

Ondes non linéaires en écoulements en tuyau de fluides rhéofluidifiants : mise en évidence d'un effet stabilisant

Nicolas Roland, Emmanuel Plaut & Chérif Nouar

LEMETA, Nancy-Université & CNRS, 2 avenue de la Forêt de Haye, 54516 Vandœuvre cedex, France
emmanuel.plaut@ensem.inpl-nancy.fr

Nous nous intéressons à la modélisation de la transition vers la turbulence dans des écoulements en tuyau de fluides non newtoniens. Des études expérimentales [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. Dans ces expériences, 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. À notre connaissance la seule étude théorique existante est celle des simulations numériques de [4], qui se sont cependant focalisés sur des régimes à nombre de Reynolds élevé, $Re_p > 5200$, pour lesquels on a toujours (dans le cas des fluides étudiés) des bouffées turbulentes, voire même de la turbulence développée. 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.

Nous avons développé un code pseudo spectral de type Petrov-Galerkin, qui représente d'une certaine manière une extension du code [8], pour calculer des ondes non linéaires tridimensionnelles en écoulements en tuyau d'un fluide obéissant à la loi de Carreau. Ce choix d'un fluide purement rhéofluidifiant permet d'éliminer tout effet élastique. Ce code a été validé, et a permis, par continuation à partir de calculs en fluides newtoniens, d'obtenir de premières solutions ondes en fluides de Carreau [9]. L'effet de la rhéofluidification est d'augmenter le Reynolds d'apparition de ces solutions.

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. M. Rudman, H. M. Blackburn, L. J. W. Graham & L. Pullum, Turbulent pipe flow of shear-thinning fluids, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* **118**, 33 (2004).
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. A. Meseguer & F. Mellibosky, On a solenoidal Fourier-Chebyshev spectral method for stability analysis of the Hagen-Poiseuille flow, *App. Num. Math.* **57**, 920 (2007).
9. 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).