

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Ibn Khaldoun de Tiaret Faculté des  
Sciences appliquées



## **PROJET DE FIN DE CYCLE MASTER**

**Domaine :** Sciences et Technologie

**Filière :** génie mécanique

**Parcours :** Master

**Spécialité :** Energétique

**Thème :**

**Etude comparative de la caractérisation d'un  
lubrifiant de moteur à essence « lubrifiant  
importé TOTAL -SAE 10w40 a un lubrifiant  
algérien fabriqué et commercialisé par  
NAFTAL »**

**Préparé par :**

AROSSI Razika et BOUZID Widad

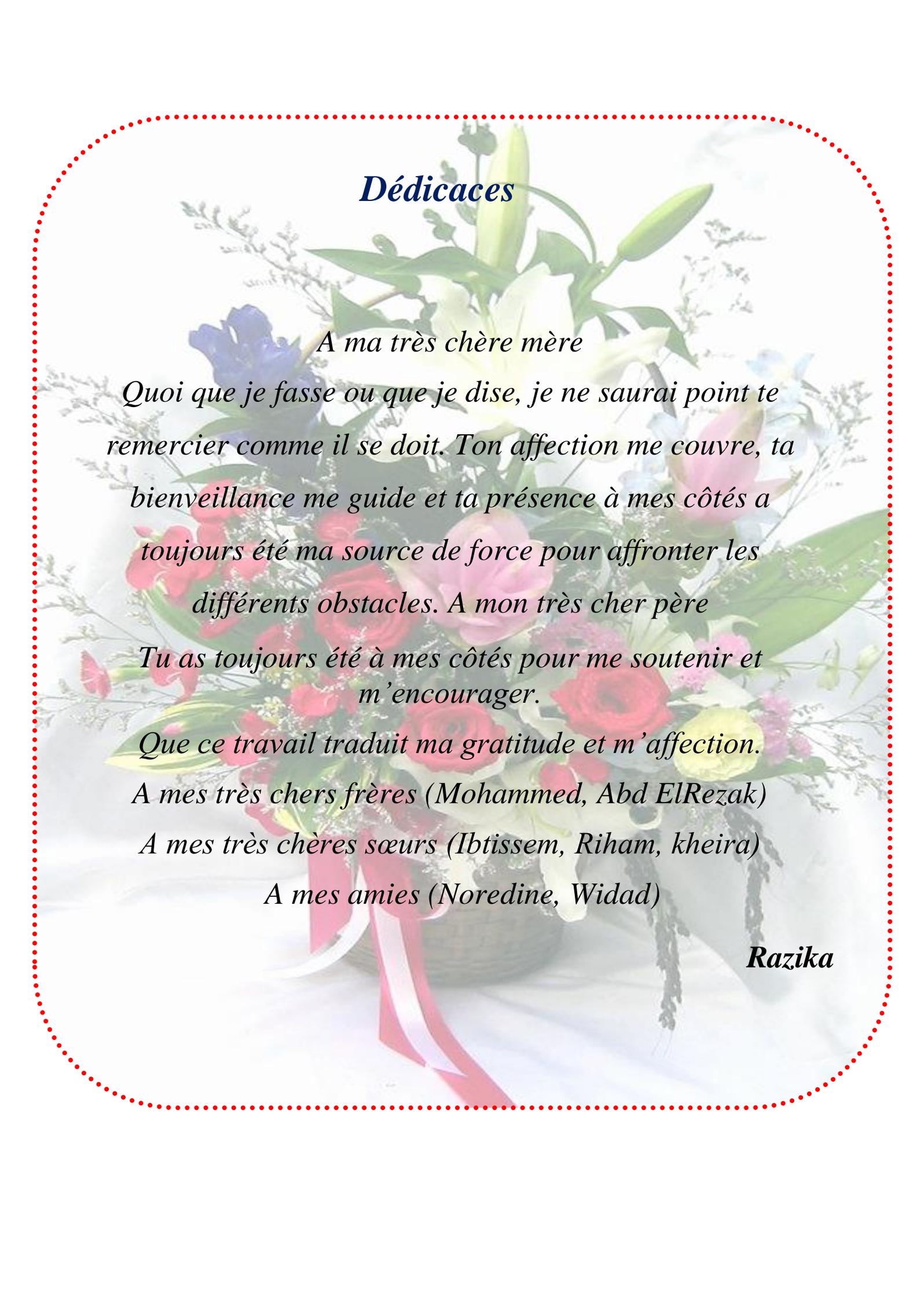
Soutenu publiquement le : 12 / 06 / 2024, devant le jury composé de :

<b>Nom prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Université de Rattachement</b>	<b>Qualité</b>
CHAIB Khaled	Pr	Université de Tiaret	Président
KARAS Abdelkader	Pr	Université de Tiaret	Encadrant
SAD CHEMLOUL Nord-Eddine	Pr	Université de Tiaret	Examineur
BELMILOUD Mohamed Amine	MCB	Université de Tiaret	Examineur

**Année universitaire : 2023 /2024**



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



## *Dédicaces*

*A ma très chère mère*

*Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles. A mon très cher père*

*Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.*

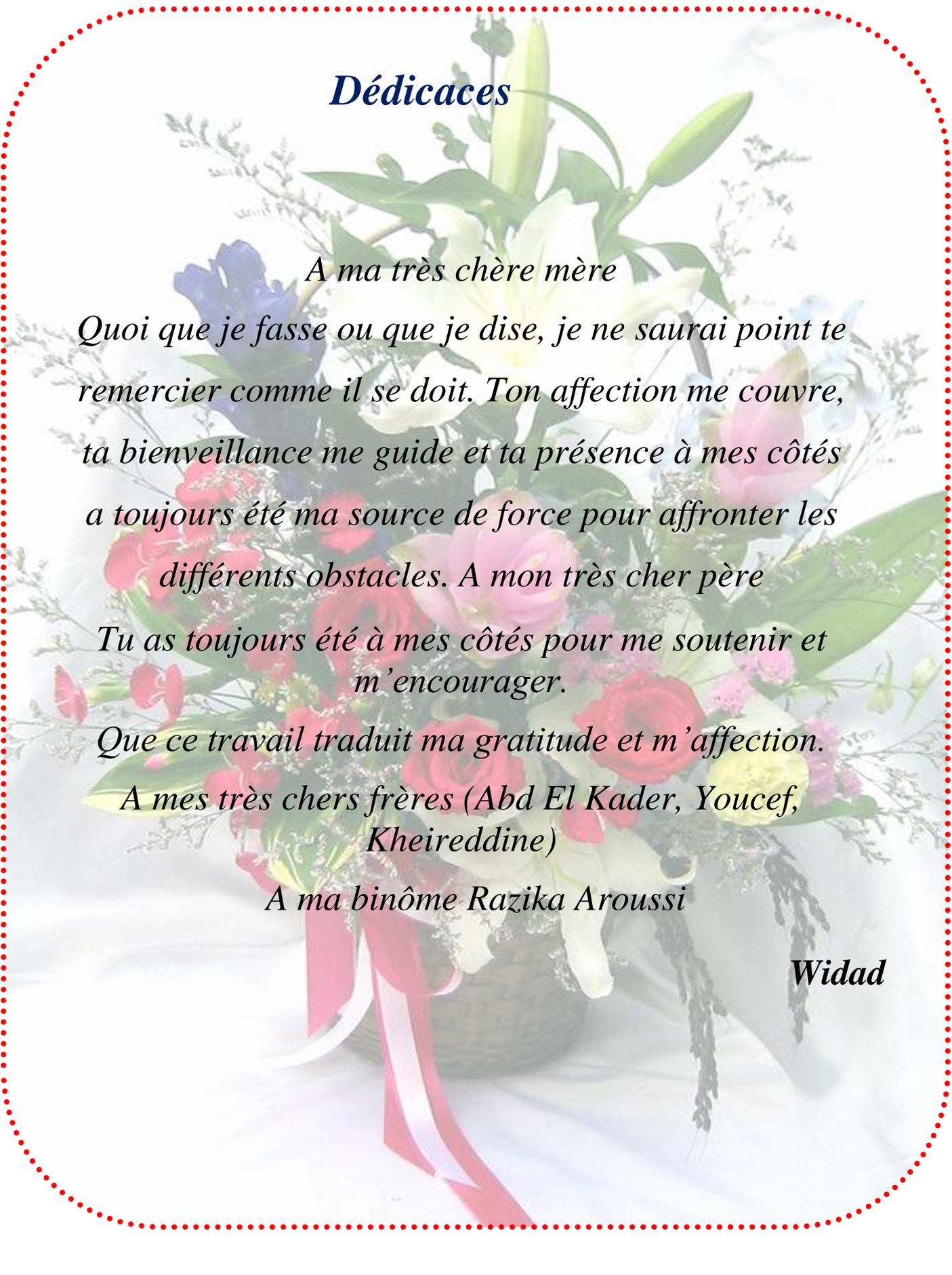
*Que ce travail traduit ma gratitude et m'affection.*

*A mes très chers frères (Mohammed, Abd ElRezak)*

*A mes très chères sœurs (Ibtissem, Riham, kheira)*

*A mes amies (Noredine, Widad)*

**Razika**



## *Dédicaces*

*A ma très chère mère*

*Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles. A mon très cher père*

*Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.*

*Que ce travail traduit ma gratitude et m'affection.*

*A mes très chers frères (Abd El Kader, Youcef, Kheireddine)*

*A ma binôme Razika Aroussi*

**Widad**

## *Remerciements*

*Notre travail expérimental a été effectué à l'université Ibn Khaldoun de Tiaret, dans le laboratoire de recherche « Fluides Industriels Mesures et Applications « FIMA » de l'université de Khemis-Miliana Djilali Bounaama, nous tenons à remercier tout d'abord ALLAH qui nous a guidé vers le bon chemin et qui nous a donné le courage et la force de continuer ce travail. Nous exprimons nos profonds remerciements à notre encadreur : Professeur. Abdelkader KARAS, nous sommes heureux de travailler sous sa supervision et de bénéficier de ses conseils judicieux. Nous tenons à remercier messieurs les membres du jury pour leurs collaborations durant l'examen de ce travail et leurs participations à la soutenance à savoir : Professeur chaib khaled à l'Université Ibn Khaldoun qui a été heureux de nous donner l'honneur de présider le jury de soutenance. Monsieur SAAD CHAMELOULE Nouredine, Professeur à l'Université Ibn Khaldoun, Monsieur Amine BELMILOUD, Maître de Conférences « B » à l'Université Ibn Khaldoun, qui ont accepté d'examiner ce travail. Qu'ils trouvent ici le témoignage de notre reconnaissance. Nous remercions tous les enseignants et les responsables du département de Génie Mécanique. Un remerciement tout spécial à Monsieur MAZOUZI Ridha Maître de Conférences « A » à l'Université de Khemis-Miliana, pour son aide à tous les niveaux et notamment en partie expérimentale. Enfin, nous exprimons notre remerciement à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

## **SOMMAIRE**

Remerciement .....	.....
Dédicaces .....	.....
Sommaire .....	.....
Liste des figures .....	.....
Liste des tableaux .....	.....
Nomenclatures.....	.....
Introduction générale.....	2
 <b>Chapitre I : Généralité sur la lubrification.</b>	
I.1 Introduction.....	6
I.2 Le rôle de la lubrification.....	6
I.3 Les lubrifiants .....	6
I.4 Différente types de lubrifiants .....	7
I.4.1 Lubrifiants d'origine animale .....	7
I.4.2 Lubrifiants d'origine végétale .....	7
I.4.3 Lubrifiants d'origine minérale.....	7
I.4.4 Les huiles de synthèse ou synthétiques.....	8
I.5 Le lubrifiant moteur .....	8
I.6 Les principaux types de lubrifiants .....	8
I.6.1 les lubrifiants liquides .....	9
I.6.1.1 Les huiles de base .....	9
I.6.1.2 Les additifs .....	10
I.6.1.3 Les graisses .....	11
I.7 Spécification des lubrifiant .....	11
I.8 Techniques et analyses .....	12
I.9 Procédés de fabrication des huiles de base .....	13
I.9.1 Huile de base .....	13
I.9.1.1 Huiles de base d'origine végétale.....	13
I.9.1.2 Les huiles d'origine minérale (huile de pétrole) .....	13
I.9.1.3 Les huiles de base de synthèse.....	16
I.9.1.4 Les huiles semi-synthétiques ou partiellement synthétiques .....	17
I.10 Conclusion .....	17

**Chapitre II : Propriétés Physico- Chimiques et Rhéologique des Lubrifiants**

II.1. Introduction .....	19
II.2. Propriétés du lubrifiant .....	19
II.3. La dégradation des huiles moteurs .....	23
II.4. Propriétés rhéologiques .....	23
II.4.1. Grandeurs rhéologiques .....	24
II.4.1.1. Contrainte de cisaillement .....	24
II.4.1.2. Taux de cisaillement .....	25
II.4.1.3. Viscosité .....	26
II.5. Modèle rhéologique .....	28
II.5.1. Fluides newtoniens .....	29
II.5.2. Fluides non newtoniens .....	29
II.5.2.1. Fluides non newtoniens indépendants du temps .....	30
II.5.2.1.1. Fluides rhéofluidifiants ou pseudo plastique .....	30
II.5.2.1.2. Fluides rhéoépaississants .....	31
II.5.2.1.3. Fluides plastiques .....	32
II.5.2.2. Fluides non newtoniens dépendants du temps .....	34
II.5.2.2.1. Fluides thixotropiques .....	34
II.5.2.2.2. Fluides anti-thixotropiques .....	35
II.5.3. Fluides viscoélastiques .....	36
II.6. Les rhéomètres .....	36
II.6.1. Définition d'un rhéomètre .....	36
II.6.2. Domaine d'application des rhéomètres .....	36
II.6.3. Rhéomètre à régime permanent .....	37
II.6.3.1. Rhéomètre de type couette .....	37
II.6.3.1.1. Rhéomètres à plan de translation .....	37
II.6.3.1.2. Rhéomètres rotatifs cylindriques .....	37
II.6.3.1.3. Rhéomètres rotatifs à cône/plateau .....	38
II.6.3.2. Rhéomètres à type de poiseuille .....	39
II.6.3.3. Viscosimètre à chute de bille .....	39
II.6.3.4. Rhéomètre à régime transitoire .....	40
II.6.3.5. Rhéomètre dynamique (oscillant) .....	40

II.7. Conclusion ..... 40

**Chapitre III : Etude Expérimentale**

III.1. Introduction ..... 43  
III.2. Présentation de fluide de base « l’huile de SAE 10W40 » de Naftal ..... 43  
III.3. Présentation de l’huile TOTAL SAE 10W40 ..... 45  
III.4. Description de rhéomètre ..... 46  
III.5. Utilisation du MCR ..... 50

**Chapitre IV : Résultat et Discussion**

IV.1 Introduction .....58  
IV.2. Procédures expérimentales .....58  
IV.3. Interprétation des résultats et comparaison entre le lubrifiant SAE 40 .....66  
IV.4. Résultats obtenus à l’aide du rhéomètre MCR 302.....68  
IV.4.1. Les courbes d’écoulement .....68  
IV.4.1.1 : L’huile de Naftal .....68  
IV.4.1.2. L’huile de Total .....74  
IV.5. Analyse des résultats .....80  
Conclusion générale .....83

Références bibliographiques.

Résumé.

Abstract.

ملخص

***Liste des figures***

<b>Figure I.1</b> : Lubrifiant de moteur .....	7
<b>Figure I.2</b> : Huile végétale .....	7
<b>Figure I.3</b> : Huile minérale .....	8
<b>Figure I.4</b> : Pétrole brut .....	9
<b>Figure I.5</b> : Formulation des huiles moteurs .....	10
<b>Figure I.6</b> : Graissage des pièces moteurs .....	11
<b>Figure I.7</b> : huile moteur pour les conditions climatiques .....	12
<b>Figure I.8</b> : : Produits obtenus du pétrole en fonction de la température de distillation .....	14
<b>Figure II.1</b> : Barre des couleurs .....	20
<b>Figure II.1</b> : Schéma de tâche des huiles usagées .....	22
<b>Figure II.3</b> : Schéma de l'écoulement de cisaillement .....	24
<b>Figure II.4</b> : : Forces agissant sur deux éléments de couches voisines. ....	25
<b>Figure II.5</b> : Mouvement laminaire de cisaillement entre deux plans parallèles .....	26
<b>Figure II.6</b> : Ecoulement newtonien dans un film d'huile. ....	27
<b>Figure II.7</b> : rhéogramme des fluides newtoniens .....	29
<b>Figure II.8</b> : Allure des courbes d'écoulement des principaux types de fluides non newtonien .....	30
<b>Figure II.9</b> : Rhéogramme d'un fluide rhéofluidifiant (en bleu) .....	31
<b>Figure II.10</b> : Rhéogramme d'un fluide rhéoépaississant (en rouge) .....	32
<b>Figure II.11</b> : Comportement d'un fluide Bingham .....	33
<b>Figure II.12</b> : Comportement d'un fluide de casson .....	33
<b>Figure II.13</b> : Rhéogramme d'un fluide de Herchel-Bukley .....	34
<b>Figure II.14</b> : Rhéogramme d'un fluide non newtonien dépendant du temps .....	34
<b>Figure II.15</b> : Yaourt est un exemple classique d'un matériau thixotrope. ....	35
<b>Figure II.16</b> : Fluide anti-thixotropique : (a) au repos, (b) Après une forte agitation. ....	35
<b>Figure II.17</b> : Relaxation d'un corps viscoélastique .....	36
<b>Figure II.18</b> : Rhéomètres plan de translation. ....	37
<b>Figure II.19</b> : Rhéomètre rotative .....	38
<b>Figure II.20</b> : Rhéomètre cylindrique .....	38
<b>Figure II.21</b> : Rhéomètre rotatif à cône/plan. ....	38

<b>Figure II.22</b> : Schéma d'un rhéomètre rotatif à cône plateau .....	39
<b>Figure II.23</b> : Viscosimètre à chute de bille .....	40
<b>Figure III.1</b> : Laboratoire de FIMA. ....	43
<b>Figure III.2</b> : Photo de l'emballage commercial de l'huile NAFTALIA SAE10w40 .....	44
<b>Figure III.3</b> : Photo de l'emballage commercial de l'huile TOTAL SAE10w40.....	45
<b>Figure III.4</b> : Rhéomètre Modular compact 302.....	46
<b>Figure III.5</b> : MCR en vue d'ensemble.....	47
<b>Figure III.6</b> : Bain de circulation d'un MCR.....	48
<b>Figure III.7</b> : Système de mesure monté (côté gauche).....	49
<b>Figure III.8</b> : Un écran du rhéomètre (MCR). ....	50
<b>Figure III.9</b> : Panneau de commande du rhéomètre MCR 302.....	52
<b>Figure III.10</b> : Lancement du logiciel raccordé par MCR. ....	53
<b>Figure III.11</b> : Compresseur lié à un MCR302.....	53
<b>Figure III.12</b> : Exploitation du logiciel dans le réglage du MCR. ....	54
<b>Figure III.13</b> : choix de type de test pour la mesure. ....	54
<b>Figure III.14</b> : échantillon mis en place du MCR. ....	55
<b>Figure III.15</b> : Un MCR302 mis en marche. ....	56
<b>Figure IV.1</b> . Balance de précision.....	59
<b>Figure IV.2</b> . Réfractomètre .....	61
<b>Figure IV.3</b> . PH mètre.....	62
<b>Figure IV.4</b> : Rhéogramme de l'huile de Naftal à 0°C. ....	69
<b>Figure IV.5</b> : Rhéogramme de l'huile de Naftal à 20°C. ....	69
<b>Figure IV.6</b> : Rhéogramme de l'huile de Naftal à 60°C. ....	70
<b>Figure IV.7</b> : Rhéogramme de l'huile de Naftal à différentes températures. ....	70
<b>Figure IV.8</b> : La courbe viscosité dynamique-temps à taux de cisaillement de 50 et 100 (1/s) pour l'huile de Naftal à température constante. ....	71
<b>Figure IV.9</b> : La courbe viscosité dynamique-temps à taux de cisaillement de 200 (1/s) pour l'huile de Naftal à température constante. ....	72
<b>Figure IV.10</b> : La courbe viscosité dynamique-temps à différents taux de cisaillement de l'huile de Naftal à température constante. ....	73
<b>Figure IV.11</b> : La Courbe de viscosité dynamique-température à taux de cisaillement constant pour l'huile de Naftal. ....	74
<b>Figure IV.12</b> : Rhéogramme de l'huile de Total à 0°C.....	75
<b>Figure IV.13</b> : Rhéogramme de l'huile de Total à 20°C. ....	75

<b>Figure IV.14:</b> Rhéogramme de l'huile de Total à 60°C.....	76
<b>Figure IV.15:</b> Rhéogramme de l'huile de Total à différentes températures. ....	76
<b>Figure IV.16 :</b> La courbe viscosité dynamique-temps à taux de cisaillement de 50 et 100 (1/s) pour l'huile de Total à température constante.....	77
<b>Figure IV.17 :</b> La courbe viscosité dynamique-temps à taux de cisaillement de 50 et 100(1/s) pour l'huile de Total à température constante.....	78
<b>Figure IV.18 :</b> La courbe viscosité dynamique-temps à différents taux de cisaillement de l'huile de Total à température constante.....	79
<b>Figure IV.19:</b> La Courbe de viscosité dynamique-température à taux de cisaillement constant pour l'huile de Total.....	80

***Liste des tableaux***

<b>Tableau II.1</b> : Valeurs de viscosité de fluides (à 20°C et à la pression atmosphérique normale)	28
<b>Tableau III.1</b> : Caractéristiques de l'huile naftalia SAE10w40.	44
<b>Tableau III.2</b> : caractéristiques de l'huile TOTAL SAE10w40.	45
<b>Tableau III.3</b> : Composition de l'écran MCR302	51
<b>Tableau IV.1</b> : Présentation des valeurs de viscosité dynamique à différents taux de cisaillements pour l'huile de Naftal à une température constante.	71
<b>Tableau IV.2</b> : Présentation des valeurs de viscosité dynamique à taux de cisaillements de 200(1/s) pour l'huile de Naftal à une température constante.	72
<b>Tableau IV.3</b> : La courbe viscosité dynamique-température à taux de cisaillement de pour l'huile de Naftal.	73
<b>Tableau IV.4</b> : Présentation des valeurs de viscosité dynamique à différents taux de cisaillements pour l'huile de Total à une température constante.	77
<b>Tableau IV.5</b> : Présentation des valeurs de viscosité dynamique à taux de cisaillement de 200(1/s) pour l'huile de Total à une température constante.	78
<b>Tableau IV.6</b> : La courbe viscosité dynamique-température à taux de cisaillement de pour l'huile de Total.	79

*Nomenclature*

Symbole	Désignation	Unité
D	Densité	-
$I_S$	Indice de saponification	-
$I_E$	Indice d'ester	-
$n_D^T$	Indice de réfraction	-
$\Gamma$	Déformation de cisaillement	[1/s]
M	Viscosité dynamique	[Pa .s]
N	Viscosité cinématique	[m <sup>2</sup> /s]
P	Masse volumique	[kg/ m <sup>3</sup> ]
$\tau$	Contrainte de cisaillement	[Pa]
$\tau_c$	Contrainte critique	[Pa]
K	Indice consistance	-
N	Indice de comportement	(0<n<1)
$\eta_p$	Viscosité plastique	[Pa. s]
E	Module élasticité	[M Pa]
$I_A$	Indice d'acide	-

*Abréviation*

DAO	De. Asphalted Oit.
MEC	Méthyléthylcétone.
MIBC	Méthylisobutylcétone.
VI	Indice de viscosité.
SI	Système Internationale.
CGS	Contribution Sociale Généralisé.
TAN	Indice d'acide Total.
TBN	Indice de Basicité Total.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
MCR	Modular Compact Rheometer.

# Introduction Générale

Les avancées dans la construction automobile et la technologie des moteurs sont inextricablement liées aux performances des huiles moteurs. Plus la conception des moteurs est complexe, plus le rendement et l'optimisation de la consommation augmentent, et plus l'huile moteur est sollicitée et doit atteindre les limites de ses capacités.

Les huiles lubrifiantes sont des liquides visqueux utilisés pour lubrifier les parties mobiles des moteurs et des machines. Ce sont des produits pétroliers qui se dégradent après un certain temps d'utilisation, en raison de la contamination par des éléments polluants. La sélection d'un lubrifiant est cruciale pour garantir une durée de vie plus longue des mécanismes et des machines. Pour choisir un lubrifiant adéquat, il est nécessaire de connaître ses propriétés. Parmi celles-ci, on trouve : la viscosité, l'indice de viscosité, la densité, la compressibilité, le point d'écoulement, le point d'éclair, etc. La propriété la plus importante est la viscosité. Celle-ci dépend du taux de cisaillement et de la température. La relation entre la viscosité et le taux de cisaillement, ainsi qu'entre la viscosité et la température, est également cruciale pour la rhéologie du lubrifiant et pour la longévité des éléments de machine.

La viscosité varie en fonction de la température, une relation cruciale pour la rhéologie des lubrifiants et la longévité des composants mécaniques. Afin de comprendre les performances d'une huile lubrifiante, il est essentiel d'étudier cette relation, notamment dans les applications à haute température. Par conséquent, la mesure de la viscosité devient un outil indispensable pour cette analyse. Tous les essais expérimentaux réalisés sur un rhéomètre rotatif.

Le travail réalisé dans le cadre de ce projet de fin d'étude a comme objectif d'étudier comparativement les caractéristiques d'un lubrifiant de moteur à essence « lubrifiants importée Total- a un lubrifiant algérien fabriqué et commercialisé par Naftal. Cette étude concerne l'huile moteur multigrade : SAE 10W40.

L'approche comparative dans cette étude implique l'évaluation de plusieurs marques et formulations de lubrifiants, utilisant des méthodes normalisées telles que les tests ASTM (American Society for Testing and Materials) et les essais tribologiques spécifiques. Les résultats obtenus permettront de déterminer les avantages et les inconvénients de chaque produit, offrant ainsi des recommandations éclairées pour le choix des lubrifiants en fonction des besoins spécifiques des moteurs à essence.

Ce mémoire comporte deux grandes parties : une partie bibliographique et une partie expérimentale.

I : La partie bibliographique comporte deux chapitres :

- Dans le premier chapitre, on présentera des généralités sur la théorie de lubrification, Technique et Analyse et ainsi que les principaux procédés de fabrication des huiles de base.
- Le deuxième chapitre aura consacré les propriétés physico-Chimique et rhéologiques des lubrifiants.

II : Partie expérimentale : elle est répartie en deux chapitres.

- Le troisième chapitre mettra l'accent sur la caractérisation des matériaux et matériel utilisés durant la réalisation des essais.
- Le dernier chapitre est consacré à l'étude expérimentale, elle contient des expériences effectuées au laboratoire (le ph, viscosité dynamique, indice d'acide, indice de réfraction ...) sur deux lubrifiants (SAE 40 ,10w40 total).

Enfin, dans une conclusion générale, sont rappelés les principaux résultats obtenus.

Partie  
bibliographique

# Chapitre I

Généralité sur la lubrification.

### I.1. Introduction

La lubrification est un processus essentiel dans des nombreux domaines, de l'ingénierie mécanique à l'industrie automobile, en passant par l'aérospatiale elle consiste à réduire la friction et l'usure entre deux surfaces en contact en introduisant un fluide lubrifiant, tel que l'huile ou la graisse. Cette pratique permet d'améliorer l'efficacité, la durabilité et la fiabilité des machines et des équipements. Elle est essentielle pour prolonger la durée de vie des machines et réduire l'usure. La sélection du lubrifiant dépend du type d'application, des conditions de fonctionnement et des matériaux en présence [1].

### I.2. Le rôle de la lubrification [2]

- La diminution du frottement, cause principale de l'usure ;
- Participer au refroidissement du moteur, évacuation de la chaleur produite par le frottement ou par une source extérieure ;
- Protection contre la rouille et d'autres types de corrosion ;
- Transmission de l'énergie : dans les circuits hydrauliques et les transmissions automatiques de véhicules ;
- Diminuer l'usure des surfaces en contact
- Solubiliser les gaz ;
- Protéger et assurer la durée de vie des mécanismes en mouvement.

Pour assurer ces fonctions, le lubrifiant doit avoir plusieurs propriétés telles que :

- Une aptitude à éliminer les contaminants ;
- La protection contre la corrosion et l'usure ;
- Une action dispersante et détergente ;
- La protection contre l'oxydation et le moussage ;
- Une aptitude de mise en route froid et chaud ;
- La réduction des frottements.

### I.3. Les lubrifiants :

Des lubrifiants appropriés et des intervalles d'entretien réguliers sont des facteurs déterminants pour une longue durée d'utilisation des pièces.



**Figure I.1:** lubrifiant de moteur [3].

#### **I.4. Différents types de lubrifiants [4]**

On peut distinguer les lubrifiants selon leur origine : animale, végétale, minérale ou synthétique, ou selon leur présentation, liquide, pâte ou solide.

##### **I.4.1. Lubrifiants d'origine animale :**

Ils sont constitués essentiellement d'esters résultant de la combinaison d'acides gras avec la glycérine. Ce sont souvent des « ancêtres » mais certains entrent encore dans diverses compositions.

##### **I.4.2. Lubrifiants d'origine végétale :**

Ce sont en général des combinaisons d'acides gras peu ou pas estérifiés. Certains sont encore largement utilisés en addition dans les huiles de pétrole ou dans les graisses.



**Figure I.2 :** huile végétale [5].

##### **I.4.3. Lubrifiants d'origine minérale :**

Les huiles minérales proviennent de la distillation du pétrole brut. D'un prix peu élevé, elles présentent des performances « moyennes ».

Le procédé d'obtention de ces huiles n'est pas parfait : les molécules obtenues sont de tailles différentes, ce qui nuit à l'homogénéité de l'huile et limite ses possibilités d'application. Des

produits indésirables restent également dans cette huile de base (paraffines, solvants légers...).



**Figure I.3 :** huile minérale.[6]

#### **I.4.4. Les huiles de synthèse ou synthétiques :**

Dans le cas de l'huile synthétique, on fabrique la molécule dont on a précisément besoin, si bien que l'on obtient une huile de base dont le comportement est voisin de celui d'un corps pur. En créant un produit dont les propriétés physiques et chimiques sont prédéterminées, on fait mieux que la nature.

#### **I.5. Le lubrifiant moteur [2] :**

Un produit complexe et multifonctions ; Nous pouvons distinguer différents types de lubrifiants : fluide, solide, pâteux (graisse) ou gazeux. Au niveau de notre étude, nous utilisons les lubrifiants de type fluide, les huiles pour moteur. Peut-être définie comme une substance liquide, introduite entre deux surfaces métalliques en mouvement afin de réduire le frottement entre elles, ce qui facilite les mouvements des pièces métalliques et ralentit leur usure.

Les huiles de lubrification sont utilisées dans les domaines suivants : l'automobile (il s'agit de huile moteur), l'aviation (turbines et pistons), la marine et l'industrie (hydraulique, compresseurs, engrenages, turbines, systèmes de circulation et de réfrigération) .

#### **I.6. Les principaux types de lubrifiants :**

Les principaux types de lubrifiants peuvent être classés en plusieurs catégories en fonction de leur composition et de leur utilisation. Tout d'abord, les lubrifiants minéraux, dérivés du pétrole, sont largement utilisés dans diverses applications industrielles et automobiles. Ils offrent une bonne stabilité thermique et une viscosité adaptée à différentes températures. Ensuite, les lubrifiants synthétiques, produits chimiquement, sont appréciés pour leur stabilité à haute température, leur résistance à l'oxydation et leur capacité à maintenir une viscosité constante sur une large plage de températures. Ces lubrifiants sont souvent utilisés dans des environnements exigeants ou dans des applications spécialisées telles que l'industrie aérospatiale. Enfin, les lubrifiants biodégradables, fabriqués à partir de sources renouvelables telles que les huiles végétales, sont privilégiés dans les applications où la protection de

l'environnement est une priorité, comme dans l'agriculture ou les applications marines. Ces lubrifiants offrent une performance adéquate tout en réduisant l'impact environnemental [7].

### **I.6.1. Les lubrifiants liquides :**

Le lubrifiant liquide est un fluide essentiel dans des nombreux secteurs industriels, offrant une lubrification efficace, son utilisation dans les machines mécaniques garantit un fonctionnement optimal [8].

#### **I.6.1.1. Les huiles de base [9]**

Les lubrifiants d'origine minérale ou huiles de pétrole sont extraits de coupes pétrolières provenant de la distillation du pétrole brut. Ces coupes, que l'on nomme des « distillais », subissent des opérations de raffinage.

Selon que le pétrole brut appartient aux types paraffinique ou naphthénique, les huiles de base sont dites à tendance paraffinique ou à tendance naphthénique.



**Figure I.4 :** pétrole brut [10].

#### **I.6.1.2. Les additifs [4]**

Les additifs sont incorporés aux huiles de base ou aux graisses, dans le but d'améliorer certaines de leurs propriétés ou de leur en apporter de nouvelles. Il existe des additifs ne possédant qu'une seule fonction tandis que d'autres, à structure souvent plus complexe, sont « multifonctionnels ».

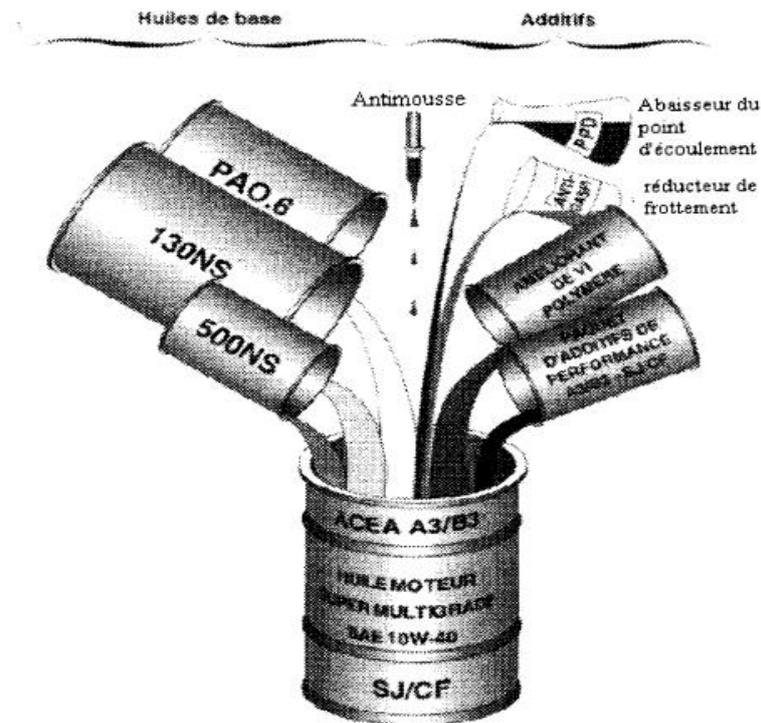


Figure I.5 : formulation des huiles moteurs [9].

#### I.6.1.2.1. Additifs amélioration d'indice de viscosité

Augmentent l'indice de viscosité du lubrifiant sans modifier défavorablement les autres propriétés essentielles. Permettre à l'huile d'être :

- Suffisamment fluide à froid.
- Visqueuse à chaud.

#### I.6.1.2.2. Additifs anti-congelant

Permettre au lubrifiant de garder une bonne fluidité à basse température (de - 15°C à -45°C).

#### I.6.1.2.3. Additifs antioxydants

Supprimer, ou tout au moins ralentir les phénomènes d'oxydation du lubrifiant.

Contribuer à l'espacement des vidanges par une meilleure tenue aux hautes températures.

#### I.6.1.2.4. Additifs anti-corrosion

Empêcher l'attaque des métaux ferreux, attaque due à l'action conjuguée de l'eau, de l'oxygène de l'air et de certains oxydes formés lors de la combustion.

#### I.6.1.2.5. Additifs anti-mousses

Le moussage de l'huile peut être dû :

- a. A la présence d'autres additifs Les additifs détergents agissent dans l'huile comme du savon dans l'eau : ils nettoient le moteur mais ont tendance à mousser
- b. Au dessin du circuit de graissage qui provoque des turbulences lors de l'écoulement du

lubrifiant, facilitant ainsi le brassage air-huile et la formation des bulles.

### **I.6.1.2.6. Additifs anti-émulsion et détergent**

Evite le mélange de fluides étrangers (de l'eau par exemple) avec l'huile et favorise la décantation (séparation) de l'ensemble Détergent Eviter la formation de dépôts ou de vernis sur les parties les plus chaudes du moteur telles que les gorges des pistons.

### **I.6.1.3. Les graisses**

Les graisses sont des produits viscoplastiques à aspect butyreux, obtenus par dispersion d'un agent épaississant (ou gélifiant) insoluble, dans une huile lubrifiante pouvant contenir, en outre, des additifs variés (antioxydants, antirouille, anticorrosifs, extrême pression, anti usure). Les propriétés et les domaines d'application des graisses sont fortement influencés par la nature de l'agent gélifiant et celle de l'huile de base. Parmi ces propriétés, les plus spécifiques pour les graisses sont la température de fusion de la première goutte caractérisant la tenue thermique. Les graisses sont la plupart du temps réservées pour des applications à hautes températures [9].



**Figure I.6** : graissage des pièces moteurs [11].

## **I.7. Spécification des lubrifiants [4] :**

### **I.7.1. Classification internationale des huiles industrielles :**

SAE : Il s'agit d'une norme établie par la Society of Automotive Engineer. La viscosité détermine la résistance à l'écoulement de l'huile, en fonction de la température.

1-Les huiles monograde ont une seule viscosité, expl : 10W

2-Les huiles multigrades possède une plage de viscosité, expl : 10W40, 20W50 Le premier chiffre renseigne sur la viscosité à froid. (W pour Winter, hiver en Anglais) reste liquide jusqu'à -35°C. Elle ira donc plus vite dans le circuit de graissage pour tout lubrifier. Le second chiffre indique la viscosité à chaud (mesurée à 100°C). Elle indique la résistance de l'huile et sa

capacité à résister à des températures élevées. En théorie, plus le premier chiffre est bas (jusqu'à 0) et plus le second chiffre est haut (jusqu'à 60), meilleures sont les performances.

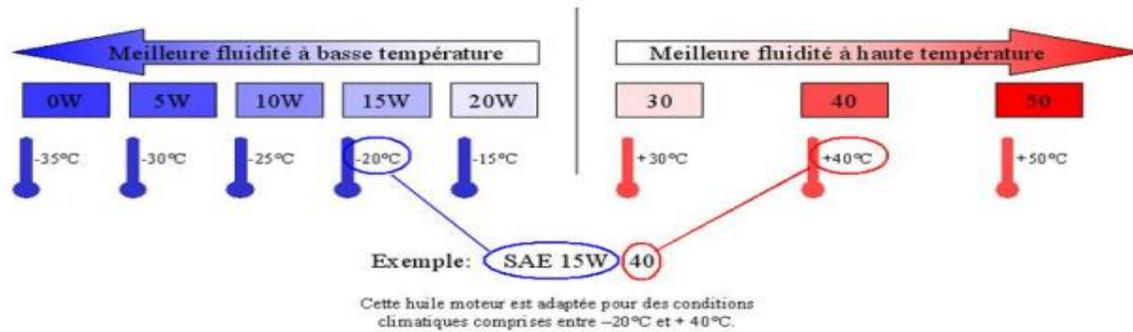


Figure I.7 : Huile moteur pour les conditions climatiques [4].

## I.8. Techniques et analyses :

Pour les moteurs à essence, l'analyse des lubrifiants est cruciale pour garantir leur bon fonctionnement et prolonger leur durée de vie. Voici quelques-unes des techniques et analyses spécifiques utilisées pour les moteurs à essence.

### I.8.1. Analyse visuelle : ASTM D 4176

Cette technique implique l'inspection visuelle du lubrifiant pour détecter des signes de contamination, de décoloration ou de présence de particules métallique. Elle peut être réalisée à l'aide de guides visuelles pour l'interprétation des résultats.

### I.8.2. Analyse de la viscosité : ASTM D445

La viscosité du lubrifiant est mesurée pour s'assurer qu'elle est conforme aux spécifications du fabricant et pour détecter tout signe de dégradation du lubrifiant.

### I.8.3. Analyse des éléments en suspension : ASTM D 5185

Cette analyse vise à détecter et quantifier les éléments métalliques en suspension dans le lubrifiant, ce qui peut indiquer l'usure des composants du moteur.

### I.8.4. Analyse de la contamination par l'eau : ASTM D 6304

La quantité d'eau présente dans le lubrifiant est mesurée pour éviter les problèmes de corrosion et de dégradation du lubrifiant.

### I.8.5. Analyse des acides : ASTM D 664

L'analyse des acides permet de détecter les niveaux d'acidité dans le lubrifiant, ce qui peut indiquer une contamination ou une dégradation du lubrifiant.

### I.8.6. Analyse des additifs : ASTM D 4951

Cette analyse permet de déterminer la concentration des additifs présents dans le lubrifiant, ce

qui peut affecter ses performances.

## **I.9. Procédés de fabrication des huiles de base :**

### **I.9.1. Huiles de base [12]**

Les huiles de base peuvent être d'origine naturelle : végétale, minérale c'est-à-dire extraites du pétrole (les plus utilisées) ou d'origine synthétique

#### **I.9.1.1. Huiles de base d'origine végétale**

L'utilisation d'huiles végétales, notamment d'huiles de colza et de tournesol, connaît actuellement un regain d'intérêt pour la préparation de certains lubrifiants biodégradables ("lubrifiants verts").

Il est à noter que pour des applications à température plus élevée (transmissions hydrauliques sévères, moteurs 2 temps, moteurs 4 temps...), les lubrifiants biodégradables encore rares, sont formulés avec des esters synthétiques. En effet, la trop faible stabilité à l'oxydation des huiles végétales les rend pour l'instant impropres à la lubrification de ces mécanismes avec les additivations conventionnelles.

#### **I.9.1.2. Les huiles d'origine minérale (huile de pétrole)**

Issue du raffinage du pétrole, l'huile minérale s'adresse généralement aux moteurs « classiques », aux anciens modèles ou pour les moteurs sans turbo. Elle est conseillée pour la conduite dans un climat tempéré. Avec une stabilité à l'oxydation plus faible que les autres types d'huiles, son usage nécessite des vidanges plus fréquentes par rapport aux huiles synthétiques.

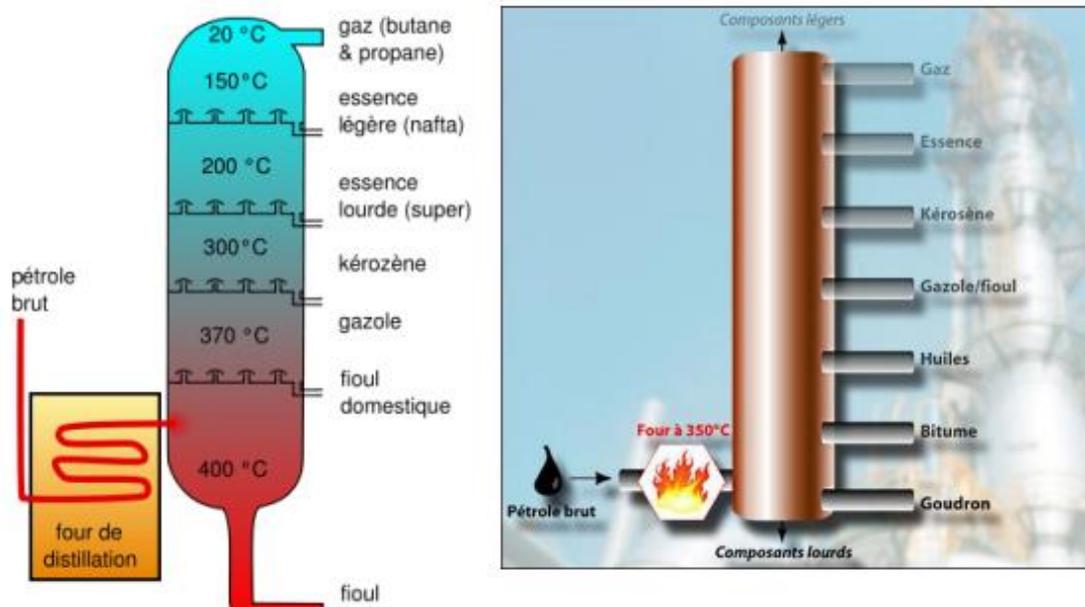
##### **I.9.1.2.1. Les hydrocarbures contenus dans les huiles minérales**

Les huiles minérales sont des mélanges d'hydrocarbures de structures et de masses molaires différentes et d'une petite quantité d'impuretés résiduelles constituées de composés oxygénés, azotés et soufrés dont la plupart sont polaires et peuvent conférer à l'huile de base de faibles propriétés antioxydante et anti usure naturelle.

##### **I.9.1.2.2. Chaîne traditionnelle de raffinage des huiles minérales [9]**

Elle comporte les étapes suivantes :

**La distillation atmosphérique du pétrole brut** pour séparer les produits pétroliers selon leurs points de distillation en : gaz de pétrole, essences, "naphta", White Spirit carburateur, "Kérosène", fuel-oils domestiques, fuels lourds et résidu de distillation atmosphérique qui constitue le fond de cuve.



**Figure I.8 :** Produits obtenus du pétrole en fonction de la température de la distillation [13].

**La distillation sous vide** du résidu de distillation atmosphérique qui est effectuée sous vide partiel pour éviter le craquage des molécules lourdes. Elle permet d'obtenir différentes coupes gazole sous vide en haut de la tour, puis, à différents niveaux, des bases lubrifiantes appelées "distillat sous vide" de viscosité variable (distillats légers, moyens et lourds) et enfin, tout au fond de la tour, un produit très lourd, le "résidu sous vide", destiné à la fabrication des bitumes et des huiles lubrifiantes les plus visqueuses.

**Le désasphaltage du résidu sous vide** au propane liquide qui dissout l'huile et provoque la précipitation de l'asphalte sous forme de boue. Ce dernier sert à la fabrication des bitumes tandis que la partie huileuse, désignée DAO (De Asphalted Oil), séparée du solvant, va servir à la préparation des huiles de base les plus visqueuses (en anglais : *brist stocks*)

### **L'extraction au solvant des composés polycycliques**

Un procédé plus récent permet de substituer le traitement d'extraction au solvant par un traitement à l'hydrogène (qui transforme les hydrocarbures polycycliques et aromatiques en huiles de bonne qualité après l'opération de déparaffinage).

**Le déparaffinage** consiste en l'élimination plus ou moins poussée, selon le point d'écoulement visé, des cristaux de paraffines indésirables en dissolvant l'huile dans un mélange de solvants constitué généralement de méthyléthylcétone (MEC) ou de méthylisobutylcétone (MIBC ou en anglais MIBK) et de toluène. Le mélange huilesolvant est refroidi ; les paraffines qui cristallisent sont séparées par filtration sur tambours. Cette étape de déparaffinage au solvant, très consommatrice d'énergie, de toutes les étapes constituant la chaîne de production des huiles lubrifiantes dites "de base".

**le traitement de finition** parachève éventuellement le raffinage en éliminant les derniers constituants indésirables (aromatiques résiduels, composés soufrés, azotés, oxygénés). Deux méthodes sont employées :

- **le traitement à la terre** qui consiste à filtrer l'huile sur des terres activées (silicates d'alumine) qui retiennent les impuretés polaires par adsorption,
- **le traitement à l'hydrogène (hydrofinition)** ce procédé plus moderne consiste à pratiquer une hydrogénation ménagée, sur des catalyseurs, des composés instables (non saturés) qui se transforment en composés saturés et des composés soufrés et azotés éliminés sous forme d'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) et d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) L'hydrogénation permet notamment de stabiliser la couleur des huiles raffinées.

On pratique quelquefois, avant l'hydrogénation, une redistillation pour étêter certaines coupes fluides et obtenir des bases fluides moins volatiles pour huiles moteurs.

### **I.9.1.2.3. Procédés d'hydrotraitement**

Il ne faut pas confondre différents procédés d'hydrotraitement des huiles (hydrorafinage, hydrocraquage, hydroisomérisation) avec l'hydrofinition. Cette dernière est un traitement de finition léger à l'hydrogène destiné à éliminer une partie des aromatiques et des impuretés, alors que les premiers sont des traitements beaucoup plus profonds d'hydrogénation et d'hydrogénolyse catalytique destinés à transformer presque complètement les hydrocarbures aromatiques et polycycliques en composés saturés et décyclisés et à éliminer pratiquement toutes les impuretés. Il existe différents procédés d'obtention d'huiles minérales lubrifiantes par hydrotraitement profond.

**L'hydrorafinage** procédé particulier permet d'éviter l'opération d'extraction au solvant des composés aromatiques de la chaîne traditionnelle de raffinage et de transformer sous formes des huiles de bonne qualité, des extraits aromatiques difficilement valorisables. Il consiste à hydrogéner et à hydrocraquer, sous forte pression d'hydrogène, sur des catalyseurs opérant dans des conditions opératoires relativement sévères, une grande partie des composés aromatiques et polycycliques ainsi que certaines molécules indésirables contenues dans les coupes et dans le résidu (préalablement désasphalté) de distillation sous vide du pétrole brut. Une dernière étape de déparaffinage au solvant parachève le traitement.

### **L'hydrocraquage**

Les distillats sous vide du résidu de distillation à pression atmosphérique du pétrole brut sont prétraités puis hydrocraqués sous forte pression d'hydrogène sur des catalyseurs spécifiques. Après distillation sous vide des produits légers désirés (le gazole étant le produit visé), on récupère un fond de cuve de distillation contenant les huiles lubrifiantes hydrocraquées à purifier.

Les bases hydrocraquées possèdent des indices de viscosité en général compris entre 120 et 1307 elles sont en moyenne deux fois moins volatiles que les bases minérales classiques mais ne sont disponibles que dans une gamme étroite de viscosité (3.5 à 6 mrrT/s à 100°C) ce qui les destines à la formulation des huiles moteurs de faibles grades à froid (V) de viscosité SAE (grades 5W-xx et 10W-xx essentiellement). Pour des grades plus visqueux à froid (15Wxx notamment), il est nécessaire de leur associer des bases (minérales classiques ou synthétiques) plus visqueuses.

### **L'hydroisomérisation des paraffines brutes**

Les conditions de traitement très sévères à l'hydrogène conduisent à un craquage et à un réarrangement des n-paraffines en molécules essentiellement isoparaffiniques caractérisées par un très bon indice de viscosité ( $VI = 140$  à  $150$ ) et une faible volatilité (du même ordre que celle des bases hydrocraquées) Les huiles ainsi obtenues sont disponibles dans une gamme de viscosité un peu plus large que celle de bases hydrocraquées (4 à 8 mm Vs à 100°C) et surtout, sont beaucoup plus pures puisqu'elles ne contiennent, au plus, que 0.1% d'hydrocarbures aromatiques et moins de 5 mg/kg (ou ppm) de soufre. Les bases minérales hydrocraquées et hydro-isomérisées, dont les VT sont compris entre 120 et 150, connaissent actuellement un fort taux d'accroissement.

### **I.9.1.3. Les huiles de base de synthèse :**

Désignées aussi bases synthétiques, elles sont obtenues par synthèse chimique (addition d'un produit sur lui-même ou polymérisation ou addition d'un produit sur un autre comme restérification, l'alkylation. etc.) de composants provenant de la pétrochimie, la carbochimie, la biochimie (ou chimie des corps gras) et de la chimie minérale tels que : oléfines, alcools, acides, composés halogènes, phosphores, silices, etc.

Certains désignent huiles de synthèse des bases minérales issues de traitements à l'hydrogène de coupes ou de fractions pétrolières (bases hydro-isomérisées., voire même hydrocraquées).

Voici quelques-unes de ces avantages :

- Excellent écoulement à basse température
- Stabilité de la viscosité même à haute température (l'huile synthétique ne se fluidifie pas aisément)
- Allongement des intervalles de vidange
- Limitation de la formation de dépôts
- Réduction de l'usure des pièces
- Optimisation de la consommation de carburant
- Protection du moteur, allongement de sa durée de vie

### **I.9.1.4. Les huiles semi-synthétiques ou partiellement synthétiques :**

L'huile semi-synthétique est un mélange d'huile minérale et d'huile synthétique. L'ajout d'huile de base synthétique dans l'huile minérale permet de lui apporter plus de performance et de protection. Elle présente donc un bon rapport qualité-prix. Son usage ne modifie pas la fréquence des vidanges.

### **I.10. Conclusion**

Les lubrifiants moteurs sont essentiels pour assurer le bon fonctionnement des véhicules en réduisant l'usure des pièces, en dissipant la chaleur et en maintenant la propreté du moteur. Il est nécessaire de choisir le lubrifiant adapté aux spécifications du moteurs et aux conditions de conduite pour garantir une performance optimale et une longue durée de vie du moteur.

# Chapitre II

Propriétés Physico-chimiques et rhéologiques des  
Lubrifiants.

## II.1. Introduction :

Huiles lubrifiantes sont des liquides visqueux utilisées pour la lubrification des parties mobiles des moteurs et des machines. Ce sont des produits pétroliers qui se dégradent après un certain temps d'utilisation, par contamination avec des éléments polluants, tels que les métaux lourds, les PCB (polychlorobiphényles) et autres composés halogènes. Les huiles usées peuvent contaminer l'eau et le sol et poser un risque élevé pour la santé humaine. Cette huile usée nécessite une gestion appropriée pour en faire un produit à valeur ajoutée en réduisant la quantité d'huile rejetée, et en réduisant le fardeau environnemental de l'huile usée. Par conséquent, le traitement des huiles usagées a un grand intérêt dans l'élimination de la pollution et la préservation des réserves de pétrole brut [14].

## II.2. Propriétés du lubrifiant :

Pour répondre aux objectifs fixés par leur utilisation dans des transmissions, dans les moteurs, les lubrifiants sont caractérisés par un ensemble de propriétés qui font l'objet de normes de spécification ou de recommandation dans de nombreux pays.

Les propriétés d'un lubrifiant peuvent aussi se décliner en fonction de leur nature :

- Propriétés physiques et physico-chimiques.
- Propriétés rhéologiques.

### II.2.1. Les propriétés physiques et physico-chimiques :

#### II.2.1.1. La densité :

La densité d'une substance est le rapport de sa masse volumique à la masse volumique d'un corps de référence. Elle se mesure à 15 °C par rapport à l'eau à 4 °C. Les valeurs courantes pour les huiles de pétrole s'étalent entre 0,85 et 0,95, et dépendent de l'origine des produits. Certains lubrifiants synthétiques ont des densités bien élevées, jusqu'à 1,5. La comparaison de la densité d'une huile usagée avec celle de l'huile neuve permet de détecter d'éventuelles pollution [15].

#### II.2.1.2. Masse volumique :

La masse volumique d'un liquide à une température donnée est la masse de l'unité de volume. Pour les produits pétroliers, elle est mesurée à 15 °C et exprimée en  $Kg / m^3$  [16].

#### II.2.1.3. Couleur :

Dans le cas des huiles de pétrole, la couleur va de pair avec le degré de pureté. Lors de leur utilisation, les lubrifiants s'altèrent et deviennent de plus en plus foncé. Le cas est flagrant avec les

huiles pour moteurs diesel où les suies donnent au lubrifiant une teinte noire. Une coloration rapide du lubrifiant indique une pollution extérieure ou un début d'oxydation. Une coloration sans changement significatif de l'indice d'acide indique seulement une pollution du lubrifiant. Cette propriété est à traiter au cas par cas, étant donné que certains additifs peuvent modifier la couleur originelle du lubrifiant donnée par l'huile de base [17].

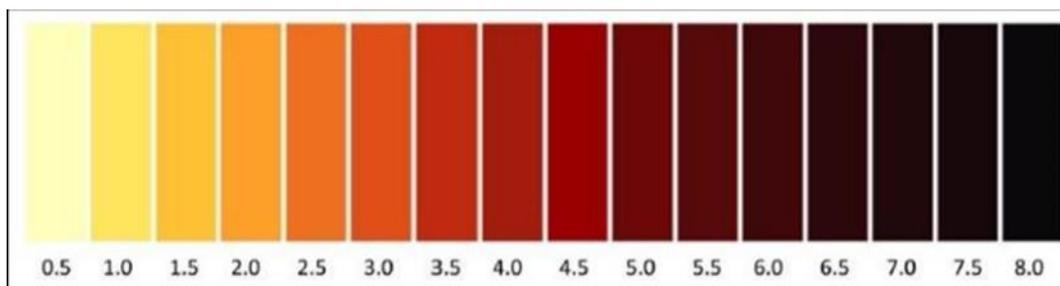


Figure II.1 : Barre des couleurs [17].

#### II.2.1.4. Point d'écoulement :

Le point d'écoulement est la température la plus basse à laquelle l'huile coule encore lorsqu'elle est refroidie, sans agitation et dans des conditions normalisées. Il est exprimé en degrés Celsius. Sa connaissance peut être très importante pour caractériser les propriétés à froid des huiles de base. Cette propriété est essentielle dans l'industrie automobile ou aéronautique. Il est très important pour l'usage des lubrifiants à basse température [15].

#### II.2.1.5. Point d'éclair :

Il est défini par la température minimale à laquelle il faut porter l'huile pour que les vapeurs émises s'enflamment spontanément (s'éclaire) en présence d'une flamme dans des conditions normalisées. Le test de point d'éclair donne une indication de la présence de composés volatils dans l'huile et de la température à laquelle l'huile doit être chauffée dans des conditions spécifiques pour donner suffisamment de vapeur pour former un mélange inflammable avec l'air [15].

#### II.2.1.6. Stabilité à l'oxydation :

L'oxydation est un phénomène au cours duquel une quantité de gaz mis-sous pression, lors de la phase de compression, s'échappe par des passages entre les segments et les chemises, pour se trouver dans le carter qui contient de l'huile de lubrification, avec une haute température. Ce gaz contient environ 20% d'O<sub>2</sub>, ce qui résulte une oxydation de l'huile qui évolue avec le temps, et la présence des particules métalliques, qui se comportent comme des catalyseurs qui accélèrent ce

phénomène d'oxydation.

La stabilité à l'oxydation est obtenue en ajoutant à l'huile de base des additifs antioxydants. Ces additifs agissent au niveau des trois réactions chimiques, soit en inhibant les radicaux libres, soit en ralentissant la décomposition des peroxydes, soit en inhibant les réactions de catalyse des matériaux. L'oxydation d'un lubrifiant, qui est une des formes significatives de dégradation des lubrifiants pour transmission [18].

### **II.2.1.7. Indice d'acide TAN et de base TBN :**

L'indice d'acide total « AN » est, par définition, le nombre de milligrammes de potasse nécessaire à la neutralisation des acides organiques ou minéraux contenus dans un gramme d'huile (mg KOH/g). Les huiles de base pures de type hydrocarbure ne doivent présenter aucune acidité à l'état neuf. L'apparition d'une acidité ne peut provenir que de leur oxydation, sauf cas exceptionnel de pollution. La mesure de l'indice d'acide est effectuée selon la méthode NF T60-112, ISO 6618, ASTM D 974. Indice de basicité totale, actuellement nommé « BN » est une mesure de la basicité. L'indice de basicité a pour but de neutraliser les acides formés dans des gaz de combustion, ou par oxydation [18].

### **II.2.1.8. L'onctuosité :**

Est la faculté d'adhérence d'une huile ; plus elle est onctueuse, plus elle adhère et plus elle résiste aux pressions élevées sans que le film d'huile soit cassé.

### **II.2.1.9. La stabilité :**

Est la résistance du lubrifiant à la décomposition et à l'altération sous l'action des gaz (air, essence, gaz brûlés) et de température.

### **II.2.1.10. Le point d'inflammation :**

Est la température à laquelle l'huile émet des vapeurs. Ces vapeurs risquent de s'enflammer. Elle se situe aux environs de 200 à 250°C.

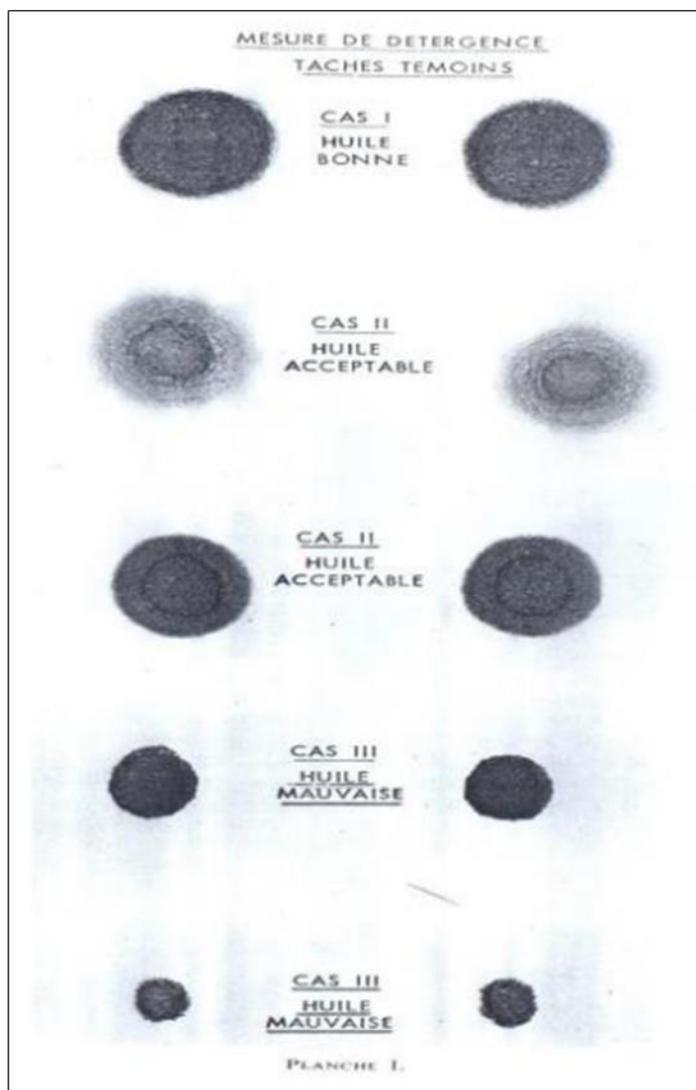
### **II.2.1.11. Le point de congélation :**

Est la température où l'huile ne s'écoule plus. Le point de congélation doit être le plus bas possible, pour les régions tempérées, elle est de l'ordre de -25 à -20°C.

### **II.2.1.12. Teneur en additifs :**

La teneur en additifs est spécifique à chaque lubrifiant, qu'il soit destiné à la lubrification d'un moteur ou d'une transmission. Cette teneur varie en fonction de la fabrication, des particularités exigées des lubrifiants et des caractéristiques intrinsèques de l'huile de base, la teneur moyenne en

additifs se situe entre 5 et 25% (en masse). Ces informations sont tenues secrètes car il s'agit là du savoir-faire du concepteur du lubrifiant.



**Figure II.2 :** Schéma de tâche des huiles usagées [17].

### II.2.1.13. Corrosion :

Le processus de corrosion découle des réactions entre atomes, à la surface du composant, avec les substances propres au fluide, sont incluses les réactions électrochimiques et les attaques chimiques directes de la surface métallique.

Le lubrifiant ne doit donc pas attaquer (par corrosion) les métaux qu'il lubrifie, et doit aussi les protéger contre la corrosion d'origine externe. Dans le premier cas, le lubrifiant ne doit ni dégrader ni détériorer les métaux utilisés. Dans le second cas, le lubrifiant doit protéger les métaux lubrifiés

contre la corrosion électrochimique engendrée par la présence d'eau douce, d'eau de mer ou d'acide. La température constitue un facteur d'accélération de la réaction de corrosion. La méthode de corrosion est normalisée sous les références équivalentes ASTM D 130, D1275, ISO 2160. La corrosion peut aussi être engendrée par la présence d'eau dans le système à lubrifié [16].

### **II.2.1.14. Autres propriétés :**

Parmi les autres propriétés que les lubrifiants doivent posséder, on peut citer la stabilité au stockage et la biodégradabilité. La première permet au lubrifiant de conserver ses qualités depuis sa fabrication jusqu'à son utilisation (pouvant se produire après un délai de stockage plus ou moins long chez le vendeur ou l'utilisateur).

La seconde est de plus en plus actualité, car il faut tenir compte de l'incidence du lubrifiant usagé sur l'environnement. Après son usage et sa récupération, il est possible de le recycler ou de l'utiliser comme combustible afin de ne pas le jeter dans la nature. Mais dans le cas des fuites, ces dispositions ne peuvent se réaliser [9].

### **II.3. La dégradation des huiles de moteurs [17] :**

Lors du fonctionnement moteur, l'huile de lubrification subit plusieurs transformations physico-chimiques dues aux divers phénomènes qui s'y reproduisent. Ces transformations qui font perdre à l'huile les qualités qui lui permettent d'assurer la fonction requise entraînent alors sa dégradation. Les principales origines de la dégradation de l'huile de lubrification sont :

- **La contamination :** c'est toute présence des éléments polluants dans l'huile.
- **L'intrusion des particules :** les particules métalliques générées par usure et la poussière.
- **La consommation d'huile :** La consommation d'huile par évaporation augmente la concentration des éléments polluants, comme elle peut réduire la quantité des additifs présents dans le circuit de lubrification.
- **La biodégradation :** les conditions sévères du fonctionnement moteur favorisent des réactions chimiques notamment l'oxydation qui fait perdre à l'huile sa structure initiale.

### **II.4. Propriétés rhéologiques :**

La rhéologie est la branche de la physique qui étudie l'écoulement et la déformation de Corps sous l'action de contraintes, en prenant en compte le taux d'application de ces contraintes et, plus généralement, l'évolution des contraintes au cours du temps.

Procédé de fabrication d'un produit (solution, pâte, etc.) ou de formation d'une pièce (métallurgie, plasturgie, etc.) ou de circulation d'un liquide (huile, pétrole, etc...) Puisqu'un flux de matière est

nécessairement nécessaire, il faut connaître le comportement de cette matière afin de déterminer les forces agissant sur elle.

La rhéologie est divisée en plusieurs types de recherche :

- **Rhéologie expérimentale** : Déterminer expérimentalement les relations comportementales (entre la contrainte et la déformation ou la vitesse de déformation).
- **Rhéologie structurale** : Description du comportement des matériaux en fonction de leur structure.
- **Rhéologie théorique** : fournit un nombre limité de modèles mathématiques de comportement indépendant de la microstructure [16].

### II.4.1. Grandeurs rhéologiques :

Pour définir les principales grandeurs rhéologiques, considérant l'écoulement laminaire d'un fluide entre deux plateaux parallèles, dont l'un se déplace à une vitesse constante et l'autre est stationnaire (**Fig. II.1**). Les trois grandeurs fondamentales qui permettent de décrire les déformations du fluide sont :

- La contrainte de cisaillement notée en général  $\tau$  exprimée en  $N/m^2$
- Le taux de cisaillement (ou gradient de vitesse) noté en général  $\dot{\gamma} = v/h$ , exprimé en  $s^{-1}$ .
- La viscosité dynamique de cisaillement  $\mu$  exprimée en Pa.s.

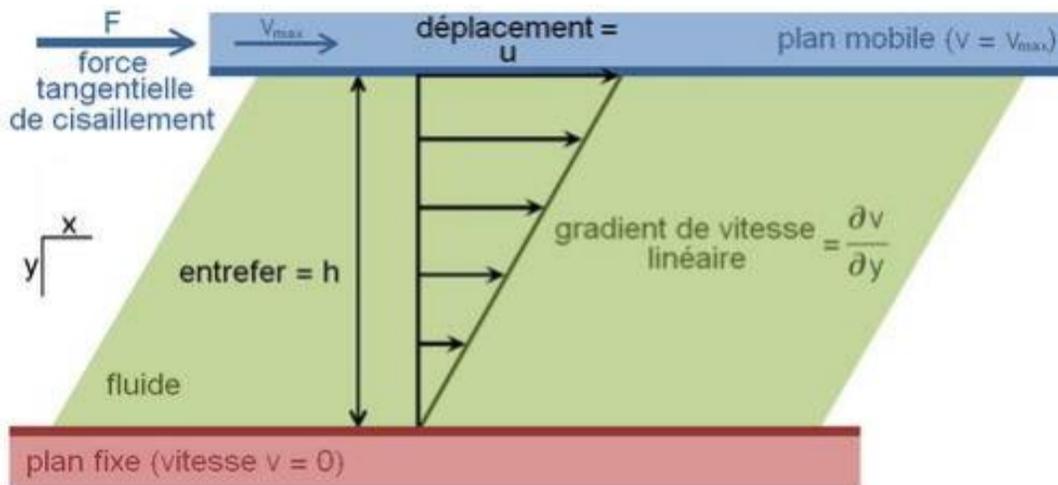
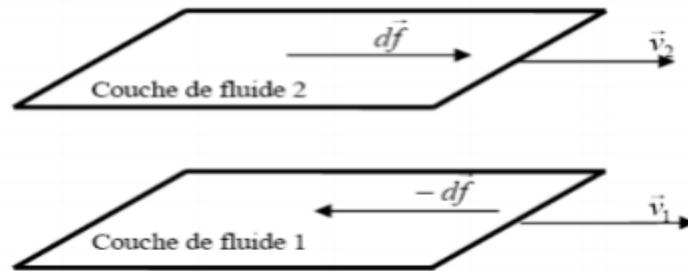


Figure II. 3 : Schéma de l'écoulement de cisaillement [18].

#### II.4.1.1. Contrainte de cisaillement :

La contrainte de cisaillement (notée  $\tau$ ) est une grandeur dynamique fondamentale en rhéologie. Lors d'un mouvement de cisaillement laminaire, deux couches successives en contact se déplacent l'une par rapport à l'autre. A l'interface de ces deux couches, une force de frottement

est générée qui agit tangentiellement à la surface de la couche [19].  
C'est ce qu'on appelle les forces de cisaillement (**Figure II.2**).



**Figure II.4 :** Forces agissant sur deux éléments de couches voisines [19].

En supposant que la couche (1) est animée d'une vitesse  $v_1$  supérieure à la vitesse  $v_2$  de la couche (2), la couche (1) exerce sur la couche (2) une force de cisaillement  $dF$  parallèle au mouvement et tendant à accélérer la couche (2). La couche (2) exerce pour sa part sur la couche (1), une force de cisaillement  $-dF$  tendant à la freiner. En rapportant ces forces de cisaillement à l'unité de surface, on définit la contrainte de cisaillement  $\tau$  (équation II.1) :

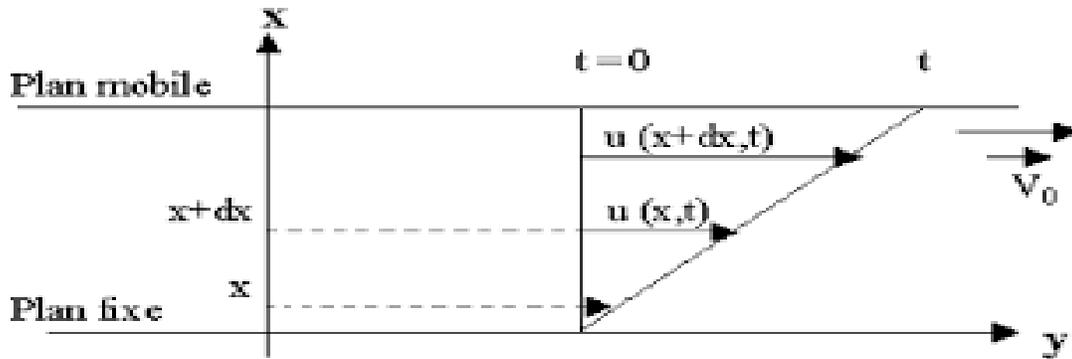
$$\tau = dF / ds \quad (\text{II.1})$$

$\tau$ : représente une force par unité de surface; elle s'exprime en newton par  $m^2$  ou bien plus commodément en Pascal (Pa) et  $ds$  est la surface élémentaire de l'entité considérée. Il est à noter que dans le calcul de la résultante des forces, les forces de pression s'exerçant perpendiculairement à la surface ne sont pas prises en compte, du fait de leur faible valeur en comparaison des forces de cisaillement.

#### II.4.1.2. Taux de cisaillement :

La déformation et le taux de cisaillement sont des grandeurs cinématiques fondamentales en rhéologie.

La définition de la déformation par cisaillement est illustrée dans le cas spécial le plus simple de mouvement de cisaillement plan-symétrique. Le matériau est cisailé entre deux plans parallèles, l'un mobile et l'autre fixe [19].



**Figure II.5 :** Mouvement laminaire de cisaillement entre deux plans parallèles [19].

On considère arbitrairement que les particules de matière de deux couches adjacentes se trouvent à l'instant  $t = 0$  dans une section droite. A l'instant  $t$  postérieur, les particules auront parcouru la distance  $u(x, t)$  pour la particule située à l'abscisse  $x$  et  $u(x+ dx, t)$  pour la particule située à l'abscisse  $x+ dx$ . La déformation de cisaillement est définie par l'équation II.2:

$$\gamma = \frac{du(x,t)}{dx} \quad (\text{II.2})$$

Cette grandeur est sans dimension ; elle ne dépend pas du déplacement  $u(x, t)$  lui-même mais de la variation de ce déplacement lorsqu'on passe d'une couche à une couche infiniment proche. L'expression de la vitesse de cisaillement ( $\dot{\gamma}$ ) est donnée par l'équation II.3, il s'agit de la dérivée par rapport au temps de la déformation de cisaillement

$$\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt} \quad (\text{II.3})$$

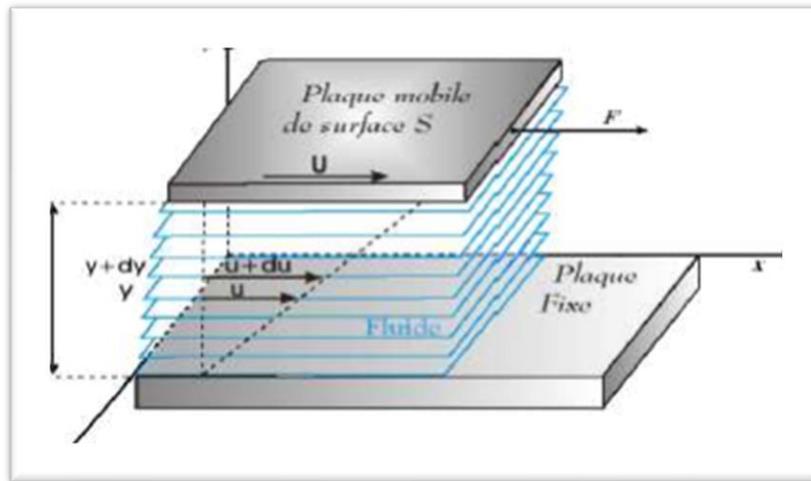
$\dot{\gamma}$  : A la dimension de l'inverse d'un temps et s'exprime en  $s^{-1}$  .

#### II.4.1.3. Viscosité [20]

De toutes les propriétés des huiles, la viscosité est certainement la plus importante. Elle détermine les pertes en frottement, la capacité de charge et l'épaisseur du film d'huile. Selon la norme NF T60.100 de novembre 1959, la viscosité d'un liquide est la propriété de ce liquide, résultant de la résistance qu'opposent ses molécules à une force tenant à les déplacer par glissement dans son sein. Ainsi la viscosité d'un fluide est la résistance opposée par ce fluide à tout glissement interne de ses molécules les unes sur les autres. Autrefois, la viscosité s'appelait coefficient de frottement interne.

**II.4.1.3.1. Viscosité dynamique :**

La viscosité dynamique ou absolue est la viscosité qui intervient dans les calculs d'épaisseur de film d'huile. Elle est déduite de la loi de Newton régissant l'écoulement laminaire d'un fluide visqueux entre une surface  $S$  mobile animée d'une vitesse  $u$  et une surface fixe distante de la surface mobile d'une distance  $h$  égale à l'épaisseur du film d'huile. Le déplacement relatif des deux surfaces nécessite un effort  $F$  destiné à vaincre la résistance tangentielle au frottement



**Figure II.6 :** Ecoulement newtonien dans un film d'huile.

Pour la majorité des liquides visqueux, comme les huiles de base minérales et la plupart des huiles de synthèse, le rapport  $(F/S)$  est proportionnel au rapport  $du / dh$  (liquides newtoniens), le facteur de proportionnalité étant le coefficient de viscosité dynamique ou simplement la viscosité dynamique.

On :

$$\frac{F}{S} = \eta \cdot \frac{du}{dh} \tag{II.4}$$

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$$

Où  $\tau$  est la contrainte d'appliquée (Pa).

$\dot{\gamma}$  est le gradient de vitesse ( $s^{-1}$ ).

$\eta$  est à viscosité dynamique du fluide (Pas).

Donc la viscosité est le critère qui différencier un fluide réel d'un fluide parfait. Sous l'effet des forces d'interaction entre les molécules de fluide et des forces d'interaction et celle de la paroi, chaque molécule de fluide ne s'écoule pas à la même vitesse. On dit qu'il existe un profile de

vitesse.

**II.4.1.3.2 Viscosité cinématique :**

On définit la viscosité cinématique  $\nu$  par le rapport entre la viscosité dynamique et la masse volumique du fluide.

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \tag{II.5}$$

Où  $\rho$  est la masse volumique du fluide ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ).

L'unité de la viscosité cinématique est exprimée en ( $\text{m}^2/\text{S}$ ) dans le système SI. (Elle peut exprimer par « stokes » (St) dans le système cgs ou  $1\text{m}^2/\text{S} = 10^6\text{cst}$ ). Le tableau dessous illustre une comparaison entre les valeurs de viscosité dynamique et cinématique de quelques fluides.

L'unité de viscosité dynamique dans le système international (SI) est le Pascal-seconde (Pas). Dans l'ancien système (CGS), l'unité est le poise (P). A titre d'exemple, la viscosité dynamique de l'eau à 20°C étant égale à  $1\text{cP} = 1\text{mPa.s}$

Les fluides	La viscosité dynamique (Pa.s)	La viscosité cinématique ( $\text{m}^2/\text{s}$ )
Eau	$10^{-3}$	$1.006 \cdot 10^{-6}$
Air	$18.2 \cdot 10^{-6}$	$15.1 \cdot 10^{-6}$
Glycérine	1.49	$1180 \cdot 10^{-6}$
Benzène	$0.625 \cdot 10^{-3}$	$0.741 \cdot 10^{-6}$
Mercure	$1.55 \cdot 10^{-3}$	$0.116 \cdot 10^{-6}$
CO2	$14.7 \cdot 10^{-6}$	$8.03 \cdot 10^{-6}$
H2	$8.83 \cdot 10^{-6}$	$105 \cdot 10^{-6}$

**Tableau II.1 :** Valeurs de viscosité de fluides (à 20°C et à la pression atmosphérique normale) [21].

**II.5. Modèles rhéologiques :**

La rhéologie des fluides a pour but de caractériser des produits par l'expression de relations contraintes-déformation liées à leur propriété mécanique. Donc on distingue les fluides newtoniens, les fluides non newtoniens indépendants ou dépendants du temps et les fluides

viscoélastiques.

### II.5.1. Fluides newtoniens :

La majorité des fluides rencontrés dans la nature sont newtoniens (l'eau, l'air, les huiles de faibles viscosité...). On dit qu'un fluide est newtonien si le coefficient de viscosité est indépendant du gradient de vitesse et du taux de cisaillement. Ces derniers montrent un comportement proportionnel est le coefficient de proportionnalité étant la viscosité dynamique [22].

Ils sont caractérisés par l'équation rhéologique d'état :

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (\text{II.6})$$

$\tau$  : Contrainte de cisaillement [Pa].

$\dot{\gamma}$  : Vitesse de cisaillement [ $s^{-1}$ ].

$\eta$  : Viscosité dynamique du fluide [Pa.s]

Les fluides newtoniens sont caractérisés par des droites de pente  $1/\eta$  dans les rhéogrammes

$$\dot{\gamma} = f(\tau)$$

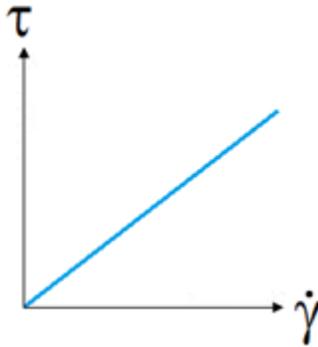


Figure II.7 : rhéogramme des fluides newtoniens.

### II.5.2. Fluides non newtoniens :

Les fluides non newtoniens sont des fluides complexes comme (les fluides agro-alimentaires, les polymères...etc.). Dans ce cas la viscosité dépend du gradient de vitesse et du taux de cisaillement. Ici la viscosité  $\eta$  n'est pas constante, à chaque valeur du couple ; la vitesse de cisaillement, contrainte de cisaillement ( $\dot{\gamma}, \tau$ ) correspond une valeur de la viscosité  $\eta$ . Dés lors on parle de la viscosité apparente (qu'elle caractérise les fluides non newtoniens).

Les fluides non newtoniens sont classés en deux parties

Fluides non newtoniens indépendants du temps.

Fluides non newtoniens dépendant du temps [22].

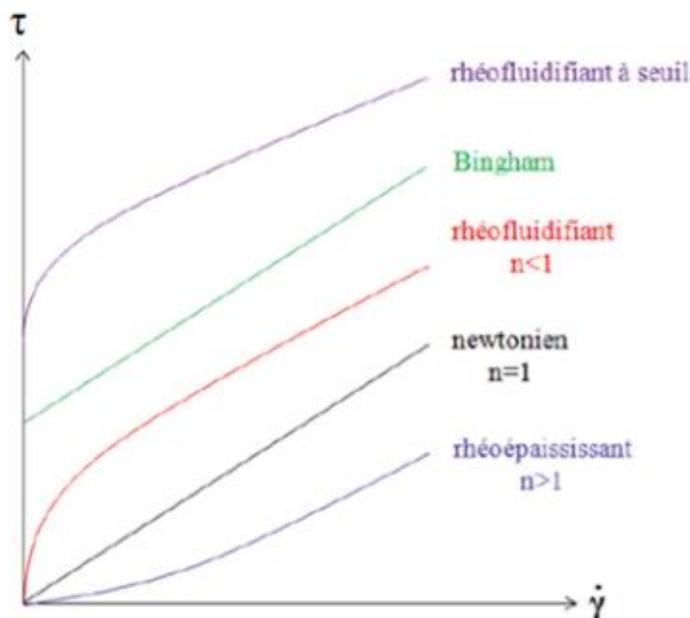
### II.5.2.1. Fluides non newtoniens indépendants du temps :

Ce type de fluide est caractérisé par un comportement indépendant du temps, c'est-à-dire le temps de cisaillement n'influe pas sur leurs comportements, et pour n'importe quelle vitesse de déformation  $\dot{\gamma}$  [22].

Il y'a une fonction univoque de la contrainte de cisaillement  $\tau$ .

Ce type de fluide est aussi en trois grandes catégories

- Fluides rhéofluidifiants ou pseudo plastiques.
- Fluids rhéoépaississants.
- Fluids plastique.



**Figure II.8 :** Allure des courbes d'écoulement des principaux types de fluides non newtonien [22].

#### II.5.2.1.1. Fluides rhéofluidifiants ou pseudo plastiques :

Ces fluides ont une viscosité qui diminue lorsque le taux de cisaillement augmente (rhéofluidification) ce comportement et s'observe sur les suspensions aqueuses, solutions polymères, le pétrole, certaines peintures...etc. Le modèle de Wael et Ostwald a été largement utilisé de façon empirique dans l'industrie, il est donné par [19].

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (\text{II.7})$$

Où

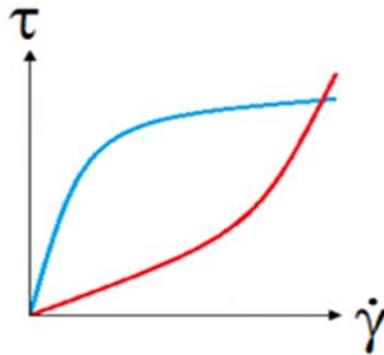
K : indice de consistance.

n : indice de comportement ( $0 < n < 1$ ).

Dans le modèle d'Ostwald, la viscosité donnée par :

$$\eta = K \cdot \dot{\gamma}^{n-1}$$

Le cas où  $n=1$  correspond au comportement newtonien. Il est judicieux de tracer les rhéogrammes en coordonnées log-log. Ou la pente de la droite donne l'exposant  $n$  et l'ordonnée à l'origine la constante  $K$ .



**Figure II.9 :** rhéogramme d'un fluide rhéofluidifiant (en bleu) [23].

#### II.5.2.1.2. Fluides rhéoépaississants :

Ce sont des fluides dont leur viscosité apparente augmente avec la contrainte de cisaillement. Un fluide peut être rhéoépaississant pour une certaine gamme de taux de cisaillement et rhéofluidifiant. Parmi les fluides qui ont un comportement rhéoépaississant, on trouve les suspensions à concentration élevée (>50%) et le mélange maïzena/eau [22].

Ce type de fluide est représenté par une équation d'Ostwald ou une loi de puissance :

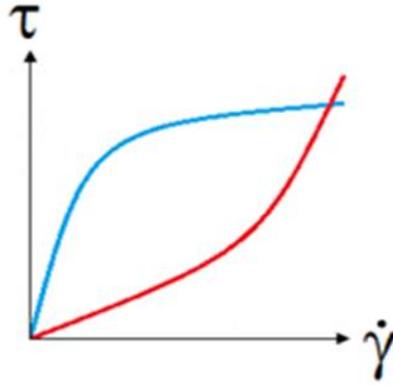
$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (\text{II.8})$$

Avec :  $n > 1$

Ce type de comportement a été primitivement mis en évidence sur les suspensions de forte teneur

en solide. Au repos, le volume libre entre les particules est minimal et ce volume libre est occupé par du liquide qui lubrifie le mouvement des particules au fur et à mesure que la vitesse de cisaillement croît.

Le comportement rhéoépaississant (dilatant) est défini par la rhéogramme si dessous :



**Figure II.10** : rhéogramme d'un fluide rhéoépaississant (en rouge) [23].

### II.5.2.1.3. Fluides plastiques :

Ils sont caractérisés par une contrainte de cisaillement seuil  $\tau_c$  au-dessous de laquelle l'écoulement est impossible.

A) Fluides plastiques idéals ou de Bingham :

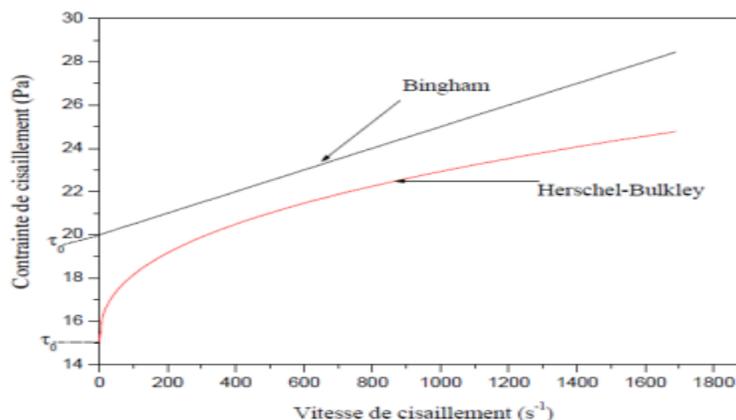
La courbe d'écoulement est caractérisée par un taux de déformation linéaire de la contrainte lorsque cette contrainte dépasse un seuil  $\tau_c$  on peut alors obtenir l'équation rhéologique d'état qui est celle d'un liquide Bingham [24].

$$\tau - \tau_c = \eta_p \cdot \dot{\gamma} \quad (II.9)$$

Avec :

$\eta_p$  est la viscosité plastique.

Le liquide de Bingham a une propriété qui est celle d'un corps qu'il ne présente pas une déformation permanente pour des contraintes plus faibles. Lorsqu'on dépasse le seuil d'écoulement il ressemble à un liquide newtonien, c'est à dire que l'augmentation de la vitesse de déformation  $\dot{\gamma}$  provoque l'augmentation proportionnelle de  $\tau$  [26].



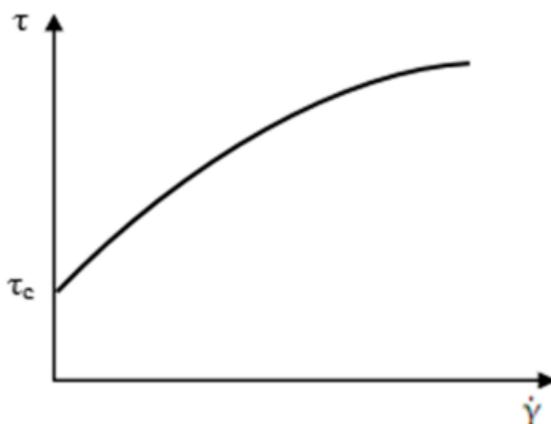
**Figure II.11:** comportement d'un fluid Bingham [25].

B) Fluide plastique non idéal ou de Casson :

Ce liquide possède également un seuil d'écoulement comme les fluides de Bingham, mais ne présente pas un comportement newtonien, leur fluage est décrit par l'équation suivante [23]:

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\tau_c} + \sqrt{\eta \cdot \dot{\gamma}} \quad (\text{II.10}).$$

La viscosité  $\eta$  et la contrainte critique de seuil  $\tau_c$  peuvent être déterminé directement d'après le pseudo-rhéogramme en coordonnées bi-logarithmiques [24].



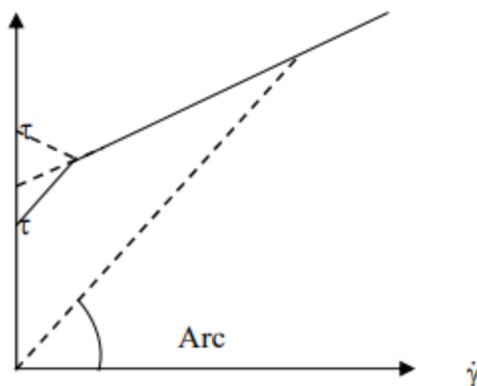
**Figure II.12 :** comportement d'un fluide de casson [26].

C) Fluide de Herchel-Bukley :

Ils sont caractérisés par une contrainte de cisaillement seuil au-dessous de laquelle l'écoulement est impossible. Ces fluides sont compliqués et peuvent être décrits à l'aide de trois paramètres rhéologiques [25] :

$K$ ,  $n$  et  $\tau_c$ . Ce comportement est représenté par l'équation suivante :

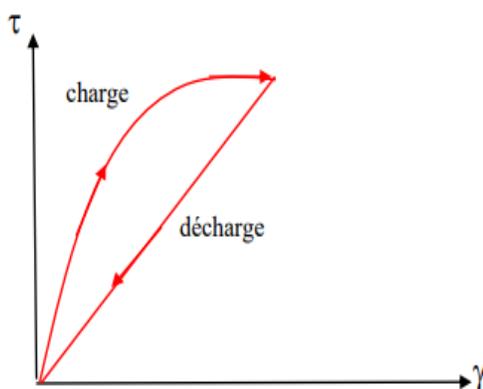
$$\tau = \tau_c + K \dot{\gamma}^n \quad (\text{II.11})$$



**Figure II.13 :** Rhéogramme d'un fluide de Herschel-Bulkley [25].

#### II.5.2.2. Fluide non newtoniens dépendants du temps :

Les fluides dont la vitesse de cisaillement dépend de la durée de la contrainte de cisaillement et qui s'établissent parfois après un certain temps de réponse ; ces fluides sont appelés fluides à comportement dépendant du temps. Figure (II.12) : Rhéogramme d'un fluide non newtonien dépendant du temps.



**Figure II.14 :** Rhéogramme d'un fluide non newtonien dépendant du temps [27].

On distingue deux catégories dans ce type de fluides :

- Fluides thixotropiques.
- Fluides anti-thixotropiques.

##### II.5.2.2.1. Fluides thixotropiques :

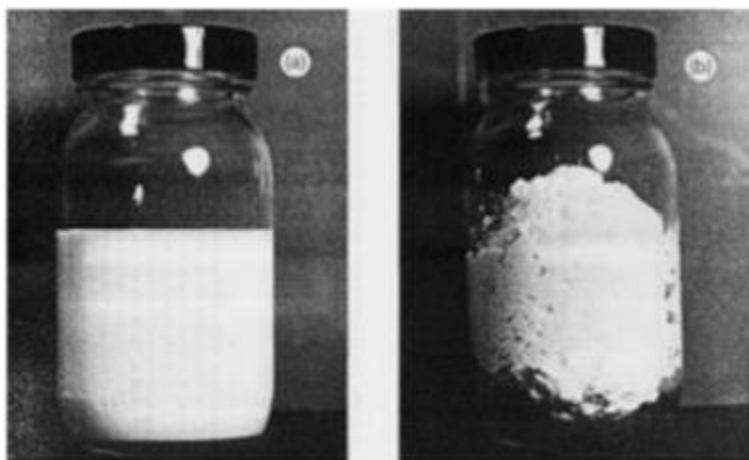
Les fluides thixotropiques ont une viscosité qui diminue avec le temps quand on leur applique une contrainte constante. Après suspension de cette contrainte on ne trouve la viscosité initiale qu'après un certain temps plus ou moins long. C'est un phénomène réversible. Plusieurs matériaux ont un comportement thixotropique tels que : la moutarde, le ketchup, le yaourt etc [19].



**Figure II.15** : yaourt est un exemple classique d'un matériau thixotrope [28].

### II.5.2.2.2. Fluides anti-thixotropiques :

C'est le cas inverse des fluides thixotropiques, les fluides anti-thixotropiques ou rhéopexes : ces fluides sont assez proches des fluides rhéofluidifiants, mais ils ne sont pas à confondre. Un fluide anti thixotrope, sous une contrainte constante, va voir sa viscosité augmenter au cours du temps. Les fluides rhéopexes sont très rares. Cependant, on en utilise un dans notre vie domestique, la crème fouettée. En effet, si vous le secouez, elle va se solidifier mais il va lui falloir un certain temps, et augmenter la vitesse n'y changera rien [19].



**Figure II.16** : fluide anti-thixotropique : (a) au repos, (b) Après une forte agitation.

### II.5.3. Les fluides viscoélastiques [29] :

Un fluide viscoélastique est un matériau qui possède à la fois des propriétés visqueuses et élastiques, les grandeurs caractérisant ces propriétés étant dépendantes de la durée d'application de la déformation ou de la contrainte.

Le modèle le plus simple de fluide viscoélastique consiste à additionner les contraintes d'origine élastique et les contraintes d'origine visqueuse :

$$\tau = \tau_{\text{elast}} + \tau_{\text{visco}} = E \cdot \gamma + \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (\text{II.12}).$$

Où E est un module d'élasticité et  $\gamma$  est la déformation.

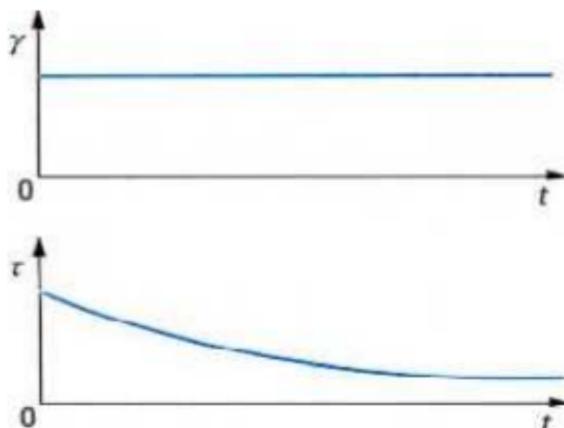


Figure II.17 : Relaxation d'un corps viscoélastique [29].

## II.6. Les rhéomètres :

### II.6.1. Définition d'un rhéomètre :

Les rhéomètres sont des appareils permettant d'obtenir des rhéogrammes qui servent à décrire les propriétés de cisaillement d'un matériau, dans lesquels la substance étudiée est cisailée entre deux surfaces solides.

La représentation la plus courante consiste à exprimer la variation de la contrainte de cisaillement  $\tau$  en fonction du taux de cisaillement  $\dot{\gamma}$  [26].

### II.6.2. Domaine d'application des rhéomètres :

On peut dire que le domaine d'application des rhéomètres est très vaste et grand. Ils sont utilisés dans les domaines des recherches, par exemple les huiles, la peinture, le cosmétique, la résine.....etc. [26].

On classe les rhéomètres en trois catégories :

- Les rhéomètres à régime permanent.
- Les rhéomètres à régime transitoire.

- Les rhéomètres dynamiques qui fonctionnent en régime sinusoïdale forcé.

### II.6.3. Rhéomètres à régime permanent [26].

Sont des appareils utilisés comme des viscosimètres, ils permettant néanmoins d'obtenir des rhéogrammes pour des liquides, ils se divisent en trois types :

- ✓ Rhéomètres de type de Couette.
- ✓ Rhéomètres de types de Poiseuille.
- ✓ Viscosimètres à chute de bile.

#### II.6.3.1 - Rhéomètres de type de Couette [30] :

Ils se divisent aussi en trois catégories :

- ❖ Rhéomètres à plan de translation.
- ❖ Rhéomètres rotatifs cylindriques.
- ❖ Rhéomètres rotatifs à cône/plateau.

##### II.6.3.1.1. Rhéomètres à plan de translation :

A) Principe de fonctionnement :

Dans ces rhéomètres la substance étudiée est insérée entre deux plans parallèles solides et de même surface, une force est appliquée à l'un des plans lui provoque un mouvement de translation de vitesse «  $V_0$  », un mouvement laminaire de cisaillement est engendré, on supposant que la distance «  $e$  » entre deux plans est très faible devant les dimensions des plans, la répartition de la vitesse est linéaire et le matériau se décompose en plans parallèles aux surface «  $P_1$  » et «  $P_2$  » [4].

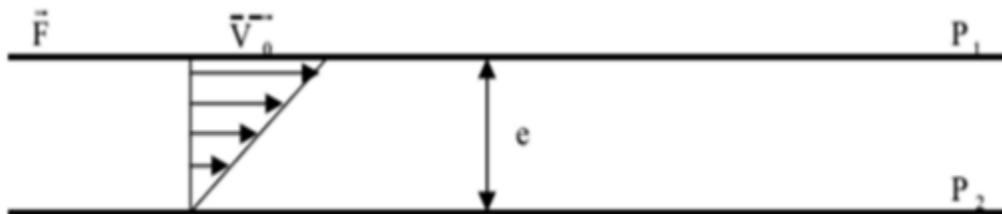


Figure II.18 : Rhéomètres plan de translation.

##### II.6.3.1.2. Rhéomètres rotatifs cylindriques :

Ce dernier est constitué d'un axe de rotation liée à un moteur, qui peut être à vitesse ou à couple imposé, et d'une cellule de mesure. Le fluide est confiné et soumis à un cisaillement entre les deux surfaces de cellules de mesure, l'une de ces surfaces est mobile en rotation de son axe (le rotor) l'autre est fixe immobile (le stator). Donc on obtient le mouvement laminaire de cisaillement en contact des cylindres qu'une a un mouvement rotatif de vitesse angulaire «  $\omega$  », l'autre est un

cylindre immobile fixe.

A) Principe de fonctionnement d'un rhéomètre cylindrique :

La matière étudiée est placée entre deux cylindres coaxiaux de rayons  $R_1$  et  $R_2$ , qui se décompose en couches cylindriques coaxiales de vitesse angulaire différentes variant de «  $\omega=0$  » au niveau de godet à «  $\omega$  » au niveau de cylindre mobile. On peut déterminer la contrainte de cisaillement  $\tau$  et la vitesse de cisaillement  $\dot{\gamma}$  par les équations suivantes :

$$\dot{\gamma}(r) = \frac{2\Omega}{\left(\frac{d \ln C}{d \ln \Omega}\right)} \quad (\text{II.13})$$

$$\tau(r) = \frac{C}{2\pi r^2 h}$$



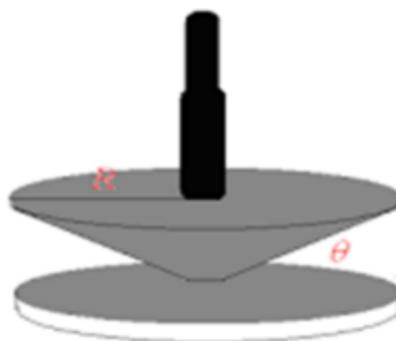
Figure II.19: Rhéomètre rotative [29].



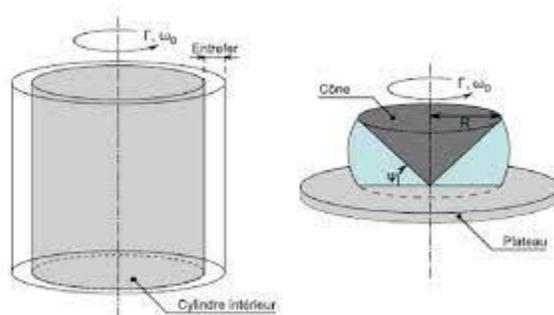
Figure II.20 : Rhéomètre cylindrique [31].

### II.6.3.1.3. Rhéomètres rotatifs à cône/plateau :

Ce type présente une bonne précision, la matière étudiée est mise entre un plan et un cône de rotation de rayon  $R$ , dont l'axe du cône est perpendiculaire au plan,



**Figure II.21 :** Rhéomètre rotatif à cône/plan [29].



**Figure II.22 :** Schéma d'un rhéomètre rotatif à cône plateau [31].

### II.6.3.2. Rhéomètres à type de Poiseuille [30] :

Cette catégorie de rhéomètres est simple, elle est utilisée comme des viscosimètres pour mesurer rapidement la viscosité absolue des liquides newtoniens. Dans cette classe de rhéomètres, le mouvement de cisaillement est engendré en imposant une différence de pression entre les deux extrémités d'un tube cylindrique faible section circulaire, dans lequel est contenue la substance.

### II.6.3.3. Viscosimètre à chute de bille :

Ce dernier se compose de trois tubes transparents montés sur un support métallique, Au sommet de chaque tube un lâcher automatique assure un bon centrage de la bille, et à la base un dispositif à double vanne pour faciliter la récupération des billes. Derrière les tubes, un panneau lumineux gradué permet un bon repérage de la bille et une mesure précise de la hauteur de chute. Un chronometer est livré avec l'appareil.



**Figure II.23 :** viscosimètre à chute de bille [31].

#### **II.6.3.4. Rhéomètre à régime transitoire :**

Dans ces derniers on soumet la substance étudiée à une oscillation instantanée, après on étudie son comportement dans les instants suivants. Donc ces rhéomètres sont fabriqués et utilisés spécialement pour la détermination du comportement viscoélastique des matériaux linéaires. Les rhéomètres à régime transitoire sont devisés en deux types [26] :

- Les rhéomètres de fluage.
- Les rhéomètres de relaxation.

#### **II.6.3.5. Rhéomètre dynamique (oscillant) [26]**

Dans le cas des rhéomètres dynamiques, les substances étudiées sont soumises à des mouvements laminaires de cisaillement d'amplitude variant sinusoïdale dans le temps.

Il existe deux types d'appareils selon le mouvement :

- Les rhéomètres à oscillation forcée qui peuvent fonctionner dans toute une gamme de fréquence ou à une seule fréquence particulière.
- Les rhéomètres à oscillation libre qui mesure des faibles viscosités par l'étude de l'amortissement.

### **II.9. Conclusion :**

Les propriétés rhéologiques, physiques et chimiques des lubrifiants est essentielle pour assurer leur efficacité et leur durabilité dans diverses applications industrielles. Un équilibre entre viscosité, stabilité thermique, compatibilité chimique et capacité à former un film protecteur est crucial. Pour une compréhension approfondie

# Partie Expérimentale

# Chapitre III

## Etude expérimentale

**III.1. Introduction :**

Une série de mesures expérimentales a été réalisée sur un rhéomètre MCR 302 au sein du laboratoire de Fluides Industriels, Mesures et Application (FIMA) à l'université Djilali Bounaama de Khemis Miliana. L'objectif de cette étude expérimentale est comparaison de la caractérisation d'un lubrifiant du moteur à essence, TOTAL SAE 10w40 lubrifiant-a un lubrifiant algérien fabriqué par NAFTALE. Ainsi, on a mesuré la viscosité apparente des lubrifiants en fonction de plusieurs paramètres tels que : le taux de cisaillement, la fraction volumique et la température. Ces mesures sont effectuées dans les températures suivantes 0°C, 20°C et 60°C. Dans ce chapitre on présente l'huile moteur multigrade utilisé, ainsi qu'une description du rhéomètre employé pour réaliser ces mesures. Le déroulement des essais est aussi présenté avec détaille.



**Figure III.1 :** laboratoire de FIMA.

**III.2. Présentation de fluide de base « l'huile de SAE 10W40 » de naftale :**

L'huile de naftalène algérienne 10w40 est un produit dérivé du pétrole brut, de type synthétique conçues pour les moteurs à essence et diesel à quatre temps les plus récents. Elle est composée principalement d'hydrocarbures saturés, elle est utilisée pour réduire l'usure des pièces métalliques en mouvement et pour assurer le bon fonctionnement du moteur. L'huile de SAE 10w40 est commercialisée sous le format d'un bidon de 1 jusqu'à 5 litres.

Le tableau (III.1) si dessous montre les caractéristiques de l'huile naftalia SAE10w40.

Caractéristiques	Valeurs
Densité à 15°C	0.872
Viscosité à 100°C	De 12.5 à 16.3 $mm^2 / s$
Viscosité à 40°C	95 $mm^2 / s$
Indice de viscosité	136
Point d'éclair	201°C
Point d'écoulement	-27°C
TBN	8.0 $mgKOH / g$
Cendres Sulfatées	De 0.9 à 1.5 % <i>pds</i>
Teneur en Ca	0.210 % <i>pds</i>
Teneur en Zn	0.081 % <i>pds</i>
Teneur en Phosphore	0.08 % <i>pds</i>
Teneur en soufre	0.76 % <i>pds</i>

**Tableau III.1:** caractéristiques de l'huile naftalia SAE10w40.



**Figure III.2 :** photo de l'emballage commercial de l'huile NAFTALIA SAE10w40.

### III.3. Présentation de l'huile TOTAL SAE 10W40 :

L'huile total SAE est une l'huile multigrade conçue pour être utilisée dans une variété des moteurs à combustion interne, notamment dans les voitures, les camions légers et les véhicules utilitaires.

TOTAL est une marque bien connue dans le domaine des lubrifiants automobiles pour offrir une protection optimale du moteur, une résistance à l'usure et une durabilité accrue. L'huile de SAE 10w40 est commercialisée sous le format d'un bidon de 5 litres. La vidange se fait tous le 7000 Km.

Le tableau (III.2) si dessous montre les caractéristiques de l'huile TOTAL SAE10w40.

Caractéristiques	Valeurs
Grade de viscosité	10w40
Viscosité à 40°C	96.8 mm <sup>2</sup> / s
Viscosité à 100°C	14.81 mm <sup>2</sup> / s
Densité à 15°C	873.6
Indice de viscosité	160
Point d'écoulement	-24°C
Point d'éclair	232°C

**Tableau III.2 :** caractéristiques de l'huile TOTAL SAE10w40.



**Figure III.3 :** photo de l'emballage commercial de l'huile TOTAL SAE10w40.

### III.4. Description de rhéomètre :

Le rhéomètre MCR302 est un appareil de mesure de la viscosité conçu par la société Anton Paar. Il est largement utilisé dans divers domaines tels que la recherche, l'industrie des polymères, des cosmétiques, des matériaux de construction et bien d'autres. Voici une description générale de ses caractéristiques :

#### III.4.1. Caractéristiques principales de rhéomètre :

- Le MCR302 est un rhéomètre modulaire offrant une grande flexibilité d'application.
- Il offre une grande précision de mesure, ce qui en fait un outil de choix pour la recherche et le contrôle qualité.
- Il est équipé d'un système de mesure précis qui permet de caractériser les propriétés viscoélastiques d'une large gamme de matériaux.
- Le système est contrôlé par un logiciel convivial permettant une manipulation faciale des données et une analyse approfondie des résultats.



Figure III.4 : Rhéomètre Modular compact 302.

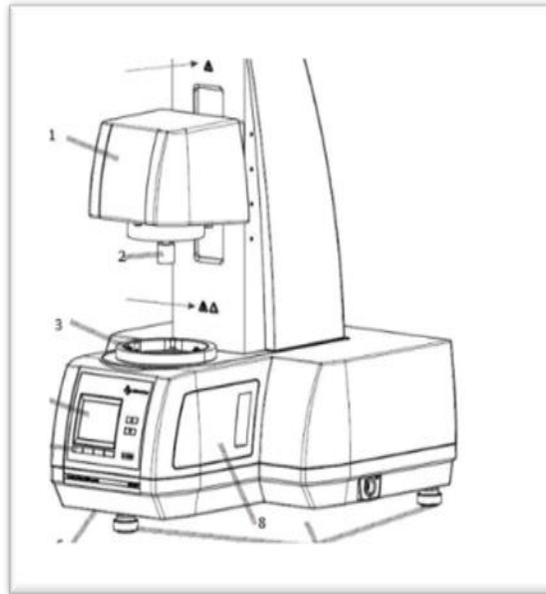


Figure III.5 : MCR en vue d'ensemble.

- 1 : tête de mesure MCR.
- 2 : Fixation pour système de mesure.
- 3 : Bride circulaire : alignement mécanique automatique de tous les accessoires.
- 4 : Ecran couleur.
- 5 : Touche de fonction.
- 6 : Poignée encastrée.
- 7 : Trois pieds réglables.
- 8 : Capot latéral droit.

#### III.4.2. Mode de fonctionnement :

Le rhéomètre MCR fonctionne en deux différents modes :

- Mode hors ligne.
- Mode on ligne.

En mode hors ligne, vous pouvez contrôler le MCR en utilisant les boutons sur le panneau de commande jusqu'à ce que le voyant vert s'allume. Cependant, en mode en ligne, le MCR est

contrôlé à distance par le logiciel sur un PC, avec le voyant vert allumé. Dans ce mode, il est possible d'arrêter le déplacement de la tête de mesure en appuyant sur l'un des boutons du panneau de commande.

### III.4.3. Raccordement d'un bain de circulation :

L'emploi du bain de circulation revêt une grande importance dans le contrôle de la température à l'intérieur de la cellule de mesure. Un indicateur de débit fourni a été installé afin de vérifier le bon fonctionnement de la circulation du fluide et du bain.



**Figure III.6 :** Bain de circulation d'un MCR.

### III.4.4. Montage de système de mesure :

Pour monter le système de mesure on suit les étapes suivantes :

1. Élever le manchon du couple MCR.
2. Faire pivoter le couple jusqu'à ce que son repère coïncide avec celui du système de mesure.
3. Introduire le système de mesure dans le couple du MCR.
4. Abaisser le manchon du couple MCR pour sécuriser le système de mesure.

Pour retirer le système de mesure, maintenez-le d'une main et poussez vers le haut le manchon du couple MCR. Ensuite, retirez le système de mesure avec précaution.



**Figure III.7 :** système de mesure monté (côté gauche).

### **III.4.5. Raccordement au PC :**

Pour synchroniser le MCR avec un PC, vous devez d'abord installer le logiciel sur l'ordinateur. Pour ce faire, insérez le CD d'installation et suivez les instructions affichées à l'écran.

1. Mettez l'appareil sous tension et attendez que la procédure de démarrage se termine.
2. Appuyez une fois sur le bouton "on line" pour activer le mode hors ligne (le voyant vert s'éteint), puis appuyez sur "menu" et "enter" pour accéder au menu "select connexion". L'option active est indiquée par une flèche. Pour modifier le paramètre, utilisez les boutons fléchés du panneau de commande.
3. Une fois la sélection effectuée, pressez "enter" et patientez que l'instrument achève l'enregistrement des paramètres.
4. Pressez "menu" pour retourner à l'écran par défaut.
5. Appuyez sur "online" pour retourner au mode en ligne.
6. Éteignez l'instrument pour connecter les câbles.

### **III.4.6. Sélectionnement des paramètres de communication :**

1. Allumer l'instrument et patienter jusqu'à ce que la procédure de démarrage soit terminée.
2. Presser une fois sur le bouton "on line" pour activer le mode hors ligne (le voyant vert s'éteint), puis accéder au menu "select connexion" en appuyant sur "menu" et "enter". L'option active est

identifiée par une flèche. Pour modifier le paramètre, utiliser les boutons directionnels du panneau de commande.

3. Une fois la sélection faite, appuyer sur "enter" et attendre que l'instrument ait fini d'enregistrer les réglages.
4. Pour retourner à l'écran par défaut, appuyer sur "menu".
5. Revenir au mode en ligne en appuyant sur "online".
6. Éteindre l'instrument pour connecter les câbles.

### III.5. Utilisation du MCR :

#### III.5.1. Mise sous tension de l'instrument :

Quand on finit le raccordement des câbles et des tuyaux, on met le MCR sous tension à l'aide d'un interrupteur situé sur le côté gauche.



Figure III.8 : un écran du rhéomètre (MCR).

	<p>La ligne supérieure de l'écran affiche la connexion active.</p>
<p>Statutes</p>	<p>Ce champ affiche l'état courant du rhéomètre. Lorsqu'il est sélectionné dans le menu, il affiche également la pression en cours pour le palier à air.</p>
<p>Normale force</p>	<p>Ce champ affiche la force normale courante agissant sur le palier à air. Lorsque la limite de force normale est dépassée, l'arrière-plan de ce champ devient rouge.</p>
<p>Température</p>	<p>Ce champ affiche la température courante du dispositif de température.</p>
<p>Position</p>	<p>Ce champ affiche l'entrefer de mesure courant. Cette valeur est calculée à partir de la position de la tête de mesure et dépend du système de mesure monté et du dispositif de température. L'arrière-plan de ce champ devient rouge lorsque la position de mesure est en dehors des limites.</p>
<p>Système de mesure</p>	<p>Ce champ affiche le nom du système de mesure actuellement monté.</p>

Tableau III.3 : composition de l'écran MCR 302.

### III.5.2. Panneau de commande MCR :

Sur le devant de l'appareil, se trouve un panneau de contrôle comprenant un écran, quatre touches de fonction, des boutons de réglage haut et bas, ainsi qu'un bouton "online". Les fonctions assignées aux quatre touches peuvent changer en fonction du mode de fonctionnement actuel. La fonction en cours reste toujours affichée sur la ligne inférieure de l'écran.



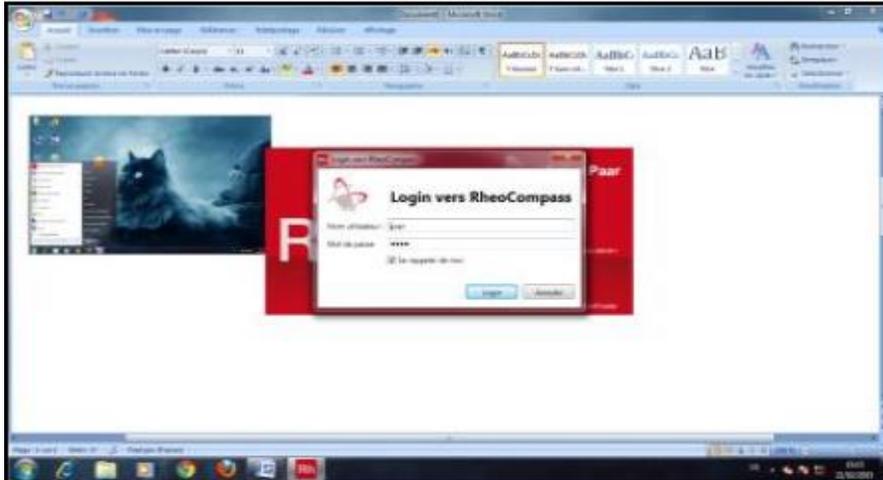
Figure III.9 : panneau de commande du rhéomètre MCR 302.

### III.5.3. Exécution d'une mesure :

Les mesures nécessitent l'utilisation d'un PC équipé du logiciel du rhéomètre. Avant toute utilisation de l'instrument, son installation doit être effectuée selon les instructions du manuel, incluant l'installation des accessoires et du logiciel du rhéomètre.

### III.5.4. Démarrage et initialisation du Rhéomètre MCR302 :

1. Pour mettre l'instrument en marche, activez-le. Attendez environ 5 minutes jusqu'à ce que l'instrument démarre complètement. Il sera prêt lorsque l'affichage indique "Status : OK" sur la première ligne.
2. Démarrez l'ordinateur et son système d'exploitation, puis lancez le logiciel du rhéomètre.
3. Activez les accessoires nécessaires, tels qu'un contrôleur de température externe ou un bain à circulation, ainsi qu'un compresseur (dès qu'il atteint environ 6 bars).
4. Initialisez l'instrument à partir du logiciel pour établir la communication. Pendant cette étape, la tête de mesure se déplace vers la position supérieure pour vérifier le capteur d'entrefer, tandis que le rotor effectue plusieurs rotations à grande vitesse pour vérifier le capteur de position. Si c'est la première fois que vous démarrez l'instrument, suivez les instructions du manuel des pilotes de périphériques pour la série MCR xx2 afin de déterminer le moment d'inertie du système de mesure utilisé.

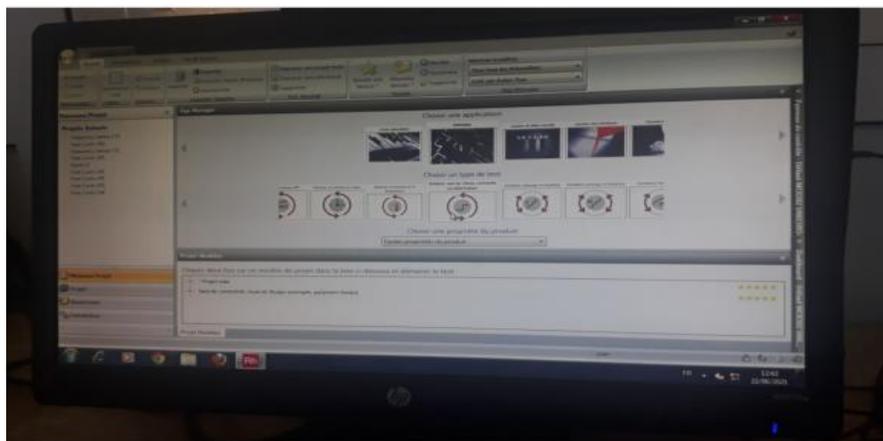


**Figure III.10** : lancement du logiciel raccordé par MCR.



**Figure III.11** : compresseur lié à un MCR302.

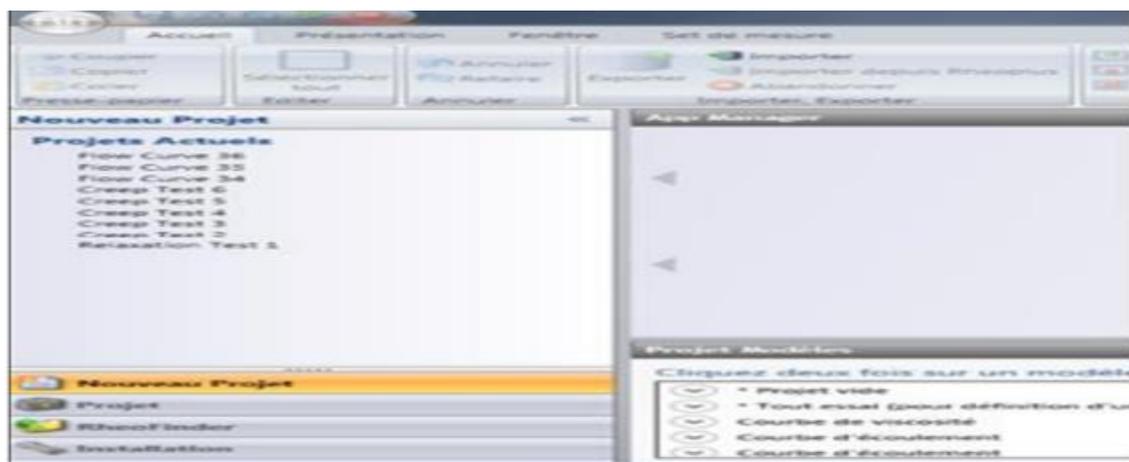
5. Si ce n'est pas la première mise en marche, passez à l'étape de la mesure.
6. Envoyez la température requise aux accessoires et mettez en place le système de mesure. Pour les systèmes à cylindre, ajustez la position de mesure et attendez l'atteinte de l'équilibre thermique. Pour les systèmes de mesure nécessitant un entrefer zéro, démarrez la procédure de réglage de l'entrefer zéro et ajustez la position de mesure une fois cette procédure terminée.



**Figure III.12 :** Exploitation du logiciel dans le réglage du MCR.

7. Réglez les paramètres de mesure conformément aux instructions fournies dans le manuel du logiciel, les étapes sont les suivantes :

1- Choix de type de test (nouveau projet):



**Figure III.13:** choix de type de test pour la mesure.

2- Initialiser la position de la tête.

3- Remonter la tête à 60 mm.

4- Déplacer la tête de l'instrument vers le haut et charger l'échantillon.

5- Déplacer la tête vers la position de réglage (systèmes de mesure plan parallèle et cône- plan), régler d'échantillon, puis déplacer la tête de mesure vers la position de mesure. Pour les systèmes à cylindre, régler la position de mesure directement.

- 6- Placer la géométrie convenable au test.
- 7- Initialiser la force normale
- 8- Régler le gap zéro.
- 9- Régler la température.
- 10- Pour l'ajustement du moteur de l'appareil, faite le test Air check une fois chaque trois mois.
- 11- Redescendre la géométrie à l'entrefer zéro.
- 12- Faite entrer le nom de test ainsi que les détails (informations importantes); ensuite continuer.
- 13- Attendre qu'équilibre thermique soit atteint et démarrer la mesure.
- 14- Après la mesure, déconnecter le système de mesure et déplacer la tête de l'instrument vers le haut.
- 15- Retirer l'échantillon et nettoyer les systèmes de mesure supérieure et inférieure.
- 16- Remonter le système de mesure pour procéder à la mesure suivante. La configuration des paramètres de mesure et l'analyse des données rhéologiques dépendent fortement de l'échantillon et du type de mesure sélectionné. Pour approfondie, il est recommandé de lire l'ouvrage « RHEOLOGY HANDBOOK » de Thomas Mezger.

### III.5.5. Chargement de l'échantillon :



**Figure III.14 :** échantillon mis en place du MCR.

La plupart des matériaux étant sensibles aux forces extérieures. Il est essentiel que les échantillons soient traités de la manière la plus similaire possible avant la mesure. Ils doivent être appliqués avec précaution au système de mesure pour éviter toute incidence sur les résultats. Le volume d'échantillon nécessaire pour chaque système de mesure est indiqué dans le logiciel Rhéoplus (pour plus d'informations, reporter au manuel d'utilisation « Rheoplus Software-volume 2-Reference », chapitre « Editing or creating a measuring system »).



**Figure III.15 :** Un MCR302 mis en marche.

En arrivant à ce point, le MCR est mis en marche et prêt à donner les résultats du travail demandé.

# Chapitre IV

Résultats et discussion

## IV.1. Introduction :

Dans ce travail expérimental sous l'objectif de comparer deux lubrifiants d'un type (10w40) pour deux entreprises différentes, le premier fabriqué par Naftal et l'autre par Total. Sur la base des résultats obtenues à partir du rhéomètre dans le dernier chapitre, Ces résultats porteront sur l'influence de la variation du taux de cisaillement sur la viscosité apparente, ainsi que l'influence de la température sur la viscosité d'huile moteur multigrade étudié.

## IV.2. Procédures expérimentales :

### IV.2.1. Caractéristiques organoleptiques :

Les propriétés organoleptiques d'un produit peuvent être définies comme l'ensemble de ses caractéristiques perçues et évaluées par les sens du consommateur. Les propriétés organoleptiques d'un produit jouent un rôle primordial dans sa perception avant usage ou consommation et dans son appréciation lorsqu'il est consommé ou utilisé.

Les principaux éléments contribuant à la qualité organoleptique sont :

#### ➤ Aspect

L'huile lubrifiant c'est un liquide limpide il apparait d'une couleur jaunâtre, visqueux et d'une odeur spécifique.

#### ➤ Odeur

L'odeur est un sens chimique très sensible, de plus, d'après la nature du système olfactif, une substance pour être sentie.

#### ➤ Couleur

La coloration d'un lubrifiant dépend des produits qui se trouvent dans l'huile, la couleur des huiles de base des additifs.

### IV.2.2. Caractéristiques physiques des huiles essentielles

#### ➤ Densité relative

La densité relative  $d_{20}$  d'une substance est le rapport entre la masse d'un certain volume de cette substance à 20°C et la masse d'un volume égale d'eau à la même température.

La masse volumique  $\rho_{20}$  d'un corps est le quotient de sa masse par son volume à 20°C, elle est exprimée en  $\text{Kg/m}^3$ .

La relation numérique entre la densité relative et la masse volumique exprimée en  $\text{Kg/m}^3$  est la suivante:

$$\rho_{20(s)} = \rho_{20(\text{eau})} * d_{20}$$

### ➤ Mode Opérateur

Au moyen d'une balance de précision, nous avons pesé 1ml d'Huile de moteur (lubrifiant), puis nous avons pesé le même volume (1ml) d'eau distillée.



Figure IV.1 : Balance de précision.

### ▲ Méthode de calcul

La densité relative d'HE de myrte (fruits et feuilles) est exprimée selon la formule suivante :

$$d_{20} = \rho_{20(\text{HE})} / \rho_{20(\text{eau})}$$

Où :

$\rho_{20(\text{HE})}$ : La masse volumique de l'huile essentielle de myrte à 20°C.

$\rho_{20(\text{eau})}$ : La masse volumique de l'eau distillée à 20°C.

$d_{20}$  : La densité relative de l'huile essentielle de Myrte à 20°C.

### ▲ Résultats trouvés

- Mesuré les masses de 5 ml des lubrifiants (w40 et 10 w40 total) :

$$m_{10w40 \text{ total}} = 4.13 \text{ g}$$

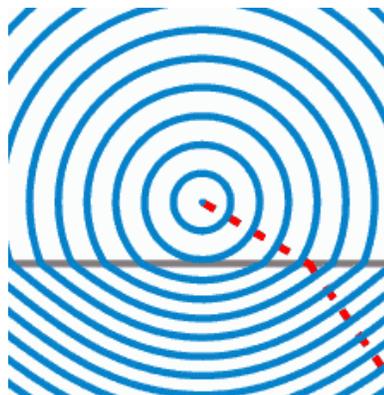
- La masse d 1ml d'eau :  
 $m_{\text{eau}} = 5 \text{ g}$
- Le calcul des densités des lubrifiants :

#### 10W-40 Total :

$$d_{20} = \rho_{20(\text{LB})} / \rho_{20(\text{eau})} \quad \longrightarrow \quad d_{20} = 4.13/5 = 0.826 \text{ g/l}$$

#### IV.2.3. Détermination de l'indice de réfraction :

L'indice de réfraction  $n_D^T$  d'un milieu homogène, transparent, peut être défini comme le pouvoir que possède milieu pour dévier un rayon arrivant sur la surface selon British pharmacopeia. La détermination de l'indice de réfraction à l'aide d'un réfractomètre.



#### ▲ Mode Opérateur

Nous avons placé l'huile de moteur (lubrifiant) à l'aide d'une pipette dans la cellule de mesure jusqu'au trait signalé, puis nous avons refermé le couvercle. Au bout de quinze (15) secondes (c'est le temps nécessaire pour que l'appareil soit stabilisé à 20°C). Nous avons réglé avec les deux boutons, jusqu'à la localisation du trait signalé au centre de la cellule, et nous avons lu la valeur de l'indice de réfraction  $n_D^T$  sur l'appareil.



**Figure IV.2 :** Réfractomètre.

▲ **Résultats mesurés :**

**10W- 40 Total :**

$$n_D^T = 1.472$$

**IV.2.4. Caractéristiques chimiques des lubrifiantes :**

➤ **LE PH :**

Le potentiel hydrogène (ou pH) mesure l'activité chimique des ions hydrogènes ( $H^+$ ) (appelés aussi couramment protons) en solution. Notamment, en solution aqueuse, ces ions sont présents sous la forme de l'ion oxonium (également, et improprement, appelé ion hydronium).

Plus couramment, le pH mesure l'acidité ou la basicité d'une solution. Ainsi, dans un milieu aqueux à 25 °C :

- une solution de pH = 7 est dite neutre ;
- une solution de pH < 7 est dite acide ; plus son pH s'éloigne de 7 (diminue) et plus elle est acide ;
- une solution de pH > 7 est dite basique ; plus son pH s'éloigne de 7 (augmente) et plus elle est basique.

▲ **Le mode opératoire :**

On prend un échantillon d'eau d'oued (20ml), et on le met dans un bécher.

On allume le PH mètre puis on fait l'étalonnage avec l'utilisation des solutions tampon (ph=4, ph=7).



**Figure IV.3 : PH mètre.**

▲ **Le résultat mesuré :**

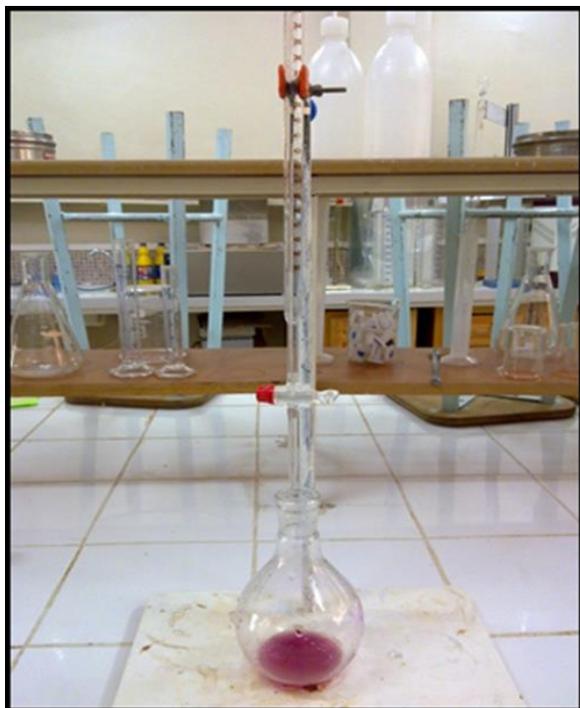
**10W-40 Total: PH = 7.01**

➤ **Détermination de l'indice d'acide :**

L'indice d'acide  $I_A$  est le nombre qui exprime en milligrammes la quantité d'hydroxyde de potassium nécessaire à la neutralisation des acides libres présents dans un gramme de substance.

▲ **Mode Opératoire**

Nous dissolvons 1g de la substance d'huile de moteur (lubrifiant) dans 5 ml d'un mélange à volumes égaux d'alcool et d'éther, le solvant doit être neutralisé au préalable par l'hydroxyde de potassium 0.1 M en présence de 0.5 ml de phénolphaléine. Après dissolution, nous titrons par l'hydroxyde de potassium 0.1M, nous arrêtons le titrage lorsque la couleur rose persistante apparait.



#### ▲ Méthode de calcul

L'indice d'acide est exprimé selon la formule suivante :

$$I_A = \frac{5.61 * V}{m}$$

$I_A$  : L'indice d'acide

$V$  : Le volume de KOH (0.1M) consommé en ml.

$m$  : La masse de la substance à examiner en g.

#### ▲ Les résultats trouvés :

##### 10W40 Total :

$$I_A = \frac{5.61 * V}{m} \quad \longrightarrow \quad I_A = (5.61 * 5) / 1 \quad I_A = 28.02 \text{ ml/g}$$

#### ➤ Détermination de l'indice de saponification

L'indice de saponification  $I_s$  est le nombre qui exprime en milligramme la quantité d'hydroxyde de potassium nécessaire à la neutralisation des acides libres et la saponification des esters présents dans 1 g de la substance à examiner.

▲ **Mode Opérateur**

Dans une fiole de 250ml de verre de borosilicate munie d'un réfrigérant à reflux, nous introduisons la prise d'essai (l'huile lubrifiant) en mg. Nous ajoutons 25ml d'hydroxyde de potassium alcoolique 0.5M et quelques billes de verre. Nous adaptons le réfrigérant et nous chauffons à reflux pendant 30 minutes, puis nous ajoutons 1 ml de l'indicateur coloré de phénolphtaléine et nous titrons immédiatement par l'acide chlorhydrique 0.5M. Nous effectuons un essai à blanc dans les mêmes conditions



▲ **Méthode de calcul**

L'indice d'acide est exprimé selon la formule suivante :

$$I_A = \frac{5.61 * V}{m}$$

L'indice de saponification est exprimé par la formule suivante :

$$I_S = \frac{28.05(V_2 - V_1)}{m}$$

Où :

m : La masse de la substance en g

V<sub>1</sub> : Le volume de HCl consommé par l'échantillon en ml

V<sub>2</sub> : Le volume de HCl consommé à blanc en ml

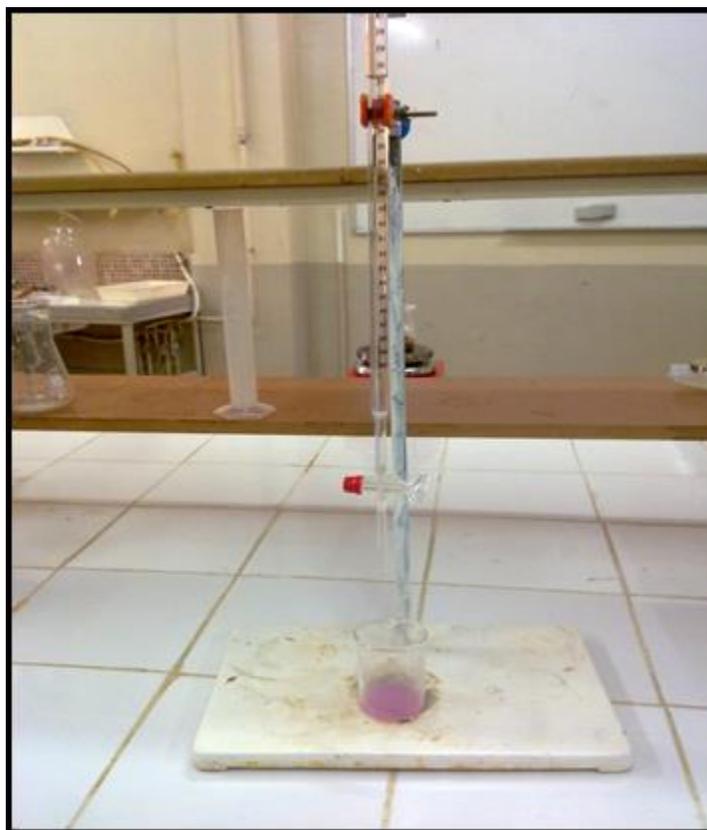
▲ **Les résultats trouvés :**

10W40Total :

$$I_S = \frac{28.05(V_2 - V_1)}{m} \quad \longrightarrow \quad I_S = \frac{28.05(27.5 - 22.7)}{1} \quad I_S = 134.64 \text{ ml/g}$$

➤ **Détermination de l'indice d'ester**

L'indice d'ester  $I_E$  est le nombre qui exprime en milligrammes la quantité d'hydroxyde de potassium nécessaire à la saponification des esters présents dans 1g de substance, il est calculé à partir de l'indice d'acide  $I_A$  et l'indice de saponification  $I_S$ .



▲ **Méthode de calcul**

$$I_E = I_S - I_A$$

$I_E$  : indice d'ester ;

$I_S$  : indice de saponification ;

$I_A$  : indice d'acide.

▲ **Les résultats trouvés :**

10W-40 Total :

$$I_E = I_S - I_A \rightarrow I_E = 134.64 - 28.02 \quad I_E = 106.62 \text{ml/g}$$

**IV.3. Interprétation des résultats et comparaison entre le lubrifiant SAE40 :**

**a) Sellant les propriétés organoleptiques :**

On a trouvé que les deux huiles lubrifiantes (SAE 40, 10W-40) ont une odeur spécifique et une couleur jaunâtre, et ce sont les deux des fluides visqueux.

**b) Sellant le PH :**

On a mesuré les résultats suivants :

Huile lubrifiant	Le PH
<b>SAE 40</b>	<b>6.70</b>
<b>10w40</b>	<b>7.01</b>

Discutions :

Les deux huiles sont neutres.

**c) La densité :**

Après le calcul des densités des deux huiles on trouvée :

Huile lubrifiant	La densité (g/l)
<b>SAE 40</b>	<b>0.860</b>
<b>10w40</b>	<b>0.826</b>

Discutions :

Les deux huiles ont des valeurs de densités trais proche. Alors se les deux lubrifiant se mélangent et ne forment ensemble qu'une seule phase : ils sont miscibles.

**d) L'indice de réfraction :**

On a mesuré les résultats suivants

Huile lubrifiant	Indice de réfraction
<b>SAE 40</b>	<b>1.4795</b>
<b>10w40</b>	<b>1.472</b>

Discutions :

La valeur de l'indice dépend généralement de la longueur d'onde du rayon lumineux utilisé. La première conséquence est l'effet sur la réfraction : l'angle de réfraction n'est pas le même pour différentes « couleurs ».

Les deux huiles lubrifiantes ont des valeurs d'indice de réfraction très proche.

**e) L'indice d'acide :**

Après les mesures du volume, et faire les mesures des calculs on a trouvé :

Huile lubrifiant	Indice d'acide (ml/g)
<b>SAE 40</b>	<b>10.32</b>
<b>10w40</b>	<b>28.02</b>

Discussions :

La teneur en acides libres des corps gras présente dans l'huile lubrifiant (10w40), exprime aussi leur état de détérioration est plus grand que le deuxième lubrifiant (SAE 40).

**f) L'indice de saponification :**

Après les mesures du volume, et faire les mesures des calculs on a trouvé :

Huile lubrifiant	Indice de saponification (ml/g)
<b>SAE 40</b>	<b>123.42</b>
<b>10w40</b>	<b>134.64</b>

Discussions :

L'indice de saponification correspond à la masse de potasse (KOH) - en mg - nécessaire pour neutraliser les acides gras libres et pour saponifier les acides gras combinés dans un gramme de corps gras.

L'indice de saponification de lubrifiant (10w40) est grand par rapport à (SAE 40).

**g) L'indice d'ester :**

Après le calcul nous avons trouvés que :

Huile lubrifiant	Indice d'ester (ml/g)
<b>SAE 40</b>	<b>100.32</b>
<b>10w40</b>	<b>106.62</b>

Discutions :

L'indice d'ester d'un lipide est la masse de potasse (KOH) (exprimée en mg) nécessaire pour saponifier les acides gras estérifiés contenus dans 1 g de corps gras.

Les indices d'ester des deux huiles lubrifiantes (SAE 40 et 10w 40) sont proches.

#### **IV.4. Résultats obtenus à l'aide du rhéomètre MCR 302 :**

##### **IV.4.1. Les courbes d'écoulement :**

Les fluides newtoniens et non newtoniens ont des comportements rhéologiques complètement différents. Lorsque la contrainte varie linéairement avec le taux de cisaillement à température constante, la constante de proportion étant la viscosité, les fluides sont newtoniens.

##### **IV.4.1.1. L'huile de Naftal :**

###### **a) Relation « contrainte-taux de cisaillement » ( $\tau$ [Pa], $\dot{\gamma}$ [1/s]) :**

Les figures ci-dessous représentent les diagrammes de l'huile de Naftal à des différentes températures choisis :

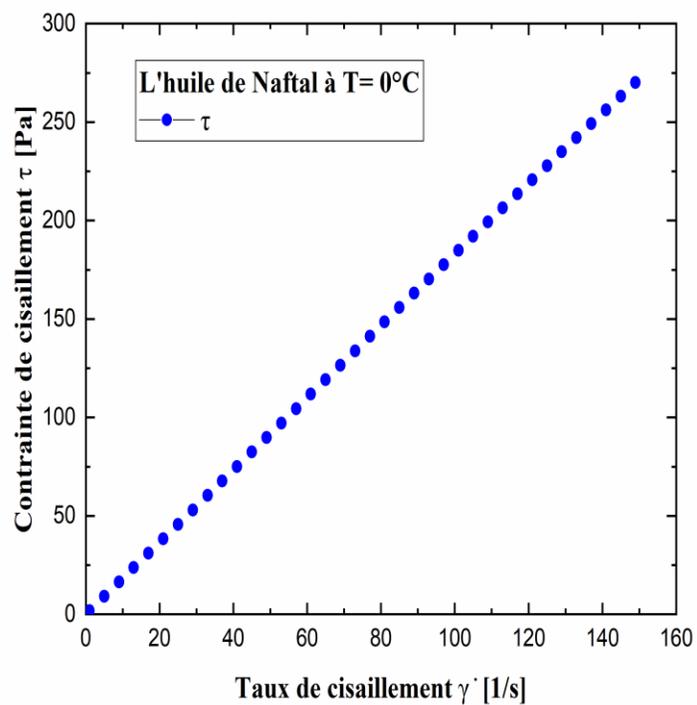


Figure IV.4 : Rhéogramme de l'huile de Naftal à 0°C.

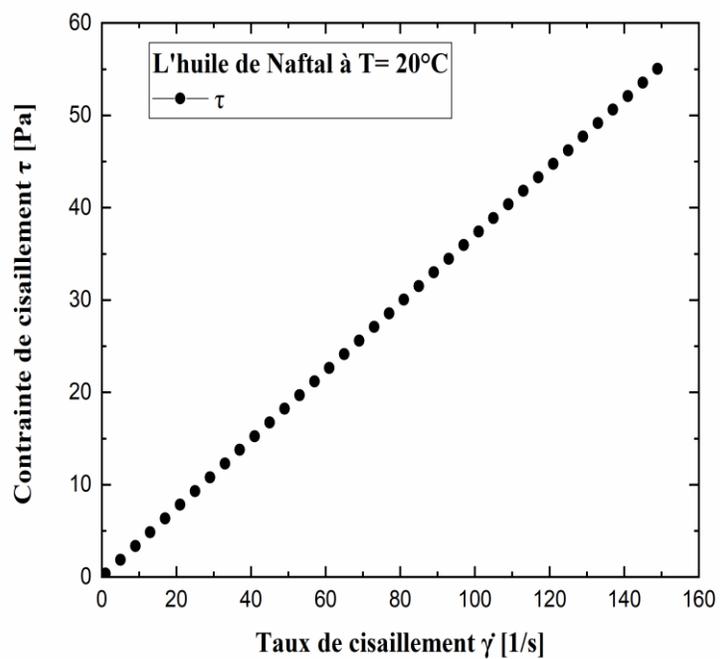


Figure IV.5 : Rhéogramme de l'huile de Naftal à 20°C.

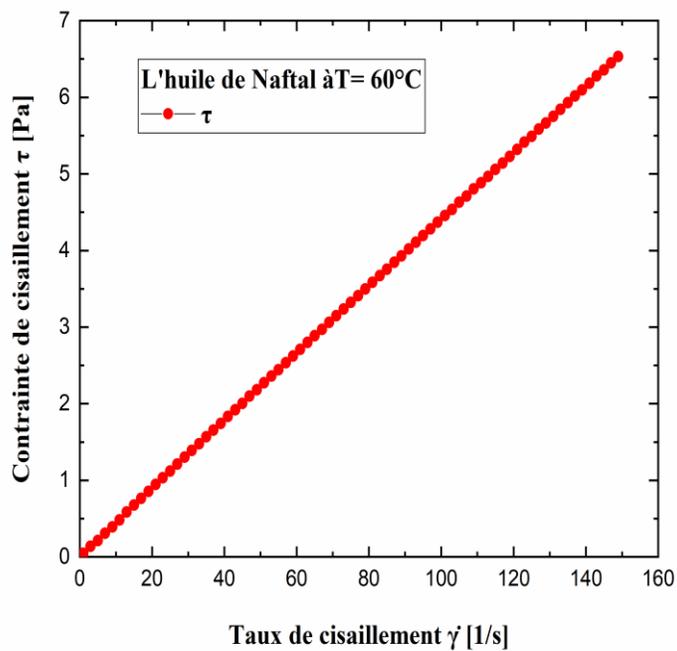


Figure IV.6 : Rhéogramme de l'huile de Naftal à 60°C.

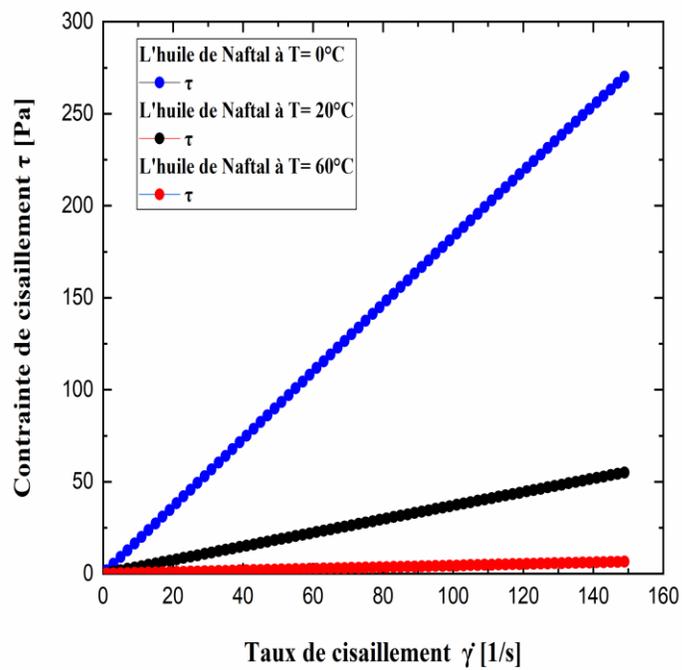


Figure IV.7 : Rhéogramme de l'huile de Naftal à différentes températures.

**b) Relation « viscosité-temps » à différentes valeurs de taux de cisaillement :**

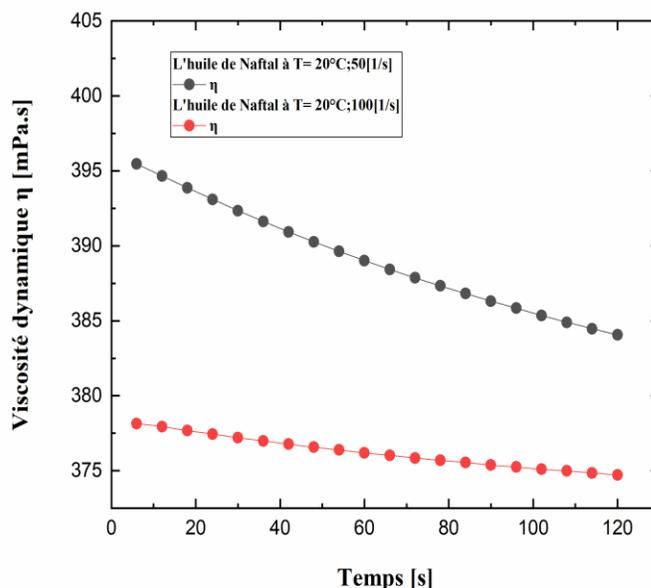
**( $\eta$  [mPa.s], t[s]) :**

Les différentes recherches faites sur la variation de la viscosité dynamique en fonction de temps à une température constante de 20°C, ont montrées que la viscosité diminue avec l’augmentation de temps. Pour étudier cette variation, la fixation d’un gradient de vitesse est nécessaire. Pour cela, trois gradients de vitesse constants ont été choisis :

- 1) Un taux de cisaillement moyen  $\dot{\gamma}$  [1/s] :
- 2) Un taux de cisaillement élevé  $\dot{\gamma}$  [1/s] :
- 3) Un taux de cisaillement plus élevé  $\dot{\gamma}$  [1/s] :

Temps(s)	6	36	78	102	120
Viscosité dynamique pour un taux de cisaillement moyen 50(1/s)	395,46	391,61	387,33	385,36	384,06
Viscosité dynamique pour un taux de cisaillement élevé 100(1/s)	378,15	376,99	375,69	375,1	374,72

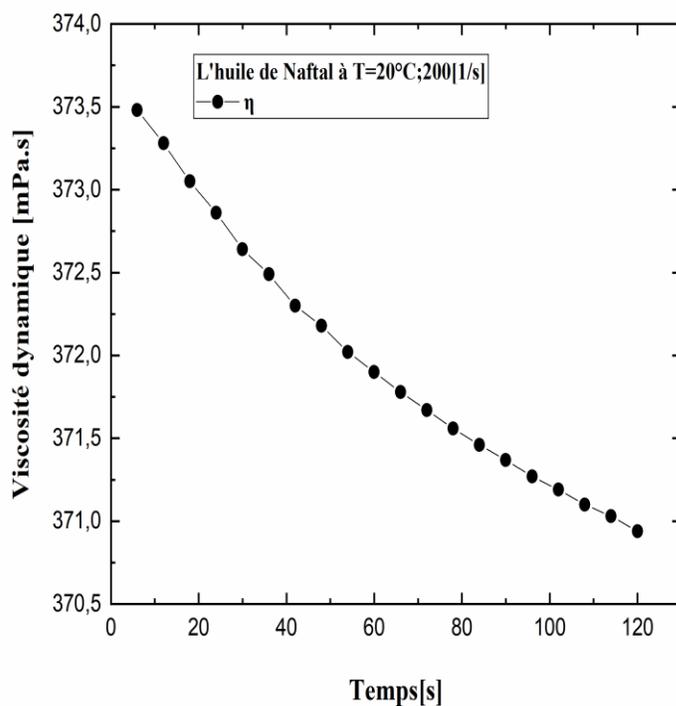
**Tableau IV.1 :** Présentation des valeurs de viscosité dynamique à différents taux de cisaillements pour l'huile de Naftal à une température constante.



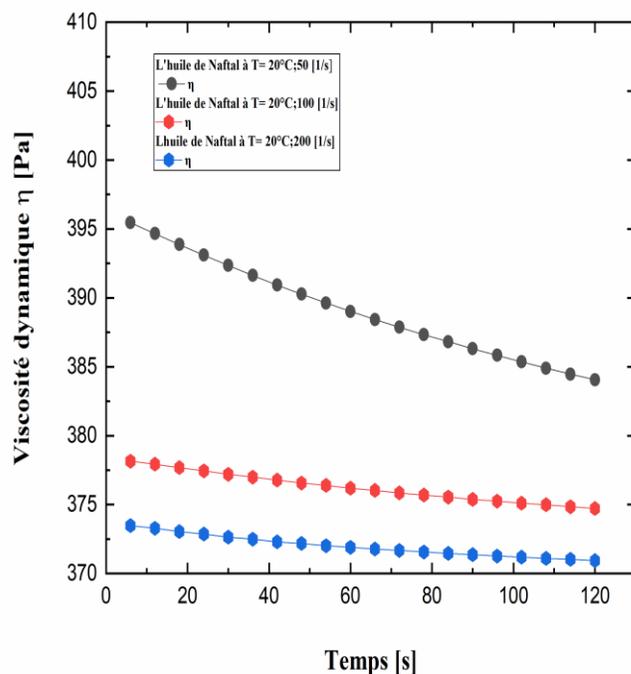
**Figure IV.8 :** La courbe viscosité dynamique en fonction du temps à taux de cisaillement de 50 et 100 (1/s) pour l'huile de Naftal à température constante.

Temps [s]	6	36	78	102	120
Viscosité dynamique pour un taux de cisaillement plus élevé 200 (1/s)	373,48	372,49	371,56	371,19	370,94

**Tableau IV.2 :** Présentation des valeurs de viscosité dynamique à taux de cisaillements de 200(1/s) pour l'huile de Naftal à une température constante.



**Figure IV.9 :** La courbe viscosité dynamique en fonction du temps à taux de cisaillement de 200 (1/s) pour l'huile de Naftal à température constante.



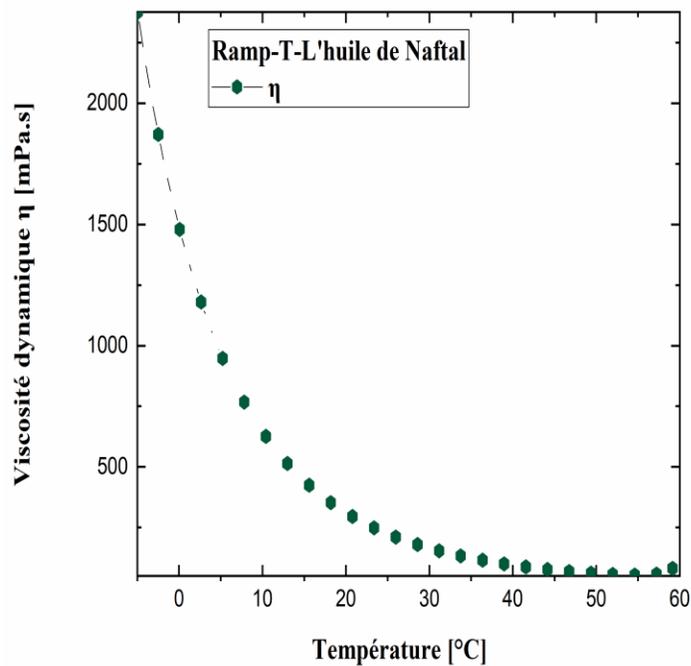
**Figure IV.10 :** La courbe viscosité dynamique en fonction du temps à différents taux de cisaillement de l'huile de Naftal à température constante.

**c) Relation viscosité « dynamique-température » à taux de cisaillement constante :**

Le tableau ci-dessous représente le diagramme de la viscosité dynamique en fonction de la température à taux de cisaillement constante telle que  $\dot{\gamma} = 50$  1/s :

Température (°C)	59,14	32,89	16,46	6,09	0,08	-1,63	-4,94
Viscosité dynamique (mPa.s)	81,602	139,49	398,77	883,1	1479,8	1729,1	2375,7

**Tableau IV.3 :** La courbe viscosité dynamique-température à taux de cisaillement de pour l'huile de Naftal.



**Figure IV.11 :** La Courbe de viscosité dynamique-température à taux de cisaillement constant pour l'huile de Naftal.

#### IV.4.1.2. L'huile de Total :

##### a) Relation « contrainte-taux de cisaillement » ( $\tau$ [Pa], $\dot{\gamma}$ [1/s]).

Les figures ci-dessous représentent les diagrammes de l'huile de Total à des différentes températures choisies :

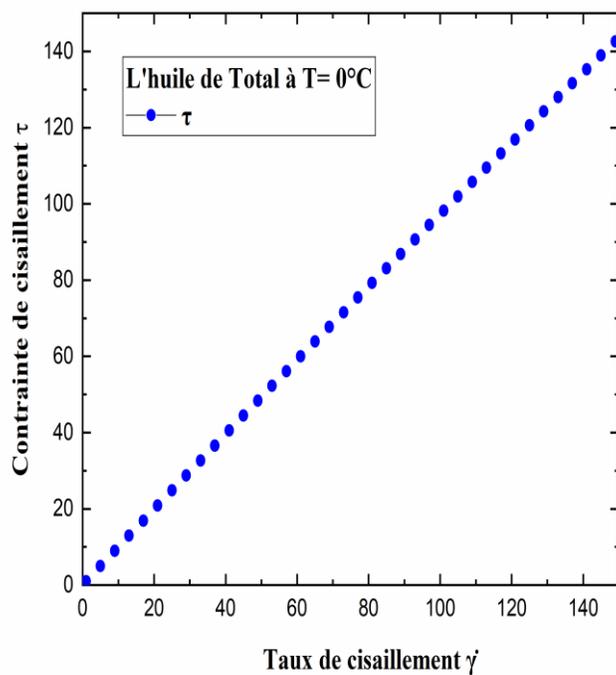


Figure IV.12 : Rhéogramme de l'huile de Total à  $0^\circ\text{C}$ .

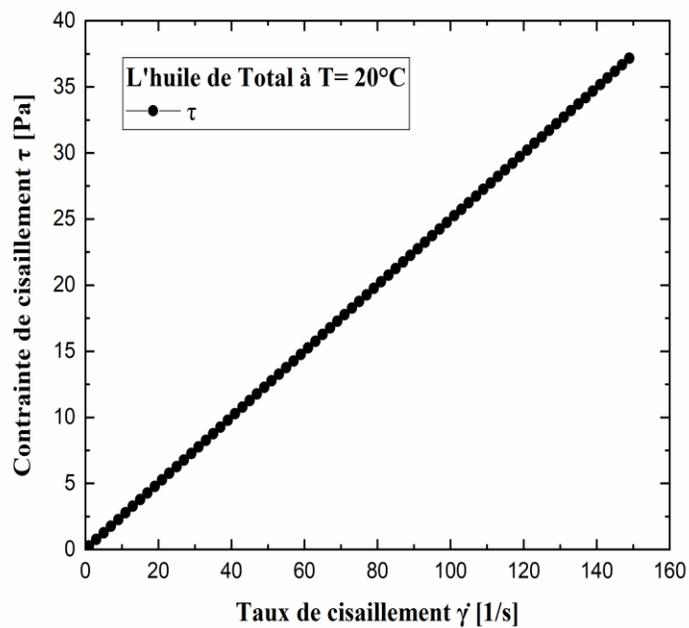


Figure IV.13 : Rhéogramme de l'huile de Total à  $20^\circ\text{C}$ .

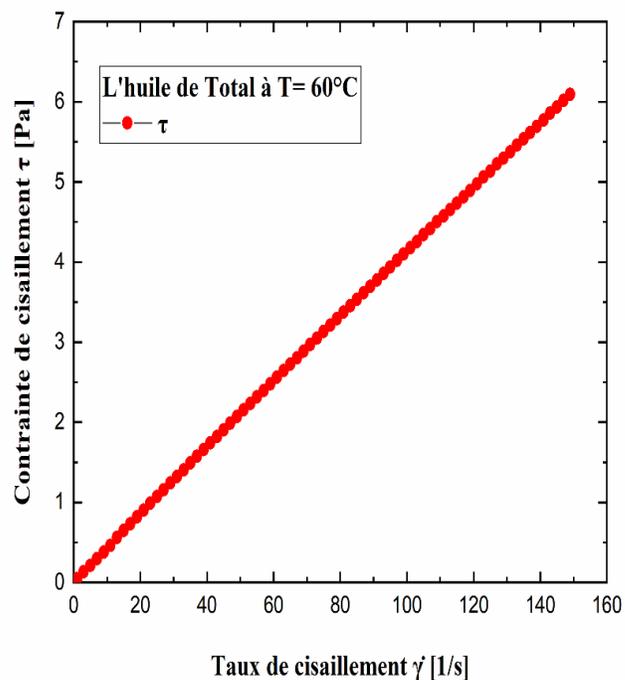


Figure IV.14 : Rhéogramme de l'huile de Total à  $60^\circ\text{C}$ .

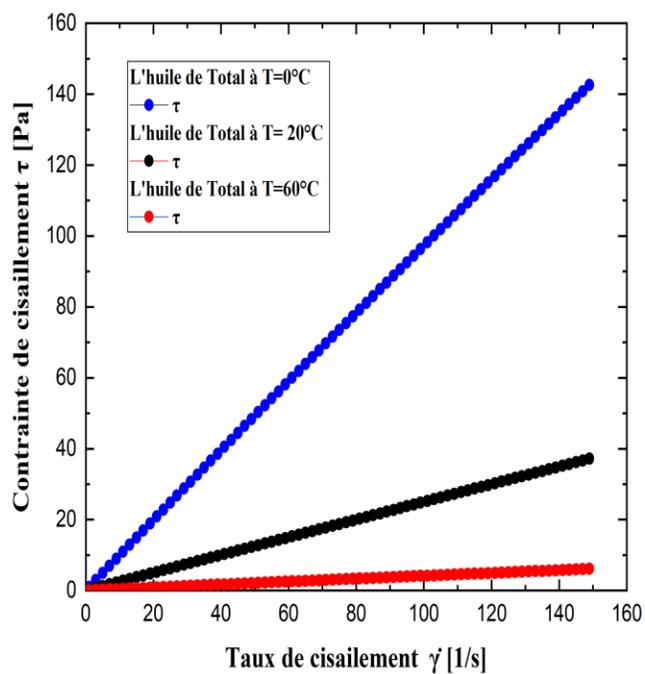
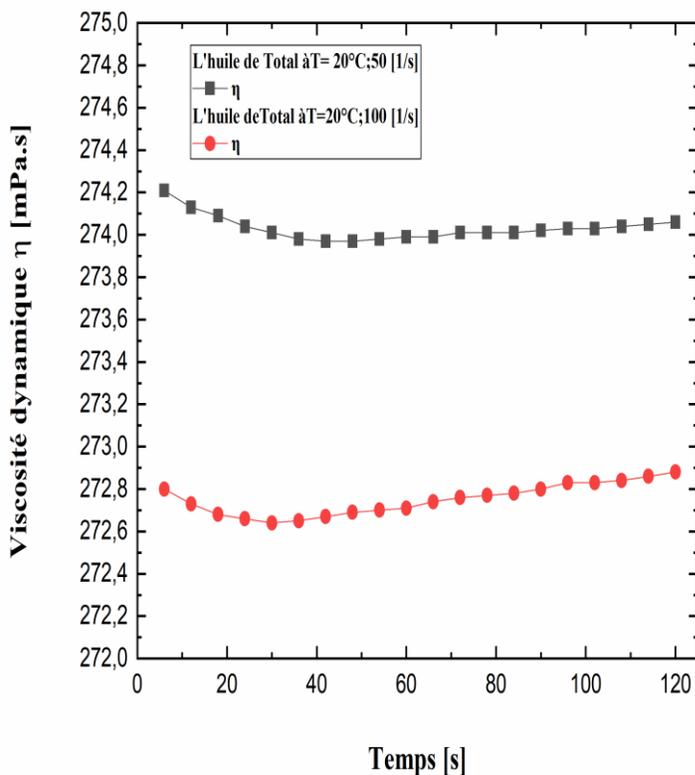


Figure IV.15 : Rhéogramme de l'huile de Total à différentes températures.

b) Relation « viscosité-temps » à différentes valeurs de taux de cisaillement :

Temps(s)	6	36	66	90	120
Viscosité dynamique pour un taux de cisaillement moyen 50(1/s)	274,21	273,98	273,99	274,04	274,06
Viscosité dynamique pour un taux de cisaillement élevé 100(1/s)	272,8	272,65	272,74	272,8	272,88

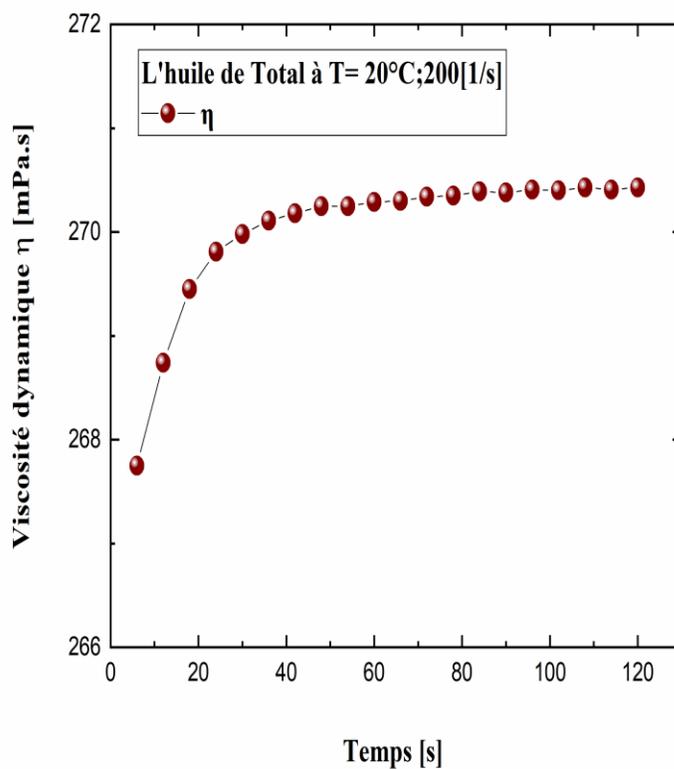
**Tableau IV.4 :** Présentation des valeurs de viscosité dynamique à différents taux de cisaillements pour l'huile de Total à une température constante.



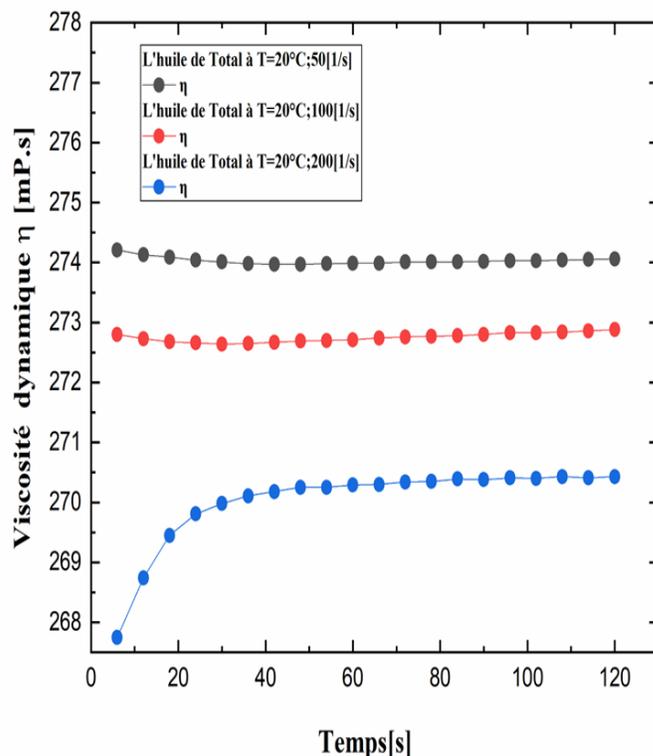
**Figure IV.16 :** La courbe viscosité dynamique-temps à taux de cisaillement de 50 et 100 (1/s) pour l'huile de Total à température constante.

Temps(s)	6	36	66	90	120
Viscosité dynamique pour un taux de cisaillement plus élevé 200 (1/s)	267,75	270,11	270,3	270,38	270,43

**Tableau IV.5 :** Présentation des valeurs de viscosité dynamique à taux de cisaillement de 200(1/s) pour l'huile de Total à une température constante.



**Figure IV.17 :** La courbe viscosité dynamique-temps à taux de cisaillement de 50 et 100(1/s) pour l'huile de Total à température constante.



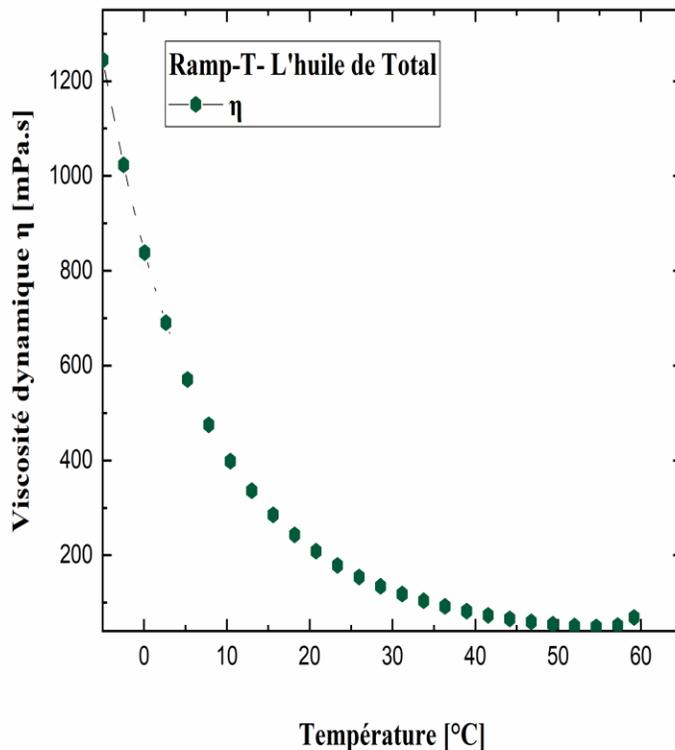
**Figure IV.18 :** La courbe viscosité dynamique-temps à différents taux de cisaillement de l'huile de Total à température constante.

**c) Relation viscosité « dynamique-température » à taux de cisaillement constant :**

Le tableau ci-dessous représente le diagramme de la viscosité dynamique en fonction de la température à taux de cisaillement constante telle que  $\dot{\gamma} = 50 \text{ 1/s}$  :

Température(°C)	59,17	52,85	16,76	5,24	0,08	-2,47	-4,97
Viscosité dynamique (mPa.s)	68,902	49,856	59,716	570,76	838,63	1023,3	1244,8

**Tableau IV.6 :** La courbe viscosité dynamique-température à taux de cisaillement de pour l'huile de Total.



**Figure IV.19 :** La Courbe de viscosité dynamique-température à taux de cisaillement constant pour l'huile de Total.

#### IV.5. Analyse des résultats :

Pour analyser comment un fluide se comporte, il est essentiel de comprendre comment les paramètres d'écoulement interagissent avec les fonctions qui le régissent.

Les rhéogrammes et les courbes de viscosité des huiles multigrade étudiées 10W40 (huile de Naftal et huile de Total) représentés dans les figures ((1,2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) et (9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16)) caractérisent le comportement de ces huiles dans une plage de cisaillement de 1 à 160 (1/s), et dans une plage des trois températures de 0°C, 20°C et 60°C.

Dans l'analyse des courbes d'écoulement, on peut déduire que les rhéogrammes représentent, d'une façon générale, des points pratiquement alignés sur toutes les courbes.

**IV.5.1. Relation « contrainte-taux de cisaillement » :**

Les figures ((1, 2, 3, 4) et (9,10, 11, 12)) représentent des rhéogrammes illustrent la variation de contrainte de cisaillement en fonction de taux de cisaillement à des températures suivantes 0°C, 20°C et 60°C :

Les paramètres rhéologiques déduits à partir des courbes, montrent des contraintes de cisaillement de ces huiles augmente d'abord linéairement avec l'augmentation du taux de cisaillement, ensuite elle devient dépendante du taux de cisaillement. Par conséquent les huiles multigrades se comporte un fluide pseudo plastique à des basses températures, et comme un fluide newtonien pour des hautes températures. Toutes les observations s'appliquent à les deux entreprises Naftal et Total.

**IV.5.2. Relation « viscosité dynamique-temps » :**

Les figures ((5, 6, 7) et (13, 14, 15)) illustrent la variation de la viscosité dynamique en fonction du temps de l'huile de Naftal et de Total à une température constante de 20°C.

Notez que le temps augmente la viscosité dynamique diminuée progressivement à divers taux de cisaillement moyens et élevés, comparativement à huile de Total au taux de cisaillement le plus élevé ((200 (1/s))), la stabilité est enregistrée à mesure que le temps augmente. Quelle la viscosité est inversement proportionnelle au temps.

En peut conclure la viscosité qui ne varie pas légèrement avec le taux de cisaillement, ce qui renforce la conclusion du comportement newtonien des huiles étudiées.

**IV.5.3. Effet de température sur la viscosité :**

Il s'agit de tester la viscosité à différentes températures afin d'observer comment les caractéristiques rhéologiques changement avec les changements de température, comme le constatent sur les figures (8, 16), que l'augmentation de la température fait chuter la viscosité dynamique continuellement des huiles étudiées. L'augmentation de la température c'est la raison principale qui fait l'accélération de mouvement thermique entre les molécules de fluide étudié, donc les liaisons chimiques avec la relaxation de la structure vas détruire.

# Conclusion générale

Un lubrifiant se qualifie pour une application déterminée par les propriétés requises pour cet emploi. Ces propriétés sont consignées dans un cahier des charges, une norme ou une spécification. Certaines sont reprises, sous forme résumée, dans les fiches techniques destinées aux utilisateurs. Ces propriétés que ce soit physique ou chimique caractérisent la différence entre un lubrifiant et un autre, selon leur utilisation et leur fonctionnement leur composition ...

Les propriétés se classent en deux groupes : les caractéristiques d'identification et d'utilisation et les caractéristiques de performances.

- ◆ Les caractéristiques d'identification (masse volumique, indice de réfraction, point d'écoulement, etc.) et d'utilisation sont des propriétés physiques et/ou chimiques, habituellement désignées « propriétés physico-chimiques », évaluées par des essais simples de laboratoires. Certaines de ces caractéristiques sont véritablement des propriétés fonctionnelles (caractéristiques d'utilisation) ; c'est le cas, par exemple, de la compressibilité ou de la viscosité dynamique.
- ◆ Les caractéristiques de performances physico-chimiques, mécaniques ou complexes sont évaluées par des essais effectués au laboratoire, en cellule sur bancs d'essai ou en service réel.

En une étude expérimentale sur la caractérisation d'un lubrifiant du moteur à essence plus précisément, TOTAL 10W40 et SAE 40 lubrifiant, on a réalisé une comparaison de l'huile présentée par une autre huile, le SAE 40 (un lubrifiant algérien fabriqué et commercialisé par NAFTAL).

# Références

- [1] **Juvinall, R. C., & Marshek, K. M.** (2011). *Fundamentals of Machine Component Design*. Wiley, **Bowden, F. P., & Tabor, D.** (1950). *The Friction and Lubrication of Solids*. Oxford University Press.
- [2] **RABHI Zeyneb** et **MAMOUNI Khadidja** « Etude de la possibilité de la régénération des huiles moteur usagées par processus de traitement à l'acide », Master académique en 2019.
- [3] <https://www.way.com/fr/blog/prix-de-vidange-d%27huile-enti%C3%A8rement-synth%C3%A9tique>.
- [4] **Polycopies Lubrification Industrielle**, Département de Génie Mécanique, Université des sciences et de la Technologie d'Oran « MOHAMMED BOUDIAF ».
- [5] [https:// www.zoneindustrie.com](https://www.zoneindustrie.com).
- [6] [https:// www.amazon.fr](https://www.amazon.fr).
- [7] **F. V Guest, R.D. Gibson, G.T. Hulse, C.K. Hulse** « Manuel de technologie mécanique »
- [8] Lubrifiant moteur Castrol EDGE.
- [9] **BENHABILES Neila -KHELFA Anissa**. « Percolation d'huile usagée moteur SAE 20W50 sur Le KIESELGUHR », Mémoire de fin d'étude, département de génie Chimique ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE. (2002).
- [10] [https:// www.freepik.com](https://www.freepik.com).
- [11] [https:// www.stockphoto.com](https://www.stockphoto.com).
- [12] **M. Chorfi Sofiane**. Généralité sur les lubrifiants, Université de Constantine.
- [13] **Hoang-Cindy LE**. Monographie L'huile minérale, Université Québec.
- [14] **Ridha Mazouzi \*, Benyoucef Khelidj, Abdelkader Karas † et Ahmed Kellaci** « Régénération des huiles lubrifiantes usagées par processus de traitement à l'acide ».
- [15] **BENCHENI Imane-SAYAH Bouasria**. « Etude comparative lors de récupération du raffinat d'extraction des aromatiques des huiles de bases sur le **Grade SAE 30** » Master académique, de génie des procédés université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, (2018/2019).
- [16] **Haddad Fadila** « Effet de vieillissement sur les propriétés physico-chimique de certaines huiles lubrifiantes », 2010.
- [17] **Bennoui Sid ahmed-haleche Salah Eddine lamine** « régénération des huiles de moteur usagées par traitement d'acide adsorption, Master en génie de procédé, université de blida 1/2020\_2021 ».
- [18] **Laurent Girand**. Thèse de doctorat « Modèle prédictif pour le développement d'un système embarqué de vidange des lubrifiants pour transmission », département de génie mécanique

université LAVAL Québec, 2000.

[19] **M. KHLEDJ Riyadh & M. SELLAOUI Ahmed** « Etude expérimentale du comportement rhéologique du nano-lubrifiant Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/10W40 », 2017/2018.

[20] **KRIKA Wafa** « Etude de l'influence de la qualité du lubrifiant sur la vibration des machines tournantes lubrifiées ».

[21] **HAMILTON; R.T.and crosser O.K** « thermal conductivity and heterogenous two component system industriel and engineering chemistry fondamentales 1(3).187.191(1962).

[22] **Monsieur MENOUER Abdelfattah** « Écoulement des fluides complexes à travers un élargissement », Thèse Doctorat LMD. Université Ibn Khaldoun – Tiaret (2020).

[23] [https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTfDw5oNXoWm60UCVki7gLx4dX3zbA4rUxmtHuyRZBd0\\_HjPD3yPEhoigQ51w&s](https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTfDw5oNXoWm60UCVki7gLx4dX3zbA4rUxmtHuyRZBd0_HjPD3yPEhoigQ51w&s).

[24] **COUSSOT P. -L GROSSIORD,** « comprendre la rhéologie : de la circulation du sang à la prise du béton », article : des concepts aux outils-L. GROSSIORD' et D. QUEMADA.

[25] **Hammadi L.** : Cours Rhéologie des fluides complexes : Chapitre 2 : Fluides Non Newtoniens. Université des Sciences et Technologie Mohamed Boudiaf. Oran.

[26] **LAGHOUATI Nesrine,** « Etude de comportement rhéologique du nano-lubrifiant ZnO/SAE10W40 pour les applications automobiles » Master 2, Département de génie mécanique université Ibn Khaldoun-Tiaret- : 2020 /2021.

[27] Module de biophysique : Cours Rhéologie et bio rhéologie.

[28] <https://www.researchgate.net>

[29] **Soufi Abdelmadjid ; Souidi Fatima Zahra Asma,** « caractérisations rhéologique des fluides complexes-application au domaine de l'industrie agro –alimentaire » Master 2, Département de génie mécanique université Ibn Khaldoun-Tiaret-2014/2015.

[30] **G. COURAZ- J.L. CROSSIOPD.** « Initiation à la Rhéologie », Tech et doc, 1983.

[31] <https://www.programme-malin.com>.

## Résumé

Ce travail présente une étude expérimentale sur la caractérisation d'un lubrifiant du moteur à essence plus précisément, lubrifiant importé TOTAL SAE 10W40, pour réaliser une comparaison de l'huile présenté par une autre huile, le SAE 10W40 (lubrifiant algérien fabriqué et commercialisé par NAFTAL).

Cette étude expérimentale contient des expériences effectuées au laboratoire de physico-chimie (Ph, viscosité dynamique, indice d'acide, indice de réfraction ...etc.) sur les deux lubrifiants.

La détermination des caractéristiques rhéologiques des lubrifiants choisis est basée sur les résultats obtenus à partir de l'expérience faite à l'aide du rhéomètre MCR 302.

L'interprétation des résultats obtenus nous permet d'avoir peu de variation dans les caractéristiques d'huile de chaque entreprise, cela est dû à leurs additifs respectifs.

**Mots Clés :** lubrifiant, étude comparative, rhéologie, rhéomètre, viscosité, rhéomètre MCR 302.

## Abstract

This work presents an experimental study on the characterization of a gasoline engine lubricant more precisely, imported lubricant TOTAL SAE 10W40, to carry out a comparison of the oil presented by another oil, SAE 10W40 (Algerian lubricant manufactured and marketed by NAFTAL).

This experimental study contains experiments carried out in the physico-chemical laboratory (Ph, dynamic viscosity, acid index, refractive index, etc.) on the two lubricants.

The determination of the rheological characteristics of the chosen lubricants is based on the results obtained from the experiment carried out using the MCR 302 rheometer.

The interpretation of the results obtained allows us to have little variation in the oil characteristics of each company, this is due to their respective additives.

**Keywords:** lubricant, comparative study, rheology, rheometer, viscosity, MCR 302 rheometer.

## ملخص

يقدم هذا العمل دراسة تجريبية حول توصيف أحد زيوت تشحيم محرك البنزين بشكل أدق، وهو زيت التشحيم المستورد TOTAL SAE 10W40، وذلك لإجراء مقارنة بين الزيت المقدم من زيت آخر وهو SAE 10W40 (زيت تشحيم جزائري من إنتاج وتسويق شركة نافتال).

تحتوي هذه الدراسة التجريبية على تجارب تم إجراؤها في المختبر الفيزيائي الكيميائي (الأس الهيدروجيني، اللزوجة الديناميكية، مؤشر الحموضة، معامل الانكسار، إلخ) على المادتين.

يعتمد تحديد الخصائص الريولوجية لمواد التشحيم المختارة على النتائج التي تم الحصول عليها من التجربة التي تم إجراؤها باستخدام مقياس الجريان MCR 302.

يتيح لنا تفسير النتائج التي تم الحصول عليها وجود اختلاف بسيط في خصائص الزيت لكل شركة، ويرجع ذلك إلى الإضافات الخاصة بكل شركة.

**الكلمات المفتاحية:** مواد التشحيم، دراسة مقارنة، الريولوجيا، مقياس ريومتر، اللزوجة، مقياس ريومتر MCR 302