

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

L'huile utilisée dans les voitures contient deux ingrédients principaux : l'huile de base et les additifs. L'huile de base permet à l'huile moteur de remplir sa fonction principale, la lubrification des parties mobiles du moteur, afin de les protéger de l'usure provoquée par le frottement. Les additifs apportent au moteur une protection supplémentaire en empêchant que les températures extrêmes qui y règnent ne provoquent la décomposition de l'huile (et son vieillissement prématuré). On distingue deux types d'huile moteur **monograde** et **multigrade** ; une huile monograde est une huile dont la viscosité n'est définie que par rapport à une température haute ou basse et une huile multigrade doit remplir les exigences de viscosité aussi bien dans les hautes que dans les basses températures c'est pourquoi les huiles multigrades sont facilement utilisables et sont choisies par les conducteurs qui vivent dans des régions où les étés sont très chauds et les hivers très froids.

La viscosité est le paramètre le plus approprié pour caractériser un liquide et sa résistance à l'écoulement. La viscosité des liquides visqueux dépend essentiellement de la température et de la vitesse de cisaillement. Pour cette raison nous avons mesuré dans notre laboratoire la viscosité des huiles moteurs produits et commercialisés par l'entreprise algérienne Naftec de type monograde comme la Chiffa SAE 40, la Naftilia SAE 40 et multigrade la Naftilia 10w40 pour les températures variant de l'ambiante (20°C) à 95 °C et à différents taux de cisaillement.

Dans cette étude nous avons déterminé expérimentalement la viscosité des huiles considérées par viscosimétrie et rhéométrie où la viscosité est directement affichée dans le premier cas et déduite de la courbe d'écoulement dans le deuxième cas. Ainsi notre mémoire s'articule autour de trois chapitres :

Le premier chapitre aborde les concepts généraux sur les huiles et leur viscosité avec les différentes méthodes de mesure.

Le deuxième, décrit les équipements d'analyse utilisés, en l'occurrence le viscosimètre Visco Basi Plus et le rhéomètre HAAKE RV 100.

Le troisième et dernier chapitre, présente les résultats expérimentaux et leurs interprétations.

Nous terminons ce travail par une conclusion générale.

CHAPITRE I: Concepts Généraux

I. VISCOSITE UN PHENOMENE PHYSIQUE

I.1 Définition de viscosité

La viscosité se manifeste chaque fois que les couches voisines d'un même fluide sont en mouvement relatif. C'est-à-dire lorsqu'il s'établit un gradient de vitesse. On peut donc dire de la viscosité qu'elle est la mesure du frottement fluide. La force de frottement peut être figurée par l'énergie nécessaire pour déplacer un objet qui frotte sur un autre. La viscosité peut donc être considérée comme le frottement interne qui résulte du glissement d'une couche de fluide sur une autre. Un liquide très visqueux est un liquide qui présente un frottement interne élevé.

Si on considère l'expérience suivante (Figure I.1) dans laquelle le liquide adhère à la plaque supérieure et est entraîné par elle, on constate que, dans ce cas particulier, la vitesse varie proportionnellement à la coté z . l'expérience montre aussi qu'un mouvement stationnaire s'établit où la vitesse U_0 de la plaque supérieure est constante. C'est donc que le liquide exerce de forces tangentielles τ sur la plaque supérieure dont la résultante vaut précisément $-F$ [1].

La tension τ est proportionnelle au gradient de vitesse d'où la formule de Newton :

$$\tau = \frac{dF}{dS} = \eta \cdot \frac{\partial U}{\partial t} \quad (1)$$

η , est le coefficient de viscosité dynamique.

I.2 Viscosité dynamique

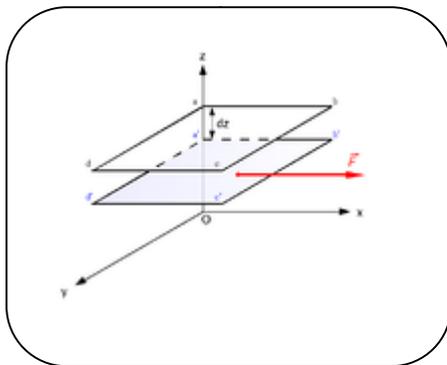


Figure I.1 : Force de viscosité agissant dans un fluide

Une façon de définir la viscosité dynamique est de considérer deux couches d'un fluide notées $abcd$ et $a'b'c'd'$, la couche $abcd$ étant animée d'une vitesse relative dU par rapport à $a'b'c'd'$ et dirigée suivant x . Sous l'effet de la viscosité, une force F s'exerce sur la couche $a'b'c'd'$. La viscosité dynamique η est définie par la relation entre la norme de cette force et la vitesse dU .

$$F = \eta \cdot S \cdot \frac{dU}{dz} \quad (2)$$

S : étant la surface de chaque couche, et dz l'épaisseur de fluide séparant les deux couches.

I.3 Viscosité cinématique

La viscosité cinématique ν est définie par :

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (3)$$

ρ [Kg/m³] : est la masse volumique de liquide

I.4 Unités [2]

- L'équation aux dimensions de **la viscosité dynamique** s'écrit :

$$[\eta] = \frac{N \cdot m}{m^2 \cdot m \cdot s^{-1}} = Pa \cdot s$$

Le **Pascal seconde** est donc l'unité de la viscosité dynamique. On parle plus généralement de **Poiseuille**, noté **Pl** tel que $1Pl = 1Pa \cdot s$

- De même, l'équation aux dimensions de **la viscosité cinématique** s'écrit:

$$[\nu] = (N \cdot m / m^2 \cdot m \cdot s^{-1}) \cdot (m^3 / Kg) = m^2 \cdot s^{-1}$$

Le (m² .s⁻¹) est donc l'unité de viscosité cinématique.

- L'unité de la viscosité dynamique, dans le système CGS est **la Poise**, noté **Po** $10Po = 1Pl$ $1Po = 10^{-1}Pa \cdot s$
- L'unité de la viscosité cinématique dans le système CGS, est le **Stokes**, notée **St**.

$$1m^2 \cdot s^{-1} = 10^4 St$$

Remarque: il existe aussi une autre unité de viscosité dynamique, le **Sthène seconde par mètre carré**, notée **Sn.s/m²** $1Sn \cdot s \cdot m^2 = 10^3 Pl$

Dans certaines applications, on utilise aussi l'inverse de la viscosité dynamique, appelé *fluidité*. L'unité est *Rhé*.

I.5 Importance de la nature de fluide et d'écoulement

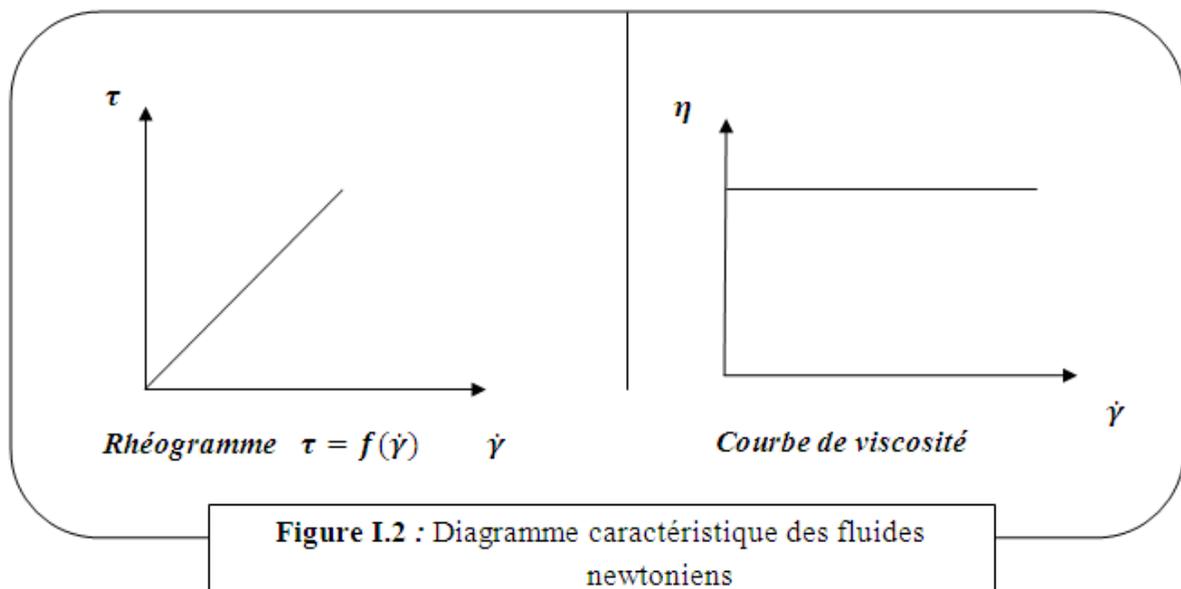
a) Nature de fluide

Il est plus commode pour étudier la rhéologie des liquides (en générale) de porter sur un graphique les valeurs de la contrainte de cisaillement τ en fonction de la vitesse de cisaillement ou gradient de vitesse $\dot{\gamma}$. Sur un tel graphique la viscosité dynamique est déterminée par la pente de la tangente à la courbe obtenue, encore appelée courbe d'écoulement ou rhéogramme.

- **fluides newtoniens**

Un fluide newtonien ne possède qu'une seule caractéristique rhéologique, une viscosité constante dans les mêmes conditions de température et de pression. Ce rapport est constant quel que soit le gradient de vitesse, tant que l'écoulement reste laminaire. La courbe caractéristique est une droite passant par l'origine.

$$\eta = \tau / \dot{\gamma} \quad (4)$$



- **fluides non newtoniens**

Indépendants du temps

Du point vu de la viscosité du cisaillement ces fluides peuvent se classer assez grossièrement en trois catégories.

Il importe toute fois de noter qu'il existe des fluides dont le comportement, plus complexe, consiste en une succession de deux des trois comportements simples qui sont décrits ci-après. En outre, cette description négligera dans un premier temps un autre paramètre important de certains de ces fluides, à savoir leur élasticité; les fluides possédant ce caractère sont appelés viscoélastiques.

Fluides rhéofluidifiants ou pseudo plastiques

Leur viscosité apparente décroît progressivement lorsque $\dot{\gamma}$ augmente et la courbe d'écoulement ne devient linéaire que pour les grandes valeurs de $\dot{\gamma}$.

OSTWALD a proposé pour représenter les courbes d'écoulements de ces fluides la relation dite loi d'Ostwald-de WAELLE :

$$\tau = k\dot{\gamma}^n \quad 0 < n < 1$$

k: consistance d'un fluide d'Ostwald, Pa.sⁿ ; conductance apparente de transfert de matière [2].

Corps plastiques

Ils sont caractérisés par une contrainte de cisaillement seuil τ_c au dessous de laquelle l'écoulement est impossible.

Une équation du corps peut alors être: $\tau - \tau_c = k\dot{\gamma}^n \quad n > 0$

Pour n=1, k= η (ici la viscosité η , appelée parfois viscosité plastique, n'a évidemment de sens que si $\tau > \tau_c$). Le corps est dit **Bingham**.

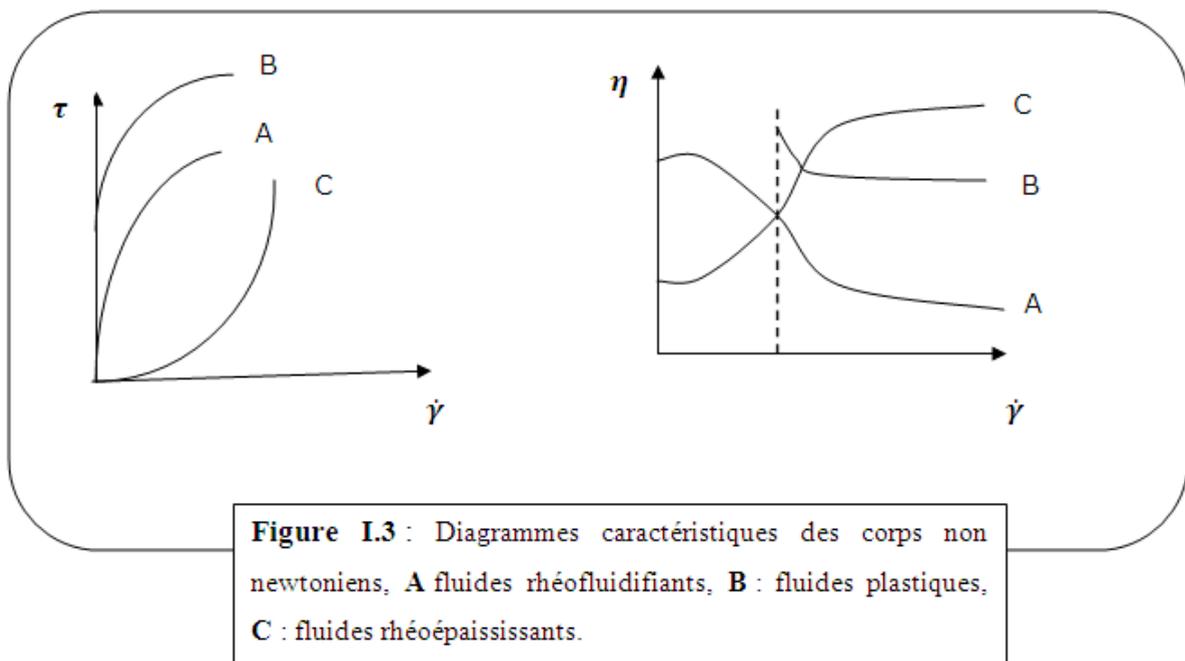
Fluides rhéoépaississants

Introduction Générale

Au contraire des fluides rhéofluidifiants, leur viscosité apparente augmente avec la contrainte de cisaillement; mais comme eux, ils peuvent également présenter un domaine newtonien initial et final. Une équation du type d'Ostwald :

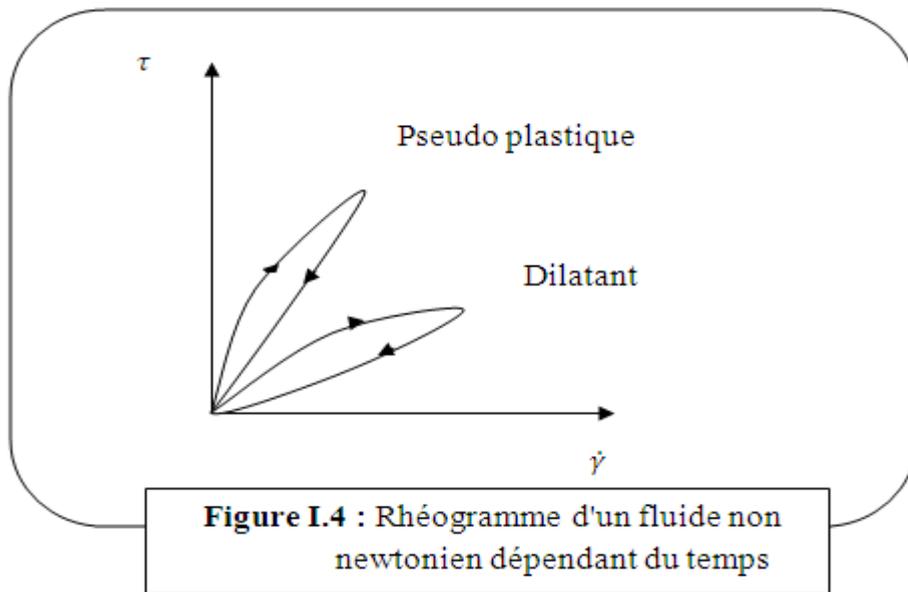
$$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n \quad n > 1$$

Pour représenter correctement ce comportement, que l'on peut rencontrer avec des suspensions concentrées de particules chargées. Il s'accompagne souvent mais pas nécessairement d'une augmentation du volume du matériau aux contraintes élevées, d'où parfois l'appellation de fluide dilatant [2].



Dépendant du temps

Dans une analyse hâtive le comportement de ces fluides peut parfois apparaître comme identique à celui décrit au paragraphe précédent les différences apparaîtront clairement si après avoir déterminé un rhéogramme avec la vitesse de cisaillement $\dot{\gamma}$ croissante on le poursuit en faisant décroître $\dot{\gamma}$. Les valeurs de τ ou de la viscosité apparente η et s'il y a lieu celle de $\dot{\gamma}$, ne sont pas identiques dans les deux branches: le rhéogramme présente une hystérésis.



b) Nature de l'écoulement

La véritable définition de la viscosité implique l'existence de ce qu'on appelle l'écoulement laminaire (ou mieux écoulement lamellaire) dans lequel le mouvement ou mieux le glissement d'une couche de liquide sur l'autre s'effectue sans transfert de matière d'une couche à l'autre, la viscosité étant définie comme le frottement entre ces couches. Il y a une certaine vitesse maximum, dite vitesse critique, dont la valeur dépend d'un certain nombre de facteurs (vitesse, viscosité, densité, forme du récipient), au delà de laquelle le mouvement relatif d'une couche de liquide ne peut pas se faire sans qu'il y ait transfert de matière de l'une à l'autre: au delà de cette vitesse se trouve l'écoulement turbulent. Les molécules ou les particules plus grandes que dans le cas d'un écoulement laminaire est nécessaire pour maintenir cet écoulement turbulent. L'augmentation de l'énergie nécessaire se reflète par l'existence d'un effort de cisaillement apparent beaucoup plus grand [2].

I.6 Principaux paramètres dont dépend la viscosité

a) Température

La viscosité dépend fortement de la température. Aussi doit on toujours, pour conserver un sens à la mesure, préciser la température à laquelle elle a été faite.

Introduction Générale

Pour les températures largement supérieures à la température de fusion du liquide, la relation d'Arrhenius est souvent utilisée :

$$\eta = A e^{E'/TR} \quad (5)$$

A (Pa.s) est un facteur préexponentiel, E (j/mole), est l'énergie d'activation pour l'écoulement, R, la constante des gaz parfait et T (K), la température.

L'indice de viscosité IV est très employé pour caractériser les produits pétroliers. Cela consiste à comparer la viscosité de l'échantillon considéré (η) à des séries étalons à forte (η_L) et faible (η_H) variation thermique.

$$\eta = \frac{\eta_L - \eta}{\eta_L - \eta_H} \quad 100 \quad (6)$$

Plus l'indice sera élevé, plus faible sera la variation de viscosité en fonction de la température.

b) Temps

L'influence du temps, combinée avec celle la contrainte de cisaillement donne lieu à des phénomènes rhéopexiques.

On distingue des liquides thixotropes dont, à contrainte de cisaillement constante, la viscosité décroît lorsque la durée de cisaillement augmente, et les liquides antithixotropes pour lesquels η croît avec la durée du cisaillement.

Lorsque la contrainte est supprimée, on peut avoir après un temps plus ou moins long le retour à l'état initial; on peut aussi aboutir à une fluidification ou à un épaissement stable, correspondant à un changement important de la structure intra ou intermoléculaire du fluide.

Un cas particulier de l'influence du temps est la dégradation "mécanique" d'une solution ou d'une suspension (c'est-à-dire la rupture mécanique des particules ou des

molécules du soluté), mais un écoulement de cisaillement simple ne semble pas capable de provoquer un tel phénomène.

Enfin, il est clair que les phénomènes qui viennent d'être décrits exigent l'existence d'une contrainte de cisaillement et ne doivent pas être confondus avec des effets purement physico-chimiques, encore que cette distinction ne soit pas toujours facile.

c) Taux de cisaillement

Cette dépendance est très apparente dans le cas des fluides non newtoniens. La courbe d'écoulement n'est pas linéaire et la courbe de viscosité chute dans le cas des rhéofluidifiants et augmente pour les rhéoépaississant avec la vitesse de cisaillement [2].

d) Pression

La viscosité des gaz ne dépend pas pratiquement de la pression tant que celle-ci reste faible (quelques atmosphères). Celle des liquides croît très faiblement avec la pression mais sous de fortes pressions, le gain de viscosité devient important [2].

II. MESURE DE LA VISCOSITE

II.1 Généralités

La rhéologie est la science qui étudie l'écoulement et la déformation des matériaux. Un viscosimètre (ou rhéomètre) est un dispositif expérimental qui permet de caractériser la viscosité d'un fluide ou d'une substance semi-solide. Ces dispositifs, nombreux et variés, permettent la mesure de différents paramètres tels que la viscosité, la contrainte, le couple à différentes températures et vitesses de cisaillement.

Choix de la méthode de mesure

Introduction Générale

- ❖ Le choix de la méthode de mesure dépend d'abord des grandeurs que l'utilisateur veut déterminer :
 - La viscosité de cisaillement seule.
 - La viscosité élongationnelle seule.

- ❖ L'utilisateur doit ensuite définir la nature de la mesure : **absolue ou relative**. Actuellement, il n'existe de normes précises de mesure absolue que pour la viscosité de cisaillement. C'est également dans ce seul domaine qu'il existe des liquides de référence permettant des mesures relatives avec des étalons normalisés.

- ❖ Les autres paramètres de choix sont les suivants :
 - Nécessité, ou non, d'une mesure normalisée : l'appareil de mesure et son mode de fonctionnement sont alors très souvent imposés ; la méthode recommandée a parfois un caractère empirique pouvant entraîner des erreurs considérables d'appréciation avec des fluides non newtoniens.
 - Coût d'investissement : en règle générale, il est possible d'indiquer que l'investissement dans la mesure de cisaillement simple est sensiblement inférieur à celui des autres méthodes (élasticité ou viscosité élongationnelle).
 - Coût de fonctionnement : là aussi, la mesure de viscosité de cisaillement nécessite moins de temps et un personnel moins qualifié que celle des autres grandeurs.
 - Domaine de gradient de vitesse (ou de contraintes de cisaillements) dans lesquelles la mesure doit être effectuée en générale, les mesures aux très faibles contraintes ne peuvent être effectuées qu'avec des appareils rotatifs.
 - Précision requise : il s'agit là d'un paramètre qui n'est pas facile de saisir objectivement. En effet, toutes les mesures doivent être corrigées de diverses manières, et la valeur de ces corrections est souvent plus importante que celle des erreurs apparentes brutes. En ce qui concerne cette dernière, ce sont les appareils de type capillaire qui sont les plus précis.

II.2 Mesure de la viscosité

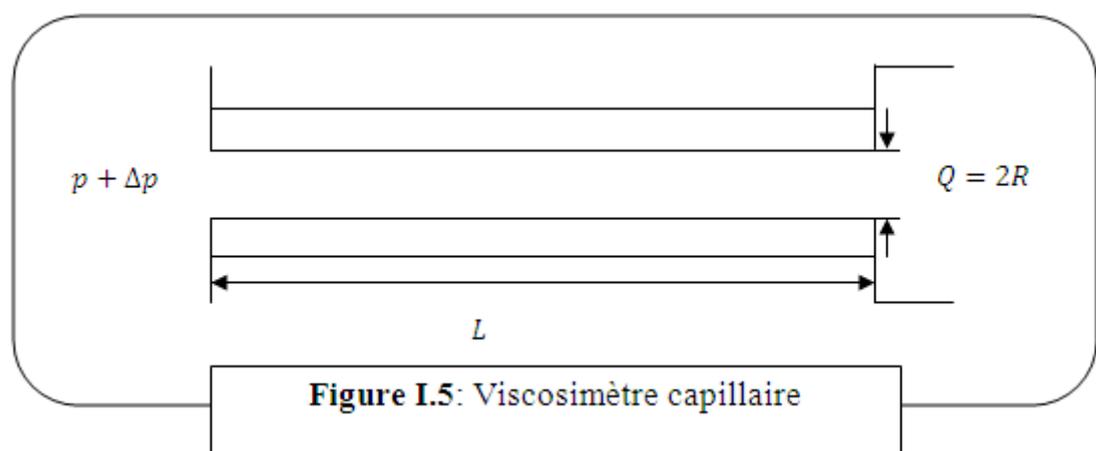
La mesure de la viscosité se fait avec deux catégories d'appareils :

Les viscosimètres absolus, fondés sur la définition de la viscosité dynamique ou sur les conséquences de cette définition (loi d'écoulement dans un tube capillaire, chute d'une bille dans un liquide) et les viscosimètres empiriques, d'un emploi plus simple, dans lesquelles on compare les temps d'écoulement dans un appareil de caractéristiques données. Divers d'autres appareils sont également utilisés mais moins fréquemment ; en outre, il n'est pas toujours évident qu'ils mesurent la viscosité de cisaillement proprement dite [2].

a) *Viscosimètre capillaire*

- **Description et équation de frottement**

Un *tube capillaire* (de 1/10 mm à quelques millimètres de diamètres) placé à la sortie d'un réservoir contenant le fluide à mesurer (Figure I.5). Ce fluide s'écoule à travers le capillaire sous l'action d'une différence de pression p qui peut être due à la seule hauteur hydrostatique du fluide ou à une source de pression auxiliaire (piston, gaz comprimé), ou encore, aux deux, on mesure le débit Q du fluide et la différence de pression p .



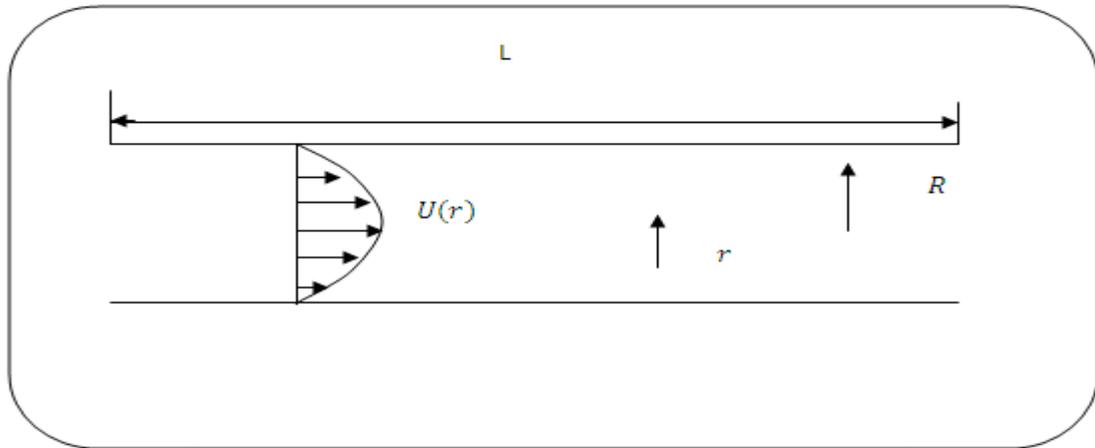


Figure I.6 : Profil des vitesses d'écoulement dans un capillaire

Une caractéristique essentielle de l'écoulement dans un capillaire est que, dans une section droite, la vitesse et le gradient de vitesse dépendent de la distance à l'axe (Figure I.6). Pour un fluide non newtonien, la viscosité apparente η_a est différente d'un point à l'autre de l'écoulement. Aussi, il convient de calculer cette viscosité dans les conditions d'écoulement à la paroi du capillaire :

$$\eta_a = \tau_p / \dot{\gamma}_p \quad (7)$$

Avec τ_p et $\dot{\gamma}_p$ respectivement, contrainte de cisaillement et gradient de vitesse à la paroi ;

Quelque soit le fluide, le débit volumique s'écrit :

$$Q = 2\pi \int_0^R U(r) dr \quad (8)$$

Avec

$$\dot{\gamma}_r = \frac{dU(r)}{dr} ; \tau_r = \frac{r}{R} \tau_p ; \tau_p = pR/2L$$

Dans le cas d'un fluide newtonien, la répartition de la vitesse à travers la section circulaire a une forme parabolique telle que :

$$U(r) = U_0 \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \quad (9)$$

Introduction Générale

Avec U_0 : vitesse maximale sur l'axe du capillaire ;

En intégrant la relation (8), on obtient :

$$Q_N = \pi U_0 R^2 / 2 \quad (10)$$

Et

$$\dot{\gamma}_{p,N} = \frac{-4Q}{\pi R^3} \quad (11)$$

L'indice N caractérise l'état newtonien ;

La vitesse moyenne de l'écoulement qui d'après la loi de continuité est $U_m = \text{débit}/\text{section}$, on peut vérifier aussi que $U_0 = 2U_m$;

D'où, en reportant la valeur de $\dot{\gamma}_{p,N}$, dans la relation (7), on retrouve la viscosité :

$$\eta_N = \frac{\pi \cdot pR}{8LQ} \quad (12)$$

L'équation (12) représente la formule de Poiseuille, valable uniquement pour un fluide newtonien.

Pour un fluide non newtonien, le profil de vitesse dépend du caractère non newtonien, la procédure de calcul, plus compliquée, est due à Rabinowitch et n'est valable que pour les corps sans mémoire [2].

L'intégration par partie de l'équation (8) donne :

$$Q = -\pi \int_0^R \dot{\gamma}_r r^2 dr \quad (13)$$

Soit, après le changement de variable de $\tau = \tau_r$, on retrouve l'équation de Rabinowitch :

$$\frac{4Q}{\pi R^3} = -\frac{4}{\tau_p^3} \int_0^R \dot{\gamma}_r \tau_r^2 d\tau_r \quad (14)$$

Pour un fluide newtonien $\tau = \eta \dot{\gamma}$ avec la viscosité η constante. L'équation (14) devient :

$$\frac{Q}{\pi R^3} = \frac{1}{\tau_p^3} \int_0^{\tau_p} \tau^3 d\tau \quad (15)$$

D'où :

$$\frac{Q}{\pi R^3} = \frac{\tau_p}{4\eta} \quad (16)$$

En remplaçant τ_p par son expression (équation 16) on obtient l'équation de Hagen Poiseuille :

$$Q = \frac{\pi D^4}{128\eta} \frac{P}{L} \quad (17)$$

- **Avantages et inconvénients**

Avantages

- **Équipement peu contenu et facile à mettre en œuvre.**
- **Très bonne précision apparente.**
- **Equations fondamentales et corrections bien établies.**

Inconvénients

- **Absence d'un gradient constant dans l'instrument, obligeant à faire appel, pour les matériaux non newtoniens, à un calcul relativement sophistiqué et, par conséquent ; un peu suspect aux yeux de l'expérimentateur.**
- **Domaine de gradient de vitesse, ou de contrainte de cisaillement, relativement réduit pour un même instrument (à fin de rester dans un domaine raisonnablement mesurable de débit, et par loi de temps d'écoulement) ;**
- **Difficulté d'atteindre les valeurs faibles de la contrainte :**

$$\tau_p/Q = 4\eta/\pi R^3 \quad (18)$$

qui est constante pour un fluide et un viscosimètre donné ;

- Nombreuses corrections (mais les autres viscosimètres en sont sensiblement autant, souvent moins bien définis) ;
- Quantité de fluide à mettre en œuvre (au moins quelque millilitre).



b) Viscosimètres à cylindre coaxiaux

- Généralité

Un écoulement de Couette est réalisé en cisillant un fluide entre deux cylindres coaxiaux dont l'un des deux est animé d'un mouvement rotatif et le liquide dans l'entrefer transmet un couple de torsion à l'autre cylindre. Les appareils basés sur ce principe sont appelés viscosimètres rotatifs (Figure I.7).

On peut imaginer que le système à cylindres coaxiaux résulte de la courbure des deux plaques planes et parallèles de Newton où l'une d'elles est fixe et l'autre se déplace avec une vitesse U [2].

Figure I.7 : Viscosimètre à cylindre coaxiaux [3]

Hypothèses

- L'écoulement entre les deux cylindres doit être laminaire.
- L'écoulement est bidimensionnel : pas d'effet d'extrémité ni de force normale.
- L'écoulement est dans un état stationnaire : $(\delta/\delta t) = 0$.
- Le liquide est incompressible : $\rho = cst$.

Introduction Générale

- L'écoulement est isotherme : (*Température = cst*).
- Il n'y a pas de glissement à la paroi : $U(R) = 0, U(r) = U$.

- Contrainte imposée et vitesse imposée

Contrainte imposée

Le cylindre intérieur ou extérieur est soumis à une contrainte de cisaillement ou un couple défini, l'autre cylindre est maintenu immobile. On mesure le gradient de la vitesse qui en résulte.

Vitesse imposée

Le cylindre intérieur tourne avec une vitesse définie, l'autre cylindre est maintenu immobile. On mesure le couple ou la contrainte de cisaillement qui en résulte. C'est le dispositif le plus courant et se trouve en deux versions.

- Equations

Dispositif à cylindres coaxiaux

Lorsqu'une couche liquide est en mouvement permanent la force résistante due à la viscosité s'oppose à la force motrice due au couple C . A l'équilibre on a :

$$C/r + S \cdot dU/dr = 0$$
$$C/r + 2\pi rL \cdot dU/dr = 0$$

Le gradient de la vitesse relative suivant le rayon r , en négligeant les termes de deuxième ordre est :

$$\dot{\gamma} = \frac{dU}{dr} = r \frac{d\omega}{dr} \quad (19)$$

La contrainte de cisaillement dans le liquide est :

$$\tau = \eta r \frac{d\omega}{dr} \quad (20)$$

Le couple à la distance r :

$$C(r) = 2\pi r L \tau r = 2\pi r^3 L \eta \frac{d\omega}{dr} \quad (21)$$

Le couple est le même pour tout rayon r , car lui aussi doit être équilibré, en régime permanent, le couple moteur C . Donc :

$$C(r) = C$$

Viscosité

L'intégration de l'équation (21), avec la viscosité aux conditions aux limites pour $r=R_1$, $\omega=0$, et $r=R_2$, $\omega=\Omega$, donne la viscosité :

$$\eta = \frac{C}{4\pi L \Omega} \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_2^2 R_1^2} \quad (22)$$

R_1 : rayon du cylindre intérieur ;

R_2 : rayon du cylindre extérieur ;

C : couple moteur ;

L : longueur du cylindre ;

$\Omega = 2\pi n / 60$: vitesse angulaire du cylindre intérieur ;

Gradient de vitesse du cylindre intérieur (rotor)

$$\dot{\gamma} = \frac{dU}{dr} = \left(\frac{\pi}{15} \frac{R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \right) n \quad (23)$$

Avec : n : tr / min ;

Il est très utile d'introduire le rapport des rayons :

$$\alpha = R_2 / R_1$$

Conduisant à :

$$\dot{\gamma} = \left(\frac{\pi \alpha^2}{15 \alpha^2 - 1} \right) n = Mn \quad (24)$$

Avec

$$M = \frac{\pi R_2^2}{15 R_2^2 - R_1^2} = \frac{\pi \alpha^2}{15 \alpha^2 - 1} \quad (25)$$

La constante M est un facteur géométrique de l'appareil ou constante du gradient de vitesse, dépend uniquement des rayons du rotor et du godet. L'interstice de l'espace annulaire est supposé très petit et l'écoulement laminaire. Le gradient de vitesse à la coordonnée radiale r , $R_2 < r < R_1$ est donnée par :

$$\dot{\gamma}_r = \frac{R_1^2}{r^2} \left(\frac{\pi \alpha^2}{15 \alpha^2 - 1} \right) n = \frac{R_1^2}{r^2} Mn \quad (26)$$

Contrainte de cisaillement

La contrainte de cisaillement à la distance R_1 est une fonction linéaire du couple :

$$\tau_r = \frac{F}{S} = \frac{C}{2\pi R_1^2 L} = fC \quad (27)$$

Avec

$$f = \frac{1}{2\pi R_1^2 L}$$

À une distance radiale quelconque r :

$$\tau_r = \frac{F}{S} = \frac{C}{2\pi r^2 L} \quad (28)$$

La constante f tient compte des caractéristiques propres liées à la géométrie du corps tournant.

- Avantages et inconvénients

Avantages

- **Le viscosimètre de Couette opère à gradient pratiquement constant, rendant donc faible les corrections pour les liquides newtoniens.**
- **Il permet d'atteindre facilement des faibles contraintes de cisaillement.**
- **De faibles quantités des fluides (inférieures ou égal a 1 ml) peuvent être mesurées.**

Inconvénients

- Il est, en général, moins précis que le viscosimètre capillaire.
- Il ne peut être utilisé au gradient élevés; en effet, des effets thermiques rapidement importants, font apparaître des régimes d'instabilités comme les tourbillons de Taylor au nombre de Reynolds critique Re_c .

$$Re_c = 41,3 \sqrt{R/e}$$

Pour un viscosimètre à cylindre mobile intérieur, et pour un fluide newtonien ; l'utilisation plus délicate d'un cylindre extérieur tournant permet de rester plus longtemps en régime laminaire, mais rend la thermostatisation difficile et augmente par conséquent les incertitudes dues à la température.

- Il faut noter que le viscosimètre à cylindre coaxiaux est moins facile à utiliser sous atmosphère contrôlée, et que des phénomènes superficiels (oxydation, formation de membranes ...etc.) peuvent affecter la surface libre relativement importante offerte par le fluide,
- Enfin, un tel viscosimètre, comme tous les viscosimètres rotatif, est assez délicat à mettre en œuvre.

c) Autres méthodes

De très nombreuses autres méthodes sont utilisées pour mesurer la viscosité de cisaillement. Citons parmi les viscosimètres rotatifs, viscosimètres à sphère ou hémisphère, concentriques et le viscosimètre cylindro-conique. Il existe également des viscosimètres où l'on mesure la force de frottement sur une plaque plane en translation, des appareils à ultrason ou c'est l'atténuation d'une vibration haute fréquences de faible amplitude qui est déterminée.

Ces méthodes sont cependant plus limitées, moins précises ou moins répandues que celles qui viennent d'être présentées. Certaines ont pourtant un intérêt pour les mesures en continue (par exemple viscosimètre à ultrason).

III. HUILE DE MOTEUR

III.1 Définition d'huile

L'huile est un terme générique désignant des matières grasses qui sont à l'état liquide à température ambiante et qui ne se mélangent pas à l'eau car, en effet, l'huile est le liquide le plus léger qui soit.

L'huile utilisée dans la voiture contient deux ingrédients principaux : l'huile de base et les additifs. L'huile de base est d'origine minérale, de synthèse et de semi-synthèse, adaptées à une plage spécifique (monograde) ou une large plage (multigrade) de température.

- Les huiles minérales sont obtenues par raffinage de pétrole brut. Elles sont peu utilisées sauf sur les modèles anciens.
- Les huiles synthèses sont des huiles dont la structure moléculaire a été modifiée par réaction chimique de manière à obtenir des caractéristiques précises comme une très grande fluidité à froid. L'utilisation de ces huiles entraîne une moindre consommation de carburant et un espacement plus important des vidanges. Dédiées aux moteurs performants et à régime élevés, leurs prix sont les plus hauts.

- Les huiles de semi-synthèse sont un mélange dans des proportions variables d'huile minérale et d'huile synthèse. Ce sont les plus courantes

Quel que soit le type, elles contiennent 10 à 20% d'additifs : anti-usure, antioxydant, anti-mousse, détergent...

Monograde : Les mesures sont faites pour les viscosités à 100 °C en mm²/s ou en centistokes (cSt, unité non SI). Leur viscosité diminue avec la température suivant une courbe logarithmique. Ces huiles sont adaptées aux moteurs qui chauffent peu (tondeuses à gazon, voitures anciennes).

Multigrade : Pour limiter les différences de fluidité à froid et à chaud, on ajoute des additifs à base de polymères, ce qui permet d'utiliser l'huile toute l'année. Leur courbe est toujours logarithmique, mais moins accentuée.

Propriété des huiles

a) Viscosité

C'est l'une des propriétés les plus importantes, parce qu'elle caractérise l'écoulement ou la fluidité.

b) Le point d'écoulement

C'est la plus basse température à laquelle l'huile coule encore lorsqu'elle est refroidie, ce point d'écoulement s'exprime en °C.

c) La densité des huiles

En moyenne, elle se situe entre 0.85 et 0.35.

III.2 Viscosité des huiles

- La viscosité est caractérisée par la résistance d'huile à l'écoulement. On mesure habituellement les viscosités aux températures 40 et 100°C. L'huile forme un film protecteur et évite ainsi le contact direct des pièces métalliques les unes avec les autres.

Introduction Générale

- Toutes les huiles ont des variations de viscosité dès lors qu'elles subsistent des écarts de température. Quand la température augmente la viscosité diminue et inversement. L'indice de la viscosité **IV** (Figure I.8 et I.9) traduit l'importance de la variation de viscosité en fonction de la température [4].

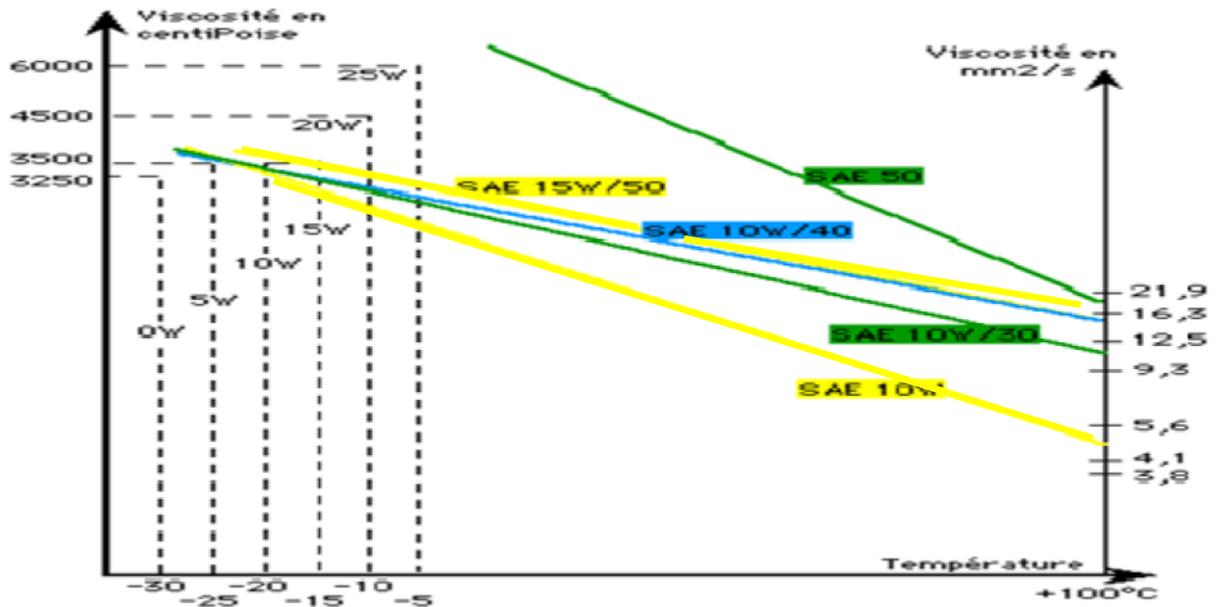


Figure I.8 : Variation de la viscosité en fonction de la température des huiles monograde et multigrade

A froid, elle doit être suffisamment fluide pour circuler rapidement dans le moteur et en assurer une lubrification parfaite dès le démarrage.

A chaud, si cette huile est trop fluide, le film qu'elle constitue peut être rompu : il faut donc qu'elle soit suffisamment visqueuse pour adhérer à toutes les parois.

- Les huiles sont numérotées sous la forme **xWy** selon la norme **SAE** (Society of Automotive Engineers) :

- **X** : représente la viscosité à froid (viscosité dynamique), plus ce chiffre est petit et plus l'huile aidera le moteur pour les démarrages à froid.
- **W** : signifie Winter.

- **Y** : donne la viscosité à chaud (viscosité cinématique), plus il est grand et plus le moteur est protégé à haute température.

Indice	Viscosité cinématique à 100-150°C (cSt)
20	5.6- 9.3
30	9.3-12.5
40	12.5-16.3
50	16.3-21.9
60	21.9-26.1

- L'indice « chaud » ou été -

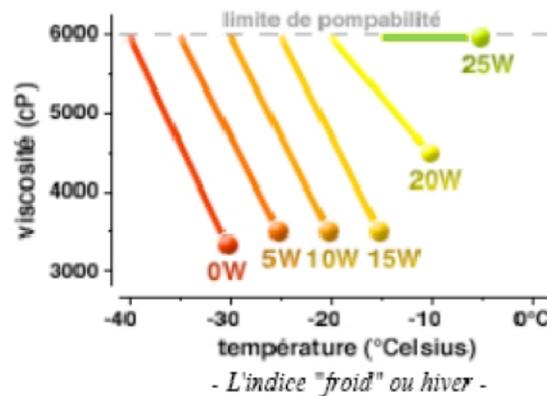


Figure I.9 : Les indices x et y à l'été et hiver

III.3 Additifs pour huiles de graissage

Les additifs peuvent modifier les propriétés physiques de l'huile lubrifiante de base, en particulier le point de congélation et l'indice de viscosité. Ils peuvent aussi avoir une action chimique en inhibant l'oxydation et la corrosion, d'autres sont destinés aux hautes pressions. Certains additifs ont plusieurs activités. Ainsi, certaines substances abaissent le point de fusion et en même temps améliorent le comportement viscosité-température. La condition principale pour le rendement complet de l'additif reste la présence de base de haute valeur préparée par les meilleures méthodes de fabrication. Ce peut être l'huile de graissage ou minérale ou synthétique. Le plus souvent, on ajoutera à cette huile plusieurs additifs à action spécifiquement différente pour atteindre la qualité exigée par la clientèle, mais on veillera à ce que ces divers additifs ne se gênent pas dans leurs activités réciproques. Les additifs qui sont utilisés en très petites c'est-à-dire à moins de 1%, portent en anglais le nom de « dopes », ceux dont les quantités de 1 à 20% souvent celui de « additives » [5].

Produits anticorrosifs

La protection des objets métalliques contre la rouille dépend de la présence d'un mince film d'huile sur la surface du métal, qui empêche l'accès direct de l'air au métal en présence d'eau la tension interface entre l'eau et l'huile et la tension superficielle d'équilibre de l'huile avec l'anticorrosif déterminent les conditions de l'action du produit anticorrosif [5].

Les additifs de viscosité

Ce sont des polymères, de type méthacrylates également ou des copolymères d'oléfines ou de dioléfines. Ces dernières devant être hydrogénées après polymérisation. Ils permettent d'accroître la viscosité des bases fluides sélectivement : le plus possible à haute température et le moins possible à basse température de façon à augmenter leur indice de viscosité et produire des huiles.

Dans le cas des esters d'indice de viscosité naturel est élevée. Ces additifs sont aussi nécessaires pour augmenter non pas l'indice de viscosité mais surtout la viscosité à haut température qui peut être trop faible pour améliorer la sécurité d'utilisation. Leur efficacité épaississante diminue au cours de l'utilisation sous l'influence des contraintes de cisaillement.

Mais aussi forte que soit cette diminution, notamment dans les paliers, entre le piston et la chemise. Et surtout dans les boîtes de vitesse lorsqu'elles sont lubrifiées par l'huile du carter. Il subsiste une partie de ce pouvoir épaississant qui apporte une sécurité de fonctionnement et éviter les chutes momentanées de pression d'huile. Ils confèrent aussi à l'huile une viscoélasticité qui peut compenser une partie des pertes d'efficacité dues aux contraintes de cisaillement. Il faut remarquer que les propriétés varient suivant la nature des polymères : les poly méthacrylates améliorent d'avantages l'indice de viscosité des bases et sont plus stables à l'oxydation que les copolymères hydrocarbonés, mais les premiers sont moins épaississants que les

Introduction Générale

seconds : il est donc nécessaire d'en ajouter un pourcentage plus élevé. Ce qui se traduit par un cout plus élevé. Les pourcentages en polymères plus ou moins dilués tels qu'ils sont présentés commercialement peuvent atteindre 10 à 15% [4].

L'additif de viscosité est choisit en fonction de l'importance que l'on accorde a ses propriétés, par exemple :

- ❖ Stabilité au cisaillement.
- ❖ Stabilité thermique à l'air.
- ❖ Pouvoir épaississant à basse et haute température.
- ❖ Effet dispersant et anti-congelant.
- ❖ Coût.

Le tableau I.1 récapitule les caractéristiques essentielles des additifs des huiles moteurs.

Introduction Générale

Caractéristique	Signification
Détergence	Aptitude du fluide à nettoyer les surfaces et à maintenir en suspension les particules
Pouvoir de désaération	Aptitude de l'huile à permettre aux bulles d'air à remonter à la surface crever.
Pouvoir lubrifiant	Aptitude de l'huile à abaisser l'effet de "frottement fluide" et assurer le maintien du film d'huile entre les surfaces.
Anti-oxydation	Aptitude à protéger contre l'oxydation.
Pouvoir anti-usure	Pouvoir à limiter l'usure des pièces métalliques en contact.
Pouvoir anti-mousse	Aptitude à éviter la formation de mousse provenant de la désaération.
Point éclair	Température à laquelle l'huile s'enflamme spontanément.
Point d'écoulement	Température en dessous de laquelle l'huile ne s'écoule plus.
Résistance thermique	Aptitude de l'huile à conserver ses qualités avec des variations importantes ou fréquentes de températures.
Point de congélation	Température à laquelle une pièce métallique ne coule plus dans l'huile.
Compatibilité avec les métaux	Aptitude de l'huile à ne pas attaquer certaines parties métalliques.
Isolation électrique	Aptitude de l'huile à ne pas conduire l'électricité.
Faible compressibilité	Aptitude à garder sa masse volumique sous fortes variations de pression.

Non toxicité	Aptitude à ne pas polluer et/ou à ne pas être toxique.
Indice d'acidité	Indique l'acidité de l'huile.

Tableau I.1 : Caractéristiques des huiles obtenues par additif

III.4 CLASSIFICATION API (AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE) [4]

La désignation pour ces huiles du service API permet de connaître les performances de l'huile ainsi désignée.

Pour les huiles moteur, le service API s'indique avec deux lettres, la première indique le type de carburant utilisé dans le moteur (S = essence et C = Diesel), la deuxième indique la performance, plus la lettre est élevée dans l'alphabet et plus la performance est importante. Une même huile peut avoir deux services différents pour deux carburants possibles.

CLASSIFICATION API : S... : moteurs à essence

A à J : SJ correspond à la qualité maximale actuellement pour les moteurs à essences.

CLASSIFICATION API : C... : moteurs Diesel

C à F : CF correspond à la qualité maximale actuellement pour les moteurs diesel.

III.5 Le rôle d'huile de moteur

L'huile assure 5 fonctions essentielles contribuant au bon fonctionnement de la mécanique.

- 1) La lubrification des pièces en mouvement.
- 2) Le refroidissement du moteur en répartissant la chaleur de celui-ci, la limitation de la température de certains organes (pistons par jet d'huile à l'intérieur des jupes).
- 3) La lutte contre la corrosion interne du moteur, surtout pour les diésels (rouille).

- 4) Le nettoyage des circuits lubrifiants, des cartes, des pièces en mobiles (détergent).
- 5) L'amélioration de l'étanchéité entre pistons et cylindres (compression), limitation des cognements, rattrapage du jeu d'usure des pièces, et sur certains moteurs modernes, rattrapage hydraulique du jeu des soupapes.

Toutes les huiles sont additionnées à différents produits : améliorant de viscosité, anti-souffre, détergents, dispersant, anti-mousse, anti-usure, antioxydant, antirouille, etc....

Le rôle de ces produits est bien défini. Par exemple, les rôles du **détergent** et celui du **dispersant** sont de garder le moteur propre en empêchant les impuretés de se fixer sur les parois ou de se regrouper entre elles.

Le rôle de l'anti-souffre sera d'éviter la formation d'acide sulfurique à partir du soufre contenu dans le gasoil.

C'est pourquoi plus une huile sera additionnée, plus elle sera chère.

III.6 Propriétés et classification des huiles lubrifiantes

Les caractéristiques les plus importantes des huiles lubrifiantes sont leur viscosité et leur dépendance de la température et de la pression. Il est désirable d'avoir le point de congélation bas pour le bon comportement des huiles à froid.

Le coefficient de frottement d'une surface lubrifiée est donné par :

$$\mu = K \sqrt{\frac{\eta U}{P}} \quad (29)$$

Où K est une constante dépendant de la forme de la fente lubrifiée ;

η La viscosité ;

U la vitesse périphérique ;

P la pression spécifique sur la surface en Kg/cm² ;

Abstraction faite de la constante K , l'indice de frottement μ dépend, à pression constante superficielle, de la viscosité η . La viscosité peut être d'autant plus faible que la vitesse périphérique est plus grande. Dans les paliers à très grande vitesse de l'arbre, il faut utiliser les huiles fluides, si l'on admet au contraire que la vitesse périphérique est constante, la viscosité doit être d'autant plus grande que la pression spécifique des surfaces est élevée. Malheureusement, dans la pratique, U et P ne sont pas des valeurs constantes mais dépendent des conditions en changement perpétuel de la machine, il faut donc choisir la viscosité de telle façon qu'elle soit suffisante pour toutes les conditions de fonctionnement. A ceci, s'ajoute que la viscosité même est modifiée par les conditions d'exploitation. La pression élevée et les vitesses élevées augmentent la température dans la fente de lubrification, mais à température élevée, la viscosité diminue également. Si donc une huile de graissage doit donner une sécurité suffisante à toute la condition de fonctionnement de la machine, il faut que la viscosité dépende aussi de la température [5].

CHAPITRE II : Expérimentation

VISCOSIMETRE UTILISÉ: VISCO BASIC PLUS

Le viscosimètre Visco Basic Plus, représenté sur la figure-1-, affiche automatiquement la valeur de la viscosité du liquide considéré avec une gamme de 18 vitesses allant de 0.3 à 100 tr/min. Un appareil fonctionnel comprend la tête de mesure, le support et les dispositifs de mesures [6].

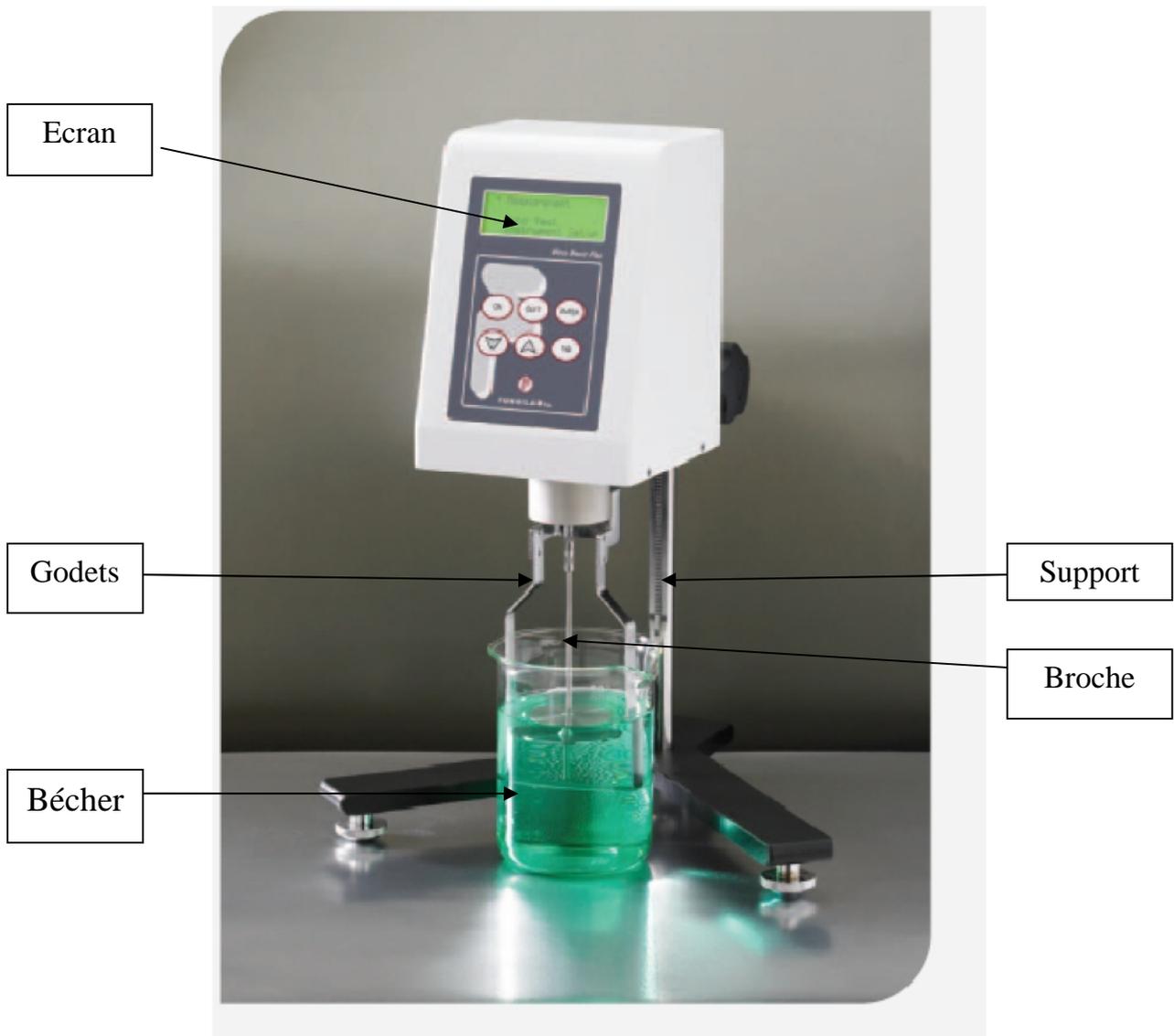
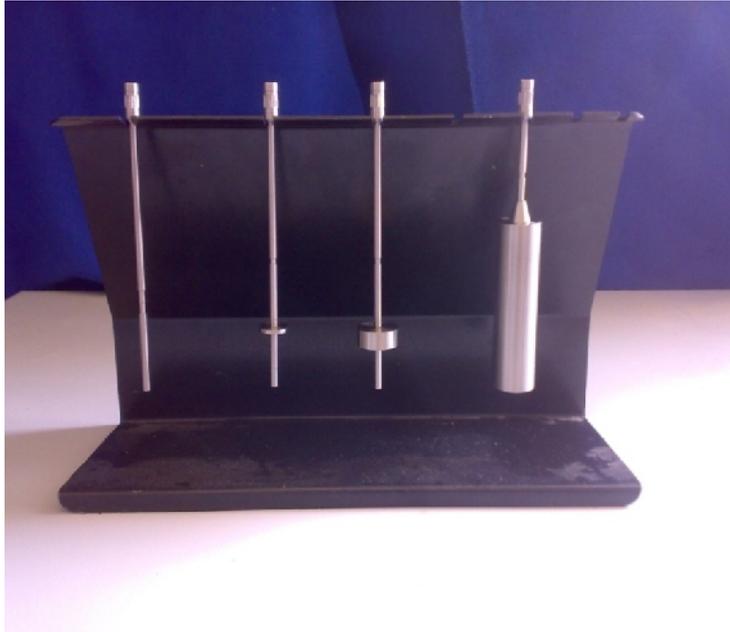


Figure II. 1 : Viscosimètre rotatif VISCO-BASIC PLUS [3]



FigureII. 2 : SPINDEL (broches) [3]

Les dispositifs de mesures, nommés L1, L2, L3, L4, sont des rotors (broches) entraînés directement par le moteur du viscosimètre. Le liquide, placé dans un bécher, subit une déformation entre le rotor et le godet jouant le rôle de cylindre extérieur. Chaque dispositif est utilisé pour une gamme de viscosité pour différentes vitesses comme le montre le tableau -1- : [6]

Introduction Générale

Vitesse(tr/min)	L1	L2	L3	L4
0.3	20000	100000	400000	2000000
0.5	12000	60000	240000	1200000
0.6	10000	50000	200000	1000000
1	6000	30000	120000	600000
1.5	4000	20000	80000	400000
2	3000	15000	60000	300000
2.5	2400	12000	48000	240000
3	2000	10000	40000	200000
4	1500	7500	30000	150000
5	1200	6000	24000	120000
6	1000	5000	20000	100000
10	600	3000	12000	60000
12	500	2500	10000	50000
20	300	1500	6000	30000
30	200	1000	4000	20000
50	120	600	2400	12000
60	100	500	2000	10000
100	60	300	1200	6000

Tableau II. 1 : Valeur maximale de la viscosité pour différentes vitesses et pour chaque dispositif L1, L2, L3, L4

Introduction Générale

Pour une étude de la viscosité en fonction de la température, un bain thermostaté est utilisé.

Dans cet équipement les valeurs des viscosités avec les % affichés inférieur à 15% ne sont pas prises en considération. Le % de la pleine échelle signifie la valeur du couple du ressort par rapport à la limite supérieure [6].

Le taux de cisaillement est donné par la relation (24 .I) :

$$\dot{\gamma} = \left(\frac{\pi}{15} \frac{\alpha^2}{\alpha^2 - 1} \right) n = M n$$

Le coefficient M est déterminé par la relation (I.25)

$$M = \frac{\pi}{15} \frac{R_2^2}{R_2 - R_1^2} = \frac{\pi}{15} \frac{\alpha^2}{\alpha^2 - 1}$$

Les rayons intérieurs R_1 des différents types de rotor (L_1 , L_2 , L_3 et L_4) et le rayon extérieur R_2 du godet sont donnés dans le tableau -2- :

Rotor	Rayon intérieur R_1 (mm)	Rayon extérieur R_2 (mm)	Couple (M)
L_1	1.65	17.5	0.2113
L_2	6.25	17.5	0.2401
L_3	9.6	17.5	0.3051
L_4	9.9	17.5	0.3080

Tableau II .2 : Valeur de M pour différents dispositifs

RHEOMETRE: HAAKE ROTOVISCO RV 100

L'appareil compact RV 100 est équipé des structures nécessaires à l'asservissement du mécanisme de rotation et à l'exploitation des résultats, structures auxquelles sont reliés aussi bien le dispositif de commande de la vitesse de rotation et le programmeur que l'enregistreur x-y-t [7].

Pour l'enregistrement automatique des courbes d'écoulement, le programmeur universel permet la sélection de programmes à vitesses de rotation variables avec des temps d'arrêt et la répétition automatique des cycles [7].



Figure II. 3 : Tête de mesure du rhéomètre HAAKE RV 100 [3]



Figure II.2 : Enregistreur [3]

Il se compose d'un :

Appareil de base : appareil de haute gamme avec programmeur et enregistreur x-y-t incorporés, a un très large domaine d'application.

Programmeur de vitesse : présélection de plusieurs vitesses permettant l'enregistrement automatique des courbes d'écoulement.

Dispositifs de mesure : plusieurs systèmes à cylindres coaxiaux peuvent résoudre les problèmes particuliers de mesure.

Thermostatisation : les thermostats de circulation HAAKE assurent la thermostatisation précise jusqu'à +150°C [7].

Enregistreur/ calculateur

a) *Caractéristiques techniques* [7]

Nombre de tours : 0- 200 min⁻¹

Couple de torsion : 0- 0,1 Ncm

Limite du domaine de viscosité : 0.1 – 10⁶ mPa.s

Gradient de vitesse : 6.10⁻²-10³ s⁻¹



b) Dispositif de mesure [7]

NV :

Dispositif principalement utilisé pour la mesure de faibles viscosités dans une zone de gradients de vitesse moyens : huiles, solutions étendues, jus de fruits etc. Ce dispositif à deux fentes annulaires se compose d'un récipient à cylindre intérieur et d'un rotor en forme de cloche. Le récipient thermostatique est nécessaire pour le centrage du système et la mise en température de l'échantillon. Le cylindre intérieur peut être thermostaté.



Figure II.4: Système NV [3]

MV :

Dispositif principalement utilisé pour la mesure de viscosité moyennes dans une zone de gradients de vitesse moyens : huiles lourdes, peintures, résines etc.

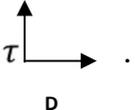
Figure II.5 : Système MV [3]

SV :

Dispositif principalement utilisé pour la mesure de substances de viscosité élevée ou pâteuse dans des zones de gradients de vitesse moyens et faibles : graisses, crèmes.

Figure II.6 : Système SV [3]

c) Mode opératoire :

Pour tracer la courbe d'écoulement, on choisit le mode d'opérateur τ .

On règle $\tau\%$, $D\%$ et on programme T_1 , T_2 , T_3 , correspondant aux temps de fonctionnement de l'appareil.

On place le liquide à analyser dans le système de mesure et on attend jusqu'à la température programmée soit atteinte.

On règle le point Zéro.

On appuie sur la touche START pour enclencher le déroulement.

d) Exploitation des données : [7]

Dans la liste des facteurs de calcul (certificat d'essai), les facteurs A et M, pour la détermination du gradient de vitesse et la tension de cisaillement, sont respectivement 1.78 et 27 pour le système NV.



Gradient de vitesse D :

$$D = M \cdot D\% \cdot S_D \quad [s^{-1}]$$

M = « facteur du gradient de vitesse »

$D\%$ = « valeur présélectionnée du gradient de vitesse »

S_D = « valeur mesuré (axe-x) de l'enregistrement de la courbe d'écoulement »

Tension de cisaillement τ :

$$\tau = A \cdot \tau\% \cdot S_\tau \quad [\text{Pa}]$$

A = « facteur du gradient de vitesse »

$\tau\%$ = « valeur présélectionnée de la tension de cisaillement »

S_τ = « valeur mesurée (axe-y) de l'enregistrement de la courbe d'écoulement »

Viscosité η :

$$\eta = \frac{\tau}{D} \quad [\text{Pa.s}]$$

τ = « tension de cisaillement [Pa] »

D = « gradient de vitesse [s^{-1}] »

PRODUIT UTILISES:

Dans ce travail on se propose de caractériser rhéologiquement ou particulièrement déterminer la viscosité des huiles moteur de fabrication algérienne Chiffa et Naftilia

Les huiles analysées sont :

L'huile Chiffa: huile moteur SAE 40, API-CC

Introduction Générale

- ❖ Huile monograde.
- ❖ Pour moteur essence.

L'huile Naftilia : huile moteur SAE 40, API-SF

- ❖ Huile monograde.
- ❖ Pour moteur diesel.

L'huile Naftilia 10w40 :

- ❖ Huile multigrade.
- ❖ Pour moteur essence et diesel.

CHAPITRE III :

Résultats et Discussion

I. INTRODUCTION

Nous avons déterminé la viscosité des huiles moteur, Chiffa (monograde) et Naftilia (monograde et multigrade) par deux méthodes différentes. Dans la première, la viscosité est donnée automatiquement par le viscosimètre Visco-Basic Plus, la deuxième méthode enregistre une courbe contrainte-taux de cisaillement, appelée courbe d'écoulement, où la viscosité est la pente de cette courbe au taux de cisaillement donné. Nous avons mis en évidence l'effet du taux de cisaillement et de la

température sur la viscosité de l'huile considérée. A cet effet, la viscosité est déterminée pour différents taux de cisaillement et différentes températures.

II. ANALYSE PAR LE VISCOSIMETRE VISCO-BASIC PLUS

La viscosité est mesurée dans un intervalle du taux de cisaillement pris entre 3 et 35 s⁻¹ équivalent au domaine de vitesses du moteur allant de 0.3 à 100 tr/min avec un nombre de 18 vitesses comme l'indique le tableau II 1. La plage de températures prises en considération est entre 20 et 80°C.

II.1 Variation de la viscosité en fonction de taux de cisaillement

La dépendance de la viscosité en fonction du taux de cisaillement à différentes températures est relatée par les figures III 1-III 7 pour chaque huile moteur.

Pour les températures 20 et 30°C (figures III.1 et III.2), les trois huiles présentent en général une linéarité dans leur courbe de viscosité synonyme d'écoulement newtonien, néanmoins on remarque une légère décroissance de la viscosité en fonction du taux de cisaillement du fait de la faible échelle considérée. Pour ces deux températures, l'huile Naftilia monograde (essence) possède la plus grande viscosité suivie de Naftilia multigrade et de l'huile monograde Chiffa (diesel).

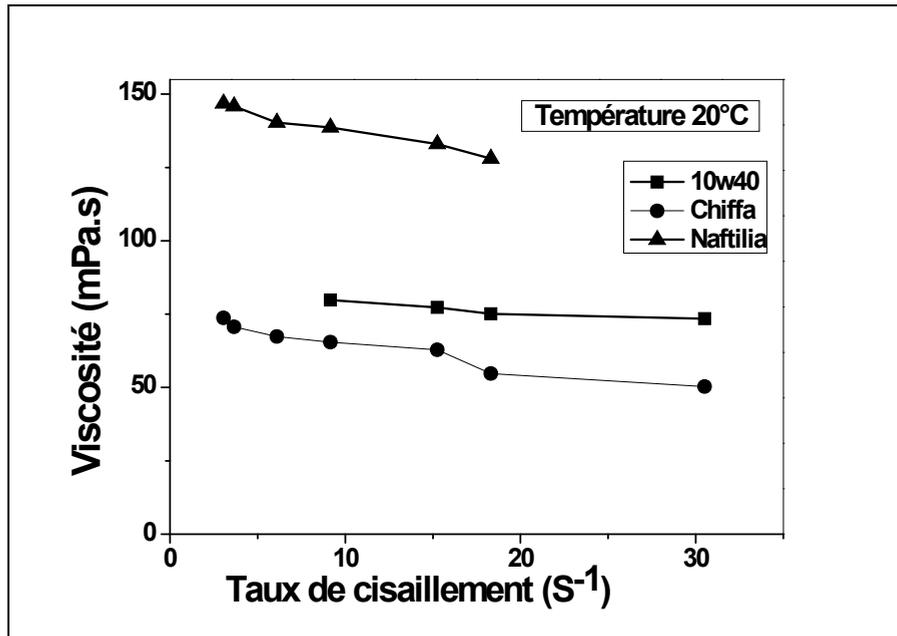


Figure III. 1 : Variation de la viscosité des huiles en fonction du taux de cisaillement pour la température T=20°C

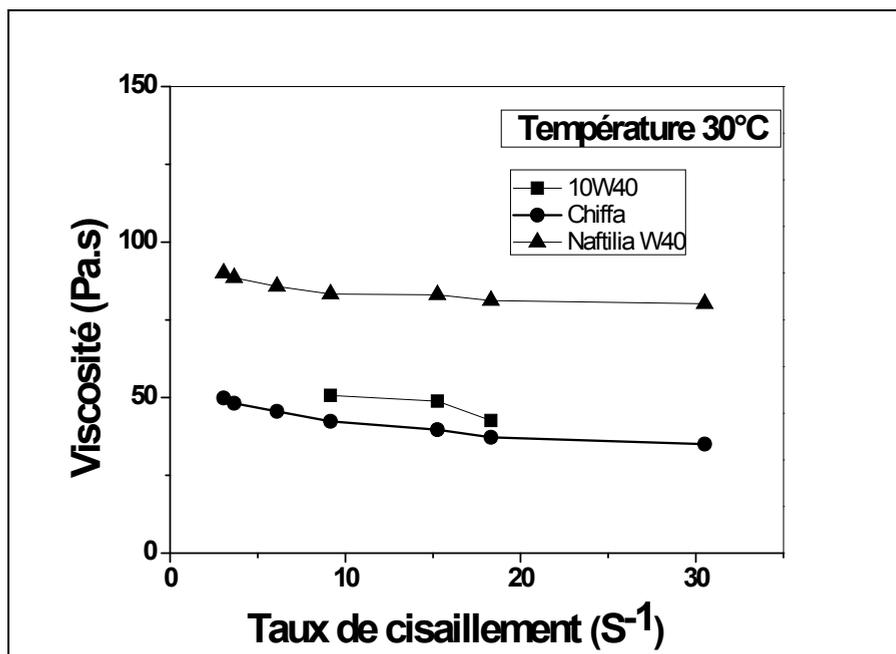


Figure III. 2 : Variation de la viscosité des huiles en fonction du taux de cisaillement pour la température T=30°C

Les figures III.3-III.7 montrent les viscosités des trois huiles aux températures 40, 50, 60, 70 et 80°C. Les courbes de viscosité présentent une meilleure linéarité pour ces températures. Le comportement newtonien est bien établi avec l'augmentation de la température. Jusqu'à 60°C la Naftilia SAE40 garde toujours la plus grande viscosité. Pour les températures 70 et 80°C les viscosités des trois huiles tendent vers une même valeur qui est de l'ordre de 20 mPa.s.

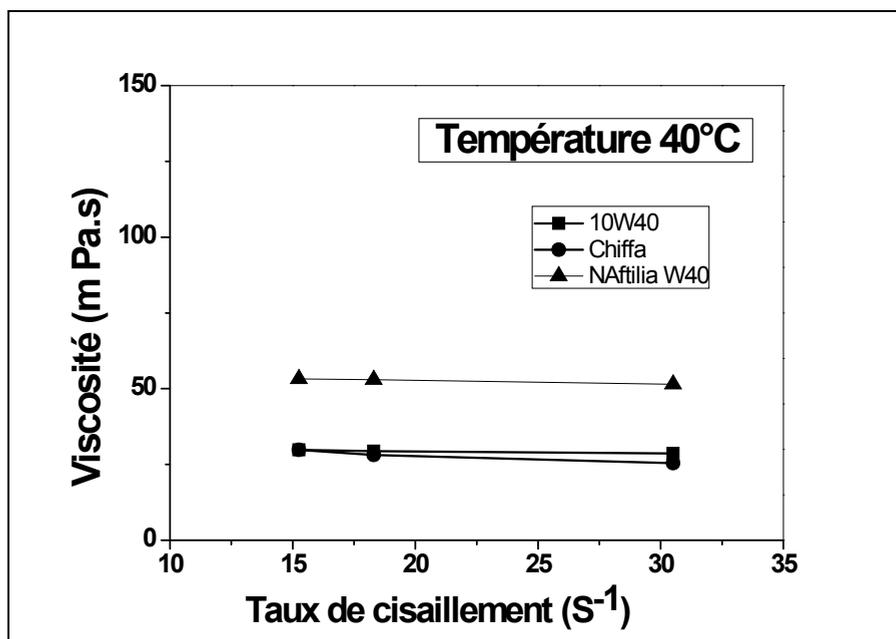


Figure III. 3 : Variation de la viscosité des huiles en fonction du taux de cisaillement pour T=40°C

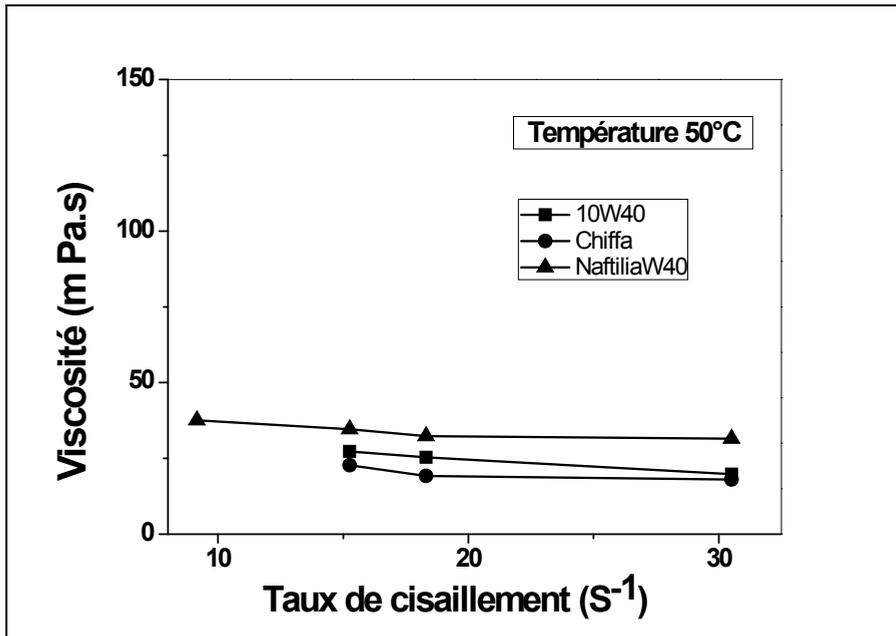


Figure III. 4: Variation de la viscosité des huiles en fonction du taux de cisaillement pour $T=50^{\circ}C$

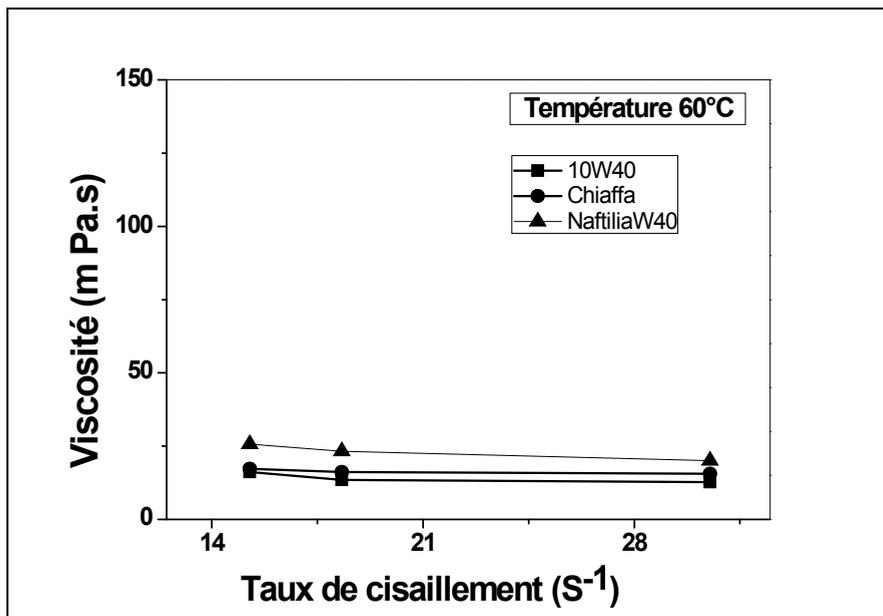


Figure III. 5: Variation de la viscosité des huiles en fonction du taux de cisaillement pour $T=60^{\circ}C$

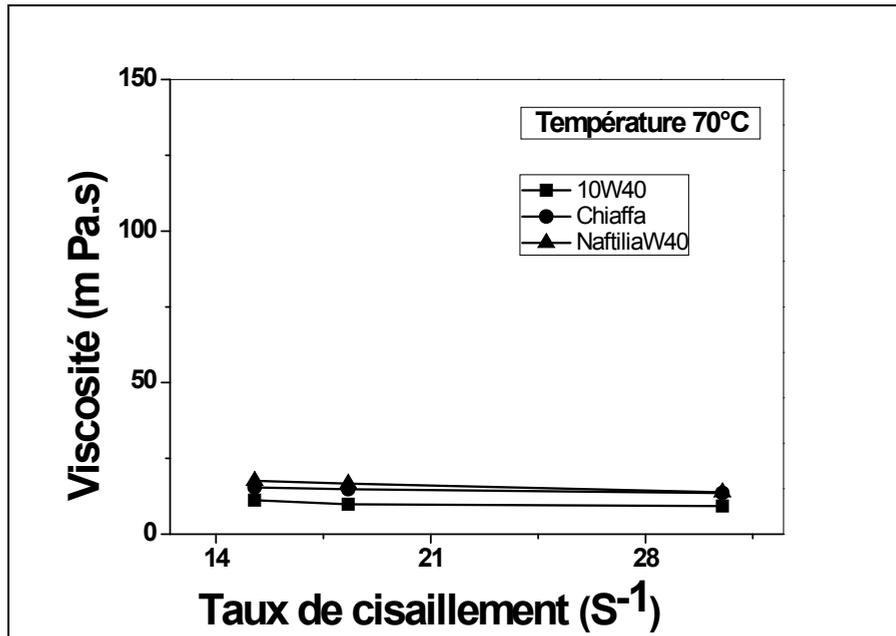


Figure III. 6: Variation de la viscosité des huiles en fonction du taux de cisaillement pour T=70°C

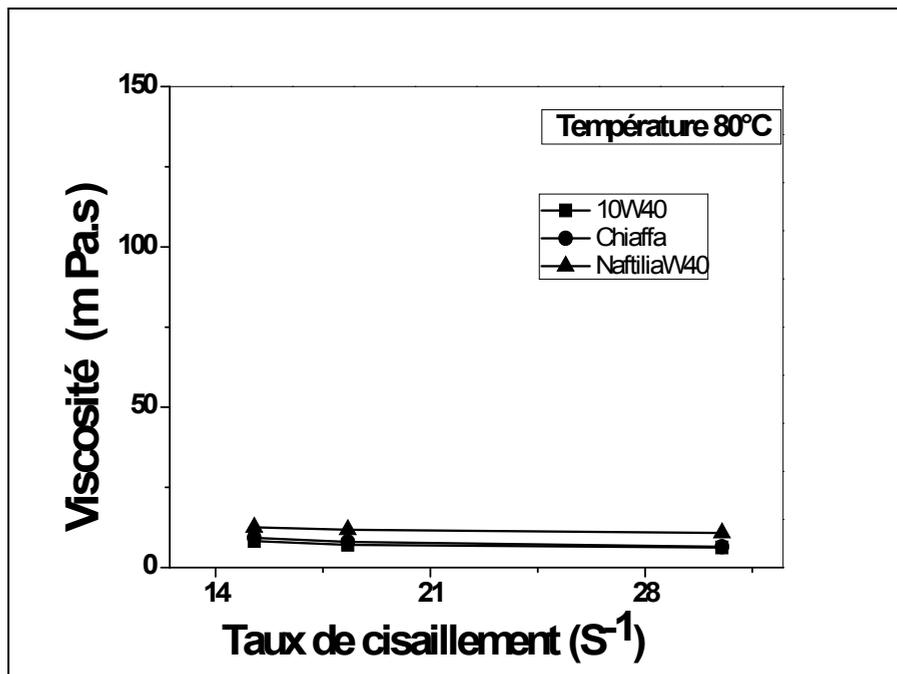


Figure III. 7: Variation de la viscosité des huiles en fonction du taux de cisaillement pour T=80°C

L'étude expérimentale des trois huiles moteur montre que la viscosité ne dépend pas du taux de cisaillement pour la même température indiquant ainsi un comportement newtonien de ces fluides.

II.2 Etude de la viscosité en fonction de la température

L'expérience menée sur les trois huiles nous donne les résultats expérimentaux suivants :

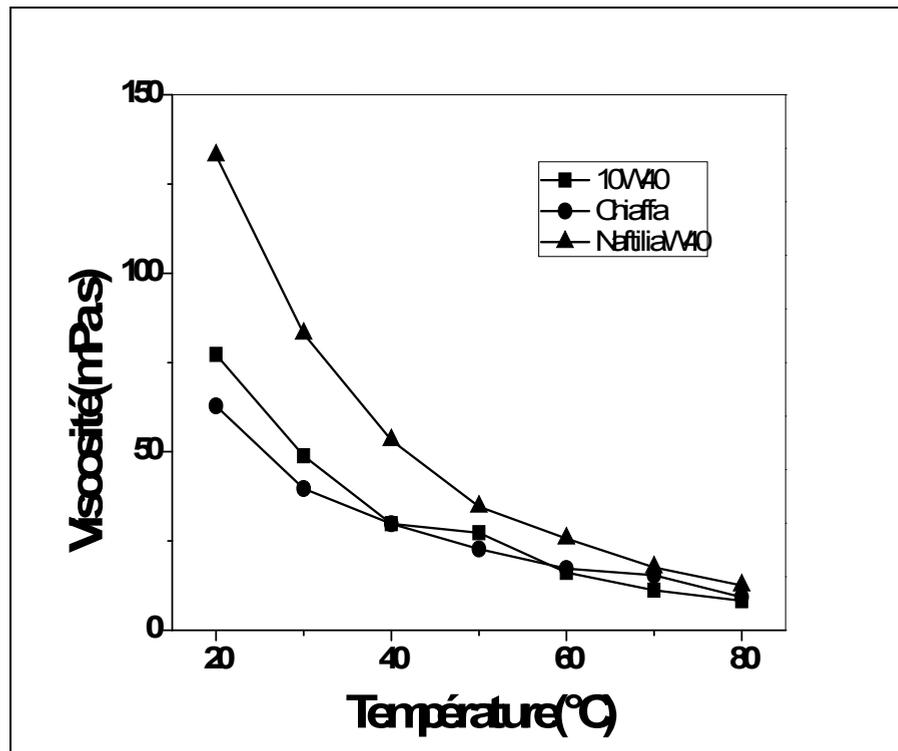


Figure III. 8 : Variation de la viscosité des huiles en fonction de la température

Les figures III.8 montre la dépendance de la viscosité de la température. On remarque que pour l'huile Naftilia SAE40, la viscosité chute brusquement de 130 à 40 mPa.s pour une variation de la température de 20 à 50 °C. Pour ce domaine de température, l'écart de viscosité entre Naftilia SAE40 et les deux autres est assez grand. A partir de 50 °C l'écart tend à disparaître et les viscosités diminuent légèrement et sont plus ou moins conservées à haute température. Ceci explique le caractère multigrade de l'huile 10w40 qui a une viscosité à froid et à chaud du même ordre que les monogrades.

II.3 Conclusion

Les courbes expérimentales obtenues lors de notre étude viscosimétrique montrent que la viscosité ne dépend pas du taux de cisaillement et elle est diminuée en fonction de la température.

III. ANALYSE PAR LE RHEOMETRE HAAKE RV 100

Le rhéomètre enregistre la courbe d'écoulement du fluide considéré à une température donnée. La viscosité est trouvée à partir de la pente à cette courbe en fonction de la vitesse de cisaillement. Les rhéogrammes obtenus (S_{τ} , S_D) pour différentes températures sont donnés en annexe.

III.1 Courbes d'écoulement des huiles Naftilia40, Chiffa40 et 10w40

La dépendance de la contrainte en fonction du taux de cisaillement pour différentes températures est montrée sur les figures III 9-III 18.

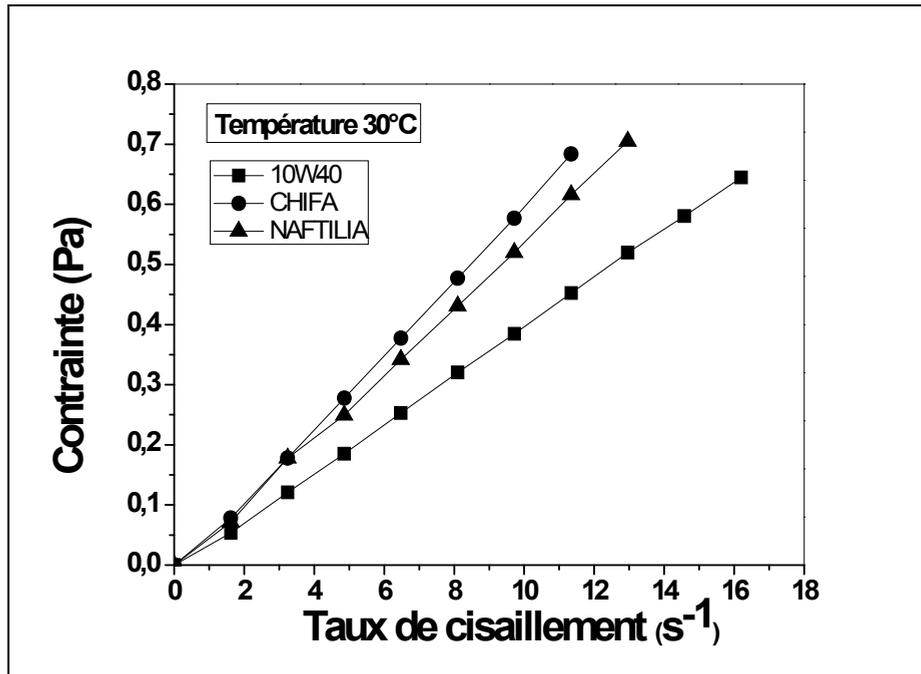


Figure III. 9 : Variation de la contrainte des huiles en fonction du taux de cisaillement pour T=30°C

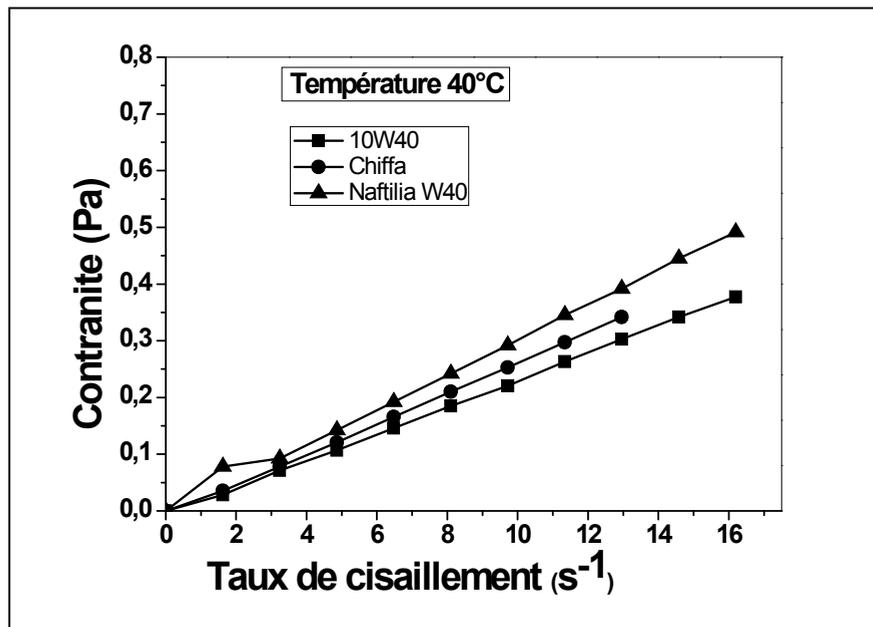


Figure III. 10 : Variation de la contrainte des huiles en fonction du taux de cisaillement pour T=40°C

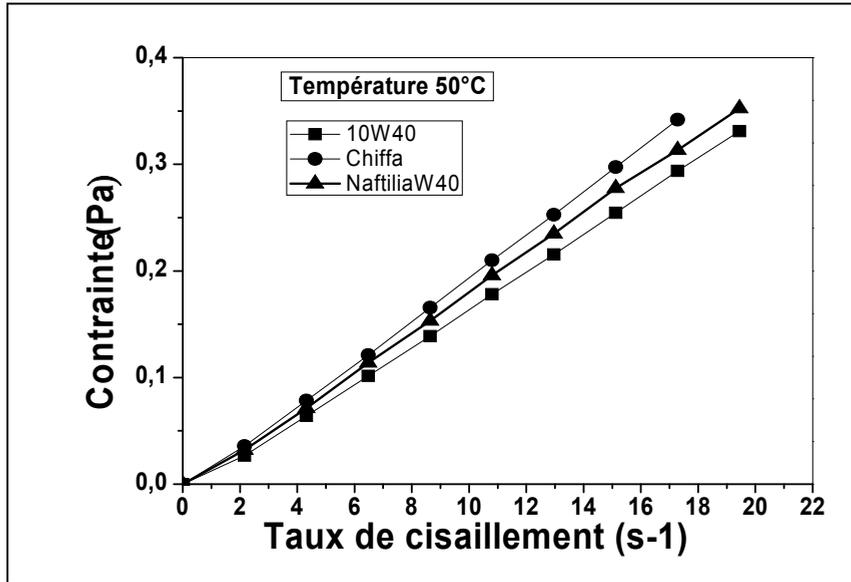


Figure III. 11 : Variation de la contrainte des huiles en fonction du taux de cisaillement pour T=50°C

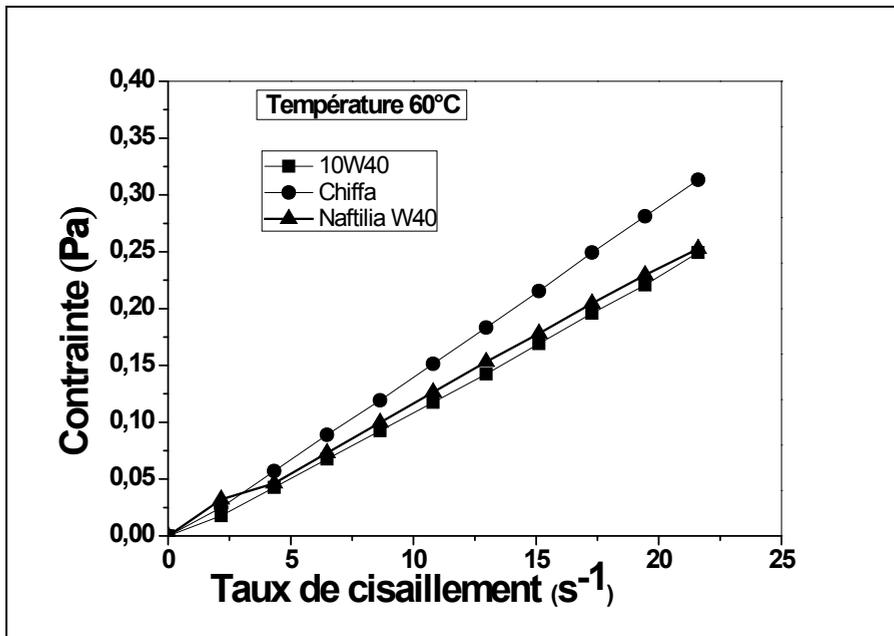


Figure III. 12 : Variation de la contrainte des huiles en fonction du taux de cisaillement pour T=60°C

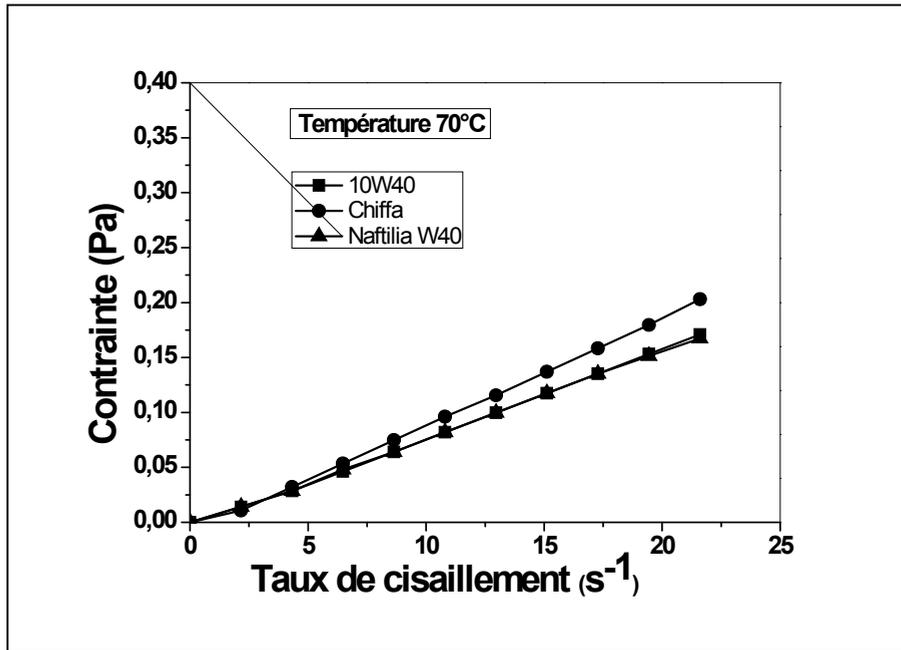


Figure III. 13 : Variation de la contrainte des huiles en fonction du taux de cisaillement pour T=70°C

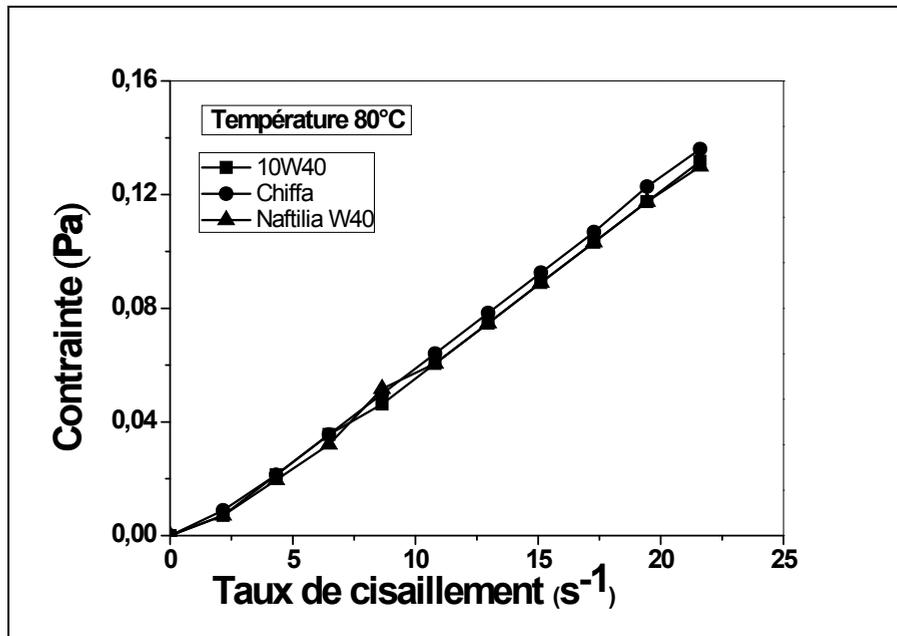


Figure III. 14 : Variation de la contrainte des huiles en fonction du taux de cisaillement pour T=80°C

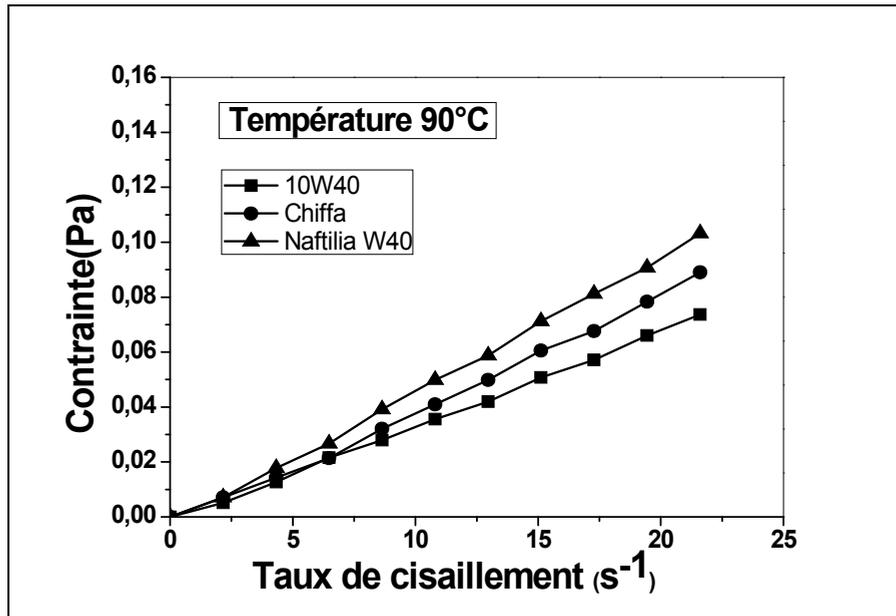


Figure III. 15 : Variation de la contrainte des huiles en fonction du taux de cisaillement pour T=90°C

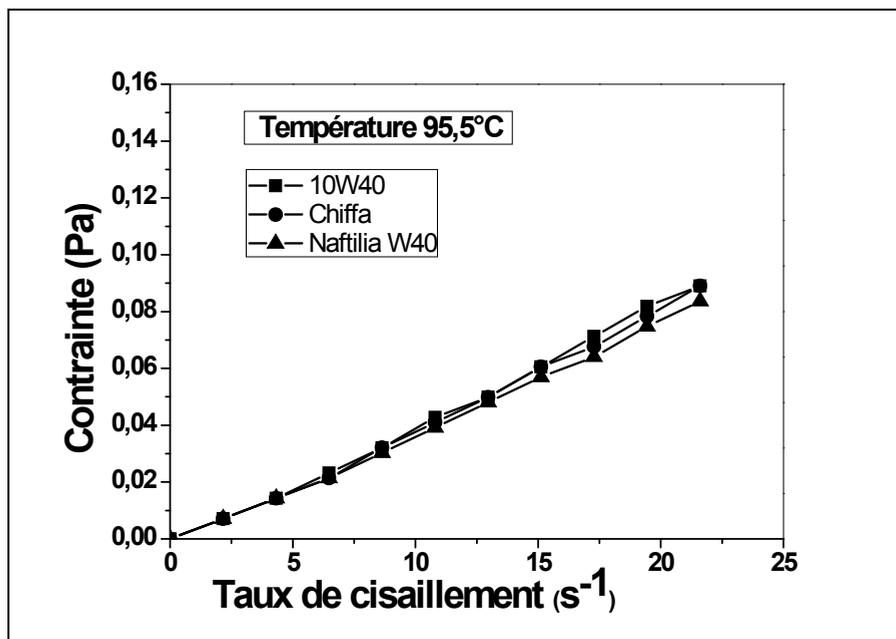


Figure III. 16 : Variation de la contrainte des huiles en fonction du taux de cisaillement pour T=95,5°C

Nous remarquons d'une manière générale que les rhéogrammes présentent un comportement newtonien pour toutes les températures.

III.2 Viscosité des huiles Chiffa40, Naftilia40 et 10w40 ; effet de la température

La viscosité newtonienne est déterminée à partir de la pente de la courbe d'écoulement à l'origine des coordonnées. Dans tous les cas la viscosité ne dépend pas du taux de cisaillement du fait de la linéarité des courbes prouvant ainsi le comportement newtonien des huiles. La figure III 17 décrit la viscosité en fonction de la température des trois lubrifiants.

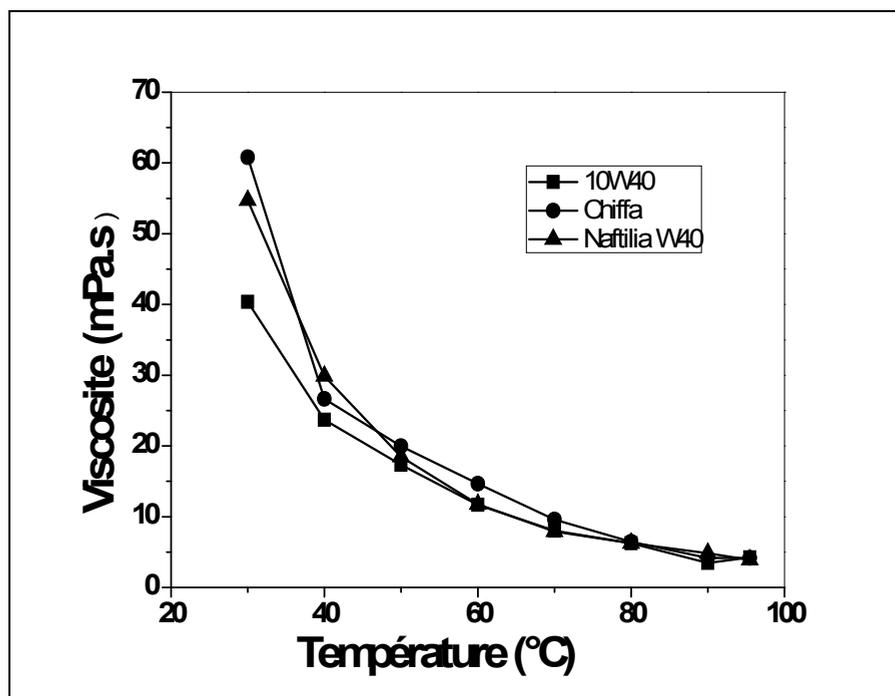


Figure III. 17 : Variation de la viscosité des huiles en fonction de la température

La viscosité chute brusquement jusqu'à 50 °C pour les trois huiles. Leur pente diminue progressivement et atteint les mêmes valeurs vers les hautes températures.

IV. COMPARAISON DES DEUX METHODES DE MESURE

La première méthode de mesure (par le viscosimètre) donne directement la viscosité à une vitesse et température données. Quant au rhéomètre, il enregistre directement la courbe d'écoulement et la viscosité est trouvée indirectement. Les erreurs dans le cas du viscosimètre sont plus importantes, elles sont dues à la grande quantité de l'échantillon, de son épaisseur. Comme elles résultent aussi de la mauvaise thermostation dans notre cas. Dans le rhéomètre, le volume de l'échantillon est d'une vingtaine de cm^3 , le contrôle de la température est très précis.

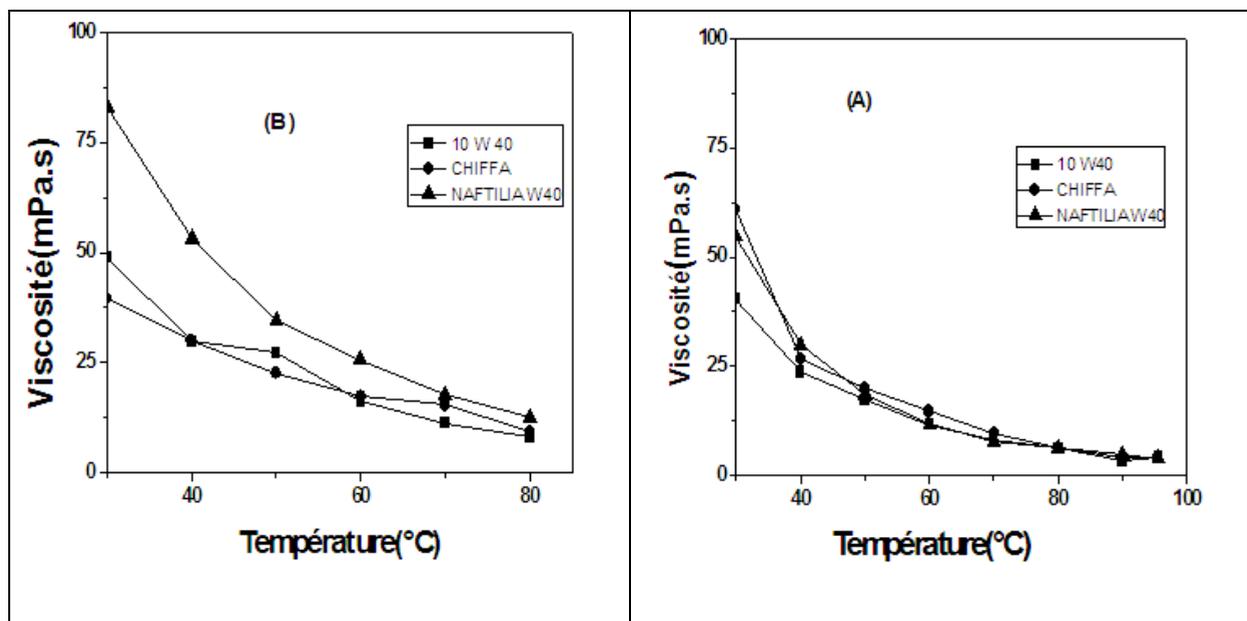


Figure III. 18 : Comparaison des viscosités par les deux méthodes de mesure en fonction de la température, (A) par le rhéomètre, (B) par le viscosimètre.

Les viscosités des huiles étudiées sont de l'ordre 100 mPa à 20 °C et concernent la gamme basse de mesure du viscosimètre et du rhéomètre. Pour cette raison la différence entre les viscosités n'est pas apparente pour la gamme de température étudiée et vers les hautes températures, elle est de quelque mPa.s pour les trois types d'huile.

V. EFFET DE LA TEMPERATURE SUR LA VISCOSITE

La viscosité diminue en fonction de la température. Ce phénomène caractérise l'état liquide pour lequel la viscosité du liquide et la température suivent la loi d'Arrhenius : [2]

$$\eta = Ae^{E/TR} \quad (1)$$

A (Pa.s) est un facteur préexponentiel de la dimension de la viscosité, E (j/mole) est l'énergie d'activation pour l'écoulement, R la constante des gaz parfait et T (K) la température absolue.

Pour entre tenir un mouvement dans un liquide visqueux il faut lui fournir de l'énergie (énergie d'activation).

L'énergie d'activation est l'énergie nécessaire pour faire passer une molécule d'un liquide d'une position d'équilibre à une position voisine.

Pour cela il faut vérifier la linéarité entre $\ln\eta$ et $1/T$. D'après l'équation III.1

$$\ln\eta = \ln A + E/RT$$

Nous avons tracé la courbe $\ln\eta=f(1/T)$ ce qui est montré dans les figures III.19 et III.20: telle que E/R est la pente de cette courbe ;

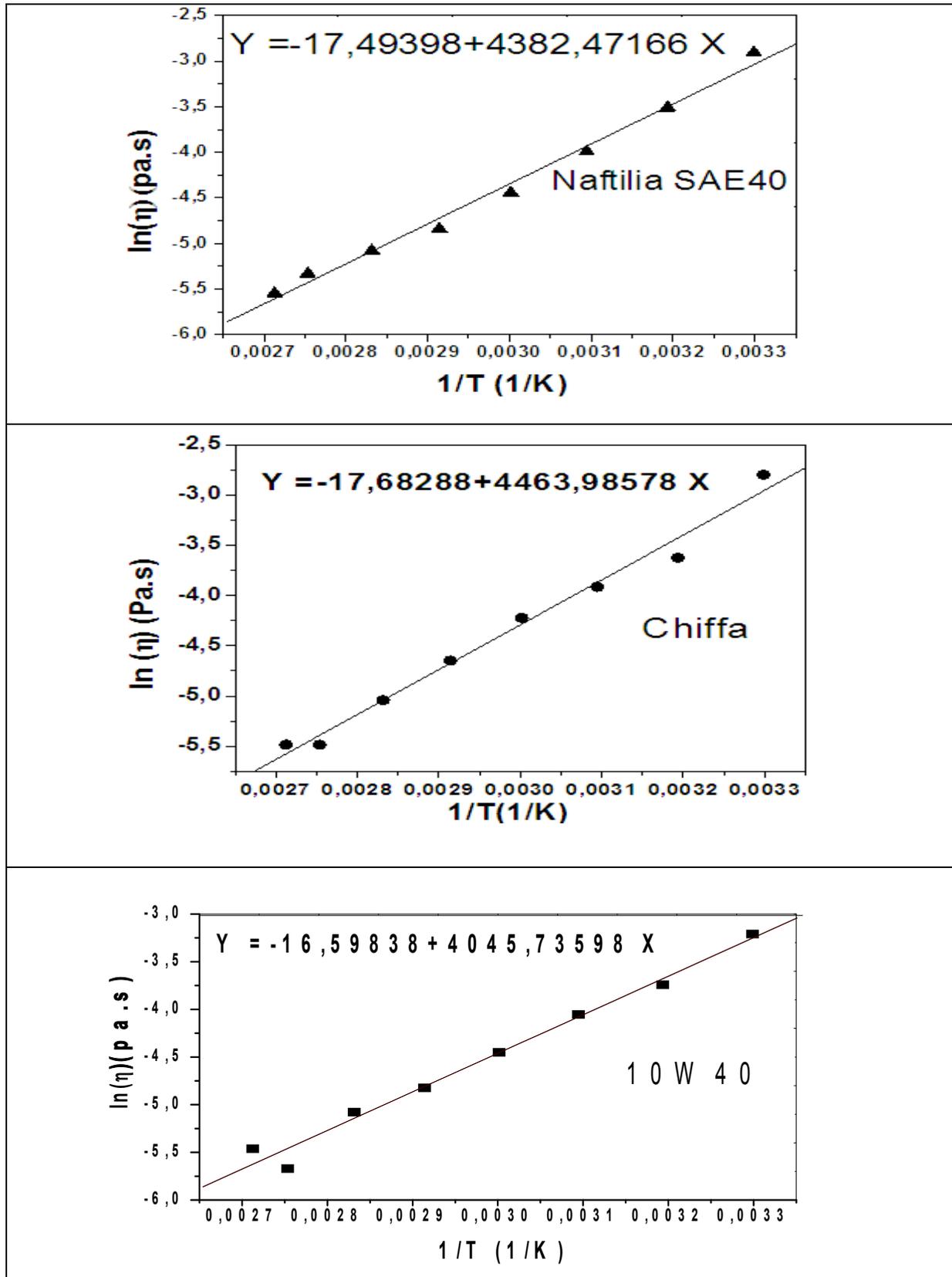


Figure III.19 : Vérification la linéarité de la loi d'Arrhénius (le rhéomètre)

Huiles	Energie d'activation (kJ/mol)	Coefficient A (Pa.s)
Chiffa	37,11	$2.09 \cdot 10^{-5}$
Naftilia SAE40	36,43	$2.5 \cdot 10^{-5}$
10 w 40	33,63	$6.18 \cdot 10^{-5}$

Tableau III.1 : Energie d'activation E et le coefficient A de trois huiles par le rhéomètre

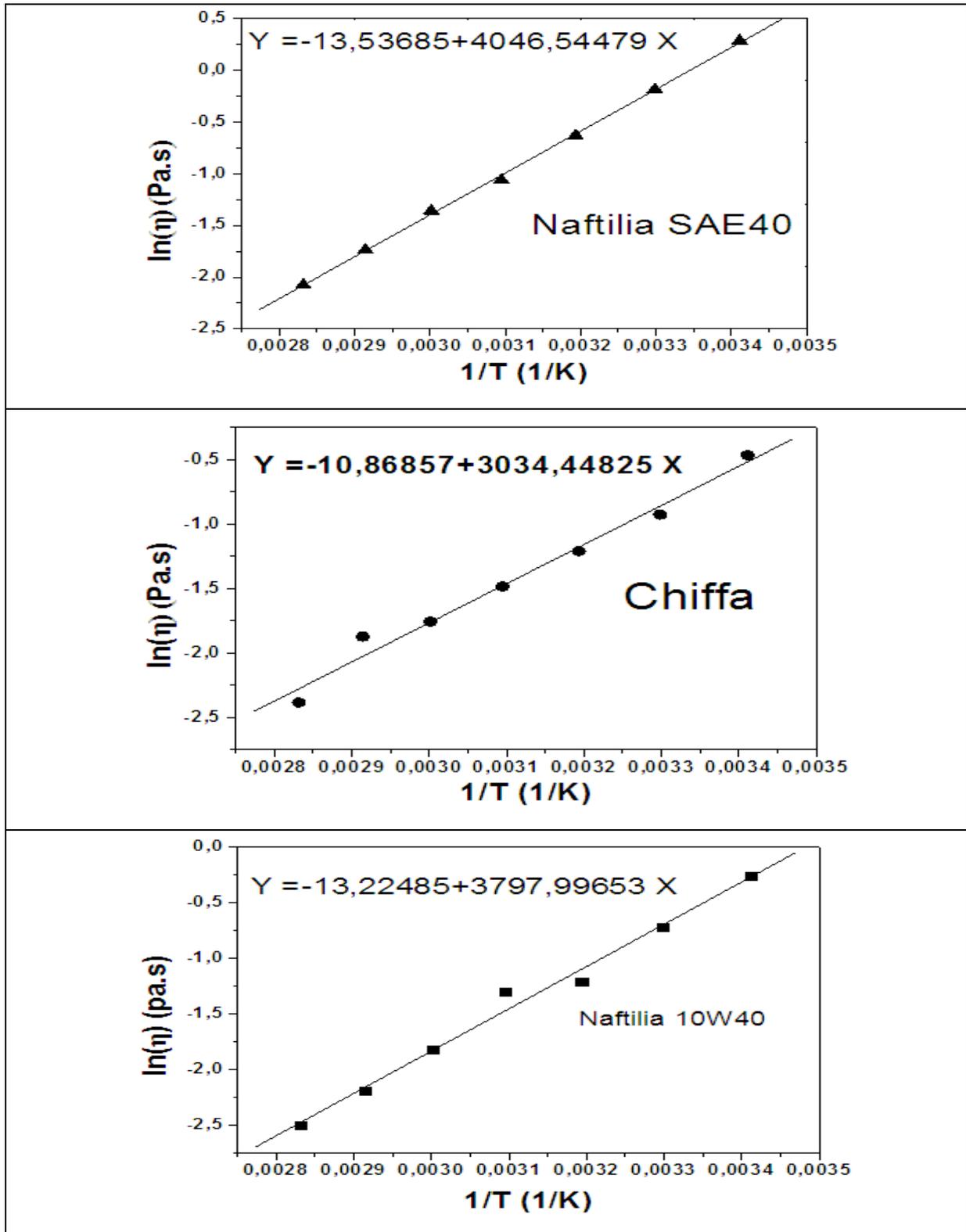


Figure III.20 : Vérification la linéarité de la loi d'Arrhénius (Viscosimètre)

Huiles	Energie d'activation (kJ/mol)	Coefficient A (Pa.s)
Chiffa SAE40	25,22	$19.2 \cdot 10^{-6}$
Naftilia SAE40	33,64	$1.32 \cdot 10^{-6}$
10 w 40	31,57	$1.805 \cdot 10^{-6}$

Tableau III.2 : Energie d'activation E et le coefficient A de trois huiles par le viscosimètre

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

Introduction Générale

Dans ce travail nous avons étudié le comportement rhéologique des huiles moteurs et particulièrement les lubrifiants, monograde Naftilia SAE40 et Chiffa SAE40 et multigrade 10W40, commercialisées par l'entreprise algérienne Naftec.

Pour se faire, nous avons utilisé deux équipements de caractérisation, un viscosimètre rotatif où la viscosité est affichée automatiquement et un rhéomètre donnant une courbe d'écoulement (rhéogramme) où la viscosité est déduite comme la pente de cette courbe à la vitesse de cisaillement donnée (qui se réduit à une constante dans le cas des fluides newtoniens).

Les viscosités des trois types d'huiles moteurs ont été déterminées, dans le cas du viscosimètre, pour une gamme de 18 vitesses de rotation du moteur allant de 0.3 à 100 tr/min et une plage de température variant de 20 à 100°C. Dans le cas du rhéomètre, les courbes d'écoulement ont été déterminées pour un domaine de température allant de 30 à 95.5 °C, les viscosités correspondantes ont été déduites.

Dans les deux cas de mesure, la viscosité ne dépend pas de la vitesse de cisaillement, le comportement est donc newtonien. Par contre elle diminue brusquement en fonction de la température et vérifie bien la loi d'Arrhenius.

La viscosité d'huile monograde est plus élevée que celle de la multigrade pour les basses températures, vers les hautes températures les viscosités conservent les mêmes valeurs.

Références Bibliographiques

[1] : *Fluides visqueux et incompressible*, par Jean-François ROY, Edition Ellipses 1999.

[2] : *Mécanique et rhéologie des fluides en génie chimique*, par N.MIDOUX, Edition Technique et Documentation – Lavoisier 1988.

[3] : *Laboratoire de polymères en département de physique faculté de science Tlemcen.*

[4] : *Les huiles moteurs*, par Dr M. BELGACEM, Sonatrach « INSTITUT ALGERIEN DU PETROLE».

[5] : *Chimie organique*, par Dr. Karl WINNACKER. Et le prof. Dr. Léopold KUCHLER, Edition Eyrolles 1966.

[6]: Manuel FUNGLAB « VISCO-BASIC-PLUS ».

[7]: Manuel HAAKE «RHEOMETRE RV100».

[8] : *Introduction à la Viscosimétrie Pratique*, par Gebhard Schramm, Edition Geduder HAAKE GmbH, 1981.

Résumé

Cette étude consiste à déterminer le comportement rhéologique des huiles moteurs monograde et multigrade et de vérifier la relation entre la viscosité et la température d'après la relation d'Arrhenius. La viscosité est déterminée expérimentalement par deux méthodes disponibles dans le laboratoire. Dans la première, la viscosité est directement obtenue tandis que dans la deuxième, elle est calculée d'après la courbe d'écoulement. Les viscosités sont déterminées en fonction de la vitesse de cisaillement et de la température.

Abstract

This study consists in determining the rheological properties of monograde and multigrade motor oils and to verify the relationship between the viscosity and the temperature according to the Arrhenius law. The viscosity was experimentally determined by two methods available in the laboratory. In the first case, the viscosity was directly obtained, whereas in the second case, the viscosity was calculated following the flow curve. The viscosities were determined as a function of shear rate and temperature.

الملخص

الغرض من هذه الدراسة هو تحديد طبيعة الموائع لدى عدد من زيوت المحركات و برهنا علاقة لزوجة هذه الزيوت بالحرارة و ذلك بقانون ارينوس. أجريت هذه الدراسة بواسطة جهازين مختلفين الأول (فيسكوزيمتر) يظهر قيمة اللزوجة أليا و الثاني (ريومتر) يحسب اللزوجة عن طريق ميل منحنى التدفق بتغيير درجة الحرارة و

Sommaire

Introduction	1
Chapitre I : Concepts généraux	
I. <u>Viscosité un phénomène physique</u>	3
I.1 <u>Définition de viscosité</u>	3
I.2 <u>Viscosité dynamique</u>	4
I.3 <u>Viscosité cinématique</u>	4
I.4 <u>Unités</u>	5
I.5 <u>Importance de la nature de fluide et d'écoulement</u>	6
I.6 <u>Principaux paramètres dont dépend la viscosité</u>	9
II. <u>Mesure de la viscosité</u>	11
II.1 <u>Généralités</u>	11
II.2 <u>Mesure de la viscosité</u>	12
III. <u>Huile de moteur</u>	22
III.1 <u>Définition d'huile</u>	22
III.2 <u>Viscosité des huiles</u>	23
III.3 <u>Additifs pour huiles de graissage</u>	25
III.4 <u>Classification API (American Petroleum Institute)</u>	29
III.5 <u>Le rôle d'huile de moteur</u>	29
III.6 <u>Propriétés et classification des huiles lubrifiantes</u>	30
Chapitre II : Expérimentation	
I. Viscosimètre UTILISÉ: Visco Basic Plus.....	Erreur ! Signet non défini.

II. Rhéomètre: HAAKE Rotovisco RV 100 **Erreur ! Signet non défini.**

III. Produit utilisés: **Erreur ! Signet non défini.**

Chapitre III : Résultats et discussions

I. Introduction **Erreur ! Signet non défini.**

II. Analyse par le viscosimetre Visco-Basic Plus **Erreur ! Signet non défini.**

II.1 Variation de la viscosité en fonction de taux de cisaillement..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.2 Etude de la viscosité en fonction de la température **Erreur ! Signet non défini.**

II.3 Conclusion **Erreur ! Signet non défini.**

III. Analyse par le RhEoMETRE HAAKE RV 100 **Erreur ! Signet non défini.**

III.1 Courbes d'écoulement des huiles Naftilia40, Chiffa40 et 10w40..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.2 Viscosité des huiles Chiffa40, Naftilia40 et 10w40 ; effet de la température
..... **Erreur ! Signet non défini.**

IV. Comparaison des deux méthodes de mesure **Erreur ! Signet non défini.**

V. Effet de la temperature sur la viscosite **Erreur ! Signet non défini.**

Conclusion

Références bibliographiques

Annexe