

Ondes non linéaires en écoulements en tuyau de fluide fortement rhéofluidifiant : régime asymptotique

Plaut Emmanuel¹, Roland Nicolas² & Nouar Chérif¹

¹ Lemta, UMR CNRS - U. Lorraine, 2 av. de la Forêt de Haye, TSA 60604, F - 54518 Vandœuvre cedex

² Max Plank Institute for Dynamics and Self-Organization, Bunsenstrasse 10, D - 37073 Göttingen

emmanuel.plaut@univ-lorraine.fr

Des expériences étudiant la transition vers la turbulence dans des écoulements en tuyau de fluides non newtoniens [1,2] ont montré l'existence d'un retard à l'apparition des « bouffées turbulentes » ('puffs'). Alors qu'en fluide newtonien elles apparaissent à partir d'un nombre de Reynolds Re , basé sur la vitesse débitante \overline{W} , le diamètre d et la viscosité ν , de l'ordre de 2000, en fluide non newtonien elles apparaissent à partir d'un nombre de Reynolds Re_p , basé sur la viscosité à la paroi ν_p , de l'ordre de 3000 à 8000. Pour modéliser cela, nous avons choisi de nous focaliser sur le cas de fluides purement visqueux ne présentant aucun effet élastique, mais obéissant à la loi de Carreau,

$$\nu = \nu_0 (1 + \lambda^2 D_2)^{(n-1)/2} \quad (1)$$

avec ν_0 viscosité au repos, λ temps caractéristique du fluide, $n < 1$ indice de rhéofluidification, D_2 second invariant du tenseur des taux de déformation. Cette loi est plus régulière qu'une loi de puissance, et l'approche dans le cas, pertinent expérimentalement, λ grand par rapport au temps d'advection. Nous avons choisi le modèle par calcul d'ondes non linéaires mis au point, dans le cas du tuyau, par [3]. Ces ondes seraient précurseurs voire support des bouffées turbulentes [4]. Ainsi leur seuil d'apparition en Reynolds, par bifurcation nœud-col, estimerait par valeur inférieure le Reynolds d'apparition des 'puffs'. Nous utilisons un code pseudo spectral pour calculer les ondes non linéaires, par continuation à partir du cas newtonien [5]. Nous présenterons des résultats pour un nombre d'onde azimuthal fondamental égal à 3, avec optimisation du nombre d'onde axial. Un régime asymptotique est atteint lorsque $\lambda \rightarrow +\infty$: le champ de vitesse de l'onde critique tend vers une limite, de même pour le nombre de Reynolds critique Re_p , qui se trouve dans les intervalles observés expérimentalement. Le calcul de la viscosité moyenne ν_m dans les ondes critiques montre que cette viscosité est la plus pertinente, puisque le nombre de Reynolds construit sur celle-ci reste quasiment indépendant de λ ,

$$Re_m(\lambda) = \overline{W}d/\nu_m \simeq Re(\lambda = 0) = 1251 \quad (2)$$

valeur newtonienne [3]. Cette viscosité ν_m est de l'ordre de grandeur de la viscosité moyenne ν_{mb} dans l'écoulement laminaire de base du fluide en loi de puissance approché lorsque $\lambda \rightarrow +\infty$, calculable analytiquement. Ceci nous permet de proposer une formule analytique pour le Reynolds d'apparition des ondes,

$$Re_p(\lambda \rightarrow +\infty) = (\nu_m/\nu_p) Re_m \simeq 1251 (\nu_{mb}/\nu_p), \quad (3)$$

qui pourrait être utilisée comme estimation par valeur inférieure du seuil de transition.

Références

1. 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).
2. M. Escudier, S. Rosa & R. Poole. Asymmetry in transitional pipe flow of drag-reducing polymer solutions. *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* **161**, 19 (2009).
3. H. Faisst & B. Eckhardt. Traveling waves in pipe flow. *Phys. Rev. Lett.* **91**, 224502 (2003).
4. F. H. Busse. Visualizing the dynamics of the onset of turbulence. *Science* **305**, 1574 (2004).
5. 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).