

ED SMAER

Sujet de thèses 2014

Laboratoire : **FAST**

Etablissement de rattachement : UPMC

Directeur de thèse et section CNU ou CNRS : Béatrice GUERRIER (CNRS 10)

Codirection et section CNU ou CNRS : Georg Dietze (CNRS 10), Sophie Mergui (CNU 60)

Titre de la thèse : **Etude expérimentale de l'instabilité Poiseuille-Rayleigh-Bénard d'un fluide à rhéologie complexe.**

Collaborations dans le cadre de la thèse : LEMTA (Nancy), LMFA (Lyon)

Rattachement à un programme :

Le sujet peut être publié sur le site web de l'ED SMAER : OUI ~~NON~~ .

Résumé du sujet :

L'écoulement d'un fluide au sein d'un canal horizontal chauffé par le bas, appelé écoulement de Poiseuille-Rayleigh-Bénard (PRB), devient instable lorsque la différence de température imposée dépasse une valeur critique. Cette instabilité se manifeste par l'apparition de rouleaux thermoconvectifs orientés soit dans la direction transverse à l'écoulement et advectés vers l'aval, soit dans le sens de l'écoulement, produisant des motifs réguliers stationnaires qui conditionnent l'homogénéité et l'intensité des transferts de chaleur au sein du système. Pour différentes situations industrielles (transport de fluides alimentaires) ou géologiques (coulées de lave), la prédiction de ces différents régimes est un enjeu important. Il existe de nombreuses études portant sur les fluides Newtoniens à viscosité constante. Cependant, les applications mentionnées font en général intervenir des fluides à rhéologies complexes qui modifient fondamentalement la stabilité de l'écoulement.

Dans le cadre de ce projet doctoral, on se propose d'étudier pour la première fois par voie expérimentale l'écoulement « Poiseuille-Rayleigh-Bénard » à l'aide soit de fluides Newtoniens à viscosité fortement thermovisible, soit de fluides non-Newtoniens viscoplastiques, caractérisés par l'existence d'une contrainte seuil d'écoulement et par un comportement rhéofluidifiant (décroissance de la viscosité avec le cisaillement).

L'identification de conditions critiques d'instabilité se développant dans le système soumis à différents types de perturbations ainsi que la morphologie non-linéaire des structures thermoconvectives seront entreprises à l'aide de mesures optiques de vitesse (PIV) et de température (cristaux liquides), ainsi que par des visualisations par ombroscopie. L'importance du glissement pariétal et les déformations élastiques pouvant intervenir dans la zone solide des matériaux viscoplastiques seront quantifiées.

Sujet développé

Aucune étude expérimentale d'un écoulement PRB de fluide Newtonien à forte viscosité thermovisible ou non-Newtonien viscoplastique n'a été menée jusqu'à présent. En revanche, des études théoriques ont été entreprises dans la configuration PRB ainsi que dans la configuration apparentée « Rayleigh-Bénard ». Ces études ont mis en évidence certains comportements spécifiques aux fluides non-Newtoniens nécessitant une validation expérimentale.

Métivier et al. (2009) ont étudié la stabilité linéaire d'un écoulement PRB de fluide de Bingham et identifié un effet stabilisateur de la contrainte seuil ainsi qu'une discontinuité vis-à-vis du comportement Newtonien quand cette contrainte tend vers zéro. Une analyse non-linéaire ultérieure (Métivier et al., 2009) a montré que le seuil critique de l'instabilité est modifié si l'écoulement de base est perturbé par des perturbations d'amplitude finie. Ceci rejoint les observations d'instabilité sous-critique de Zhang et al. (2006) dans le cas d'un écoulement Rayleigh-Bénard. Métivier et Nouar (2009) ont également montré qu'une thermovisibilité de la viscosité déstabilise davantage l'écoulement PRB.

Par ailleurs, les analyses de stabilité menées jusqu'à présent sont sans exception bidimensionnelles et ne permettent donc pas de déterminer la transition entre rouleaux transversaux et longitudinaux. De plus, ces analyses ne permettent pas de prédire la morphologie non-linéaire saturée des rouleaux thermoconvectifs.

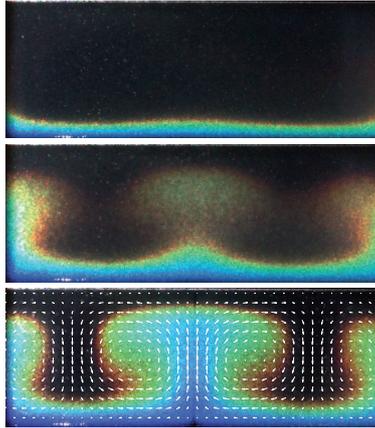
L'étude du comportement non-linéaire de l'écoulement à l'aide de simulations numériques directes s'avère également difficile vis-à-vis de la prise en compte de la rhéologie de fluides viscoplastiques.

Enfin, les fluides à seuil ou fluides viscoplastiques réels sont caractérisés par trois propriétés rhéologiques (élasticité de la phase solide, comportement rhéofluidifiant, glissement pariétal) qui ne sont pas prises en compte dans les analyses théoriques et qui sont susceptibles d'influencer non seulement la stabilité linéaire mais aussi le comportement non-linéaire d'un écoulement PRB.

Ainsi, afin de répondre aux questions ouvertes posées par les travaux théoriques et de valider les analyses de stabilité linéaire mentionnées ci-dessus, il s'avère indispensable de réaliser des expériences PRB au sein de fluides « réels » à rhéologie complexe.

Déroulement du travail et approche envisagée :

La complexité de la rhéologie du fluide d'étude sera augmentée progressivement en étudiant successivement: (i) des fluides Newtoniens à forte viscosité thermovisible (sirops de glucose) et (ii) des fluides non-Newtoniens avec des propriétés viscoplastiques de plus en plus marquées (suspensions aqueuses de gels de Carbopol de concentration croissante). Afin de caractériser expérimentalement les écoulements rencontrés, il est proposé de mesurer les champs de vitesse et de température ainsi que de visualiser les rouleaux thermoconvectifs et les phases fluide/solide par méthodes optiques peu intrusives.



Visualisation du développement des champs de température dans une expérience Rayleigh-Bénard grâce à l'utilisation de cristaux liquides

Trois étapes seront envisagées: (1) le canal d'essai sera dimensionné, construit et mis au point. Les propriétés rhéologiques des fluides seront caractérisées. (2) il s'agira ensuite de visualiser les rouleaux thermoconvectifs par ombroscopie. Ceci permettra d'obtenir des informations qualitatives sur le comportement du système, comme la transition entre rouleaux transversaux et rouleaux longitudinaux, et permettra d'identifier des phénomènes à étudier plus en détail à l'aide des méthodes de mesures quantitatives ; (3) les mesures de vitesse par PIV et de température par « Liquid Crystal Thermometry » (LCT) seront mises au point et exploitées.

Profil du candidat recherché :

Le candidat devra avoir des connaissances avancées en mécanique des fluides et instabilités hydrodynamiques, avec un goût avéré pour les études expérimentales.

Bibliographie

- Métivier, C.; Frigaard, I. A. et Nouar, C.: Nonlinear stability of the Bingham Rayleigh-Bénard Poiseuille flow. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics* **2009**, 158, 127-131.
- Métivier, C. et Nouar, C.: Linear stability of the Rayleigh-Bénard Poiseuille flow for thermodependent viscoplastic fluids. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics* **2009**, 163, 1-8.
- Métivier, C. et Nouar, C. & Brancher, J.-P.: Linear stability involving the Bingham model when the yield stress approaches zero. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics* **2009**,
- Zhang, J.; Vola, D. & Frigaard, I. A.: Yield stress effects on Rayleigh-Bénard convection. *Journal of Fluid Mechanics* **2006**, 566, 389-419.