



Séminaire National

sur les Matériaux - Procédés et Environnement
Boumerdès, le 11 et 12 Mai 2014

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة بومردس
جامعة

Université M'Hamed BOUGARA-Boumerdès
Unité de recherche Matériaux, Procédés et Environnement



ATTESTATION DE PARTICIPATION

Le Président du comité d'organisation du cinquième Séminaire National sur les Matériaux, Procédés et Environnement, tenu le 11 et 12 Mai 2014 à Boumerdès, atteste que :

DJEMIAT Djamal Eddine

a participé aux activités du séminaire avec une communication intitulée :

« Etude du comportement rhéologique d'un pétrole brut algérien »

Boumerdès, le 12 MAI 2014

Le Président du Comité d'organisation

M. IREKTI Amar



Cette attestation est délivrée pour servir et valoir ce que de droit

Etude du comportement rhéologique d'un pétrole brut algérien

Djamal Eddine Djemiat^{1*}, Abdelhamid Safri¹, Khaled Benyounes², Abdelbaki Benmounah³

^{1*} Laboratoire de recherche LEGHYD USTHB Bab Ezzouar, Algérie

²Département DGMP, Faculté des hydrocarbures et de la chimie, Université M'Hamed Bougara de Boumerdes, 35000, Algérie

³Unité de recherche Matériaux, Procédés et Environnement (UR-MPE), Faculté des sciences de l'ingénieur, Université M'Hamed Bougara de Boumerdes, 35000, Algérie

Résumé — Dans cette présente étude, nous avons étudié le comportement rhéologique d'un pétrole brut algérien récupéré au niveau d'une station de pompage. La caractérisation rhéologique a été effectuée à différentes températures (10°C-60°C). Les résultats obtenus montrent que le brut se comporte comme un fluide non-newtonien et que la viscosité diminue lorsque la température augmente. On constate également que le comportement newtonien se produit aux valeurs élevées du gradient de vitesse de cisaillement. Le comportement non-newtonien est très marqué pour les faibles gradients de vitesse de cisaillement. Pour chacune des températures testées, nous avons représenté la courbe d'écoulement et de viscosité. Les résultats obtenus ont été comparés aux différents modèles rhéologiques. C'est le modèle rhéologique de Herschel-Bulkley qui corrobore le mieux nos résultats expérimentaux.

1. Introduction

La connaissance du comportement rhéologique du pétrole brut est fondamentale, elle nous permet de mieux comprendre son mécanisme d'écoulement. Avec la demande accrue du brut sur le marché international et la saturation des réseaux de transport, les compagnies pétrolières envisagent d'exploiter de façon optimale les réseaux existants tout en évitant les problèmes techniques dans ces derniers, d'où la nécessité de connaître le comportement rhéologique du fluide transporté, à savoir le brut. La rhéologie du pétrole est largement tributaire du gradient de vitesse et à sa température. La corrélation entre le gradient de vitesse ($\dot{\gamma}$) et la contrainte tangentielle (τ) définit la capacité d'écoulement du pétrole brut. Celle-ci est exprimée sur un diagramme dit courbe d'écoulement [1, 2, 3,4, 5]. L'objet de cette étude est de déterminer les différentes courbes d'écoulement et les paramètres rhéologiques du brut étudié, plusieurs températures seront testées.

2. Matériels et méthodes

Le pétrole brut à caractériser a été récupéré au niveau de la station de pompage de M'Sila. Elle fait partie de la division de production de la société nationale de transport et de commercialisation des hydrocarbures (SONATRACH). Les essais ont été effectués sur le rhéomètre AR-2000 de TA-Instruments à contrainte imposée, fonctionnant avec différentes géométries, dans notre cas, nous avons utilisé la géométrie Couette. Les paramètres rhéologiques (contrainte seuil, viscosité plastique, indice de structure) sont déterminés à partir de l'ajustement des courbes d'écoulement en utilisant les modèles rhéologiques correspondants

à savoir, Herschel-Bulkley, Casson et de Bingham.. Le protocole d'essai retenu correspond à celui utilisé par [1,2], qui est le suivant : L'échantillon est placé dans le système couette, en utilisant une géométrie de type cylindre conique avec un rayon de 14mm, un pré cisaillement est effectué durant 30 secondes avec un gradient de vitesse de 50 s^{-1} , et ce pour établir un état initial uniforme pour tous les échantillons. Ces derniers seront laissés au repos jusqu'à la stabilisation de la contrainte normale, ensuite la procédure d'acquisition est déclenchée ; le gradient de vitesse est imposé par paliers qui montent progressivement croissant entre $0,01\text{s}^{-1}$ et 600 s^{-1} . Les essais ont été effectués à différentes aux températures 10, 20, 30, 40, 50 et 60°C , en utilisant un bain thermostaté.

3. Résultats et discussions

Pour étudier l'effet de la température sur le comportement rhéologique du pétrole brut, nous avons représenté l'évolution de la contrainte de cisaillement en fonction du gradient de vitesse

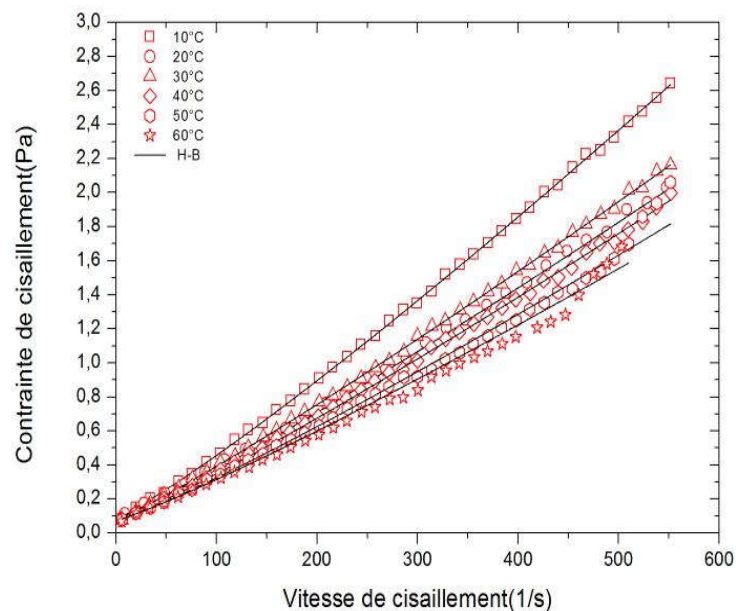


Figure 1: Effet de la température sur l'évolution de la contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse de cisaillement

pour les températures 10, 20, 30, 40, 50, et 60°C figure 1. Comme première analyse, les courbes de la figure 1, montrent le caractère pseudoplastique non-newtonien, c'est-à-dire, il n'y a pas d'écoulement, lorsque la contrainte appliquée est inférieure à une valeur critique τ_c .

On peut remarquer également que les courbes d'écoulements présentent des tendances similaires pour toutes les températures d'essai, une augmentation progressive de la contrainte de cisaillement est observée avec l'augmentation du gradient de vitesse. Nous avons aussi constaté que la contrainte seuil des échantillons augmente avec la température.

Les courbes d'écoulement et les paramètres rhéologiques représentés dans la figure 1 et le tableau 1, montrent que le brut étudié obéit à une loi de puissance avec seuil d'écoulement avec un indice de structure supérieur à 1. On peut donc conclure, que le pétrole brut étudié est un fluide non-newtonien. Il peut donc être représenté par des

modèles, tels que ceux de Herschel-Bulkley(eq.1) [6], Bingham (eq.2)[7] ou celui de Casson(eq.3) [8].

$$\tau = \tau_c + K\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

$$\tau = \tau_c + \mu_p \dot{\gamma} \quad (2)$$

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\tau_0} + \sqrt{(K \cdot \dot{\gamma})} \quad (3)$$

Où : τ est la contrainte de cisaillement, τ_c est la contrainte de seuil, k est la consistance du fluide, n est l'indice de structure, $\dot{\gamma}$ est le gradient de vitesse et μ_p est la viscosité plastique de Bingham.

Pour chacun des modèles cités ci-dessus, nous avons calculé les paramètres rhéologiques correspondant à chaque modèle qui sont représentés dans le tableau 1. En se basant sur le paramètre statistique erreur standard (eq.4), on constate que le modèle de Herschel-Bulkley offre le meilleur ajustement dans le cas des températures testées.

$$ES = \left[\frac{\left[\frac{\sum (X_m - X_c)^2}{n - 2} \right]^{1/2}}{X_m^{max} - X_m^{min}} \right] \times 1000 \quad (4)$$

ES: Erreur standard; X_m : Valeur mesurée; X_c : Valeur calculée; n: Nombre de données ; X_m^{max} : Valeur mesurée maximale ; X_m^{min} : Valeur mesurée minimale.

Tableau1 : Paramètres rhéologiques et l'erreur standard dans le cas des différents modèles

Modèle rhéologique	Température (°C)	erreur Standard	Paramètre rhéologique		
			τ_c	K	n
Herschel-Bulkley H-B	10	4.15	0.0875	1.978E-3	1.135
	20	6.04	0.1059	1.607E-3	1.124
	30	22.70	0.1754	4.510E-4	1.337
	40	26.43	0.2325	7.938E-5	1.599
	50	22.37	0.2271	4.19E-5	1.693
	60	20.15	0.2119	2.63E-5	1.760
Casson	10	15.58	4.401E-5	4.729E-3	1
	20	14.15	4.753E-4	3.532E-3	1
	30	37.38	2.662E-4	3.959E-3	1
	40	54.56	4.733E-5	3.844E-3	1
	50	59.81	4.530E-5	3.652E-3	1
	60	67.07	9.536E-5	3.455E-3	1
Bingham	10	14.80	3.078E-5	4.759E-3	1
	20	12.57	0.03420	3.572E-3	1
	30	36.09	1.650E-4	4.063E-3	1
	40	53.81	7.00E-5	3.857E-3	1
	50	59.12	3.370E-5	3.674E-3	1
	60	65.99	8.753E-6	3.526E-3	1

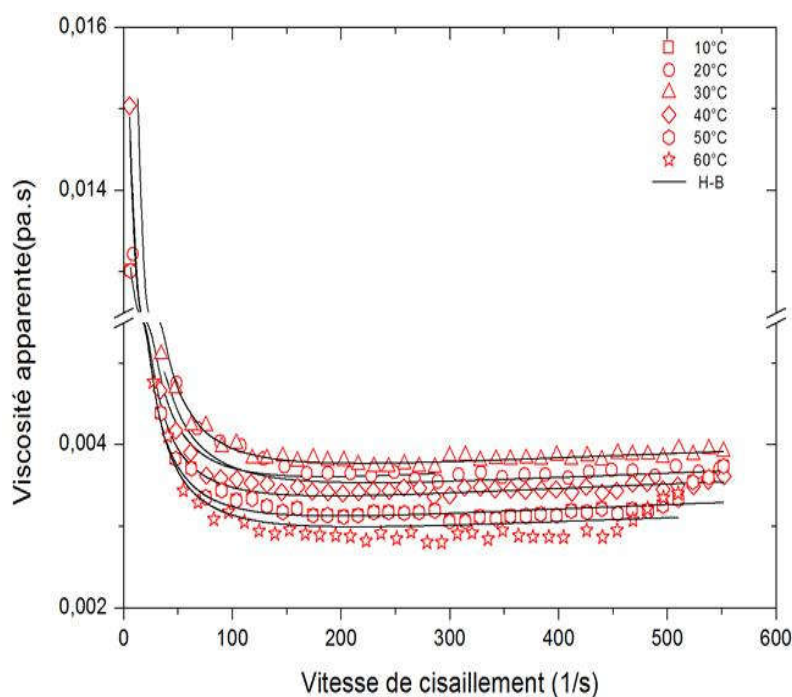


Figure 2 : Evolution de la viscosité apparente en fonction de la vitesse de cisaillement pour différentes températures.

Nous avons également représenté l'évolution de la viscosité en fonction de la vitesse de cisaillement à différentes températures figure 2. Les résultats expérimentaux montrent que la viscosité apparente du pétrole diminue progressivement d'une manière accentuée avec l'accroissement du gradient de vitesse et légèrement avec la température. Ces résultats ont été confirmés par plusieurs auteurs [9,1] sur d'autres huiles brutes.

On peut remarquer l'existence des deux régions différentes : l'une à faible vitesse de cisaillement et l'autre à forte vitesse de cisaillement. La viscosité apparente de l'huile diminue fortement dans la première région jusqu'à ce que la vitesse de cisaillement soit supérieure à 150 s^{-1} . Par contre, pour les plus grandes valeurs de vitesse de cisaillement, la viscosité apparente se stabilise et devient constante. Pour les faibles valeurs de vitesse de cisaillement, il est clair que le comportement rhéologique est non-newtonien et correspond au modèle de Herschel-Bulkley. Cependant pour les grandes valeurs de vitesse de cisaillement supérieure à 150 s^{-1} , on remarque que la viscosité apparente commence à se stabiliser et tend vers une valeur presque constante, dans ce cas le comportement du pétrole brut devient newtonien. Une troisième région que nous avons éliminé, est celle qui est la conséquence du phénomène de glissement de l'échantillon dans la géométrie.

4. Conclusion

L'étude du comportement rhéologique du pétrole brut algérien a montré que le fluide étudié est de type non-newtonien et correspond au modèle rhéologique de Herschel-Bulkley (rhéofluidifiant). La température influe considérablement sur l'évolution des courbes d'écoulement, son augmentation provoque une diminution de la viscosité apparente du pétrole

brut ainsi que la diminution de la contrainte seuil. Pour les faibles valeurs de vitesse de cisaillement, la viscosité diminue au fur et à mesure de l'augmentation de la vitesse de cisaillement.

References

- [1] I.M. El-Gamal and E.A.M. Gad, Oil Gas Sci Technol. 52(1997).
- [2] A.L.C. Machado, E. F. Lucas, G. Gonzalez, J Petrol Sci Eng.32 (2001) 159.
- [3] Y. Al-Roomi, R.George, A. El-gibaly, A. El-kamel, J Petrol Sci Eng. 42 (2004) 235.
- [4] M.W. Badger and H.Id H. Schobert, Viscosity reduction in extra heavy crude oils, the laboratory for hydrocarbon process chemistry. The energy institute, 209 academic projects building the Pennsylvania State University Park. Pennsylvania. 16802-2303.
- [5] M. Kane, M. Djabourov, J-L.Volle, J-P Lechaire., G.Frebouurg, Fuel. 82(2003) 127.
- [6] Herschel, W.H., and R. Bulkley, Kolloid Z. 39(1926) 290.
- [7] Bingham, E.C., *Fluidity and plasticity* McGraw-Hill, 1922.
- [8] N.Casson, Proceedings of the Conference of the B.S.R.(1957) 102.
- [9] Guillaume Vink, Modélisation du redémarrage des écoulements de brut parafinique dans les conditions pétrolières. Thèse de Doctorat, spécialité Mécanique Numérique ; Ecole des mines de parais. (November 2005).