

Instabilité viscoélastique : analogie avec l'instabilité magnéto-rotationnelle

Yang BAI, Olivier CRUMEYROLLE & Innocent MUTABAZI

Laboratoire Ondes et Milieux Complexes, UMR 6294, CNRS-Université du Havre, 76058 Le Havre Cedex
 innocent.mutabazi@univ-lehavre.fr

L'instabilité magnéto-rotationnelle d'un fluide conducteur dans un champ magnétique a fait l'objet de plusieurs études théoriques depuis que Balbus et Hawley [1] ont montré qu'elle était l'un des mécanismes susceptibles d'expliquer le transport de moment turbulent dans les disques d'accrétion astrophysiques. De récents travaux d'Ogilvie et collaborateurs [2,3] ont ouvert une possibilité de réalisation d'une expérience analogique permettant d'illustrer l'instabilité magnéto-rotationnelle en utilisant les liquides viscoélastiques. En effet, l'étirement de longues chaînes polymériques est équivalent à l'étirement des lignes de champ magnétique ; et les équations décrivant les écoulements des liquides viscoélastiques dans le modèle d'Oldroyd-B sont les mêmes que celles de la magnétohydrodynamique dans la limite des grands nombres de Weissenberg Wi et de Reynolds magnétique Rm . Boldyrev [4] ont mené une expérience préliminaire mais dans les conditions éloignées de la théorie développée par Ogilvie et al. [3].

Nous rapportons les résultats d'une étude systématique expérimentale et théorique de l'instabilité d'un liquide viscoélastique (de masse volumique ρ et de viscosité μ_0) dans le système de Couette-Taylor de longueur L et de largeur d lorsque les deux cylindres de rayons a et $b = a + d$ sont en corotation de type Keplérien avec des vitesses angulaires Ω_1 et Ω_2 respectivement. Nous avons utilisé des solutions de polymères avec des temps de relaxation λ qui ont une viscosité totale quasi-constante vis-à-vis du cisaillement, mimant le modèle d'Oldroyd-B. Les paramètres de contrôle variables du système sont le nombre de Taylor $Ta = [\rho|\Omega_1 - \Omega_2|ad/\mu](d/a)^{1/2}$, le nombre élastique $E = \lambda\mu/(\rho d^2)$ et le rapport des viscosités $S = \mu_p/mu_0$ où μ_p est la contribution du polymère à la viscosité du solvant. L'expérience est menée dans un système de rapport d'aspect $\Gamma = L/d = 45$ et de rapports de rayons $\eta = a/b = 0.8$.

Pour chaque solution de polymère, nous avons détecté l'apparition d'une instabilité et mesuré les principaux paramètres caractérisant le motif correspondant : valeur seuil de Ta , spectre de longueur d'onde et de fréquence. Une étude de stabilité linéaire a permis de déterminer les différents seuils d'instabilité pour différentes solutions étudiées et un diagramme d'états critiques $Ta_c(E)$ a été établi. Les principaux résultats obtenus sont les suivants : lorsque les cylindres sont en corotation Keplérienne, au delà d'une certaine élasticité, l'écoulement devient instable ; la nature de l'instabilité dépend de la valeur du nombre élastique E et du rapport des viscosités S . Pour de valeurs de $E > 1$, l'instabilité est de nature purement élastique avec un large spectre de nombres d'onde et de fréquences. Pour de faibles valeurs de E , l'instabilité se manifeste soit sous forme de vortex axisymétriques oscillants ou de vortex non axisymétriques oscillants.

Une analyse théorique a permis d'étendre le modèle d'Ogilvie par la généralisation du critère de stabilité de Rayleigh aux fluides viscoélastiques, ainsi que la construction de champs de vecteurs à partir du tenseur de contraintes viscoélastiques, lesquels champs de vecteurs jouent le rôle analogue de celui du champ magnétique. Cette extension a permis de considérer que les vortex asisymétriques observés dans l'expérience sont les analogues de l'instabilité magnéto-rotationnelle azimutale alors que les vortex non axisymétriques seraient les analogues de l'instabilité magnéto-rotationnelle hélicoïdale.

Références

1. S.A. BALBUS AND J.F. HAWLEY, *Rev. Mod. Phys.*, **70**, 1 (1998).
2. G.I. OGILVIE AND A. T. POTTER, *Phys. Rev.Lett.*, **100**, 074503 (2008).
3. G.I. OGILVIE AND M.R.E. PROCTOR, *J. Fluid Mech.*, **476**, 389 (2003).
4. S. BOLDYREV, D.HUYNH AND V. PARIEV, *Phys.Rev. E*, **80**, 066310 (2009).