

## SFT day, November 19th, Paris: a brief summary and concluding words

The event has been organised in two distinct sessions (morning, afternoon) each followed by a brief discussion involving all participants.

The three papers presented during the morning session have dealt with convective instabilities in non Newtonian fluids (namely yield stress and shear thinning) covering theoretical (hydrodynamic stability), numerical and experimental aspects. A number of conclusions regarding this topic has been outlined during the discussions session:

- the need to better “synchronise” the numerical/theoretical studies with the experiments in terms of choosing comparable conditions (size of the systems, boundary conditions, rheological properties of the fluids)
- the need to agree on rheological models that describe the non Newtonian fluid behaviour
- the need to account for a proper thermo-rheological behaviour of the material
- the need to further the existing (but limited!) body of experimental data

The afternoon session generally dealt with the rather general topics of heat, mass and momentum transfer in complex fluids enhanced by inertial turbulence, chaotic advection and elastic turbulence. As in the morning session, the five papers presented in the afternoon session covered a broad range of aspects (numerical, experimental, shear thinning fluids at high Reynolds numbers, suspensions, viscoelastic fluids, geophysical flows).

The closing words of this last session and of the event have clearly highlighted the scientific diversity of the topics as well as the need to reinforce the collaborations/interactions within the “Transfer Phenomena in Complex Fluids” community.

Teo Burghelea, Yves Le Guer and Cathy Castelain

November 20<sup>th</sup>, 2015



# SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE THERMIQUE

## Groupe «Modes de Transfert : Convection»

Journée Thématique organisée par :  
Teo(dor) BURGHELEA, Cathy CASTELAIN, Yves LE GUER

**Jeudi 19 novembre 2015**

(Accueil à partir de 9h)

à

Espace Hamelin, 17 rue Hamelin, Paris 16 (métro Boissière ou Iéna)

## Programme de la journée

**9h30** Accueil des participants – café.

**10h** Présentation de la journée, "tour de table".

### Session du matin (animateur : Teo Burghilea)

**10h15** "Convection de Rayleigh-Bénard pour des fluides complexes: Influence de la rhéofluidification sur la nature de la bifurcation et la sélection du motif de convection." M. Bouteraa, C. Nouar, C. Métivier, E. Plaut et M. Jenny, Laboratoire LEMTA, UMR 7563 CNRS – Université de Lorraine.

*A linear and weakly nonlinear analysis of convection in a layer of shear-thinning fluids between two horizontal plates heated from below is performed. The objective is to examine the effects of the nonlinear variation of the viscosity with the shear rate on the nature of the bifurcation, the planform selection problem between rolls, squares and hexagons, and the consequences on the heat transfer coefficient. Navier's slip boundary conditions are used at the top and bottom walls. The shear-thinning behavior of the fluid is described by the Carreau model. By considering an infinitesimal perturbation, the critical conditions, corresponding to the onset of convection, are determined. At this stage, non-Newtonian effects do not play. The critical Rayleigh number decreases and the critical wave number increases when the slip increases. For a finite amplitude perturbation, nonlinear effects enter in the dynamic. Analysis of the saturation coefficients at cubic order in the amplitude equations shows that the nature of the bifurcation depends on the rheological properties, i.e. the fluid characteristic time and shear-thinning index. For weakly shear-thinning fluids, the bifurcation is supercritical and the heat transfer coefficient increases, as compared to the Newtonian case. When the shear-thinning character is large enough, the bifurcation is subcritical, pointing out the destabilizing effect of the nonlinearities arising from the rheological law. Departing from the onset, the weakly nonlinear analysis is carried out up to fifth order in the amplitude expansion. The flow structure, the modification of the viscosity field and the Nusselt number are characterized. The competition between rolls, squares and hexagons is investigated. Unlike Albaalbaki and Khayat (J. Fluid. Mech. 2011), it is shown that in the supercritical regime, only rolls are stable near onset.*

**10h45** "Rayleigh - Bénard convection in viscoplastic and/or shear thinning fluids : scaling properties, cross-over from supercritical to subcritical behaviour", C. Castelain, Z. Kebiche et T. Burghilea Laboratoire LTN, UMR 6607 CNRS – Université de Nantes.

*L'objectif de ce travail est l'étude expérimentale de la convection de Rayleigh-Bénard dans les fluides rhéofluidifiants et à seuil, et plus précisément, l'influence des paramètres rhéologiques (la thermodépendance, le degré de rhéofluidification, la vitesse de cisaillement critique, la contrainte seuil) sur le déclenchement et l'évolution de l'instabilité thermoconvective. Les principales difficultés proviennent des comportements non linéaires des fluides dont les propriétés peuvent varier avec le taux de cisaillement. Le dispositif expérimental est constitué d'une cavité parallélépipédique à fort rapport d'allongement. La fiabilité du système expérimental et des techniques de mesure ont été démontrés par la caractérisation de la convection de Rayleigh-Bénard dans un fluide newtonien (Glycérine). La transition vers les états convectifs a été observée à 3 % de la valeur du nombre de Rayleigh théorique avec une bifurcation supercritique avec un accord complet avec les prédictions théoriques et les études expérimentales précédentes.*

*Les fluides de travail sont des solutions de CMC de différents degrés de substitution et des solutions de Carbopol 980 pour différentes concentrations. Pour différentes puissances de chauffe  $P$ , en combinant les mesures des différences de température entre les deux plans horizontaux parallèles, et la mesure locale du champ de vitesse au sein du fluide (par DPIV), deux régimes distincts ont été observés. Pour des puissances de chauffe inférieures à une valeur critique  $P_c$ , un régime de conduction pure est observé. Une augmentation progressive de la puissance de chauffe au-delà de ce seuil révèle l'apparition d'un régime convectif qui se manifeste par une dépendance non linéaire du gradient de température avec la puissance de chauffe. En parallèle de cette observation, les mesures locales du champ de vitesse permettent aussi d'étudier la nature de la bifurcation vers le régime convectif. Les résultats obtenus sont comparés à ceux existant dans la littérature dans le cas de fluides newtonien, rhéofluidifiant et à seuil. Dans le cas des fluides à seuil étudiés durant cette étude, le passage à la convection Rayleigh-Bénard dans divers gels Carbopol a été observé comme une bifurcation imparfaite (super-critique), et l'instabilité est apparue sans perturbation externe. Dans le cas des fluides rhéofluidifiants, modélisés rhéologiquement par la loi de Carreau, la nature de la bifurcation peut changer en fonction de l'indice de rhéofluidification et la vitesse de cisaillement critique. L'accord avec la théorie n'est que qualitatif, et les contraintes rhéologiques expérimentales (couplage fort entre l'indice de rhéofluidification et la vitesse de cisaillement critique) ne permettent pas un balayage total de tout le domaine. Une autre difficulté réside dans la modélisation de la rhéologie avec le modèle de Carreau, ou le modèle d'Herschel-Buckley ou de Bingham, et la thermodépendance des propriétés thermophysiques. Les travaux en cours portent sur ces différents points et sur un élargissement de la gamme étudiée pour mieux cerner expérimentalement la zone de changement de la nature de la bifurcation.*

**11h15** "Simulations numériques d'instabilités thermo-convectives de fluides à seuil (modèle de Bingham) " par Méthode Asymptotique Numérique", M. Médale et B. Cochelin Laboratoire IUSTI, UMR 7343 CNRS-Université Aix-Marseille.

*Je présenterai dans cet exposé un modèle numérique permettant de déterminer des diagrammes de bifurcation pour des écoulements tridimensionnels de fluides à seuil en convection naturelle. Le modèle rhéologique est celui d'un fluide de Bingham, sous l'approximation de Boussinesq. Le modèle numérique développé résout les équations couplées de Navier-Stokes incompressible et de l'énergie, par une formulation éléments finis pénalisée et régularisée. La méthode de continuation est basée sur la Méthode Asymptotique Numérique dans laquelle la localisation des points de bifurcations est obtenue par analyse des séries à chaque pas de continuation [1,2]. La validation du modèle numérique a été effectuée sur plusieurs cas tests. Ce modèle numérique a ensuite été utilisé pour étudier les écoulements de convection naturelle d'un fluide à seuil confiné dans un récipient parallélépipédique de rapports d'aspect  $L/h=10$  et  $l/h=4$ , en configuration de Rayleigh-Bénard. Nous avons déterminé les valeurs des premiers points de bifurcation stationnaires, ainsi les modes de bifurcation associés, pour plusieurs valeurs du nombre de Bingham.*

[1] B. Cochelin and M. Medale, Power series analysis as a major breakthrough to improve the efficiency of Asymptotic Numerical Method in the vicinity of bifurcations, *Journal of Computational*

*Physics, Vol. 236, pp. 594-607, 2013.*

[2] M. Medale and B. Cochelin, *High performance computations of steady-state bifurcations in 3D incompressible fluid flows by Asymptotic Numerical Method, Journal of Computational Physics, Vol. 299, pp. 581-596, 2015.*

### **11h45 – 12h30 Discussions**

**12h30 - 14h** Déjeuner pris sur place.

## **Session de l'après-midi (animateur : Cathy Castelain)**

**14h** " *Large-Eddy Simulation of fully developed turbulent pipe flow and heat transfer of power law fluids*", P. Gnambo, P. Orlandi\*, M. Ould-Rouis et X. Nicolas, Laboratoire Modélisation et Simulation Multi Echelle (MSME), UMR 8208 CNRS - Université Paris-Est / Marne-la-Vallée, \* Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale, Università La Sapienza, Rome, Italy.

*Fully developed turbulent pipe flows of power law fluids have been numerically explored, using large eddy simulation (LES) with a dynamic subgrid-scale model and the non-newtonian Smagorinsky model developed by Ohta and Miyashita (2014). The accuracy and effectiveness of the two LES approaches for predicting the turbulent pipe flow of power-law fluids have been investigated. The present LES predictions agree quite well with the available experimental and numerical results of the literature. The influence of the Reynolds number ( $4000 \leq Re \leq 12000$ ) and power law index ( $0.5 \leq n \leq 1.4$ ) on the velocity field have been particularly examined. The log-region of the mean velocity profile is more expanded with decreasing  $n$  and increasing  $Re$ . The friction factor for  $n < 1$  is slightly overestimated by our LES in comparison with Dodge and Metzner (1959) correlation, but it agrees well with Gomes (1987) correlation. With increasing  $n$ , the apparent viscosity increases close to the wall and decreases for  $y^+ > 30$ . This implies that the turbulent fluctuations develop and are more intense further from the wall when  $n > 1$  and closer to the wall when  $n < 1$ . Visualizations of the instantaneous filtered velocity fields exhibit turbulent patterns which develop more as  $n$  increases. The influence of  $Re$  and  $n$  on the kinetic energy and the higher-order statistics (skewness and flatness) is discussed. LES of the turbulent heat transfer in pipe flows under isoflux conditions have also been performed. Different statistical turbulence quantities, including the mean and fluctuating temperatures, the heat transfer coefficients and the turbulent heat fluxes have been analyzed.*

**14h30** "*Mélange dans les suspensions cisailées*", M. Souzy, E. Villiermaux, N. C. Abid et B. Metzger, Laboratoire IUSTI, UMR 7343 CNRS-Université Aix-Marseille.

*Mixing occurs spontaneously in sheared suspensions, even at low Reynolds number. Under flow, successive collisions between particles deviate the laminar streamlines, and thus induce disturbances in the fluid phase, which produce very efficient mixing. We measure fluid velocity fields by performing high spatial resolution PIV experiments within a sheared suspension, and we numerically advect isolated scalar strips in the flow. Stretching law parameters are measured from the elongation of the strips, and are used to fully characterize the advection process. Stretching statistics are found to be well modeled by a multiplicative stretching process, which can be coupled with diffusion to infer the probability density function of the concentration in the medium.*

**15h** "*Effet de l'advection chaotique sur les temps de refroidissement et la cristallisation de corps magmatiques*", \*M. Petrelli, K. El Omari, Y. Le Guer et \*D. Perugini, \*Department of Physics and Geology, University of Perugia, Perugia, Italy et Laboratoire SIAME, Université de Pau et des Pays de l'Adour, Pau.

*Nous étudions par voie de modélisation numérique la cinétique de refroidissement d'une masse de*

*fluide magmatique au sein d'une chambre 2D dans son encaissant rocheux pour deux configurations d'écoulement : en convection pilotée par la seule variation de la masse volumique du fluide et en régime d'advection chaotique (convection mixte). Le comportement rhéologique non-newtonien du magma évolue au cours de la cristallisation en fonction de la température et du taux de cristaux. Nous montrons comment l'advection chaotique peut modifier de façon importante le champ de température et augmenter ainsi la vitesse de refroidissement du magma. Ce mécanisme va induire, au sein d'un même corps magmatique, des vitesses de cristallisation différentes et créer des hétérogénéités chimiques conduisant à la formation de roches ignées différentes (basalte, andésite) qui engendreront des dynamiques éruptives particulières (plutôt effusive pour un magma basaltique moins visqueux et plus facilement explosive pour un magma andésitique plus visqueux). Cela peut aussi aider à la compréhension de l'existence de zonages compositionnels et enclaves observés dans le monde entier au sein de systèmes plutoniques naturels, qui ne résultent donc pas forcément du mélange de deux magmas.*

**15h30** *"Efficient heat transfer by Elastic Turbulence"*, B. Traore, A. Souliés, C. Castelain et T. Burghelée, Laboratoire LTN, UMR 6607 CNRS – Université de Nantes.

*In the first part of the talk I will discuss the heat transfer with a regime of Elastic Turbulence in a dilute solution of a flexible high molar mass polymer.*

*By systematic measurements of the statistics of temperature fluctuations at various positions within a viscoelastic von Karman flow driven at a Reynolds number at which no inertial instability is observed with the pure solvent and cooled from below it is found that within an elastic turbulent flow regime the heat transfer efficiency may locally increase up to 4 times (as compared to the purely conductive state) which is comparable to the efficiency increase observed in the case of inertial turbulence at  $Re = 1600$ . In spite of the inhomogeneous rheological properties induced by the temperature gradient, several similarities with the decay of a low diffusivity tracer in a random smooth flow (Batchelor regime) are found: exponential tails of the probability distribution functions, algebraic decay of the power spectra,  $P \sim f^b$  with  $b \sim 1.1$ , exponential decay of the second order moment of the fluctuations. The similarity with the passive scalar decay problem is reinforced by a comparative analysis of the isothermal and non-isothermal flow patterns which reveals no significant effect of the heat transfer process on the flow topology.*

*As a bonus, I will present in the last part of the talk some preliminary results concerning the heat transfer by Elastic Turbulence in a curvilinear micro-channel.*

**16h** *"Modes critiques des écoulements viscoélastiques dans le système de Couette-Taylor"*, Y. Bai, O. Crumeyrolle et I. Mutabazi, Laboratoire "Ondes et Milieux Complexes" (LOMC) UMR 6294, CNRS-Université du Havre.

*Un fluide Newtonien est déstabilisé dans un système de Couette-Taylor quand la force de centrifuge domine la force visqueuse. Par contre, si le fluide est viscoélastique, la force élastique intervient et renforce l'instabilité centrifuge (instabilité elasto-rotationnelle). Elle peut aussi induire l'instabilité purement élastique pour des cisaillements très faibles.*

*On a étudié théoriquement et expérimentalement des modes critiques de l'instabilité viscoélastique dans un système de Couette-Taylor. L'analyse de stabilité linéaire (ASL) est faite en utilisant le modèle d'Oldroyd-B, les valeurs critiques et des modes critiques ont été déterminés. Des expériences ont été réalisées avec des solutions de polymères de polyéthylène oxyde (POE) dans un mélange aqueux polyéthylène glycol(PEG). Les tests de rhéologie ont confirmé que nos solutions de différentes concentrations de polymère sont proches de modèle d'Oldroyd-B. Le rôle du rapport des viscosités du polymère et de la solution a été bien analysé.*

*En tournant le cylindre intérieur et fixant le cylindre extérieur, 3 modes critiques ont été observés en fonction des valeurs de l'élasticité des solutions. Les résultats expérimentaux sont en accord avec ceux de l'ASL. Ces modes critiques sont des vortex de Taylor pour des solutions de faible élasticité; des rubans formés d'ondes stationnaires pour des solutions d'élasticité intermédiaire et un mode désordonné pour de solutions de forte élasticité. L'autre part, en tournant le cylindre extérieur et fixant le cylindre intérieur, seul le mode désordonné est observé au seuil.*

**16h30** Petit bilan - clôture de la journée.