

Etude comparative de modèles rhéologiques. Application au Carbopol 940.

Meriem AMOURA^{1*}, Noureddine ZERAIBI², Mourad GARECHE²

¹ Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. Faculté de Physique. B.P. 32 El-Alia Alger, Algérie. Fax (021)247 344. e-mail amlounidz@yahoo.fr

² Université de Boumerdes. Faculté des hydrocarbures dépt. Transport et équipement. 35000 Avenue de l'indépendance, Boumerdes, Algérie.

* (Meriem AMOURA : am_louni@yahoo.fr)

Résumé :

La détermination des grandeurs rhéologiques d'un fluide non-Newtonien est fondamentale pour la réussite des études sur les écoulements de ce type de fluide.

Dans ce travail, un modèle permettant de représenter correctement le comportement visqueux d'un matériau modèle non-Newtonien a été déterminé en faisant une étude comparative des différentes lois rhéologiques (Casson, Casson généralisé, Herschel-Bulkley).

Abstract :

The determination of non-Newtonian fluids' rheological parameters is fundamental for any study of these fluids flow.

In this paper, we present a rheological model obtained by a comparative study using three other models (Casson law, generalized Casson low and Herschel-Bulkley law). This model allows to correctly describe the viscous behaviour of this fluid.

Mots-clefs :

Caractérisation ; Rhéométrie ; Carbopol 940

1 Introduction

Les fluides présentant un comportement non linéaire tels que les fluides à seuil de contrainte représentent une classe très importante des matériaux mis en œuvre dans les procédés des industries agro-alimentaire, chimique, pharmaceutique et pétrolière...

Dans ce travail nous nous proposons, d'effectuer une caractérisation rhéologique fine d'un matériau modèle à seuil (Carbopol 940 : Carbopol (1981)) en utilisant une approche phénoménologique qui utilise des modèles classiques de comportement : Casson : Casson (1959), Casson généralisé : Benhadid et *al.* (1988) et Herschel-Bulkley : Charm et *al.* (1967). Ces modèles intègrent un ou plusieurs paramètres caractéristiques du fluide ou du type de comportement.

Ces modèles supposent que la structure des fluides est stable, donc le temps d'application de la contrainte ou du cisaillement n'influe pas sur le modèle.

A partir des courbes d'écoulement nous avons déduit la viscosité apparente, viscosité plastique et le seuil d'écoulement par régression des moindres carrés. Comme il s'agit d'un système d'équations fortement non linéaires, une méthode d'optimisation développée par Vigne (1980) a été employée.

2 Matériels et méthodes

Dans cette étude, la résine Carbopol a été ajoutée lentement à l'eau déminéralisée en agitation de façon à former une dispersion opaque et sans grumeau. Les expériences ont été réalisées sur un rhéomètre à contrainte imposée (Carri-med) en utilisant la géométrie cône-plan caractérisée par :

- Angle de cône : 1.58°
- Diamètre du cône : 6 cm
- Entrefer : 1.30 µm
- Troncature : 48.4 µm

Les tests rhéologiques ont été effectués à la température de 20°C.

3 Etude Théorique

A partir des valeurs expérimentales τ_i (contrainte imposée) et $\dot{\gamma}_i$ (taux de cisaillement correspondant), on identifie les paramètres rhéologiques des différents modèles rhéologiques à étudier suivant le critère de minimisation de l'erreur quadratique entre la valeur mesurée et la valeur calculée par le modèle :

$$\sum_{i=1}^M (H_i)^2 = \sum_{i=1}^M \left(\frac{\tau_m - \tau_{cal}}{\tau_m} \right)^2$$

M : nombre de points expérimentaux

τ_m : contrainte mesurée

τ_{cal} : contrainte donnée par le modèle

La minimisation de cette erreur quadratique se fait suivant l'algorithme proposé par Vigne (1980).

4 Détermination des paramètres des modèles

A partir des résultats expérimentaux obtenus pour le Carbopol 940 à 20°C et à diverses concentrations (Figure 1), nous avons calculé les paramètres des différentes lois rhéologiques telles que :

- Modèle de Casson : $\tau^{1/2} = \tau_s^{1/2} + \left(\eta_\infty \dot{\gamma} \right)^{1/2}$
- Modèle de Casson généralisée : $\tau = \tau_s + \eta_\infty \dot{\gamma} + k \dot{\gamma}^n$
- Modèle d'Herschel-Bulkley : $\tau = \tau_s + k \dot{\gamma}^n$

Où :

τ_s : représente la contrainte seuil

η_∞ : désigne la viscosité à taux de cisaillement infini

k : caractérise la consistance de la structure

n : paramètre adimensionnel compris entre 0 et 1 et pouvant être considéré comme un indice d'écoulement

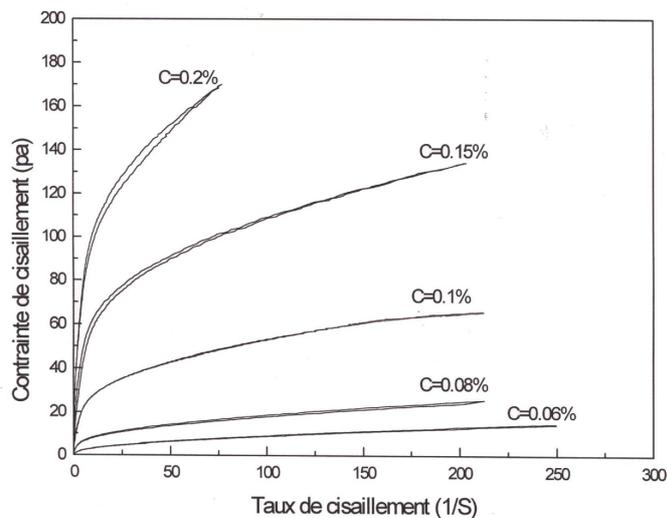


FIG.1 – Rhéogramme du Carbopol 940 à 20°C et à Différentes concentrations

La méthode que nous avons adoptée pour la détermination du seuil d'écoulement, consiste à extrapoler la courbe $\tau = f(\dot{\gamma})$ en régime permanent vers les faibles gradients de vitesse.

A partir du calcul de la dispersion, qui représente la somme des erreurs relatives quadratiques moyennes :

$$D = \frac{1}{M} \left[\sum_{i=1}^M H_i^2(X^*) \right]^{1/2} \cdot 100$$

le modèle pour lequel la dispersion est la plus faible est celui d'Herschel-Bulkley (Tableau 1) avec $0.76\% \leq D \leq 2.4\%$.

Tableau 1 : Valeurs de la dispersion de régression

Concentration (%)	:	0.06	0.08	0.1	0.15	0.2
Relation de Casson généralisée	:	1.20	2.20	2.70	1.01	0.85
Loi de Casson	:	2.40	3.07	4.11	4.46	3.77
Loi d'Herschel-Bulkley	:	0.96	1.44	2.40	0.95	0.76

L'évolution des paramètres de la loi d'Herschel-Bulkley en fonction de la concentration est donnée par la figure 2.

Une très bonne régression polynomiale du troisième ordre de la contrainte seuil avec la concentration coïncide avec nos résultats, obtenus par extrapolation des contraintes expérimentales.

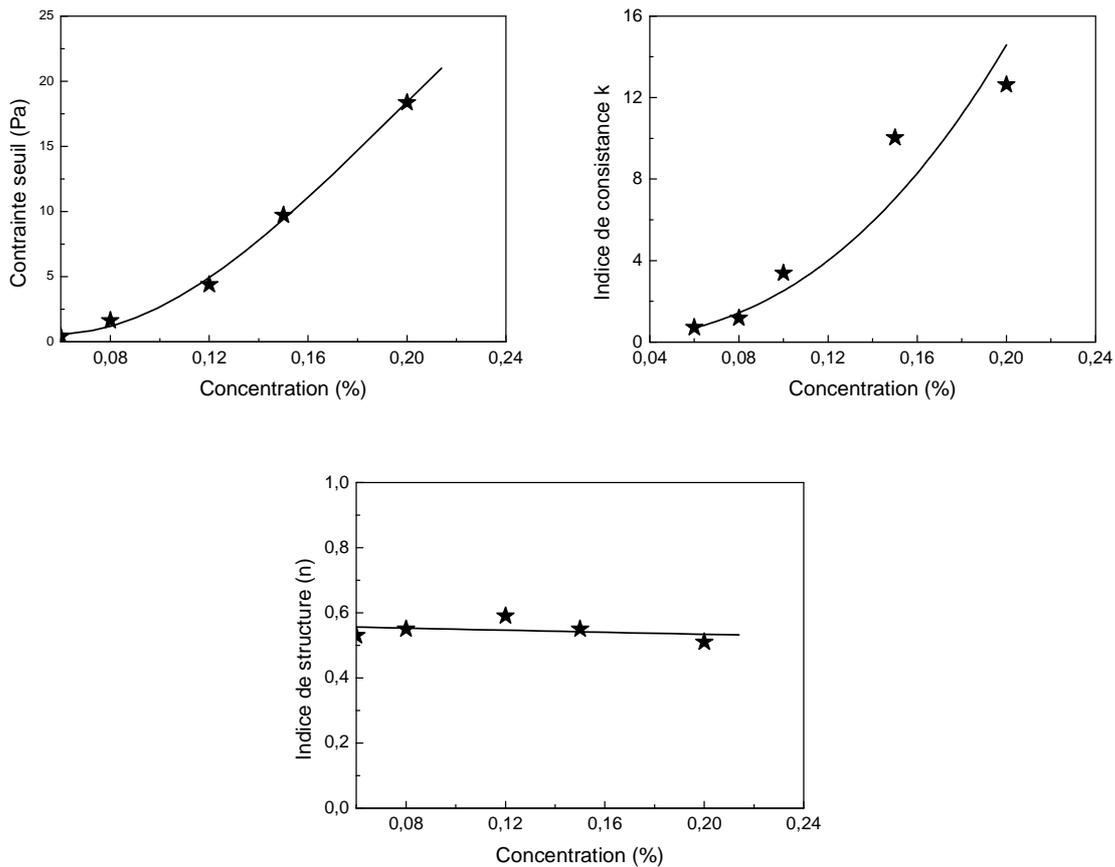


FIG. 2 - Evolution des paramètres du modèle d'Herschel-Bulkley
En fonction de la concentration

5 Conclusion

Dans ce travail, nous avons effectué une caractérisation rhéométrique d'un fluide à seuil modèle. Notre choix c'est porté sur un gel obtenu à partir d'une résine soluble en milieux aqueux : le Carbopol 940. Cette caractérisation rhéométrique a été effectuée sur un grand domaine de vitesse de cisaillement, par rhéomètre cône-plan.

A l'aide de cette étude, nous avons déterminé la valeur du seuil de contrainte ainsi que les propriétés visqueuses du fluide à seuil modèle. La contrainte de cisaillement peut être représentée en régime permanent par une expression de type Herschel-Bulkley qui sous sa forme unidimensionnelle s'écrit :

$$\tau = \tau_s + k \dot{\gamma}^n$$

L'évolution des paramètres rhéologiques en fonction de la concentration a été étudiée. Les relations paramètres rhéologiques-concentrations obtenues peuvent fournir un moyen très simple pour prédire le comportement du fluide test considéré sans passer par des essais viscosimétriques.

Références

- Benhadid S., Maurice S., Devienne G., Lebouché M., Lucius M. 1988 Caractéristiques rhéologiques, coefficients de frottement et écoulement en situation réelle de fluide à seuil. *Rhéologica Acta*, **27**, 628-633.
- Charm S.E., Kurland G.S. 1967 Static method for determining blood stress. *Nature*, **206**, 1121.
- Carbopol 1981 Résines solubles en milieux aqueux. Service Bulletin, G.C. 67F, B.F. Goodrich Company, Chemical Group, Ohio, USA.
- Casson N. 1959 A flow equation for pigment oil suspension of the printing ink type. In *pergamant presse*, Edition New York, Vol. 24.
- Vigne J. 1980 Algorithmes numériques. Analyse et mise en œuvre. Tome 2, Equations et systèmes non linéaires. Edition Technip (Paris), 302.