

Transition vers la turbulence en conduite cylindrique pour un fluide non-Newtonien : Evidence d'un état nonlinéaire stable.

Esmael & Nouar

LEMMA UMR 7563 CNRS Nancy-Université, 2 Avenue de la Forêt de Haye BP 160, 54504
Vandoeuvre-Lès-Nancy.
cherif.nouar@ensem.inpl-nancy.fr

La compréhension des mécanismes de transition vers la turbulence pour un fluide newtonien en écoulement dans une conduite cylindrique a fait l'objet d'un très grand nombre de travaux depuis plus d'un siècle. Cependant, ce n'est que durant cette dernière décennie que des progrès majeurs ont été apportés. En se basant sur le cycle d'auto-entretien de la turbulence (Self-Sustaining-Process) proposé par Waleffe [1], une nouvelle classe de solutions numériques des équations de Navier-Stokes a été découverte [2], [3]. Ces solutions se présentent sous forme d'ondes non linéaires périodiques en azimut et dans la direction axiale. Elles forment une base de structures cohérentes sur laquelle la transition s'organise. Elles apparaissent par une bifurcation noeud-col et sont immédiatement instables. Concernant la transition vers la turbulence de fluides non newtoniens, très peu de travaux existent dans la littérature. En 1996, Escudier et Presti [5] ont publié un article où ils décrivent l'évolution de la structure de l'écoulement d'une suspension de Laponite (fluide à seuil thixotrope) dans une conduite cylindrique. Ils font état d'une asymétrie des profils de vitesse dans toute la phase de transition. De manière indépendante, cette asymétrie a été confirmée par Peixinho *et al.* [6] en utilisant une installation expérimentale et un fluide à seuil différents de ceux considérés dans [5]. L'analyse des résultats expérimentaux montre que cette asymétrie des profils de vitesse résulte d'un mécanisme physique qui n'est pas encore identifié plutôt que d'un artefact expérimental. Afin de donner une interprétation tridimensionnelle à cette asymétrie, des profils de vitesse axiale ont alors été mesurés le long d'une conduite cylindrique et à différentes positions azimutales, suivis d'une analyse statistique des fluctuations de la vitesse. Le fluide utilisé est une solution aqueuse de Carbopol 940 (fluide à seuil rhéofluidifiant). L'analyse des profils de vitesse axiale met en évidence l'existence d'une structure cohérente nonlinéaire caractérisée par deux rouleaux longitudinaux contra-rotatifs. Ce nouvel état nonlinéaire, intermédiaire entre les régimes laminaire et turbulent est similaire qualitativement aux structures cohérentes (instables) calculées numériquement par [7]. En outre, cet état non linéaire stable se comporte comme un attracteur local dans l'espace des phases. Lorsque le nombre de Reynolds augmente, le bassin d'attraction de cet état asymétrique augmente, et rediminue par la suite. Ce scénario diffère complètement de ce qui est observé en fluides newtoniens.

Références

1. F. WALEFFE, On a self-sustaining process in shear flow, *Phys. Fluids*, **9** 883-900 (1997).
2. H. FAISST & B. ECKHARDT, Travelling waves in pipe flow, *Phys. Rev. Lett.*, **91** (22) 224502 (2003).
3. H. WEDIN & R. R. KERSWELL, Exact coherent structure in pipe : travelling wave solutions. *J. Fluid. Mech.*, **508** 333-371 (2004).
4. B. HOF, C. W. H. VAN DOORNE, J. WESTERWEEEL, J. NIEUWSTADT, H. FAISST, B. ECKHARDT, H. WEDIN, R. R. KERSWELL & F. WALEFFE, Experimental observations of nonlinear travelling waves in turbulent pipe flow. *Science*, **305** 1594-1598 (2004).
5. M. P. ESCUDIER & F. PRESTI, Pipe flow of thixotropic liquid. *J. non-Newtonian Fluid Mech.*, **62** 291-306 (1996).
6. J. PEIXINHO, C. NOUAR & B. THÉRON, Laminar transitional and turbulent flow of yield stress fluid in a pipe. *J. non-Newtonian Fluid Mech.*, **128** 2-3 172-184 (2005).
7. C.C.T. PRINGLE & R.R. KERSWELL, Asymmetry, helical, and mirror-symmetric traveling waves in pipe flow. *Phys. Rev. Lett.*, **99** 074502 (2007).