/11 au 30/03</li> <li>▪ Été du 1/04/ au 30/10</li> </ul>	NA 2660	-12 max -7 max	-12 max -7 max
Indice de cétane	NA 8117	<b>48 mini</b>	<b>48 mini</b>

Tableau 2.2 : Spécifications du gasoil selon NA8110 [16]

D'après des informations de l'Institut algérien de Normalisation (IANOR), il y a une troisième édition concernant le gasoil. Elle concerne surtout la teneur maximale en soufre qui sera révisée et éditée au cours de cette année.

## 6) Spécification du gasoil selon la norme européenne (N590)

Caractéristiques	Normes	Limites (1996)	Limites (2000)	Limites (2005)
Densités à 15°C, ( $d_4^{15}$ )	ASTM D 4052	0,820 – 0,860	0,820 – 0,845	0,820 – 0,835
Distillation, (°C)	ASTM D 86			
65% vol		250 °C min	250 min	250 min
85% vol		350 °C max	350 max	350 min
95% vol		370 °C max	360 max	360 max
Viscosités à 40°C, (cSt)	ASTM D445	2,0 - 4,5	2,0 - 4,5	2,0 - 4,5
Teneur en soufre (p.p.m.)	ASTM D 2622	500	350	50
Teneur en eau, (mg/kg)	ASTM D 1776	200 max	200 max	200 max
Teneur en cendres, (%pds)	ASTM D 1796	0,01 max	0,01 max	0,01max
Indice de cétane	ASTM D 4737	48 min	51 min	53 min
Résidu de carbone, (%pds)	ASTM D 189	0,3 max	0,3 max	0,3 max
Corrosion à la lame de cuivre	ASTM D 130	1	1	1
Point d'éclair, (°C)	ASTM D 93	61 min 120 max	61 min 120 max	61 min 120 max
Point de trouble, (°C)	ASTM D 2500			
Hiver		- 5 min	- 5 min	- 5 min
Été		+ 5 max	+ 5 max	+ 5 max
TLF, (°C)	IP 309			
Hiver		-15 min	-15 min	-15 min
Été		- 0 max	-0 max	- 0 max
Polyaromatiques, (%pds)	IP 391	-	11 max	6 max

Tableau 2.3 : Spécifications du gasoil selon EN590 [17]



**Chapitre 4**  
**Protection de l'environnement**



## INTRODUCTION

Toutes les modifications importantes de caractéristiques des carburants et des moteurs, observées entre 1970 et 2003, auront été dictées dans un souci de réduction de la pollution d'origine automobile[6]. Nous allons présenter dans cette partie, les problèmes liés à la consommation des carburants diesel.

Cette partie se concentre sur les problèmes liés à la teneur en soufre, puisque ce dernier, non seulement est un accélérateur de corrosion, un polluant majeur, il exerce aussi une influence néfaste sur les émissions des autres polluants.

Ainsi, la figure suivante montre qu'une réduction de la teneur en soufre, entraîne une diminution de tous les émissions des principaux polluants (figure 4.1).

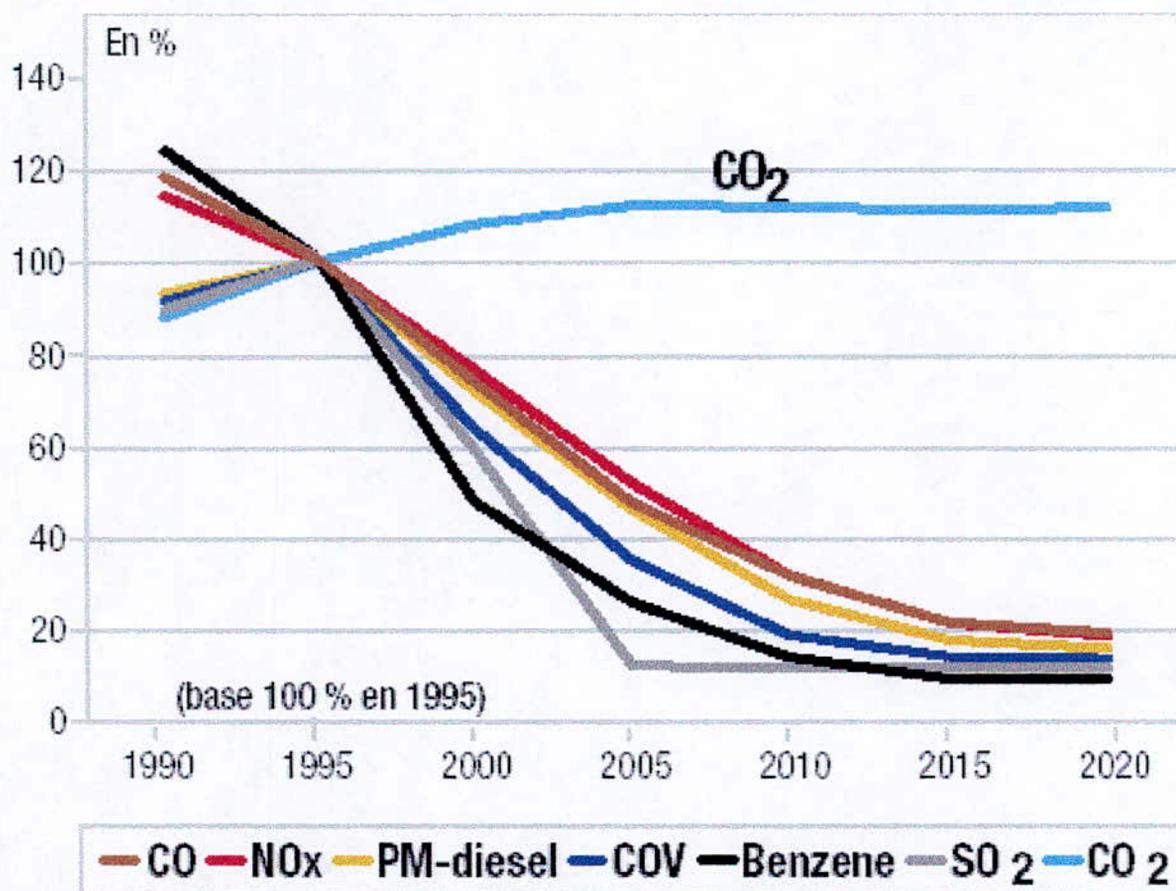
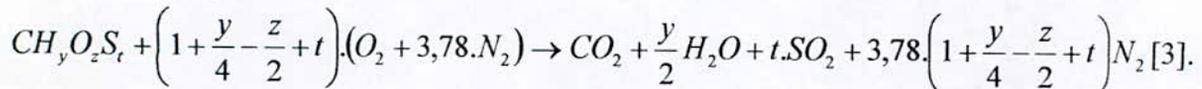


Figure 4.1: influence de la teneur en soufre sur les autres polluants [18]

(Source : commission européenne)

## 1) La teneur en soufre

Le soufre responsable de certains problèmes de pollution causés en parti par la combustion des produits pétroliers (25% des oxydes de soufre présents dans l'atmosphère sont produits à partir de l'industrie chimique)[5], fait l'objet d'une réglementation, en raison essentiellement de la nocivité de l'anhydride sulfureux ( $SO_2$ ) rejeté dans l'atmosphère à l'échappement du fait du processus de combustion du carburant dans le moteur [4]. L'équation chimique de combustion s'écrit :



### 1.1) Effets de dioxyde de soufre sur la santé

Le dioxyde de soufre est un gaz irritant, notamment pour l'appareil respiratoire. Les fortes pointes de pollution peuvent déclencher une gêne respiratoire chez les personnes sensibles (asthmatiques, jeunes enfants ...). Les efforts physiques intenses accroissent les effets néfastes du dioxyde de soufre. Aux concentrations habituellement observées dans l'environnement, une très grande proportion du dioxyde de soufre inhalé est arrêtée par les sécrétions muqueuses du nez et des voies respiratoires supérieures. Le dioxyde de soufre qui atteint le poumon profond, passe dans la circulation sanguine puis est éliminé par voie urinaire. Des études épidémiologiques réalisées à Paris et Lyon, ont récemment montré qu'une hausse des taux de dioxyde de soufre s'accompagnait notamment d'une augmentation du nombre de décès pour cause cardio-vasculaire [19].

### 1.2) Effets dioxyde de soufre sur l'environnement

Dans l'atmosphère, le dioxyde de soufre se transforme principalement en acide sulfurique, qui se dépose au sol et sur la végétation. Cet acide contribue, en association avec d'autres polluants, à l'acidification et à l'appauvrissement des milieux naturels, il participe aussi à la détérioration des matériaux utilisés dans la construction des bâtiments (pierre, métaux). Le dioxyde de soufre participe aussi à l'acidification des pluies. Ces pluies acides dont le **pH** qui est de l'ordre de 4 peut atteindre 2 [19].

Les arbres sont particulièrement sensibles aux pluies acides. Leurs feuilles ou leurs aiguilles tombent prématurément, leurs racines deviennent clairsemées, leur croissance est ralentie et, la plupart du temps, ils finissent par mourir [19].

Les pluies acides acidifient les lacs (le **pH** baisse). La faune et la flore disparaissent peu à peu : les poissons meurent ou ne se reproduisent plus [19].

### CYCLE DU SOUFRE

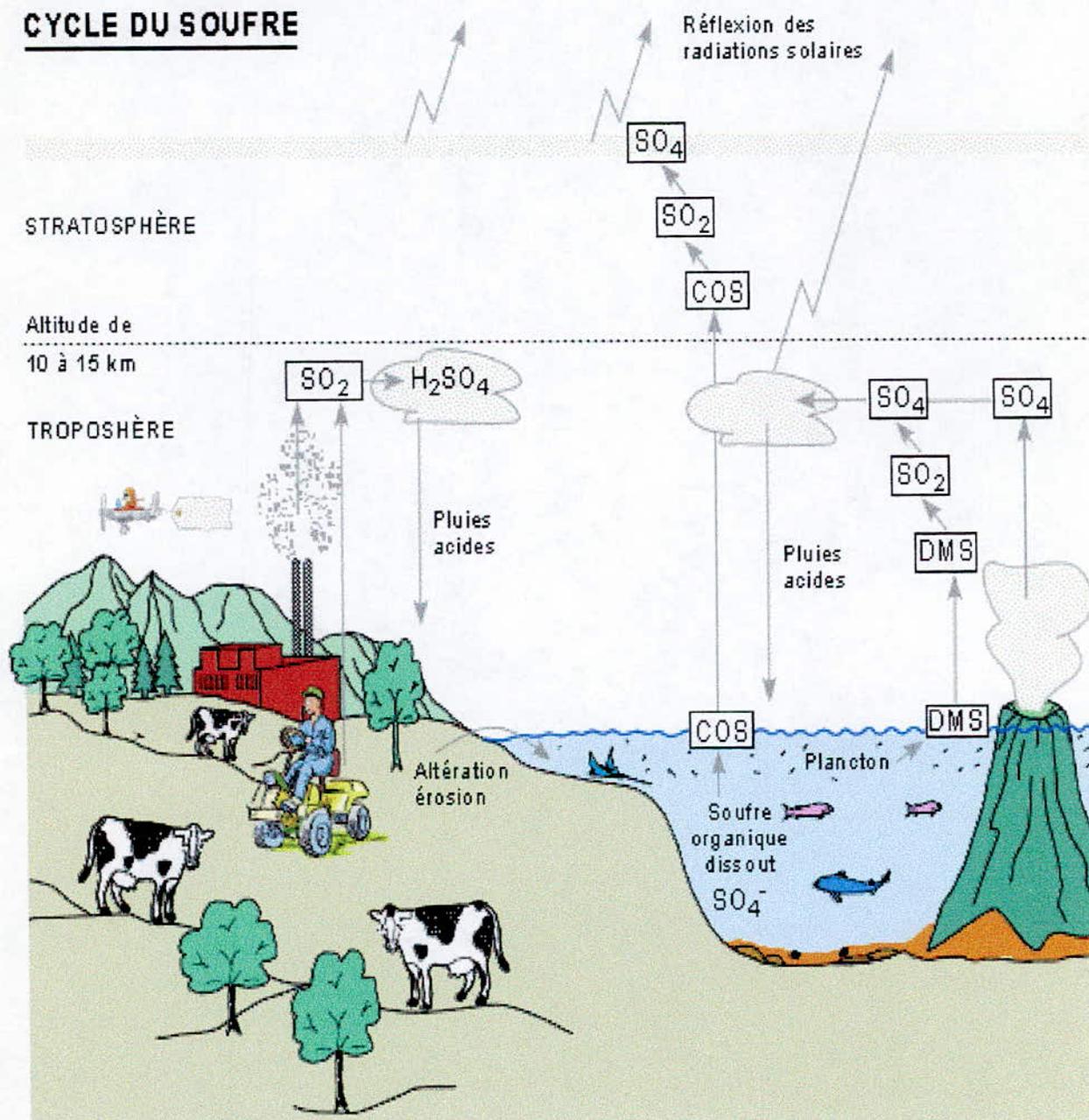


Figure 4.2: Cycle de soufre [19].

## 2) Techniques de désulfuration

### 2.1) l'hydrodésulfuration (HDS)

Dans le moteur diesel, la principale justification de la désulfuration du gasoil est liée aux émissions de particules qui font l'objet d'une réglementation très sévère. Une partie du soufre se transforme par la combustion en  $\text{SO}_2$ , puis en acide sulfurique hydraté sur le filtre destiné à recueillir les particules. Comme l'indique la figure 4.3 ci-après, cette influence perturbatrice est d'autant plus importante que la température des gaz d'échappement, arrivant sur le catalyseur, soit élevée. Ainsi, le traitement catalytique des gaz d'échappement des moteurs diesel ne peut se réaliser qu'avec des gasoils très désulfurés.

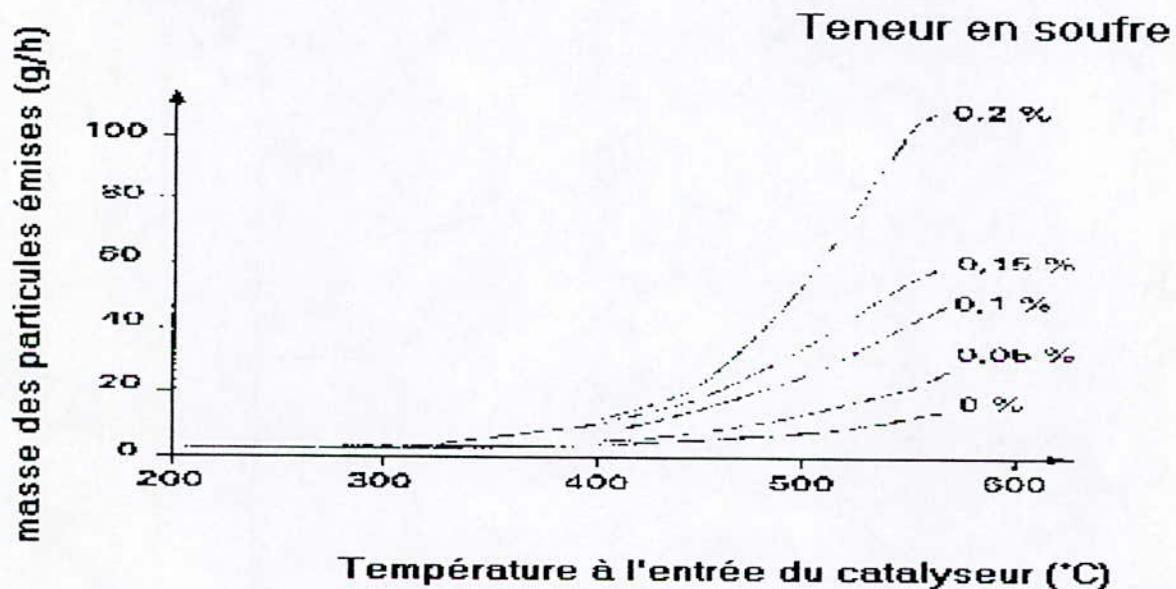


Figure 4.3: émissions de particules d'un moteur diesel par différentes teneurs en soufres du gasoil [3]

Les pétroliers utilisent aujourd'hui l'hydrodésulfuration (HDS) c'est-à-dire la réaction de l'hydrogène sur le gasoil, en présence d'un catalyseur. Le soufre contenu dans les hydrocarbures se combine alors avec l'hydrogène pour former du  $\text{H}_2\text{S}$  que l'on peut ensuite séparer des gasoils liquides [14].

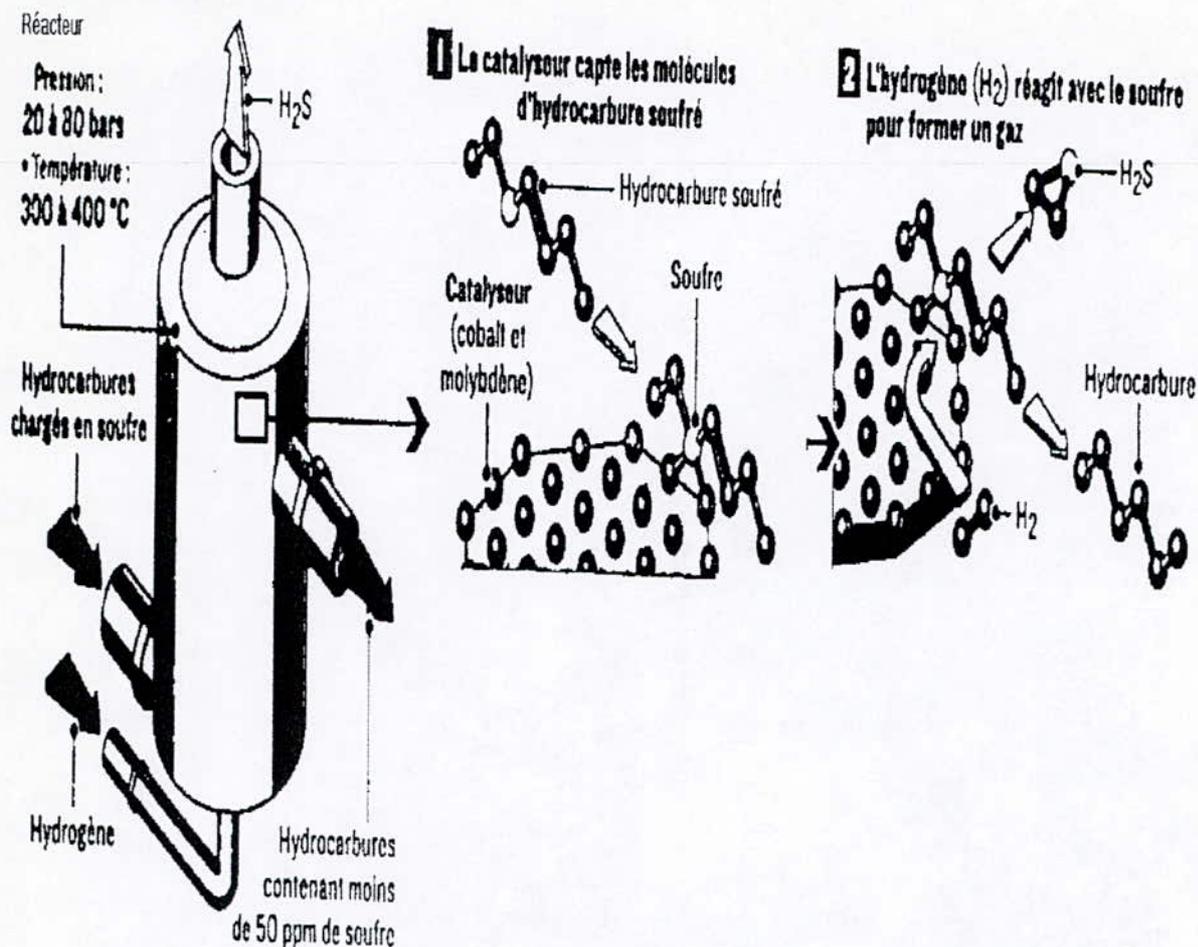


Figure 4.4: principe de l'hydrodésulfuration [14]

Ces techniques (figure 4.4) peuvent répondre aux contraintes réglementaires, elles permettent de descendre sous **10 p.p.m. de soufre**, mais elles consomment beaucoup d'hydrogène et demandent des conditions de température (300 °C à 400 °C) et de pression (entre 20 et 80 bars) importantes. L'HDS peut rester comme une solution permanente pour le gasoil, mais elle ne peut pas être permanente pour l'essence, car elle induit une réaction secondaire, la saturation des oléfines, qui fait chuter l'indice d'octane, de plus les aromatiques soufrés, des molécules cycliques très stables (comme les thiophènes), lui résistent[14].

## 2.2) Les nouvelles techniques de désulfuration

Actuellement il y existe d'autres voies qui n'utiliseraient pas d'hydrogène et se contenteraient de conditions plus douces de point de vue investissement [14].

### 2.2.1) La Biodésulfuration

Cette technique qui permet d'atteindre des seuils situés sous les 15 p.p.m, sans montée en température a été développée dernièrement par Petro Start et Enchira Biotechnology corporation. Cette biocatalyse fait agir des bactéries qui consomment spécifiquement les composés soufrés, sans dégrader la qualité du carburant (figure 4.5), les premières unités pilotes ont démarré en Alaska début 2001 [14].

### 2.2.2) Alkylation d'oléfine de soufre thiophenic

Cette méthode, mise sur le marché en début de cette année, mais qui n'a pas encore donné lieu à une réalisation industrielle, alourdit d'abord les composés soufrés par addition des oléfines avant distillation, les composés soufrés, ainsi lestés, sont séparés des autres hydrocarbures [14].

### 2.2.3) Extraction liquide-liquide

Cette méthode consiste à introduire un « liquide ionique » par exemple des sels d'ammonium quaternaire dans l'essence. Cette solution dissout spécifiquement les molécules soufrées, sans réagir avec les oléfines et sans produire d'effluents gazeux. Comme l'essence et la solution saline ne sont pas miscibles, elles se séparent en deux phases, telles l'eau et l'huile (figure 4.5). Il est facile ensuite de récupérer l'essence purifiée ! [14].

### 2.2.4) Les procédés SARS

Aux Etats-Unis, les docteurs Chuns han Song et Xiaoliang Ma, de l'institut de l'énergie de Pennsylvanie, viennent de présenter, au printemps de cette année, les procédés SARS (figure 4.5). Ceux-ci mettent en œuvre des adsorbants ou des complexant fixés à un support solide polaire pour capter les molécules soufrées car les molécules d'adsorbants ont une affinité particulière avec les hydrocarbures soufrés – le nom d'adsorbant n'est cité dans la référence- à température et pression ambiante, sans consommer l'hydrogène, elle permet d'atteindre **des taux de soufre inférieurs à 0,1 p.p.m** en laboratoire d'après Xiaoliang Ma, qui étudie maintenant les solvants polaires permettant de régénérer les adsorbants après purification [14].

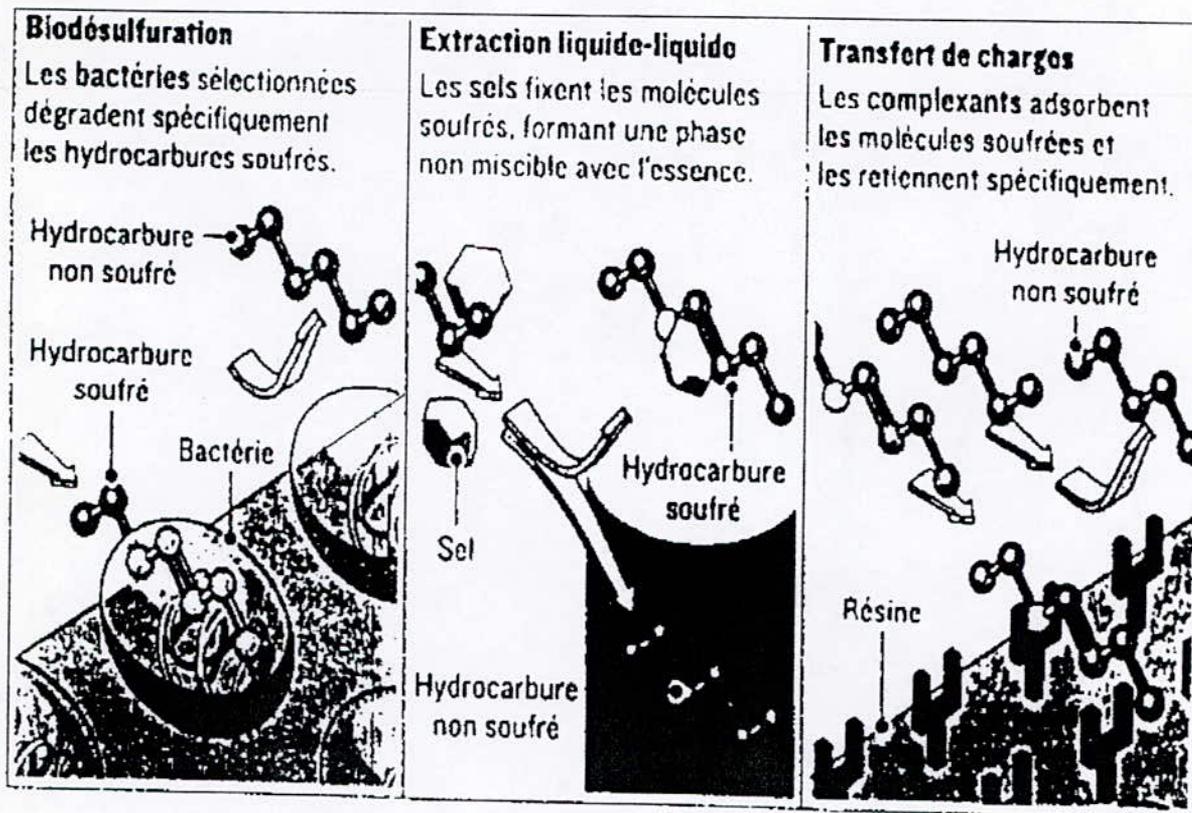


Figure 4.5: les nouvelles techniques de désulfuration [14]

### 2.2.5) Désulfuration des gasoils par transfert de charge

Des chercheurs du Laboratoire de catalyse et synthèse organique et de l'Institut de recherches sur la catalyse (IRC) de Lyon ont étudié les mécanismes fondamentaux de l'hydrodésulfuration (HDS) et proposé un procédé de désulfuration fondé sur un concept innovant [20].

Ce procédé repose sur la formation de complexes de transfert de charge insolubles dans les gazoles, ce qui permet l'élimination sélective et la récupération des dérivés alkyldibenzothiophènes des coupes pétrolières. Une famille bien ciblée de complexants spécifiques a permis de prouver la validité du concept. Les études ont porté sur des coupes pétrolières riches en composés soufrés, contenant environ 1 % en poids de soufre. Les gazoles pré-traités par ce procédé de complexation se sont avérés, au laboratoire, beaucoup plus faciles à hydrodésulfurer. En effet, ils ne contenaient plus de molécules réfractaires au processus d'hydrodésulfuration classique. La méthode développée semble donc un moyen efficace d'élimination des dibenzothiophènes avant hydrotraitement du gazole (figure 4.6). Ce

procédé pourra être mis en œuvre dans des conditions plus douces de température et de pression, sur des catalyseurs classiques, puisque les coupes pétrolières à traiter ne contiendront plus que des composés soufrés facilement transformables [20].

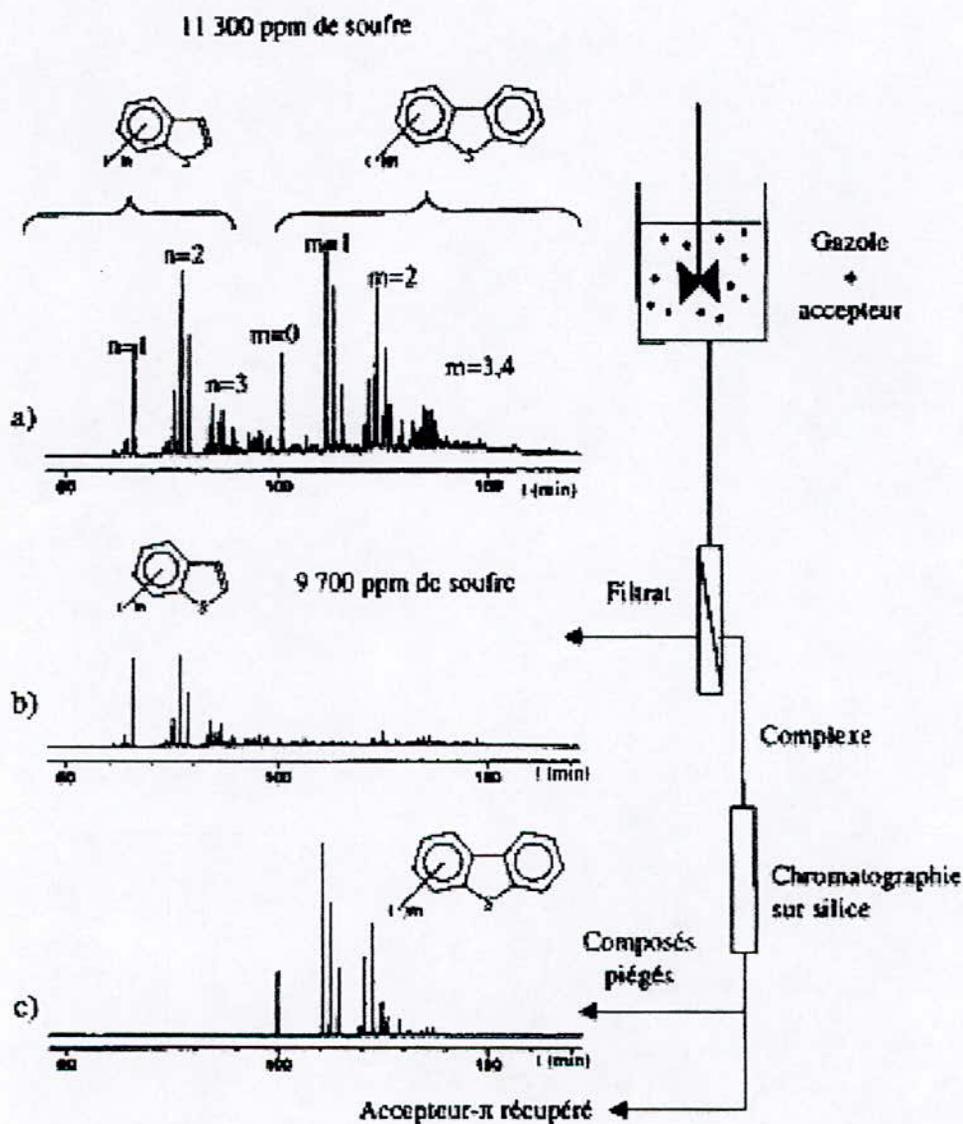


Figure 4.6: Procédure expérimentale de la désulfuration des gasoils par formation de complexes de transfert de charge. Chromatographie en phase gazeuse (détecteur spécifique du soufre) [20].

- a) Gasoil;
- b) Gasoil traité;
- c) Composés aromatiques récupérés.

### 3) La pollution par les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Les processus mettant en œuvre la combustion de matière organique (industrie chimique, sidérurgie, incendies, moteurs à combustion, incinérateurs de déchets urbains) produisent des hydrocarbures aromatiques polycycliques. Ces hydrocarbures, dont l'origine est liée aux activités humaines, sont ceux qui prédominent dans l'environnement; ce sont principalement les composés parents, c'est à dire non ramifié [21].

Emis par voie atmosphérique par des sources les plus diverses, les HAP ont dans l'environnement un comportement comparable à celui des PCB. Leur persistance dans l'environnement est a priori plus limitée dans la mesure où ils sont sensibles à la lumière (dégradation photochimique) [21].

Dans les organismes, les HAP, bien qu'hydrophobes, sont généralement peu accumulés parce qu'ils peuvent être métabolisés, tout au moins par les vertébrés. La préoccupation née de la présence de HAP dans l'environnement est liée à leurs propriétés cancérigènes ; c'est le cas tout particulièrement du benzo [a] pyrène, du benzo [a] anthracène, du benzo [b] fluoranthène, de l'indéno [1,2,3-cd] pyrène et du benzo [g,h,i] pérylène [21] (cf. chapitre 1).



---

## **PREAMBULE**

Dans cette partie on veut faire, une étude expérimentale sur les échantillons suivants:

- Un échantillon de kérosène,
- Un échantillon de Gasoil léger,
- Un échantillon du gasoil marché intérieur de la raffinerie d'Alger,
- Un échantillon du marché intérieur pris dans une station-service à Bumerdes.

Cette étude consiste à faire une caractérisation des différents échantillons (presque complète) par des essais normalisés, et par calculs à partir des abaques et corrélations.

Les résultats obtenus par la suite sont comparés avec la norme algérienne et européenne, et cela pour voir si ces produits sont conformes.

Une synthèse des résultats obtenus est faite avec une étude comparative entre les différents échantillons et avec un autre gasoil [1].

En fin, nous essayons de contribuer en proposant des solutions autour de l'amélioration de la qualité des gasoils algériens.

---

**Chapitre 5**  
Caractéristiques physico-chimiques  
des différents échantillons

## Introduction

Les résultats d'analyse sur les différents échantillons sont déterminés par des essais normalisés tel que : la densité à 15 °C , la distillation ASTM, la teneur en soufre etc.

Nous avons représenté les résultats dans deux tableaux pour chaque échantillon, le tableau 1 porte sur les résultats des essais normalisés sauf les résultats de la distillation ASTM qui est représentée dans le tableau 2. Les résultats obtenus par calcul sont aussi représentés dans le tableau 1.

Pour vérifier la conformité des ces produits, nous avons fait une comparaison des principaux résultats expérimentaux avec la norme algérienne (NA 8109 et NA 8110), puis avec la norme européenne (EN590).

Avant de présenter ces résultats, nous avons précisé ci-après les conditions d'échantillonnage.

### 1) Conditions d'échantillonnages

On sait que pour avoir un échantillon représentatif il faut appliquer les normes d'échantillonnages. Nous ne les avons pas appliquées, mais nous avons essayé d'avoir les échantillons de référence, comme expliqué ci-après (1.2).

#### 1.1) Lieux de prélèvement

Les échantillons analysés proviennent de deux endroits, qui sont les suivants :

- Echantillon du Gasoil Marché Intérieur pris dans une station-service de Boumerdes,
- Echantillons pris de la raffinerie d'Alger :
  - Un kérosène
  - Un gasoil léger
  - Un Gasoil Marché Intérieur

**Nota :** d'après des informations au niveau de la raffinerie d'Alger, le gasoil prélevé dans une station de service de Boumerdes provient de la raffinerie de Skikda.

#### 1.2) Conditions d'échantillonnages pour les différents échantillons

Pour que l'on puisse avoir des échantillons de référence, on a bien rincé tous les récipients avec de l'essence SR puis avec l'échantillon lui même trois fois chacun.

Les conditions d'échantillonnage des différents échantillons sont représentés sur les tableaux ci-dessous.

### 1. Gasoil moteur marché intérieur de la raffinerie de Skikda (GOMI<sub>S</sub>)

Date de prélèvement	15-04-2003
Heure	10h30
Température de prélèvement	18 °C
Température extérieure	15 °C
Pression	pression atmosphérique
Quantité prélevée en (l)	5
Date de réception au laboratoire de l'IAP (Boumerdes)	15-04-2003

Tableau 5.1: Gasoil Moteur marché intérieur de la raffinerie de Skikda

### 2. kérosène (kéro)

Date de prélèvement	29-04-2003
Heure	10h30
Température de prélèvement	42°C
Température extérieure	24 °C
Pression	pression atmosphérique
Quantité prélevée en (l)	5
Date de réception au CERHYD	3-05-2003

Tableau 5.2: kérosène de la raffinerie d'Alger

### 3. Gasoil léger (GO<sub>l</sub>)

Date de prélèvement	29-04-2003
Heure	10h30
Température de prélèvement	52 °C
Température extérieure	24 °C
Pression	Pression atmosphérique
Quantité prélevée en (l)	5 l
Date de réception au CERHYD	3-05-2003

Tableau 5.3: gasoil léger de la raffinerie d'Alger

### 4. Gasoil moteur marché intérieur de la raffinerie d'Alger (GOMI<sub>A</sub>)

Date de prélèvement	29-04-2003
Heure	10h30
Température de prélèvement	48 °C
Température extérieure	24 °C
Pression	pression atmosphérique
Quantité prélevée en (l)	5
Date de réception au CERHYD	3-05-2003

Tableau 5.4: Gasoil moteur marché intérieur de la raffinerie d'Alger.

## 2) Caractéristiques physico-chimiques des différents échantillons

Dans cette partie, nous présentons, pour chaque échantillon, les caractéristiques physico-chimiques qui sont déterminées soit par des essais normalisés, soit par abaques et corrélations.

### 2.1) Echantillon 1 : Kérosène

#### 2.1.1) Caractéristiques physico-chimiques du kérosène

Résultats obtenus par mesure (*)		
Caractéristiques	Normes	Résultats
Couleur seybolt	NF M 07 003	+30
Densités à 20°C	ASTM D 40 52	0,7958
Indice de réfraction, $n^{20}$	ASTM D 1218	1,4459
Viscosité cinématique en (cSt) à 20.0°C/68°F	ASTM D 445	<2,03
Teneur en soufre, (p.p.m)	ASTM D 4294 – 93	87
Point d'écoulement, (°C)	NF T 60 –105	-52
Point d'éclair ABEL, (°C)	ASTM D 56	42
Point d'aniline, (°C)	ASTM D 611	64
Indice de d'acidité (mg KOH/g)	NF M 07-049	0,01
Résultats obtenus par calcul (**)		
Caractéristique	Méthode de calcul	Résultats
Densité à 15°C	Tables de conversion	0,799
Densité °API	Corrélation	45,34
Température d'ébullition moyenne	Abaque	211,0
Facteur de caractérisation ( $K_{UOP}$ )	Corrélation et abaque	11,94
Poids moléculaire moyen, (g/mole)	Corrélation et abaque	166,3
Viscosité à 37,8°C/100°F	Corrélation	0,85
Indice de cétane	ASTM D 4737	50
Pouvoir calorifique supérieur (KJ/kg)	Abaque	46356,2
Pouvoir calorifique inférieur volumique (KJ/l)	Abaque et corrélation	34526,1

**Tableau 5.6: caractéristiques physico-chimiques du kérosène**

(\*) : tous les essais normalisés effectués sur tous les échantillons se trouvent en annexe 1

(\*\*) : tous les calculs des différentes caractéristiques physico-chimiques se trouvent en annexe 2 avec les références bibliographiques.

(suite du tableau)

Caractéristique	Méthode de calcul	Résultats
Teneur en carbone	n.d.M	
▪ Paraffines, (%pds)		72,9
▪ Naphtène, (%pds)		17,1
▪ Aromatiques, (%pds)		10,0
Teneur en carbone	n.d.PA	
▪ Paraffines, (%pds)		59,5
▪ Naphtène, (%pds)		26,4
▪ Aromatiques, (%pds)		14,1

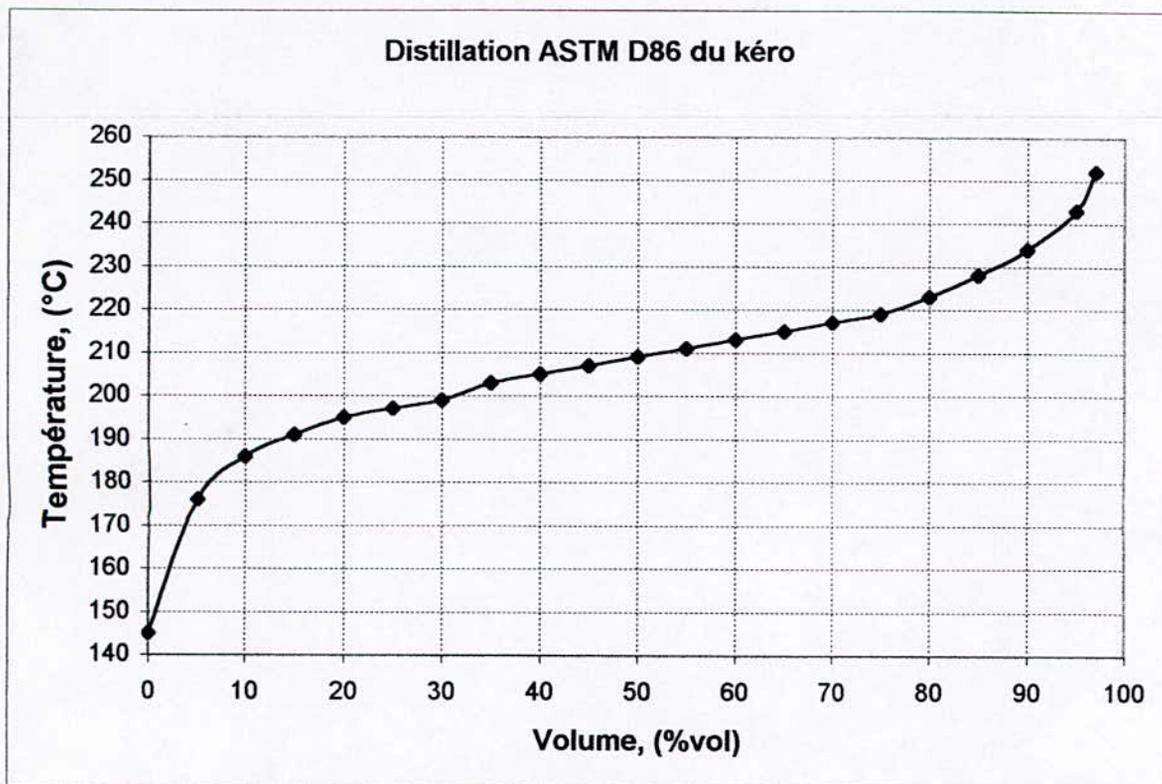
Les écarts important constatés pour le kérosène s'expliquent par le domaine de validité de la méthode n.d.M (MM>200 g/mole) [24 ].

Caractéristiques	Résultats
PI, °C	145
5	176
10	188
15	191
20	195
25	197
30	199
35	203
40	205
45	207
50	209
55	211
60	213
65	215
70	217
75	219
80	223
85	228
90	234
95	243
PF, °C	252
Distillat, %vol	98
Résidu, %vol	1
Pertes, % vol	1

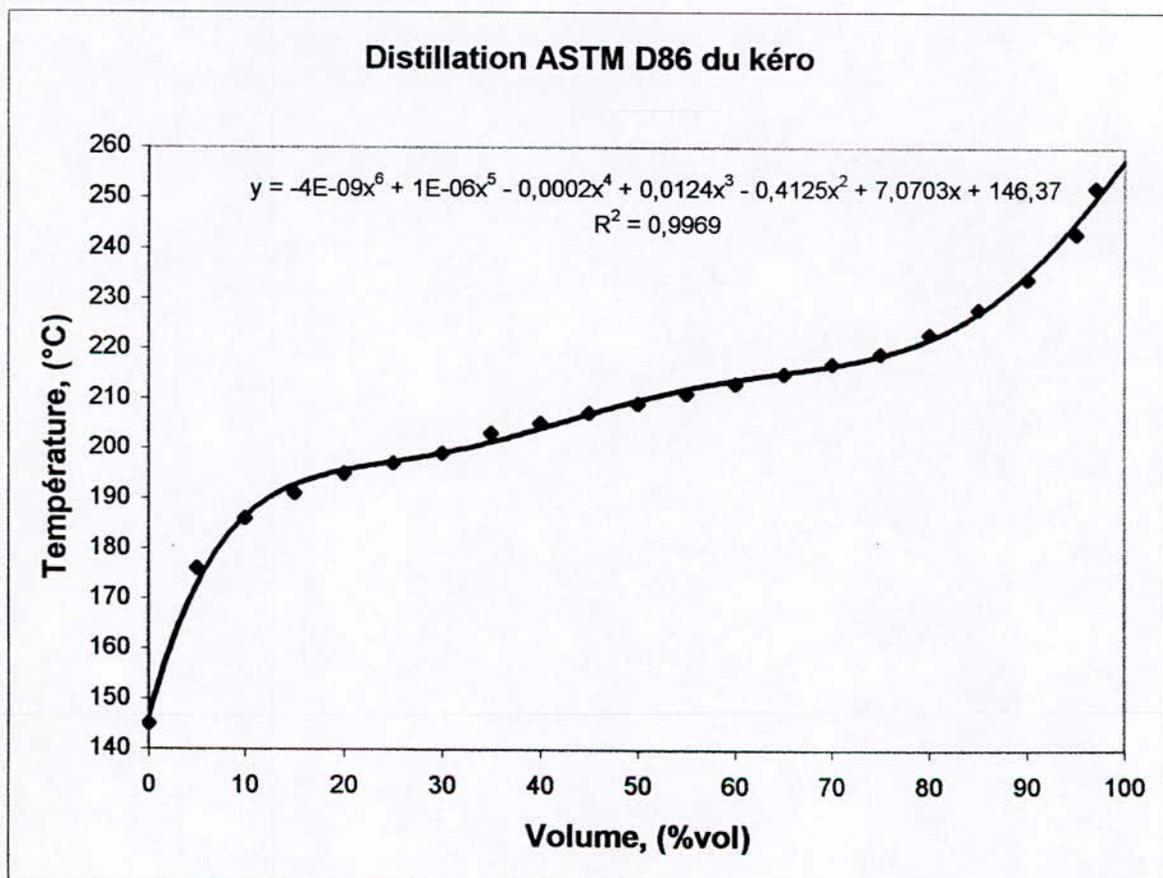
Tableau 5.7: Résultats de la distillation ASTM D86 du Kéro

Avec : D+R+P=100.

## 2.1.2) courbe de distillation ASTM D86



## 2.1.3) courbe de lissage du kéro



## 2.1.4) Comparaison des principaux résultats du kéro avec la norme NA 8109

Caractéristiques	Normes	Résultats	Limites
Couleur	NF M 07 003	+30	+ 20 mini
Densités à : ▪ 15 °C	ASTM D 40 52	0,799	0,780-0,825
Distillation, (°C) ▪ 50 % vol ▪ 80 % vol	ASTM D 86	209 223	255 max 285 max
Teneur en soufre, (p.p.m.)	ASTM D 4294 – 93	87	1300 max
Indice d'acidité, (mg KOH/g)	NF M 07 – 042	0,01	3 max
Point d'éclair (ABEL), (°C)	ASTM D 56	42	21 mini

Tableau 5.8: comparaison des principaux résultats du kéro avec NA 8109

Dans le cadre de cette étude, le kérosène est un produit utilisé comme base pour la formulation du gasoil marché intérieur. La comparaison avec la norme algérienne concernant le kérosène est donc indispensable et suffisante en même temps (ne fait pas l'objet de cette étude), donc c'est pas nécessaire de faire une comparaison avec la norme européenne.

Dans l'ensemble les résultats montrent un kérosène conforme à la norme algérienne NA 8109 (cf.§.chapitre2), surtout en ce qui concerne la teneur en soufre qui est nettement inférieure à la valeur limitée.

## 2.2) Echantillon 2 : Gasoil léger

2.2.1) Caractéristiques physico-chimiques du GO<sub>1</sub>

Résultats obtenus par mesure		
Caractéristiques	Normes	Résultats
Couleur	ASTM D 1500	<0,5
Densité à 20°C	ASTM D 4052	0,8433
Indice de réfraction n <sup>20</sup>	ASTM D 1218	1,47196
Viscosité cinématique en (cSt) à :	ASTM D 445	
▪ 20°C/68°F		7,38
▪ 37,8°C/ 100 °F		4,51
▪ 50°C/ 122 °F		3,54
▪ 70°C/158°F		2,34
Teneur en soufre, (p.p.m.)	ASTM D 4294 – 93	1167
Carbone Conradson, (%pds)	ASTM D 4530	0,034
Teneur en cendres, (%pds)	ASTM D 482	<0,034
Point de trouble,(°C)	NF T 60 –105	0
Point d'écoulement,(°C)		-6
Température limite de filtrabilité, (°C)	NF M 07 042	-3
Point d'éclair, vase fermé,(°C)	ASTM D 56	86
Point d'aniline,(°C)	ASTM D 611	77
Résultats obtenus par calcul		
Caractéristique	Méthode de calcul	Résultats
Densité à 15°C	Tables de conversion	0,847
Densité °API	Corrélation et abaque	35,36
Température d'ébullition moyenne	Corrélation	56
Facteur de caractérisation (K <sub>COF</sub> )	Abaque	11,90
Poids moléculaire moyen, (g/mole)	Abaque et corrélation	234,9
Viscosité à 98,9°C/210°F	Corrélation et abaque	1,54
Diesel Index	Corrélation	60,9
Indice de cétane	ASTM D 4737	56
Pouvoir calorifique supérieur (KJ/kg)	Abaque	45603,8
Pouvoir calorifique inférieur volumique (KJ/l)	Abaque et corrélation	36034,7

Tableau 5.9: Caractéristiques physico-chimiques du GO<sub>1</sub>

(Suite du tableau)

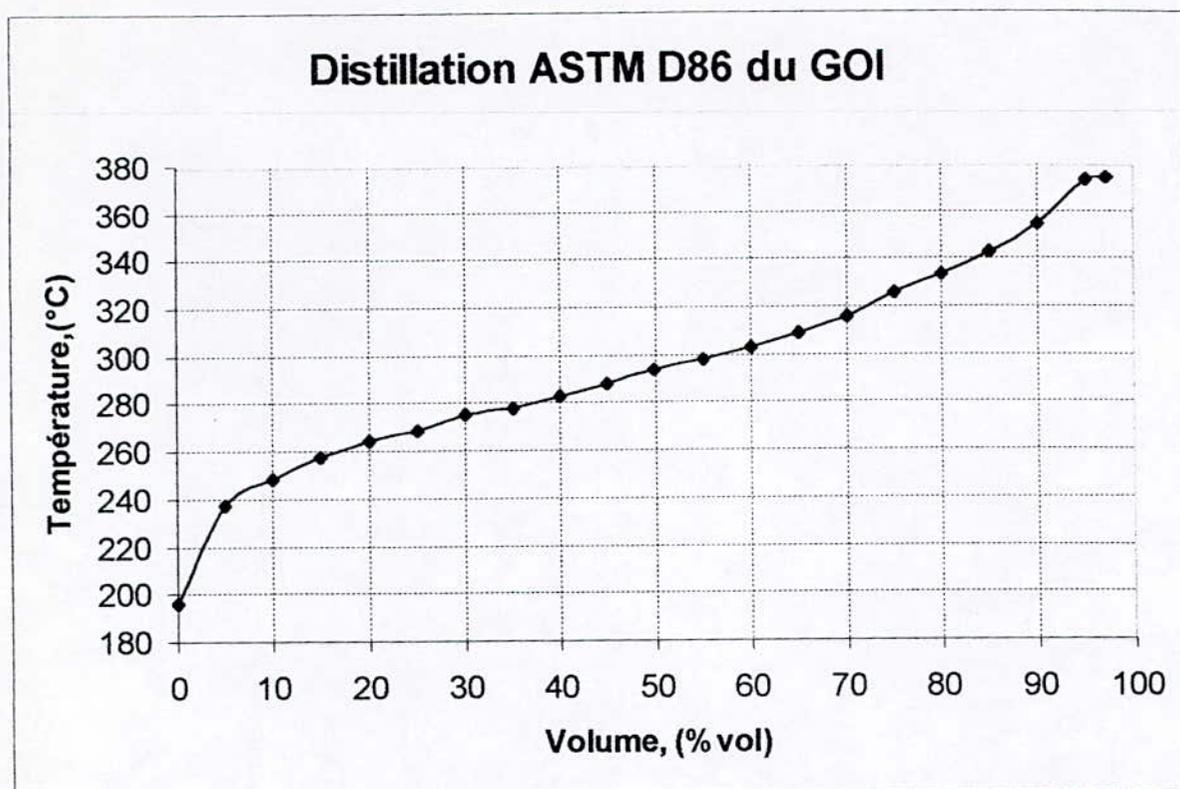
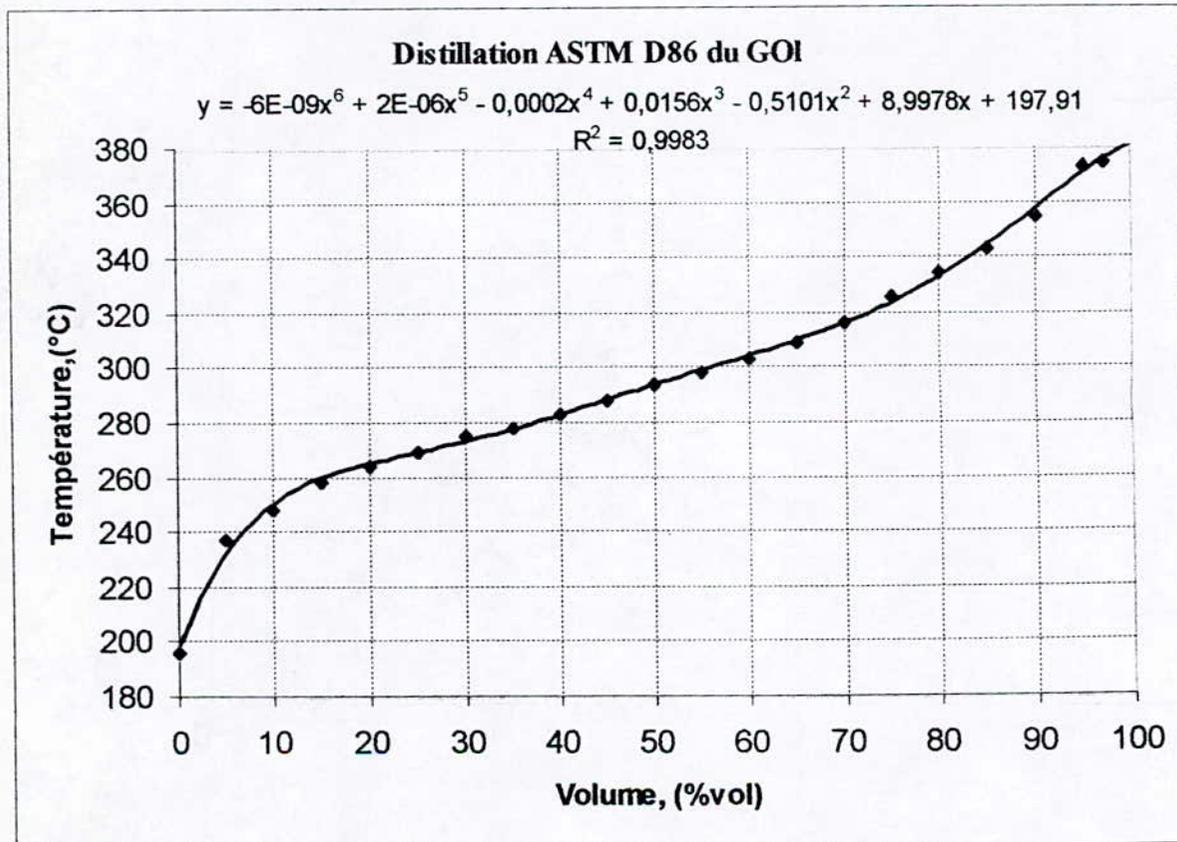
Caractéristique	Méthode de calcul	Résultats
Teneur en carbone	n.d.M	
▪ Paraffines, (%pds)		64,0
▪ Naphtène, (%pds)		20,4
▪ Aromatiques, (%pds)		15,6
Teneur en carbone	n.d.PA	
▪ Paraffines, (%pds)		66,0
▪ Naphtène, (%pds)		19,3
▪ Aromatiques, (%pds)		14,7

2.2.2) Résultats de la distillation ASTM D86 du GO<sub>1</sub>

Caractéristiques	Résultats
PI, °C	196
5	237
10	248
15	258
20	264
25	269
30	275
35	278
40	283
45	288
50	294
55	298
60	303
65	309
70	316
75	326
80	334
85	343
90	355
95	373
PF, °C	374
Distillat, %vol	99
Résidu, %vol	1
Pertes, % vol	0

Tableau 5.10 : Résultats de la distillation ASTM du GO<sub>1</sub>

Avec : D+R+P=100.

2.2.3) Courbe de distillation ASTM D86 du GO<sub>1</sub>2.2.4) Courbe de lissage du GO<sub>1</sub>

2.2.5) Comparaison des principaux résultats du GO<sub>1</sub> avec NA 8110 et EN 590

SPECIFICATIONS	NORMES	Résultats	Limites (1999)	
			NA 8110	EN 590
Couleur	ASTM D 1500	< 0,5	2,5 max	--
Densités à 15°C	ASTM D 4052	0,847	0,810 – 0,860	0,820 – 0,845
Distillation, (°C)	ASTM D 86			
65% vol		309	250 mini	250 min
85% vol		343	350 max	350 max
90 % vol		355	350 max	--
95% vol		373	--	360 max
PF	374	390 max	--	
Viscosités à 20°C, (cSt)	ASTM D445	7,38	9 max	--
Viscosités à 40°C, (cSt)	ASTM D445	4,51	--	2,0 - 4,5
Teneur en soufre, (p.p.m.)	ASTM D 2622	1167	1500	350 max
Teneur en eau, (mg/kg)	ASTM D 1776	--	TND	200 max
Résidu de carbone, (%pds)	ASTM D 189	0,034	--	0,3 max
Teneur en cendres, (%pds)	ASTM D 1796	<0,034	TND	0,01 max
Indice de cétane	ASTM D 4737	56	48 mini	51 min
Corrosion à la lame de cuivre	ASTM D 130	--	--	1
Point d'éclair, (°C)	ASTM D 93	86	55 mini	61 min
			--	120 max
Point de trouble, (°C)	ASTM D 2500	0	--	- 5 min
Hiver			--	+ 5 max
Eté				
TLF, (°C)	IP 309	-3	--	-15 min
Hiver			--	-0 max
Eté				
Point d'écoulement, (°C)	NA 2660	-6	-12 max	--
▪ Hiver du 1/11 au 30/03			-7 max	--
▪ Eté du 1/04/ au 30/10				
Polyaromatiques, (%pds)	IP 391	--	--	11 max

Tableau 5.11: comparaison des principaux résultats du GO<sub>1</sub> avec la norme algérienne et européenne

(--): n'est pas spécifié ou n'est pas mesuré.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus sont conformes à la norme algérienne, mais il ne sont pas conformes à la norme européenne. Ci après un tableau qui représente les résultats qui ne sont pas conformes aux deux normes.

### 2.2.6) Résumé des résultats du GO<sub>1</sub>

SPECIFICATIONS	Résultats	Limites (1999)	
		NA 8110	EN 590
Densités à 15°C	0,847	0,810 – 0,860	0,820 – 0,845
Distillation, (°C)			
90 % vol	355	350 max	--
95% vol	373	--	360 max
Teneur en soufre (p.p.m.)	1167	1500	350

Tableau 5.12:Résumé des résultats du GO<sub>1</sub>

### 2.2.7) Commentaires sur les résultats obtenus

1. **densité** : on constate que la densité du GO<sub>1</sub> ne sort pas de l'intervalle limité par la norme NA8110. par contre, elle sort de l'intervalle limité par la norme EN590.

#### 2. Distillation

- Nous remarquons que la température d'ébullition du GO<sub>1</sub> qui correspond à 90 % vol dépasse la valeur limitée par la norme NA8110 de **5°C**. de l'autre côté, on remarque que la norme EN590 ne spécifié pas une valeur pour ce point.
- Nous remarquons aussi que la température d'ébullition du GO<sub>1</sub> à 95%vol dépasse la valeur limitée par la norme EN590 de **13°C**. d'autre part, il n y a pas de valeur limite dans la norme NA8110.

A titre d'information, ces deux points **limite la proportion en fraction lourdes** qui ne doit pas être trop élevée, car elle agit directement sur la dégradation de la pulvérisation en fines gouttelettes du gasoil, lors de son injection dans la chambre de combustion, et ainsi elle nuit le déroulement optimal de la combustion[6].

Pour cela, on voit bien que la norme EN590 limite le point 90% en volume par une température de 360°C.

3. **La teneur en soufre** du GO<sub>1</sub> respecte la limite donnée par la norme NA8110, par contre elle est **quatre fois supérieure à la limite donnée par la norme EN590.**

#### 4. Résidu Conradson

On remarque que le résidu conradson du gasoil léger est conforme à la norme européenne EN590, cela revient en fait à la nature du brut utilisé.

Il n'y a pas de norme algérienne concernant le résidu conradson parce que les bruts algériens sont légers ( $d < 8,820$ ) et ne contiennent pas beaucoup des fractions lourdes.

Il faut noter que la teneur en cendre est liée directement au résidu conradson (la mesure de la teneur en cendres se fait à partir d'un échantillon de carbone conradson), elle augmente proportionnellement avec le % en poids du résidu Conradson, donc on peut limiter la valeur de la teneur en cendres avec celle du résidu conradson.

#### 5. Le point d'éclair

On remarque que la norme EN590 donne un intervalle qui varie de 61 à 120°. Ce qui ne figure pas dans la norme NA8110. Mais le point d'éclair est conforme aux deux normes.

#### 6. point de trouble

Le point de trouble est spécifié uniquement dans la norme EN590, Mais le résultat obtenu est conforme à cette norme.

#### 7. La température limite de filtrabilité (TLF)

La TLF, elle aussi est spécifié uniquement dans la norme EN590. il faut noter qu'elle est très intéressante à connaître car elle est en relation directe avec le colmatage des filtres dans la pompe d'injection.

De toute façon, la TLF du gasoil léger est conforme à la norme EN590.

#### 8. Le point d'écoulement

Contrairement au point de trouble et la TLF le point d'écoulement n'est spécifié que dans la norme NA8110. Il n'est pas spécifié dans la norme EN590 parce qu'il y a la TLF qui prend sa place comme une caractéristique à froid pour les gasoils alimentant les moteurs diesel.

Le point d'écoulement du GO<sub>1</sub> est conforme à la norme NA8110.

### 9. La teneur en Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

Nous remarquons que la norme EN590 donne une valeur limite pour la teneur en HAP, alors que la norme NA8110 ne donne pas de valeur. De plus, nous n'avons pas pu la mesurer.

Comme une conclusion sur ces différents commentaires, on peut dire que le gasoil léger issu de la distillation atmosphérique de la raffinerie d'Alger n'est pas utiliser directement pour l'alimentation des véhicules diesel. Il est utilisé (en partie) comme une base pour la formulation du gasoil marché intérieur GOMI, que l'ont présente par la suite.

2.3) Echantillon 3 : Gasoil marché intérieur (GOMI<sub>A</sub>)2.3.1) Caractéristiques physico-chimiques du GOMI<sub>A</sub>

Résultats obtenus par mesure		
Caractéristiques	Normes	Résultats
Couleur	ASTM D 1500	<0,5
Densités à 20°C	ASTM D 4052	0,8312
Indice de réfraction n <sup>20</sup>	ASTM D 1218	1.4655
Viscosité cinématique en cSt à :	ASTM D 445	
▪ 20.0°C/68°F		4,94
▪ 37,8°C/ 100 °F		3,20
▪ 50°C/ 122 °F		2,48
Teneur en soufre, p.p.m.	ASTM D 4294 – 93	882
Carbone Conradson, (%pds)	ASTM D 4530	0,016
Teneur en cendres, (%pds)	ASTM D 482	<0,016
Point de trouble, (°C)	NF T 60 –105	-6
Point d'écoulement, (°C)		-12
Température limite de filtrabilité, (°C)	NF M 07 042	-8
Point d'éclair, vase fermé, (°C)	ASTM D 56	62
Point d'aniline, (°C)	ASTM D 611	74
Résultats obtenus par calcul		
Caractéristique	Méthode de calcul	Résultats
Densité à 15°C	Tables de conversion	0,834
Densité °API	Corrélation	37,90
Température d'ébullition moyenne, (°C)	Abaque	270,8
Facteur de caractérisation (K <sub>UOP</sub> )	Corrélation et abaque	11,87
Poids moléculaire moyen, (g/mole)	Corrélation et abaque	211,8
Viscosité cinématique en (cSt) 98,9°C/210°F	Corrélation	1,23
Indice diesel	Corrélation et abaque	63
Indice de cétane	Corrélation et abaque	54
Pouvoir calorifique supérieur (kJ/kg)	Abaque	46364,5
Pouvoir calorifique inférieur volumique (kJ/l)	Abaque et corrélation	35656,6

Tableau 5.13: caractéristiques physico-chimiques du GOMIA

(Suite du tableau )

Caractéristique	Méthode de calcul	Résultats
Teneur en carbone	n.d.M	
▪ Paraffines, (%pds)		66,4
▪ Naphtène, (%pds)		19,0
▪ Aromatiques, (%pds)		14,6
Teneur en carbone	n.d.PA	
▪ Paraffines, (%pds)		64,7
▪ Naphtène, (%pds)		20,7
▪ Aromatiques, (%pds)		14,6

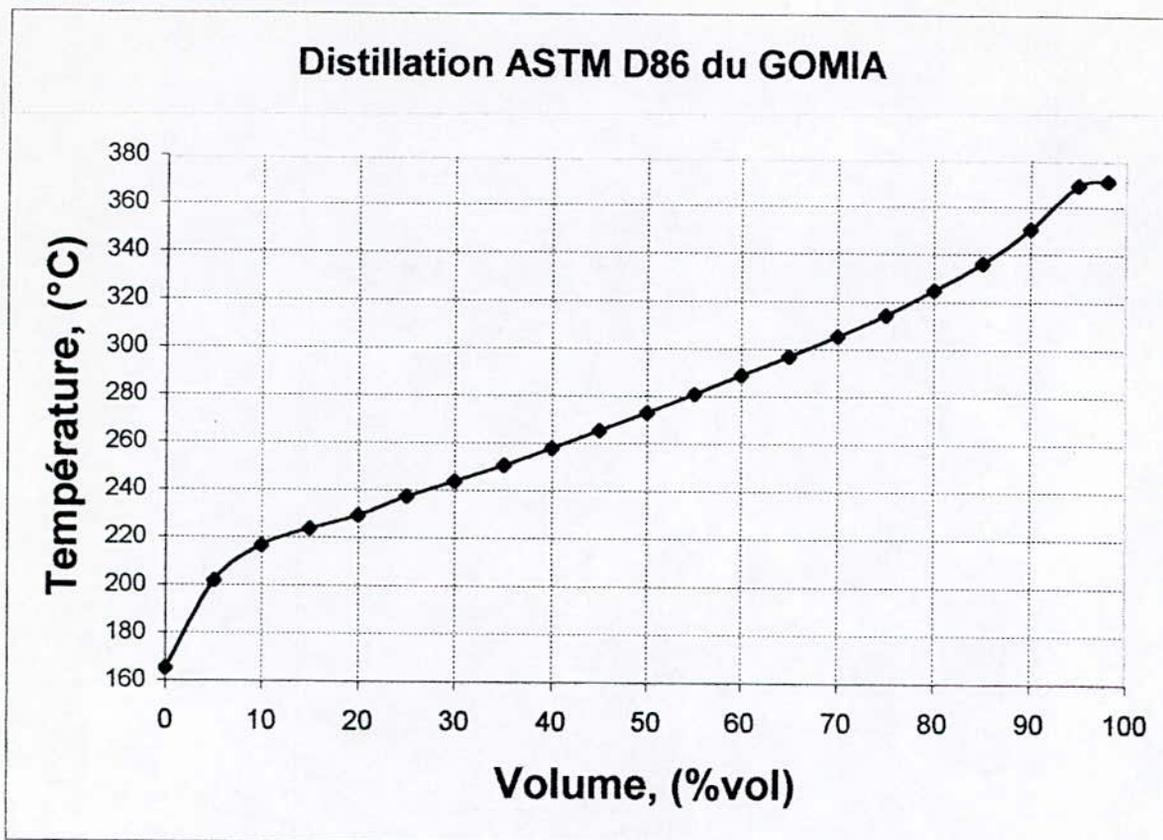
2.3.2) Résultat de la distillation ASTM D 86 du GOMI<sub>A</sub>

Caractéristiques	Résultats
PI, °C	165,2
5	201,7
10	216,7
15	223,5
20	229,3
25	237,4
30	243,8
35	250,5
40	257,9
45	265,3
50	273,0
55	280,7
60	288,8
65	296,8
70	305,2
75	314,3
80	324,6
85	336,0
90	350,7
95	368,9
PF, °C	370,7
Distillat, %vol	97,1
Résidu, %vol	2,8
Pertes, % vol	0,1

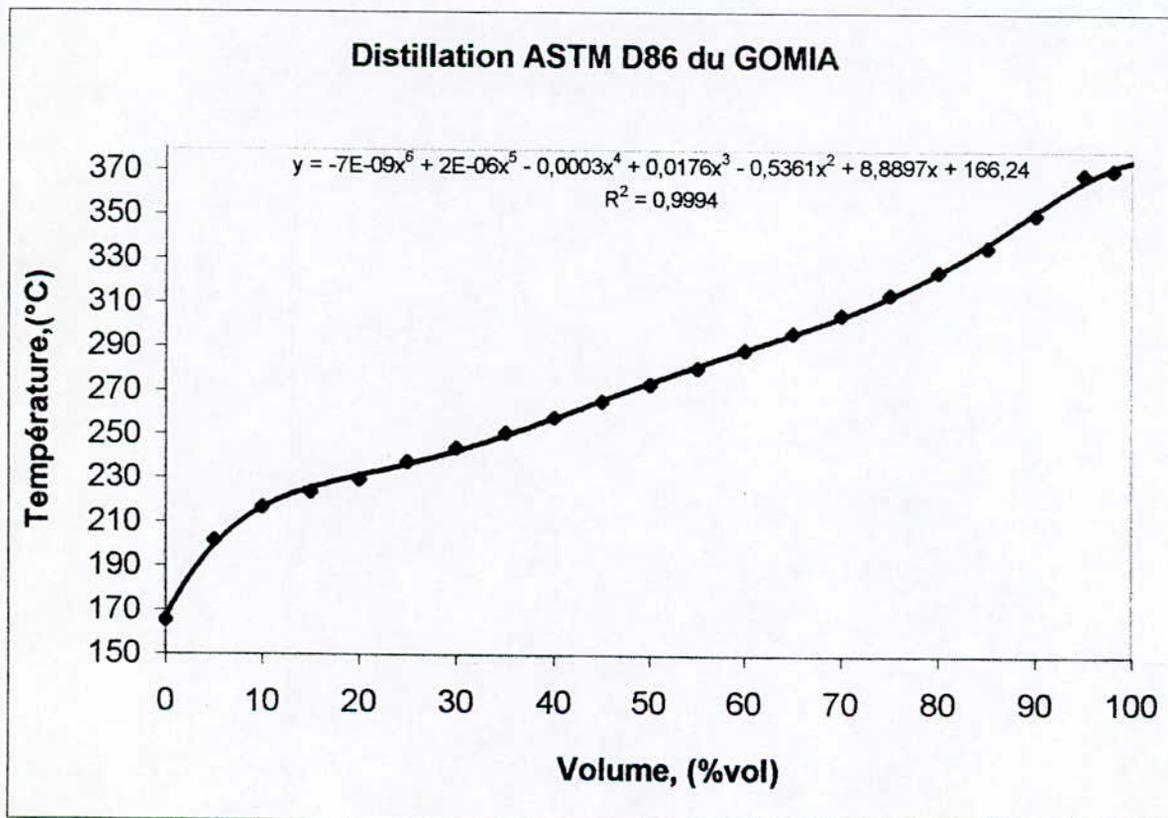
Tableau 5.14 : Résultats de la distillation ASTM du GOMI<sub>A</sub>

Avec : D+R+P=100

2.3.3) Courbe de la distillation ASTM D86



2.3.4) Courbe de lissage



2.3.5) Comparaison des principaux résultats du GOMI<sub>A</sub> avec NA 8110 et EN 590

SPECIFICATIONS	NORMES	Résultats	Limites (1999)	
			NA 8110	EN 590
Couleur	ASTM D 1500	< 0,5	2,5 max	--
Densités à 15°C	ASTM D 4052	0.834	0,810 – 0,860	0,820 – 0,845
Distillation, (°C)	ASTM D 86			
65% vol		269,8	250 mini	250 min
85% vol		336,0	--	350 max
90 % vol		350,7	350 max	--
95% vol		368,9	--	360 max
PF	370,7	390 max	--	
Viscosités à 20°C, (cSt)	ASTM D445	2,94	9 max	--
Viscosités à 40°C, (cSt)	ASTM D445	3,20	--	2,0 - 4,5
<b>Teneur en soufre, (ppm)</b>	<b>ASTM D 2622</b>	<b>882</b>	<b>1500</b>	<b>350 max</b>
Teneur en eau, (mg/kg)	ASTM D 1776	--	TND	200 max
Résidu de carbone, (%pds)	ASTM D 189	0,016	--	0,3 max
Teneur en cendres, (%pds)	ASTM D 1796	<0,016	TND	0,01 max
Indice de cétane	ASTM D 4737	54	48 mini	51 min
Corrosion à la lame de cuivre	ASTM D 130	--	--	1
Point d'éclair, (°C)	ASTM D 93	62	55 mini	61 min
			--	120 max
Point de trouble, (°C)	ASTM D 2500	-6	--	- 5 min
Hiver			--	+ 5 max
Eté				
TLF, (°C)	IP 309	-8	--	-15 min
Hiver			--	-0 max
Eté				
Point d'écoulement, (°C)	NA 2660	-12	-12 max	--
▪ Hiver du 1/11 au 30/03			-7 max	--
▪ Eté du 1/04/ au 30/10				
Polyaromatiques, (%pds)	IP 391	--	--	11 max

Tableau:5.15 comparaison des principaux résultats du GOMI<sub>A</sub> avec la norme NA8110 et EN590

2.3.6) Résumé des résultats du GOMI<sub>A</sub>

SPECIFICATIONS	Résultats	Limites (1999)	
		NA 8110	EN 590
Distillation, (°C)			
90 % vol	350,7	350 max	--
95% vol	368,9	--	360 max
<b>Teneur en soufre (p.p.m.)</b>	<b>882</b>	<b>1500</b>	<b>350</b>
Point de trouble, (°C)			
Hiver		--	- 5 min
Eté	-6	--	+ 5 max

Tableau 5.16 : Résumé des résultats du GOMI<sub>A</sub>

## 2.3.7) Commentaires

1. **La couleur** du GOMI<sub>A</sub> répond largement à la norme algérienne NA8110.
2. **Distillation**
  - a. A 90 % vol la température d'ébullition dépasse la valeur limité par la norme NA8110 de 0,7°C. D'autre part, on remarque que la norme EN590 ne spécifier pas une valeur pour ce point.
  - b. A 95%vol la température d'ébullition dépasse la valeur limité par la norme EN590 de 8,9°C. d'autre part, il n y a pas de valeur limite dans la norme NA8110.
3. **La teneur en soufre** du GOMI<sub>A</sub> respect la limite donnée par la norme NA8110, par contre elle est deux fois supérieure à la limite donnée par la norme EN590.
4. **Résidu Conradson**

On remarque que le résidu conradson du GOMI<sub>A</sub> est conforme à la norme européenne EN590. On peut dire que le teneur en cendres est négligeable et on peut dire qu'il y a des traces non dosables.
5. **Le point d'éclair**

Le point d'éclair du GOMI<sub>A</sub> est conforme à la norme NA8110. il est conforme aussi à la norme EN590 mais c'est presque la limite.
6. **point de trouble**

Le point de trouble du GOMI<sub>A</sub> est conforme à la norme EN590.

**8. Le point d'écoulement**

Le point d'écoulement du GOMI<sub>A</sub> ne respecte pas la norme NA8110.

**9. La teneur en Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

La teneur en HAP sera sûrement plus faible que celle du GO<sub>1</sub>, car la teneur en aromatiques du GOMI<sub>A</sub> est inférieure à celle du GO<sub>1</sub>.

Comme une conclusion sur ces différents commentaires, on peut dire que le GOMI<sub>A</sub> il est conforme à la norme algérienne, mais il n'est pas conforme à la norme européenne.

2.4) Echantillon 4 : Gasoil marché intérieur (GOMI<sub>s</sub>)2.4.1) Caractéristiques physico-chimiques du GOMI<sub>s</sub>

Résultats obtenus par mesure		
Caractéristiques	Normes	Résultats
Couleur	ASTM D 1500	<0,5
Densités à <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 15°C</li> <li>▪ 20 °C</li> </ul>	ASTM D 4052	0,8265 0,8229
Indice de réfraction n <sup>20</sup>	ASTM D 1218	1,46002
Viscosité cinématique en (cSt) à : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 20.0°C/68°F</li> <li>▪ 37,8°C/ 100 °F</li> <li>▪ 50°C/ 122 °F</li> </ul>	ASTM D 445	4,42 2,93 2,32
<b>Teneur en soufre, (p.p.m.)</b>	<b>ASTM D 4294 – 93</b>	<b>418</b>
Carbone Conradson, (%pds)	ASTM D 4530	0,023
Teneur en cendres, (%pds)	ASTM D 482	<0,023
Point de trouble, (°C)	NF T 60 –105	-8
Point d'écoulement, (°C)		-9
Température limite de filtrabilité, (°C)	NF M 07 042	-8
Point d'éclair, vase fermé, (°C)	ASTM D 56	67
Point d'aniline, (°C)	ASTM D 611	77,2
Résultats obtenus par calcul		
Caractéristique	Méthode de calcul	Résultats
Densité °API	Corrélation	39,60
Température d'ébullition moyenne, (°C)	Abaque	264,7
Facteur de caractérisation (K <sub>UOP</sub> )	Corrélation et abaque	11,98
Poids moléculaire moyen, (g/mole)	Corrélation et abaque	206,75
Viscosité cinématique en (cSt) à 98,9°C/210°F	Corrélation	1,19
Indice diesel	Corrélation et abaque	67,8
Indice de cétane	ASTM D 4737	56
Pouvoir calorifique supérieur (kJ/kg)	Abaque	45771
Pouvoir calorifique inférieur volumique (kJ/l)	Abaque et corrélation	35339,2

Tableau 5.17 : Caractéristiques physico-chimiques du GOMI<sub>s</sub>

(Suite du tableau)

Caractéristique	Méthode de calcul	Résultats
Teneur en carbone	n.d.M	
▪ Paraffines, (%pds)		68,3
▪ Naphtène, (%pds)		20,4
▪ Aromatiques, (%pds)		11,3
Teneur en carbone	n.d.PA	
▪ Paraffines, (%pds)		67,3
▪ Naphtène, (%pds)		20,8
▪ Aromatiques, (%pds)		11,8

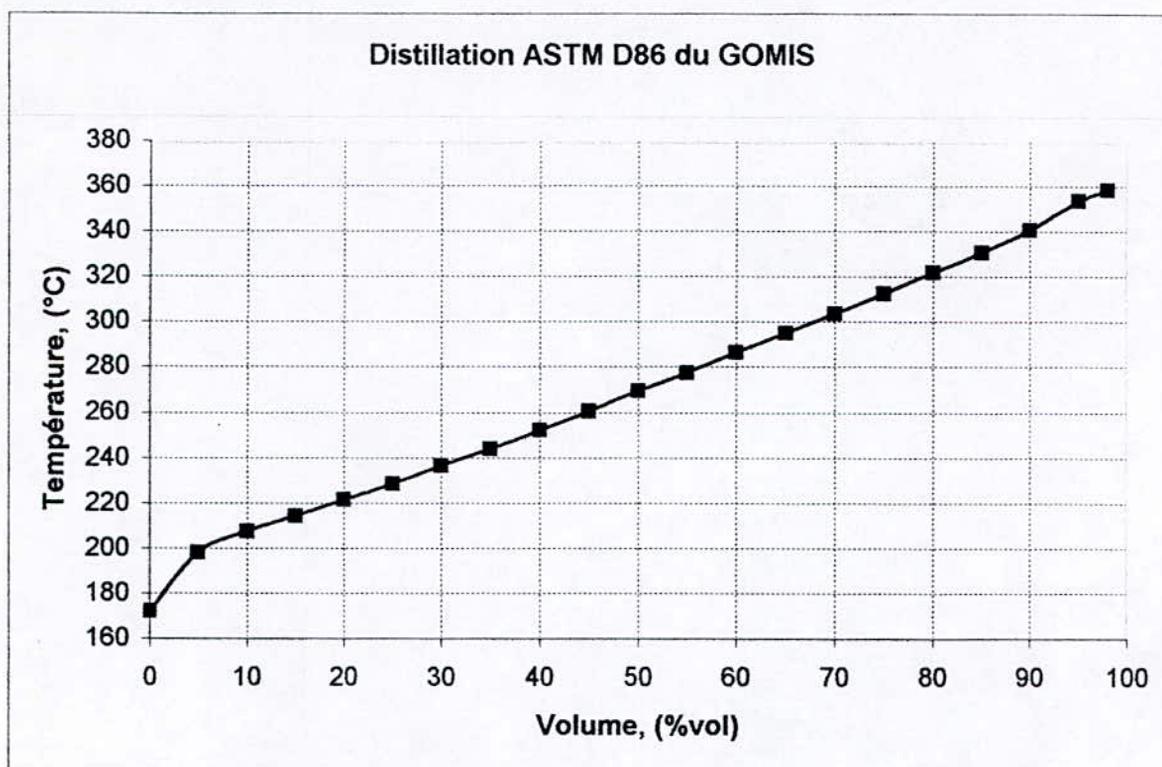
2.4.2) Résultats de la distillation ASTM D86 du GOMI<sub>s</sub>

Caractéristiques	Résultats
PI, °C	172
5	198
10	207,3
15	214,3
20	221,4
25	228,6
30	236,6
35	243,9
40	252,2
45	260,5
50	269,4
55	277,2
60	286,4
65	294,9
70	303,4
75	312,4
80	321,7
85	330,7
90	340,7
95	353,4
PF, °C	358,4
Distillat, %vol	97,7
Résidu, %vol	2,2
Pertes, % vol	0,1

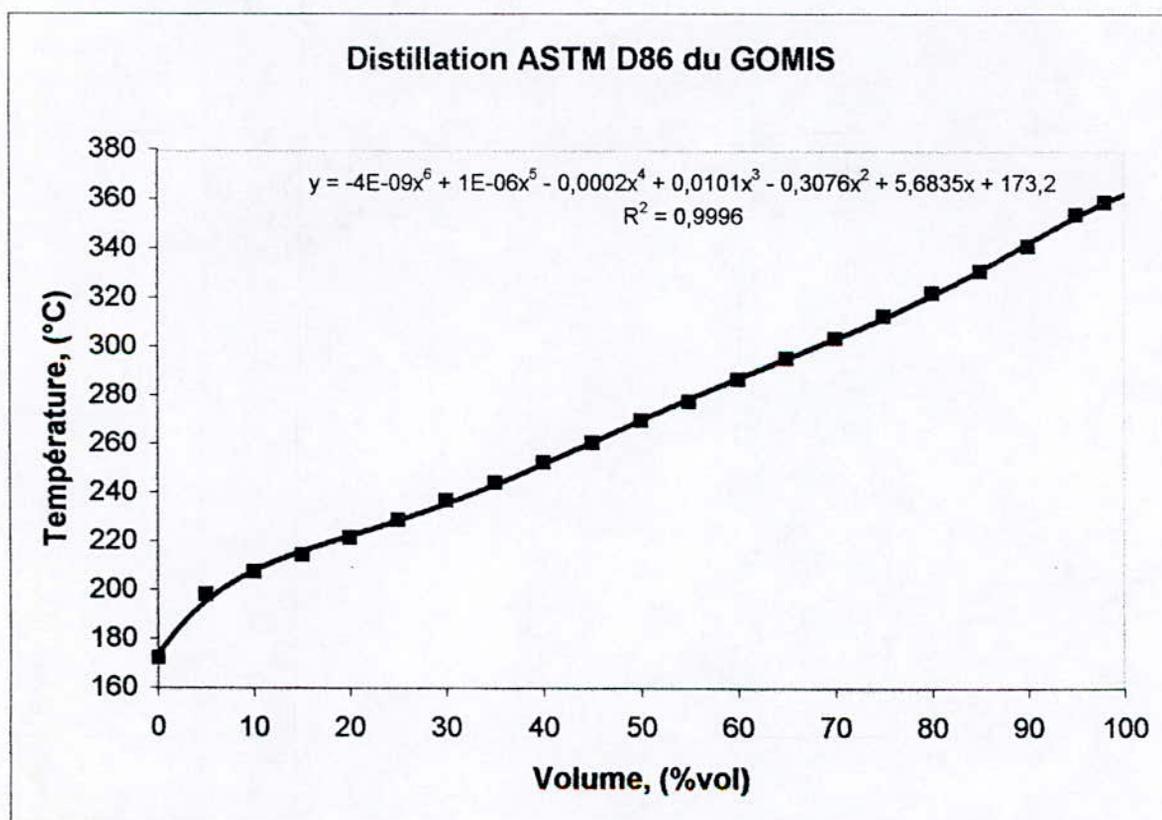
Tableau 5.18 : Résultats de la distillation ASTM du GOMI<sub>s</sub>

Avec : D+R+P=100.

2.4.3) Courbe de la distillation ASTM D86 du GOMI<sub>S</sub>



2.4.4) Courbe de lissage du GOMI<sub>S</sub>



2.4.5) Comparaison des principaux résultats du GOMI<sub>S</sub> avec NA8110 et EN590

2.4.5) Comparaison des principaux résultats du GOMI<sub>S</sub> avec NA8110 et EN590

SPECIFICATIONS	NORMES	Résultats	Limites	
			(1999) NA 8110	(2000) EN 590
Couleur	ASTM D 1500	1	2,5 max	—
Densités à 15°C	ASTM D 4052	0,8265	0,810 – 0,860	0,820 – 0,845
Distillation, (°C)	ASTM D 86			
65% vol		294,9	250 mini	250 min
85% vol		330,7	350 max	350 max
90 % vol		340,7	350 max	--
95% vol		353,4	--	360 max
PF	358,4	390 max	--	
Viscosités à 20°C, cSt	ASTM D445	4,42	9 max	--
Viscosités à 40°C, cSt	ASTM D445	2,93	--	2,0 - 4,5
<b>Teneur en soufre (p.p.m.)</b>	<b>ASTM D 2622</b>	<b>418</b>	<b>1500</b>	<b>350</b>
Indice de cétane	ASTM D 4737	56	48 mini	51 min
Teneur en eau, (mg/kg)	ASTM D 1776	--	TND	200 max
Résidu de carbone, (%pds)	ASTM D 189	0,023	--	0,3 max
Teneur en cendres, (%pds)	ASTM D 1776	<0,023	TND	0,01 max
Corrosion à la lame de cuivre	ASTM D 130	--	--	1
Point d'éclair, (°C)	ASTM D 93	67	55 mini	61 min
			--	120 max
Point de trouble, (°C)	ASTM D 2500	-8	--	- 5 min
Hiver			--	+ 5 max
Eté				
TLF, (°C)	IP 309	-8	--	-15 min
Hiver			--	-0 max
Eté				
Point d'écoulement, (°C)	NA 2660	-9	-12 max	--
▪ Hiver du 1/11 au 30/03			-7 max	--
▪ Eté du 1/04/ au 30/10				
Polyaromatiques, (%pds)	IP 391	--	--	11 max

Tableau 5.19: comparaison des principaux résultats du GOMI<sub>S</sub> avec la norme algérienne et européenne

2.4.6) Résumé des résultats du GOMI<sub>S</sub>

SPECIFICATIONS	Résultats	Limites (1999)	
		NA 8110	EN 590
Teneur en soufre, (p.p.m.)	418	1500	350
Point de trouble, (°C)			
Hiver	-8	--	- 5 min
Eté		--	+ 5 max

Tableau 5.20: Résumé des résultats du GOMI<sub>S</sub>

## 2.4.7) Commentaires sur les résultats obtenus

1. **La couleur** du GOMI<sub>S</sub> répond largement à la norme algérienne NA8110.

2. **Distillation**

Les points de distillation ASTM du GOMI<sub>S</sub> sont conformes à la norme NA8110 et EN590

3. **La teneur en soufre** du GOMI<sub>S</sub> respecte largement la limite donnée par la norme NA8110, par contre elle est **une fois supérieure à la limite donnée par la norme EN590**.

A titre d'information la raffinerie de Skikda exporte actuellement un gasoil qui répond aux spécifications européennes EN590.

4. **Résidu Conradson**

On remarque que le résidu Conradson du GOMI<sub>S</sub> est conforme à la norme européenne EN590. Ainsi, pour la teneur en cendres, elle est négligeable.

5. **Le point d'éclair**

Le point d'éclair du GOMI<sub>S</sub> répond largement aux deux normes.

6. **Point de trouble**

Le point de trouble du GOMI<sub>A</sub> n'est pas conforme à la norme EN590.

7. **La température limite de filtrabilité (TLF)**

La TLF du GOMI<sub>S</sub> est conforme à la norme EN590.

8. **Le point d'écoulement**

Le point d'écoulement du GOMI<sub>S</sub> ne respecte pas la norme NA8110.

9. **La teneur en Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

La teneur en HAP sera sûrement plus faible que celle du GO<sub>I</sub> et le GOMI<sub>A</sub>, car la teneur en aromatiques est plus faible.

Comme conclusion sur le GOMI<sub>s</sub>, on peut dire que sa qualité est la meilleure parmi les différents échantillons analysés. C'est un gasoil de bonne qualité.

Pour pousser notre étude plus loin, nous avons ajouté à notre étude un autre gasoil, qui est le gasoil de Hassi-Messaoud étudié l'année dernière [1].

### **2.5) GasOil de Hassi-Messaoud (GOHM)**

Les principaux résultats des propriétés physico-chimiques du gasoil de Hassi-Messaoud sont représentés dans les tableaux ci-dessous :

## 2.5.1) Caractéristiques physico-chimiques du GOHM

Caractéristiques	Normes et calcul	Résultats
Couleur	ASTM D 1500	1,5
Densités à 15°C	ASTM D 40 52	0,8324
Indice de réfraction n <sup>20</sup>	ASTM D 1218	1,4681
Viscosité cinématique en cSt à :	ASTM D 445	
▪ 20.0°C/68°F		4,59
▪ 37,8°C/ 100 °F		3,09
▪ 50°C/ 122 °F		2,41
▪ 70°C/158°F		1,76
▪ 98,9°C/210°F		1,05
<b>Teneur en soufre, (p.p.m.)</b>	<b>ASTM D 4294 – 93</b>	<b>1027</b>
Carbone Conradson, (%pds)	ASTM D 4530	0,1183
Teneur en cendres, (%pds)	ASTM D 482	T.N.D
Point de trouble, (°C)	NF T 60 –105	2
Point d'écoulement, (°C)		-16
Température limite de filtrabilité, (°C)	NF M 07 042	-5
Point d'éclair, vase fermé, (°C)	ASTM D 56	59,1
Point d'aniline, (°C)	ASTM D 611	68,6
Corrosion à la lame de cuivre 3h à 50°C	NF M 07-015	1a
Indice de d'acidité, (mg KOH/g)	NF M 07-049	0,045
Densité °API	Corrélation	38,3
Température d'ébullition moyenne, (°C)	Abaque	263,9
Indice diesel	Corrélation et abaque	59,5
Indice de cétane	Corrélation et abaque	53,3
Pouvoir calorifique supérieur, (KJ/kg)	Abaque	45780,2
Pouvoir calorifique inférieur volumique (KJ/l)	Abaque et corrélation	35632,1
Poids moléculaire moyenne, (g/mole)	Corrélation et abaque	205
Facteur de caractérisation (K <sub>UOP</sub> )	Corrélation et abaque	11,9

Tableau 5.21: caractéristiques physico-chimiques du gasoil de Hassi-Messaoud [1]

(Suite du tableau)

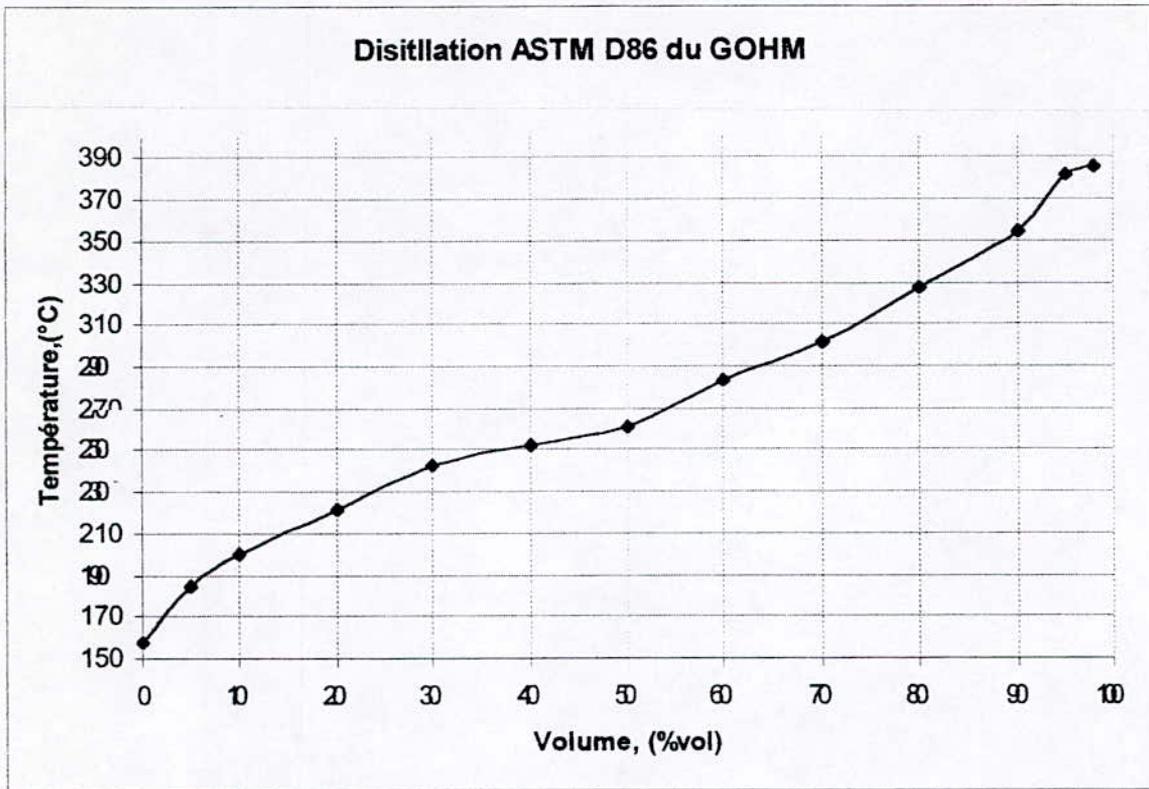
Caractéristique	Méthode de calcul	Résultats
Teneur en carbone	n.d.M	69,2
▪ Paraffines, (%pds)		10,9
▪ Naphtène, (%pds)		19,9
▪ Aromatiques, (%pds)		
Teneur en carbone	n.d.PA	62,7
▪ Paraffines, (%pds)		17,2
▪ Naphtène, (%pds)		20,1
▪ Aromatiques, (%pds)		

## 2.5.2) résultats de la distillation ASTM D86 du GOHM

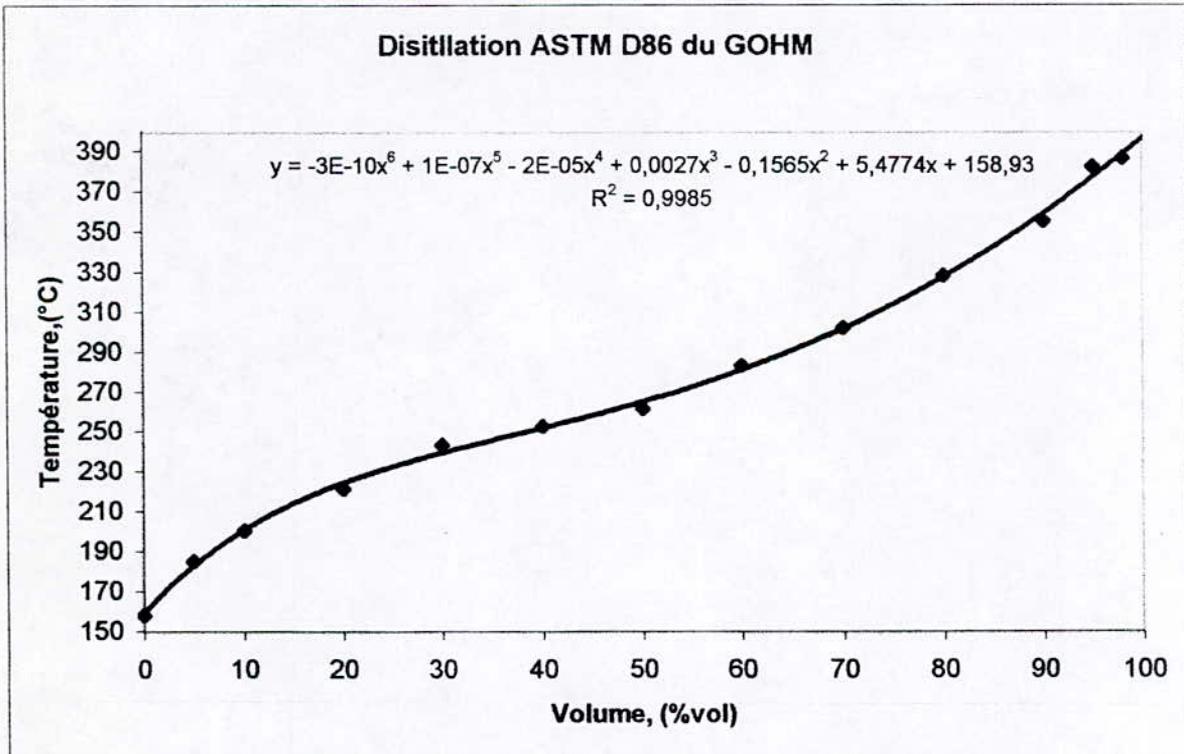
Caractéristiques	Résultats
PI, °C	158
5	185
10	200
20	220
30	24
40	252
50	261
60	283
70	302
80	328
90	355
PF, °C	386
Distillat, %vol	98,5
Résidu, %vol	1,5
Pertes, % vol	0

Tableau 5.22: Résultats de la distillation ASTM D86 du GOHM

2.5.3) Courbe de distillation ASTM D 86 du GOHM



2.5.4) Courbe de lissage du GOHM



## 2.5.5) Comparaison du GOHM avec la norme NA 8110 et EN590

SPECIFICATIONS	NORMES	Résultats	Limites (1999)	
			NA 8110	EN 590
Couleur	ASTM D 1500	1,5	2,5 max	--
Densités à 15°C	ASTM D 4052	0,8324	0,810 – 0,860	0,820 – 0,845
Distillation, (°C)	ASTM D 86			
65% vol		294	250 mini	250 min
85% vol		340	--	350 max
90 % vol		356	350 max	--
95% vol		382	--	360 max
PF		386	390 max	--
Viscosités à 20°C, (cSt)	ASTM D445	4,59	9 max	--
Viscosités à 40°C, (cSt)	ASTM D445	3,09	--	2,0 - 4,5
<b>Teneur en soufre (p.p.m.)</b>	<b>ASTM D 2622</b>	<b>1027</b>	<b>1500</b>	<b>350</b>
Teneur en eau, (mg/kg)	ASTM D 1776	--	TND	200 max
Teneur en cendres, (%pds)	ASTM D 1796	--	TND	0,01 max
Indice de cétane	ASTM D 4737	53,3	48 mini	51 min
Résidu de carbone, (%pds)	ASTM D 189	0,1183		0,3 max
Corrosion à la lame de cuivre	ASTM D 130	1a	--	1
Point d'éclair, (°C)	ASTM D 93	59,1	55 mini --	61 min 120 max
Point de trouble, (°C)	ASTM D 2500			
Hiver		2	--	- 5 min
Eté			--	+ 5 max
TLF, (°C)	NF M 07 042			
Hiver		-5	--	-15 min
Eté			--	-0 max
Point d'écoulement, (°C)	NF T 60 – 105			
▪ Hiver du 1/11 au 30/03		-16	-12 max	--
▪ Eté du 1/04/ au 30/10			-7 max	--
Polyaromatiques, (%pds)	Par analyse UV(*)	1,72	--	11 max

Tableau 5.23: comparaison des principaux résultats du GOHM avec la norme NA8110 et EN590

(\*) : l'analyse UV c'est pas une norme.

## 2.5.6) Résumé des résultats du GOHM

SPECIFICATIONS	Résultats	Limites (1999)	Limites (2000)
		NA 8110	EN 590
Distillation, (°C)			
90 % vol	356	350 max	--
95% vol	382	--	360 max
<b>Teneur en soufre (p.p.m.)</b>	<b>1027</b>	<b>1500</b>	<b>350</b>
Point d'éclair, (°C)	59,1	55 mini	61 min
		--	120 max

Tableau 5.24: caractéristiques du GOHM qui ne sont pas conforme avec NA8110 et EN590

## 2.5.7) Commentaires

## 1. Distillation

1. A 90 % vol la température d'ébullition dépasse la valeur limitée par la norme NA8110 de 6°C.
2. A 95%vol la température d'ébullition dépasse la valeur limitée par la norme EN590 de 22°C.

Cela revient en fait, que le GOHM est un **gasoil total**. Car son point initial PI est de 158 °C et le point final 386°C. En plus en tenant compte de l'intervalle de la coupe spécifié du gasoil (150 à 180 °C pour le PI et 360 à 380°C pour PF), on remarque que le GOHM sort de l'intervalle de 6°C.

2. **La teneur en soufre** du GOHM respecte la limite donnée par la norme NA8110, par contre elle est trois fois **supérieure à la limite donnée par la norme EN590**.

## 3. Le point d'éclair

Le point d'éclair du GOHM n'est pas conforme à la norme EN590, cela est dû au fait, que le point initial est bas (158°C).

**Remarque :**

On constate que le GOHM est conforme à la norme NA8110, qui doit être sévère, surtout pour ce gasoil, car la région de Hassi-Messaoud est une région chaude !!! (Température climatique supérieure à 40°C). par contre on remarque que la norme EN590 est plus sévère, malgré que la température dans les pays européens dépasse rarement 40°C.

---

**Chapitre 6**  
**Synthèses des résultats**  
**obtenus**

## INTRODUCTION

Dans cette partie, nous avons présenté une synthèse des différents résultats obtenus dans le chapitre 4. Nous allons faire dans ce chapitre une étude comparative entre les différents échantillons.

Pour ce faire, nous avons divisé notre travail en trois parties :

- Une étude comparative entre les principaux résultats des échantillons de la RA,
- Une étude comparative entre les principaux résultats du GOMI<sub>S</sub> avec le kéro et le GO<sub>1</sub> de la RA,
- Une étude comparative entre les principaux résultats du GOHM avec le kéro et le GO<sub>1</sub> de la RA
- Une étude comparative entre les différents gasoils marché intérieur .

### 1. Etude comparative entre les principaux résultats des échantillons de la RA

Caractéristiques	Norme	Résultats kéro	Résultats GO <sub>1</sub>	Résultats GOMIA
Densités à 15°C	ASTM D 40 52	0,799	0,847	0,834
Viscosité cinématique en cSt à :	ASTM D 445			
▪ 20,0°C/68°F		<2,03	7,38	4,94
▪ 37,8°C/100°F		--	4,51	3,20
Teneur en soufre, (p.p.m)	ASTM D 4294 – 93	87	1167	882
Point de trouble,(°C)	NF T 60 –105	--	0	-6
Point d'écoulement,(°C)		--	-6	-12
TLF,(°C)	NF M 07 042	--	-3	-8
Point d'éclair ,(°C)	ASTM D 56	42	86	62
Point d'aniline,(°C)	ASTM D 611	64	77	74
Densité °API	Corrélation	45,34	35,36	37,90
Indice de cétane	Corrélation et abaque	50	56	54
Pouvoir calorifique inférieur volumique (KJ/l)	Abaque et corrélation	34526,1	36034,7	35656,7
Température d'ébullition moyenne, (°C)	Abaque	211,0	297,7	270,8
Poids moléculaire moyen, (g/mole)	Corrélation et abaque	166,3	234,9	211,8
Facteur de caractérisation (K <sub>UOP</sub> )	Corrélation et abaque	11,94	11,90	11,89(*)

Tableau 6.1: étude comparative entre les principaux résultats des échantillons de la RA

(\*) : l'explication pour cette valeur est donnée avec les comparaisons des résultats de la teneur en carbone.

Nous remarquons d'après ces résultats que les caractéristiques du  $GOMI_A$  se trouve entre les caractéristiques du kéro et les caractéristiques du  $GO_1$ , cela, revient en fait que le Gomi est un mélange de  $GO_1$  et du Kéro.

Il faut noter que le l'injection du kérosène permet d'améliorer la tenue au froid du gasoil comme nous remarquons dans le tableau. Nous remarquons aussi que **l'indice de cétane à diminuer ?**.

On constate aussi, parmi ces résultats, que la teneur en soufre dans le  $GOMI_A$  à diminuer de 265 p.p.m lorsque on injectant du kérosène dans le gasoil léger. Donc il est intéressant de savoir quelle est le % en kéro dans le  $GOMI_A$ . Pour cela, nous avons tracé des courbes de distillation de ces trois échantillons en fonction du %du volume distillé.

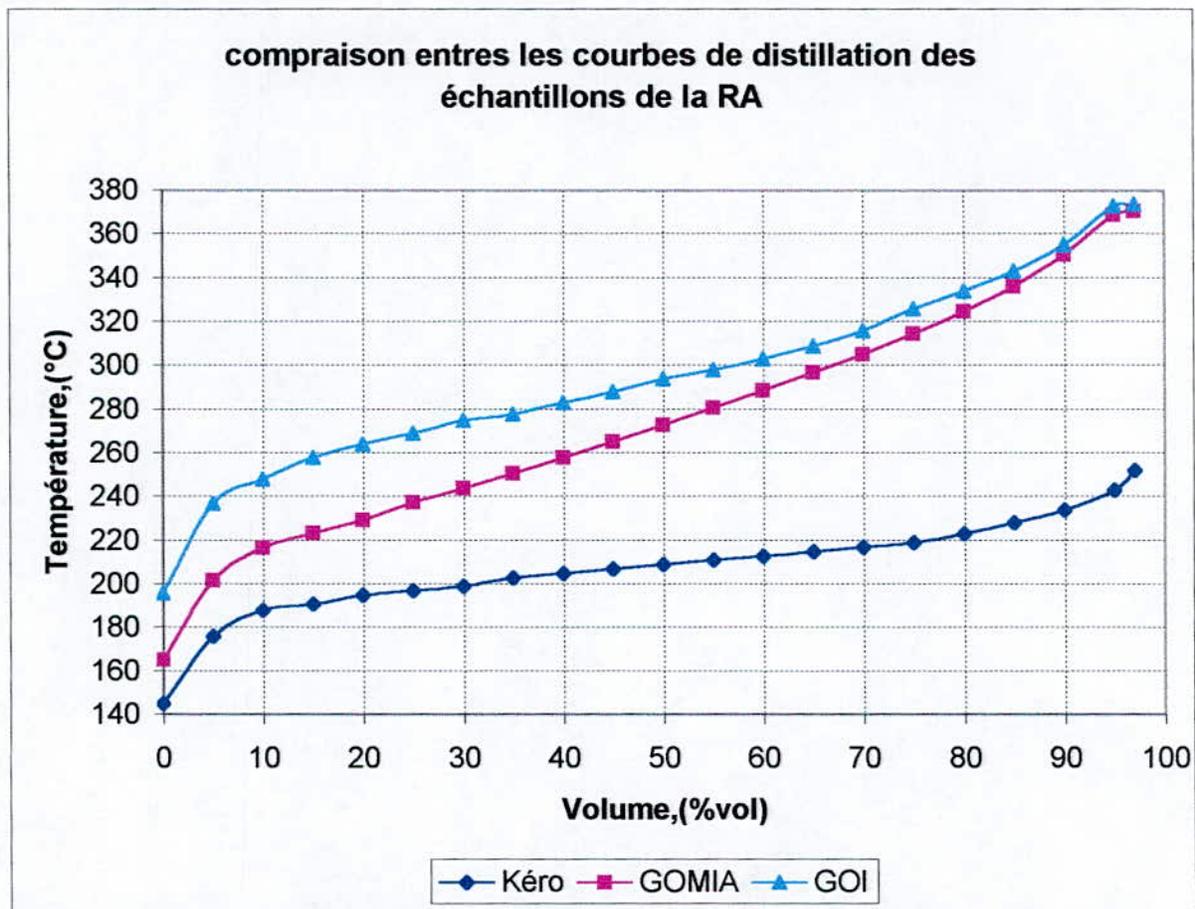


Figure 6.1: comparaisons entre les différents courbe de distillation des échantillons de la RA

On remarque d'après cette figure, que les points initiaux de ces courbes de distillation sont distinctes. Par contre, si on compare les point finaux, on trouve que le  $GOMI_A$  et le  $GO_1$  ont presque le même point final. Cela revient, au fait, que le  $GO_1$  est complètement utilisé pour la formulation du  $GOMI_A$ .

La diminution du point initial du GOMI<sub>A</sub>, revient en fait, à l'injection du kérosène pendant le soutirage de la colonne de distillation atmosphérique (cf.§.chapitre2).

On constate aussi, qu'il y a 12% en volume du kérosène dans le GO<sub>1</sub>, ce qui constitue 80% en volume dans la coupe kérosène.

D'autre part, on remarque aussi, que 36% en volume du kérosène est dans le GOMI<sub>A</sub>, ce % constitue 95% en volume de la coupe kérosène.

On peut dire donc qu'à presque totalité du kérosène est injecté dans le GO<sub>1</sub> pour formuler le gasoil marché intérieur.

**Donc si on veut diminuer la teneur en soufre de 265 ppm, il faut injecter 24 % en volume du kérosène !.**

Si en plus, on fait une comparaison entre les teneurs en carbone de ces trois échantillons, on trouve que la teneur en carbone du GOMI<sub>A</sub> et entre la teneur en carbone du kéro et la teneur en carbone du GO<sub>1</sub>. la tableau suivant regroupe les teneurs en carbone des différents échantillons de la RA.

Caractéristique	Résultats du kéro	Résultats du GO <sub>1</sub>	Résultats du GOMI <sub>A</sub>
Teneur en carbone (n.d.M)			
▪ Paraffines, (%pds)	77,9	64,0	66,4
▪ Naphtène, (%pds)	17,1	20,4	19,0
▪ Aromatiques, (%pds)	10,0	15,6	14,6
Teneur en carbone (n.d.PA)			
▪ Paraffines, (%pds)	59,5	66,0	64,7
▪ Naphtène, (%pds)	26,4	19,3	20,7
▪ Aromatiques, (%pds)	14,1	14,7	14,6

**Tableau 6.2: comparaison entre les résultats de la teneur en carbone des échantillons de la RA**

La valeur de facteur de caractérisation du GOMI<sub>A</sub> se justifie par le % en Naphtène dans le kérosène qui est plus élevé que celui du GO<sub>1</sub>.

## 2. Etude comparative entre les principaux résultats du GOMIS avec le kéro + GO<sub>1</sub> de la Raffinerie d'Alger (RA)

Caractéristiques	Norme	Résultats kéro	Résultats GO <sub>1</sub>	Résultats GOMIS
Densités à 15°C	ASTM D 40 52	0,799	0,847	0,8265
Viscosité cinématique en cSt	ASTM D 445			
▪ 20,0°C/68°F		<2,03	7,38	4,42
▪ 37,8 °C/100°F		--	4,51	2,93
<b>Teneur en soufre, (p.p.m)</b>	<b>ASTM D 4294 – 93</b>	<b>87</b>	<b>1167</b>	<b>418</b>
Point de trouble,(°C)	NF T 60 –105	--	0	-8
Point d'écoulement,(°C)		--	-6	-9
TLF,(°C)	NF M 07 042	--	-3	-8
Point d'éclair ,(°C)	ASTM D 56	42	86	67
<b>Point d'aniline,(°C)</b>	<b>ASTM D 611</b>	<b>64</b>	<b>77</b>	<b>77,2</b>
Densité °API	Corrélation	45,34	35,36	39,6
Température d'ébullition moyenne, (°C)	Abaque	211,0	297,7	264,7
Indice de cétane	Corrélation et abaque	50	56	56
Pouvoir calorifique inférieur volumique (KJ/l)	Abaque et corrélation	34526,1	36034,7	35339,2
Poids moléculaire moyen, (g/mole)	Corrélation et abaque	166,3	234,9	206,7
<b>Facteur de caractérisation (K<sub>UOP</sub>)</b>	<b>Corrélation et abaque</b>	<b>11,94</b>	<b>11,90</b>	<b>11,98<sup>(*)</sup></b>

Tableau 6.3: étude comparative entre les principaux résultats des échantillons de la RA

On constate d'après ce tableau qu'il y a 2 caractéristiques qui ne sont pas entre celles du kéro et du GO<sub>1</sub> ( point d'aniline et K<sub>UOP</sub>). Cela revient en fait, à la teneur en carbone qui est différente, comme il est montré par la suite. Ainsi, nous remarquons que les caractéristiques à froid du GOMIS sont proches l'une de l'autre de 1°C, ce qui est vraiment singulier, car comme nous l'avons déjà cité en partie théorique, l'écart entre le point d'écoulement et le point de trouble est environ de 5 à 15°C. De même, cela revient à la teneur en carbone et au point final de distillation.

On remarque aussi que le pouvoir calorifique inférieur volumique du GOMIS est inférieur à celui du GO<sub>1</sub>, c'est évident parce qu'il augmente avec la densité.

D'autre part, nous constatons que, la teneur en soufre du GOMIS est très inférieure à celle du GO<sub>1</sub>, cela s'explique par la courbe de distillation, comme il est montré ci-dessous :

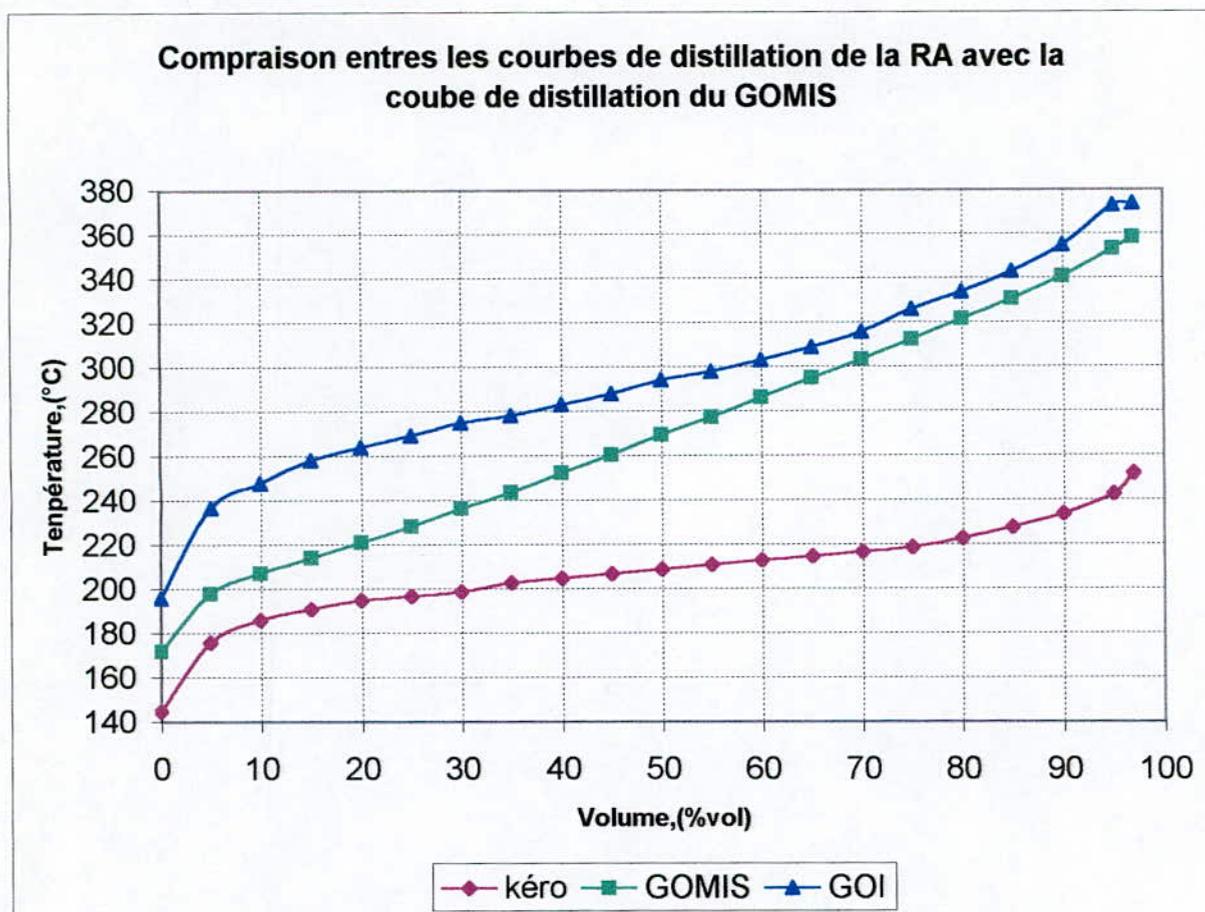


Figure 6.2: comparaison entre les courbe de distillation du GOMIS avec celle du kéro+GOI de la RA

Comme nous le voyons dans cette figure, les courbes de distillations sont distinctes.

Si on compare la courbe de distillation du kéro avec celle du GOMIS, on trouve qu'il y a 40% en volume du kérosène, ce qui correspond à 95% en volume de la coupe kéro.

D'une autre part, on remarque qu'il y a une différence de 22°C entre le point final du GOI et le point final du GOMIS, ce qui correspond à 10%vol du GOI.

Comme conclusion on peut dire que le point de coupe du gasoil léger de la raffinerie de Skikda se trouve en dessus de point de coupe du gasoil léger de la raffinerie d'Alger.

Caractéristique	Résultats du kéro	Résultats du GO <sub>1</sub>	Résultats du GOMIS
Teneur en carbone (n.d.M)			
▪ Paraffines, (%pds)	77,9	64,0	68,3
▪ Naphtène, (%pds)	17,1	20,4	20,4
▪ Aromatiques, (%pds)	10,0	15,6	11,3
Teneur en carbone (n.d.PA)			
▪ Paraffines, (%pds)	59,5	66,0	67,3
▪ Naphtène, (%pds)	26,4	19,3	20,8
▪ Aromatiques, (%pds)	14,1	14,7	11,8

On constate d'après ce tableau que la teneur en paraffines du GOMI<sub>S</sub> ne situe pas entre celle du Kéro et GO<sub>1</sub>. Ainsi, que pour la teneur en aromatiques qui est inférieur.

Cela revient en fait, à la nature du bruts à traiter qui est différente.

### 3. Etude comparative entre les principaux résultats du GOHM, avec le kéro et GO<sub>1</sub> de la RA

Caractéristiques	Norme	Résultats s kéro	Résultats GO <sub>1</sub>	Résultats GOHM	
Densités à 15°C	ASTM D 40 52	0,799	0,847	0,832	
Viscosité cinématique en cSt	ASTM D 445	20.0°C/68°F	<2,03	7,38	4,59
		37,8 °C/100°F	--	4,51	3,09
<b>Teneur en soufre, (p.p.m)</b>	<b>ASTM D 4294 – 93</b>	<b>87</b>	<b>1167</b>	<b>1027</b>	
Point de trouble,(°C)	NF T 60 –105	--	0	2	
Point d'écoulement,(°C)		--	-6	-16	
TLF,(°C)	NF M 07 042	--	-3	-5	
Point d'éclair ,(°C)	ASTM D 56	42	86	59,1	
Point d'aniline,(°C)	ASTM D 611	64	77	68,6	
Densité °API	Corrélation	45,34	35,36	38,3	
<b>Indice de cétane</b>	<b>Corrélation et abaque</b>	<b>50</b>	<b>56</b>	<b>53 ,3</b>	
Pouvoir calorifique inférieur volumique KJ/l)	Abaque et corrélation	34526,1	36034,7	35632,1	
Température d'ébullition moyenne, (°C)	Abaque	211,0	297,7	264,7	
Poids moléculaire moyen, (g/mole)	Corrélation et abaque	166,3	234,9	206,7	
Facteur de caractérisation (K <sub>DOP</sub> )	Corrélation et abaque	11,94	11,90	11,98 <sup>(*)</sup>	

**Tableau 6.5: étude comparative entre les principaux résultats du GOHM avec celles du kéro et GO<sub>1</sub>**

On constate d'après ce tableau que les propriétés physico-chimiques du GOHM se situent entre le kéro et le GO<sub>1</sub>, sauf le facteur de caractérisation qui est en dehors des deux valeurs de facteur de caractérisations du Kéro et GO<sub>1</sub>.

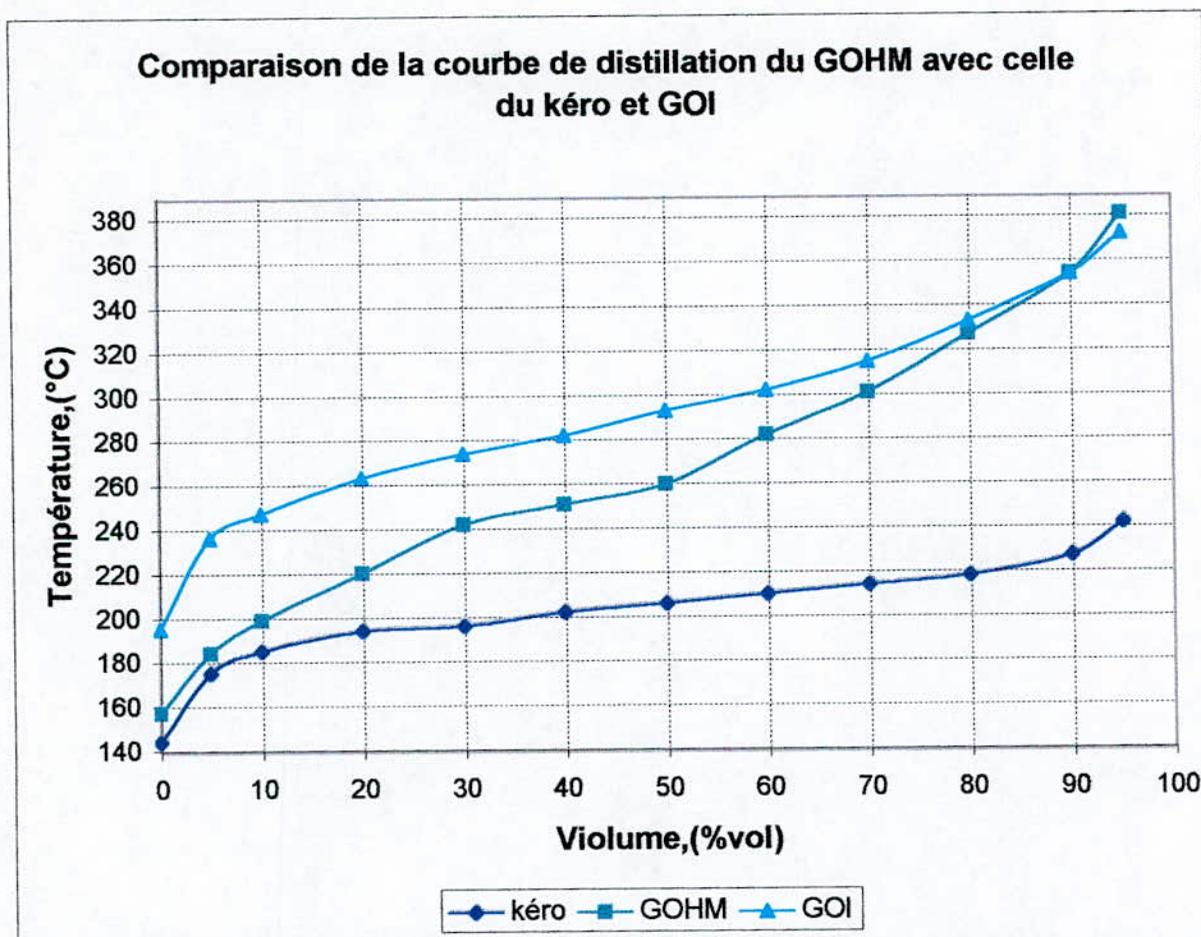


Figure 6.3: Comparaisons entre la courbe de distillations du GOHM avec celle du kéro et GOI

D'après cette figure on constate que la courbe de distillation du GOHM se situe entre les deux courbes de distillations. Concernant le point initial (PI), on remarque que l'écart entre le kéro et le GOHM est de 13°C. Alors que l'écart entre le point final du GOHM et le GO<sub>1</sub> est de 12°C. De plus, on remarque que la coupe kérosène est presque totalement injectée dans le GO<sub>1</sub> pour formuler le GOHM.

Comme conclusion, on peut dire que le gasoil de Hassi Messaoud est la somme du kéro plus le GO<sub>1</sub>, qui a donné une coupe large, cela se justifié par la différence entre le point initial et le point final qui est de 228°C.

Caractéristique	Résultats du kéro	Résultats du GO <sub>1</sub>	Résultats du GOHM
Teneur en carbone (n.d.M)			
▪ Paraffines, (%pds)	77,9	64,0	69,2
▪ Naphtènes, (%pds)	17,1	20,4	10,9
▪ Aromatiques, (%pds)	10,0	15,6	19,9
Teneur en carbone (n.d.PA)			
▪ Paraffines, (%pds)	59,5	66,0	62,7
▪ Naphtènes, (%pds)	26,4	19,3	17,2
▪ Aromatiques, (%pds)	14,1	14,7	20,1

Figure 6.6: Comparaisons entre la teneur en carbone du GOHM avec celle du kéro et du GO<sub>1</sub>

Nous remarquons dans ce tableau, que la teneur en naphtènes du GOHM ne se situe pas entre les deux teneurs en naphtènes du kéro et du GO<sub>1</sub>. Ainsi que pour la teneur en aromatiques qui est plus élevée que celle du kéro et du GO<sub>1</sub>. Cela revient en fait, à la nature de la charge et à la méthode de fractionnement, qui est différente dans les deux raffineries (raffinerie d'Alger et la raffinerie de Hassi-Messaoud).

#### 4. Etude comparative entre les principaux résultats du GOHM, GOMIA et GOMIS

Caractéristiques	Norme	Résultats GOMIA	Résultats GOMIS	Résultats GOHM
Couleur	ASTM D 1500	<0,5	<0,5	1,5
Densités à 15°C	ASTM D 40 52	0,834	0,8265	0,832
Viscosité cinématique en cSt	ASTM D 445			
▪ 20.0°C/68°F		4,94	4,42	4,59
▪ 37,8 °C/100°F		3,20	2,93	3,09
<b>Teneur en soufre, (p.p.m)</b>	<b>ASTM D 4294 – 93</b>	<b>882</b>	<b>418</b>	<b>1027</b>
Point de trouble,(°C)	NF T 60 –105	-6	-8	2
Point d'écoulement,(°C)		-12	-9	-16
TLF,(°C)	NF M 07 042	-8	-8	-5
Point d'éclair ,(°C)	ASTM D 56	62	67	59,1
Point d'aniline,(°C)	ASTM D 611	74	77,2	68,6
Densité °API	Corrélation	37,90	39,6	38,3
<b>Indice de cétane</b>	<b>Corrélation et abaque</b>	<b>54</b>	<b>56</b>	<b>53,3</b>
Pouvoir calorifique inférieur volumique (KJ/l)	Abaque et corrélation	35656,7	35339,2	35632,1
Température d'ébullition moyenne, (°C)	Abaque	270,8	264,7	263,9
Poids moléculaire moyen, (g/mole)	Corrélation et abaque	211,81	206,7	205
Facteur de caractérisation ( $K_{UOP}$ )	Corrélation et abaque	11,89(*)	11,98 <sup>(*)</sup>	11,9

Figure 6.7: étude comparative entre les différents gasoils marché intérieur

Nous constatons d'après ce tableau, que les caractéristiques physico-chimiques des trois gasoils marché intérieur sont différentes, notamment la teneur en soufre, tenue au froid, point d'éclair, point d'aniline. Ainsi que les indices de cétane et le pouvoir calorifique inférieur volumique. **La figure ci-dessous montre que le PCIv des trois gasoils diminue si l'indice de cétane augmente. Ceci justifie le fait qu'on recommande de limiter l'indice à 55 [4].**

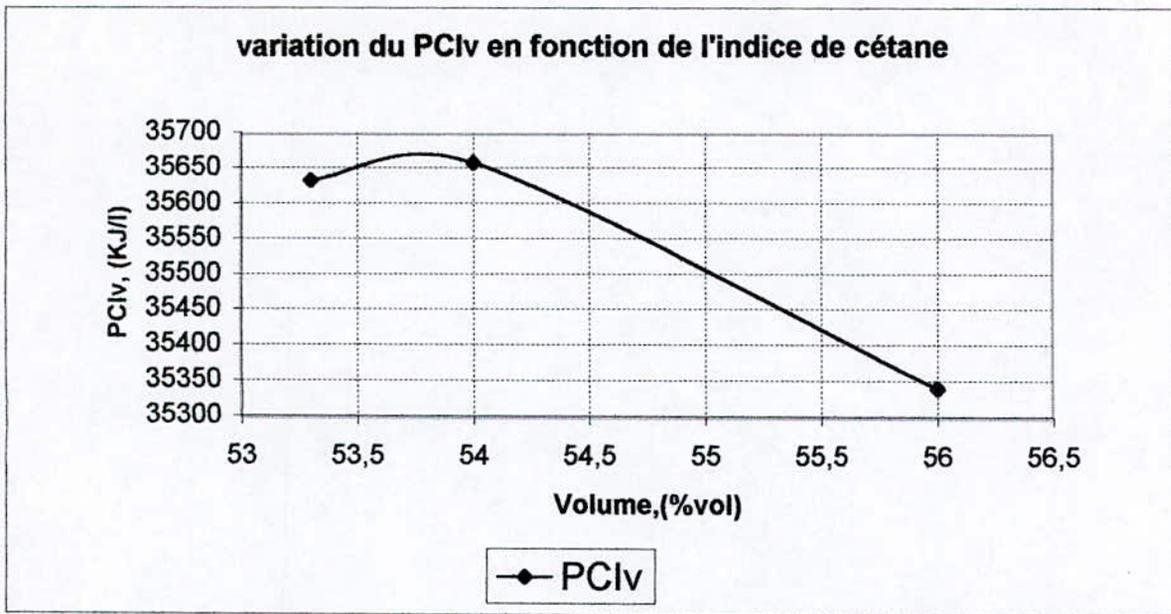


Figure 6.4: variation du PCIv en fonction de l'indice de cétane

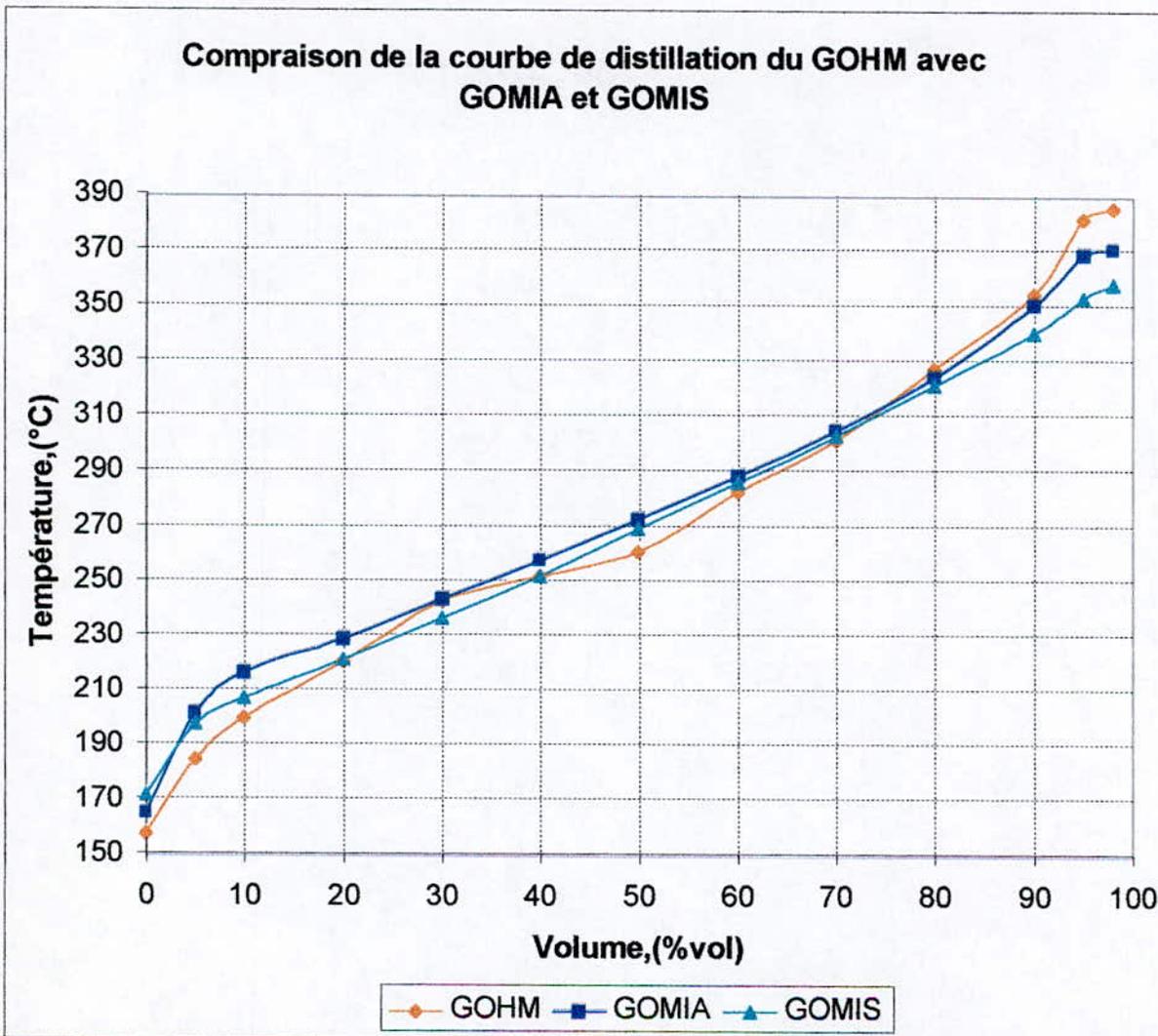


Figure 7.: Comparaisons entre les courbes de distillations des différents gasoils marché intérieur

Nous constatons d'après cette courbe que les points initiaux (PI) se rapprochent l'un de l'autre, ainsi que les différentes courbes, sauf les points finaux qui sont très différents.

Caractéristique	Résultats du GOMI <sub>A</sub>	Résultats du GOMI <sub>S</sub>	Résultats du GOHM
Teneur en carbone (n.d.M)			
▪ Paraffines, (%pds)	66,4	68,3	69,2
▪ Naphtène, (%pds)	19,0	20,4	10,9
▪ Aromatiques, (%pds)	14,6	11,3	19,9
Teneur en carbone (n.d.PA)			
▪ Paraffines, (%pds)	64,7	67,3	62,7
▪ Naphtène, (%pds)	20,7	20,8	17,2
▪ Aromatiques, (%pds)	14,6	11,8	20,1

Figure 6.8: comparaison entre la teneur en carbone des différents gasoils marché intérieur

Nous constatons que les teneurs en aromatiques du gasoil de Hassi Messaoud sont remarquablement plus élevées que celles des deux autres échantillons, les teneurs en paraffines restant par ailleurs équivalentes. En ce qui concerne les naphthènes il y a inversion des tendances.

---

## SOLUTIONS IMMEDIATES

Parmis les solutions qui permis aux industries du raffinage d'atteindre les seuils limités par les normes européennes, nous avons :

- La ségrégation des bruts, c'est à dire, le choix des bruts a basse teneur en soufre (BTS) ( **ex : Zarzaitine 700 p.p.m.**).
- Utilisation des gasoils (léger et lourd) de condensat ( **ex : Hassi R'mel 90 p.p.m.**) comme base pour la formulation du gasoil routier.

De toute façon à l'avenir ces solutions ne seront pas suffisantes surtout si on augmente les capacités de raffinage, il faudra donc envisager l'installation d'une ou plusieurs unités de désulfuration.

---

## CONCLUSION

Ce travail qui se proposait d'étudier le gasoil de la raffinerie d'Alger, nous a permis finalement nous faire une idée d'ensemble des gasoils algériens (Alger, Skikda, Hassi Messaoud) à partir de plusieurs échantillons (Kéro, GO<sub>1</sub>, GOMI<sub>A</sub>, GOMI<sub>S</sub> et GOHM) qu'ils soient des bases, des gasoils formulés, que ce soit pour le marché intérieur ou l'exportation.

C'est ainsi que ces échantillons ont été analysés, presque toutes leurs caractéristiques physico-chimiques ont été déterminées (densité, intervalle de distillation, indice de cétane, teneur en soufre, pouvoir calorifique inférieur volumique, tenue au froid, etc.). **Des comparaisons ont été établies nous permettant de constater la grande disparité des gasoils algériens.**

Pour ce qui concerne la teneur en soufre qui pose et posera problème eu égard aux normes environnementales, une analyse critique des résultats a été faite et des solutions ont été proposées parmi lesquelles la ségrégation des bruts et la mise en place d'unité de désulfuration.

---

**BIBLIOGRAPHIE**

- [1] : S.KHIRANI, « Etude analytique d'un gasoil en vue d'une formulation de boue de forage », projet de fin d'étude, Département de Génie Chimique, ENP, (juin 2002).
- [2] : A.FETITA, « contribution à l'étude et la modélisation de l'extraction des aromatiques d'un gasoil de Hassi-Messaoud, application à une boue de forage », thèse de Magistère, Département Génie Chimique, ENP, (à soutenir en 2003).
- [3] : J.-C. GUIBET, « carburants liquides », Techniques de l'ingénieur, traité génie énergétique, BE 8545, (1998).
- [4] : J.-C. GUIBET, « les Carburants », Encyclopédie Universalis, version 6, rubrique science, (2001).
- [5] : ENSPM (Ecole Nationale Supérieure du pétrole et des Moteurs), formation industrie, composition et propriétés des carburants automobiles, (1990).
- [6] : J.-C. GUIBET, « carburants et moteurs technologies- énergie- environnement, tome1 et 2 », publication de l'institut français du pétrole, Editions Technip, (1997).
- [7] : Office Nationale de Statistique, Parc National Automobile en quelques chiffres au 31/12/2001, direction technique des traitements informatiques et de répertoires, N°356, (novembre 2002), disponible sur Internet <http://www.ons.dz>.
- [8] : M. TERAHI, B. AIT-AISSA, « quelles stratégies d'adaptation des raffineries hydro-skimming face aux nouvelles spécifications des carburants », **EVINDRAF**, 1<sup>er</sup> séminaire international sur l'évolution de l'industrie de raffinage, Sonatrach, Institut algérien du pétrole, IAP, Boumerdes, Algérie, (19 – 20 mai 2003).
- [9] : « Caractéristiques physico-chimiques du pétrole brut Hassi Messaoud », société nationale de recherche et d'exploitation des pétroles en Algérie (S.N.REPAL), Hydra, Alger. (1977).
- [10] : « Caractéristiques physico-chimiques du condensat de Hassi R'mel », Institut algérien du pétrole, IAP-site de Dar El- Beida, Algérie, (1996).
- [11] : « schémas de circuits de production du gasoil à la raffinerie d'Alger du bac de stockage du brut jusqu'au soutirage », NAFTEC, (mai 2003).

- [12] : J.-P. WAUQUIER, « Raffinage pétrole : Produits pétroliers, schémas de fabrication », Publication de l'Institut français du pétrole, Edition Technip, (1994).
- [13] : S.BRIOUA, « Etude technico-économique d'insertion d'une unité d'HDS de gasoil à la raffinerie de Skikda », Projet de Fin d'Etude, IAP, (2000).
- [14] : « Le raffinage s'arme pour traquer le soufre », l'USINE NOUVELLE, N°2832, 4 juillet (2002).
- [15] : «Worldwide Winter Diesel», Fuel Quality Survey (2002), Infineum International Ltd, Issue number 17, March (2003).
- [16] : « Normes algériennes (NA8109 et NA8110), Produits pétroliers – kérosène et Gasoil – Spécifications », Institut algérien de NORmalisation (IANOR), Avenue Mohamed V, Alger, (deuxième édition –1999).
- [17] : « Norme européenne (EN590), produits pétroliers -Gasoil- spécifications », Association Française de NORmalisation (AFNOR), (11 décembre 2000). Disponible sur Internet : [http://www.club-transport.fr/fr.fr/documents/998994959\\_0772.PDF](http://www.club-transport.fr/fr.fr/documents/998994959_0772.PDF).
- [18] : P.A.BOURQUE et P.DANSEREAU, « cycle de soufre », université Laval, Québec (2001). Disponible sur Internet : <http://www.gg.ulaval.ca>.
- [19] : « Les hydrocarbures aromatiques polycycliques, HAP », Département Ecologie Côtière, Canada, (2001). Disponible sur Internet : <http://www.Ifremer.fr/français/copyright.htm>
- [20] : M.SEVINGON, « Nouvelle méthode de désulfuration des gazoles, Synthèse d'accepteurs-*p* et de matériaux pour la purification des coupes pétrolières par formation de complexes à transfert de charge », thèse ADEME/Totalfinalf, Université Claude Bernard Lyon, (27 septembre 2002).
- [21] : SAUCIER, J.Y. « Les HAP. Nouvelles vedettes dans le monde des contaminants », Milieu, Environnement Canada, (1989).
- [22] : Bureau de normalisation du pétrole, « Méthodes d'essai des produits pétroliers (tome1, 2 et 3) », Office de Publicité Générale, Paris, (1985).

[23]: « Petroleum measurement tables, ASTM-IP », Metric units of measurement, B.S. Handbook, No 16. metric edition, (first edition 1953).

[24]: P. WUITHIER, « le pétrole, Raffinage et génie Chimique, tome 1 », publication de l'Institut français du pétrole, Edition Technip, (1972).

[25] : C.E. CHITOUR, « Raffinage, tome 1, les propriétés des hydrocarbures et des fractions pétrolières », Editions de l'office des publications Universitaires, (1999).

---

# **ANNEXE 1 : ESSAIS NORMALISES**

**1) Couleur :****1.1) Norme : ASTM D1500 : T 60-104****1.2) Objet de la norme**

Cette norme a pour objectif de déterminer la couleur des produits pétroliers qui ont une coloration supérieure à 0,5 de l'échelle, non colorés artificiellement, tels que les huiles des graissages, les cires et les paraffines[22].

**Note :** pour les produits ayant une coloration supérieure à 0,5 on utilise la norme NF M 07-003 et qui correspond à la norme anglo-saxonne ASTM D156 [24].

**2) Densité****2.1) Norme : ASTM D 4052.****2.2) Objet de la norme :**

La présente analyse décrit une méthode de mesure de la densité des produits liquides par un densimètre électronique[22].

**2.3) Définition**

La densité est le rapport du poids d'un certain volume d'échantillon à une température  $t$  au poids du même volume d'eau à une température standard. Le choix de l'état standard à 4 °C permet l'identification des chiffres qui mesurent la densité est la masse volumique.

$$d_4^{15} = \frac{\text{poids d'un volume de produit à } 15^\circ}{\text{poids du même volume d'eau à } 4^\circ} [24]$$

## 2.4) Schéma de l'appareil

### Appareillage

- aréomètre
- thermomètre
- éprouvette d'essai ( $\varnothing > 25 \text{ mm}$ )

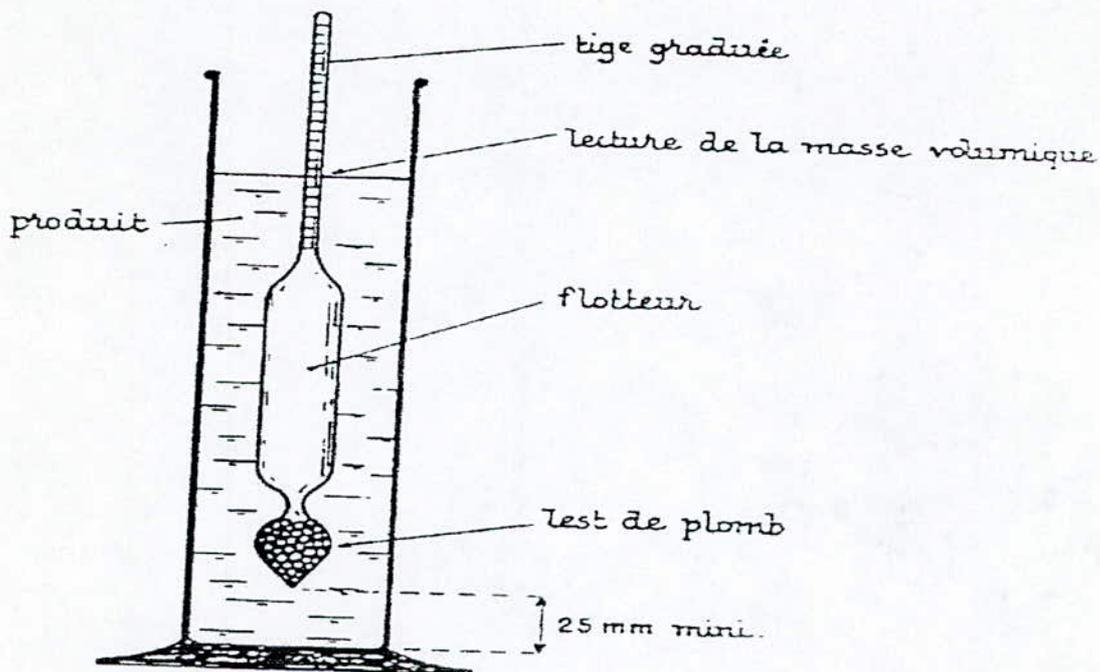


Figure 1.1: appareille de mesure de la densité (Aerodensimètre) [5]

## 3) Indice de réfraction

### 3.1) Norme : ASTM D1218

### 3.2) Objet de la norme :

La présente norme consiste à mesurer les indices de réfractons des hydrocarbures liquides transparents ou légèrement colorés, ainsi que des solides dont l'indice de réfraction se situe entre 1,33 et 1,50 à température de 20 à 30°C[22].

### 3.3) Définition :

L'indice de réfraction est le rapport de la vitesse de la lumière dans l'air à sa vitesse dans la substance examinée[22].

Il est défini comme le sinus de l'angle d'incident divisé par le sinus de l'angle de réfraction lorsque le rayon lumineux passe de l'air dans la substance (figure1.2)[22].

3.4) schéma de principe

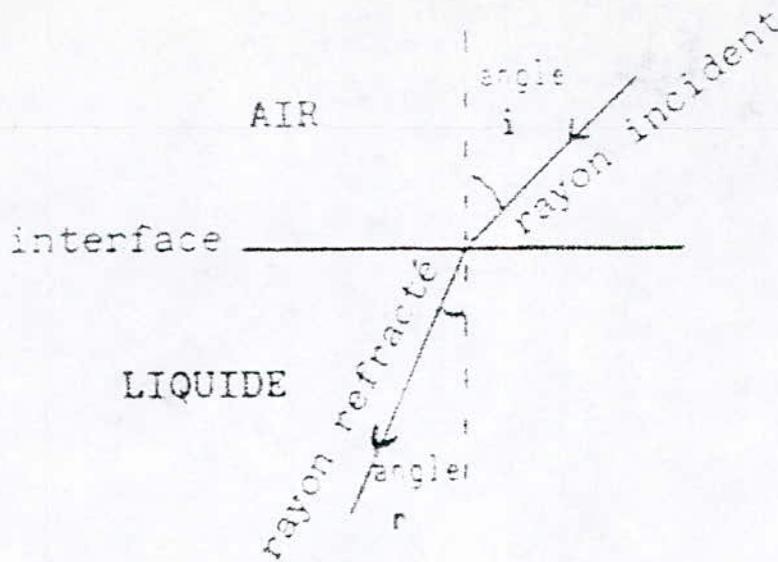


Figure 1.2: schéma de principe de l'indice de réfraction [5]

3.5) Schéma de l'appareil

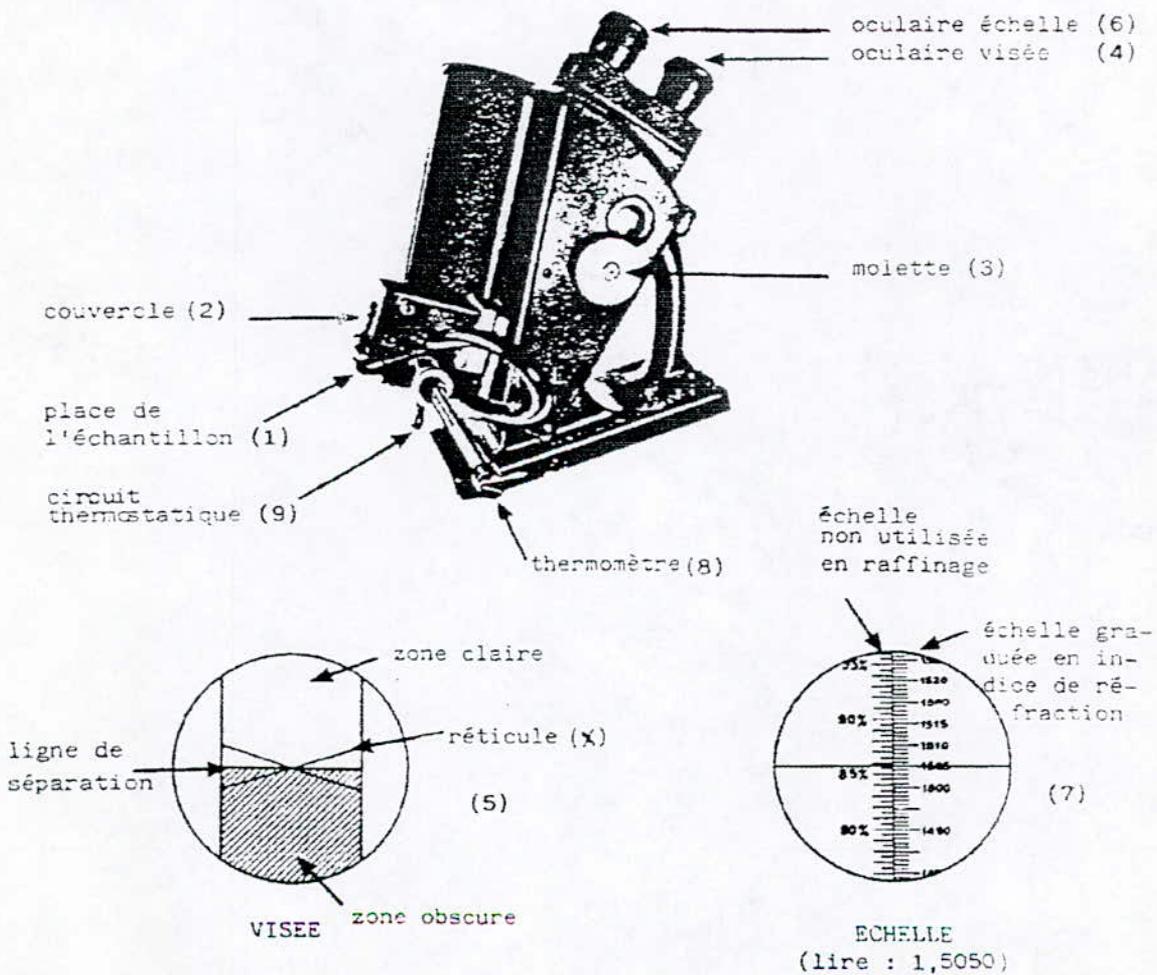


Figure 1.3: appareille de mesure de l'indice de réfraction [5]

---

#### 4) Distillation ASTM

##### 4.1) Norme : ASTM D86 : NF M 07-00

##### 4.2) Objet de la norme

L'objet de cette norme est de fixer les conditions dans lesquelles doivent être effectués les essais de distillation des produits pétroliers, à l'exception des gaz liquéfiés, du pétrole et des bitumes [22].

##### 4.3) Définitions

Les points les plus intéressantes a savoir dans la distillation ASTM sont les suivants [22]:

1. **Point initial** : c'est la température relevée en tête de ballon juste au moment où il y a apparition de la première goutte à l'extrémité du tube condenseur.
2. **Point final** : c'est la température maximale relevée au cours d'essai en tête de ballon.
3. **Point Sec** : c'est la température relevée au moment de la vaporisation de la dernière goutte dans le ballon.
4. **Point de décomposition** : température notée lorsqu'il se manifeste les premiers signes de décomposition thermique.
5. **Volume condensé** : c'est le volume recueilli dans l'éprouvette lorsque le thermomètre atteint la température spécifiée.
6. **Volume total condensé** : volume maximal du distillat recueilli dans l'éprouvette à la fin de l'essai.
7. **Récupération totale** : c'est la somme du volume total condensé plus le contenu du ballon (résidu).
8. **Résidu** : c'est le volume liquide restant dans le ballon à la fin de l'analyse.
9. **Pertes** : la différence entre le volume de prise d'essai et la récupération totale.
10. **Volume évaporé** : c'est la somme du volume condensé plus pertes.

## 4.4) Schéma de distillation ASTM

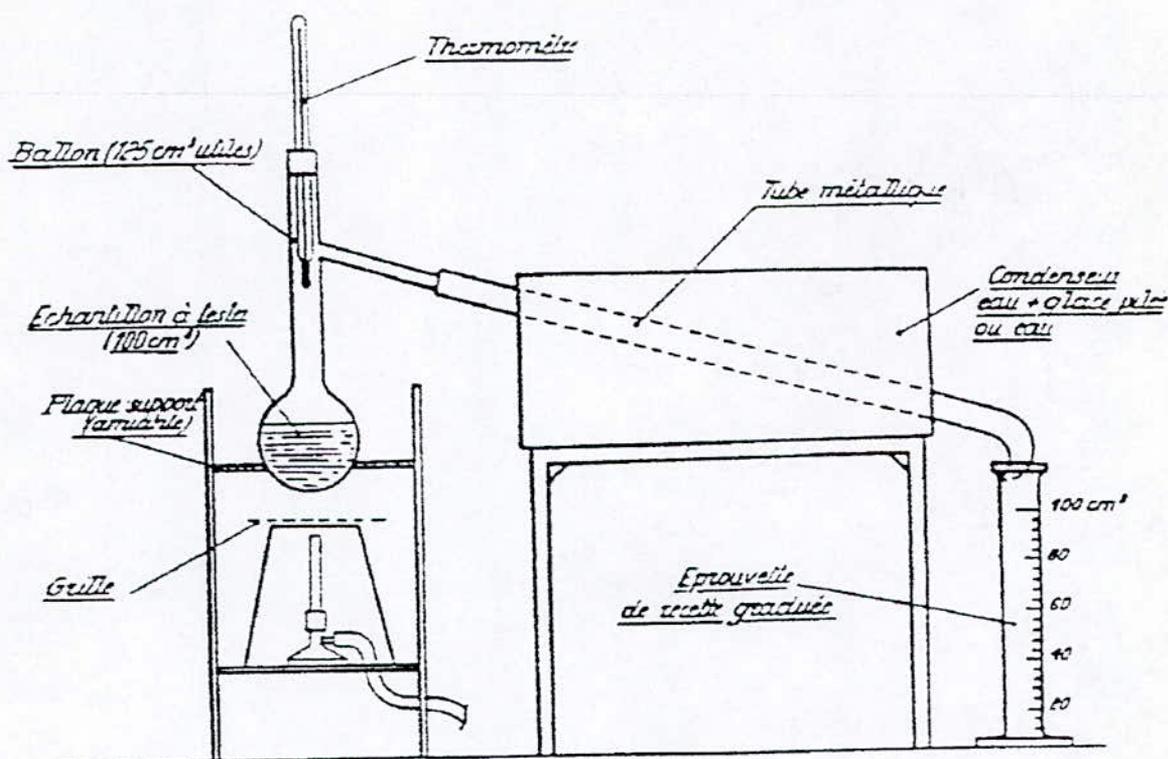


Figure 1.4: Schéma de distillation ASTM D86 [5]

## 5) Viscosité Cinématique

## 5.1) Norme : NF T 60 100

## 5.2) Objet de la norme

La présente analyse a pour objectif de décrire une méthode normalisée pour mesurer la viscosité cinématique des produits liquides dits « Newtoniens » [22].

## 5.3) Définition

La viscosité d'un liquide caractérise la résistance qu'opposent les molécules de ce dernier à une force tendant à les déplacer par glissement les unes contre les autres au sein de ce liquide [22].

La viscosité cinématique est obtenue par relation suivant :

$$v_t = k \times t'$$

Avec :

t : la température à laquelle on veut mesurer la viscosité,

t' : le temps d'écoulement, il doit être supérieur à 210 s,

k : constante de viscosimètre.

## 5.4) Schéma

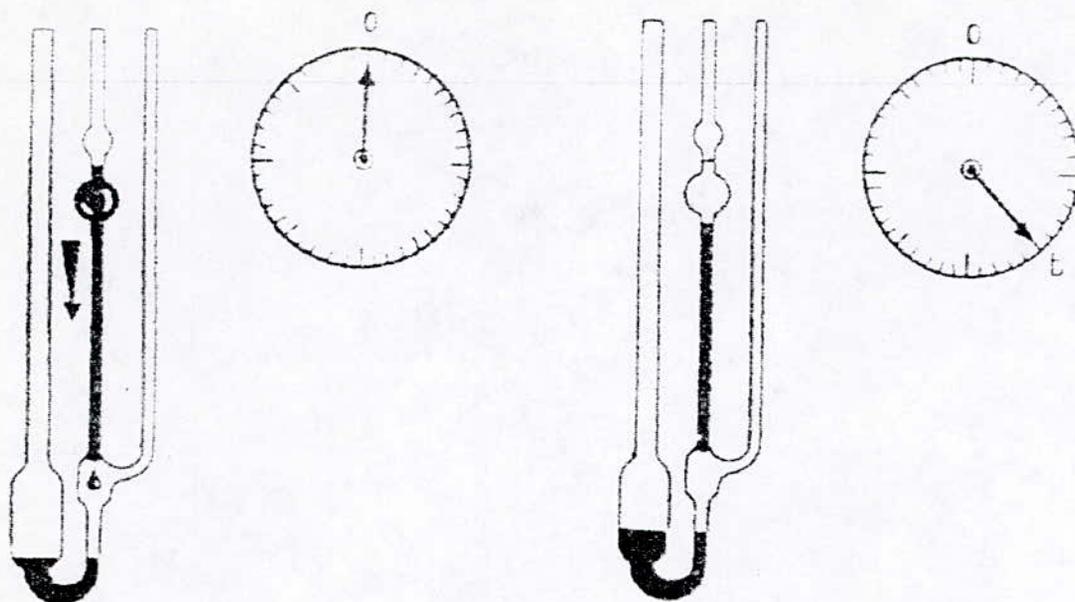


Figure 1.5: viscosimètre UBBELOHDE pour liquides transparents [5]

## 6) Le point de trouble et point d'écoulement

## 6.1) Norme : NF T 60 – 105

## 6.2) Objet de la norme

La présente analyse a pour objectif la détermination des caractéristiques des huiles lubrifiantes et des gasoils moteurs à basse température[22].

Au cours de refroidissement de l'échantillon, il apparaît une augmentation de la viscosité par suite de leur épaissement, et par conséquent, elles se rapprochent de l'état solide [22].

## 6.3) Définitions

1. **Point de trouble** : est la température à laquelle il y a apparition du trouble au fond de tube d'essai [22].
2. **Point d'écoulement** : est la plus basse température, à laquelle le produit coule encore pendant le refroidissement dans des conditions normalisées [22].

## 6.4) Schéma de l'appareil

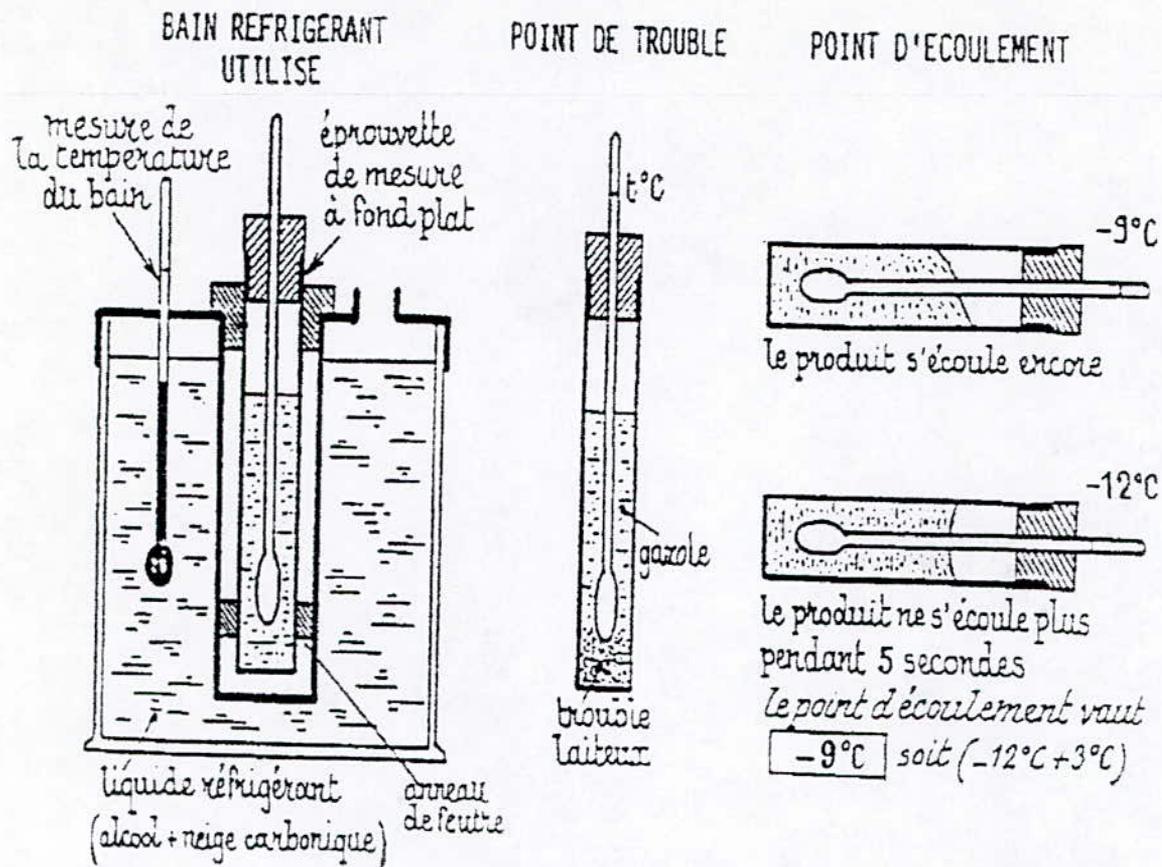


Figure 1.6: appareils pour la détermination du point de trouble et du point d'écoulement [5]

## 7) Température limite de filtrabilité TLF

## 7.1) Norme : NF 07 042

## 7.2) Objet de la norme

La présente analyse a pour objet de décrire une méthode standard pour la détermination de la température limite de filtrabilité des gasoils moteurs[22].

## 7.3) Définition

La température limite de filtrabilité est la plus basse température à laquelle un volume déterminé de l'échantillon met plus de 60 secondes pour traverser un filtre normalisé[22].

## 7.4) Schéma de l'appareille

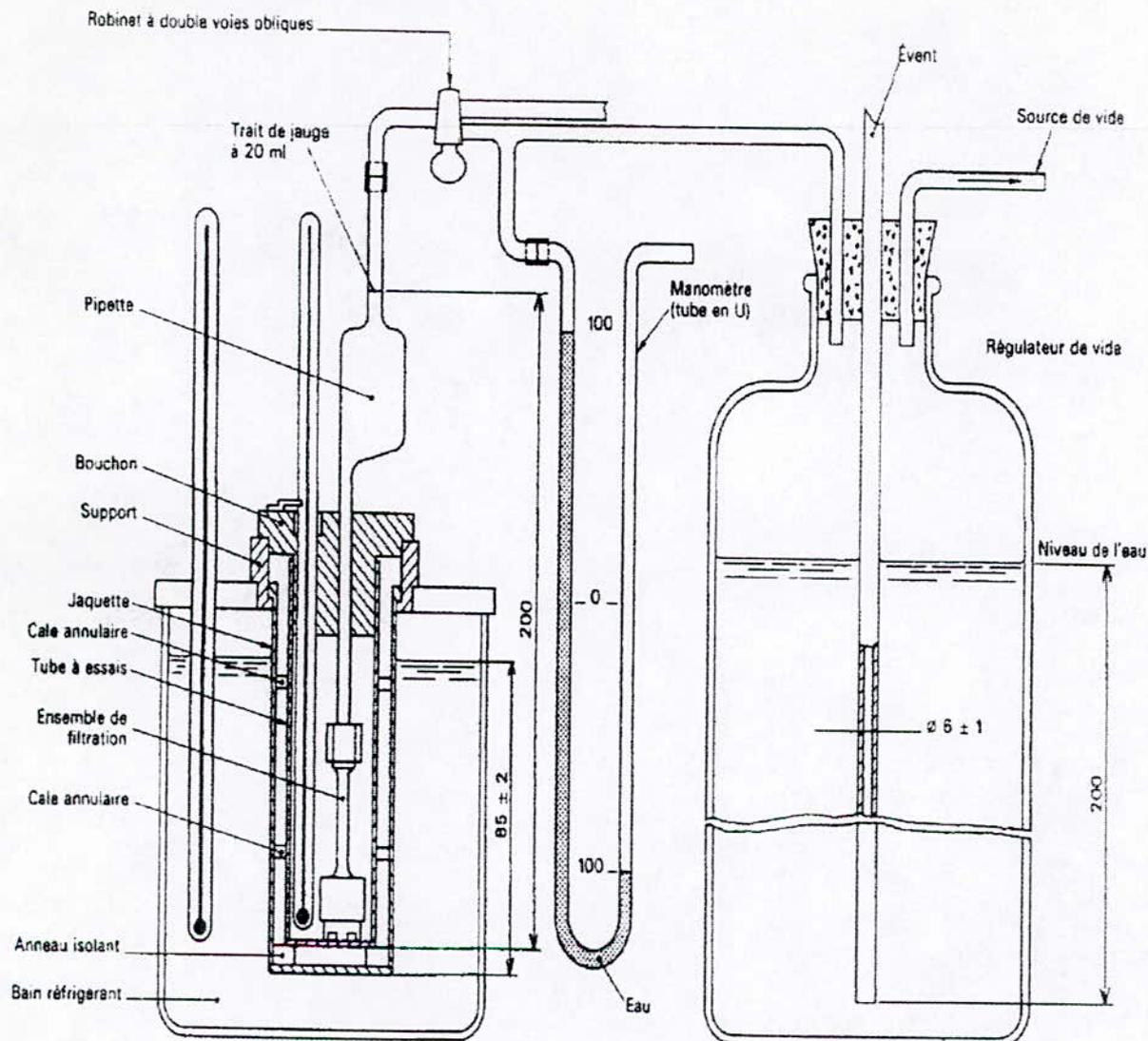


Figure 1.7: Ensemble de l'appareil qui mesure la TLF [22]

## 8) Point d'éclair

## 8.1) Norme : ASTM D 93

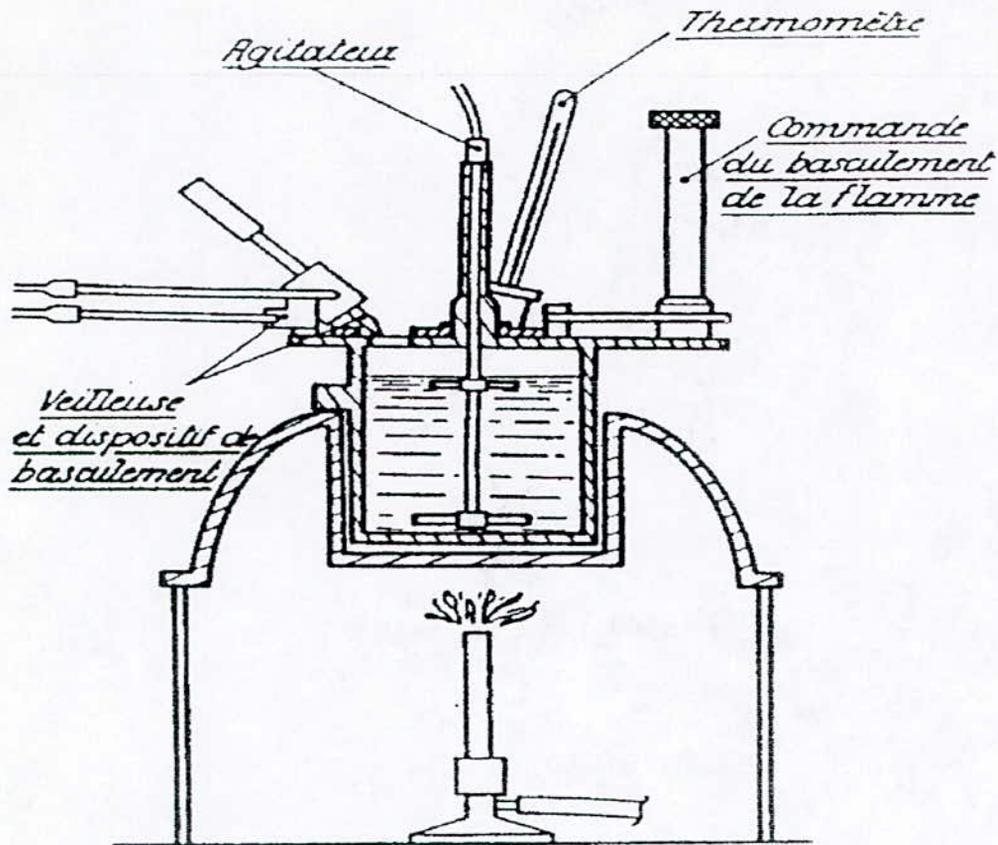
## 8.2) Objet de la norme

La présente norme a pour objet de décrire une méthode de détermination du point d'éclair en vase cols, des produits et mélanges pétroliers dont le point d'éclair est supérieur à 50°C [22].

## 8.3) Définition

Le point d'éclair est la température minimale à laquelle il faut porter la prise d'essai pour que les vapeurs émises s'allument momentanément en présence d'une flamme, dans les conditions normalisées [22].

## 8.4) Schéma de l'appareil



*APPAREIL PINSKY-MARTENS (Vase fermé)  
(pour point d'éclair > 50°C)*

Figure 1.8: appareil de point d'éclair Pinsky- Martens [5]

## 9) Carbone Conradson

## 9.1) Norme ASTM D 4530

## 9.2) Objet de la norme

La présente analyse a pour objet de déterminer la quantité de résidu restant après un traitement thermique des produits pétrolier dans des conditions normalisées [22].

## 9.3) Définition

Le résidu conradson est constitué par les produits carboniques peu volatils qui se décomposent partiellement par distillation atmosphérique. Ils sont les résultats de la calcination d'un échantillon dans des conditions normalisées [22].

## 9.4) Schéma de l'appareil

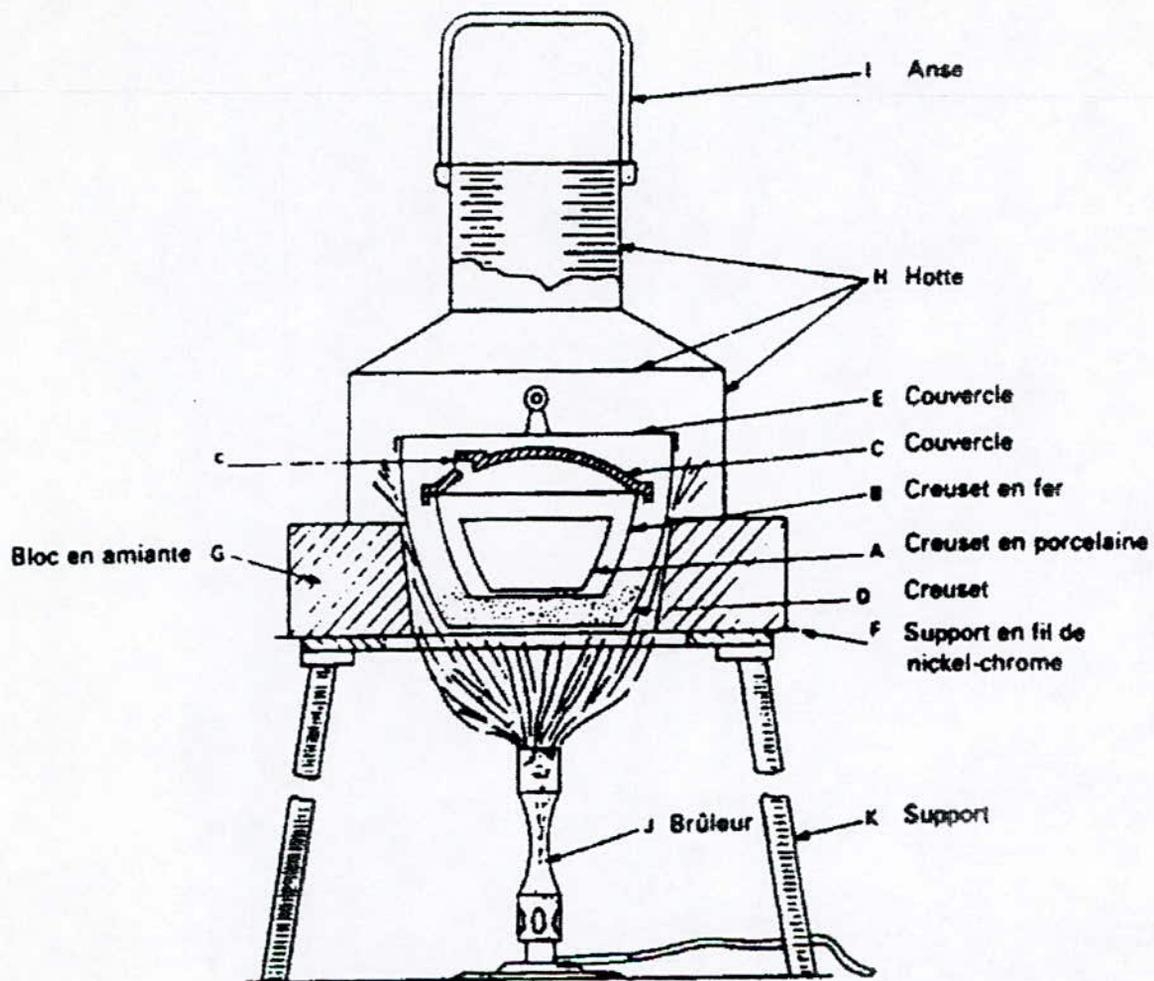


Figure 1.9: appareil Carbone Conradson [24]

## 10) Point d'Aniline

## 10.1) Norme : ASTM D 611

## 10.2) objet de la norme

L'objectif de la présente analyse est de décrire la méthode de détermination du point d'aniline des produits pétroliers[22].

## 10.3) Définition

Le point d'aniline est la plus basse température à laquelle deux volumes égaux d'aniline et de l'échantillon sont miscibles[22]. Il en relation avec la composition chimique de la coupe et particulièrement avec la teneur en aromatiques, l'aniline étant le solvant de nature aromatique (amine aromatique), donc les produits pétroliers riches en aromatiques présenteront des points d'anilines bas, car ils sont miscibles dans l'aniline. A l'inverse, le point d'aniline augmente avec les coupes riches en paraffines [5].

## 10.4) Schéma de l'appareil

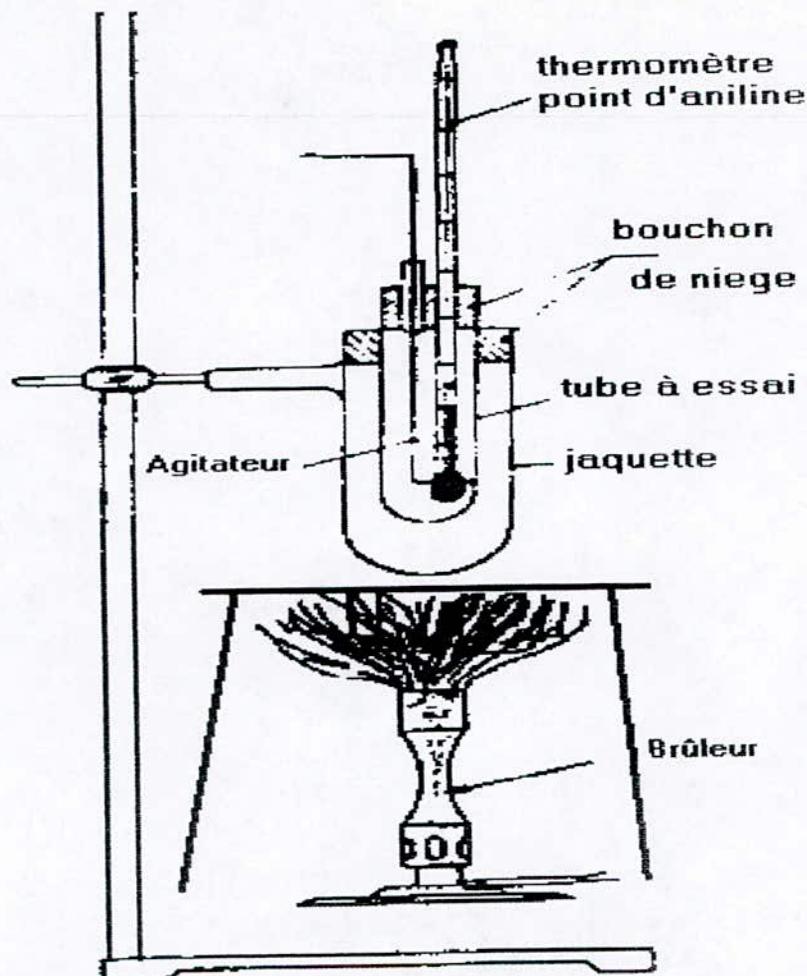


Figure 1.10: appareil de point d'aniline [25]

## 11) Teneur en soufre

## 11.1) Norme ASTM D2622

## 11.2) objet de la norme

La présente a pour objet de décrire une méthode de dosage de soufre par fluorescence X des les produits pétroliers et autres [25].

## 11.3) Définition

L'étude d'une raie appropriée du spectre obtenu permet de déterminer le taux de soufre de la prise d'essai [25].

## 11.4) principe de l'appareil

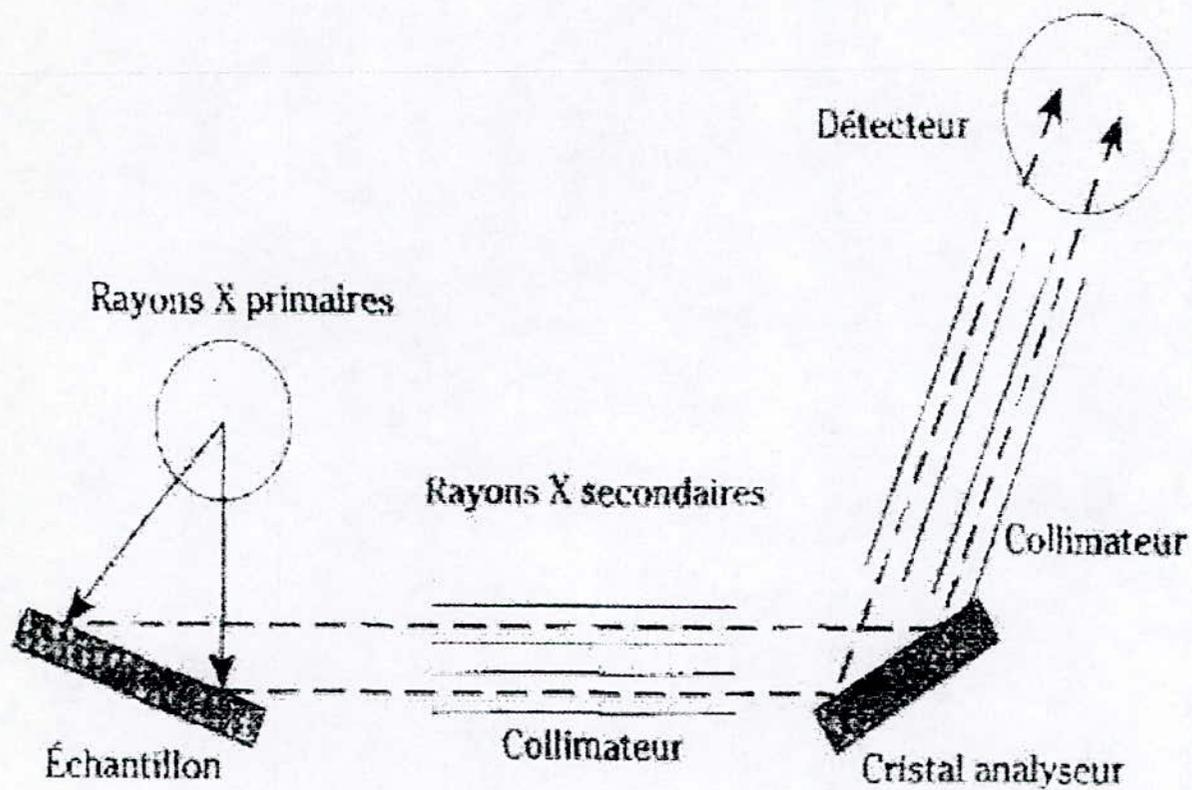


Figure 1.11 : principe de dosage de soufre par fluorescence X [6]

---

**ANNEXE 2**  
**Détermination des propriétés physico-  
chimiques par Abaques et  
Corrélations**

## 1) Densité à 15 °C

La densité mesurée par le densimètre est à 20°C. Pour avoir la densité à 15°C on a utilisé des tables (figures 1, 2, 3 et 4) de conversions pour les différents échantillons analysés.

Table 53

ASTM--IP

\* Density Reduction to 15°C.

0,790-0,799

0-25°C.

Observed Temperature, °C.	Observed Density									
	0,790	0,791	0,792	0,793	0,794	0,795	0,796	0,797	0,798	0,799
	Corresponding Density 15°C.									
0	0,7789	0,7799	0,7810	0,7820	0,7830	0,7840	0,7850	0,7861	0,7871	0,7881
0,5	0,7793	0,7803	0,7813	0,7824	0,7834	0,7844	0,7854	0,7864	0,7875	0,7885
1,0	0,7797	0,7807	0,7817	0,7827	0,7837	0,7848	0,7858	0,7868	0,7878	0,7889
1,5	0,7800	0,7811	0,7821	0,7831	0,7841	0,7851	0,7862	0,7872	0,7882	0,7892
2,0	0,7804	0,7814	0,7825	0,7835	0,7845	0,7855	0,7865	0,7876	0,7886	0,7896
2,5	0,7808	0,7818	0,7828	0,7838	0,7849	0,7859	0,7869	0,7879	0,7889	0,7900
3,0	0,7812	0,7822	0,7832	0,7842	0,7852	0,7863	0,7873	0,7883	0,7893	0,7903
3,5	0,7815	0,7826	0,7836	0,7846	0,7856	0,7866	0,7876	0,7887	0,7897	0,7907
4,0	0,7819	0,7829	0,7839	0,7850	0,7860	0,7870	0,7880	0,7890	0,7900	0,7911
4,5	0,7823	0,7833	0,7843	0,7853	0,7864	0,7874	0,7884	0,7894	0,7904	0,7914
5,0	0,7827	0,7837	0,7847	0,7857	0,7867	0,7877	0,7888	0,7898	0,7908	0,7918
5,5	0,7830	0,7840	0,7851	0,7861	0,7871	0,7881	0,7891	0,7902	0,7912	0,7922
6,0	0,7834	0,7844	0,7854	0,7864	0,7875	0,7885	0,7895	0,7905	0,7915	0,7925
6,5	0,7838	0,7848	0,7858	0,7868	0,7878	0,7888	0,7899	0,7909	0,7919	0,7929
7,0	0,7841	0,7852	0,7862	0,7872	0,7882	0,7892	0,7902	0,7912	0,7922	0,7933
7,5	0,7845	0,7855	0,7865	0,7876	0,7886	0,7896	0,7906	0,7916	0,7926	0,7936
8,0	0,7849	0,7859	0,7869	0,7879	0,7889	0,7899	0,7910	0,7920	0,7930	0,7940
8,5	0,7853	0,7863	0,7873	0,7883	0,7893	0,7903	0,7913	0,7923	0,7933	0,7943
9,0	0,7856	0,7866	0,7876	0,7887	0,7897	0,7907	0,7917	0,7927	0,7937	0,7947
9,5	0,7860	0,7870	0,7880	0,7890	0,7900	0,7910	0,7920	0,7931	0,7941	0,7951
10,0	0,7864	0,7874	0,7884	0,7894	0,7904	0,7914	0,7924	0,7934	0,7944	0,7954
10,5	0,7867	0,7877	0,7887	0,7897	0,7908	0,7918	0,7928	0,7938	0,7948	0,7958
11,0	0,7871	0,7881	0,7891	0,7901	0,7911	0,7921	0,7931	0,7941	0,7951	0,7961
11,5	0,7875	0,7885	0,7895	0,7905	0,7915	0,7925	0,7935	0,7945	0,7955	0,7965
12,0	0,7878	0,7888	0,7898	0,7908	0,7918	0,7928	0,7938	0,7949	0,7959	0,7969
12,5	0,7882	0,7892	0,7902	0,7912	0,7922	0,7932	0,7942	0,7952	0,7962	0,7972
13,0	0,7886	0,7896	0,7906	0,7916	0,7926	0,7936	0,7946	0,7956	0,7966	0,7976
13,5	0,7889	0,7899	0,7909	0,7919	0,7929	0,7939	0,7949	0,7959	0,7969	0,7979
14,0	0,7893	0,7903	0,7913	0,7923	0,7933	0,7943	0,7953	0,7963	0,7973	0,7983
14,5	0,7896	0,7906	0,7916	0,7926	0,7936	0,7946	0,7956	0,7966	0,7976	0,7986
15,0	0,7900	0,7910	0,7920	0,7930	0,7940	0,7950	0,7960	0,7970	0,7980	0,7990
15,5	0,7904	0,7914	0,7924	0,7934	0,7944	0,7954	0,7964	0,7974	0,7984	0,7994
16,0	0,7907	0,7917	0,7927	0,7937	0,7947	0,7957	0,7967	0,7977	0,7987	0,7997
16,5	0,7911	0,7921	0,7931	0,7941	0,7951	0,7961	0,7971	0,7981	0,7991	0,8001
17,0	0,7914	0,7924	0,7934	0,7944	0,7954	0,7964	0,7974	0,7984	0,7994	0,8004
17,5	0,7918	0,7928	0,7938	0,7948	0,7958	0,7968	0,7978	0,7988	0,7998	0,8008
18,0	0,7922	0,7932	0,7942	0,7952	0,7962	0,7972	0,7982	0,7992	0,8002	0,8012
18,5	0,7925	0,7935	0,7945	0,7955	0,7965	0,7975	0,7985	0,7995	0,8005	0,8015
19,0	0,7929	0,7939	0,7949	0,7959	0,7969	0,7979	0,7989	0,7999	0,8009	0,8019
19,5	0,7932	0,7942	0,7952	0,7962	0,7972	0,7982	0,7992	0,8002	0,8012	0,8022
20,0	0,7936	0,7946	0,7956	0,7966	0,7976	0,7986	0,7996	0,8006	0,8016	0,8026
20,5	0,7939	0,7949	0,7959	0,7969	0,7979	0,7989	0,7999	0,8009	0,8019	0,8029
21,0	0,7943	0,7953	0,7963	0,7973	0,7983	0,7993	0,8003	0,8013	0,8023	0,8033
21,5	0,7947	0,7957	0,7967	0,7977	0,7987	0,7997	0,8007	0,8017	0,8027	0,8037
22,0	0,7950	0,7960	0,7970	0,7980	0,7990	0,8000	0,8010	0,8020	0,8030	0,8040
22,5	0,7954	0,7964	0,7974	0,7984	0,7994	0,8004	0,8014	0,8024	0,8034	0,8044
23,0	0,7957	0,7967	0,7977	0,7987	0,7997	0,8007	0,8017	0,8027	0,8037	0,8047
23,5	0,7961	0,7971	0,7981	0,7991	0,8001	0,8011	0,8021	0,8031	0,8041	0,8051
24,0	0,7964	0,7974	0,7984	0,7994	0,8004	0,8014	0,8024	0,8034	0,8044	0,8054
24,5	0,7968	0,7978	0,7988	0,7997	0,8007	0,8017	0,8027	0,8037	0,8047	0,8057
25,0	0,7971	0,7981	0,7991	0,8001	0,8011	0,8021	0,8031	0,8041	0,8051	0,8061

Figure 2.1: tableau de conversion de densité à 15°C pour l'intervalle 0,790-0,799 [23]

0,820-0,829

\* Density Reduction to 15°C.

ASTM-IP

0-25°C.

Observed Temperature, °C.	Observed Density									
	0,820	0,821	0,822	0,823	0,824	0,825	0,826	0,827	0,828	0,829
	Corresponding Density 15°C.									
0	0,8095	0,8105	0,8116	0,8126	0,8136	0,8146	0,8156	0,8166	0,8177	0,8187
0,5	0,8099	0,8109	0,8119	0,8129	0,8139	0,8150	0,8160	0,8170	0,8180	0,8190
1,0	0,8102	0,8113	0,8123	0,8133	0,8143	0,8153	0,8163	0,8173	0,8184	0,8194
1,5	0,8106	0,8116	0,8126	0,8136	0,8146	0,8157	0,8167	0,8177	0,8187	0,8197
2,0	0,8109	0,8120	0,8130	0,8140	0,8150	0,8160	0,8170	0,8180	0,8190	0,8201
2,5	0,8113	0,8123	0,8133	0,8143	0,8153	0,8164	0,8174	0,8184	0,8194	0,8204
3,0	0,8117	0,8127	0,8137	0,8147	0,8157	0,8167	0,8177	0,8187	0,8197	0,8208
3,5	0,8120	0,8130	0,8140	0,8150	0,8160	0,8171	0,8181	0,8191	0,8201	0,8211
4,0	0,8124	0,8134	0,8144	0,8154	0,8164	0,8174	0,8184	0,8194	0,8204	0,8215
4,5	0,8127	0,8137	0,8147	0,8157	0,8167	0,8178	0,8188	0,8198	0,8208	0,8218
5,0	0,8131	0,8141	0,8151	0,8161	0,8171	0,8181	0,8191	0,8201	0,8211	0,8221
5,5	0,8134	0,8144	0,8154	0,8164	0,8174	0,8185	0,8195	0,8205	0,8215	0,8225
6,0	0,8138	0,8148	0,8158	0,8168	0,8178	0,8188	0,8198	0,8208	0,8218	0,8228
6,5	0,8141	0,8151	0,8161	0,8171	0,8181	0,8192	0,8202	0,8212	0,8222	0,8232
7,0	0,8145	0,8155	0,8165	0,8175	0,8185	0,8195	0,8205	0,8215	0,8225	0,8235
7,5	0,8148	0,8158	0,8168	0,8178	0,8188	0,8198	0,8209	0,8219	0,8229	0,8239
8,0	0,8152	0,8162	0,8172	0,8182	0,8192	0,8202	0,8212	0,8222	0,8232	0,8242
8,5	0,8155	0,8165	0,8175	0,8185	0,8195	0,8205	0,8215	0,8226	0,8236	0,8246
9,0	0,8159	0,8169	0,8179	0,8189	0,8199	0,8209	0,8219	0,8229	0,8239	0,8249
9,5	0,8162	0,8172	0,8182	0,8192	0,8202	0,8212	0,8222	0,8232	0,8242	0,8252
10,0	0,8165	0,8176	0,8186	0,8196	0,8206	0,8216	0,8226	0,8236	0,8246	0,8256
10,5	0,8169	0,8179	0,8189	0,8199	0,8209	0,8219	0,8229	0,8239	0,8249	0,8259
11,0	0,8172	0,8182	0,8192	0,8203	0,8213	0,8223	0,8233	0,8243	0,8253	0,8263
11,5	0,8176	0,8186	0,8196	0,8206	0,8216	0,8226	0,8236	0,8246	0,8256	0,8266
12,0	0,8179	0,8189	0,8199	0,8209	0,8219	0,8229	0,8240	0,8250	0,8260	0,8270
12,5	0,8183	0,8193	0,8203	0,8213	0,8223	0,8233	0,8243	0,8253	0,8263	0,8273
13,0	0,8186	0,8196	0,8206	0,8216	0,8226	0,8236	0,8246	0,8256	0,8266	0,8276
13,5	0,8190	0,8200	0,8210	0,8220	0,8230	0,8240	0,8250	0,8260	0,8270	0,8280
14,0	0,8193	0,8203	0,8213	0,8223	0,8233	0,8243	0,8253	0,8263	0,8273	0,8283
14,5	0,8197	0,8207	0,8217	0,8227	0,8237	0,8247	0,8257	0,8267	0,8277	0,8287
15,0	0,8200	0,8210	0,8220	0,8230	0,8240	0,8250	0,8260	0,8270	0,8280	0,8290
15,5	0,8203	0,8213	0,8223	0,8233	0,8243	0,8253	0,8263	0,8273	0,8283	0,8293
16,0	0,8207	0,8217	0,8227	0,8237	0,8247	0,8257	0,8267	0,8277	0,8287	0,8297
16,5	0,8210	0,8220	0,8230	0,8240	0,8250	0,8260	0,8270	0,8280	0,8290	0,8300
17,0	0,8214	0,8224	0,8234	0,8244	0,8254	0,8264	0,8274	0,8284	0,8294	0,8304
17,5	0,8217	0,8227	0,8237	0,8247	0,8257	0,8267	0,8277	0,8287	0,8297	0,8307
18,0	0,8221	0,8231	0,8240	0,8250	0,8260	0,8270	0,8280	0,8290	0,8300	0,8310
18,5	0,8224	0,8234	0,8244	0,8254	0,8264	0,8274	0,8284	0,8294	0,8304	0,8314
19,0	0,8227	0,8237	0,8247	0,8257	0,8267	0,8277	0,8287	0,8297	0,8307	0,8317
19,5	0,8231	0,8241	0,8251	0,8261	0,8271	0,8281	0,8290	0,8300	0,8310	0,8320
20,0	0,8234	0,8244	0,8254	0,8264	0,8274	0,8284	0,8294	0,8304	0,8314	0,8324
20,5	0,8238	0,8248	0,8257	0,8267	0,8277	0,8287	0,8297	0,8307	0,8317	0,8327
21,0	0,8241	0,8251	0,8261	0,8271	0,8281	0,8291	0,8301	0,8311	0,8321	0,8330
21,5	0,8244	0,8254	0,8264	0,8274	0,8284	0,8294	0,8304	0,8314	0,8324	0,8334
22,0	0,8248	0,8258	0,8268	0,8278	0,8287	0,8297	0,8307	0,8317	0,8327	0,8337
22,5	0,8251	0,8261	0,8271	0,8281	0,8291	0,8301	0,8311	0,8321	0,8331	0,8341
23,0	0,8254	0,8264	0,8274	0,8284	0,8294	0,8304	0,8314	0,8324	0,8334	0,8344
23,5	0,8258	0,8268	0,8278	0,8288	0,8298	0,8307	0,8317	0,8327	0,8337	0,8347
24,0	0,8261	0,8271	0,8281	0,8291	0,8301	0,8311	0,8321	0,8331	0,8341	0,8351
24,5	0,8265	0,8274	0,8284	0,8294	0,8304	0,8314	0,8324	0,8334	0,8344	0,8354
25,0	0,8268	0,8278	0,8288	0,8298	0,8308	0,8318	0,8327	0,8337	0,8347	0,8357

Figure 2.2: tableau de conversion de densité à 15°C pour l'intervalle 0,820-0,829 [23]

Table 53  
 \* Density Reduction to 15°C. 0,830-0,839  
 0-25°C.

Observed Temperature, °C.	Observed Density									
	0,830	0,831	0,832	0,833	0,834	0,835	0,836	0,837	0,838	0,839
	Corresponding Density 15°C.									
0	0,8197	0,8207	0,8217	0,8227	0,8237	0,8248	0,8258	0,8268	0,8278	0,8288
0,5	0,8200	0,8210	0,8221	0,8231	0,8241	0,8251	0,8261	0,8271	0,8281	0,8292
1,0	0,8204	0,8214	0,8224	0,8234	0,8244	0,8254	0,8265	0,8275	0,8285	0,8295
1,5	0,8207	0,8217	0,8228	0,8238	0,8248	0,8258	0,8268	0,8278	0,8288	0,8298
2,0	0,8211	0,8221	0,8231	0,8241	0,8251	0,8261	0,8272	0,8282	0,8292	0,8302
2,5	0,8214	0,8224	0,8234	0,8245	0,8255	0,8265	0,8275	0,8285	0,8295	0,8305
3,0	0,8218	0,8228	0,8238	0,8248	0,8258	0,8268	0,8278	0,8289	0,8299	0,8309
3,5	0,8221	0,8231	0,8241	0,8252	0,8262	0,8272	0,8282	0,8292	0,8302	0,8312
4,0	0,8225	0,8235	0,8245	0,8255	0,8265	0,8275	0,8285	0,8295	0,8306	0,8316
4,5	0,8228	0,8238	0,8248	0,8258	0,8269	0,8279	0,8289	0,8299	0,8309	0,8319
5,0	0,8232	0,8242	0,8252	0,8262	0,8272	0,8282	0,8292	0,8302	0,8312	0,8322
5,5	0,8235	0,8245	0,8255	0,8265	0,8275	0,8286	0,8296	0,8306	0,8316	0,8326
6,0	0,8238	0,8249	0,8259	0,8269	0,8279	0,8289	0,8299	0,8309	0,8319	0,8329
6,5	0,8242	0,8252	0,8262	0,8272	0,8282	0,8292	0,8302	0,8312	0,8323	0,8333
7,0	0,8245	0,8255	0,8266	0,8276	0,8286	0,8296	0,8306	0,8316	0,8326	0,8336
7,5	0,8249	0,8259	0,8269	0,8279	0,8289	0,8299	0,8309	0,8319	0,8329	0,8339
8,0	0,8252	0,8262	0,8272	0,8282	0,8293	0,8303	0,8313	0,8323	0,8333	0,8343
8,5	0,8256	0,8266	0,8276	0,8286	0,8296	0,8306	0,8316	0,8326	0,8336	0,8346
9,0	0,8259	0,8269	0,8279	0,8289	0,8299	0,8309	0,8319	0,8329	0,8340	0,8350
9,5	0,8263	0,8273	0,8283	0,8293	0,8303	0,8313	0,8323	0,8333	0,8343	0,8353
10,0	0,8266	0,8276	0,8286	0,8296	0,8306	0,8316	0,8326	0,8336	0,8346	0,8356
10,5	0,8269	0,8279	0,8289	0,8300	0,8310	0,8320	0,8330	0,8340	0,8350	0,8360
11,0	0,8273	0,8283	0,8293	0,8303	0,8313	0,8323	0,8333	0,8343	0,8353	0,8363
11,5	0,8276	0,8286	0,8296	0,8306	0,8316	0,8326	0,8336	0,8346	0,8356	0,8366
12,0	0,8280	0,8290	0,8300	0,8310	0,8320	0,8330	0,8340	0,8350	0,8360	0,8370
12,5	0,8283	0,8293	0,8303	0,8313	0,8323	0,8333	0,8343	0,8353	0,8363	0,8373
13,0	0,8286	0,8296	0,8306	0,8316	0,8327	0,8337	0,8347	0,8357	0,8367	0,8377
13,5	0,8290	0,8300	0,8310	0,8320	0,8330	0,8340	0,8350	0,8360	0,8370	0,8380
14,0	0,8293	0,8303	0,8313	0,8323	0,8333	0,8343	0,8353	0,8363	0,8373	0,8383
14,5	0,8297	0,8307	0,8317	0,8327	0,8337	0,8347	0,8357	0,8367	0,8377	0,8387
15,0	0,8300	0,8310	0,8320	0,8330	0,8340	0,8350	0,8360	0,8370	0,8380	0,8390
15,5	0,8303	0,8313	0,8323	0,8333	0,8343	0,8353	0,8363	0,8373	0,8383	0,8393
16,0	0,8307	0,8317	0,8327	0,8337	0,8347	0,8357	0,8367	0,8377	0,8387	0,8397
16,5	0,8310	0,8320	0,8330	0,8340	0,8350	0,8360	0,8370	0,8380	0,8390	0,8400
17,0	0,8314	0,8324	0,8333	0,8343	0,8353	0,8363	0,8373	0,8383	0,8393	0,8403
17,5	0,8317	0,8327	0,8337	0,8347	0,8357	0,8367	0,8377	0,8387	0,8397	0,8407
18,0	0,8320	0,8330	0,8340	0,8350	0,8360	0,8370	0,8380	0,8390	0,8400	0,8410
18,5	0,8324	0,8334	0,8344	0,8354	0,8364	0,8374	0,8383	0,8393	0,8403	0,8413
19,0	0,8327	0,8337	0,8347	0,8357	0,8367	0,8377	0,8387	0,8397	0,8407	0,8417
19,5	0,8330	0,8340	0,8350	0,8360	0,8370	0,8380	0,8390	0,8400	0,8410	0,8420
20,0	0,8334	0,8344	0,8354	0,8364	0,8374	0,8384	0,8393	0,8403	0,8413	0,8423
20,5	0,8337	0,8347	0,8357	0,8367	0,8377	0,8387	0,8397	0,8407	0,8417	0,8427
21,0	0,8340	0,8350	0,8360	0,8370	0,8380	0,8390	0,8400	0,8410	0,8420	0,8430
21,5	0,8344	0,8354	0,8364	0,8374	0,8384	0,8394	0,8403	0,8413	0,8423	0,8433
22,0	0,8347	0,8357	0,8367	0,8377	0,8387	0,8397	0,8407	0,8417	0,8427	0,8437
22,5	0,8350	0,8360	0,8370	0,8380	0,8390	0,8400	0,8410	0,8420	0,8430	0,8440
23,0	0,8354	0,8364	0,8374	0,8384	0,8394	0,8403	0,8413	0,8423	0,8433	0,8443
23,5	0,8357	0,8367	0,8377	0,8387	0,8397	0,8407	0,8417	0,8427	0,8437	0,8447
24,0	0,8360	0,8370	0,8380	0,8390	0,8400	0,8410	0,8420	0,8430	0,8440	0,8450
24,5	0,8364	0,8374	0,8384	0,8394	0,8404	0,8413	0,8423	0,8433	0,8443	0,8453
25,0	0,8367	0,8377	0,8387	0,8397	0,8407	0,8417	0,8427	0,8437	0,8447	0,8456

Figure 2.3: tableau de conversion de densité à 15°C pour l'intervalle 0,830-0,839 [23]

**Table 5<sup>3</sup>**  
**0,840-0,849**                      \* Density Reduction to 15°C.                      **ASTM—IP**  
**0-25°C.**

Observed Temperature, °C.	Observed Density									
	0,840	0,841	0,842	0,843	0,844	0,845	0,846	0,847	0,848	0,849
	Corresponding Density 15°C.									
0	0,8298	0,8308	0,8319	0,8329	0,8339	0,8349	0,8359	0,8369	0,8379	0,8389
0,5	0,8302	0,8312	0,8322	0,8332	0,8342	0,8352	0,8362	0,8372	0,8383	0,8393
1,0	0,8305	0,8315	0,8325	0,8335	0,8346	0,8356	0,8366	0,8376	0,8386	0,8396
1,5	0,8309	0,8319	0,8329	0,8339	0,8349	0,8359	0,8369	0,8379	0,8389	0,8399
2,0	0,8312	0,8322	0,8332	0,8342	0,8352	0,8362	0,8373	0,8383	0,8393	0,8403
2,5	0,8315	0,8326	0,8336	0,8346	0,8356	0,8366	0,8376	0,8386	0,8396	0,8406
3,0	0,8319	0,8329	0,8339	0,8349	0,8359	0,8369	0,8379	0,8389	0,8400	0,8410
3,5	0,8322	0,8332	0,8342	0,8353	0,8363	0,8373	0,8383	0,8393	0,8403	0,8413
4,0	0,8326	0,8336	0,8346	0,8356	0,8366	0,8376	0,8386	0,8396	0,8406	0,8416
4,5	0,8329	0,8339	0,8349	0,8359	0,8369	0,8379	0,8390	0,8400	0,8410	0,8420
5,0	0,8332	0,8343	0,8353	0,8363	0,8373	0,8383	0,8393	0,8403	0,8413	0,8423
5,5	0,8336	0,8346	0,8356	0,8366	0,8376	0,8386	0,8396	0,8406	0,8416	0,8427
6,0	0,8339	0,8349	0,8359	0,8369	0,8380	0,8390	0,8400	0,8410	0,8420	0,8430
6,5	0,8343	0,8353	0,8363	0,8373	0,8383	0,8393	0,8403	0,8413	0,8423	0,8433
7,0	0,8346	0,8356	0,8366	0,8376	0,8386	0,8396	0,8406	0,8416	0,8427	0,8437
7,5	0,8349	0,8360	0,8370	0,8380	0,8390	0,8400	0,8410	0,8420	0,8430	0,8440
8,0	0,8353	0,8363	0,8373	0,8383	0,8393	0,8403	0,8413	0,8423	0,8433	0,8443
8,5	0,8356	0,8366	0,8376	0,8386	0,8396	0,8406	0,8417	0,8427	0,8437	0,8447
9,0	0,8360	0,8370	0,8380	0,8390	0,8400	0,8410	0,8420	0,8430	0,8440	0,8450
9,5	0,8363	0,8373	0,8383	0,8393	0,8403	0,8413	0,8423	0,8433	0,8443	0,8453
10,0	0,8366	0,8376	0,8386	0,8396	0,8407	0,8417	0,8427	0,8437	0,8447	0,8457
10,5	0,8370	0,8380	0,8390	0,8400	0,8410	0,8420	0,8430	0,8440	0,8450	0,8460
11,0	0,8373	0,8383	0,8393	0,8403	0,8413	0,8423	0,8433	0,8443	0,8453	0,8463
11,5	0,8377	0,8387	0,8397	0,8407	0,8417	0,8427	0,8437	0,8447	0,8457	0,8467
12,0	0,8380	0,8390	0,8400	0,8410	0,8420	0,8430	0,8440	0,8450	0,8460	0,8470
12,5	0,8383	0,8393	0,8403	0,8413	0,8423	0,8433	0,8443	0,8453	0,8463	0,8473
13,0	0,8387	0,8397	0,8407	0,8417	0,8427	0,8437	0,8447	0,8457	0,8467	0,8477
13,5	0,8390	0,8400	0,8410	0,8420	0,8430	0,8440	0,8450	0,8460	0,8470	0,8480
14,0	0,8393	0,8403	0,8413	0,8423	0,8433	0,8443	0,8453	0,8463	0,8473	0,8483
14,5	0,8397	0,8407	0,8417	0,8427	0,8437	0,8447	0,8457	0,8467	0,8477	0,8487
15,0	0,8400	0,8410	0,8420	0,8430	0,8440	0,8450	0,8460	0,8470	0,8480	0,8490
15,5	0,8403	0,8413	0,8423	0,8433	0,8443	0,8453	0,8463	0,8473	0,8483	0,8493
16,0	0,8407	0,8417	0,8427	0,8437	0,8447	0,8457	0,8467	0,8477	0,8487	0,8497
16,5	0,8410	0,8420	0,8430	0,8440	0,8450	0,8460	0,8470	0,8480	0,8490	0,8500
17,0	0,8413	0,8423	0,8433	0,8443	0,8453	0,8463	0,8473	0,8483	0,8493	0,8503
17,5	0,8417	0,8427	0,8437	0,8447	0,8457	0,8467	0,8477	0,8487	0,8497	0,8507
18,0	0,8420	0,8430	0,8440	0,8450	0,8460	0,8470	0,8480	0,8490	0,8500	0,8510
18,5	0,8423	0,8433	0,8443	0,8453	0,8463	0,8473	0,8483	0,8493	0,8503	0,8513
19,0	0,8427	0,8437	0,8447	0,8457	0,8467	0,8477	0,8487	0,8496	0,8506	0,8516
19,5	0,8430	0,8440	0,8450	0,8460	0,8470	0,8480	0,8490	0,8500	0,8510	0,8520
20,0	0,8433	0,8443	0,8453	0,8463	0,8473	0,8483	0,8493	0,8503	0,8513	0,8523
20,5	0,8437	0,8447	0,8457	0,8467	0,8476	0,8486	0,8496	0,8506	0,8516	0,8526
21,0	0,8440	0,8450	0,8460	0,8470	0,8480	0,8490	0,8500	0,8510	0,8520	0,8530
21,5	0,8443	0,8453	0,8463	0,8473	0,8483	0,8493	0,8503	0,8513	0,8523	0,8533
22,0	0,8447	0,8457	0,8466	0,8476	0,8486	0,8496	0,8506	0,8516	0,8526	0,8536
22,5	0,8450	0,8460	0,8470	0,8480	0,8490	0,8500	0,8510	0,8520	0,8529	0,8539
23,0	0,8453	0,8463	0,8473	0,8483	0,8493	0,8503	0,8513	0,8523	0,8533	0,8543
23,5	0,8456	0,8466	0,8476	0,8486	0,8496	0,8506	0,8516	0,8526	0,8536	0,8546
24,0	0,8460	0,8470	0,8480	0,8490	0,8499	0,8509	0,8519	0,8529	0,8539	0,8549
24,5	0,8463	0,8473	0,8483	0,8493	0,8503	0,8513	0,8523	0,8533	0,8543	0,8553
25,0	0,8466	0,8476	0,8486	0,8496	0,8506	0,8516	0,8526	0,8536	0,8546	0,8556

Figure 2.4: tableau de conversion de densité à 15°C pour l'intervalle 0,840-0,849 [23]

La densité à 15 °C des différents échantillons est déterminée soit par lecture directe sur les tables de conversions ( dans le cas où la valeur serait donnée), soit on effectue la moyenne ( dans le cas où la valeur ne figurerait pas dans les tables, on utilise la règle d'additivité, puisque la densité est une propriété additive).

- **Kérosène**

$$\left. \begin{array}{l} 1 - d_{15}^4 = 0,7996 \\ 2 - d_{15}^4 = 0,7986 \end{array} \right\} \Rightarrow d_4^{15} = \frac{0,7996 + 0,7986}{2} = 0,7991 \cong 0,799$$

$$\text{avec : } \begin{array}{l} x_1 = x_2 = 1 \\ x_1 + x_2 = 2 \end{array}$$

- **GO<sub>1</sub>**

$$\left. \begin{array}{l} 1 - d_{15}^4 = 0,8463 \\ 2 - d_{15}^4 = 0,8473 \end{array} \right\} \Rightarrow d_4^{15} = \frac{0,8463 + 0,8473}{2} = 0,8468 \cong 0,847$$

$$\text{avec : } \begin{array}{l} x_1 = x_2 = 1 \\ x_1 + x_2 = 2 \end{array}$$

- **GOMI<sub>A</sub>**

$$\left. \begin{array}{l} 1 - d_{15}^4 = 0,8340 \\ 2 - d_{15}^4 = 0,8350 \end{array} \right\} \Rightarrow d_4^{15} = \frac{0,8340 + 0,8350}{2} = 0,8345 \cong 0,834$$

$$\text{Avec: } \begin{array}{l} x_1 = x_2 = 1 \\ x_1 + x_2 = 2 \end{array}$$

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Echantillons	$d_4^{15}$
Kérosène	0,799
GO <sub>1</sub>	0,847
GOMI <sub>A</sub>	0,834

Tableau 2.1: densités à 15°C des différents échantillons analysés

## 2) Specific Gravity (sp.gr.)

La Specific gravity (sp.gr) est intéressante de connaître surtout dans notre étude, car elle est utilisée dans plusieurs corrélations qui nous donnent une estimation des propriétés physico-chimiques que l'on ne peut pas mesurer.

La specific gravity est défini par la relation suivante :  $sp.gr_{60F^{\circ}/60F^{\circ}} = \frac{d_4^{15}}{0,99904}$

Ci-après les résultats obtenus pour les différents échantillons

- **Kérosène**  $sp.gr = \frac{0,7991}{0,99904} = 0,79986 \cong 0,800$
- **GO<sub>I</sub>**  $sp.gr = \frac{0,8468}{0,99904} = 0,8476 \cong 0,848$
- **GOMI<sub>A</sub>**  $sp.gr = \frac{0,8345}{0,99904} = 0,8353 \cong 0,835$
- **GOMI<sub>S</sub>**  $sp.gr = \frac{0,8265}{0,99904} = 0,8273 \cong 0,827$

Le tableau suivant résume les différents résultats obtenus

Echantillons	Sp.gr <sub>60°F/60°F</sub>
Kérosène	0,800
GO <sub>I</sub>	0,848
GOMI <sub>A</sub>	0,835
GOMI <sub>S</sub>	0,827

Tableau 2.2: specific gravity des différents échantillons analysés

### 3) Degré API

Le degré API lui aussi très utilisé pour la détermination des propriétés physico-chimiques. Il est défini par la relation suivante :  $^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{sp \cdot gr_{60F^{\circ}/600F}} - 131,5$

- Kérosène  $^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{0,800} - 131,5 = 45,34$
- GO<sub>I</sub>  $^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{0,848} - 131,5 = 35,36$
- GOMI<sub>A</sub>  $^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{0,835} - 131,5 \approx 37,90$
- GOMI<sub>S</sub>  $^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{0,827} - 131,5 = 39,60$

Echantillons	$^{\circ}\text{API}$
Kérosène	45,34
GO <sub>I</sub>	35,36
GOMI <sub>A</sub>	37,90
GOMI <sub>S</sub>	39,60

Tableau 2.3: le  $^{\circ}\text{API}$  des différents échantillons analysés

### 4) Température moyenne pondérée

La température moyenne pondérée  $T_{\text{mav}}$  pour les fractions pétrolières est déterminée à partir de la connaissance de la courbe de distillation A.S.T.M. par une méthode empirique faisant intervenir les valeurs de la pente ( $s$ ) et du point 50% de la courbe de distillation ( $t_{50}$ )[24]. Cette température moyenne pondérée est d'ailleurs reliée aux trois autres températures moyennes qui sont  $t_{10}$ ,  $t_{70}$  et  $t_{90}$  [24]

La pente  $s$  est définie par la relation suivante :

$$s = \frac{t_{70} - t_{10}}{60} \text{ en } ^{\circ}\text{C}/\%$$

La température moyenne pondérée est définie par la relation suivante :

$$t_{\text{mav}} = t_v \pm \Delta\theta \text{ en } ^{\circ}\text{C}$$

avec :

$t_v$  est la température volumétrique moyenne, elle est définie par la relation suivante :

$$t_v = \frac{t_{10} + 2 \times t_{50} + t_{90}}{4} \text{ en } ^\circ\text{C}$$

et  $\Delta\theta$  est la correction à ajouter à la température moyenne volumétrique  $t_v$  en  $^\circ\text{C}$  [24].

La détermination de  $\Delta\theta$  se fait par lecture sur l'abaque en fonction de la pente  $S$ , (voir ci-après).

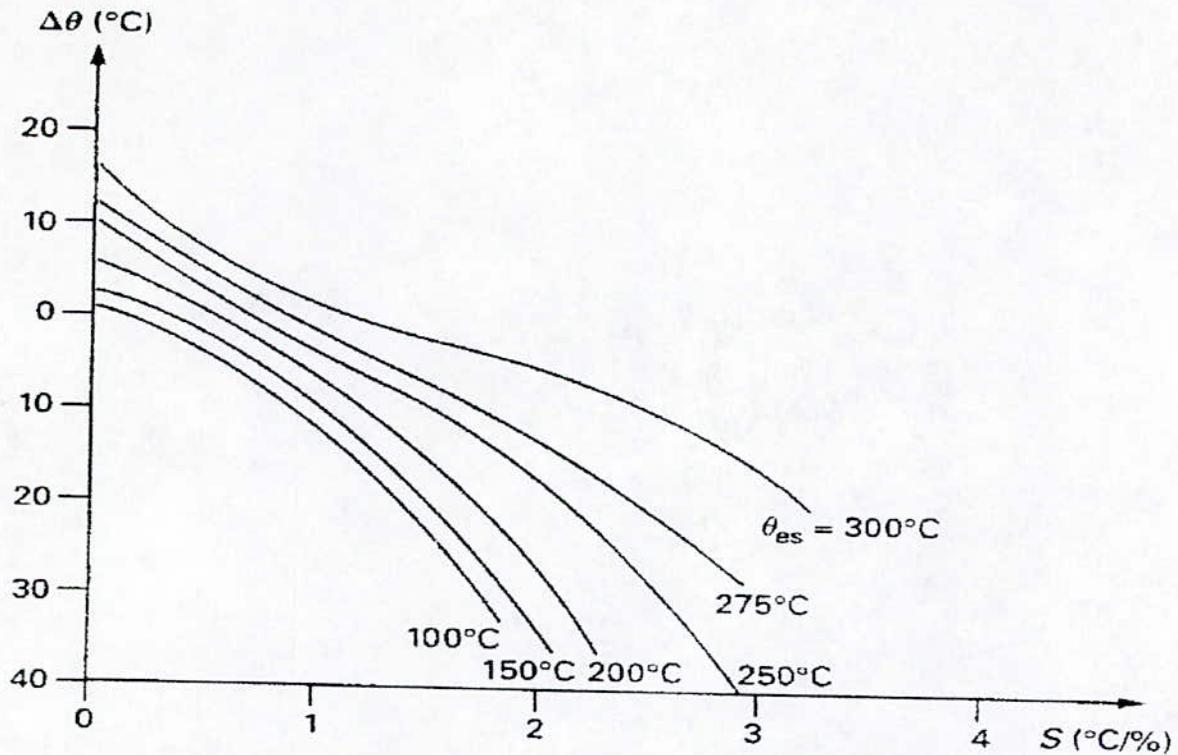


Figure 2.5: correction de la température moyenne pondérée ajouter à la première estimation ( $t_v$ ) [6]

### 1) kérosène

Les points de la courbe de distillation du kérosène sont :

$$t_{10} = 188 \text{ } ^\circ\text{C}, t_{50} = 209 \text{ } ^\circ\text{C}, t_{70} = 217 \text{ } ^\circ\text{C}, t_{90} = 234 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

- Calcul de la température moyenne volumétrique ( $t_v$ ) :

$$t_v = \frac{188 + 2 \cdot 209 + 234}{4} = 210 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

- Calcul de la correction à ajouter à  $t_v$  :

$$s = \frac{217 - 188}{60} = 0,483 \text{ } ^\circ\text{C}/\%.$$

- Par lecture sur l'abaque, on trouve  $\Delta\theta = +1^\circ\text{C}$ , donc :

$$t_{\text{mav}} = 210 + 1 = 211 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

## 2) Gasoil léger

$t_{10}= 196^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{50}= 294^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{70}= 316^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{90}= 355^{\circ}\text{C}$ .

- Calcul de la température moyenne volumétrique ( $t_v$ ) :

$$t_v = \frac{196 + 2.294 + 355}{4} = 297,75^{\circ}\text{C}$$

- Calcul de la correction à ajouter à  $t_v$  :

$$s = \frac{316 - 248}{60} = 1,13^{\circ}\text{C}/\%.$$

- Par lecture sur l'abaque de, on trouve  $\Delta\theta = 0^{\circ}\text{C}$ , donc :

$$t_{\text{mav}} = 297,75 + 0 = 297,75^{\circ}\text{C}.$$

## 3) GOMI<sub>A</sub>

$t_{10}= 216,7^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{50}= 273^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{70}= 305,2^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{90}= 350,7^{\circ}\text{C}$ .

- Calcul de la température moyenne volumétrique ( $t_v$ ) :

$$t_v = \frac{216,7 + 2.273 + 350,7}{4} = 278,35^{\circ}\text{C}$$

- Calcul de la correction à ajouter à  $t_v$  :

$$S = \frac{305,2 - 216,7}{60} = 1,475^{\circ}\text{C}/\%.$$

- Par lecture sur l'abaque de, on trouve  $\Delta\theta = 0^{\circ}\text{C}$ , donc :

$$t_{\text{mav}} = 278,35 - 7,5 = 270,85^{\circ}\text{C}.$$

## 4) GOMI<sub>S</sub>

Les points de la courbe distillation du gasoil léger sont :

$t_{10}= 207,3^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{50}= 269,4^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{70}= 303,4^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{90}= 340,7^{\circ}\text{C}$ .

- Calcul de la température moyenne volumétrique ( $t_v$ ) :

$$t_v = \frac{207,3 + 2.269,4 + 340,7}{4} = 271,7^{\circ}\text{C}$$

- Calcul de la correction à ajouter à  $t_v$  :

$$s = \frac{303,4 - 207,3}{60} = 1,6^{\circ}\text{C}/\%.$$

- Par lecture sur l'abaque de, on trouve  $\Delta\theta = 0^{\circ}\text{C}$ , donc :

$$t_{\text{mav}} = 271,7 - 7 = 264,7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Echantillons	T <sub>MAV</sub> (°C)
Kérosène	211,0
GO <sub>I</sub>	297,7
GOMI <sub>A</sub>	270,8
GOMI <sub>S</sub>	264,7

Tableau 2.4: température d'ébullition moyenne des différents échantillons analysés

### 5) Le facteur de caractérisation K<sub>UOP</sub>

Le facteur de caractérisation K<sub>uop</sub> peut être déterminé par plusieurs méthodes, soit par lecture sur abaques, soit à partir des corrélations.

La corrélation la plus utilisée pour déterminer le K<sub>UOP</sub> est donnée par la relation

suivante :

$$K_{UOP} = \frac{\sqrt[3]{T_{\text{mav}} \text{ (} ^\circ\text{R)}}}{\text{sp.gr } 60 / 60^\circ\text{F}}$$

a) kérosène

$$K_{UOP} = \frac{\sqrt[3]{871,8}}{0,800} = 11,94.$$

b) GO<sub>I</sub>

$$K_{UOP} = \frac{\sqrt[3]{1027,95}}{0,848} = 11,90$$

c) GOMI<sub>A</sub>

$$K_{UOP} = \frac{\sqrt[3]{973,95}}{0,8353} = 11,87$$

d) GOMI<sub>S</sub>

$$K_{UOP} = \frac{\sqrt[3]{973,86}}{0,827} = 11,98$$

Echantillons	K <sub>UOP</sub>
Kérosène	11,94
GO <sub>I</sub>	11,90
GOMI <sub>A</sub>	11,87
GOMI <sub>S</sub>	11,98

Tableau 2.5: facteurs de caractérisation des différents échantillons analysés

## 6) Viscosité cinématique

La viscosité cinématique peut aussi être déterminée par corrélations et abaques, dans notre étude nous avons utilisé la corrélation de l'API pour les fractions pétrolières [25], elle est de la forme suivante :

$$\begin{aligned} \log(v_{100^\circ F}) &= -1,2926 + 9,461 \cdot 10^{-3} \cdot K_{UOP} + \frac{3,0522 \cdot K_{UOP} + 9,9538 \cdot 10^{-2} \cdot K_{UOP}^2}{API + 113,74 - 10,216 \cdot K_{UOP}} \\ \log(v_{210^\circ F}) &= -0,878 + \frac{3,0952 \cdot K_{UOP} - 5,8946}{API + 121,12 - 10,725 \cdot K_{UOP}} \end{aligned}$$

### a) kérosène

La viscosité cinématique qui nous intéresse par la suite est la viscosité à 100°F, et cela pour déterminer le point de congélation par corrélation aussi.

$$\begin{aligned} \log(v_{100^\circ F}) &= -1,2926 + 9,461 \cdot 10^{-3} \cdot 11,94 + \frac{3,0522 \cdot 11,94 + 9,9538 \cdot 10^{-2} \cdot 11,94^2}{45,34 + 113,74 - 10,216 \cdot 11,94} \\ &\Rightarrow v_{100^\circ F} = 0,8527 cSt \end{aligned}$$

### b) GO<sub>1</sub>

La viscosité à 210°F n'a pas été déterminée par mesure, les résultats qui donnent cette corrélation sont acceptables, car l'API la recommande pour le calcul [25].

$$\begin{aligned} \log(v_{210^\circ F}) &= -0,878 + \frac{3,0952 \cdot 11,91 - 5,8946}{35,7 + 121,12 - 10,725 \cdot 11,91} \\ &\Rightarrow v_{210^\circ F} = 1,54 cSt \end{aligned}$$

### c) GOMI<sub>A</sub>

La viscosité à 70°C ne pas être déterminée, car il n'y a pas corrélation à 70°C pour les fractions pétrolières.

De la même façon que précédemment, on peut avoir la viscosité du GOMI<sub>A</sub> à 210°F par calcul on utilisant la même corrélation.

$$\begin{aligned} \log(v_{210^\circ F}) &= -0,878 + \frac{3,0952 \cdot 11,87 - 5,8946}{38,06 + 121,12 - 10,725 \cdot 11,87} \\ &\Rightarrow v_{210^\circ F} = 1,23 cSt \end{aligned}$$

### d) GOMI<sub>S</sub>

Comme précédemment la viscosité à 210°F a été déterminée par la même corrélation !

$$\log(v_{210^\circ F}) = -0,878 + \frac{3,0952 \cdot 11,98 - 5,8946}{39,66 + 121,12 - 10,725 \cdot 11,98} \Rightarrow v_{210^\circ F} = 1,19 cSt$$

Echantillons	Viscosité cinématique (cSt)
Kéro, $v_{100^{\circ}F}$	0,8527
GO <sub>1</sub> , $v_{210^{\circ}F}$	1,54
GOMI <sub>A</sub> , $v_{210^{\circ}F}$	1,23
GOMI <sub>S</sub> , $v_{210^{\circ}F}$	1,19

Tableau 2.6: viscosités cinématiques des différents échantillons analysés.

### 7) Diesel Index (DI)

On peut calculer le diesel index à partir de la corrélation suivante :

$$DI = \frac{(^{\circ}API) \times (PA)}{100} \quad [24]$$

avec : PA : point d'aniline en °F,

#### e) GO<sub>1</sub>

$$DI = \frac{(35,7) \times (170,6)}{100} = 60,9$$

#### f) GOMI<sub>A</sub>

$$DI = \frac{(38,06) \times (165,2)}{100} \cong 62,9$$

#### g) GOMI<sub>S</sub>

$$DI = \frac{(39,66) \times (170,96)}{100} = 67,8$$

Echantillons	DI
GO <sub>1</sub>	60,9
GOMI <sub>A</sub>	62,9
GOMI <sub>S</sub>	67,8

Tableau 2.7: diesel index des différents échantillons analysés

### 8) Indice de cétane

L'indice de cétane peut être obtenu par différentes méthodes, soit par corrélations et abaques, soit par lecture sur abaque seulement, comme il est démonté ci-dessous :

## 1. Kérosène

- 50% ASTM qui correspond à 209°C,
  - °API = 45,34,
- ⇒ ICC=48.

2. GO<sub>1</sub>

- 50%ASTM qui correspond à 309°C,
  - °API = 35,7.
- ⇒ ICC= 55

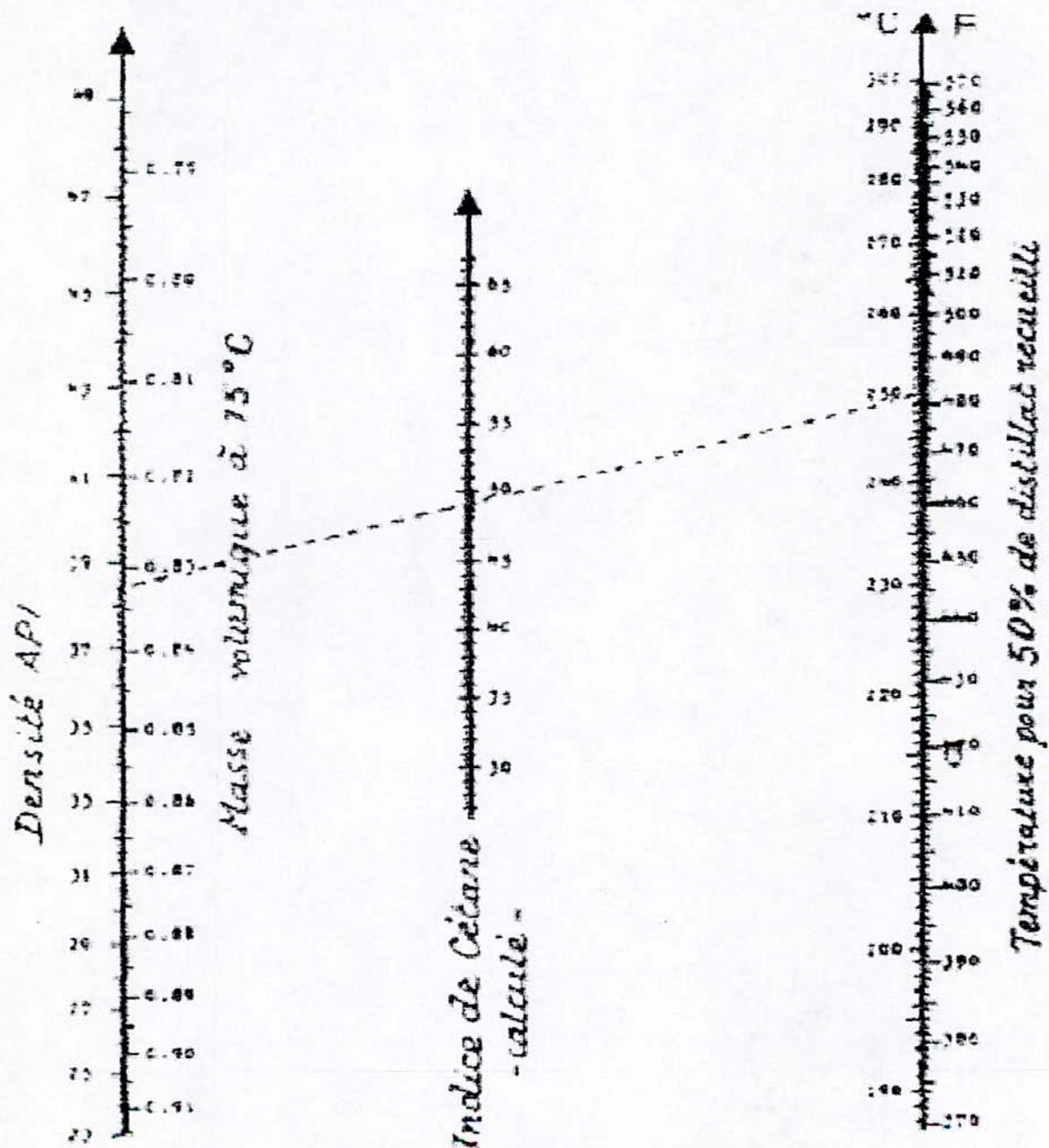


Figure 2.6: Abaque indice de cétane en fonction du point 50%vol et la densité [5].

**3. GOMI**

- 50%ASTM qui correspond à 269°C,
- °API qui est égale à 38,06.

$$\Rightarrow \text{ICC} = 53.$$

**4. GOMI<sub>S</sub>**

- 50%ASTM qui correspond à 269,4 °C,
- °API qui est égale à 39,66.

$$\Rightarrow \text{ICC} = 56.$$

On peut aussi déterminer l'indice de cétane par la norme ASTM D 4737 qui est déjà citée en partie théorique.

Le calcul des indices de cétane a été par un programme sur le turbo pascal, et cela pour faciliter la tâche (annexe3).

Echantillons	Norme (ASTM D4737)	Abaque 50%vol	Différence
Kérosène	50	48	2
GO <sub>I</sub>	56	55	1
GOMI <sub>A</sub>	54	53	1
GOMI <sub>S</sub>	56	56	0

**9) Masse moléculaire**

Le poids moléculaire peut être déterminé par plusieurs corrélations et abaques, puisque notre objectif n'est pas de faire une comparaison entre ces méthodes de détermination nous avons choisi une seule corrélation pour déterminer la masse molaire.

Par lecture sur l'abaque représenté ci-dessous, on connaissant la  $t_{\text{max}}$  et la densité en degré API, on peut avoir facilement la masse molaire de la fraction pétrolière.

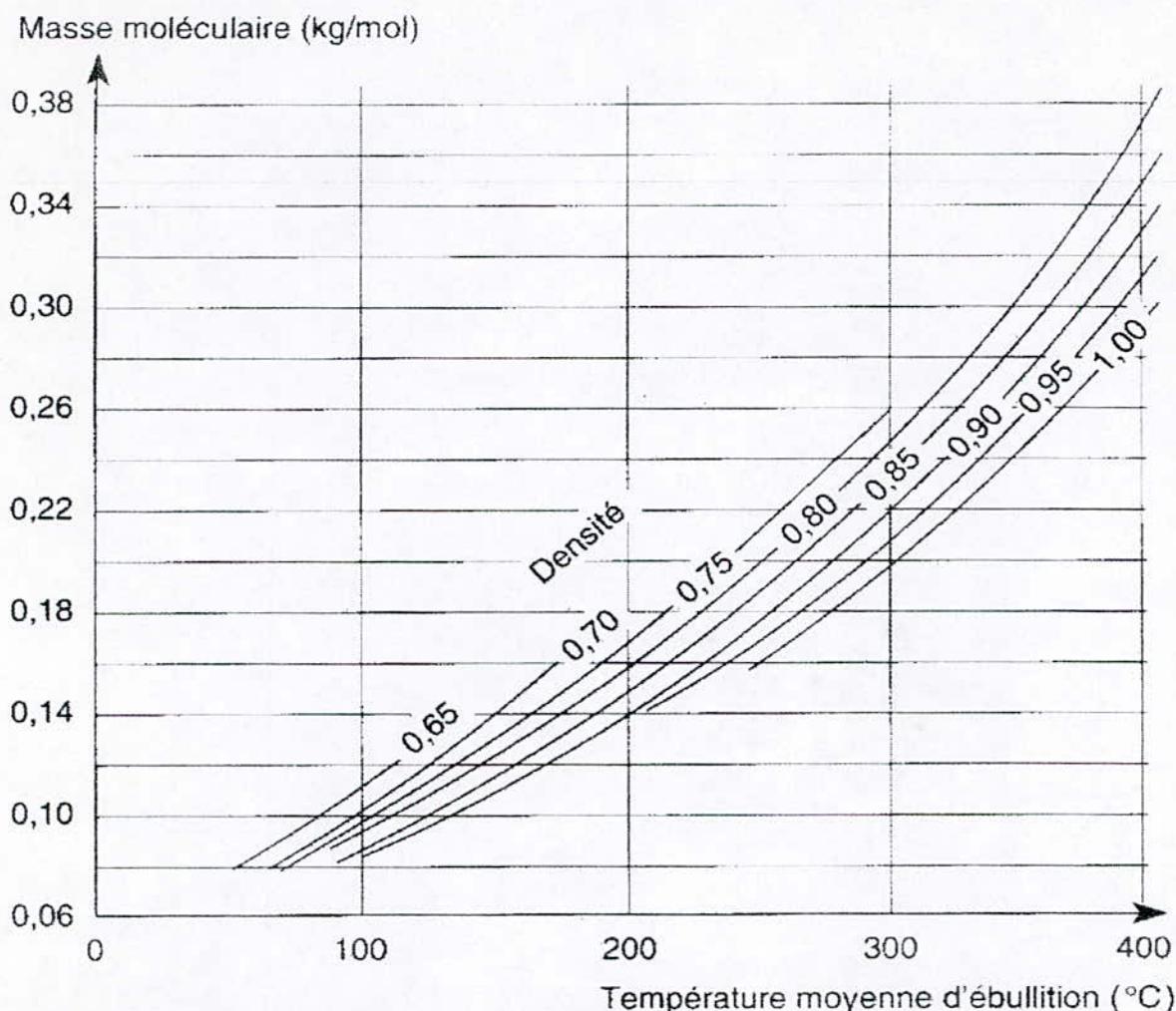


Figure 2.7: masse moléculaire des fractions pétrolières[6]

La corrélation choisie est la corrélation de Riazi [25], défini par la relation suivante :

$$M = 42,965 \times \left[ \exp(2,097 \times 10^{-4} \times T_b - 7,78712 \times Sp.Gr + 2,08476 \times 10^{-3} \times T_b \times Sp.Gr) \right] \times (T_b^{1,26007} \times Sp.Gr^{4,98308})$$

Avec la température d'ébullition moyenne est en Kelvin.

Echantillons	Corrélation (Riazi)	Abaque	écart	moyenne
Kérosène	167	165,71	1,29	166,35
GO <sub>1</sub>	235,62	234,28	1,34	234,95
GOM <sub>A</sub>	212,2	211,43	0,77	211,81
GOM <sub>S</sub>	207,8	205,7	2,1	206,75

Tableau 2.8 : masse moléculaire des différents échantillons analysés calculés par deux méthodes

On constate que les écarts entre les deux méthodes sont très faibles.

### 10) Point de congélation et d'écoulement

On peut utiliser des corrélations pour avoir une estimation sur le point d'écoulement et le point de congélation.

Pour les fractions pétrolières qui ont des masses molaires comprises entre 100 et 800 g/mole, Riazi- Daubert [25] proposent la relation suivante :

$$T_{Cg} = 234,8.sp.gr^{2,970566} MM^{(0,61235 - 0,473575.sp.gr)} \nu_{100}^{(0,310331 - 0,32834.sp.gr)}$$

avec :

$T_{Cg}$  : point d'écoulement de la fraction pétrolière en °R.

$\nu_{100}$  : viscosité cinématique à 100°F en cSt.

Sp.gr: specific gravity 60°/60°F.

MM: masse molaire en g/mole.

#### a. Kérosène

$$T_{Cg} = 234,8.0,800^{2,970566} .167^{(0,61235 - 0,473575.0,800)} .0,8527^{(0,310331 - 0,32834.0,800)}$$

$$\Rightarrow T_{Cg} = -47^{\circ}C.$$

#### b. GO<sub>1</sub>

$$T_{Cg} = 234,8.0,847^{2,970566} .236^{(0,61235 - 0,473575.0,800)} .4,51^{(0,310331 - 0,32834.0,847)}$$

$$\Rightarrow T_{Cg} = -8^{\circ}C.$$

#### c. GOMI<sub>A</sub>

$$T_{Cg} = 234,8.0,835^{2,970566} .209,4^{(0,61235 - 0,473575.0,835)} .3,20^{(0,310331 - 0,32834.0,835)}$$

$$\Rightarrow T_{Cg} = -19^{\circ}C$$

#### d. GOMI<sub>S</sub>

$$T_{Cg} = 234,8.0,800^{2,970566} .167^{(0,61235 - 0,473575.0,800)} .0,8527^{(0,310331 - 0,32834.0,800)}$$

$$\Rightarrow T_{Cg} = -22^{\circ}C$$

ECHANTILLON	Résultats expérimentaux	Résultats par corrélation	Ecart
$T_{Cg}$ , Kéro, (°C)	-47	-52	5
$T_{Cg}$ , GO <sub>1</sub> , (°C)	-8	-9	1
$T_{Cg}$ , GOMI <sub>A</sub> , (°C)	-19	-12	7
$T_{Cg}$ , GOMI <sub>S</sub> , (°C)	-22	-9	11

Tableau 2.9: Comparaison entre les résultats obtenue par cette corrélation avec les résultats expérimentaux

Nous constatons que les valeurs obtenues pour le kérosène et le gasoil sont proches des valeurs mesurées, les écarts sont faibles. On ce qui concerne le  $GOMI_A$  et  $GOMI_S$ , ont remarquant que les écarts sont important, cela est dû en fait, que ces derniers sont des mélanges de deux fractions pétrolières.

### 11) Pouvoir calorifique supérieur (PCSm)

Une fois qu'on a la densité à 15°C et le facteur de caractérisation  $K_{uop}$ , on peut facilement déterminer le pouvoir calorifique supérieur (PCSm) par une simple lecture sur l'abaque suivante :

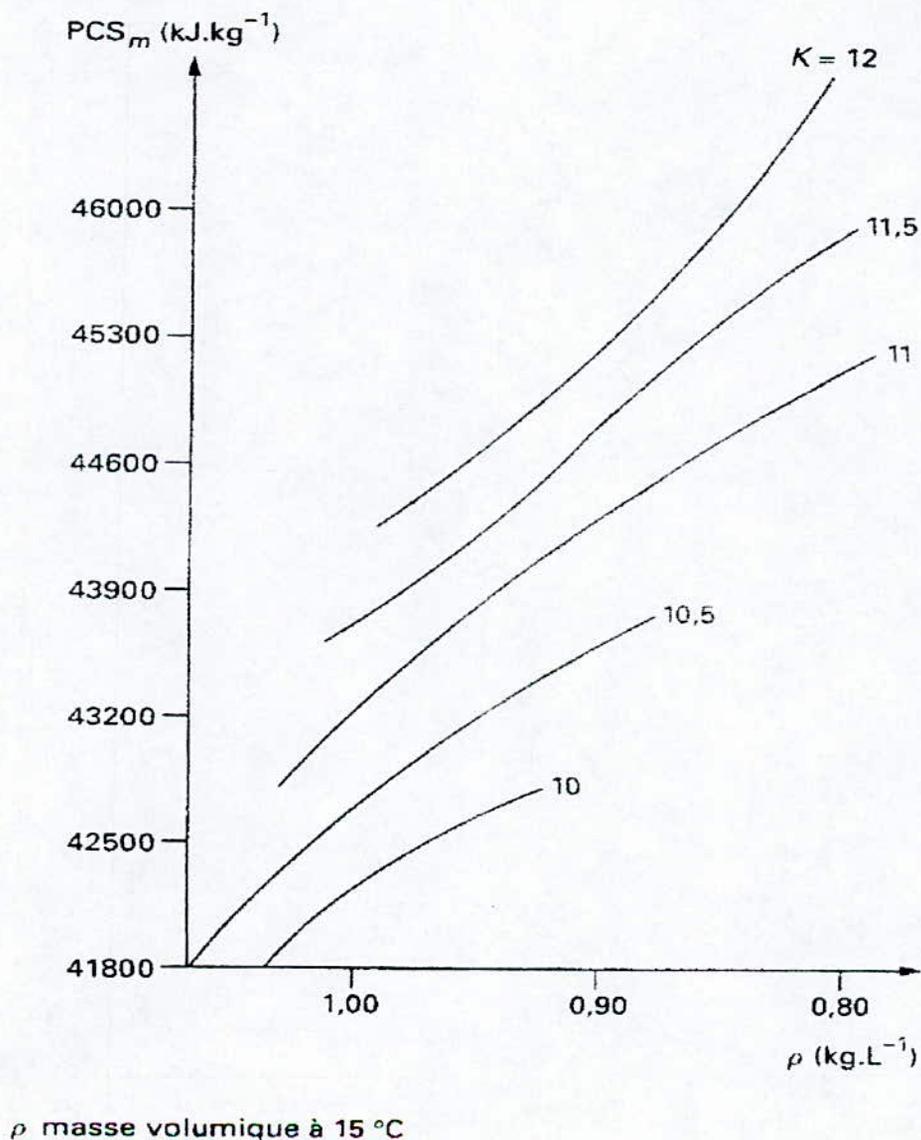


Figure 2.8: Détermination du pouvoir calorifique supérieur[6].

Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) est déterminé par simple lecture sur abaque

Echantillon	PCSm (Kj/kg)
Kérosène	46356,2
GO <sub>I</sub>	45603,8
GOMI <sub>A</sub>	45771,0
GOMI <sub>S</sub>	45896,4

Tableau 2.10: pouvoir calorifique supérieur des différents échantillons analysés

### 12) Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI)

Le pouvoir calorifique inférieur massique (PCIm) est déterminé par l'utilisation des abaques et corrélations. Plusieurs méthodes nous permet de calculer le PCI, une entres-elles, est déjà citée dans la partie théorique, et qui est la suivante :

$$PCIm = PCSm - 212,2 W_H [3]$$

La teneur en hydrogène est calculé à partir de l'abaque suivant

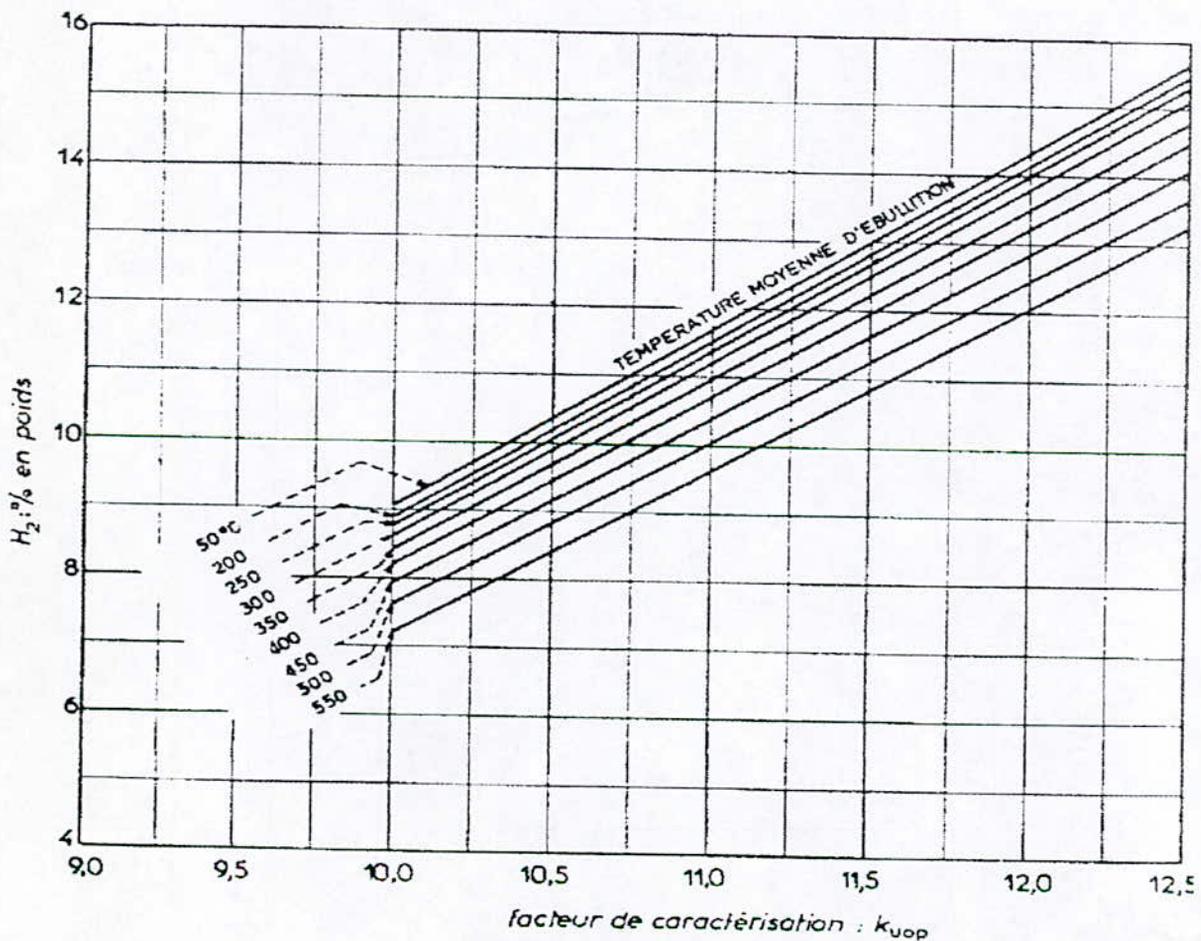


Figure 2.9: Teneur en hydrogène des fractions pétrolières [24]

Puisqu'on a la valeur de PCSm et la teneur en hydrogène, on peut déterminer facilement le PCI<sub>m</sub>.

Comme nous avons déjà cité en partie théorique, ce qui nous intéresse c'est ne pas le PCI<sub>m</sub> mais c'est le PCI<sub>v</sub>, le calcul du PCI<sub>v</sub> se fait par la relation suivante :

$$PCI_v = PCI_m \times \rho$$

PCI<sub>m</sub> : pouvoir calorifique inférieur massique.

$\rho$  étant la masse volumique à 20°C.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

Echantillon	PCI <sub>m</sub> (KJ/kg)	W <sub>H</sub> (%pds)	PCI <sub>v</sub> (KJ/l)
Kérosène	43385,4	14	34526,1
GO <sub>1</sub>	42730,6	13,54	36034,7
GOMI <sub>A</sub>	42897,8	<b>13,50</b>	<b>35656,7</b>
GOMI <sub>S</sub>	42944,7	<b>13,91</b>	<b>35339,2</b>
GOHM	42298,1	13,20	35632,1

Tableau 2.11: pouvoir calorifique inférieur massique et volumique des différents échantillons

**13) Teneur en carbone (paraffiniques, naphthéniques et aromatiques)**

La teneur en ces composés peut être obtenue par corrélations. Les méthodes les plus utilisées pour déterminer la teneur en carbone sont données ci-après :

**a. Méthode n.d.M à 20°C [24]**

La méthode n.d.M est basée sur la connaissance de trois propriétés :

- i. Indice de réfraction à 20°C (n)
- ii. Densité à 20°C (d)
- iii. Masse Moléculaire (M).

$V = 2,51(n-1,4750)-(d-0,8510)$ $W = (d-0,8510)-1,11(n-1,4750)$	
V > 0	$\%C_A = 430 \cdot V + \frac{3660}{M}$ $R_A = 0,44 + 0,055 \cdot M \cdot V$
V < 0	$\%C_A = 670 \cdot V + \frac{3660}{M}$ $R_A = 0,44 + 0,080 \cdot M \cdot V$
W > 0	$\%C_R = 820 \cdot W - 3 \cdot S + \frac{10000}{M}$ $R_T = 1,33 + 0,146 \cdot M \cdot (W - 0,005 \cdot S)$
W < 0	$\%C_R = 1440 \cdot W - 3 \cdot S + \frac{10600}{M}$ $R_T = 1,33 + 0,180 \cdot M \cdot (W - 0,005 \cdot S)$
$\%C_N = \%C_R - \%C_A$ $\%C_P = 100 - \%C_R$	
$R_N = R_T - R_A$	

**Tableau 2.12: Méthode n.d.M**

Avec :

$\%C_A$  : pourcentage en poids de carbones aromatiques,

$\%C_N$  : pourcentage en poids de carbones naphthéniques,

$\%C_P$  : pourcentage en poids de carbones paraffiniques,

$\%C_R$  : pourcentage en poids de carbones en cycles,

$R_A$  : nombre de cycles aromatiques dans une molécule moyenne,

$R_N$  : nombre de cycles naphthéniques dans une molécule moyenne,

$R_T$  : nombre de cycles total dans une molécule moyenne,

S : pourcentage en poids de soufre.

**b. Méthode n.d.PA [24]**

La méthode n.d.PA est basée sur la connaissance de :

- i. l'indice de réfraction mesurer à 20°C (n),
- ii. densité mesurer à 20°C (d),
- iii. Point d'aniline (PA).

Elle est donnée par la relation suivante :

$$\begin{aligned}\%C_A &= 1039,4.n - 470,4.d - 0,315.PA - 1094,3, \\ \%C_N &= -1573,3.n - 840,15.d - 0,4619.PA + 1662,2, \\ \%C_P &= 100 - (\%C_A + \%C_N).\end{aligned}$$

### c. Résultats des deux méthodes

#### 1. kérosène

Teneur en carbone	n.d.M	n.d.PA	écart
• Paraffines, (%pds)	73,12	59,541	<b>13,34</b>
• Naphtènes, (%pds)	16,919	26,395	<b>9,33</b>
• Aromatiques, (%pds)	9,96	14,064	<b>4,01</b>

#### 2. GO<sub>1</sub>

Teneur en carbone	n.d.M	n.d.PA	écart
• Paraffines, (%pds)	64,02	65,99	<b>1,97</b>
• Naphtènes, (%pds)	20,37	19,30	<b>1,07</b>
• Aromatiques, (%pds)	15,61	14,71	<b>0,90</b>

#### 3. GOMI<sub>A</sub>

Teneur en carbone	n.d.M	n.d.PA	écart
• Paraffines, (%pds)	66,38	64,68	<b>1,70</b>
• Naphtènes, (%pds)	19,05	20,68	<b>1,63</b>
• Aromatiques, (%pds)	14,57	14,63	<b>0,06</b>

#### 4. GOMI<sub>S</sub>

Teneur en carbone	n.d.M	n.d.PA	écart
• Paraffines, (%pds)	68,27	67,31	<b>0,96</b>
• Naphtènes, (%pds)	20,38	20,85	<b>0,47</b>
• Aromatiques, (%pds)	11,34	11,83	<b>0,49</b>

Les écarts importants constatés pour le kérosène s'expliquent par le domaine de validité de la méthode de n.d.M (MM>200) [24].

Ainsi, on constate que les résultats obtenus par les deux méthodes (n.d.M et n.d.PA) pour les échantillons (Gol, GOMI<sub>A</sub> et GOMI<sub>S</sub>) sont très proches l'une de l'autre.

---

**Annexe 3**  
**Programmation sur**  
**TURBO-PASCAL**

---

**INTRODUCTION**

Nous avons utilisés dans cette partie des programmes en turbo pascal, afin d'avoir des résultats avec une grande précision, et cela pour les propriétés physico-chimiques les plus intéressante, tel que : l'indice de cétane et la teneur en carbone.

**1. programme pour le calcul de l'indice de cétane par la norme ASTM D 4737**

```

program indicecetane(input,output);
program indicecetane(input,output);
uses wincrt;
var d,B,t10,t10n,t50,t50n,t90,t90n,ICC:real;
var ch:char;
begin
repeat; clrscr;
  writeln('ce programme va calculer l'indice de cetane');
  writeln(' par la norme ASTM D 4737');
  writeln('entrés les données suivantes');
  writeln('donner la densite à 15°C');
  write('d15=');
  readln(d);
  B:=exp(-3.5*(d-0.85))-1;
  write('t10=');
  readln(t10);
  t10n:=t10-215;
  write('t50=');
  readln(t50);
  t50n:=t50-260;
  write('t90=');
  readln(t90);
  t90n:=t90-310;
  ICC:=45.2+(0.0892*t10n)+((0.131+0.901*B)*t50n)+((0.0523-
0.420*B)*t90n)+(0.00049*(sqr(t10n)-sqr(t90n)))+(107*B)+(60*sqr(B));
  write('ICC=',ICC);
  writeln; write ('voulez vous continuer: o/n');ch:=readkey;
  until (ch='n') or (ch='N');
end.

```

---

## 2. Résultats de calcul

### 1- Résultats de calcul de l'indice de cétane pour les différents échantillons :

#### ❖ Kérosène

ce programme va calculer l'indice de cétane  
par la norme ASTM D 4737  
entrés les données suivantes  
donner la densité à 15°C  
d15=0.7991  
t10=188  
t50=209  
t90=234  
ICC= 5.0073755467E+01  
voulez vous continuer: o/n

#### ❖ GOL

ce programme va calculer l'indice de cétane  
par la norme ASTM D 4737  
entrés les données suivantes  
donner la densité à 15°C  
d15=0.847  
t10=248  
t50=294  
t90=355  
ICC= 5.5752420065E+01  
voulez vous continuer: o/n\_

#### ❖ GOMI<sub>A</sub>

ce programme va calculer l'indice de cétane  
par la norme ASTM D 4737  
entrés les données suivantes  
donner la densité à 15°C  
d15=0.834  
t10=216.7  
t50=273  
t90=350.7  
ICC= 5.4425054614E+01  
voulez vous continuer: o/n

#### ❖ GOMI<sub>S</sub>

ce programme va calculer l'indice de cétane  
par la norme ASTM D 4737  
entrés les données suivantes  
donner la densité à 15°C  
d15=0.8265  
t10=207.3  
t50=269.4  
t90=340.7  
ICC= 5.6151853870E+01  
voulez vous continuer: o/n

### 3. programme pour le calcul de la teneur en carbone par la méthode n.d.M et n.d.PA

```
program PNA(input,output);
```

```
uses wincrt;
```

```
var d,n,v,w,CA,RA,M,CR,S,RT,CN,CP,PA,RN: real;
```

```
var methode: integer;
```

```
  ch:char;
```

```
begin
```

```
repeat;
```

```
  clrscr;
```

```
  writeln('ce programme va calculer la teneur en carbone');
```

```
  writeln('on utilisant la méthode n.d.M et n.d.PA');
```

```
  writeln('la densité et l'indice de refraction sont mesurer à 20°C');
```

```
  writeln('les valeur obtenus sont en %');
```

```
  writeln('entrés les données suivantes');
```

```
  write('donner la densité à 20°C,d20=');
```

```
    readln(d);
```

```
  write('donner l'indice de refraction,n20=');
```

```
    readln(n);
```

```
  write('donner la methode:');
```

```
    readln(methode);
```

```
case methode of
```

```
  1:begin
```

```
    writeln('teneur en carbone par la methode n.d.M');
```

```
      write('donneur la teneur en soufre en %poids, %S=');
```

```
        readln(s);
```

```
      write('donner la masse molaire en g/mole,MM=');
```

```
        readln(M);
```

```
      v:=2.51*(n-1.4750)-(d-0.8510);
```

```
      writeln('v=',v);
```

```
        if v<0 then
```

```
          begin
```

```
            CA:=(670*v)+(3660/M);
```

```

        writeln('%CA=',CA);
        RA:=(0.44+(0.008*M*V));
        writeln('RA=',RA);
    end;
if v=0 then writeln('pas de valeurs');
if v>0 then
    begin
        CA:=(430*v)+(3660/M);
        writeln('%CA=',CA);
        RA:=(0.44+(0.055*M*V));
        writeln('RA=',RA);
    end;
w:=(d-0.8510)-1.11*(n-1.4750);
    if w>0 then
        begin
            CR:=(820*W)-(3*S)+(10000/M);
            writeln('%CR=',CR);
            RT:=(1.33+(0.146*M*(W-(0.005*s)))));
            Writeln('RT=',RT);
        end;
    if W= 0 then writeln ('pad de valeur');
    if w<0 then
        begin
            CR:=(1440*W)-(3*S)+(10000/M);
            writeln('%CR=',CR);
            RT:=(1.33+(0.180*M*(W-(0.005*s)))));
            Writeln('RT=',RT);
        end;
        CN:= CR-CA ;
        writeln('%CN=',CN);
        CP:=100-CR;
        writeln('%CP=',CP);
        RN:=RT-RA;
        writeln ('RT=',RT);

```

```
end;
2:begin
write('donner le point daniline en °C, PA=');
  readln(PA);
writeln('teneur en carbone par la methode n.d.PA');
CA:=(1039.4*n)-(470.4*d)-(0.315*PA)-1094.3;
writeln('%CA=',CA);
CN:=(-1573.3*n)+(840.15*d)-(0.4619*PA)+1662.2;
writeln('%CN=',CN);
CP:= 100-(CA+CN);
writeln('%CP=',CP);
end;
end;
  write('voulez vous continuer: o/n');ch:=readkey;
  until (ch='n') or (ch='N') ;
  end.
```

## 4. Résultats de calcul de la teneur en carbone pour les différents échantillons :

## ❖ Kérosène

## ➤ Méthode n.d.M

ce programme va calculer la teneur en carbone  
on utilisant la méthode n.d.M et n.d.PA  
la densité et l'indice de refraction sont mesurer à 20°C  
les valeur obtenus sont en %  
entrés les données suivantes  
donner la densité à 20°C, d20=0.7958  
donner l'indice de refraction, n20=1.4459  
donner la methode:1  
teneur en carbone par la methode n.d.M  
donneur la teneur en soufre en %poids, %S=0.087  
donner la masse molaire en g/mole, MM=165.71  
v=-1.7841000000E-02  
%CA= 1.0133308107E+01  
RA= 4.1634854312E-01  
%CR= 2.7110828269E+01  
RT= 6.3399811480E-01  
%CN= 1.6977520162E+01  
%CP= 7.2889171731E+01  
RT= 6.3399811480E-01  
voulez vous continuer: o/n\_

## ➤ Méthode n.d.PA

ce programme va calculer la teneur en carbone  
on utilisant la méthode n.d.M et n.d.PA  
la densité et l'indice de refraction sont mesurer à 20°C  
les valeur obtenus sont en %  
entrés les données suivantes  
donner la densité à 20°C, d20=0.7958  
donner l'indice de refraction, n20=1.4459  
donner la methode:2  
donner le point daniline en °C, PA=64  
teneur en carbone par la methode n.d.PA  
%CA= 1.4064140001E+01  
%CN= 2.6395299995E+01  
%CP= 5.9540560003E+01  
voulez vous continuer: o/n

## ❖ GOL

## ➤ Méthode n.d.M

ce programme va calculer la teneur en carbone  
 on utilisant la méthode n.d.M et n.d.PA  
 la densité et l'indice de refraction sont mesurer à 20°C  
 les valeur obtenus sont en %  
 entrés les données suivantes  
 donner la densité à 20°C,  $d_{20}=0.8433$   
 donner l'indice de refraction,  $n_{20}=1.47196$   
 donner la methode:1  
 teneur en carbone par la methode n.d.M  
 donneur la teneur en soufre en %poids,  $\%S=0.1167$   
 donner la masse molaire en g/mole,  $MM=234.28$   
 $v=6.9600000209E-05$   
 $\%CA=1.5652260252E+01$   
 $RA=4.4089682384E-01$   
 $\%CR=3.6105003902E+01$   
 $RT=1.1229812894E+00$   
 $\%CN=2.0452743650E+01$   
 $\%CP=6.3894996098E+01$   
 $RT=1.1229812894E+00$   
 voulez vous continuer: o/n

## ➤ Méthode n.d.PA

ce programme va calculer la teneur en carbone  
 on utilisant la méthode n.d.M et n.d.PA  
 la densité et l'indice de refraction sont mesurer à 20°C  
 les valeur obtenus sont en %  
 entrés les données suivantes  
 donner la densité à 20°C,  $d_{20}=0.8433$   
 donner l'indice de refraction,  $n_{20}=1.47196$   
 donner la methode:2  
 donner le point daniline en °C,  $PA=77$   
 teneur en carbone par la methode n.d.PA  
 $\%CA=1.4711904000E+01$   
 $\%CN=1.9297526997E+01$   
 $\%CP=6.5990569003E+01$   
 voulez vous continuer: o/n\_

❖ GOMI<sub>A</sub>

## ➤ Méthode n.d.M

ce programme va calculer la teneur en carbone  
 on utilisant la méthode n.d.M et n.d.PA  
 la densité et l'indice de refraction sont mesurer à 20°C  
 les valeur obtenus sont en %  
 entrés les données suivantes  
 donner la densité à 20°C,  $d_{20}=0.8312$   
 donner l'indice de refraction,  $n_{20}=1.4655$   
 donner la methode:1  
 teneur en carbone par la methode n.d.M  
 donneur la teneur en soufre en %poids,  $\%S=0.0882$   
 donner la masse molaire en g/mole,  $MM=211.13$   
 $v=-4.0450000002E-03$   
 $\%CA= 1.4625141053E+01$   
 $RA= 4.3316783320E-01$   
 $\%CR= 3.3772383205E+01$   
 $RT= 9.6151903360E-01$   
 $\%CN= 1.9147242152E+01$   
 $\%CP= 6.6227616795E+01$   
 $RT= 9.6151903360E-01$   
 voulez vous continuer: o/n\_

## ➤ Méthode n.d.PA

ce programme va calculer la teneur en carbone  
 on utilisant la méthode n.d.M et n.d.PA  
 la densité et l'indice de refraction sont mesurer à 20°C  
 les valeur obtenus sont en %  
 entrés les données suivantes  
 donner la densité à 20°C,  $d_{20}=0.8312$   
 donner l'indice de refraction,  $n_{20}=1.4655$   
 donner la methode:2  
 donner le point daniline en °C,  $PA=74$   
 teneur en carbone par la methode n.d.PA  
 $\%CA= 1.4634220000E+01$   
 $\%CN= 2.0680929996E+01$   
 $\%CP= 6.4684850004E+01$   
 voulez vous continuer: o/n

❖ GOMI<sub>s</sub>

## ➤ Méthode n.d.M

ce programme va calculer la teneur en carbone  
 on utilisant la méthode n.d.M et n.d.PA  
 la densité et l'indice de refraction sont mesurer à 20°C  
 les valeur obtenus sont en %  
 entrés les données suivantes  
 donner la densité à 20°C,  $d_{20}=0.8229$   
 donner l'indice de refraction,  $n_{20}=1.45011$   
 donner la methode:1  
 teneur en carbone par la methode n.d.M  
 donneur la teneur en soufre en %poids, %S=0.0418  
 donner la masse molaire en g/mole, MM=206.75  
 $v=-3.4373900002E-02$   
 $\%CA=-5.3279737026E+00$   
 $RA= 3.8314556940E-01$   
 $\%CR= 4.7562369714E+01$   
 $RT= 1.3046528635E+00$   
 $\%CN= 5.2890343417E+01$   
 $\%CP= 5.2437630286E+01$   
 $RT= 1.3046528635E+00$   
 voulez vous continuer: o/n\_

## ➤ Méthode n.d.PA

ce programme va calculer la teneur en carbone  
 on utilisant la méthode n.d.M et n.d.PA  
 la densité et l'indice de refraction sont mesurer à 20°C  
 les valeur obtenus sont en %  
 entrés les données suivantes  
 donner la densité à 20°C,  $d_{20}=0.8229$   
 donner l'indice de refraction,  $n_{20}=1.45011$   
 donner la methode:2  
 donner le point daniline en °C, PA=77.2  
 teneur en carbone par la methode n.d.PA  
 $\%CA= 1.53417400008E+00$   
 $\%CN= 3.64426920000E+01$   
 $\%CP= 6.20231339999E+01$   
 voulez vous continuer: o/n