

Caractérisation rhéologique des fluides viscoélastiques

Porteur : Eliane Younes (eliane.younes@insa-lyon.fr)

Partenaires : (si applicable)

Laboratoire : CETHIL UMR 5008

Composante : (si applicable)

Nature du financement demandé : Stage de M2

Période : Stage de 5 mois, débutant en février ou mars 2025.

Résumé : (200 mots)

Ce stage a pour objectif de réaliser une caractérisation rhéologique approfondie de fluides viscoélastiques à l'aide de rhéomètres rotatifs et capillaires. Il s'agit d'évaluer l'influence de divers paramètres, tels que la température et la composition, sur les propriétés fondamentales de ces fluides, notamment le temps de relaxation, le module d'élasticité, ainsi que les instabilités observées. Le stage vise également à développer de méthodes efficaces pour la mesure et le calcul des premières et secondes contraintes normales. Ces travaux présentent un fort intérêt industriel, en particulier pour l'optimisation des procédés impliquant des transferts thermiques dans des écoulements de fluides viscoélastiques.

Sujet développé :

Contexte : Les écoulements de fluides viscoélastiques sont présents dans de nombreuses applications industrielles où un contrôle précis de la température est nécessaire, comme dans les systèmes d'injection de polymères fondus, les échangeurs de chaleur, et bien d'autres. Ces fluides présentent un comportement complexe entraînant l'apparition d'instabilités même à de faibles nombres de Reynolds, ce qui favorise les transferts de masse et de chaleur en générant des écoulements secondaires [1]. Une compréhension approfondie du comportement des fluides viscoélastiques en écoulement dans un canal nécessite une caractérisation préalable, réalisée à l'aide de rhéomètres où le fluide est soumis à des contraintes de cisaillement.

Positionnement scientifique : Les fluides viscoélastiques possèdent à la fois des propriétés visqueuses et élastiques, se manifestant par des effets de mémoire (temps de relaxation), un comportement rhéofluidifiant et des différences de contraintes normales sous cisaillement.

L'influence des gradients de température sur le comportement des fluides viscoélastiques reste un domaine d'étude très peu exploré. Ces gradients entraînent des variations locales des propriétés du fluide, telles que la viscosité et l'élasticité, susceptibles d'amplifier les instabilités et de modifier la structure de l'écoulement. Avant d'étudier l'écoulement soumis à des gradients de température, il est essentiel de comprendre son comportement sous des conditions de température homogène, en explorant une large gamme de température [2].

De plus, l'émergence d'instabilités dans certains types d'écoulements viscoélastiques est étroitement liée aux différences de contraintes normales [1]. La première contrainte normale N1 peut être mesurée directement à l'aide d'un rhéomètre en évaluant directement la force normale appliquée. En revanche, la seconde contrainte normale N2, bien que cruciale pour comprendre les écoulements secondaires et les instabilités, demeure difficile à déterminer car son amplitude est bien plus faible que celle de N1. Sa mesure nécessite une adaptation des conditions expérimentales pour favoriser la mise en évidence de N2 [3].

Objectifs du stage : Compte tenu des deux problématiques précédemment décrites, ce stage a pour objectif d'approfondir la compréhension des fluides viscoélastiques à travers une caractérisation rhéologique complète, notamment sous un contrôle précis de la température. Il vise également à développer des méthodes précises pour la mesure et le calcul de la seconde contrainte normale.

Outils : La caractérisation des fluides viscoélastiques sera réalisée à l'aide de rhéomètres rotatifs et capillaires afin de couvrir une large gamme de taux de cisaillement. Ces rhéomètres permettent un contrôle précis de la température. Des essais en cisaillement stationnaire seront réalisés afin d'évaluer la courbe d'écoulement (la viscosité en fonction du taux de cisaillement). Des tests d'oscillations forcées permettront également de mesurer les modules élastiques et visqueux et d'identifier les temps de relaxation. D'autres types de tests pourront également être envisagés.

Missions principales : Le/la stagiaire sera amené(e) à :

- Préparer les fluides viscoélastiques (solutions de polymères ou de micelles).
- Réaliser les essais expérimentaux en rhéologie.
- Analyser l'impact de la formulation (concentration, proportions des composants) et des conditions externes (gradient de température, cisaillement) sur les propriétés rhéologiques des fluides.
- Déterminer le spectre des temps de relaxation.
- Fournir les données rhéologiques nécessaires pour alimenter les simulations numériques en cours au laboratoire.
- Calculer la seconde contrainte normale en ajustant les conditions expérimentales, par exemple en réduisant le taux de cisaillement pour accentuer les contributions de N2 tout en minimisant celles de N1.
- Comparer les résultats expérimentaux aux modèles théoriques (Maxwell, Oldroyd-B, etc.).
- Rédiger un rapport scientifique détaillant les méthodologies employées, présentant et analysant les résultats, et tirant des conclusions.

Laboratoire d'accueil : Ce stage se déroulera au sein du Centre d'Énergétique et de Thermique de Lyon (CETHIL UMR 5008), dont les activités couvrent les domaines de la thermique. Ce projet, axé sur la thermo-rhéologie, se situe donc en étroite adéquation avec les thématiques de recherche du laboratoire, et sera réalisé au sein du thème FPC (Fluides, Polymères et Composites), qui se consacre à l'étude des transferts dans les milieux fluides.

Références :

- [1] D. R. Oliver et al., Laminar-flow non-newtonian heat transfer in flattened tubes, *Can. J. Chem. Eng.*, 49, 236, 1971.
- [2] M. Tassieri et al., i-Rheo: Measuring the materials' linear viscoelastic properties "in a step"!. *J. Rheol.*, 60, 649–660, 2016.
- [3] O. Maklad et al., A review of the second normal-stress difference; its importance in various flows, measurement techniques, results for various complex fluids and theoretical predictions, *J. of Non-Newtonian Fluid Mech.*, 292, 104522, 2021.