Fluides viscoélastiques : caractérisation rhéologique et mesure des écoulements secondaires

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

Laboratoire : CETHIL UMR 5008

Nature du financement demandé : Stage de M2

Dates : Stage de 5 mois, débutant en février ou mars 2027.

Résumé : (200 mots)

Les écoulements de fluides viscoélastiques sont présents dans de nombreux procédés industriels, notamment dans la coextrusion des polymères ainsi que dans certains mélangeurs et échangeurs de chaleur. Dans les canaux de section non circulaire, leur élasticité peut générer des écoulements secondaires de faible intensité, qui restent encore peu caractérisés expérimentalement.

Ce stage de M2 vise à réaliser une caractérisation quantitative de ces écoulements, en s'appuyant sur des mesures rhéologiques de fluides modèles et des mesures de vitesse par vélocimétrie laser Doppler bidimensionnelle (2D LDV). L'objectif est d'étudier l'influence des propriétés rhéologiques des fluides, notamment de l'élasticité et de la rhéofluidification, sur les caractéristiques des écoulements secondaires. Les résultats fourniront des données expérimentales utiles à la compréhension des mécanismes physiques sous-jacents et à la validation des modèles numériques.

Sujet développé :

Contexte scientifique : Les fluides viscoélastiques sont présents dans de nombreux procédés industriels, notamment dans les secteurs des polymères, de l'agroalimentaire et du génie chimique. Dans les canaux de section non circulaire, les contraintes normales liées à leur élasticité peuvent générer des mouvements transverses à l'écoulement principal, appelés écoulements secondaires [1]. Malgré leur faible intensité, ces mouvements peuvent déformer les interfaces en coextrusion, mais aussi favoriser le mélange et les transferts thermiques dans les mélangeurs et les échangeurs de chaleur [2, 3].

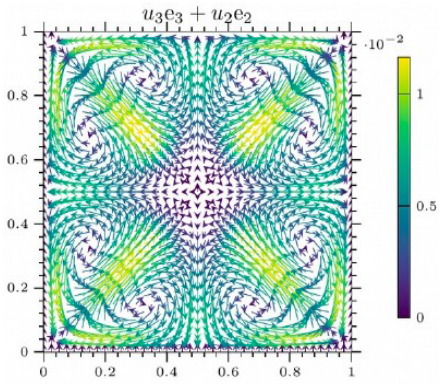


Figure 1 : Simulation numérique 2D des écoulements secondaires. Extrait de la thèse de F.Hagani, INSA Lyon, 2021.

La compréhension de ces phénomènes reste toutefois limitée. Les simulations numériques restent souvent limitées à des fluides faiblement élastiques en raison de problèmes de stabilité à forte élasticité [4], tandis que les mesures expérimentales sont rendues difficiles par des vitesses transverses de l'ordre de 1 % de la vitesse axiale [5]. Les études expérimentales existantes reposent principalement sur des observations indirectes, notamment la déformation des interfaces entre fluides [2], ou sur des mesures ponctuelles de pression, de température

et de vitesse [5]. Ces approches permettent de mettre en évidence la présence des écoulements secondaires, sans toutefois en fournir une caractérisation quantitative détaillée.

Objectifs : L'objectif de ce stage est d'étudier expérimentalement l'influence des propriétés rhéologiques sur le développement des écoulements secondaires dans un canal de section non circulaire.

Méthodologie : Le travail s'articulera autour de deux volets complémentaires.

1. Sélection et caractérisation des fluides viscoélastiques

Une étude bibliographique permettra d'identifier les fluides modèles. Différentes solutions viscoélastiques seront ensuite préparées afin de faire varier de manière contrôlée l'élasticité, la viscosité et le degré de rhéofluidification. Leurs propriétés seront caractérisées à l'aide d'un rhéomètre rotationnel afin de déterminer les paramètres rhéologiques nécessaires à l'analyse des écoulements.

2. Étude expérimentale des écoulements secondaires

La seconde partie du stage sera consacrée à la finalisation, à l'instrumentation et à la validation d'une boucle d'écoulement en canal non circulaire. Les composantes axiale et transverse de la vitesse seront mesurées par vélocimétrie laser Doppler bidimensionnelle (2D LDV). Les expériences seront réalisées pour différents fluides et différentes conditions opératoires afin de quantifier l'intensité des écoulements secondaires, leur développement longitudinal et leur dépendance aux propriétés rhéologiques.

Résultats attendus et perspectives Ce stage permettra de constituer une première base de données expérimentales reliant les propriétés rhéologiques des fluides viscoélastiques à la dynamique des écoulements secondaires. Les résultats contribueront à mieux comprendre les mécanismes physiques en jeu et pourront servir de données de référence pour la validation des simulations numériques. À plus long terme, les résultats pourront contribuer à l'amélioration des procédés industriels impliquant le mélange, la coextrusion et les transferts thermiques.

Laboratoire d'accueil :

Le stage se déroulera au Centre d'Énergétique et de Thermique de Lyon (CETHIL, UMR 5008) de l'INSA Lyon, au sein de l'équipe Fluides, Polymères et Composites (FPC).

Profil recherché :

Le stage s'adresse à un(e) étudiant(e) de Master 2 en mécanique des fluides ou en rhéologie, présentant un intérêt marqué pour le travail expérimental. Il correspond notamment à deux parcours de Master 2 labellisés Graduate+ : **Mécanique des fluides et énergétique (MFE)** et **Génie des procédés physico-chimiques (GPP)**.

Références :

[1] O. Maklad, R. Poole, A review of the second normal-stress difference; its importance in various flows, measurement techniques, results for various complex fluids and theoretical predictions, *J. Non-Newton. Fluid Mech*. 292 (2021) 104522.

[2] Dooley J, Hyun KS, Hughs K. An experimental study on the effect of polymer viscoelasticity on layer rearrangement in coextruded structures. *Polym Eng Sci*. 38 (1998) 1060-1071.

[3] J.P. Hartnett, M. Kostic, Heat transfer to a viscoelastic fluid in laminar flow through a rectangular channel, *Int. J. Heat Mass Transf.* 28 (1985) 1147– 1155.

[4] R. Keunings, On the high Weissenberg number problem, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* 20 (1986) 209-226.

[5] B. Gervang, P.S. Larsen, Secondary flows in straight ducts of rectangular cross section*, J. Non-Newtonian Fluid Mech*. 39 (1991) 217–237.