



Research Paper

DOI : 10.5281/zenodo.3738697

Open access



Caractérisation rhéologique des émulsions d'huile de coupe

Rheological characterization of cutting oil emulsions

Abdelkader KARAS^{a,*}, Ridha MAZOUZI^b, Youcef KAMLA^c, Mohamed BOUZIT^d

^aFac. Applied Sciences, Synthesis and Catalysis Laboratory LSCT, University of Tiaret, Algeria

^bFaculty of Technology, FIMA Laboratory, University of Khemis-Miliana, Algeria

^cFac. Technology, Dept. Science and Technology, UnivChlef, Algeria

^dLaboratory of Applied Mechanics, Faculty of Mechanical Engineering USTO-MB Oran – Algeria.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 24 October 19

Received in revised form 10 February 20

Accepted 18 February 20

Mots clés:

Mots clés : rhéologie; huile de coupe; émulsion ; viscosimètres.

Keywords:

Rheology; cutting oil; emulsion; viscometer.

RÉSUMÉ

La présente recherche concerne l'étude rhéologique des émulsions d'huile de coupe. L'objectif visé est principalement, l'étude expérimentale et la modélisation d'écoulement complexes de ces systèmes en faisant varier, respectivement, la concentration d'huile utilisées et la température des essais. L'émulsion est composée d'une huile minérale prise à différentes concentrations d'huile dans de l'eau distillée. La stabilité de l'émulsion est assurée par le tensioactif "sulfonates cationique». La détermination des paramètres rhéologiques des émulsions d'huile de coupe étudiées est faite au moyen d'un viscosimètre à cylindres coaxiaux pour une gamme de températures allant de 25°C à 60°C. La caractérisation du comportement rhéologique a été faite à l'aide de deux programmes de calcul dont le premier permet de déterminer le modèle le plus représentatif du comportement rhéologique de l'émulsion, quant au deuxième, il permet de choisir le modèle le plus représentatif de la variation de la viscosité en fonction de la température. Les résultats expérimentaux obtenus, montrent que la concentration et la température influent fortement le comportement rhéologique et donc les paramètres rhéologiques tels que l'indice d'écoulement et la consistance. Les résultats expérimentaux ont montré que la viscosité dynamique est le paramètre rhéologique le plus influencé par la variation de la température ; cette variation peut être représentée par un polynôme d'ordre 3.

ABSTRACT

This aim of this paper is to do a rheological study on the cutting oil emulsions. The main objective is to perform an experimental study and a modeling of complex flow of these systems by varying, respectively, the oil concentration used and the temperature of the tests. The emulsion is composed of a mineral oil used at different concentrations of oil in distilled water. The surfactant "cationic sulfonates" Is used to ensure stability of the emulsion. The rheological parameters of the studied cutting oil emulsions are determined

* Corresponding author. Tel.: +213 559486408.

E-mail address: karasaek@yahoo.fr

by using a viscometer with coaxial cylinders for a temperature range of 25 ° C. to 60 ° C. The characterization of the rheological behavior was done by using two computing programs. The first program is used to determine which is the most representative model of the rheological behavior of the emulsion. While the second is used to choose the most representative model of the variation of the viscosity as a function of temperature. The obtained experimental results show that the concentration and the temperature have a strong influence on the rheological behavior, and thus on the rheological parameters such as the flow index and the consistency. The results also showed that the dynamic viscosity is the most rheological parameter influenced by the variation of the temperature, where this variation can be represented by a polynomial of order 3.

1 Introduction

L'étude rhéologique des émulsions d'huile de coupe s'avère nécessaire d'une part, pour un dimensionnement optimal de l'installation et d'autre part, pour assurer une meilleure qualité de lubrification et un bon refroidissement des outils de coupe. La concentration volumique d'huile utilisée est, généralement, de l'ordre de 25 %. Mais, sous l'effet de la température de coupe très élevées, une proportion notable d'eau s'évapore. Ce qui engendre, par conséquent, une variation de la concentration relative des deux phases en présence.

La qualité d'utilisation des émulsions d'huile de coupe dépend beaucoup de leurs caractérisations rhéologiques ; c'est pourquoi, il s'avère nécessaire de disposer d'une formulation de viscosité correcte pour le besoin de chaque condition particulière de travail. La température est un des plus importants facteurs qui influence la viscosité des émulsions. Dans ces dernières, il existe une température critique qui correspond à l'inversion des phases ou à leur séparation. La détermination de cette température s'avère d'une importance primordiale pour le contrôle de la qualité de lubrification dans le cas des émulsions d'huile de coupe.

Notre travail expérimental a pour objectif l'étude du comportement rhéologique et la recherche d'une représentation des paramètres rhéologiques en fonction de la variation de la concentration et de la température des émulsions d'huile de coupe. La qualité d'utilisation des émulsions d'huile de coupe dépend beaucoup de leurs caractéristiques rhéologiques ; c'est pourquoi, il s'avère nécessaire de disposer d'une formulation de viscosité correcte pour le besoin de chaque condition particulière de travail. En général, une expression empirique ne peut pas tenir compte de l'effet exercé par tous les facteurs possibles sans être très compliquée. Cependant, l'influence de certains paramètres peut être négligée sans compromettre de beaucoup la précision des résultats.

La qualité de l'eau joue un rôle très important dans la stabilité des émulsions [1], pour cette raison nous avons utilisé trois qualités de l'eau qui sont : l'eau distillée, l'eau douce et l'eau bouillé. Notre objectif est la connaissance de l'effet de la concentration et de la température sur le comportement et les paramètres rhéologiques. L'émulsion étudiée est un mélange d'eau distillé et d'une huile minérale dite "Tasfalout 22 B" à différentes concentration : 70 %, 80 %, 90 % et 100%. Le matériel utilisé dans le présent travail est un viscosimètre rotatif à cylindres coaxiaux à entrefer étroit. Pour ce type d'entrefer, la vitesse de cisaillement est considérée comme constante. Notre choix est limité par ces quatre émulsions à cause des limites imposées par notre viscosimètre "Rotovisco RV12». La caractérisation du comportement rhéologique a été faite à l'aide de deux programmes de calcul dont le premier permet la détermination d'un modèle représentatif du comportement rhéologique de l'émulsion, quant au deuxième programme, il permet le choix d'un modèle représentatif de la variation de la viscosité de l'émulsion en fonction de la température. Les résultats obtenus sont donnés sous forme de graphes représentatifs des relations suivantes : contrainte de cisaillement et viscosité en fonction de la vitesse de cisaillement, et la viscosité en fonction de la température. Nous déterminons ensuite les coefficients rhéologiques pour différents modèles utilisés. Les mesures ont été effectuées pour une plage de température allant de 25 C° à 60 C° avec un pas de 5C°. Ceci donne la possibilité d'étudier la variation de la viscosité en fonction de la température et de caractériser cette relation par les modèles : Arrhenius et la méthode polynomiale.

2 Modélisation de comportement rhéologique

Pour caractériser le comportement rhéologique d'un matériau, il est nécessaire de lui attribuer un modèle pour lui représenter d'une façon significatif. La validation du modèle expérimentalement prend énormément de temps et pose quelques problèmes dont la majorité peut être résolu par le biais de la programmation. Le traitement des résultats

expérimentaux obtenus est fait à l'aide d'un programme de calcul des paramètres rhéologiques. Parmi les modèles rhéologique existant [2], [3] et [4], ce programme de calcul nous permet de choisir celui qui répons mieux aux résultats expérimentaux. Ces modèles sont :

Le modèle de Newton :

$$\tau = \eta \cdot \dot{\epsilon} \quad (1)$$

avec : η est le coefficient de la viscosité dynamique, τ est la contrainte de cisaillement et $\dot{\epsilon}$ est la vitesse de cisaillement.

Le modèle de Casson :

$$\tau^{1/2} = \eta^{1/2} \cdot \dot{\epsilon}^{1/2} + \tau_c^{1/2} \quad (2)$$

Où τ_c est la contrainte de cisaillement critique (contrainte seuil de l'écoulement)

Le modèle de Bingham :

$$\tau = \eta \cdot \dot{\epsilon} + \tau_c \quad (3)$$

Le modèle d'Ostwald :

$$\tau = K \cdot \dot{\epsilon}^n \quad n > 1 \quad (4)$$

avec : K est la consistance du fluide et n : est l'indice d'écoulement.

Le modèle de Herschel-Bulkley :

$$\tau = K \cdot \dot{\epsilon}^n + \tau_c \quad (5)$$

3 Modélisation de la viscosité en fonction de la température

La température est l'un des multiples facteurs qui ont de l'effet sur la variation de la viscosité. De ce fait, de nombreuses relations ont été proposées par plusieurs auteurs[2], [3] et [4] ; ils ont vérifié que la viscosité des fluides décroît quand la température augmente. Les modèles les plus représentatifs de la relation viscosité-température sont le modèle d'Arrhenius et la méthode polynomiale :

Le modèle d'Arrhenius :

$$\eta = A \cdot \exp(-E / RT) \quad (6)$$

avec : A est une constante empirique qui varie avec le poids moléculaire, E : énergie d'activation en Kcal/mole, R : constante des gaz et T : la température en °K.

Le modèle Polynomiale :

$$\eta = a \cdot T^3 + b \cdot T^2 + c \cdot T + d \quad (7)$$

Où a, b, c, d : coefficients du polynôme.

4 Procédure expérimentale

4.1 Préparation des émulsions

L'huile de coupe utilisée est une huile minérale dit « Tasfalout 22 B ». Le tensioactif qui stabilise l'émulsion est un sulfonate cationique dont la concentration volumique d'utilisation est de 2% à 15%. Ce tensioactif est préalablement contenu dans l'huile minérale. Les émulsions ont été obtenues en ajoutant progressivement des faibles quantités l'huile de coupe au volume d'eau correspondant. La mesure des volumes a été effectuée au moyen de pipettes en verre qui sont graduées en millimètres cubes.

La qualité de l'eau joue un rôle très important dans la stabilité des émulsions. La dureté de l'eau favorise le développement des bactéries, et ceci est dû à la présence des sels de magnésium et de calcium et parfois même des sels de fer. En générale, se sont : les hydrogénocarbonates de calcium $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ et les hydrogénocarbonates de magnésium $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ qui sont responsable de cette dureté. Pour diminuer cette dureté en général, on fait bouillir l'eau par précipitation des sels sous forme de sels neutres. D'autres sels ne peuvent être éliminés par ébullition, à savoir, les sulfates de calcium et de magnésium CaSO_4 et MgSO_4 , ces sels sont solubles dans l'eau. On peut les éliminer par distillation ou mieux par bi-distillation, mais peut-être qu'il n'est pas obligatoire d'éliminer ces sels, car l'eau deviendrait plus douce.

((Dalmazzone 2000), (Doc Naftal., 1989) [5] et [6], n'ont pas précisés la qualité de l'eau utilisé pour avoir une meilleur stabilité des émulsions, pour cette raison nous avons utilisé trois qualités de l'eau qui sont « l'eau distillé, l'eau douce et l'eau bouillie ». La concentration volumique d'huile a été variée progressivement avec un pas de 10% dans la plage des concentrations de 10% à 90% dans de l'eau distillé. Pour les concentrations volumiques d'huile dans de l'eau douce et l'eau bouillie nous avons choisi les concentrations suivantes : 10%, 30%, 50%, 70%, 80% (photographie : 1). Pour les concentrations volumiques d'huile de 10% à 50%, un agitateur magnétique a été utilisé pour mélanger l'huile de coupe avec de l'eau. Par contre, pour les émulsions dont la concentration volumique d'huile élevée de 60% à 90% nous avons utilisé un mélangeur. Avant chaque essai rhéologique, l'émulsion est de nouveau mélangée, afin d'obtenir un échantillon uniforme et représentatif.



Photographie. 1—Aspect des émulsions pour différentes concentrations d'huile.

4.2 Description du dispositif expérimentale

Le dispositif expérimental utilisé est un viscosimètre rotatif à cylindre coaxiaux de type « Rotovisco RV 12 », construit par « HAAKE RotoVisco » (photographie : 2). Le viscosimètre utilisé est constitué par l'ensemble d'éléments suivants : Un dispositif de mesure (SV1), formé d'un godet fixe et d'un rotor entraîné par un moteur/tête de mesure. Ce dernier est groupé dans une seule unité. Il est du type (M150). Pour thermostatier la substance étudiée, un récipient thermostatique est lié au dispositif de mesure. Il sert à fixer le dispositif de mesure au moteur/tête et à centrer le rotor et le godet de mesure. L'ensemble est fixé à un support.



Photographie. 2—Chaîne de mesure pour le Rotovisco RV12

Le dispositif de mesure comprend également un appareil de base ; cet appareil sert d’une part à fixer la vitesse de rotation de rotor, d’autre part à lire le signal proportionnel au couple exercé. Le tableau 1 donne les caractéristiques du dispositif de mesure (SV1).

Table 1 - Caractéristique du dispositif de mesure SV1

Dispositif de mesure	SV1
Corps tournant	
Rayon R_i (mm)	10.10
Longueur L (mm)	61.40
Godet de mesure	
Rayon R_a (mm)	11.50
Rapport de rayon (R_a/ R_i) (mm)	1.14
Remplissage V (cm^3)	12.00
Température max ($^{\circ}C$)	100
Température min ($^{\circ}C$)	-30

4.3 Méthode de mesure et calcul expérimental

Après avoir sélectionné la vitesse de rotation « N », on prend la lecture du signal correspondant « S » sur l’appareil de base. A partir de ces deux valeurs, on peut calculer le gradient de vitesse, la contrainte de cisaillement et la viscosité en se servant des facteurs (M, A, G) donnés par le constructeur :

$$\dot{\epsilon} = \frac{\pi}{15} \cdot \frac{R_a^2}{R_a^2 - R_i^2} \cdot N = M \cdot N \tag{8}$$

M : Facteur du gradient de vitesse, dépend du dispositif de mesure (M=0.89 min/s)

N : Vitesse de rotation du rotor en (tr/min)

$$\tau = \frac{M}{2 \cdot \pi \cdot h \cdot R_i^2} = A \cdot S \tag{9}$$

A : Facteur de cisaillement, dépend du type de moteur/tête de mesure (A=3.72 Pa/graduation).

S : Le facteur du signal de l'appareil.

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\varepsilon}} = G \cdot \left(\frac{S}{N} \right) \quad (10)$$

G : Facteur d'appareil dépend du dispositif et de la tête de mesure ($G=10^3 \cdot A/M = 4179.77 \text{ MPa.s/grad.min}$).

Notons que le calcul des paramètres rhéologique ($\dot{\varepsilon}, \tau, \eta$) du fluide étudié à partir de (S, N) et à partir des facteurs (M, A, G) donnés par le constructeur se fait par deux programmes de calcul.

Pour vérifier le bon fonctionnement du viscosimètre, il faut faire l'expérience sur une huile étalon, connaissant sa viscosité à l'avance à une température bien déterminée et voir si le résultat de l'expérience donne des valeurs de viscosité identique ou très proche à celle de l'huile étalon. Cet étalonnage nous permet de connaître les réponses du viscosimètre pour les fluides non newtonien

4.4 Les émulsions étudiées

Dans cette partie expérimentale, nous avons étudié le comportement rhéologique de quatre émulsions d'huile de concentration volumique élevée (70%, 80%, 90%, 100%). Notre choix est limité par ces quatre émulsions à cause des limites imposées par le viscosimètre, car le dispositif de mesure « SV » est utilisé de préférence pour la mesure des liquides de viscosité élevée tel que les pâtes. Pour la mesure des liquides de viscosité moyenne telles que : huiles lourdes, laques, émulsions, peinture etc..., dans un domaine de cisaillement moyen, on utilise de préférence un dispositif de mesure du type (MV). A cause de non disponibilité de la tête de mesure (MV), nous avons essayé les dispositifs de mesure (SV1 et SV2) avec deux moteurs/tête du type (M150 et M500).

- Pour le moteur /tête du type M500 combiné respectivement aux dispositifs de mesure (SV1 et SV2), la valeur de l'indication digitale (S) n'est pas stable pour toutes les émulsions.
- Pour le moteur /tête du type M150 combiné respectivement au dispositif de mesure (SV1), la valeur de l'indication digitale (S) n'est pas stable pour les émulsions de concentration allant de 10% à 60% d'huile, par contre elle est stable pour les concentrations élevées allant de 70% à 100%.)

5 Analyse et interprétation des résultats

Notre travail expérimental a pour objectif l'étude de comportement rhéologique des émulsions Huile/Eau de concentration volumique (70% H/E, 80% H/E, 90% H/E, 100% H). Cette étude nécessite la connaissance de :

- l'effet de la concentration sur les paramètres rhéologiques et sur le comportement
- L'effet de la température sur les paramètres rhéologiques.

La température choisie varie de 25°C à 60°C avec un pas de 5°C. Les essais de décharge faits pour les mêmes valeurs du gradient de vitesse, donnent presque une même valeur de la contrainte de cisaillement. Ce résultat est valable pour tous les essais, et montre que le phénomène d'hystérésis est très faible, la représentation des courbes de décharge n'est pas nécessaire.

5.1 Comportement newtonien

Le comportement Newtonien a été rencontré lors de l'étude d'une solution de glycérine pure (huile étalon). Après les mesures, nous avons trouvé pour cette huile une viscosité dynamique de 98 MPa à la température 25 °C ; dont l'erreur entre la valeur expérimentale et la valeur donnée par le constructeur est inférieure à 4 %, ce qui justifie le bon fonctionnement de l'appareil de mesure.

5.2 Comportement non newtonien

Le traitement des résultats expérimentaux obtenus est fait à l'aide d'un programme de calcul des paramètres rhéologiques. Ce programme nous permet, parmi tous les modèles rhéologiques existant, de choisir celui qui rend mieux aux résultats expérimentaux et ceci à l'aide du coefficient de la corrélation déterminer par la méthode des moindres carrés. Le tableau suivant donne le coefficient de corrélation, le coefficient de dispersion et l'erreur standard d'une émulsion prit à une concentration de 70 % et une température de 25 °C.

Table 2-Comportement des modèles rhéologiques de l'émulsion à 70% à 25°C

Modèle	Coef. Corr.	Coef. Dis.	Err. Std.
Newton	0.99	2.360	0.834
Bingham	0.99	2.360	0.834
Casson	0.998	2.050	0.724
Ostwald	0.997	11.868	4.196
H.Bulkley	0.999	3.395	1.200

D'après le tableau ci-dessus, le modèle le plus représentatif est celui de H.BULKLEY avec : $\tau_c = 0.25473$ (Pa) ; $\eta = 0.2742$ (Pa.s) ; $K = 0.33511$ (Pa.sⁿ) ; $n = 0.86125$.

Les tableaux qui suivent montrent le meilleur modèle retenu pour des émulsions prises à différentes concentrations et à différentes températures.

Table 3- Modèles rhéologiques plus représentatif de l'émulsion à 70%

T(C°)	Modèle	η (Pa.s)	τ_c (Pa)	K (Pa.s ⁿ)	n
25	H. Bulkley	0.274	0.254	0.335	0.861
30	Casson	0.226	0.134	0.332	/
35	Casson	0.205	0.159	0.294	/
40	Casson	0.181	0.152	0.271	/
45	Casson	0.170	0.166	0.249	/
50	Casson	0.155	0.165	0.229	/
55	Casson	0.138	0.153	0.212	/

Table 4- Modèles rhéologiques plus représentatif de l'émulsion à 80%

T(C°)	Modèle	η (Pa.s)	τ_c (Pa)	K (Pa.s ⁿ)	n
25	H. Bulkley	0.64	0.19	0.78	0.90
30	H. Bulkley	0.53	0.18	0.67	0.88

35	H. Bulkley	0.48	0.19	0.66	0.85
40	H. Bulkley	0.40	0.15	0.59	0.84
45	H. Bulkley	0.38	0.33	0.50	0.83
50	H. Bulkley	0.32	0.28	0.43	0.83
55	H. Bulkley	0.29	0.32	0.39	0.81
60	H. Bulkley	0.25	0.25	0.35	0.80

Table 5- Modèles rhéologiques plus représentatif de l'émulsion à 90%

T(C°)	Modèle	η (Pa.s)	τ_c (Pa)	K(Pa.s ⁿ)	n
25	H. Bulkley	0.23	0.13	0.23	0.96
30	H. Bulkley	0.20	0.02	0.23	0.96
35	Bingham	0.18	0.01	/	/
40	Bingham	0.14	0.05	/	/
45	Bingham	0.11	0.06	/	/
50	Casson	0.09	0.00	0.29	/
55	H. Bulkley	0.06	-0.1	0.10	0.90
60	Casson	0.22	0.00	/	/

Table 6- Modèles rhéologiques plus représentatif de l'émulsion à 100%

T(C°)	Modèle	η (Pa.s)	τ_c (Pa)	K(Pa.s ⁿ)	n
25	Casson	0.244	0.311	0.265	/
30	H. Bulkley	0.139	0.099	0.248	0.77
35	H. Bulkley	0.104	0.056	0.185	0.77
40	H. Bulkley	0.092	0.093	0.144	0.78
45	Casson	0.076	0.066	0.172	/
50	Bingham	0.029	0.271	/	/
55	Bingham	0.029	0.143	/	/
60	Bingham	0.028	0.049	/	/

5.3 Effet de la concentration sur le comportement rhéologique : Relation contrainte de cisaillement-vitesse de cisaillement- comportement rhéologique

Le traitement des résultats expérimentaux obtenus est fait à l'aide d'un programme de calcul des paramètres rhéologiques. Ce programme nous permet, parmi tous les modèles rhéologiques existant, de choisir celui qui reprend mieux aux résultats expérimentaux et ceci à l'aide du coefficient de corrélation déterminé par la méthode des moindres carrés.

Les figures (1 et 2) représentent la variation de la contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse de cisaillement, on remarque d'après ces rhéogrammes que le comportement rhéologique est non Newtonien. Les figures (3, 4 et 5) représentent la comparaison entre le modèle rhéologique et le résultat expérimental. On peut remarquer que les courbes d'écoulement représentées par les différentes lois rhéologiques sont proches des points expérimentaux .L'écart prend effet pour les gradients de vitesse élevés.

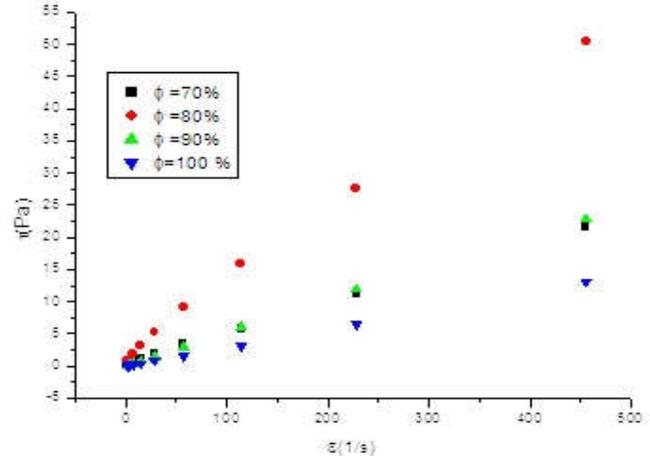
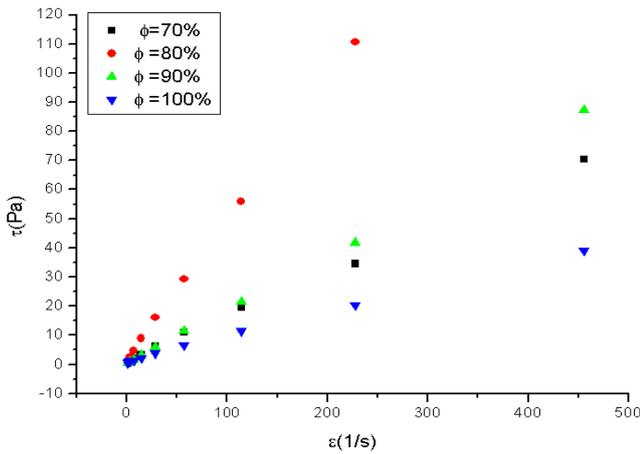


Fig. 1 – Rhéogrammes des émulsions à T=25°C Fig.

2 – Rhéogrammes des émulsions à T=60°C

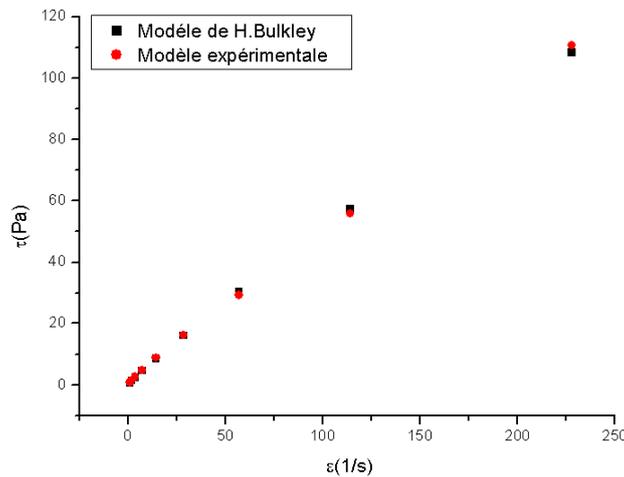


Fig. 3 – Comparaison entre les points expérimentaux et le modèle de H.Bulkley de l'émulsion de 80% à T=25°C

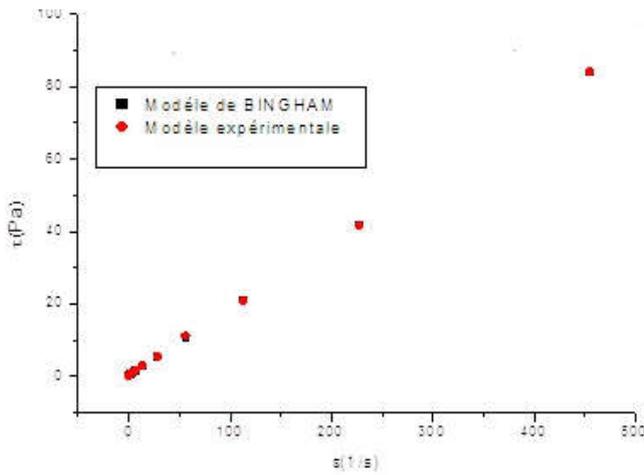


Fig. 4 – Comparaison entre les points expérimentaux et le modèle de Bingham de l'émulsion de 90% à T=35°C

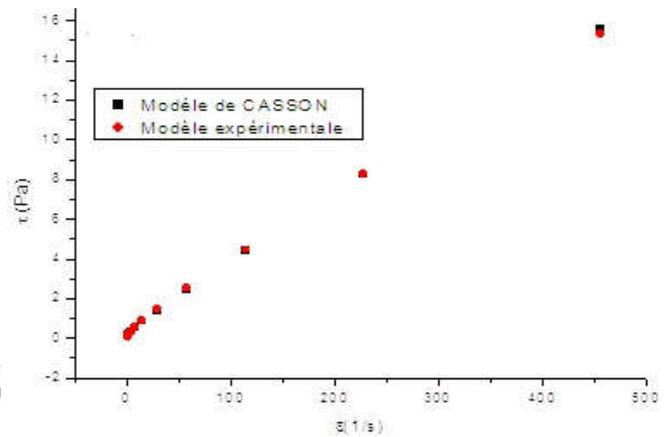


Fig. 5 – Comparaison entre les points expérimentaux et le modèle de Casson de l'émulsion de 100% à T=45°C

5.4 Influence de la température sur les paramètres rhéologiques

5.4.1 Variation de la contrainte de cisaillement en fonction de gradient de vitesse

Les figures (6, 7 et 8), représentent les rhéogrammes des émulsions, à des températures différentes. Le comportement rhéologique a été modifié par la variation de la température. L'allure de ces courbes est toujours celle du fluide non Newtonien. Les paramètres rhéologiques déduits à partir du programme de calcul montrent que des contraintes de cisaillement critiques sont proches de zéro. On peut remarquer aussi que les contraintes de cisaillement diminuent en fonction de la température.

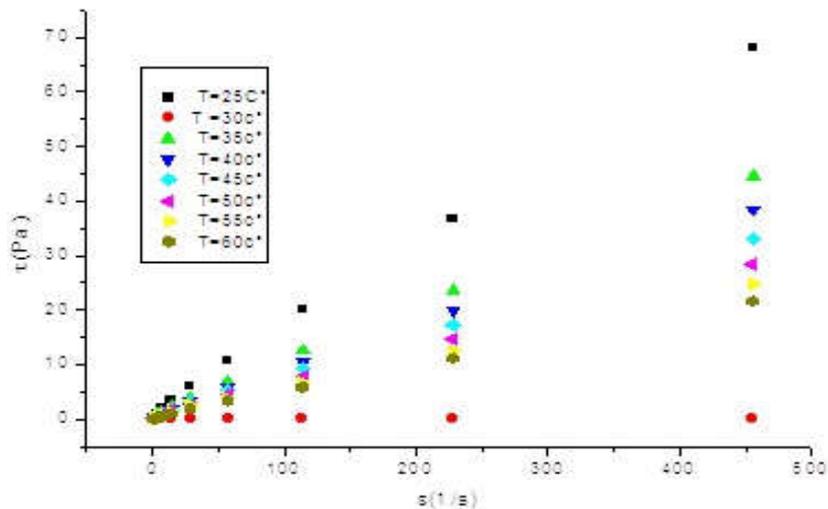


Fig. 6 – Rhéogrammes de l'émulsion 70% à différentes températures

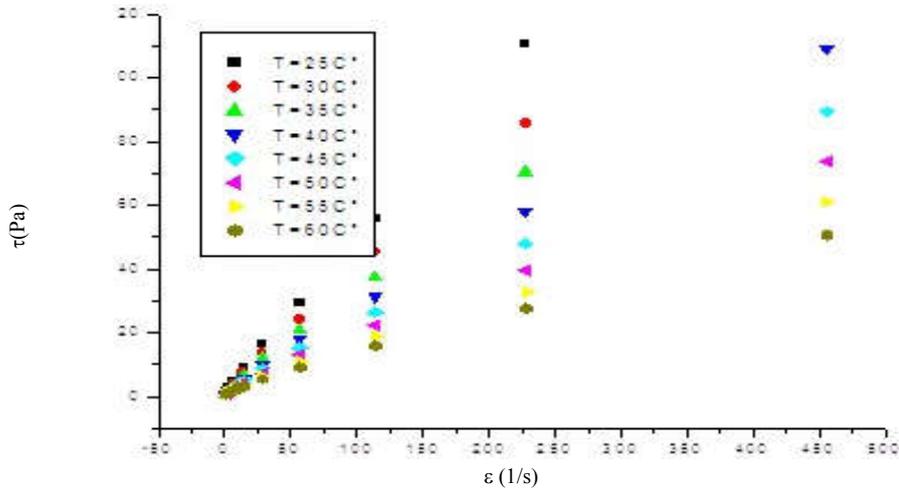


Fig. 7 – Rhéogrammes de l’émulsion 80% à différentes température

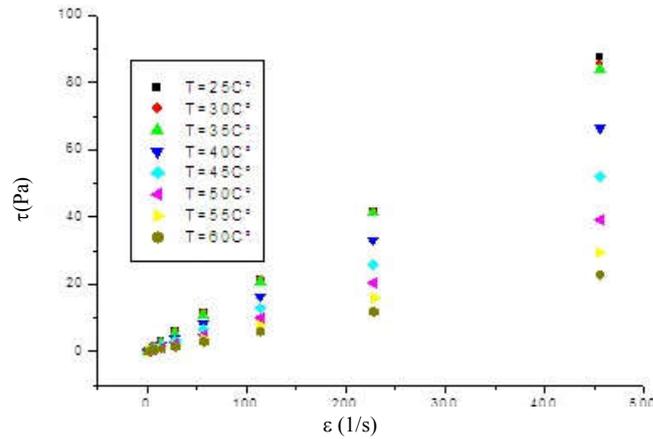


Fig. 8 – Rhéogrammes de l’émulsion 90 % à différentes température.

5.4.2 Variation de la viscosité dynamique en fonction de la vitesse de cisaillement

On peut remarquer sur les figures (9 et 10) que l’élévation de la température conduit à la chute de la viscosité dynamique des émulsions étudiées, et ce quel que soit la concentration volumique de l’huile. Pour les vitesses de cisaillement élevées, le comportement rhéologique tend vers celui d’un fluide Newtonien, car pour les faibles vitesses de cisaillement la décroissance de la viscosité dynamique est plus importante.

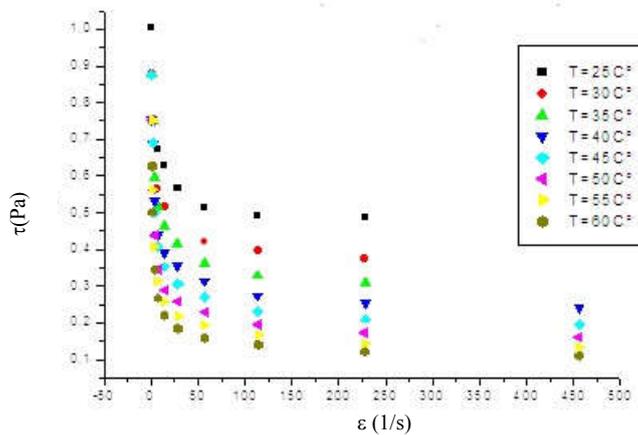


Fig. 9 –Variation viscosité dynamique en fonction de la vitesse de cisaillements de l’émulsion 80% à différentes température

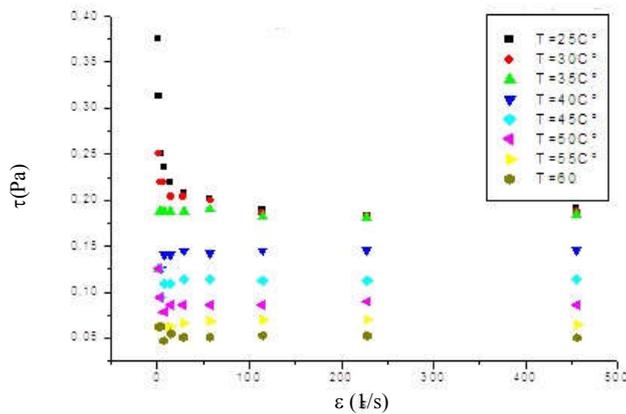


Fig. 10 –Variation viscosité dynamique en fonction de la vitesse de cisaillements de l’émulsion 90% à différentes température

5.4.3 Variation de la viscosité dynamique en fonction de la température

Pour étudier cette variation, la fixation d'un gradient de vitesse est nécessaire. Les modèles caractérisant cette variation pour un fluide quelconque sont: le modèle d'Arrhenius et la méthode polynomiale. Pour cela, deux gradients de vitesse constants ont été choisis : un gradient de vitesse moyen ($\dot{\epsilon} = 56.96s^{-1}$); et un gradient de vitesse élevé ($\dot{\epsilon} = 227.84s^{-1}$) les tableaux (7 à 9), sont regroupées les valeurs de la viscosité dynamique à différentes températures pour les deux gradients de vitesse choisis, ces valeurs sont donnée en (Pa.s).

Table 7- Variation de la viscosité dynamique-température de l’émulsion 70%

T(C°)	25	30	35	40
$\dot{\epsilon} = 56.96s^{-1}$	0.19	0.14	0.10	0.09
$\dot{\epsilon} = 227.84s^{-1}$	0.15	0.12	0.08	0.07

Table 8- Variation de la viscosité dynamique-température de l’émulsion 80%

T(C°)	25	30	35	40
$\dot{\epsilon} = 56.96s^{-1}$	0.51	0.42	0.31	0.22
$\dot{\epsilon} = 227.84s^{-1}$	0.48	0.37	0.25	0.21

Table 9- Variation de la viscosité dynamique-température de l’émulsion 90%

T(C°)	25	30	35	40
$\dot{\epsilon} = 56.96s^{-1}$	0.20	0.19	0.14	0.11
$\dot{\epsilon} = 227.84s^{-1}$	0.18	0.18	0.14	0.11

5.4.3.1 Application du modèle d'Arrhenius

Le modèle d'Arrhenius est décrit par l'équation (6). Les valeurs de ses paramètres pour les différentes concentrations sont regroupées dans les tableaux 10 et 11 .

Table10-Paramètres de l'équation d'Arrhenius à $\dot{\epsilon}=56.96s^{-1}$

ϕ (%)	70	80	90	100
A	0.0005	0.00061	0.00072	0.00083
E (Kcal/mole)	-6106.2597	-6400.5090	-8047.768	-8347.4930
Coeff-Reg	0.9987	0.9997	0.9566	0.9756
Err-Moy	0.0014	0.0027	0.0152	0.0036

Table11-Paramètres de l'équation d'Arrhenius à $\dot{\epsilon}=227.84s^{-1}$

ϕ (%)	70	80	90	100
A	0.0005	0.00061	0.00072	0.00083
E (Kcal/mole)	-6106.2597	-6400.5090	-8047.768	-8347.4930
Coeff-Reg	0.9987	0.9997	0.9566	0.9756
Err-Moy	0.0014	0.0027	0.0152	0.0036

5.4.3.2 Application de la loi polynômiale

L'équation (7) décrivant la loi polynômiale d'ordre 3 prend la forme suivante

$$\eta = a \cdot (T - 20)^3 + b \cdot (T - 20)^2 + c \cdot (T - 20) + d \quad (11)$$

Les paramètres de l'équation précédente sont résumés dans les tableaux (12 et 13) pour deux gradients de vitesse choisis

Table 12- Coefficient de polynôme à $\dot{\epsilon}=56.96s^{-1}$

ϕ (%)	a	b	c	d
70	0.000	0.0007	-0.037	0.7452
80	0.000	0.0009	-0.053	1.3779
90	0.000	-0.001	0.0399	-0.249
100	0.000	0.0001	-0.008	0.2892

Table 13- Coefficient de polynôme à $\dot{\epsilon}=227.84s^{-1}$

ϕ (%)	a	b	c	d
70	0.000	0.0002	-0.013	0.3882
80	0.000	0.0010	-0.062	1.49000
90	0.000	-0.001	0.0400	-0.2910
100	0.000	0.0002	-0.011	0.2879

Nous avons comparé dans la figure (11), la viscosité à un gradient de vitesse élevé avec les deux modèles utilisés. D'une manière générale on peut remarquer que le modèle polynomiale d'ordre 3 est en bon accord avec les points expérimentaux, surtout aux gradients de vitesse élevés.

On peut conclure ; en disant qu'aux gradients de vitesses élevées les deux modèles décrivent assez bien l'évolution de la viscosité des émulsions d'huile de coupe concentrées avec la température.

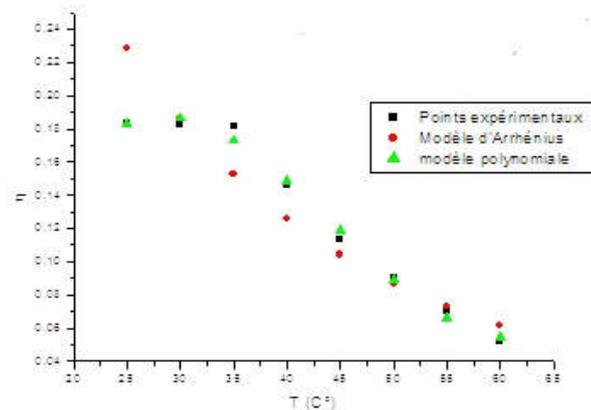


Fig. 11 – Comparaison entre les points expérimentaux –modèle d'Arrhenius–modèle polynômiale de l'émulsion 90% à $\dot{\epsilon}=227.84s^{-1}$

6 Conclusion

À travers le présent travail, nous avons contribué à l'étude rhéologique des émulsions d'huile de coupe. Cette contribution s'est limitée à l'étude de l'effet de la concentration et de la température sur les paramètres et les propriétés rhéologique obtenues dans un viscosimètre rotatif à cylindre coaxiaux. Après la préparation des émulsions, nous avons constaté que toutes les émulsions à faibles concentrations (10% à 50%) sont stables et présentent une seule phase, au-delà de 50% elles sont instables. D'après ces observations, nous constatons que l'eau bouillie favorise une meilleure stabilité même si la concentration volumique est très grande.

La vérification du bon fonctionnement du dispositif de mesure a été confirmée par les essais sur une huile étalon, dont le comportement est Newtonien. Suivant la concentration d'huile, le comportement rhéologique des émulsions étudiées est un comportement non-newtonien qui peut être soit généralisé ou plastique. Pour les faibles concentrations, les modèles de viscosité non-newtonienne utilisées n'encadrent pas très bien nos résultats expérimentaux. Ceci dû à la difficulté technique de ne pas pouvoir explorer les très faibles gradients de vitesse et, par conséquent, de ne pas bien déterminer les viscosités à bas gradient de vitesse. En plus, les travaux expérimentaux valident les modèles rhéologiques choisis.

En général, l'élévation de la température fait chuter la viscosité des émulsions étudiées, nous pouvons dire aussi que la variation de la viscosité en fonction de la température pour les différentes concentrations pourra être représentée par la méthode polynomiale que par le modèle d'Arrhenius. La corrélation entre ces deux derniers paramètres et les données de viscosité est bien meilleur pour les gradients de vitesse élevés, d'une part, et pour les émulsions concentrées d'autre part.

RÉFÉRENCES

- [1] Chitour C., Physico-chimie des surfaces : Les interfaces liquide-liquide et gaz-liquide. OPU. Janvier 2004
- [2] Courraze G., Crossiord J.L., Initiation à la rhéologie, Lavoisier Tech et Doc, 4^{ème} Edition 2014.
- [3] Benali A., Etude rhéologique et granulométrique des émulsions d'huile de coupe, Thèse de doctorat, Institut polytechnique de Toulouse, 1992.
- [4] Bouzit M., Caractérisation rhéologique et étude d'écoulement des fluides complexes : Application au domaine de l'industrie agro-alimentaire thermique, Thèse de Magister, Université Oran -USTO, 1996.
- [5] Dalmazzon C., Génération mécanique des émulsions. Oil &Gaz Science and technologie Rev. IFP, vol. 55, n° 3, (2000), pp.321-305.
- [6] Doc Naftal, fluide de coupe, Rapport de recherche, octobre 1989 DAP/LUB.