



Ecole doctorale régionale Sciences Pour l'Ingénieur Lille Nord-de-France - 072



Titre : Convection mixte de fluides viscoélastiques : effets combinés de la thermodiffusion et de la dissipation visqueuse.

Title : Mixed convection of viscoelastic fluids : combined effects of thermodiffusion and viscous dissipation.

Financement prévu : nom Université/Ecole ou Région et/ou nom organisme (CNRS, Inserm, etc.) ou autre

Cofinancement éventuel : Université de Lille

(Co)-Directeur de thèse : OUARZAZI Mohamed Najib

E-mail : mohamed-najib.ouarzazi@univ-lille1.fr

Co-directeur de thèse : HIRATA Silvia

E-mail : silvia.hirata@univ-lille.fr

Laboratoire : Unité de Mécanique de Lille, EA 7512

Equipe : Mécanique des Fluides

Descriptif :

Les problèmes de convection mixte concernent les écoulements pleinement développés dans des conduits horizontaux, qui résultent de la superposition d'un gradient de pression horizontal et d'un gradient de température vertical. La convection mixte de fluides Newtoniens a été largement étudiée. Dans les dernières décennies, la communauté scientifique a fait preuve d'un intérêt croissant pour la convection mixte des fluides non-Newtoniens, principalement en raison de ses nombreuses applications telles que la biorhéologie, la géophysique, l'industrie chimique et l'extraction du pétrole.

L'analyse de stabilité linéaire de la convection naturelle de fluides viscoélastiques suggère que la première bifurcation à se produire peut être oscillatoire (bifurcation de Hopf) au lieu de stationnaire (bifurcation de pitchfork), pour un certain niveau d'élasticité du fluide. Ce type d'instabilité viscoélastique est habituellement observée dans des solutions polymériques diluées, constituées d'un solvant Newtonien et d'un soluté polymérique. Ces solutions peuvent être très élastiques et, en même temps, présenter une viscosité essentiellement constante, et sont donc bien représentées par le modèle constitutif d'Oldroyd-B. Le caractère oscillatoire de la convection naturelle des fluides viscoélastiques a été confirmée par les résultats expérimentaux de Kolodner [1] avec des suspensions d'ADN. Cependant, les fréquences critiques mesurées se trouvent deux ou trois ordres de grandeur inférieures à celles prédites par la théorie. Kolodner avait suggéré qu'une possible origine de cette différence serait liée au caractère binaire du fluide où baignent ces suspensions d'ADN. C'est pourquoi Delenda, Hirata & Ouarzazi [2] ont étudié les instabilités primaires et secondaires des fluides viscoélastiques en milieux poreux en tenant compte du couplage entre les effets thermiques et solutaux (effet Soret) inhérent aux mélanges fluides.



Par ailleurs, en présence de gradients de pression suffisamment élevés, la dissipation visqueuse peut induire des effets drastiques sur le comportement linéaire et non linéaire des fluides non-Newtoniens, et en particulier des fluides viscoélastiques. La thèse de Réquile [3] a contribué de manière significative à l'analyse théorique du rôle joué par la dissipation visqueuse comme une source possible d'instabilité thermoconvective.

Le sujet proposé concerne l'étude de stabilité des écoulements de convection mixte d'un fluide viscoélastique avec prise en compte des effets combinés de la thermodiffusion et de la dissipation visqueuse. Le comportement rhéologique du fluide viscoélastique sera décrit par le modèle d'Oldroyd-B. Le couplage entre les gradients locaux de concentration et de température en présence de la dissipation visqueuse sera pris en compte dans l'analyse de stabilité linéaire et non linéaire. Les similitudes et différences observées entre la dynamique des fluides viscoélastiques et celle des fluides Newtoniens seront mises en évidence.

[1] P. Kolodner: Oscillatory convection in viscoelastic DNA suspensions. *J. Non-Newtonian Fluid Mechanics* 75 (2-3), 167-192, (1998)

[2] N. Delenda, S.C. Hirata et M.N. Ouarzazi, Primary and secondary instabilities of viscoelastic mixtures saturating a porous medium : Application to separation of species, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, vol. 181-182, pp. 11-21, 2012

[3] Y. Requile, (thèse en cours), Effets de la dissipation visqueuse sur la convection des écoulements de Rayleigh-Bénard-Poiseuille/Couette de fluides Newtoniens ou viscoélastiques



Mixed convection of viscoelastic fluids: Combined effects of thermodiffusion and viscous dissipation.

The mixed convection problem consists of a fully-developed flow in horizontal ducts, which results from the superposition of a horizontal pressure gradient and a vertical temperature gradient. Mixed convection in pure Newtonian fluids has been extensively investigated in the past. Additionally interest in the similar problem for non-Newtonian fluids flows has also grown considerably, due largely to its demands in diverse areas as biorheology, geophysics, chemical industries and oil extraction.

The linear stability analysis of natural convection of viscoelastic fluids suggests that the first bifurcation to occur can be oscillatory (Hopf bifurcation) instead of stationary (pitchfork bifurcation), for a certain level of the fluid elasticity. This type of viscoelastic instability is usually observed in dilute polymer solutions, consisting of a Newtonian solvent and a polymeric solute. Such solutions can be highly elastic and instead present an essentially constant viscosity, and therefore are well represented by the Oldroyd-B constitutive model. The oscillatory character of natural convection was confirmed by the experimental results of Kolodner [1] with DNA suspensions. However, the measured critical frequencies are found two or three orders of magnitude smaller than those predicted by theory. Kolodner suggested that a possible origin of this discrepancy would be related to binary fluid aspects and their inherent Soret effect. This is why Delenda, Hirata and Ouarzazi [2] investigated the onset of the three-dimensional primary and secondary instabilities of viscoelastic fluids in porous media by taking into account the influence of Soret effect.

The non-Newtonian fluids in general, and the viscoelastic fluids in particular, may display important effects of viscous dissipation when flowing under intense pressure gradients. The PhD thesis of Y. Réquile [3] focused on this topic. A sensible improvement in the analysis of dissipation-induced instability in porous media has been achieved through the recent collaboration between Bologna University team and our team. This fruitful interaction has led to the development of new knowledge on the onset of convective instability caused by viscous dissipation in a porous medium saturated by a viscoelastic fluid.

The present PhD proposal is an extension of the preceding investigations to the linear and nonlinear behavior of mixed convection viscoelastic flows by taking into account both viscous dissipation and Soret effects. The objective of this thesis is to establish analytically and numerically the stability conditions to discriminate between convective or absolute nature of the instability. In nonlinear regime, we evaluate the three-dimensional convective solutions, including finite-amplitude results, and estimate the convective rate of heat and mass transfer. The viscoelastic fluids may be pure fluids or binary mixtures with the inherent coupling between thermal and solutal effects. Similarities and differences between viscoelastic and Newtonian fluids dynamics will be highlighted.



- [1] P. Kolodner: Oscillatory convection in viscoelastic DNA suspensions. *J. Non-Newtonian Fluid Mechanics* 75 (2-3), 167-192, (1998)
- [2] N. Delenda, S.C. Hirata et M.N. Ouarzazi, Primary and secondary instabilities of viscoelastic mixtures saturating a porous medium : Application to separation of species, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, vol. 181-182, pp. 11-21, 2012
- [3] Y. Requile, (thèse en cours), Effets de la dissipation visqueuse sur la convection des écoulements de Rayleigh-Bénard-Poiseuille/Couette de fluides Newtoniens ou viscoélastiques