

Ondes non linéaires en écoulements en tuyau de fluide rhéofluidifiant : retard à la transition et réduction de frottement

Roland Nicolas¹, Plaut Emmanuel² & Nouar Chérif²

¹ Max Plank Institute for Dynamics and Self-Organization, Bunsenstrasse 10, D - 37073 Göttingen

² Lemta, UMR CNRS - U. Lorraine, 2 avenue de la Forêt de Haye, F - 54516 Vandœuvre-lès-Nancy cedex
emmanuel.plaut@univ-lorraine.fr

Nous nous intéressons à la modélisation de la transition vers la turbulence et de la turbulence modérément développée dans des écoulements en tuyau de fluides non newtoniens. Des expériences [1,2,3] ont montré l'existence d'un retard à la transition, i.e., à l'apparition des « bouffées turbulentes » ('puffs'), dans les fluides non newtoniens. Alors qu'en fluide newtonien les bouffées turbulentes apparaissent à partir d'un nombre de Reynolds Re , basé sur la vitesse débitante et le diamètre, de l'ordre de 2000, en fluide non newtonien elles apparaissent à partir d'un nombre de Reynolds Re_p , basé sur la vitesse débitante, le diamètre et la viscosité à la paroi, de l'ordre de 3000 à 8000. Pour étudier théoriquement ces phénomènes, nous avons choisi de nous focaliser sur le cas de fluides purement visqueux ne présentant aucun effet élastique, à savoir des fluides obéissant à la loi de Carreau [4]. D'autre part, nous avons choisi l'approche par calcul d'ondes non linéaires mise au point, dans le cas d'écoulements en tuyau, par [5,6]. Cette approche, alternative à celle des simulations numériques directes, repose sur un forçage virtuel de l'équation de la quantité de mouvement permettant de déclencher une bifurcation qui, lorsqu'elle est suffisamment sous critique, peut conduire à de nouvelles solutions physiques ondes non linéaires. Ces ondes seraient des précurseurs et supports des bouffées turbulentes [7]. Ainsi leur seuil d'apparition en Reynolds, par des bifurcations nœud-col, serait une estimation par valeur inférieure du Reynolds d'apparition des bouffées turbulentes. Leur coefficient de frottement maximal donnerait aussi l'ordre de grandeur du coefficient de frottement des écoulements turbulents modérément développés.

Nous avons développé un code pseudo spectral de type Petrov-Galerkin pour calculer des ondes non linéaires tridimensionnelles en écoulements en tuyau d'un fluide obéissant à la loi de Carreau [8]. Nous présenterons des résultats récents pour différentes valeurs du nombre d'onde azimutal fondamental, avec optimisation du nombre d'onde axial, qui confirment l'effet de retard à l'apparition des ondes établi dans [8], et montrent de plus un effet de réduction du coefficient de frottement maximal des ondes. On tentera un parallèle entre ce dernier résultat et le fameux effet de réduction de frottement par ajout de polymères dans un fluide newtonien [1]. Ce parallèle ouvre une nouvelle piste pour l'étude théorique de ce phénomène qui reste mal compris : la rhéofluidification pourrait contribuer à la réduction de frottement.

Références

1. M. P. Escudier, F. Presti & S. Smith, Drag reduction in the turbulent pipe flow of polymers, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* **81**, 197 (1999).
2. M. Escudier, R. Poole, F. Presti, C. Dales, C. Nouar, C. Desaubry, L. Graham & L. Pullum, Observations of asymmetrical flow behaviour in transitional pipe flow of yield-stress and other shear-thinning liquids, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* **127**, 143 (2005).
3. M. Escudier, S. Rosa & R. Poole, Asymmetry in transitional pipe flow of drag-reducing polymer solutions, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* **161**, 19 (2009).
4. R. Bird, R. Armstrong & O. Hassager, Dynamics of polymeric liquids. Wiley - Interscience, New-York (1987).
5. H. Faisst & B. Eckhardt, Traveling waves in pipe flow, *Phys. Rev. Lett.* **91**, 224502 (2003).
6. H. Wedin & R. Kerswell, Exact coherent structures in pipe flow : travelling wave solutions, *J. Fluid Mech.* **508**, 333 (2004).
7. F. H. Busse, Visualizing the dynamics of the onset of turbulence, *Science* **305**, 1574 (2004).
8. N. Roland, E. Plaut & C. Nouar, Petrov-Galerkin computation of nonlinear waves in pipe flow of shear-thinning fluids : first theoretical evidences for a delayed transition, *Computers & Fluids* **39**, 1733 (2010).