

Caractérisation rhéologique des fluides viscoélastiques

Laboratoire : CETHIL UMR 5008

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

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.

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 N_1 peut être mesurée directement à l'aide d'un rhéomètre en évaluant directement la force normale appliquée. En revanche, la seconde contrainte normale N_2 , 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 N_1 . Sa mesure nécessite une adaptation des conditions expérimentales pour favoriser la mise en évidence de N_2 [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.

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

- Préparer les fluides viscoélastiques (solutions de polymères ou de micelles).
- Réaliser des essais expérimentaux (cisaillement stationnaire, oscillations forcées, etc.) en utilisant des rhéomètres rotatifs et capillaires afin de couvrir une large gamme de taux de cisaillement.
- Analyser l'impact de la formulation (concentration, proportions des composants) et des conditions externes (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.

Profil et compétences recherchés :

- Étudiant(e) en Master 2 ou en dernière année d'école d'ingénieur, avec une spécialisation en mécanique des fluides ou en génie des procédés.
- Solides connaissances en mécanique des fluides.
- Intérêt pour l'expérimentation.
- Des connaissances en rhéologie et une expérience précédente en utilisation de rhéomètre sont appréciées.
- Maîtrise de logiciels de traitement de données (Matlab ou Python).
- Aisance dans l'analyse de données et l'interprétation de résultats expérimentaux.
- Bonne maîtrise de l'anglais, notamment pour la rédaction scientifique.

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 sera réalisé au sein du thème FPC (Fluides, Polymères et Composites), qui se consacre à l'étude des transferts dans les milieux fluides.

Modalités de candidature : Merci d'envoyer votre CV, votre lettre de motivation et vos relevés de notes à l'adresse suivante : eliane.younes@insa-lyon.fr.

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.

Rheological characterization of viscoelastic fluids

Context: Viscoelastic fluid flows are present in numerous industrial applications where precise temperature control is required, such as in molten polymer injection systems, heat exchangers, and many others. These fluids exhibit complex behavior that leads to the emergence of instabilities even at low Reynolds numbers, promoting mass and heat transfer by generating secondary flows [1]. A thorough understanding of the behavior of viscoelastic fluids flowing through a channel necessitates prior characterization, which is carried out using rheometers where the fluid is subjected to shear stress.

Viscoelastic fluids exhibit both viscous and elastic properties, manifested through memory effects (relaxation time), shear-thinning behavior, and normal stress differences under shear.

The influence of temperature gradients on the behavior of viscoelastic fluids remains a largely unexplored area of study. Such gradients induce local variations in fluid properties, such as viscosity and elasticity, which may amplify instabilities and alter the flow structure. Before investigating flows subjected to temperature gradients, it is essential to understand their behavior under homogeneous temperature conditions, exploring a wide range of temperatures [2].

Furthermore, the emergence of instabilities in certain types of viscoelastic flows is closely linked to normal stress differences [1]. The first normal stress difference (N1) can be directly measured using a rheometer by evaluating the normal force applied. However, the second normal stress difference (N2), while critical for understanding secondary flows and instabilities, remains challenging to determine due to its much smaller magnitude compared to N1. Measuring N2 requires adapting experimental conditions to enhance its detection [3].

Objectives: Considering the two previously described challenges, this internship aims to deepen the understanding of viscoelastic fluids through comprehensive rheological characterization, particularly under precise temperature control. It also seeks to develop accurate methods for measuring and calculating the second normal stress difference.

Main Tasks: The intern's tasks include:

- Prepare viscoelastic fluids (polymer or micelle solutions).
- Conduct experimental tests (steady shear, forced oscillations, etc.) using rotational and capillary rheometers to cover a wide range of shear rates.
- Analyze the impact of formulation (concentration, component ratios) and external conditions (temperature, shear) on the rheological properties of fluids.
- Determine the relaxation time spectrum.
- Provide the necessary rheological data to support ongoing numerical simulations in the laboratory.
- Calculate the second normal stress difference by adjusting experimental conditions, such as reducing shear rates to enhance N2 contributions while minimizing N1 contributions.
- Compare experimental results with theoretical models (Maxwell, Oldroyd-B, etc.).
- Write a detailed scientific report outlining methodologies, presenting and analyzing results, and drawing conclusions.

Required Skills:

- Second year Master's student or final-year engineering student specializing in fluid mechanics or process engineering.
- Strong knowledge of fluid mechanics.
- Interest in experimental work.
- Knowledge of rheology and prior experience with rheometers is appreciated.
- Proficiency in data analysis software (Matlab or Python).
- Strong skills in data analysis of experimental results.
- Good English level, especially for scientific writing.

Laboratory: This internship will take place at the Centre d'Énergétique et de Thermique de Lyon (CETHIL UMR 5008), whose activities focus on thermal sciences. This project, centered on thermo-rheology, will be carried out within the FPC (Fluids, Polymers, and Composites) theme, which focuses on the study of transfer in fluid media.

To apply: Please send your CV, cover letter, and transcripts to the following address: eliane.younes@insa-lyon.fr.

References :

- [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.