

Modélisation des interactions fluide-structure dans les systèmes non newtoniens

Contexte:

Les fluides non newtoniens [1, 2] sont d'un grand intérêt pour la recherche scientifique en raison de leur comportement complexe et de leurs propriétés physiques diverses. Contrairement aux fluides newtoniens, les fluides non newtoniens n'obéissent pas à la loi newtonienne classique de la viscosité, où la viscosité reste constante quelle que soit la tension appliquée. Les fluides non newtoniens peuvent être classés en différentes catégories en fonction de leur comportement rhéologique. Les fluides viscoélastiques tels que les gels et les polymères présentent à la fois des propriétés élastiques et visqueuses. Cela signifie qu'il peut se transformer et reprendre sa forme d'origine. Les fluides fluidifiants par cisaillement, tels que les suspensions, les pâtes et les bouillies, diminuent de viscosité avec l'augmentation de la contrainte de cisaillement, ce qui entraîne un écoulement plus régulier. Les propriétés des fluides non newtoniens dépendent de divers facteurs tels que la composition chimique, la concentration en particules, la température et la pression. Cette dépendance rend sa caractérisation et sa modélisation particulièrement compliquées. De nombreuses méthodes expérimentales et théoriques telles que les rhéomètres, les tests de cisaillement, les modèles d'écoulement et les simulations numériques ont été développées pour mesurer et décrire les propriétés rhéologiques des fluides non newtoniens. Les applications des fluides non newtoniens sont diverses et se retrouvent dans de nombreux secteurs industriels et environnementaux. Dans l'industrie, ces fluides sont utilisés comme lubrifiants, épaississants, peintures, adhésifs, produits pharmaceutiques, cosmétiques, etc. Dans l'environnement, ils sont présents dans les boues de forage, les circulations sanguines, le génie géotechnique, les glissements de terrain, etc. L'étude des interactions fluide-structure dans les systèmes non newtoniens est un domaine de recherche en plein essor. Comprendre comment les propriétés rhéologiques des fluides non newtoniens affectent la réponse dynamique des structures solides est important pour de nombreuses applications pratiques. Par conséquent, le développement de techniques de modélisation et de caractérisation de ces interactions sera un aspect central de la recherche dans ce domaine.

Objectif :

Cette thèse se concentre sur la modélisation des interactions fluide-structure dans les systèmes non newtoniens [3, 4, 5]. Comprendre comment les propriétés rhéologiques des fluides non newtoniens affectent la réponse dynamique des structures solides est important pour de nombreuses applications pratiques. Pour modéliser l'interaction des fluides et des structures non newtoniens, il est nécessaire de créer un modèle mathématique prenant en compte à la fois les propriétés du fluide et les propriétés de la structure solide. Ces modèles peuvent être basés sur des équations de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie tout en tenant compte des propriétés rhéologiques des fluides non newtoniens. Des techniques numériques avancées telles que la méthode des volumes finis peuvent être utilisées pour analyser ces modèles et obtenir des prédictions quantitatives du comportement des systèmes structuraux fluides. La méthode FVC [6] permet d'obtenir un schéma simple à implémenter avec une bonne précision et un temps de calcul inférieur par rapport aux autres schémas tel que Rusanov ou Roe [7]. La complexité de l'étude de ces problèmes amène à utiliser des techniques de calcul à haute performance tel que les différents

paradigmes de parallélisation en utilisant la librairie Manapy [8], ainsi que des techniques de raffinement de maillage parallèle [9, 10] pour réduire la taille des systèmes et se focaliser que sur les régions importantes.

En résumé, ce travail porte sur la modélisation des interactions fluide-structure dans les systèmes non newtoniens. L'objectif est de comprendre en profondeur les mécanismes de ces interactions, de fournir des outils de modélisation précis en utilisant la méthode des volumes finis (FVC) couplé à des méthodes de calcul à haute performance comme la programmation parallèle et le raffinement de maillage. Ces progrès contribueront à améliorer la conception et l'optimisation des systèmes de fluides non newtoniens et ouvriront la voie à de nouvelles applications dans divers domaines de l'ingénierie, de la biologie et de la médecine. Les résultats obtenus pourront être comparés à des résultats expérimentaux afin de valider l'approche et offrir un outil de validation pour les méthodes de caractérisation qui seront amenées à être développées.

Références :

[1] Chhabra, R. P. (2010). Non-Newtonian fluids: an introduction. *Rheology of complex fluids*, 3-34.

[2] Feng, L., Liu, F., Turner, I., & Zheng, L. (2018). Novel numerical analysis of multi-term time fractional viscoelastic non-Newtonian fluid models for simulating unsteady MHD

Couette flow of a generalized Oldroyd-B fluid. *Fractional Calculus and Applied Analysis*, 21(4), 1073-1103.

[3] Shahzad, H., Wang, X., Ghaffari, A., Iqbal, K., Hafeez, M. B., Krawczuk, M., & Wojnicz, W. (2022). Fluid structure interaction study of non-Newtonian Casson fluid in a bifurcated channel having stenosis with elastic walls. *Scientific Reports*, 12(1), 12219.

[4] Zippo, A., Iarriccio, G., Bergamini, L., Colombini, E., Veronesi, P., & Pellicano, F. (2023). Fluid-Structure Interaction of a thin cylindrical shell filled with a non-Newtonian fluid. *Journal of Fluids and Structures*, 117, 103829.

[5] Hundertmark-Zaušková, A., Lukáčová-Medvid'ová, M., & Rusnáková, G. (2012). Fluid-structure interaction for shear-dependent non-Newtonian fluids. *Topics in mathematical modeling and analysis*, 7, 109-158.

[6] Fayssal Benkhaldoun, Mohammed Seaïd, A simple finite volume method for the shallow water equations, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Volume 234, Issue 1, 2010, Pages 58-72,

[7] Ziggaf, Moussa et al. "A well balanced fvc scheme for 2d shallow water flows on unstructured triangular meshes." *ArXiv abs/2110.11457* (2021): n. pag.

[8] Moussa, Z., & Imad, K. (2022, July). MPI-Based Simulation of the Shallow Water Model using the Finite Volume Characteristics Scheme. In *2022 6th International Conference on Computer, Software and Modeling (ICCSM)* (pp. 52-57). IEEE.

[9] Kissami, I., Maazioui, S., & Benkhaldoun, F. Parallel Finite Volume Code for Plasma with Unstructured Adaptive Mesh Refinement.

[10] Kavouklis, C., & Kallinderis, Y. (2010). Parallel adaptation of general three-dimensional hybrid meshes. *Journal of Computational Physics*, 229(9), 3454-3473.