

# Rhéologie de suspensions de bulles

R. MORINI<sup>a</sup>, L. TOCQUER<sup>a</sup>, G. OVARLEZ<sup>b</sup>, X. CHATEAU<sup>a</sup>,  
O. PITOIS<sup>a</sup>

a. Université Paris Est Laboratoire Navier UMR8205 [romain.morini@ifsttar.fr](mailto:romain.morini@ifsttar.fr)

b. Université Bordeaux, LOF, UMR5258

## Résumé :

*Un dispositif original a été développé pour fabriquer des suspensions monodisperses de bulles (diamètre 700  $\mu\text{m}$ ) dans un fluide newtonien très visqueux (viscosité dynamique 100 Pa.s). La viscosité de ces suspensions a été mesurée dans les régimes dilué et faiblement concentré (fraction volumique en bulles comprises entre 2% et 15%) dans une géométrie Couette. La viscosité des suspensions dépend de la viscosité du fluide suspendant, de la fraction volumique en bulles et d'un nombre sans dimension (nombre capillaire) caractérisant la déformation des bulles par rapport à celle du fluide suspendant. Les résultats expérimentaux obtenus se comparent très bien aux prédictions du modèle de Frankel et Acrivos [1] dans la gamme des fractions volumiques étudiée.*

## Abstract :

*An original device was designed to produce monodisperse suspensions of bubbles (diameter 700  $\mu\text{m}$ ) in a highly viscous Newtonian fluid (dynamic viscosity 100 Pas). The viscosity of bubble suspension was measured in the dilute and moderate concentration regimes (volume fraction of bubbles between 2% and 15%) using a Couette geometry. Suspension's viscosity depends upon the suspending fluid viscosity, the bubble volume fraction and a dimensionless number (capillary number) accounting for the deformability of the bubbles compared to that of the suspending fluid. Experimental data are well fitted by the model of Frankel and Acrivos [1] predictions in the range of studied volume fractions.*

**Mots clefs : rhéologie, suspensions de bulles, nombre capillaire, huile silicone.**

## 1 Introduction

L'industrie des matériaux de construction utilise couramment des fluides aux propriétés rhéologiques originales (peintures rhéo-fluidifiantes, bétons rhéo-épaississants...) sans nécessairement avoir une compréhension complète de leur comportement. Dans ce cadre, nous avons étudié expérimentalement le comportement de suspensions newtoniennes de bulles, dans le but d'évaluer l'impact de l'ajout d'air sur la viscosité d'un fluide newtonien en fonction du nombre capillaire.

Dans ce cadre, nous avons étudié expérimentalement le comportement de suspensions newtoniennes monodisperses de bulles afin de mesurer précisément l'impact de l'ajout des bulles. Les

caractéristiques du matériau étudié (viscosité du fluide suspendant et taille des bulles) ont été choisies de façon à ce que la vitesse de remontée des bulles soit suffisamment lente pour que la suspension reste homogène durant sa fabrication ainsi que durant la mesure de sa viscosité.

## 2 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est constitué d'un rhéomètre Malvern Kinexus équipé d'une géométrie Couette spécifique. La cuve de la géométrie a un volume de 45 cm<sup>3</sup>, le cylindre interne a un diamètre de 25 mm et mesure 40 mm de hauteur. L'entrefer de la géométrie est de 6 mm. Un système permettant le remplissage de la géométrie Couette sans incorporation d'air non contrôlé a également été mis au point. Nous utilisons des techniques de milli-fluidique pour créer la suspension (Figure 1.a) et la déposer dans la géométrie Couette (Figure 1.b).

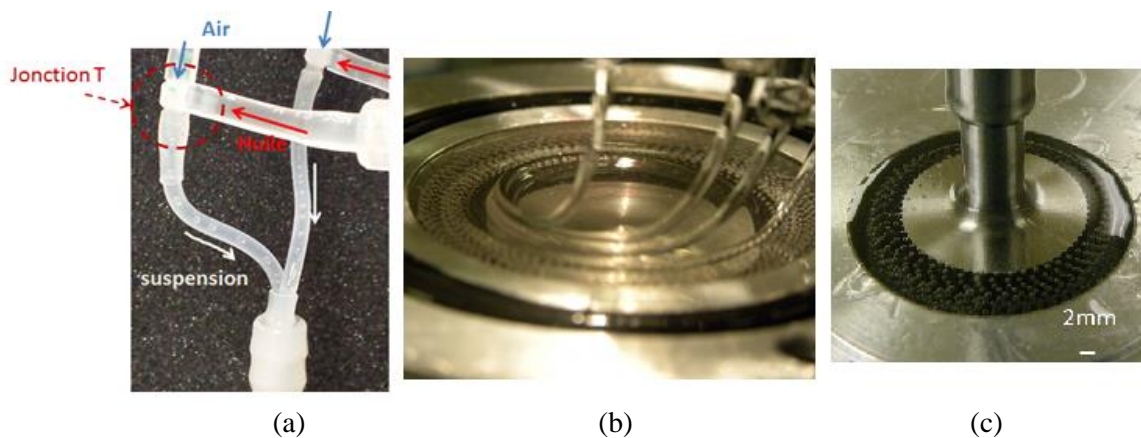


Figure 1 : Dispositif expérimental

(a) générateur de suspension (milli-fluidique) ; (b) remplissage de la cellule Couette ; (c) suspension en place dans la cellule Couette prête à l'analyse rhéologique

Ce dispositif permet de balayer une large plage de fractions volumiques (de 2% à 15%) avec une bonne précision.

Le fluide Newtonien est une huile silicone de viscosité 100 Pa.s et les bulles ont un diamètre de 700 micromètres.

## 3 Résultats et discussions

La viscosité de la suspension dépend de la viscosité de l'huile, de la fraction volumique en bulles et du nombre capillaire noté  $Ca$ . Ce nombre est défini à l'échelle de la bulle d'air et quantifie la contribution de la contrainte de cisaillement due à l'écoulement comparée à la contrainte capillaire due à la tension de surface de la bulle :

$$Ca = \frac{\eta_0 \dot{\gamma} R}{\Gamma} \quad (1)$$

où  $\eta_0$  est la viscosité de l'huile (Pa.s) ;  $\dot{\gamma}$ , le taux de cisaillement au sein de la suspension (s<sup>-1</sup>) ;  $R$ , le rayon d'une bulle (m) et  $\Gamma=20 \cdot 10^{-3}$  N.m<sup>-1</sup>, la tension de surface air/fluide.

La fraction volumique est définie par

$$\phi_v = \frac{V_{air}}{V_T} \quad (2)$$

où  $V_{air}$  est le volume des bulles ( $m^3$ ) et  $V_T = V_{air} + V_{huile}$ , le volume total de la suspension ( $m^3$ ).

La viscosité des suspensions a été mesurée pour des nombres capillaires compris entre 0,01 et 10 et des fractions volumiques comprises entre 0,02 et 0,15. Pour une suspension de fraction volumique donnée, il suffit de faire varier la vitesse de cisaillement  $\dot{\gamma}$  ( $s^{-1}$ ) pour faire varier la valeur du nombre capillaire, Ca [Eq (1)]. Les viscosités relatives,  $\eta / \eta_0$ , en fonction du nombre capillaire pour différentes valeurs de  $\phi_v$  sont présentées sur la Figure 2.

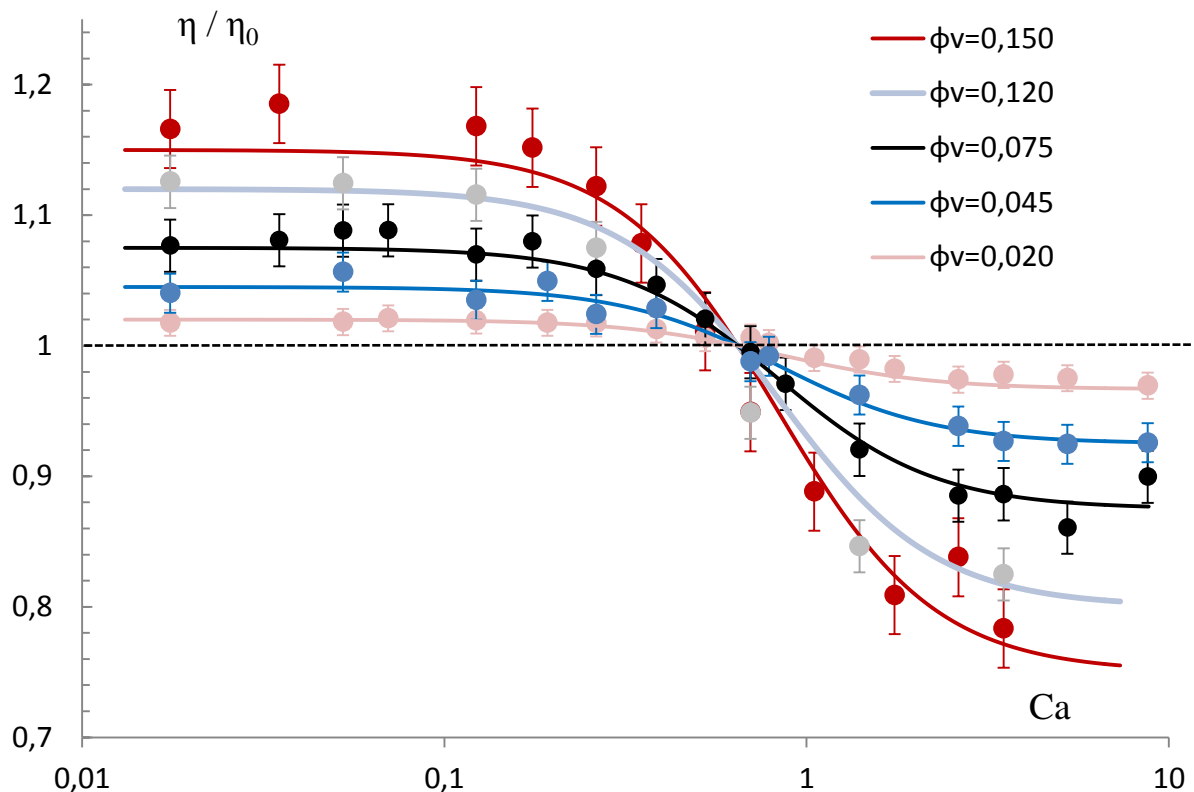


Figure 2 : Viscosité relative en fonction du nombre capillaire pour différentes fractions volumiques : Les points sont les données expérimentales ; les lignes, les prédictions du modèle de Frankel et Acrivos.

Les mesures ont été réalisées à 23°C en contrainte imposée. Les points présentés sont des moyennes (cinq mesures différentes).

Sur la Figure 2, on observe un très bon accord entre les données expérimentales et les prédictions du modèle proposé par Frankel et Acrivos [1]. L'accord est particulièrement bon pour les faibles valeurs de fractions volumiques ( $\phi_v < 0,075$ ) et moins au-delà (la proximité des bulles favorise leur coalescence). Le modèle de Frankel et Acrivos n'est rigoureusement valable que pour les faibles valeurs de  $\phi_v$  (modèle dilué).

## 2.1 Conclusions

L'étude présentée ici consiste, en reprenant de façon plus soignée l'étude expérimentale [2], à caractériser avec le dispositif le plus précis possible l'influence de l'incorporation de bulles d'air au

sein d'un fluide newtonien. Nous avons fait le choix d'un système composé d'une huile silicone de viscosité  $\eta_0=100$  Pa.s et de bulles d'un diamètre de 700  $\mu\text{m}$ .

Nous avons mis au point un dispositif expérimental complexe reposant sur des techniques de microfluidique qui permet d'éviter tout ajout d'air non contrôlé dans la cellule d'analyse du rhéomètre. Ceci a nécessité la création d'un système de remplissage, ainsi que d'une géométrie Couette. Ils permettent également d'atteindre des grands nombres capillaires ( $\sim 10$ ) pour des taux de cisaillement raisonnables ( $< 15 \text{ s}^{-1}$ ) où l'huile silicone a un comportement rhéologique relativement newtonien.

Le dispositif expérimental est robuste et donne un contrôle fin de la fraction volumique en air des suspensions. Nous avons pu mesurer l'effet des bulles sur la viscosité pour une fraction volumique très faible de 2%. Les résultats sont en très bon accord avec le modèle proposé par Frankel et Acrivos en 1970 [1] jusqu'à une fraction volumique de 7,5% ; au-delà, l'accord devient moins bon du fait probable de la coalescence des bulles.

## Références

- [1]: Frankel, N. A. & Acrivos, A. 1970. "The constitutive equation for a dilute emulsion". *J. Fluid Mech.* 44, 65-78.
- [2]: Rust, A., Manga, M., 2002b. « Effects of bubble deformation on the viscosity of dilute suspensions ». *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics* 104 (1), 53–63.