



52^{ème} Congrès du Groupe Français de Rhéologie

Nice, 24-27 octobre 2017



Comité scientifique

Emmanuelle Abisset-Chavanne	GÉM, Ecole Centrale de Nantes
Jean-François Agassant	CEMEF, MINES ParisTech, Sophia-Antipolis
Philippe Cassagnau	IMP, Université Claude Bernard, Lyon
Guy Della Valle	INRA, Nantes
Guyllaine Ducouret	SIMM, ESPCI ParisTech
Emmanuelle Guillard	SVI, Saint-Gobain Recherche, Aubervilliers
Isabelle Hénaut	IFPEN, Rueil Malmaison
Pavel Kuzhir	InPhyNi, Université de Nice Sophia-Antipolis
Patrice Laure	LJAD, Université de Nice Sophia-Antipolis
Guillaume Ovarlez	LOF, CNRS-Solvay-Université de Bordeaux
François Peters	InPhyNi, Université de Nice Sophia-Antipolis
Julien Ville	LIMATB, Université de Bretagne Occidentale, Brest

Comité d'organisation

Elisabeth Lemaire	InPhyNi, Université de Nice Sophia-Antipolis
Rudy Valette	CEMEF, MINES ParisTech
Frédéric Blanc	InPhyNi, Université de Nice Sophia-Antipolis
Romain Castellani	CEMEF, MINES ParisTech
Bruno Vergnes	CEMEF, MINES ParisTech
Olga Volkova	InPhyNi, Université de Nice Sophia-Antipolis

Programme

Mardi 24 octobre			
18h00 - 20h00	Cocktail - Accueil - Inscriptions		
Mercredi 25 octobre			
8h00 - 8h15	Accueil		
8h15 - 8h30	Discours d'ouverture		
8h30 - 9h15	Conférence plénière <i>Emmanuelle Rio, CNRS-Université Paris Sud</i> Impact de la rhéologie de surface sur la génération et la rupture d'objets savonneux		
9h15 - 9h35	Matériaux du vivant	CO 1 - Manouk Abkarian, Université de Montpellier A new look at blood shear-thinning	Chairman Philippe Cassagnau
9h35 - 9h55		CO 2 - Jérémy Patarin, Rheonova Rhéologie des sécrétions bronchiques	
9h55 - 10h15		CO 3 - Elise Schong, INRA Rennes Propriétés d'écoulement d'assemblages microniques produits par étuvage d'une poudre d'isolat de protéines sériques à pH alcalin	
10h15 - 10h35		CO 4 - Laurent Chaunier, INRA Nantes Propriétés rhéologiques et modifications structurales de protéines de maïs plastifiées en vue de leur impression 3D par dépôt de fil fondu	
10h35 - 10h55	Pause		
10h55 - 11h15	Fluides complexes	CO 5 - Muriel Neyret, CEA Marcoule Modélisation structurelle du comportement rhéologique de verres contenant des platinoïdes	Chairman Thierry Aubry
11h15 - 11h35		CO 6 - Christophe Kusina, ESPCI Comportement à l'étalement, propriétés et structures des fluides complexes à applications cosmétiques	
11h35 - 11h55		CO 7 - Christian Ligoure, Université de Montpellier Brittle fracture of polymer transient networks	
11h55 - 12h15		CO 8 - Alain Ponton, Université Paris Diderot Etude rhéomagnétique et visualisation optique in situ de composites à base de biopolymères et nanoparticules magnétiques fonctionnalisées	
12h15 - 12h35	Présentation exposants		
12h35 - 14h00	Déjeuner		
14h00 - 14h20	Fluides à seuil	CO 9 - Fadoul Oumar Abdoulaye, Université Paris Est Instabilité de Saffman-Taylor pour les fluides à seuil en cellule de Hele Shaw	Chairman Julien Ville
14h20 - 14h40		CO 10 - Franck Pigeonneau, MINES ParisTech Intermittent flow in yield-stress fluids slows down chaotic mixing	
14h40 - 15h00		CO 11 - Xiao Zhang, Université Paris Est Glissement des fluides à seuil	
15h15 - 15h45	Pause		
15h45 - 16h05	Transition sol-gel	CO 12 - Tetsuharu Narita, ESPCI Winter-Chambon criterion for physical gelation of a flowable transient network studied by DWS microrheology	Chairman Guylaine Ducouret
16h05 - 16h25		CO 13 - Arnaud Poulesquen, CEA Marcoule Etude de la transition sol/gel de fluides aluminosilicatés	
16h25 - 16h45		CO 14 - Christian Carrot, Université Jean Monnet Analyse de la transition de sol-gel et des diagrammes de phase d'hydrogels de polymères liquides ioniques (pils) par mesures rhéologiques SRFS	
17h00 - 18h00	Assemblée Générale du GFR		
18h00 - 20h00	Cocktail - Discussion autour des posters		

GFR 2017
52^{ème} Congrès du Groupe Français de Rhéologie

Jeudi 26 octobre			
8h30 - 9h15	Conférence plénière Salima Rafai, CNRS-Université Grenoble Alpes <i>Suspensions actives en écoulement : Chlamydomonas reinhardtii, une particule active modèle</i>		
9h15 - 9h35	Suspensions	CO 15 - Stéphanie Deboeuf, Université Paris 6 X-ray imaging of flowing suspensions	Chairman François Peters
9h35 - 9h55		CO 16 - William Chèvremont, Université Grenoble Alpes Influence des interactions interparticulaires sur la rhéologie des suspensions	
9h55 - 10h15		CO 17- Stany Gallier, Ariane Group Sur le rôle du frottement dans les suspensions denses	
10h15 - 10h35		CO 18 - Romain Mari, Université Grenoble Alpes Viscosity reduction in dense suspensions via flow control	
10h35 - 10h55	Pause		
10h55 - 11h15	Suspensions	CO 19 – Yan Grasselli, Université Nice Sophia-Antipolis Rhéoépaississement discontinu et oscillations de type "slip-stick"	Chairman Guillaume Ovarlez
11h15 - 11h35		CO 20 - Cassandre Leverrier, Agro ParisTech Modélisation de la viscosité de suspensions de particules molles végétales	
11h35 - 11h55		CO 21 - Frédéric Pignon, Université Grenoble Alpes Structure et comportement rhéologique de suspensions de nanocristaux de cellulose, sondés in-situ par Rhéo-SAXS et biréfringence locale	
11h55 - 12h15		CO 22 - Fatima Fneich, Université de Bretagne Occidentale Rhéologie de suspensions aqueuses de nanofibrilles de cellulose : effet de la fraction volumique et de la force ionique	
12h15 - 14h00	Déjeuner		
14h00 - 14h45	Conférence plénière Valérie Vidal, ENS Lyon <i>Rhéologie du magma et activité volcanique : Apport de la physique expérimentale</i>		
14h45 - 15h05	Suspensions de fibres	CO 23 - Franco Tapia, IUSTI, Marseille Rhéologie de suspensions concentrées de fibres	Chairman Elisabeth Lemaire
15h05 - 15h25		CO 24 - Patrice Laure, LJAD, Nice Rhéologie et évolution de l'orientation de suspensions semi diluées de fibres en compression	
15h25 - 15h45		CO 25 - Adrien Scheuer, Ecole Centrale de Nantes Orientation kinematics of suspended rigid fibres: a first step towards data-driven simulations	
15h45 - 16h05	Pause		
16h05 - 16h25	Suspensions	CO 26 – Raphaël Maurin, INP Toulouse Suspension flow around a cylinder at finite particle Reynolds number	Chairman Rudy Valette
16h25 - 16h45		CO 27 - Jean-Charles Majesté, Université Jean Monnet Corrélation de la densité de greffage de silanes avec la rhéologie non linéaire d'élastomères chargés de silice : couplage de l'écoulement et de la température	
16h45 - 17h05		CO 28 - Mohamed Mouzaoui, IRSTEA À la frontière du pâteux et du granulaire, la rhéologie des boues résiduares déshydratées dans un sécheur	
17h30 - 19h30	Visite du Vieux Nice		
19h30 - 23h30	Banquet		

GFR 2017
52^{ème} Congrès du Groupe Français de Rhéologie

Vendredi 27 octobre		
8h30 - 9h15	Conférence plénière Prix Maurice Couette	
9h15 - 9h35	Polymères	CO 29 - Michaël Robert, Université Lyon 1 Miscibility of functional polyethylene oligomers in polyolefin blends
9h35 - 9h55		CO 30 - Ilhem Charfeddine, Université Jean Monnet Un modèle microrhéologique pour la prévision des diagrammes de continuité des mélanges de polymères non miscibles
9h55 - 10h15		CO 31 - Khalid Lamnawar, INSA Lyon In situ reactive interphase with graft copolymers in multilayered polymer systems: rheological and dielectric investigations
10h15 - 10h35		CO 32 - Baptiste Paget, Université Lyon 1 Behavior of syntactic foams under pressure: comparison between simulation and experiments
10h35 - 10h55	Pause - posters	
10h55 - 11h15	Prix de Thèse	
11h15 - 11h35	Polymères	CO 33 - Yves Demay, MINES ParisTech Comportement rhéologique des plastisols en rhéométrie capillaire
11h35 - 11h55		CO 34 - Marjorie Marcourt, Université Lyon 1 A combined method for electrical conductivity measurement of polymer composites under extensional deformation
11h55 - 12h15		CO 35 - Laurence Noirez, Patrick Baroni, CEA Saclay Refroidir en apportant de l'énergie
12h15 - 12h35		CO 36 - Julien Ville, Université de Bretagne Occidentale Migration au cours du malaxage de nanoplaquettes minérales dans un mélange de polymères immiscibles
12h35 - 14h00	Déjeuner	

**Chairman
Guy Della Valle**

**Chairman
Jean-François Agassant**

Programme des posters

Posters
P 1 - Philippe Cassagnau, René Fulchiron, Marie-Camille Auscher, Thomas Périé Influence of stearic acid on rheological and morphological properties in zirconia-filled polyethylene
P 2 - Zineddine Kebiche Etude expérimentale de l'instabilité de Rayleigh- Bénard dans les fluides rhéofluidifiants.
P 3 - Florence Biguenet, Dominique Dupuis Transition de mouillage sur des matériaux textiles hydrophobes
P 4 – Seyed Arash Ahmadikhamsi, Seyed Amir Bahrani, Fabrice Golfier, Constantin Oltean Impact of surfactant on non-newtonian fluid behaviour during viscous fingering occurrence
P 5 - Julie Godefroid, Cécile Monteux, David Bouttes, Emmanuel Nonnet Mécanismes physico-chimiques impliqués dans la fabrication de capsules de céramique
P 6 - Laurent Soum, Alexandre Filhol, Gérard Pillet Rhéologie des cendres de bois en suspension céramique
P 7 - Oumar Thiene, Emilie Dieudé-Fauvel, Jean-Christophe Baudez Notions d'histoires mécaniques et d'état de référence pour les fluides thixotropes. Le cas des boues d'épuration
P 8 – Laurent Jossic, Ali Hojeij, Albert Magnin Hydrodynamique du brassage de fluides épais par injection de gaz. Application à la méthanisation pour la valorisation des déchets
P 9 - Nicolas Logié, Guy Della-Valle, Nicolas Descamps, Magdalena Kristiawan, Jérémie Soulestin Comportement visqueux d'amidons partiellement fondus
P 10 - Melissa Assad Bustillos, Carole Tournier, Chantal Septier, Guy Della-Valle, Gilles Feron Evaluation de la déstructuration orale (FOP) de deux aliments céréaliers par des personnes âgées
P 11 - Georges Bossis, Yan Grasselli, O. Gueye, A. Ciffreo, Olga Volkova Utilisation du rhéopaissement discontinu pour une nouvelle classe de fluides adaptatifs
P 12 - Enzo D'Ambrosio, Elisabeth Lemaire, Frédéric Blanc Expérience de resuspension de particules en écoulement de Couette cylindrique
P 13 - Romain Morini, Frédéric Blanc, François Peters, Laurent Lobry, Elisabeth Lemaire Ecoulement de suspensions à surface libre
P 14 - Frédéric Blanc, Enzo d'Ambrosio, François Peters, Laurent Lobry, Elisabeth Lemaire Rhéologie comparée de suspensions de sphères et de particules polyédriques
P 15 - Stéphanie Riber, Romain Castellani, Elie Hachem, Nathalie Vriend, Rudy Valette Prédictions quantitatives d'effondrement de barrages 2D et 3D par le modèle $\mu(I)$: régimes quasi-statique, inertiel et lois d'échelles
P 16 - Dário Canossi, Gilmar Mompean, Stefano Berti Numerical study of non-Newtonian instabilities in a cross-slot flow
P 17 - Anselmo Pereira, Mompean Gilmar, Soares Edson Numerical simulations of a drag reducing plane Couette flow considering the effects of polymer degradation
P 18 - Anselmo Pereira, Romain Castellani, Alexandre Antoniotti, Rudy Valette Analyse numérique de jets de suspensions denses
P 19 - Anselmo Pereira, Alexandre Antoniotti, Romain Castellani, Rudy Valette Enroulement d'un jet de fluide en loi puissance : simulation et observation de la structuration à l'impact
P 20 – Maude Ferrari, Mathieu Jenny, Sébastien Kiesgen de Richter Comportement irréversible de suspensions de fibres non-browniennes
P 21 – Quentin Beuguel, Edith Peuvrel-Disdier, Bruno Vergnes Propriétés structurales, thermiques et rhéologiques de composites polypropylène/nanoplaquettes de graphène

GFR 2017
52^{ème} Congrès du Groupe Français de Rhéologie

Programme détaillé des « short courses » Rhéologie des Suspensions

24 octobre 2017, Campus Saint-Jean-d'Angély, Nice

Chaque session comporte 45 minutes de présentation, suivies de 15 minutes de discussion.

10h : Introduction à la science des colloïdes

Michel Cloitre, Matière Molle et Chimie, CNRS/ESPCI

Les dispersions colloïdales sont des systèmes riches englobant une grande variété de formes, de compositions chimiques et d'interactions. Dans cette introduction, nous présenterons les bases de la science des colloïdes. Après un large panorama illustrant la diversité des particules couramment rencontrées dans les études fondamentales comme dans les systèmes naturels, nous nous attarderons sur le cas de sphères dures modèles qui ont longtemps été considérés comme un système paradigmatique et sur celui des sphères molles qui sont extrêmement importantes pour les applications. La forme précise des interactions, qui peuvent être répulsives, attractives ou une combinaison des deux, se reflète dans les diagrammes de phase, qui sont obtenus en faisant varier la dureté, la force des interactions et la polydispersité des particules.

11h : Les bases de l'hydrodynamique pour la rhéologie des suspensions

François Peters, Institut de Physique de Nice, CNRS/Université Côte d'Azur

Ce cours présente les notions de bases d'hydrodynamique utiles pour appréhender les écoulements lents des suspensions de particules, dans le cas particulier d'un fluide suspendant newtonien. Les notions traitées sont importantes tant pour la compréhension qualitative de la rhéologie des suspensions que pour la description théorique ou numérique de ces matériaux. En particulier, elles seront réutilisées dans les cours suivants pour traiter de problématiques spécifiques. Après un rapide survol des propriétés générales des équations de Stokes (linéarité, réversibilité), on s'intéressera aux perturbations occasionnées par la présence d'une particule solide sur les écoulements pertinents en rhéologie (écoulement uniforme, linéaire) en s'attachant à montrer l'intérêt et dégager la signification des grandeurs importantes que sont les moments de la contrainte sur les particules (*stokeslet*, *rotlet*, *stresslet*), en lien avec les propriétés moyennes d'une suspension. On s'attachera également à préciser la notion d'interaction hydrodynamique entre particules, dans les deux limites où les particules sont loin les unes des autres (portée des interactions) ou au contraire très proches (lubrification).

12h : Dynamiques microscopiques et rhéologie des suspensions colloïdales

Michel Cloitre, Matière Molle et Chimie, CNRS/ESPCI

Ce cours présentera les concepts clés nécessaires pour comprendre et prédire les propriétés d'écoulement des dispersions colloïdales sur toute la gamme de fractions volumiques accessible dans les expériences. Notre approche reliera la dynamique microscopique à la rhéologie macroscopique afin de donner une idée de la manière dont les propriétés à l'échelle des particules influencent le comportement rhéologique d'une dispersion. Après avoir étudié la viscosité des suspensions diluées, nous analyserons la dynamique observée dans les régimes concentrés, à l'approche des transitions vitreuses et de blocage et au-delà de celles-ci. Nous poursuivrons alors naturellement par la description des systèmes à seuil de contrainte pour lesquels l'obtention d'une loi constitutive et la prédiction de la contrainte seuil sont des questions très importantes. Enfin, nous montrerons que les suspensions concentrées coulent rarement comme des fluides simples mais présentent divers phénomènes de localisation comme du glissement aux parois ou des bandes de cisaillement.

14h30 : Un bref état de l'art de l'étude des suspensions non-browniennes

Elisabeth Guazzelli, IUSTI, CNRS/Aix-Marseille Université

Les suspensions denses sont des matériaux qui offrent de nombreuses applications à la fois dans des procédés industriels (par exemple, l'élimination des déchets, le béton, les boues de forage, le transport de copeaux de métaux et les transformations agro-alimentaires) et dans les phénomènes naturels (par exemple, les coulées de boues, de débris et de lave). Malgré ces enjeux importants et les efforts de recherche déployés, la mécanique des suspensions denses reste mal comprise. La principale difficulté est que les grains interagissent à la fois par des interactions hydrodynamiques à travers le liquide et par contact mécanique. Ces systèmes appartiennent donc à un régime intermédiaire entre suspensions pures et écoulements granulaires. Nous montrerons qu'il est possible, en transférant l'approche de friction des milieux granulaires secs aux suspensions visqueuses de particules sphériques, de proposer un cadre commun où la rhéologie des suspensions et des milieux granulaires est unifiée. Nous discuterons également du comportement non newtonien des suspensions et, en particulier, des différences de contraintes normales et de la migration de particules induite par un cisaillement. Au-delà du problème classique des suspensions denses de sphères dures -qui est loin d'être complètement résolu-, nous aborderons le cas de suspensions plus complexes où les particules pourront ne plus être sphériques (suspensions de fibres) et où le fluide suspendant pourra présenter lui-même une rhéologie complexe (fluide à seuil en particulier).

15h30 : Méthodes expérimentales pour la caractérisation du comportement des suspensions concentrées

Guillaume Ovarlez, LOF, CNRS/Solvay/Université de Bordeaux

Après une brève introduction au comportement des suspensions concentrées, nous proposons dans ce cours de présenter les développements expérimentaux les plus récents permettant de caractériser le plus complètement possible les écoulements de suspensions concentrées : (i) mesures locales de champs de vitesse et de concentration par techniques optiques, par RMN, et par rayons X ; (ii) couplage des informations locales pour déterminer le comportement des suspensions ; (iii) mesures d'inhomogénéités de viscosité par mesure des champs de contraintes aux parois d'un écoulement ; (iv) caractérisation de microstructure par techniques optiques et par rayons X ; (v) mesures rhéologiques permettant de montrer l'impact de l'histoire de l'écoulement et de mettre en évidence des anisotropies de comportement (superposition orthogonale) ; (vi) mesures de contraintes normales de la suspensions et des contraintes normales particulières.

16h30 : Méthodes de simulation numérique en rhéologie des suspensions

Stany Gallier, ArianeGroup, Le Bouchet

Ce cours dressera un panorama des méthodes principales utilisées en simulations numériques des suspensions. Après un bref aperçu sur les approches homogénéisées, nous nous focaliserons principalement sur les approches mésoscopiques (c'est-à-dire à l'échelle des particules) qui sont à l'heure actuelle couramment utilisées pour tenter de mieux comprendre la physique des suspensions. Les techniques principales seront abordées et décrites succinctement. Pour terminer, quelques exemples de simulations et de résultats seront présentés pour illustrer l'intérêt de la simulation numérique dans ce domaine.

Résumés des présentations orales

CP 1 - Impact de la rhéologie de surface sur la génération et la rupture d'objets savonneux

E. Rio

LPS, Univ. Paris Sud, CNRS UMR 8502

Les mousses sont des matériaux très utilisés dans l'industrie pour leurs propriétés rhéologiques, acoustiques ou thermiques. Leur stabilité dépend drastiquement de la solution utilisée pour les stabiliser. Ainsi, il est bien connu que les tensioactifs stabilisent mieux les mousses s'ils sont à une concentration proche de la concentration micellaire critique et que l'ajout de particules ou la viscosification du liquide moussant stabilise les mousses. Mais la prédiction de l'efficacité d'un agent moussant reste une question ouverte qui nécessite l'identification de paramètres microscopiques qui permettent de contrôler les différents modes de déstabilisation.

La rhéologie de surface est un candidat. En effet, elle peut affecter la contrainte à l'interface liquide/air et ralentir l'écoulement de liquide entre les bulles. Elle peut ajouter une résistance mécanique au grossissement ou à la réduction de taille d'une bulle, ce qui ralentit le mûrissement (écoulement de gaz des petites bulles vers les grosses dû à une différence de pression de Laplace). Enfin, elle peut diminuer les instabilités interfaciales qui sont à l'origine de la rupture des films minces qui séparent les bulles dans les mousses.

L'objet de cette présentation est de montrer sur quelques exemples obtenus sur des objets savonneux isolés qu'il y a bien un lien quantitatif entre rhéologie de surface et stabilité. Ainsi, je montrerai trois exemples dans lesquels nous avons une prédiction quantitative du comportement des objets savonneux en fonction de paramètres de rhéologie de surface :

- la génération de films savonneux peut être prédite dans des cas limites où soit la viscosité de surface, soit son élasticité domine ;
- le temps de vie d'une anti-bulle peut être prédit grâce à des mesures rhéologiques ;
- l'arrêt du mûrissement de deux bulles isolées et stabilisées par des particules dépend de leur différence de taille initiale et de leur élasticité de surface.

CO 1 - A new look at blood shear-thinning

M. Abkarian

Centre de Biochimie Structurale, Université de Montpellier

Blood viscosity decreases with shear stress, a property essential for an efficient perfusion of the vascular tree. Shear-thinning is intimately related to the dynamics and mutual interactions of red blood cells (RBCs), the major component of blood. Because of the lack of knowledge about their behavior under physiological conditions, the link between RBCs dynamics and blood rheology remains still unsettled. Performing experiments and simulations in microcirculatory flow conditions of viscosity, shear rates and volume fractions, our work reveals how rich RBCs dynamic morphologies govern blood shear thinning, contrary to the current paradigm assuming steady RBC orientation and membrane circulation. Our results suggest that any pathological change in RBCs local rheology will impact the onset of these morphological transitions and should play a key role in pathological blood flow.

CO 2 - Rhéologie des sécrétions bronchiques

E. Ghiringhelli¹, F. Caton^{2,3}, J. Patarin¹

¹Rheonova, Grenoble

²CNRS, LRP-UMR5520, Grenoble

³Univ. Grenoble Alpes, LRP-UMR5520, Grenoble

Certaines pathologies sont directement liées à des niveaux anormaux de viscoélasticité de fluides biologiques. En particulier, dans les cas de la mucoviscidose (MV) et de la Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive (BPCO), les mucus présentent souvent des propriétés viscoélastiques telles que les patients éprouvent des difficultés à expectorer leurs sécrétions bronchiques.

Pour quantifier ces effets, nous avons effectué des mesures de viscoélasticité des sécrétions bronchiques sur trois groupes de personnes : volontaires sains, MV et BPCO. Trois obstacles ont été surmontés pour obtenir des données significatives sur les sécrétions bronchiques : l'hétérogénéité (présence de bouchons muqueux), la stabilité et la faible quantité des échantillons. Le point le plus important a été la mise en place d'un protocole d'homogénéisation permettant d'obtenir une répétabilité acceptable pour un même donneur.

En comparaison du groupe sain, nous avons montré en conditions cliniques que le module élastique G' et le module visqueux G'' (1 Hz et 5% de déformation) sont respectivement 283 fois et 63 fois plus élevés chez les patients MV, et 34 fois et 29 fois plus élevés chez les patients BPCO. Ces écarts peuvent être mis en relation avec la physiopathologie des deux maladies.

Par ailleurs, l'effet d'un traitement mucolytique standard pour la MV a été évalué *in vitro* (RhDNase à 2×10^{-6} g/mL dans une solution saline isotonique). Pour ce faire, l'échantillon expectoré est mis en contact avec le traitement pendant 2h à 37°C. Les résultats montrent une diminution de G' de 56 % et de G'' de 38 % avec ce traitement. En parallèle, un autre traitement par la N-acétylcystéine a été testé. Ce traitement, dont l'efficacité fait débat, n'a quant à lui pas d'effet significatif sur la viscoélasticité des sécrétions bronchiques.

Dans le contexte de l'évaluation de traitements contre ces pathologies respiratoires chroniques, la rhéométrie paraît donc être un outil prometteur.

CO 3 - Propriétés d'écoulement d'assemblages microniques produits par étuvage d'une poudre d'isolat de protéines sériques à pH alcalin

E. Schong, M.-H. Famelart

STLO, UMR 1253, INRA, Agrocampus Ouest, 35000 Rennes

Les protéines sériques sont des protéines dérivées du lait, très utilisées dans l'industrie alimentaire pour leurs propriétés nutritionnelles et fonctionnelles. L'étuvage d'une poudre d'isolat de protéines sériques à pH alcalin permet de former des assemblages micronique (AMI), possédant des propriétés rhéologiques remarquables. Brièvement, la poudre d'isolat est solubilisée dans l'eau à 150 g/kg et son pH est ajustée à 9,5. La solution est ensuite rapidement séchée par pulvérisation sur une tour pilote. La poudre est conditionnée à une activité d'eau voisine de 0,2, puis introduite dans des tubes fermés hermétiquement et étuvée à 100°C, pendant des temps variables. La poudre étuvée est remise en suspension dans de l'eau à pH 6,5 et ses propriétés d'écoulement sont caractérisées.

L'objectif de ces travaux est d'étudier l'effet du temps d'étuvage sur la formation des AMI et sur leurs propriétés rhéologiques. Les suspensions d'AMI sont caractérisées par mesure de leur viscosité. Les rendements de formation des AMI sont évalués par pesés et la morphologie des AMI est étudiée par microscopie confocale

Les AMI sont sphériques et creux. Ces macrosphères, de taille 4 à 400 µm, sont obtenues par réticulation des protéines au sein du grain de poudre, ce qui leur confère une forme identique à celle du grain de poudre étuvé [1]. La durée de l'étuvage est le paramètre qui va déterminer la capacité des AMI à apporter de la viscosité en phase aqueuse, car il modifie le taux de réticulation des protéines dans les grains de poudre, le nombre, la taille et la capacité de rétention des AMI en suspension dans l'eau.

Les AMI pourraient être ajoutés à des préparations laitières pour augmenter leur viscosité en complexant une partie de la phase soluble.

[1] Schong E., Famelart M.H., Macrospheres of whey proteins obtained by dry heating, *Food Res. Intern.*, sous presse (2017).

CO 4 - Propriétés rhéologiques et modifications structurales de protéines de maïs plasti-fiées en vue de leur impression 3D par dépôt de fil fondu

L. Chaunier^{1,2}, M. Dalgalarondo¹, G. Della Valle¹, D. Lourdin¹, D. Marion¹, E. Leroy²

¹BIA INRA-UR-1268, La Géraudière. 44316 Nantes Cedex 3

²UBL, GEPEA UMR-CNRS-6144, CRTT, 37 av. de l'université, 44606 St-Nazaire Cedex

La fabrication additive d'objets sur mesure à base de biopolymères par dépôt de fil fondu (FDM) ouvre des perspectives pour des applications telles que des dispositifs biomédicaux ou des comprimés pharmaceutiques, en exploitant leurs propriétés de biocompatibilité, résorbabilité et comestibilité.

La zéine est une protéine du maïs, coproduit de l'amidonnerie. Une fois plastifiée, elle constitue un bon candidat pour le procédé FDM, sous réserve de vérifier que ses propriétés rhéologiques sont en adéquation avec le procédé, ce qui implique de déterminer les modifications structurales qui les gouvernent.

Dans ce but, nous avons étudié le comportement et la structure d'une zéine commerciale, plastifiée par extrusion avec addition de 20% de glycérol ($T_g = 42^\circ\text{C}$). Les résultats montrent que le module de stockage varie de $E' > 1$ GPa, à température ambiante, à une valeur inférieure à 0,6 MPa à la température de mise en œuvre ($T = 130^\circ\text{C}$), avant de s'écouler à l'état fondu avéré par $G'' > G'$.

Pour un temps de séjour court typique en FDM ($t \leq 5$ min), les mesures en faibles et grandes déformations montrent que la viscosité de la zéine plastifiée suit un comportement rhéofluidifiant, décrit par la loi puissance $\eta = K \dot{\gamma}^{n-1}$, avec $K = 3$ kPa.sⁿ et $n \approx 0,5$. Ce comportement est proche de celui des polymères standards utilisés en FDM, comme l'ABS ou le PLA à leurs températures d'impression. Cependant, les mesures rhéologiques en dynamique montrent une évolution croissante des modules à 130°C . Pour des temps élevés ($t > 1$ h), cette évolution conduit à $G' > G''$ quelles que soient les fréquences appliquées, traduisant une gélification. Ce phénomène serait dû à l'agrégation des protéines et à leur réticulation par liaisons disulfure entre résidus cystéine.

L'action de plastifiants amphiphiles et l'obtention de filaments thermoplastiques par des traitements thermomécaniques de courte durée sont envisagées, afin de mieux contrôler ce phénomène et faciliter la mise en œuvre de la zéine plastifiée par FDM.

CO 5 - Modélisation structurelle du comportement rhéologique de verres contenant des platinoïdes

C. Hanotin¹, P. Marchal¹, M. Neyret²

LRGP-GEMICO, Université de Lorraine Nancy

CEA, Marcoule

Les déchets ultimes issus du retraitement du combustible nucléaire usé sont actuellement conditionnés dans un verre borosilicaté. L'optimisation du procédé de vitrification nécessite la maîtrise des propriétés rhéologiques du verre à haute température. La présence de platinoïdes, sous forme d'aiguilles de RuO₂ et de billes de PdTe, non dissous dans le verre, peut conduire à un comportement non-newtonien du verre fondu, qu'il est important de caractériser et de modéliser.

La mise en place d'un dispositif innovant, basé sur l'utilisation d'un rhéomètre associé à un four, a permis de caractériser le comportement rhéologique de verres contenant des platinoïdes. Un comportement rhéofluidifiant a été mis en évidence dans le verre fondu. La rhéologie du système a été explorée pour différentes teneurs en platinoïdes jusqu'à 5,2% et différentes températures, entre 950 et 1300°C.

A haut taux de cisaillement, le verre se comporte comme une suspension de particules individuelles, dont le comportement rhéologique est contrôlé par la viscosité de la matrice vitreuse. En revanche, à bas taux de cisaillement et au-delà d'une certaine fraction volumique en platinoïdes, la formation d'agrégats, composés de chaînes de particules de RuO₂ et de billes de PdTe, influence fortement la viscosité du verre, jusqu'à donner lieu à l'apparition d'un seuil de contrainte et à des phénomènes de thixotropie.

L'un des enjeux de cette étude a été de mettre en place un modèle rhéologique basé sur la phénoménologie du système. En particulier, la loi de comportement du système à bas cisaillement a été établie à partir d'un modèle capable de prédire la taille et la fraction volumique effective des agrégats de platinoïdes. Ce premier modèle complet, capable de prédire la rhéologie du verre contenant des platinoïdes en fonction du taux de cisaillement, de la température et de la teneur en platinoïdes, constitue une donnée d'entrée importante pour la modélisation et le contrôle du procédé de vitrification.

CO 6 - Comportement à l'étalement, propriétés et structures des fluides complexes à applications cosmétiques

C. Kusina¹, G. Ducouret¹, J.-B. Boitte², D. LeVerge², O. Aubrun², H. Kellay³, A. Colin¹

¹*Sciences et Ingénierie de la Matière Molle, CNRS UMR 7615, ESPCI Paris, PSL Research University 10 rue Vauquelin, 75231 Paris cedex 05*

²*L'Oréal Recherche et Innovation, Chevilly-Larue*

³*LOMA, Laboratoire Ondes et Matière d'Aquitaine (UMR 5798), Université de Bordeaux - CNRS, 33405 Talence*

La plupart des formulations cosmétiques font partie de la famille des fluides complexes (i.e. émulsions, dispersions solides, gels). La qualité de ces formulations conditionne l'efficacité et les performances (optiques, sensorielles ou techniques) du produit final, ainsi que la perception du consommateur lors de son application. La compréhension des paramètres clés qui interviennent lors de l'étalement de ces matériaux est essentielle à l'optimisation de leur composition.

D'un point de vue scientifique, de nombreux paramètres sont à prendre en considération pour simuler l'étalement in vivo de produits cosmétiques via des expériences in vitro. Cette phase d'application par étalement d'un fluide complexe met en jeu ses propriétés rhéologiques dans des conditions dynamiques (séchage et interactions avec le substrat). En résultent par conséquent une évolution et des modifications de la microstructure sous l'effet du cisaillement provoqué par le geste d'étalement. Cependant, à l'heure actuelle, les phénomènes physico-chimiques et les relations propriétés/structures qui interviennent lors de l'étalement sur la peau restent cependant encore mal compris.

Nous proposons ici un système permettant de mimer l'étalement d'un fluide complexe sur la peau tout en ayant accès à la microstructure du dépôt formé, puis à son évolution au cours du temps. Basé sur le principe d'une expérience de blade-coating, le dispositif développé utilise une lame en Mylar courbée en forme de « U » permettant des allers-retours. La déformation du « U » au contact du substrat renseigne sur la force appliquée lors de l'étalement. Des diagrammes d'écoulement sont tracés en fonction des propriétés rhéologiques des formulations testées (i.e. seuil d'écoulement, viscosité...), de la vitesse d'étalement ou encore de la force appliquée lors de l'étalement. Nous explorons une méthode d'analyse d'images et d'interférométrie afin d'avoir accès à l'épaisseur des films formés.

CO 7 - Brittle fracture of polymer transient networks

A. Srishti¹, L. Ramos¹, C. Ligoure¹, A. Shaabir², O. Hassager²

¹Laboratoire Charles Coulomb, UMR 5221 CNRS & Université de Montpellier

²Technical University of Denmark, 2800 Kongens Lyngby, Denmark

We study the fracture of reversible double transient networks, constituted of a water suspension of entangled surfactant wormlike micelles reversibly linked by various amounts of telechelic polymers. We provide a state diagram that delineates the regime of fracture without necking of the filament from the regime where no fracture or break-up has been observed. We show that filaments fracture when stretched at a rate larger than the inverse of the slowest relaxation time of the networks. We quantitatively demonstrate that dissipation processes are not relevant in our experimental conditions and that, depending on the density of nodes in the networks, fracture occurs in the linear elastic regime or in a non-linear elastic regime. In addition, analysis of the crack opening profiles indicates deviations from a parabolic shape close to the crack tip for weakly connected networks. We demonstrate a direct correlation between the amplitude of the deviation from the parabolic shape and the amount of non linear elasticity.

CO 8 - Etude rhéomagnétique et visualisation optique in situ de composites à base de biopolymères et nanoparticules magnétiques fonctionnalisés

A. Ponton¹, P. Daou¹, F. Mammeri², S. Ammar-Merah²

¹Laboratoire Matière et Systèmes Complexes, Université Paris Diderot, UMR-CNRS 7057

²ITODYS, Université Paris Diderot-Paris 7, UMR-CNRS 7086

Nous présentons des résultats sur des matériaux composites élaborés par incorporation de nanoparticules magnétiques dans des réseaux d'alginate de sodium pour des applications en biotechnologies. Nous avons obtenu des résultats avec des nanoparticules de maghémite stabilisées par adsorption d'ions citrate qui formaient des gouttelettes microniques de démixion déformables sous champ magnétique, à la base de l'augmentation de la viscosité à faible vitesse de cisaillement et des modules élastique et visqueux dans le domaine de viscoélastique linéaire. Cet effet magnétovisqueux réversible était expliqué par le passage de la forme sphérique à une forme ellipsoïdale sous champ magnétique des gouttelettes [1, 2] avec la détermination de leur tension interfaciale, de leur susceptibilité magnétique et de leur viscosité interne.

Notre stratégie a ensuite été de contrôler des interactions entre les nanoparticules et le réseau de biopolymères en fonctionnalisant des nanoparticules avec des ligands bifonctionnels qui portent des fonction amine, rendant ainsi possible des interactions électrostatiques entre les charges positives NH_3^+ des groupes sur la surface des nanoparticules et les groupes carboxylate (COO^-) des chaînes de l'alginate de sodium [3]. L'influence de la nature du ligand sur les structures induites par champ magnétique et les propriétés rhéologiques ont été étudiées à l'aide d'un dispositif de magnéto-opto-rhéologie [4] et des premières mesures de microscopie de fluorescence ont été réalisées.

[1] S. Roger, Y.Y. Cheung Sang, A. Bee, R. Perzynski, J.-M. Di Meglio, A. Ponton, *Europ. Phys. J. E*, 38, 8 (2015).

[2] J. Tarrío-Saavedra, C. Galindo González, S. Naya, J. López-Beceiro, A. Ponton, *Plos One* (2017) DOI:10.1371

[3] C. Galindo Gonzalez, S. Gantz, L. Ourry, F. Mammeri, S. Ammar-Merah, A. Ponton, *Macromol.*, 47, 3136 (2014)

[4] C. Galindo-Gonzalez, A. Ponton, A. Bee, J. Chevalet, D. Talbot, R. Perzynski, E. Dubois, *Rheol. Acta*, 55, 67 (2016)

CO 9 - Instabilité de Saffman-Taylor pour les fluides à seuil en cellule de Hele-Shaw

F. Oumar Abdoulaye

Université Paris-Est, Laboratoire Navier (ENPC-IFSTTAR-CNRS), Champs sur Marne

On s'intéresse ici à l'instabilité de Saffman-Taylor pour les fluides à seuil dans des milieux poreux. On étudie ici la digitation visqueuse d'échantillons circulaires déplacés radialement dans une cellule Hele-Shaw (cette cellule est constituée de deux plaques en plexiglas dont l'espacement entre les deux est faible devant les autres dimensions). Cet écoulement est l'analogue (bidimensionnel) d'un écoulement dans un milieu poreux [1-3]. Pour un fluide newtonien, on sait que l'instabilité se produit au-delà d'une certaine vitesse de déplacement de l'interface. En-dessous de cette vitesse, l'interface reste circulaire. Comme attendu, en injectant de l'air à vitesse contrôlée au centre de la cellule initialement remplie d'un fluide à seuil, l'interface air-liquide se déplace vers l'extérieur. On observe cependant alors deux régimes d'écoulement : au-delà d'une vitesse critique, l'air pénètre sous forme de doigts à travers le matériau ; le fluide laisse des traces sur les parois, indiquant que, dans ces zones, il est cisailé ; ce premier régime ressemble à l'instabilité de Saffman-Taylor pour les fluides à seuil [4]. En-dessous de cette vitesse critique, la zone d'air grossit régulièrement mais l'interface est encore instable, des « pointes » ressemblant à des fractures sont observées à différents points de l'interface. De plus, dans ce second régime, le fluide ne laisse pas de traces sur les parois, indiquant qu'il glisse, sauf autour des pointes de fracture. Ce phénomène semble être très inédit dans le domaine des fluides à seuil ; cela ressemble à un phénomène de fracture d'un matériau solide (analyse de Griffiths). En fait, ce régime est particulier : compte-tenu du glissement aux parois, on devrait obtenir une elongation 2D du matériau ; le fait que cela conduise systématiquement à ces fractures, quelle que soit la vitesse, suggère que l'elongation 2D d'un fluide à seuil est instable.

[1] Saffman et Taylor, 1958

[2] Homsy, 1987

[3] De Wit, 2003

[4] Coussot, *J. Fluid Mech.*, 1999

CO 10 - Intermittent flow in yield-stress fluids slows down chaotic mixing

J. Boujlel¹, E. Guillard², P. Jop², F. Pigeonneau³

¹*IFP-EN, Rueil-Malmaison*

²*SVI, Saint Gobain Recherches, Aubervilliers*

³*CEMEF, MINES ParisTech, Sophia Antipolis*

Many mixing situations involve fluids with non-Newtonian properties: mixing of building materials such as concrete or mortar are based on fluids that have shear-thinning rheological properties. Lack of correct mixing can waste time and money, or lead to products with defects. When fluids are stirred and mixed together at low Reynolds number, the fluid particles should undergo chaotic trajectories to be well mixed by the so-called chaotic advection resulting from the flow. Previous work to characterize chaotic mixing in many different geometries has primarily focused on Newtonian fluids. First studies into non-Newtonian chaotic advection often utilize idealized mixing geometries such as cavity flows or journal bearing flows for numerical studies

Here, we present experimental results of chaotic mixing of yield stress fluids using rod-stirring protocol with rotating vessel. We describe the various steps of the mixing and their dependence on the fluid rheology and speeds of rotation of the rods and the vessel. We show that using chaotic advection to mix yield stress fluids is less efficient than mixing Newtonian fluids, due to the presence of fluid that does not flow when it is below the yield stress, and only flows intermittently. This result is confirmed via numerical simulations. Anomalously slow mixing is observed when the synchronization of different stirring elements leads to the repetition of slow stretching for the same fluid particles.

We also describe the chaotic mixing of two yield stress fluids of different rheological properties, and the mixing of a yield stress fluid with a Newtonian liquid.

CO 11 - Glissement des fluides à seuil

X. Zhang¹, É. Lorenceau², P. Basset³, T. Bourouina³, F. Rouyer⁴, J. Goyon⁴, P. Coussot⁴

¹Laboratoire Navier, Université Paris-Est

²Université Grenoble Alpes

³ESIEE Paris

⁴Université Paris Est

Les matériaux comme la mayonnaise, le ketchup, la mousse, etc. sont des fluides à seuil : ils s'écoulent uniquement quand la contrainte qui leur est appliquée est supérieure à leur contrainte seuil. Parfois, on observe que les fluides à seuil glissent sur des surfaces lisses. Dans de telles situations, le bulk reste dans son état solide car la contrainte subie est inférieure à sa contrainte seuil. Comme le phénomène de glissement présente un enjeu réel dans de nombreux domaines, il a été l'objet de plusieurs articles scientifiques. Nous avons réalisé des expériences de fluage avec divers niveaux de contrainte permettant de déterminer les conditions exactes de glissement ou d'arrêt de divers fluides à seuil (émulsion, bentonite, carbopol, ketchup, etc.) sur plusieurs types de surfaces lisses (silicium, teflon). En enlevant la contrainte résiduelle liée à un effet de bord (adhésion de la ligne de contact à la périphérie de l'échantillon), nous avons déterminé la relation entre la contrainte et la vitesse de glissement en régime stationnaire pour des contraintes inférieures à la contrainte seuil. Nous constatons que, pour une large gamme de matériaux, cette contrainte varie linéairement avec la vitesse de glissement, quelle que soit la structure des matériaux, la concentration ou les éventuelles interactions des éléments avec les surfaces. Le mécanisme du glissement serait donc essentiellement lié à l'écoulement laminaire du fluide interstitiel entre la structure coincée du matériau formée par les éléments suspendus et la surface du solide, et l'on pourrait décrire ce phénomène par le cisaillement simple d'un fluide newtonien d'une épaisseur quasi-constante. Nous constatons finalement que l'épaisseur de cette couche équivalente, pour tous nos systèmes, se situe dans une gamme relativement restreinte, de l'ordre de 20 à 60 nm.

CO 12 - Winter-Chambon criterion for physical gelation of a flowable transient network studied by DWS microrheology

T. Narita¹, T. Indei²

¹*SIMM, ESPCI ParisTech - CNRS, Paris*

²*Illinois Institute of Technology, Chicago, Illinois, USA*

Gelation of polymeric systems is a liquid-to-solid transition by formation of a network. For a chemical gel obtained by covalent bonds or for a physical gel by non-covalent bonds having the sufficiently long bond lifetime compared to the observation time scales, with increase in the crosslinker concentration, the crosslinked chain cluster size increases and viscosity diverges to infinity at a certain point, which is considered as rheologically defined gel point. However, when the lifetime is comparable to or shorter than the observation time scales, the system flows and no divergence of the viscosity occurs at any polymer/crosslinker concentration. How can the gel point be determined for such flowable physical gels?

The structure near the gelation point is self-similar in time and in space, thus, at the gel point the relaxation modulus shows a power-law behavior over a wide range of time. This Winter-Chambon (WC) law is considered as a rheologically measurable sign of a percolation transition of connectivity. At shorter time scales than the bond lifetime, a transient percolated network is expected to exist. In order to measure its presence by the WC power-law, we extended accessible frequency ranges up to 10^5 rad/s by using microrheology based on diffusing-wave spectroscopy (DWS). From multiple dynamic light scattering signals of the tracer particles dispersed in the viscoelastic medium, the mean square displacement (MSD) of the particles, and the viscoelastic moduli of the medium can be determined.

Here, we discuss physical gelation of poly(vinyl alcohol) crosslinked by borate ions [1]. The gel point was determined by the WC criterion for the microrheologically-estimated dynamic modulus and by the uniqueness of tan delta observed at high frequency ranges. Time-cure superposition of the MSD data for different crosslinker concentrations was successfully performed. Anomalous viscosity plateau near the gel point was also discussed.

[1] Narita T., Indei T., *Macromol.* (2016)

CO 13 - Etude de la transition sol/gel de fluides aluminosilicatés

A. Poulesquen, J.-B. Champenois, N. Courtois, T. Piallat

DEN/DE2D/SEAD/LCBC, CEA Marcoule

Les fluides aluminosilicatés sont des matériaux inorganiques synthétisés par réaction sol/gel entre une solution de silicate et une solution d'aluminate alcalin. Bien que ces matériaux soient de plus en plus utilisés dans l'industrie pour leur acceptabilité environnementale et leur vaste domaine d'application (génie civil, revêtement, peinture, nucléaire...), les processus de gélification et de vieillissement restent cependant mal compris et maîtrisés, tant d'un point de vue expérimental que théorique. Le but de cette étude est donc de décrire la cinétique de gélification de ces solutions en combinant la rhéologie et la diffusion des rayons X aux petits angles résolues en temps. Les résultats à l'échelle mésoscopique montrent que la cinétique réactionnelle est très rapide, entraînant une rapide augmentation de la taille des entités jusqu'à obtenir un gel de structure fractale. L'influence de la composition chimique (en particulier la teneur en aluminium qui joue un rôle de durcisseur) sera également abordée rhéologiquement en terme de temps de gel, d'élasticité du réseau et de la nature des forces responsables des propriétés viscoélastiques du gel.

CO 14 - Analyse de la transition de sol-gel et des diagramme de phases d'hydrogels de polymères liquides ioniques (PILS) par mesures rheologiques SRFS

C. Carrot¹, O. Ratel¹, J.-C. Majesté¹, C. Monnereau²

¹Université Jean Monnet-IMP, Saint Etienne

²ENS Lyon - UMR 5182

Les batteries au lithium-ion sont des dispositifs de stockage d'énergie à haute densité permettant de développer des véhicules électriques avec une autonomie en constante augmentation. Les poly (liquides ioniques) (PIL) constituent une catégorie de matériaux de plus en plus étudiés, car ils devraient remplacer les électrolytes à solvants organiques inflammables et susceptibles de fuite dans de futurs dispositifs de stockage d'énergie. Dans ce travail, des PIL zwitterioniques, ayant une terminaison phosphonate et des groupes imidazolium sur le squelette du polymère avec un contre-ion bromure, ont été synthétisés pour l'application au stockage d'énergie et leur mécanisme de gélification dans l'eau a été étudié. Cette étude met l'accent sur l'influence des liaisons ioniques sur le mécanisme de formation de gel. Les hydrogels formés à partir de PIL et d'eau montrent des propriétés habituelles de fluide à contrainte seuil et la transition sol-gel est contrôlée par la concentration du polymère et son degré de polymérisation. Le gel a été étudié au moyen de la rhéométrie en mode dynamique à faible déformation et en superposition de fréquence de déformation (SRFS). A l'aide de la modélisation moléculaire, une structure du gel a été proposée et a été confrontée à des mesures rhéologiques. Le mécanisme de formation de gel semble être contrôlé par des liaisons ioniques en fonction de la concentration. Les groupes terminaux phosphonate permettent la création de chaînes très longues construites à partir de liaisons supramoléculaires et la formation d'un réseau Ce réseau d'enchevêtrements disparaît sous écoulement par clivage de liaisons supramoléculaires à l'intérieur de cette chaîne fantôme linéaire. Les éléments résultants relaxent par un mécanisme avec un seul temps de relaxation. En corollaire, une récupération rapide après la cessation du flux peut être facilement obtenue.

CP 2 - Suspensions actives en écoulement: *Chlamydomonas reinhardtii*, une particule active modèle

S. Rafai

LiPhy, Univ. Grenoble Alpes, CNRS UMR 5588

Les suspensions d'organismes vivants motiles représentent un système hors-équilibre de matière condensée d'un grand intérêt d'un point de vue fondamental, ainsi que pour des applications industrielles. Il s'agit de suspensions composées d'unités autonomes - particules actives - capables de convertir l'énergie stockée en mouvement. Les interactions entre les particules actives et le liquide dans lequel elles nagent donnent lieu à des contraintes mécaniques et à un mouvement collectif à grande échelle qui ont récemment suscité beaucoup d'intérêt pour les communautés physiques et mécaniques. Du point de vue industriel, les microalgues sont utilisées dans de nombreuses applications allant de l'industrie alimentaire au développement de nouvelles générations de biocarburants. Les plus grands défis concernant toutes ces applications sont les processus de séparation, de filtration et de concentration des microalgues. Il existe donc un réel besoin d'une meilleure compréhension de l'écoulement de matière active pour assurer un contrôle optimal de ces systèmes.

Nos travaux récents sur les suspensions de micronageurs seront présentés [1-3]. La microalgue *Chlamydomonas Reinhardtii* utilise ses deux flagelles antérieures pour se propulser en milieux aqueux. Elle produit alors une marche aléatoire avec persistance que l'on peut caractériser quantitativement en analysant les trajectoires produites. Par ailleurs, en présence d'un stimulus lumineux, elle biaise sa trajectoire pour la diriger vers la lumière, phénomène que l'on appelle phototactisme. Par un couplage expériences et modélisation, nous proposons d'extraire à partir des caractéristiques hydrodynamiques de cette microalgue les propriétés génériques des suspensions de micronageurs. Comment la nage d'une particule active se couple-t-elle à un écoulement ? Comment la dispersion de particules actives est-elle affectée par les interactions hydrodynamiques ?

[1] M. Martin, A. Barzyk, E. Bertin, P. Peyla, S. Rafai. Photofocusing: Light and flow of phototactic microswimmer suspension. *Phys. Rev. E*, 93, 051101 (2016).

[2] X. Garcia, S. Rafai, P. Peyla. Light control of the flow of phototactic microswimmer suspensions. *Phys. Rev. Lett.*, 110, 138106 (2013).

[3] S. Rafai, L. Jibuti, P. Peyla. Effective viscosity of microswimmer suspensions. *Phys. Rev. Lett.*, 104, 98102 (2010).

CO 15 - X-ray Imaging of flowing suspensions

S. Deboeuf¹, N. Lenoir², D. Hautemayou³, M. Bornert³, F. Blanc⁴, G. Ovarlez⁵

¹*Sorbonne Universités, UPMC, Univ. Paris 06, CNRS, UMR 7190, Institut Jean Le Rond d'Alembert, 75005 Paris*

²*PLACAMAT, UMS 3626 CNRS-Univ. de Bordeaux, Pessac*

³*Université Paris-Est, Laboratoire Navier (UMR 8205) CNRS, ENPC, IFSTTAR, 77420 Marne-la-Vallée*

⁴*CNRS-Université de Nice, LPMC-UMR 7336, 06108 Nice*

⁵*Univ. Bordeaux, CNRS, Solvay, LOF, UMR 5258, 33608 Pessac*

A key element to understand the rheological behavior of suspensions is their microstructure: the spatial distribution of particles depends on flow history, which impacts the suspension macroscopic properties. This appeals for the development of experimental tools allowing for the 3D imaging of particles in viscosimetric flows.

In this talk, we present a technique to image the microstructure of suspensions of non-Brownian particles in 3D, using X-ray computed tomography and sub-voxel identification of particle centers. We illustrate its interest on a few examples. We show that one can get an isotropic microstructure after mixing. Under shear, the microstructure becomes anisotropic in the shear plane, whereas it is isotropic in the two other planes. When changing the plane of shear (from a squeeze flow to a rotation flow), the microstructure reorganizes to follow this change of shear plane. While for Newtonian suspensions the anisotropy is independent on the shear rate, we show that for a yield-stress suspension it depends on it. Finally, we evidence particle alignment along both solid surfaces and free interfaces more surprisingly.

CO 16 - Influence des interactions interparticulaires sur la rhéologie des suspensions

W. Chèvremont

Univ. Grenoble Alpes, Laboratoire Rhéologie et Procédés, 38000, Grenoble

Les écoulements de suspensions de particules mettent en jeu des phénomènes variés qui dépendent fortement de leur concentration, du confinement et du taux de cisaillement. Si les suspensions de particules non-browniennes dans un fluide newtonien présentent un caractère newtonien, beaucoup de suspensions présentent des caractères rhéofluidifiant, rhéoépaississant ou encore viscoélastique. Dans le cadre de ce travail, l'accent est mis sur l'influence des interactions entre particules et comment celles-ci peuvent modifier les propriétés d'écoulement de la suspension. L'objectif à terme de ce travail est de pouvoir modifier les propriétés d'un fluide afin d'influencer les phénomènes de ségrégation, migration ou encore bouchage dans un microcanal.

Des mesures rhéométriques conventionnelles sont menées sur des suspensions associant des microbilles calibrées de PMMA à différents fluides newtoniens. Des mesures de forces interparticulaires sont également menées sur ces mêmes milieux, à l'aide d'un système de pinces optiques. Ces mesures permettent de déterminer les interactions entre particules, et donc leur comportement microscopique. L'objectif est de corrélérer ces deux types de mesures, afin de comprendre l'influence du comportement microscopique sur les propriétés macroscopiques.

D'autre part, ces suspensions sont simulées numériquement par une méthode de type "éléments discrets" (code de calcul Yade-DEM). L'intérêt de ces simulations est double : d'une part, pouvoir tester un grand nombre de conditions, notamment par la réalisation d'études paramétriques, et d'autre part, identifier et quantifier à l'échelle micromécanique les phénomènes dont résultent les observations macroscopiques. Les résultats des expériences et de la simulation sont ensuite confrontés, afin d'une part de valider les résultats de la simulation, et d'autre part d'expliquer les phénomènes expérimentaux.

CO 17 - Sur le rôle du frottement dans les suspensions denses

S. Gallier¹, F. Peters², L. Lobry², E. Lemaire ²

¹*ArianeGroup, Vert le Petit*

²*Institut de Physique de Nice*

Cette étude numérique cherche à mieux comprendre le rôle du contact dans les suspensions concentrées, en particulier l'effet du frottement et des rugosités. Les simulations montrent que le frottement modifie la rhéologie des suspensions (viscosité et contraintes normales) du fait d'une augmentation de la contribution tangentielle mais aussi, principalement, de la contribution des forces normales. La rugosité des particules semble par contre ne jouer qu'un rôle mineur sur la rhéologie, que ce soit en frottant ou en non-frottant. Nous étudions également le rôle du contact en cisaillement oscillant (expériences de Pine et al.). Le frottement, mais aussi cette fois la rugosité, ont une influence sensible sur la transition vers l'irréversibilité, en bon accord avec l'expérience.

CO 18 - Viscosity reduction in dense suspensions via flow control

C. Ness¹, R. Mari², M.E. Cates³

¹*Department of Chemical Engineering and Biotechnology, University of Cambridge*

²*LIPhy, CNRS-Université Grenoble Alpes*

³*Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics, University of Cambridge*

One of the key limiting factors in the processing of dense suspensions is the steep increase of the viscosity with the solid volume fraction and subsequent divergence at the jamming transition. Many industrial processes actually rely on viscosity reduction tricks that push the jamming transition at higher volume fractions. This is usually achieved thanks to composition tuning, altering the microscopic properties either chemically via plasticizers that modify particle surface interactions, or physically via changes in particle shape or polydispersity. However, in many cases, chemical or physical alteration is impossible or costly. Recently, it has been demonstrated that, for some shear-thickening suspensions, one can reduce the viscosity by up to two orders of magnitude without modifying the composition, by superimposing a small amplitude, high frequency oscillatory cross shear (OCS) on top of a desired primary flow. Here we show that this effect extends to a broad class of suspensions for which the stress stems primarily from frictional contacts, that is, many suspensions of large grains (a micrometer and up) in the dense regime. We also show that although the viscosity can be strongly reduced, the energy dissipation is often increased because of the high frequency of the OCS. We trace back the origin of the viscosity reduction to the so-called random organization, a self-organization phenomenon observed in dense suspensions under periodic driving which tends to increase the gaps between suspended particles. Using the properties of random organization, we design an optimal protocol alternating in time OCS and primary flow which mitigates the energy dissipation while still achieving similar viscosity reduction.

CO 19 - Rhéoépaississement discontinu et oscillations de type "slip-stick"

G. Bossis, Y. Grasselli, O. Gueye, A. Ciffréo, O. Volkova,

Laboratoire InPhyNi, CNRS, (UMR7010), Université Nice Sophia-Antipolis

Des suspensions très concentrées de particules dans un liquide polaire peuvent être obtenues grâce à l'utilisation de superplastifiants utilisés dans l'industrie cimentière. A des fractions volumiques suffisamment importantes, on observe une diminution brutale du taux de cisaillement lors d'une rampe croissante de contrainte. Cette transition, appelée "discontinuous shear thickening(DST)", se produit lorsque la contrainte appliquée est assez grande pour que la force répulsive entre particules provenant du superplastifiant ne soit plus suffisante pour empêcher les surfaces des particules d'entrer en contact. On a observé une telle transition aussi bien sur des particules de carbonate de calcium que sur des particules de fer avec, dans ce dernier cas, la possibilité de contrôler le déclenchement de la transition de blocage avec un champ magnétique. On observe que la contrainte critique associée au blocage dépend du champ magnétique appliqué alors que la théorie prédit une contrainte constante. On montre que ce désaccord est relié à la différence de dépendance angulaire entre la contrainte magnétique et la contrainte hydrodynamique. Pour des contraintes supérieures à la contrainte critique, on observe un régime de fortes oscillations du taux de cisaillement qui peut même présenter une partie négative. Un modèle prenant en compte l'inertie de l'outil et le temps de relaxation des contacts frictionnels permet de bien reproduire la forme et la fréquence de ces oscillations ; on met aussi en évidence le fait que l'inversion du taux de cisaillement lors des oscillations est provoquée par la viscoélasticité induite par la transition de blocage. Une corrélation entre les changements de structure déduits de mesures de résistivité et les fluctuations de taux de cisaillement permet de conforter cette explication.

CO 20 - Modélisation de la viscosité de suspensions de particules molles végétales

C. Leverrier¹, G. Cuvelier¹, G. Moulin¹, G. Almeida¹, P. Menu²

¹*AgroParisTech*

²*AgroParisTech/SupAgro*

Les purées de pommes sont des suspensions concentrées de particules non-colloïdales (180 µm), non-sphériques et très déformables. Ces particules sont délimitées par une paroi cellulaire végétale et remplies par la phase continue. Sous contrainte ou lorsque la concentration en particules augmente, elles se compriment, ce qui rend difficile la détermination de leur fraction volumique réelle et la compréhension de leurs propriétés rhéologiques.

En général, le comportement rhéologique des suspensions de particules végétales est décrit par trois domaines de concentration modélisés séparément : un domaine dilué dans lequel les particules interagissent peu (newtonien), un domaine intermédiaire marqué par l'apparition d'un réseau entre les particules (comportement de fluide à seuil, caractérisé par un module élastique à faible déformation qui augmente fortement avec la concentration en particules) et un domaine concentré dans lequel les particules sont contraintes de se déformer pour s'adapter à l'espace environnant et permettre l'écoulement.

Dans ce travail, nous proposons un moyen d'accéder à la fraction volumique apparente des particules et un modèle décrivant la dépendance de la viscosité à la concentration sur une large plage de concentrations. Le modèle proposé, adapté du modèle de Mendoza (Mendoza 2013), s'ajuste avec précision aux résultats expérimentaux obtenus sur des purées de pommes de distribution granulométrique variable et sur des suspensions modèles reconstituées dans plusieurs phases continues. Les paramètres du modèle reflètent la rigidité et l'asphéricité des particules.

Enfin, en combinant microscopie confocale et reconstruction 3D, nous avons pu mettre en évidence que le volume des cellules diminue uniquement dans les suspensions fortement concentrées. Nous apportons ainsi la preuve de la capacité des particules végétales à se comprimer et à diminuer ainsi leur volume lorsque la concentration augmente.

CO 21 - Structure et comportement rhéologique de suspensions de nanocristaux de cellulose, sondés in-situ par rhéo-SAXS et biréfringence locale

F. Pignon¹, A. De Geyer¹, B. Jean³, C. Rey¹, N. Hengl¹, E. Gicquel², J. Bras², S. Prevost⁴, T. Narayanan⁴

¹Laboratoire Rhéologie et Procédés, Univ. Grenoble Alpes, CNRS, 38000 Grenoble

²LGP2, Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Agefpi, 38000 Grenoble

³Univ. Grenoble Alpes, CNRS, CERMAV, F-38000 Grenoble

⁴ESRF, The European Synchrotron, CS 40220, 38043 Grenoble Cedex 9

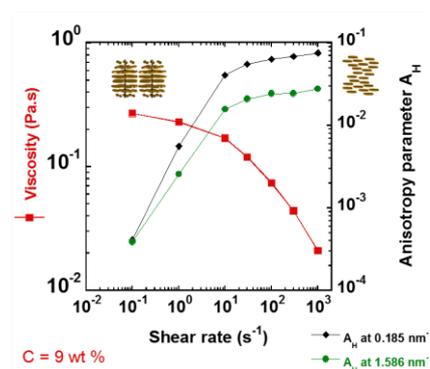
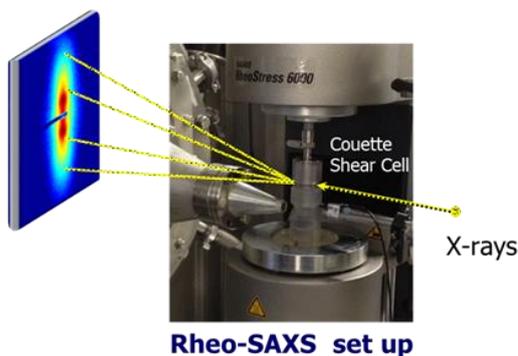
Un aspect important dans le développement de nanocomposites à base de nanocristaux de cellulose (NCC) tient en la capacité de maîtriser les mécanismes de dispersion, d'organisation et d'orientation de ces nanoparticules anisotropes lors de leur mise en œuvre, afin d'atteindre les propriétés mécaniques, optiques ou barrières recherchées [1]. A concentration croissante, le diagramme de phase passe d'un domaine isotrope des NCC isolés à une coexistence de cette phase isotrope et de domaines chiraux nématiques puis à une phase purement chirale nématique [2]. Les courbes d'écoulement des suspensions de NCC possèdent trois domaines de gradients de vitesse : un comportement rhéofluidifiant aux faibles cisaillements, un plateau de viscosité aux gradients intermédiaires et un comportement rhéofluidifiant aux forts gradients [2, 3]. Afin de comprendre les mécanismes structuraux sous-jacents à ce comportement complexe, des mesures in-situ de rhéo-SAXS et de biréfringence locale sous écoulement ont été effectuées. Le calcul du paramètre d'anisotropie [4] à partir des mesures de SAXS a permis d'associer le plateau de viscosité à un alignement de l'axe cholestérique des différents domaines, tandis qu'aux plus forts gradients, la rhéofluidification est liée à l'orientation individuelle des NCC isolés. Lors de la relaxation après un fort cisaillement, deux temps caractéristiques ont été identifiés, reliant deux cinétiques de reprise de viscosité et de désorientation de la structure. Les mesures de biréfringence locales ont permis d'identifier un régime d'écoulement faible, associé à des réarrangements locaux des domaines chiraux nématiques, et un régime d'écoulement fort correspondant à l'orientation croissante des nanocristaux dissociés.

[1] F. Azzam et al., *Biomacromol.*, 17, 2112, 2016.

[2] S. Shafiei-Sabet et al., *Langmuir*, 28, 17124, 2012.

[3] Orts et al., *Macromol.*, 31, 5717, 1998.

[4] M. Muthig et al., *J. Appl. Cryst.*, 46, 1187, 2013.



CO 22 - Rhéologie de suspensions aqueuses de nanofibrilles de cellulose : effet de la fraction volumique et de la force ionique

F. Fneich¹, J. Ville¹, B. Seantier², T. Aubry¹

¹Université de Bretagne Occidentale, Brest

²Université de Bretagne Sud, Lorient

Des aérogels super-isolants thermiques innovants ont été élaborés récemment, par un procédé "vert", à partir de suspensions aqueuses de nanofibrilles de cellulose (NFC). L'objectif de la présente étude est de mieux maîtriser la structure des hydrogels de NFC, précurseurs des aérogels, afin d'élaborer des super-isolants de structure variable et contrôlée.

Les nanofibrilles de cellulose utilisées pour cette étude sont commerciales. Elles ont été obtenues par un prétraitement d'oxydation TEMPO suivi d'un traitement mécanique. Elles portent une densité de charges surfacique de 0,16 C/m², et sont caractérisées géométriquement, à l'aide d'observations au microscope à force atomique, par une longueur moyenne de 520 nm et un diamètre moyen de 4 nm.

Dans une première partie, la viscosité intrinsèque et la constante de Huggins de suspensions diluées de NFC ont été déterminées, pour différentes forces ioniques. Dans l'eau déionisée, les résultats, comparés aux prédictions du modèle de Berry et Russel, montrent l'existence d'un effet électro-visqueux primaire, qui a été quantifié. L'étude viscosimétrique des suspensions de NFC à différentes concentrations en sel montre que l'effet électrovisqueux diminue lorsque la force ionique augmente, en raison de l'écrantage des interactions électrostatiques. Une augmentation de la turbidité des suspensions de NFC au-delà d'une certaine force ionique, met en évidence un phénomène d'agrégation des NFC.

Dans une seconde partie, les propriétés viscoélastiques linéaires et les courbes d'écoulement de suspensions semi-diluées et concentrées de NFC, à différentes forces ioniques, ont été caractérisées et discutées en termes de structure.

CP 3 - Rhéologie du magma et activité volcanique : apport de la physique expérimentale

V. Vidal

Laboratoire de Physique, ENS Lyon, CNRS UMR 5672

Un tour du monde des volcans montre une incroyable diversité de comportement, allant d'éruptions effusives (coulées de lave) à des dynamiques extrêmement explosives. Ces différences ont pour origine principale la rhéologie du magma, qui varie fortement selon sa température, sa composition chimique mais aussi son contenu en bulles et en cristaux. Les expériences de laboratoire sont une approche privilégiée pour comprendre le lien entre la rhéologie complexe du magma et l'activité volcanique. Un analogue du magma en laboratoire doit présenter les caractéristiques suivantes : fluide à seuil, rhéofluidifiant, thixotrope, avec une microstructure se modifiant sous écoulement. Ce travail présente les résultats d'une collaboration originale entre des physiciens spécialistes de la matière molle et des volcanologues, au cours de laquelle nous avons étudié la dynamique d'un gel de particules non-browniennes sous cisaillement. L'analyse de la rhéologie globale, couplée à des mesures locales par vélocimétrie ultrasonore, permet de caractériser les différents scénarios d'écoulement en fonction du temps de vieillissement et du taux de cisaillement appliqué. On observe en particulier la formation de bandes de cisaillement, qui grandissent par des événements de type avalanche jusqu'à fluidification complète de l'échantillon. Le lien avec la génération de signaux sismiques sur les volcans (trémor volcanique) sera discuté.

CO 23 - Rhéologie de suspensions de fibres rigides concentrées

F. Tapia, O. Pouliquen, E. Guazzelli

IUSTI, Aix-Marseille

Nous étudions la rhéologie de suspensions visqueuses de fibres rigides non-colloïdales. Nous avons utilisé un rhéomètre en géométrie plan-plan, qui permet d'imposer soit la fraction volumique, soit la pression sur les particules. Des mesures précises de la contrainte de cisaillement et de la contrainte normale particulaire ont été obtenues dans le régime dense (proche de la transition de blocage) et pour des rapports d'aspect compris entre 3 et 15. Les mesures rhéologiques montrent des comportements de fluide à seuil. Les contraintes seuil de cisaillement et normales augmentent avec la fraction volumique et de manière plus forte pour les plus grand rapport d'aspect.

En retranchant ces contraintes seuil, nous retrouvons une rhéologie visqueuse où les contraintes de cisaillement et normale sont proportionnelles au taux de cisaillement. La variation du rapport d'aspect n'affecte pas le coefficient de frottement macroscopique et n'affecte que la fraction volumique maximale qui décroît en fonction du rapport d'aspect. En mettant à l'échelle la fraction volumique en la divisant par cette fraction volumique maximale, toutes les données de viscosités de cisaillement et normales se rassemblent sur des courbes maîtresses. Nous proposons des équations constitutives pour les viscosités et pour coefficient de friction près de la transition de blocage. Un résultat important est que les viscosités de cisaillement et normales divergent algébriquement avec l'écart de fraction volumique avec la fraction volumique maximale avec un exposant -1 qui contraste avec l'exposant -2 observé pour les suspensions de sphères.

CO 24 - Rhéologie et évolution de l'orientation de suspensions semi-diluées de fibres en compression

T. Laurencin¹, P. Laure², P. Dumont³, L. Orgéas¹, L. Silva⁴, S. Rolland du Roscoat¹

¹*3SR, Grenoble*

²*CEMEF/JAD, Nice*

³*LaMCoS, Lyon*

⁴*ICI, Nantes*

En utilisant la micro-tomographie en temps réel et la simulation numérique directe, on veut étudier le comportement des suspensions de fibre pour un fluide complexe en géométrie confinée. On va comparer l'évolution de l'orientation de chaque fibre, ainsi que la contrainte mesurée sur le plateau de compression. La matrice utilisée dans les expériences est du gel de bougie qui a un comportement rhéofluidifiant à la température de l'expérience. Les déviations de l'orientation par rapport au modèle de Jeffery sont analysées en regardant les interactions entre fibres, entre les fibres et la paroi et la rhéologie de la matrice (newtonien, loi puissance ou Herschel-Bulkley). De même, la contrainte macroscopique est comparée aux modèles généralisant le modèle de Lipscomb aux matrices ayant un comportement rhéologique complexe (Souloumiac, Ferec et Ausias, ..). La simulation numérique permet aussi d'explorer plus largement ce régime semi-dilué, la génération d'échantillons numériques étant plus facile.

CO 25 - Orientation kinematics of suspended rigid fibres: a first step towards data-driven simulations

A. Scheuer¹, E. Abisset-Chavanne¹, F. Chinesta¹, R. Keunings²

¹*Ecole Centrale de Nantes, Nantes*

²*Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgique*

The orientation behaviour of rod-like particles suspended in a viscous fluid flow is an important problem in composite manufacturing processes. Predicting the evolution of the orientation state can be extremely complex, and changes in fibre orientation correspond to changes in the final mechanical properties of the part. The standard fibre orientation model is based on Jeffery's equation, which describes the evolution of a single particle immersed in a Newtonian fluid at the microscopic scale. Later, coarser macroscopic models, aimed at describing the orientation state of a population of particles through orientation tensors, were introduced by Advani and Tucker. Such models also rely on Jeffery's theory but their derivation involves closure approximations of a purely mathematical nature that can impact significantly the accuracy of the prediction. In this work, we explore the opportunity to conduct data-driven macroscopic simulations of orientation development in dilute suspensions of rigid fibres, circumventing the use of closure approximations. This framework might be useful to address the scenario of confined suspensions flowing in narrow gaps, for which state-of-the-art closures proved to be inadequate.

CO 26 - Suspension flow around a cylinder at finite particle Reynolds number

R. Maurin¹, L. Lacaze², M. Mercier², J. Morris³

¹*IMFT, INP, Toulouse*

²*IMFT, CNRS, Toulouse*

³*City College of New York*

While the rheology of suspensions has been mainly studied in the Stokes regime, applications such as blood flows or sediment transport include flows at finite particle Reynolds number requiring a more general understanding. In this perspective, we revisit experimentally the well-known configuration of the flow around a cylinder, with a neutrally-buoyant suspension. Varying the particle Reynolds number and the solid volume fraction, this allows us, on one hand to compare the evolution of the cylinder wake as a function of the cylinder Reynolds number, and on the other hand to study the local dynamics of the particle relative to the interstitial fluid flow. In particular, we show that the presence of particles affects the shape of the cylinder wake in a non-trivial way, which cannot be attributed to the only modification of the effective suspension viscosity due to the presence of particles.

CO 27 - Corrélation de la densité de greffage de silanes avec la rhéologie non-linéaire d'élastomères chargés de silice : couplage de l'écoulement et de la température.

J.-C. Majesté

¹*Université Jean Monnet-IMP, Saint Etienne*

L'élaboration de pneumatiques à basse résistance au roulement passe par l'introduction de silice dans les élastomères, en commençant par ceux des bandes de roulement. La mise en forme des profilés des bandes par extrusion peut entraîner l'apparition de défauts volumiques, responsables d'une diminution des performances industrielles. La compréhension des interactions entre les composants du mélange et l'analyse du comportement rhéologique sont primordiales pour expliquer l'origine des défauts d'extrusion et espérer les éliminer.

Ce travail propose de fournir une compréhension et description rhéologique de l'origine micro-structurale de l'intensité du défaut volumique.

Pour cela, des mélanges modèles, de formulation simplifiée mais générant des défauts volumiques lors de leur extrusion, ont été étudiés dans des conditions de mélange contrôlées (BR, SBR, Silice + agent de recouvrement ou de couplage).

Plusieurs descripteurs rhéologiques ont été corrélés aux taux de greffage silice/élastomère mesurés par RMN et analyses physico-chimiques. On observe sans surprise une augmentation du caractère rhéoépaississant sous écoulement élongationnel et des temps de relaxation avec l'augmentation du taux de greffage. Cependant, les propriétés rhéologiques sont fortement dépendantes des conditions de mélange. Ces résultats s'expliquent par la création d'une structure de charges connectées via l'élastomère créée par la température mais détruite par l'écoulement. Il existe donc une compétition entre les réactions de greffage et des phénomènes de rupture qui entraînent respectivement la croissance ou la diminution de la taille des objets connectés responsables du comportement rhéoépaississant.

Un modèle rendant compte de cette compétition a été mis au point en s'appuyant sur la théorie de percolation dans des amas d'agrégats et une cinétique de rupture des liaisons sous écoulement. Il permet une bonne estimation des descripteurs rhéologiques en fonction des conditions de mélange.

CO 28 - À la frontière du pâteux et du granulaire, la rhéologie des boues résiduares déshydratées dans un sécheur

M. Mouzaoui¹, M. Sauceau², J.-C. Baudez^{1,3}, P. Arlabosse²

¹*Irstea, UR TSCF, Domaine des Palaquins, 03150 Montoldre*

²*Université de Toulouse; Mines Albi; CNRS; Centre RAPSODEE, Albi*

³*LIST Environmental Research and Innovation Department, 41 rue du Brill, L-4422 Belvaux, Luxembourg.*

La production des boues résiduares au niveau de l'Union Européenne ne cesse d'augmenter et devient un défi sociétal majeur. Pour réduire les volumes et faciliter la réutilisation de la matière organique, le séchage thermique est l'une des opérations les plus couramment mises en œuvre dans les grosses stations d'épuration [1-3]. Cependant, le procédé reste énergivore : maîtriser la facture énergétique implique de contrôler les paramètres opératoires, parmi lesquels le temps de séjour, et donc la vitesse d'écoulement dans le sécheur.

Contrôler le temps de séjour implique donc de connaître l'évolution des propriétés rhéologiques des boues au cours du séchage. Or, la littérature dédiée à la rhéologie des boues résiduares est essentiellement focalisée sur les faibles et moyennes concentrations (MS < 8%) [4, 5]. Très peu de travaux existent sur la caractérisation rhéologique des boues fortement concentrées, notamment parce que les mesures sont difficiles à mettre en œuvre. En effet, lorsque la teneur en MS augmente, des contacts directs entre les particules apparaissent et peuvent devenir prédominant, engendrant dilataance [6-9] et fracture [10, 11]. Pour tenir compte de ces phénomènes perturbateurs, des corrections de surface peuvent être apportées. C'est le premier objectif de ce travail. Ensuite, il faut évaluer l'impact de la concentration sur la nature du comportement rhéologique. Nos résultats montrent que, à partir d'une série d'expérience de cisaillement à différentes teneur en MS, trois régimes peuvent être définis : lubrifié à faible teneur en MS, frictionnel à forte teneur en MS et transitionnel entre les deux, présentant des similitudes avec les matériaux granulaires [8, 12].

[1] Arlabosse et al., 2012

[2] Ferrasse, Arlabosse, Lecomte, 2002

[3] Charlou et al., 2015

[4] Eshtiaghi et al., 2013

[5] Ratkovich et al., 2013

[6] Bagnold, 1966

[7] Jaeger, Nagel, 1992

[8] Van Damme et al., 2002

[9] Coussot, 2014

[10] Baudez, Coussot, 2001

[11] Chaari et al., 2003

[12] Mansoutre, Colombet, and Van Damme 1999

CO 29 - Miscibility of functional polyethylene oligomers in polyolefin blends

M. Robert¹, P. Cassagnau¹, A. Bergeron-Vanhille², M. Fumagalli¹

¹*Ingénierie des Matériaux Polymères, Université Claude Bernard, Lyon 1*

²*Hutchinson*

The formulation of thermoplastic materials involves the blending of fillers and additives in order to improve their technical features as well as their processability. The aim of this study is to assess the compatibility of functional PE oligomers with polyolefin matrices as they could be used to control the filler dispersion in highly filled polymer formulations.

In the process of blending a low viscosity PE oligomer with a high viscosity polyolefin matrix, the homogenization of the system proceeds through two mechanisms: mixing and diffusion. Several studies showed that the behaviour of such a system is more sensitive to diffusion than to the viscosity ratio when the latter is lower than 10⁻³. The blending of a PE oligomer into a polymer matrix consequently resulted in a lubricating effect and a decreased viscosity. Lubrication occurs in the case of a slow diffusion of the additive into the matrix, causing the low viscosity component to segregate to the high shear rate zones of the mixing equipment.

Rheological characterization showed a good miscibility between the functional PE oligomer and the polyolefin matrices in the molten state, although the data collected did not exactly fit the model for concentrations exceeding 10wt% in PE oligomers. Furthermore, bi-layer rheological measurements indicated that the oligomers demonstrate rapid diffusion into the polyolefin matrices in the molten state.

However, tensile testing suggested that the presence of more than 5wt% of PE oligomers in the blends could result in the decrease of their mechanical properties. Differential scanning calorimetry (DSC) brought some more insight to the study as it showed no sign of co-crystallization between the PE oligomers and any of the matrices, suggesting there could be a phase separation in the solid state. Additional experiments such as hot stage optical microscopy (HSOM) confirmed that the PE-oligomer and the polyolefin matrix form separate domains upon crystallization of the blend.

CO 30 - Un modèle microrhéologique pour la prévision des diagrammes de continuité des mélanges de polymères non miscibles

I. Charfeddine¹, C. Carrot¹, J.-C. Majesté¹, O. Lhost²

¹Université Jean Monnet-IMP, Saint Etienne

²TOTAL

La morphologie des mélanges de polymères immiscibles définit l'essentiel de leurs propriétés. Pour des mélanges réalisés à l'état fondu, dans les outils de mélange industriels adéquats pour les fortes viscosités des composants, cette morphologie dépend de la composition, des comportements rhéologiques des phases, des conditions du mélange et de la tension interfaciale. La prédiction des morphologies de mélanges de polymères est donc un problème de rhéologie et de physico-chimie qui peut trouver des bases dans les connaissances de microrhéologie. Toutefois, si ces analyses sont rationalisées pour les morphologies gouttes/matrice, un modèle géométrique des phases co-continues et un scénario d'établissement de la transition entre ces deux morphologies restait à établir. Un tel modèle global permettant d'établir les diagrammes de morphologie en fonction de la composition sera présenté. Les prédictions seront comparées aux aires d'interface et aux dimensions des phases calculées à partir des morphologies observées en microscopie électronique à balayage pour des mélanges de polyoléfinés. Un intérêt particulier sera porté aux prévisions des bornes du domaine de continuité.

CO 31 - In situ reactive interphase with graft copolymers in multilayered polymer systems: rheological and dielectric investigations

B. Lu, K. Lamnawar, A. Maazouz

Univ. Lyon, INSA Lyon, CNRS, UMR 5223, Ingénierie des Matériaux Polymères, 69621, Villeurbanne

We present a fundamental study of rheological, dynamic and dielectric properties of multilayered polymer systems based on polyamide 6 (PA6)/maleic anhydride grafted PVDF (PVDF-g-MAH) as model [1, 2]. Some new insights into the in situ reactive interphase with graft copolymer are highlighted. Firstly, influence of this formed interphase on shear and extensional rheology was studied. The in-situ graft copolymer and mutual diffusion between the neighboring layers significantly contributed to overall viscoelastic responses in both linear and nonlinear regimes. In contrast to start-up shear, shear stress relaxation and extensional rheology were demonstrated to be pretty sensitive to the reactive interphase. Specifically, under fast extensional flows, the reactively healed bilayer showed an enhanced strain-hardening mainly due to the interfacial stiffening as a result of the resistance to the interfacial deformation by the formed graft copolymers. Secondly, evolution of reactive interphase and its effects of on microscopic dynamics and structural properties were further probed by dielectric relaxation spectroscopy (DRS). Interestingly, the reactive interphase drastically altered the dielectric responses of the bilayer upon healing, manifesting in the distinct interfacial relaxation/polarization. Relaxation strength of the interfacial polarization was increased linearly as a function of reaction time, and further improved by increasing the number of layers. In good agreement with rheology, DRS also demonstrated the retarded microscopical dynamics by reactive interphase in healed bilayer. Taking the molecular relaxation spectrum as a probe, effects of reactive interphase on resulting charge dynamics and structural properties of bilayers were further evaluated.

[1] B. Lu, K. Lamnawar, A. Maazouz, *Soft Matt.*, 13, 2523-2535 (2017).

[2] B. Lu, K. Lamnawar, A. Maazouz, H. Zhang, *Soft Matt.*, 12, 3252-3264 (2016).

CO 32 - Behavior of syntactic foams under pressure: comparison between simulation and experiments

B. Paget^{1,2}, P. Cassagnau², M. Zinet²

¹*DCNS Research*

²*Ingénierie des Matériaux Polymères, Université Claude Bernard, Lyon 1*

Syntactic foams are composite materials used in a wide range of applications. The association of hollow particles, called “microspheres”, and a polymer matrix create a material with extraordinary properties.

The present study focuses on syntactic foams made with soft shell microspheres. The use of soft shells gives the syntactic foam interesting acoustical properties (sound absorption), but in return increases widely its compressibility. Pressure applied to such a material tends to crush the microspheres, which affects the acoustical properties. Understanding the relation between pressure and volume is a crucial issue to generalize the use of soft shell microspheres.

We use in our study a simulation of the compression of a microsphere composite based on the work of Pascalis et al. [1] and Fok and Allwright [2], and a microsphere composite sample synthesized at IMP Lyon1. Our goal is to compare the predicted pressure/volume curve to the empirical curve, which will allow us to conclude on the quality of the model.

Various mechanical tests have been conducted on the microsphere composite sample to determine the properties of both the microspheres and the matrix surrounding it, including an innovative way to measure the Young modulus of the microsphere shell using the least squares method and a capillary rheometer.

The compression of the microsphere composite is realized using a capillary rheometer with a PVT accessory. The foam is placed in a chamber filled with a solvent which ensures that the pressure applied is perfectly hydrostatic. The volume change is then measured with the piston displacement.

[1] R. Pascalis, D. Abrahams, W.J. Parnell, *J. Mech. Phys. Sol.*, 61, 1106-1123 (2013).

[2] S.L. Fok, D.J. Allwright, *J. Strain Anal.*, 36, 535 (2001).

CO 33 - Comportement rhéologique des plastisols en rhéométrie capillaire

Y. Demay¹, Y. Abdesselam^{2,3}, R. Castellani², J.-F. Agassant²

¹*U.C.A., Laboratoire J.A. Dieudonné, Nice*

²*MINES ParisTech, PSL Research University, Centre de Mise en Forme de Matériaux (CEMEF), 06904 Sophia Antipolis*

³*Tarkett GLD, Luxembourg*

Les formulations de plastisol, utilisées essentiellement pour la fabrication de revêtement de sol, sont des suspensions de particules de PVC, de charges minérales et d'un certain nombre d'additifs dans un plastifiant de comportement newtonien. Leur comportement rhéologique, étudié principalement dans des rhéomètres de type plan/plan, est analogue à celui de suspensions : comportement rhéofluidifiant à bas taux de cisaillement, suivi d'un plateau newtonien et d'un comportement dilatant. La rhéométrie capillaire permet d'étudier leur comportement dans le domaine des hauts taux de cisaillement qui sont couramment rencontrés dans les procédés. On observe dans ce domaine de sollicitations un deuxième comportement rhéofluidifiant, mais également des phénomènes curieux que nous nous proposons d'explicitier dans cette communication :

- La dépendance de la rhéologie en fonction du diamètre du capillaire que nous interprétons, grâce à une modélisation numérique, par l'apparition d'une vitesse de glissement.

- Une correction de pression d'entrée très importante dans le cône d'entrée du capillaire, que nous interprétons, grâce à un modèle dérivé de la méthode de Cogswell, par une viscosité élongationnelle très élevée.

CO 34 - A combined method for electrical conductivity measurement of polymer composites under extensional deformation

M. Marcourt, R. Fulchiron, P. Cassagnau

Ingénierie des Matériaux Polymères, Université Claude Bernard, Lyon 1

The addition of carbon nanotubes (CNT) to polymer has paved the way to ultra-low filled nanocomposites characterized with both electrical and mechanical properties. In the last decades, those materials have been a great topic of studies, particularly as concerns the rheological behavior and electrical characteristics under shear rate. Those works have, amongst others, highlighted the drastic structural change of the filler network under external forces, explaining why the industrialization of materials with tailored physical properties remains a thorny challenge. To go further in the comprehension of the filler network evolution during melt deformation, this work focuses on the case of elongated melt by a combination of conductivity monitoring and extensional rheological measurement. For this specific purpose, an Extensional Viscosity Fixture (EVF) accessory of a rotational rheometer ARES has been modified to allow the sample conductivity measurement during extensional test.

This original set-up gives access to the electrical conductivities variation of the specimen under extensional deformation, making possible the determination of the maximal Hencky deformation that nanocomposites can undergo before becoming electrically insulating. It has been observed that in elongated melts the filler network behavior is governed by the molecular dynamics of the polymer. From a substantive viewpoint, this allows the determination of the melt process parameters in order to get final parts with tailored physical properties.

CO 35 - Refroidir en apportant de l'énergie

L. Noirez, P. Baroni

Laboratoire Léon Brillouin (CEA-CNRS), Univ. Paris-Saclay, CEA-Saclay, 91191, Gif-sur-Yvette Cédex

Nous montrons qu'il est possible de modifier la température d'un liquide sous cisaillement, générant non seulement le chaud mais également le froid, en jouant avec la force d'interaction des molécules avec la surface solide. Il est ainsi montré que des liquides aussi "simples" que l'eau refroidissent lorsqu'ils sont soumis à de faibles taux de cisaillement. Ce résultat obtenu à l'échelle sub-millimétrique va à l'encontre du modèle académique qui ne peut prévoir que l'échauffement par friction visqueuse. Le refroidissement implique des corrélations à longue portée dans le liquide, ce qui questionne un quasi-dogme en dynamique, à savoir que l'écoulement ne serait pas lié à un temps de relaxation moléculaire. D'un point de vue pratique, il deviendrait possible d'exploiter l'énergie interfaciale comme convertisseur d'énergie dans des domaines où interviennent le transport des liquides (transport de liquides physiologiques, industries agroalimentaires, applications industrielles). L'optimisation de ces processus pourrait apporter de nouvelles alternatives aux techniques classiques de production de froid comme l'expansion, la vaporisation d'un gaz, ou encore l'effet Peltier. Dans ce contexte, nous montrerons l'importance des mécanismes de transferts interfaciaux et des techniques qui permettent de les caractériser. Ces travaux sont publiés dans la revue *J. Phys. Chem. Letters* 2013, 4, 2026 et sont l'objet d'un dépôt de brevet d'invention (Fr1255629).

CO 36 – Migration au cours du malaxage de nanoplaquettes minérales dans un mélange de polymères immiscibles

F. Fneich, J. Ville, P. Elies, P. Mederic, T. Aubry

Université de Bretagne Occidentale, Brest

Plusieurs études ont montré que l'ajout de nanoplaquettes minérales s'avérait efficace pour compatibiliser les mélanges de polymères immiscibles. La localisation de ces charges dans la matrice, au sein de la phase dispersée ou à l'interface matrice/inclusions, est déterminante pour le contrôle et la stabilité de la morphologie des mélanges. Si les relations élaboration / structure / morphologie / propriétés d'usage des mélanges polyoléfine/polyamide/nanoplaquettes minérales sont largement évoquées dans la littérature, peu d'études portent sur la migration de nanoparticules au sein du mélange lors du malaxage.

L'objectif principal de cette étude est d'appréhender les mécanismes d'exfoliation des charges argileuses et leur migration au sein d'un mélange polyéthylène/polyamide durant le malaxage. Pour cela, des mélanges chargés et non chargés ont été élaborés à différents temps de malaxage et observés par différentes techniques de microscopie. L'évolution de la morphologie en fonction du temps de séjour au mélangeur interne est observée en microscopie confocale. Le suivi des entités argileuses micrométriques dans le mélange est réalisé à partir des clichés de microscopie électronique à balayage. Le degré d'exfoliation des nanoplaquettes et leur localisation dans la phase polyamide au cours du temps sont caractérisés en microscopie électronique en transmission.

L'outil rhéologique en viscoélasticité linéaire est utilisé pour suivre l'évolution des mécanismes d'établissement de la morphologie nodulaire et les mécanismes de migration de nanoparticules pendant le malaxage, jusqu'à l'établissement d'une interphase.

Résumés des présentations par affiche

P 1 - Influence of stearic acid on rheological and morphological properties in zirconia-filled polyethylene

P. Cassagnau¹, R. Fulchiron¹, M.-C. Auscher¹, T. Périé²

¹*Ingénierie des Matériaux Polymères, Université Claude Bernard, Lyon 1*

²*Saint-Gobain*

The effect of stearic acid on the flow behavior of zirconia-filled polymers has been studied over a broad span of particle concentrations (from 0 to 42 vol.% i.e., from 0 to 82 wt.%). This study shows that the effect of stearic acid on the melt rheology depends on the filler content, suggesting that different dispersion mechanisms of the fatty acid are involved and prevail over others, depending on the solid concentration. It is shown, for instance, that stearic acid lowers the percolation threshold and modifies the dispersion state, inducing two main regimes in terms of concentration ranges with different network structures. The dispersion contributions are discussed for each regime by coupling SEM dispersion characterization, dynamic and transient rheological measurements.

P 2 - Etude expérimentale de l'instabilité de Rayleigh- Bénard dans les fluides rhéo-fluidifiants

Z. Kebiche

Université Ferhat Abbas, Algérie

L'objectif de ce travail est l'étude expérimentale de la convection de Rayleigh-Bénard dans les fluides rhéofluidifiants et, plus précisément, l'influence des paramètres rhéologiques (thermodépendance, degré de rhéofluidification, vitesse de cisaillement critique) 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 a été démontrée 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, en accord complet avec les prédictions théoriques et les études expérimentales précédentes.

P 3 - Transition de mouillage sur des matériaux textiles hydrophobes.

F. Biguenet, D. Dupuis

*Université de Haute Alsace, Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles (LPMT), EA 4365,
ENSISA, 11 rue A. Werner, 68100 Mulhouse*

Les matériaux textiles hydrophobes ou super hydrophobes sont maintenant largement répandus [1]. L'hydrophobicité de la structure fibreuse est obtenue par la nature hydrophobe du matériau ou un traitement effectué pour ce but. Elle est renforcée par l'existence d'une rugosité à plusieurs échelles [2, 3]. Néanmoins, lorsqu'un liquide déposé sur une surface de ce type est soumis à une contrainte mécanique, il peut arriver à pénétrer, voire à traverser, la structure.

Dans ce travail, nous étudions les transitions de mouillage que l'on peut observer sur des surfaces textiles. L'expérience consiste à déposer une goutte de liquide sur la surface textile. Le dispositif mis au point au laboratoire permet de comprimer la goutte à l'aide d'un palpeur puis de la relâcher tout en enregistrant la forme de la goutte. Les angles de contacts sont ensuite mesurés avant et après compression. L'expérience est réalisée pour plusieurs valeurs de la pression maximale. Plusieurs types de tissus ont été testés, en particulier des tissus utilisés pour des applications biomédicales.

Dans le cas de matériaux modèles pour lesquels la rugosité est constituée de plots rigides régulièrement espacés, la transition de mouillage est brutale, c'est-à-dire qu'il existe une pression critique au-delà de laquelle une goutte de liquide, initialement dans un état « fakir », se trouve passer à un état « empalé » [4]. On observe que, dans le cas de matériaux textiles, cette transition se fait progressivement, sans doute du fait de la déformabilité de la structure fibreuse.

[1] J Drelich, A. Marmur, Physics and applications of superhydrophobic and superhydrophilic surfaces and coatings. *Surf. Innov.*, 2, 211-227 (2014).

[2] R. H. Dettre, R. E. Johnson, in: *Contact Angle Wettability Adhesives* (American Chemical Society), pp. 136–144 (1964)

[3] J. Bico, C. Marzolin, D. Quéré, Pearl drops, *Europhys. Lett.* 47, 220-226 (1999).

[4] A. Lafuma, D. Quéré, Superhydrophobic states, *Nat. Mater.*, 2, 457 (2003).

P 4 - Impact of surfactant on non-Newtonian fluid behaviour during viscous fingering occurrence

S. Ahmadikhams^{1,2}, S. Bahrani¹, F. Golfier², C. Oltean²

¹Laboratoire de Géoresources, Université de Lorraine, Nancy

²Chichest Polymeran Sanat, Urmia Science and Technology Center, Urmia, Iran

During the last decades, an increasing attention has been given to the use of polymer-surfactant solutions in Enhanced Oil Recovery (EOR) processes. This flooding technique consists in injecting high molecular weight water-soluble polymers and surfactants to increase the mobility of the aqueous phase, and hence, improve the sweep efficiency. However, the fluid rheology (non-Newtonian behaviour) and the onset of hydrodynamic instabilities may lead to a significant reduction of oil recovery. The viscosity difference drives the formation of finger like patterns called viscous fingers. This is the so-called Saffman-Taylor instability.

The goal of this study is to investigate the role of surface tension reduction, induced by surfactant additive, on the complex fluids, in the development of viscous fingering patterns. In fact, the surfactants are substances which, particularly in the aqueous solution, attempt to regroup at the interfaces in order to prevent coalescence and stabilize the mixtures. The use of polymer-surfactant solution enhances the viscous fingering which increases with viscosity ratio and is a limiting factor in the recovery of crude oil.

The Hele-Shaw cell used in this investigation is made of two glass plates with different cell thickness (from 0.1 to 0.5 mm). The less viscous fluid is injected into the cell by a syringe pump, through a hole drilled in the center of the top plate and displaces a more viscous one. The evolution of the finger pattern with time is followed at different flow rates (from 1 to 10 mL/h). A CCD camera connected to a video recorder at an image capture rate of 25 images/s, monitors the experiment. Two non-Newtonian fluids, xanthan gum (shear-thinning) and Carbopol 940 (yield stress), are considered as injected fluids in the fluid at rest. This later will be modified to achieve the miscible and immiscible systems. In such system the influence of surfactant to the mobility and viscous fingering were studied. The primary results show, for the same experiment conditions (cell thickness, flow rate), that the width of the finger decrease with mobility factor.

P 5 - Mécanismes physico-chimiques impliqués dans la fabrication de capsules de céramique

J. Godefroid¹, C. Monteux¹, D. Bouttes², E. Nonnet²

¹Laboratoire Sciences et Ingénierie de la Matière Molle, CNRS UMR 7615, ESPCI Paris, PSL Research University, 10 rue Vauquelin, 75231 Paris cedex 05

²Saint-Gobain, Centre de Recherches et d'Etudes Européen, Cavaillon

L'encapsulation des poudres céramiques est un sujet d'intérêt pour de nombreuses applications industrielles. Une des techniques d'encapsulation consiste à utiliser la gélification de l'alginate grâce aux ions Ca^{2+} . L'objectif principal est de contrôler la forme finale des capsules. En effet, quand les gouttes impactent le bain, elles s'aplatissent à cause du changement brutal de vitesse. On cherche à comprendre les mécanismes physico-chimiques et interfaciaux intervenant dans ce procédé afin de contrôler la sphéricité des capsules.

Comme relaté dans la littérature, plusieurs paramètres clés entrent en jeu : la structure de l'alginate et la viscosité de la suspension, la cinétique de gélification, la force ionique du bain ainsi que le pH. Cependant, il n'y a pas ou peu d'articles qui étudient le problème pour des sphères contenant des particules colloïdales. Ces suspensions sont fortement rhéofluidifiantes, ce qui influence la dynamique en sortie de buse et lors de l'impact. Nous montrerons également que les propriétés mécaniques du gel final contrôlent la relaxation des capsules dans le bain.

P 6 - Rhéologie des cendres de bois en suspension céramique

L. Soum, A. Filhol, G. Pillet

Société Française de Céramique

Depuis 2000, l'Union Européenne et notamment la France ont choisi le développement de la biomasse comme voie privilégiée pour participer à la maîtrise des consommations de ressources énergétiques. Dans cette optique, l'ADEME a lancé le programme Bois Energie pour la mise en place de chaufferies sur le territoire. Les nombreux programmes nationaux créés depuis attestent du fort engouement suscité par celui-ci.

Néanmoins, en dépit d'un succès certain, une conséquence de ce développement est l'accumulation grandissante de résidus de combustion qu'il convient aujourd'hui de valoriser dans d'autres secteurs que l'agriculture.

Ainsi, la Société Française de Céramique (SFC) a initié en 2012 le projet CeraCendres permettant de montrer qu'il existait un réel potentiel de valorisation des cendres de bois, notamment dans la filière de la terre cuite (meilleure propriété mécanique, baisse des températures de cuisson, etc.). Ce projet a également mis en avant des verrous technologiques relatifs aux perturbations rhéologiques engendrées par la présence de cendres dans des milieux en suspension.

Face à cette problématique et suite au succès de cette étude, le projet WACER a été lancé (en partenariat avec l'ADEME et deux énergéticiens français) dont l'objectif est la valorisation de cendres par voie liquide et ainsi créer une nouvelle matière première assimilable dans tous les secteurs céramiques.

Compte tenu de la teneur des cendres, des étapes de préparation apparaissent nécessaires afin d'assurer une insertion correcte au sein de différents types de barbotines (grès pour carreaux, grès culinaire et vitreous sanitaire). L'étude a pour objectif de déterminer quels traitements permettent de rendre inerte les cendres et de définir les systèmes favorables à l'insertion de cendres de bois préparées. Les analyses réalisées sur les barbotines porteront sur des paramètres tels que la densité, la viscosité statique (Gallenkamp, coupe Ford), la viscosité dynamique et la thixotropie.

P 7 - Notions d'histoires mécaniques et d'état de référence pour les fluides thixotropes. Le cas des boues d'épuration.

O. Thiene¹, E. Dieudé-Fauvel¹, J.-C. Baudez²

¹*Irstea, UR TSCF, Domaine des Palaquins, 40, route de Chazeuil, Montoldre, 03150*

²*LIST, Environmental Research and Innovation (ERIN) department, 41, rue du Brill, L-4422 Belvaux, Luxembourg*

Pour améliorer l'efficacité de traitement des boues d'épuration, la littérature souligne la nécessité de maîtriser les paramètres biologiques, mais également les paramètres rhéologiques tout au long de la filière de traitement. Cependant, la variabilité des résultats montre la difficulté de mettre en place des méthodes fiables et adaptées à la nature du matériau.

Les travaux présentés ici visent à expliquer l'origine de cette variabilité et à mettre en place des procédures expérimentales robustes.

Une analyse critique de la littérature met en évidence des procédures expérimentales disparates qui peuvent en partie expliquer les différences de résultats. Ainsi, le précisaillement, procédure couramment employée, est censé mettre les échantillons dans un même état de référence, mais son intensité varie souvent beaucoup et son impact réel n'est globalement pas validé.

Nous avons donc étudié l'impact réel du précisaillement sur les caractéristiques rhéologiques mesurées en faisant varier sa durée et son intensité. Nos résultats montrent qu'atteindre un même état de référence avec un niveau de précisaillement constant n'est possible que pour des boues faiblement concentrées. Aux concentrations plus élevées, l'histoire mécanique impacte les résultats : la boue est d'autant plus fluide qu'elle a subi un précisaillement long ou qu'elle a subi plusieurs précisaillements. Aucun état stable ne peut être atteint avec les précisaillements tels qu'ils sont présentés et utilisés dans la littérature.

Pour obtenir des données répétables, l'état de référence doit être lié à une consigne et non à une durée ou une intensité de précisaillement. Tant que la valeur de consigne n'est pas atteinte, la caractérisation ne peut être effectuée.

Outre le fait d'expliquer pourquoi différents résultats peuvent être obtenus avec des matériaux similaires, nos résultats soulignent l'impact inévitable et difficilement contrôlable de l'histoire mécanique sur la conduite des procédés de traitement.

P 8 - Hydrodynamique du brassage de fluides épais par injection de gaz. Application à la méthanisation pour la valorisation des déchets

L. Jossic, A. Hojeij, A. Magnin

Laboratoire Rhéologie et Procédés, Grenoble

La méthanisation « en voie sèche » met en œuvre des substrats à haute teneur en solides. Du fait de la nature des fluides à traiter (résidus agricoles, ménagers...), la maîtrise des transferts de matière est un défi. La haute teneur en solides entraîne des consistances et des seuils très élevés qui génèrent des champs d'écoulement spécifiques, avec entre autres la coexistence de zones cisailées et rigides. Un des verrous technologiques est la maîtrise du brassage de cette matière épaisse afin d'accroître significativement le rendement de la production de biogaz. Une voie très prometteuse est le brassage pneumatique. L'injection de biogaz sous pression via des cheminées permet la mise en écoulement de la matière et de créer un mouvement convectif autour de la cheminée. Cette solution, plus rentable que le brassage mécanique, permet une agitation plus ou moins intense à moindre coût. Dans ce cadre, une installation pilote dont l'objectif est de reproduire les écoulements de brassage pneumatique mis en jeu dans des digesteurs de méthanisation « en voie sèche » a été conçue. La matrice fluide est modélisée par un fluide à seuil transparent. Afin de favoriser le brassage, l'écoulement est généré par injection

d'air sous pression contre la paroi inférieure du réservoir. L'impact du jet d'air sur le plan inférieur crée une poche d'air qui peut en première approximation être assimilée à un cylindre de base circulaire. La présente étude montre l'influence de la rhéologie du fluide et des paramètres d'injection, ainsi que de la configuration géométrique de la buse d'injection, sur la morphologie de la poche gazeuse. Par ailleurs, l'intensité du brassage généré par la remontée des bulles a pu être quantifiée en mesurant des temps de mélange et de recirculation, mesurés à l'aide de colorants et par suivi de particules. Les temps de mélange et de recirculation ont pu être reliés à la dynamique des bulles dans laquelle les paramètres rhéologiques jouent un rôle majeur.

P 9 - Comportement visqueux d'amidons partiellement fondus

N. Logié¹, G. Della Valle², N. Descamps³, M. Kristiawan², J. Soulestin⁴

¹*Institut Français des Matériaux Agro-Sourcés (IFMAS), 59650 Villeneuve d'Ascq*

²*INRA, Biopolymères, Interactions & Assemblages (UR1268-BIA), 44316 Nantes*

³*Roquette Frères, 62136 Lestrem*

⁴*IMT Lille Douai, Département TPCIM, 59508 Douai*

L'amidon en cours d'extrusion, avant obtention d'une phase fondue, peut être envisagé comme une suspension de fragments cristallins et de grains résiduels, enchâssés dans une matrice amorphe continue. Il est nécessaire de déterminer précisément le comportement rhéologique de cette suspension afin d'optimiser les conditions de traitement des amidons extrudés.

Dans ce but, des amidons de pommes de terre et de pois ont été traités sur un rhéomètre capillaire avec pré-cisaillement, le Rheoplast®, dans des conditions thermomécaniques proches de celles d'extrusion : $80 \leq T \leq 115^\circ\text{C}$, $60 \leq EMS \leq 240 \text{ J.g}^{-1}$ et à teneur en eau constante (30%, mt). Les valeurs de température de fusion, mesurées par DSC, étaient respectivement de 120 et 95 °C pour le pois et la pomme de terre. Les expériences ont été réalisées pour différentes géométries de capillaires ($D = 2 \text{ mm}$, $L/D = 0, 8, 16$) afin d'effectuer les corrections de Bagley. Les échantillons ont été analysés pour déterminer les modifications structurales, en particulier l'enthalpie de gélatinisation résiduelle ΔH_g , afin de vérifier que l'amidon était dans le même état de déstructuration que l'amidon extrudé, c'est-à-dire une suspension de particules dans une matrice amorphe.

Dans toutes les conditions de traitement, les courbes de viscosité suivent une loi puissance: $\eta_s = K_s \dot{\gamma}^{n-1}$, η_s étant la viscosité de la suspension, $\dot{\gamma}$ la vitesse de cisaillement, K_s et n les indices de consistance et de pseudoplasticité ($0 < n < 1$), respectivement. Pour les mêmes conditions, la viscosité de l'amidon de pois est toujours plus élevée que celle de l'amidon de pomme de terre, probablement en raison d'une plus grande teneur en amylose. En supposant que la fraction volumique ϕ des particules solides peut être estimée par ΔH_g , les résultats peuvent être ajustés selon une loi classique de suspension :

$$K_s = K (1 - \phi / \phi_m)^\alpha$$

où ϕ_m est la fraction volumique maximale des particules ($\phi_m = 0,74$) et $\alpha = -2,5$. K est la consistance de la matrice d'amidon fondu, fonction de la température.

P 10 - Evaluation de la déstructuration orale (FOP) de deux aliments céréaliers par des personnes âgées

M. Assad Bustillos¹, C. Tournier², C. Septier², G. Della Valle³, G. Feron²

¹*INRA-Cérélab*

²*INRA-CSGA*

³*INRA, Biopolymères, Interactions & Assemblages (UR1268-BIA), 44316 Nantes*

L'étape de déstructuration orale des aliments (Food Oral Processing) est essentielle pour l'acceptabilité des aliments par les consommateurs et en particulier pour les personnes âgées, en raison d'une

altération de leur physiologie orale. Par conséquent, la conception d'aliments spécifiques pour cette population nécessite l'optimisation de leur déstructuration pendant le FOP. Celle-ci peut être évaluée par la variation de la viscosité des bols alimentaires avant la déglutition. Dans ce but, 20 sujets âgés de plus de 65 ans, présentant différents états bucco-dentaires, ont consommé deux produits céréaliers : brioche et génoise. Leurs bols alimentaires ont été caractérisés par la viscosité apparente, le taux d'hydratation et la taille des particules, à trois temps de mastication différents (1/3 SP, 2/3 SP et SP), SP étant le temps de déglutition, déterminé pour chaque individu. La viscosité apparente a été mesurée à 3 vitesses de cisaillement par rhéométrie capillaire (10, 40, 300 s⁻¹). Les résultats montrent que les bolus de génoise ont un taux d'hydratation plus élevé, tandis que ceux de brioche ont des valeurs de viscosité apparente plus élevées, quel que soit le temps de mastication. Les personnes ayant un mauvais état dentaire ont des temps de mastication plus courts. Le taux d'hydratation des bols est fortement corrélé au flux salivaire stimulé des sujets. Ces différents résultats ont été intégrés à l'aide d'un premier modèle phénoménologique, qui exprime une diminution de la viscosité des bols en fonction du flux salivaire stimulé et du temps de mastication ($R^2 \approx 0,6$). A partir de ce modèle, un coefficient d'interaction entre les aliments et la salive peut être défini, en analogie avec le coefficient de plastification de l'amidon fondu par l'eau. Ce modèle pourra être amélioré en tenant compte notamment de l'influence de la fragmentation, grâce aux résultats de l'analyse de la taille des particules des bolus.

P 11 - Utilisation du rhéoépaississement discontinu pour une nouvelle classe de fluides adaptatifs

G. Bossis, Y. Grasselli, O. Gueye, A. Ciffreo, O. Volkova

Laboratoire InPhyNi, CNRS, (UMR7010), Université Nice Sophia-Antipolis

Des suspensions très concentrées de particules de fer carbonylé dans l'eau peuvent être obtenues grâce à l'utilisation de superplastifiants utilisés dans l'industrie du ciment. On obtient ainsi un fluide magnétorhéologique dont la contrainte seuil dépend classiquement du champ magnétique appliqué suivant une loi de puissance avec un exposant voisin de 3/2. Cependant, cette contrainte seuil, que l'on peut mesurer en imposant un faible taux de cisaillement, présente un saut très important au delà d'un champ critique qui est attribué à la transition de blocage. La contrainte générée dépassant la capacité des rhéomètres usuels, nous avons utilisé un viscosimètre à fort couple dédié à la caractérisation des bétons. Deux types de géométries ont été utilisées : d'une part un Couette cylindrique où le cylindre interne est remplacé par une double hélice ou aussi par un mobile de type "vane" pour éviter les glissements et d'autre part une géométrie plan-plan. La suspension est confinée par un joint d'étanchéité. Les résultats dépendent du type de géométrie utilisée mais, dans tous les cas, les contraintes obtenues sont très supérieures à celles obtenues avec les fluides magnétorhéologiques classiques. Par exemple, pour un taux de cisaillement de 13 s⁻¹, quand le champ atteint 55 Oersted, on obtient un accroissement soudain de contrainte qui dépasse 200 kPa alors que, pour ce champ, les fluides commerciaux ont un accroissement de contrainte de l'ordre du kPa. On mettra en lumière l'importance de la géométrie pour diminuer les phénomènes de migration et obtenir une bonne reproductibilité des mesures. Des mesures réalisées en microgravité sur de la poudre de fer ont permis d'obtenir des viscosités de référence pour une suspension où tous les contacts sont frictionnels en présence de champ magnétique.

P 12 - Expérience de resuspension de particules en écoulement de Couette cylindrique

E. D'Ambrosio

Laboratoire InPhyNi, CNRS, (UMR7010), Université Nice Sophia-Antipolis

Les études en rhéologie des suspensions de ces dernières années ont montré le rôle central joué par les forces de contact solide entre particules dans les propriétés d'écoulement des suspensions non-browniennes. Ces forces de contact sont en outre responsables de la migration des particules induite

par un cisaillement, ce qui se produit quand une suspension est soumise à un écoulement dans lequel le taux de cisaillement n'est pas constant spatialement. Une autre manifestation de la migration induite par un écoulement est la resuspension de particules. En effet, il est possible de "resuspendre" un lit de particules plus denses que le fluide suspendant en appliquant un écoulement de cisaillement. D'après le Suspension Balance Model (SBM) [1], la resuspension peut être modélisée en équilibrant le flux de particules induit par la gravité par un flux de migration proportionnel à la divergence des contraintes particulaires. C'est ce modèle que nous souhaitons tester en étudiant la resuspension de particules denses dans un écoulement de Couette cylindrique. En particulier, le profil axial de concentration est déterminé en utilisant une suspension rendue transparente par adaptation des indices de réfraction des particules et du fluide suspendant. Les profils de concentration obtenus pour différents couples appliqués au cylindre interne sont analysés et la contrainte normale particulaire dans la direction de la vortécité en est déduite.

[1] Morris J. F., Boulay F., Curvilinear flows of noncolloidal suspensions: The role of normal stresses. *J. Rheol.*, 43, 1213-1237 (1999).

P13 - Ecoulement de suspensions à surface libre

R. Morini

Laboratoire InPhyNi, CNRS, (UMR7010), Université Nice Sophia-Antipolis

L'effet du confinement sur l'organisation des particules d'une suspension non-brownienne en écoulement de cisaillement a déjà été étudié, à la fois d'un point de vue numérique [1] et expérimental [2]. En particulier, il a été observé qu'au voisinage des parois les particules s'organisaient pour former des plans parallèles aux parois. Nous explorons ici l'effet d'une surface libre sur l'organisation des particules. Pour cela, une suspension concentrée est versée dans une cuve parallélépipédique. Par adaptation des indices optiques des particules et du liquide suspendant, la suspension est rendue transparente. La cuve est illuminée par une nappe laser qui permet d'observer la structure de la suspension loin des parois et de traquer les effets de structuration induits par la surface libre.

[1] Gallier S., Lemaire E., Lobry L., Peters F., Effect of confinement in wall-bounded non-colloidal suspensions. *J. Fluid Mech.*, 799, 100-127 (2016).

[2] Blanc F., Lemaire E., Meunier A., Peters F., Microstructure in sheared non-Brownian concentrated suspensions. *J. Rheol.*, 57, 273-292 (2013).

P 14 - Rhéologie comparée de suspensions de sphères et de particules polyédriques.

F. Blanc

Laboratoire InPhyNi, CNRS, (UMR7010), Université Nice Sophia-Antipolis

Les expériences d'inversion de cisaillement (inversion du sens d'un écoulement de cisaillement simple) permettent de mettre en évidence l'effet des forces de contact sur la rhéologie d'une suspension non-brownienne. En effet, lors de l'inversion du sens de l'écoulement, la viscosité chute brutalement, poursuit sa décroissance jusqu'à atteindre un minimum pour alors croître et retrouver la valeur qu'elle avait avant l'inversion de cisaillement. La différence entre le minimum de viscosité et sa valeur stationnaire est directement liée à la dissipation créée par les forces de contact. Plus précisément, des simulations numériques directes ont montré que cette différence était égale à 85% de la viscosité associée aux forces de contact, pour des suspensions de particule sphériques [1]. Nous présentons ici une étude expérimentale où des expériences d'inversion du cisaillement sont menées sur des suspensions de particules sphériques (PMMA) d'une part et polyédriques (sucre) d'autre part. Nous montrons que, pour une fraction volumique donnée, la viscosité au minimum est à peu près la même pour les deux types de suspensions tandis que la viscosité stationnaire est beaucoup plus élevée pour les suspensions de particules polyédriques que pour les suspensions de sphères. Nous discutons

également le comportement rhéofluidifiant de ces suspensions, beaucoup plus prononcé dans le cas des suspensions de particules de sucre que dans celui des suspensions de sphères.

[1] Peters F., Ghigliotti G., Gallier S., Blanc F., Lemaire E., Lobry, L., *J. Rheol.*, 60, 715–732 (2016).

P 15 - Prédiction quantitative d'effondrement de barrages 2D et 3D par le modèle $\mu(I)$: régimes quasi-statique, inertiel et lois d'échelles

S. Riber, R. Castellani, E. Hachem, R. Valette

MINES ParisTech, PSL Research University, Centre de Mise en Forme de Matériaux (CEMEF), 06904 Sophia Antipolis

Dans ce travail, nous présentons une méthode numérique pour simuler les effondrements de colonnes de grains en deux et trois dimensions en utilisant la rhéologie $\mu(I)$. Nous résolvons ces écoulements par une approche continue, basée sur la méthode des éléments finis, consistant à résoudre les équations de la mécanique des fluides en introduisant une loi de comportement représentative des matériaux granulaires (rhéologie $\mu(I)$).

Il est montré que cette rhéologie peut capturer les deux dynamiques d'étalement prédites par Lajeunesse et al. and Lube et al., dépendant du rapport d'aspect initial a : un régime linéaire pour de faibles a et un régime en loi puissance (sub-linéaire) pour de plus grands a , engendré par une dissipation à l'impact de la colonne de grains. De plus, de récentes études expérimentales et numériques d'effondrements de colonnes à rapport d'aspect extrêmes (typiquement $a > 30$) seront analysées, montrant des phénomènes physiques différents, avec notamment l'apparition d'ondes successives.

Dans un second temps, une analyse de sensibilité du modèle aux constantes rhéologiques est effectuée. Enfin, nous montrerons, en introduisant une échelle de longueur supplémentaire, que le rapport d'aspect n'est pas la seule grandeur d'espace qui joue dans la dynamique d'étalement de la colonne.

P 16 - Numerical study of non-Newtonian instabilities in a cross-slot flow

D. Canossi, G. Mompean, S. Berti

Université de Lille 1

It has long been observed that the presence of polymer molecules in a fluid can affect its rheology, leading to flow instabilities. Instabilities arising from elastic stresses (due to polymer stretching, for instance) have been characterized in geometries with stagnation points beforehand, like the well-known cross-slot arrangement. The cross-slot consists of two perpendicular and bisecting channels with two opposing inlets and outlets which generate an elongational flow system, being a fundamental benchmark geometry for the understanding of complex flows in such class of devices. In this work, we try to reproduce the appearance and behavior of a spiral-like vortex structure with properties similar to those found in the work of Haward et al. [1] for Newtonian flow in a cross-slot. Therefore, a finite-volume numerical code [2] is used to simulate the flow of an Oldroyd-B viscoelastic fluid in a comparable cross-slot geometry. Among the main results of this work, we will discuss whether this kind of instability shows up in the case of an Oldroyd-B fluid flow and, in affirmative case, at which elasticity levels and Reynolds critical values this steady symmetric-breaking bifurcation develops itself.

[1] Haward et al., *Phys. Rev. E*, 93, 2016

[2] Mompean et al., *J. Non-Newt. Fluid Mech.*, 1997

P 17 - Numerical simulations of a drag reducing plane Couette flow considering the effects of polymer degradation

A. Pereira¹, G. Mompean², E. Soares³

¹*MINES ParisTech, PSL Research University, Centre de Mise en Forme de Matériaux (CEMEF), 06904 Sophia Antipolis*

²*Université de Lille 1 - Sciences et Technologies, Polytech'Lille, et Laboratoire de Mécanique de Lille (LML), Cité Scientifique, 59655 Villeneuve d'Ascq*

³*LabReo, Department of Mechanical Engineering, Universidade Federal do Espírito Santo, Avenida Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras, 29075-910, Vitória, ES, Brazil*

The mechanical molecular scission is the main problem of polymeric drag reducers. The ability to reduce the drag is notably decreased as the molecules break down step by step as time goes on. A number of researchers have given a large part of their time in attempt to further understand the role that some important features play on the polymer degradation. Until now, all efforts come from experimental approaches. This work is a first attempt to take into account the effect of molecular scission on a drag reducing flow by a direct numerical simulation. We analyse a turbulent plane Couette flow of a FENE-P fluid. Our degradation model is based on the maximum polymer extension length, L . Differently from the standard FENE-P model, in which L is a constant, the polymer extension here is a spatial-temporal field $L(x, y, z, t)$. When the molecules are highly stretched, which is measured by the trace of the conformation tensor, their maximum length is locally reduced and, consequently, their ability to reduce drag. The degraded L is spread within the domain by means of a transport equation. We show here that by such a simple idea, we were able to predict the main aspects of mechanical degradation in the flow, as the change of the turbulent structures and velocity field, and, consequently, the fall of drag reduction over time.

P 18 - Analyse numérique de jets de suspensions denses

A. Pereira, R. Castellani, A. Antoniotti, R. Valette

MINES ParisTech, PSL Research University, Centre de Mise en Forme de Matériaux (CEMEF), 06904 Sophia Antipolis

L'un des phénomènes les plus élégants de la mécanique des fluides se produit lorsque l'on verse un liquide très visqueux (par exemple du miel) sur un plan (comme une biscotte) : le fluide a tendance à venir s'enrouler sur lui-même de façon à former une spirale. Ce phénomène, dit d'instabilité de flambage, cache une physique d'une forte complexité malgré la simplicité de l'expérience qui le met en lumière. Celle-ci monte en complexité lorsque le matériau qui s'écoule est non-newtonien, par exemple dans le cas de suspensions denses fréquemment rencontrées dans différents procédés (remplissage de récipients de fluides alimentaires, dépôts etc.). D'un point de vue industriel, ces procédés impliquent donc un jet dans lequel un fil/film fluide chute/s'écoule verticalement, suite à son extrusion, et s'étale horizontalement sur un substrat. Le comportement des suspensions denses étant fortement non-newtonien (rhéo-épaississement, contrainte seuil d'écoulement, contrainte normale, dilatance etc.), leurs jets présentent des instabilités de flambage difficiles à prédire. En conséquence, il existe à présent une forte demande de compréhension et de modélisation de tels jets, écoulements auxquels est consacré le présent travail. On analyse numériquement des jets d'une suspension en prenant en compte plusieurs lois de comportements. Les régimes d'instabilités détectés sont ensuite comparés avec ceux observés à partir de simulations numériques d'écoulements à surface libre d'un fluide newtonien. S'appuyant sur une telle démarche, on met en évidence les complexités apportées par le caractère non-newtonien des suspensions denses ainsi que la pertinence de modèles rhéologiques non-newtoniens à prédire les écoulements complexes que sont les jets industriels.

P19 - Enroulement d'un jet de fluide en loi puissance : simulation et observation de la structuration à l'impact

A. Pereira, A. Antoniotti, R. Castellani, R. Valette

MINES ParisTech, PSL Research University, CEMEF, 06904 Sophia Antipolis

Lorsqu'un jet de fluide chute sur une surface, un enroulement plus ou moins régulier est souvent observé. En outre, dans de nombreux cas industriels, les propriétés finales sont affectées par la structuration induite par la façon dont ces enroulements de fluide s'effondrent. De possibles gradients de composition du jet ainsi que le piégeage de bulles d'air mènent à des structures complexes après l'impact. En fonction du diamètre du jet et du débit, la façon dont les enroulements vont se comporter est différente. Dans le cas de fluides newtoniens, cette façon est bien décrite pour une large gamme de débits et de hauteurs de chute [1]. Plusieurs régimes existent et dépendent de l'importance respective que jouent les forces de gravité, d'inertie et les forces visqueuses (et donc également des caractéristiques du fluide comme sa viscosité et sa densité). Cependant, dans le cas de suspensions concentrées, d'autres questions surgissent. Dans cette communication, nous étudions l'enroulement de tels fluides, considérés comme se comportant en « loi puissance » (au moins localement). Des simulations sont menées (i) dans le cas de fluides newtoniens et (ii) dans le cas de suspensions rhéoépaississantes. Les résultats, similaires à ce qui existe dans la littérature pour le cas newtonien, montrent les différences qui existent dans la fréquence d'enroulement et le diamètre du tas formé quand la rhéologie du fluide est modifiée. En parallèle, des essais expérimentaux sont menés en utilisant différentes huiles et des suspensions simples de sphères, proches de leur fraction d'empilement maximale. L'analyse des essais et la comparaison avec le cas numérique sont effectuées grâce à une caméra rapide. Nous tentons également de comprendre comment, dans ces différents cas, la rhéologie du fluide affecte la structuration après impact et le piégeage de bulles d'air, quand les tas successifs s'effondrent.

[1] N.M. Ribe, M. Habibi, D. Bonn, Liquid rope coiling, *Ann. Rev. Fluid Mech.*, 44, 249-266 (2012).

P 20 - Comportement irréversible de suspensions de fibres non-browniennes

M. Ferrari, M. Jenny, S. Kiesgen de Richter

LEMTA-Université Lorraine

L'étude de la rhéométrie de suspension de fibres non-browniennes dans un dispositif de Taylor-Couette est faite selon deux approches. La rhéologie globale est analysée de manière classique avec un rhéomètre et les informations sur la rhéologie locale sont déduites des profils de vitesse obtenus par mesures IRM (Imagerie par Résonance Magnétique). Il est ainsi possible de confronter les données rhéologiques locales et globales pour différents taux de cisaillement et fractions volumiques.

La rhéologie globale montre qu'à faible concentration la suspension se comporte comme un fluide newtonien et que, lorsque la concentration en fibres augmente, la suspension s'apparente à un fluide à seuil.

A faibles vitesses angulaires, les profils de vitesse obtenus par IRM mettent en évidence un écoulement localisé. Cette observation confirme le comportement de fluide à seuil identifié avec le rhéomètre. La position de l'interface fluide/solide dépend de la fraction volumique et du taux de cisaillement.

L'étude de ces suspensions montre un comportement irréversible. Comme les fibres sont non-browniennes, la position et l'orientation des fibres demande une action mécanique pour être modifiées. L'orientation et/ou la migration des fibres est donc un paramètre très important dans la rhéologie de ces suspensions. Tant que la concentration critique en fibres n'est pas atteinte (« Jamming transition »), les profils de vitesse obtenus par IRM peuvent être ajustés avec un modèle de Herschel-Bulkley. Nous présenterons l'évolution des trois paramètres rhéologiques en fonction de la fraction volumique et du taux de cisaillement.

P 21 - Propriétés structurales, thermiques et rhéologiques de composites polypropylène/nanoplaquettes de graphène

Q. Beuguel, E. Peuvrel-Disdier, B. Vergnes

CEMEF – MINES-ParisTech

Depuis 2004 et l'isolement d'un feuillet de graphène par clivage micromécanique du graphite, l'engouement pour ce nouveau type de renfort, alliant les caractéristiques d'un feuillet de montmorillonite et d'un nanotube de carbone, s'est accru. Cependant, cette voie d'obtention du graphène reste contraignante et onéreuse. Depuis peu, une technique consistant en un délaminage mécanique et une centrifugation des particules de graphite expansé permet d'obtenir, à plus grande échelle et sans traitement chimique, des nanoplaquettes de graphène de quelques nanomètres d'épaisseur. L'objectif de notre étude était de disperser des graphènes/graphites de dimensions différentes dans une matrice polypropylène par voie fondue.

Les composites à matrice polypropylène chargée de nanoplaquettes de graphène ont été élaborés par malaxage à l'état fondu. Les observations MEB et MET indiquent que ces composites appartiennent à la catégorie des microcomposites non-exfoliés. Toutefois, le graphène obtenu par délaminage mécanique et centrifugation permet d'obtenir un meilleur état de dispersion dans les composites. Ce meilleur état de dispersion est visible sur les propriétés rhéologiques, thermiques et mécaniques. Des propriétés rhéologiques proches de celles de nanocomposites conventionnels à base de montmorillonite organiquement modifiée ont été obtenues. Ces résultats sont encourageants pour le développement de cette voie d'obtention du graphène, sans traitement chimique destructeur de ses propriétés, notamment électriques.

Liste des participants

Abkarian	Manouk	Manouk.Abkarian@umontpellier.fr	Université de Montpellier
Agassant	Jean-François	jean-francois.agassant@mines-paristech.fr	MINES ParisTech
Ahmadikhamsi	Seyedarash	seyedarash.ahmadikhamsi@univ-lorraine.fr	Université de Lorraine
Alvares	Pauline	palvares@scconsultants.com	SCConsultants
Ambit	Vincent	vincent.ambit@ariane.group	Ariane Group
Anthonioz	Lise	lise.anthonioz@galderma.com	Galderma, Sophia Antipolis
Assad-Bustillos	Melissa	melissa.assad-bustillos@inra.fr	INRA
Aubry	Thierry	thierry.aubry@univ-brest.fr	Université de Bretagne Occidentale
Baroni	Patrick	patrick.baroni@cea.fr	CNRS UMR12
Blanc	Frédéric	frederic.blanc@unice.fr	Université de Nice
Bodiguel	Hugues	hugues.bodiguel@univ-grenoble-alpes.fr	Université Grenoble Alpes
Boitte	Jean-Baptiste	jbboitte@rd.loreal.com	L'Oréal
Bossard	Frédéric	frederic.bossard@univ-grenoble-alpes.fr	Université Grenoble Alpes
Bossis	Georges	Bossis@unice.fr	CNRS, Université de Nice
Carrot	Christian	carrot@univ-st-etienne.fr	Université de Lyon
Cassagnau	Philippe	philippe.cassagnau@univ-lyon1.fr	Université de Lyon
Castellani	Romain	romain.castellani@mines-paristech.fr	MINES ParisTech
Chafreddine	Ilhem	ilhem.charfeddine@univ-st-etienne.fr	Université de Lyon
Chaunier	Laurent	laurent.chaunier@inra.fr	INRA
Chèvremont	William	william.chevremont@univ-grenoble-alpes.fr	Université Grenoble Alpes
Chorein	Blandine	blandine.chorein@itech.fr	Itech Lyon
Cloitre	Michel	michel.cloitre@espci.fr	ESPCI-CNRS
Coussot	Philippe	philippe.coussot@ifsttar.fr	Université Paris-Est
D'Ambrosio	Enzo	enzodiambrosio@yahoo.fr	Université de Nice
Daux	Marie	m.daux@fr.urgo.com	Urgo RID
Deboeuf	Stéphanie	sdeboeuf@dalembert.upmc.fr	UPMC-CNRS
Della Valle	Guy	guy.della-valle@inra.fr	INRA
Demay	Yves	Yves.Demay@unice.fr	Université de Nice
Dratz	Bruno	bruno.dratz@michelin.com	Michelin
Ducouret	Guylaine	guylaine.ducouret@espci.fr	ESPCI-CNRS
Dumaine	Marion	marion.dumaine@airliquide.com	SEPPIC
Dupuis	Dominique	dominique.dupuis@uha.fr	ENSISA / UHA
Duval	David	david.duval@anton-paar.com	Anton Paar
El Kissi	Nadia	nadia.elkissi@univ-grenoble-alpes.fr	Université Grenoble Alpes
Ferrari	Maude	maude.ferrari@univ-lorraine.fr	Université de Lorraine
Fneich	Fatima	fatima.fneich@univ-brest.fr	Université de Bretagne Occidentale
Fraisse	Frédéric	frederic.fraisse@malvern.com	Malvern
Fulchiron	René	Rene.Fulchiron@univ-lyon1.fr	Université de Lyon
Gallier	Stany	stany.gallier@ariane.group	Ariane Group
Gauthier	Georges	georges.gauthier@u-psud.fr	Université Paris Sud
Gibouin	Florence	florence.gibouin@inphyni.cnrs.fr	Institut de Physique de Nice
Grasselli	Yan	yan.grasselli@skema.edu	Université de Nice
Guazzelli	Elisabeth	elisabeth.guazzelli@univ-amu.fr	CNRS
Israël	David	disrael@tainstruments.com	TA Instruments
Jégo	Florent	florent.jego@thermofisher.com	ThermoFisher Scientific

Jossic	Laurent	laurent.jossic@grenoble-inp.fr	Grenoble INP
Kusina	Christophe	christophe.kusina@espci.fr	ESPCI Paris
Lafèche	Fabrice	fabrice.lafleche@thermofisher.com	ThermoFisher Scientific
Lamnawar	Khalid	khalid.lamnawar@insa-lyon.fr	IMP Lyon
Laure	Patrice	patrice.laure@unice.fr	Université de Nice
Lemaire	Elisabeth	elemaire@unice.fr	Université de Nice
Leroux	Olivier	olivier.leroux@anton-paar.com	Anton Paar
Leverrier	Cassandra	cassandra.leverrier@agroparistech.fr	AgroParisTech
Ligoure	Christian	christian.ligoure@umontpellier.fr	Université de Montpellier
Lobry	Laurent	laurent.lobry@unice.fr	Université de Nice
Machado	Anaïs	amachado@rd.loreal.com	L'Oréal
Majesté	Jean-Charles	majeste@univ-st-etienne.fr	Université de Lyon
Marchal	Philippe	philippe.marchal@univ-lorraine.fr	CNRS
Marcourt	Marjorie	marjorie.marcourt@etu.univ-lyon1.fr	Université de Lyon
Mari	Romain	romain.mari@univ-grenoble-alpes.fr	Université Grenoble Alpes
Maurel	Gaétan	gaetan.maurel@michelin.com	Michelin
Maurin	Raphaël	raphael.maurin@imft.fr	INP Toulouse
Merat	Emmanuelle	emmanuelle.merat@airliquide.com	Air Liquide
Mompean	Gilmar	Gilmar.Mompean@polytech-lille.fr	Université de Lille
Morini	Romain	morini@unice.fr	Université de Nice
Mouzaoui	Mohamed	mouzaouimohamed1@gmail.com	Irstea
Narita	Tetsuharu	tetsuharu.narita@espci.fr	ESPCI
Neyret	Muriel	muriel.neyret@cea.fr	CEA-Marcoule
Noirez	Laurence	laurence.noirez@cea.fr	CNRS UMR12
Oumer Abdoulaye	Fadoul	fadoul.oumar-abdoulaye@ifsttar.fr	Laboratoire Navier CNRS
Ovarlez	Guillaume	guillaume.ovarlez@u-bordeaux.fr	CNRS
Paget	Baptiste	baptiste.paget@etu.univ-lyon1.fr	Université de Lyon
Patarin	Jeremy	patarin@rheonova.fr	Rheonova
Pereira	Anselmo	anselmo.soeiro_pereira@mines-paristech.fr	MINES ParisTech
Peters	François	francois.peters@unice.fr	Université de Nice
Peuvrel-Disdier	Edith	edith.disdier@mines-paristech.fr	MINES ParisTech
Pigeonneau	Franck	franck.pigeonneau@mines-paristech.fr	MINES ParisTech
Pignon	Frédéric	frederic.pignon@univ-grenoble-alpes.fr	Université Grenoble Alpes
Plaud	Mathieu	mathieu.plaud@ariane.group	Ariane Group
Ponton	Alain	alain.ponton@univ-paris-diderot.fr	Université Paris Diderot-Paris 7
Poulesquen	Arnaud	arnaud.poulesquen@cea.fr	CEA-Marcoule
Rafai	Salima	salima.rafaï@univ-grenoble-alpes.fr	Université Grenoble Alpes
Ratte	Laurent	lratte@scconsultants.com	SCConsultants
Rio	Emmanuelle	emmanuelle.rio@u-psud.fr	CNRS
Robert	Michaël	michael.robert.cpe@gmail.com	Université de Lyon
Saint-Michel	Brice	brice.saint-michel@ens-lyon.fr	Ens Lyon
Scheuer	Adrien	adrien.scheuer@ec-nantes.fr	Ecole Centrale de Nantes
Schong	Elise	elise.schong@inra.fr	INRA
Seuron	Thierry	thierry.seuron@galderma.com	Galderma Sophia-Antipolis
Soum	Laurent	soum.sfc@ceramique.fr	Société Française de Céramique
Spataro	Stéphanie	stephanie.spataro@galderma.com	Galderma Sophia-Antipolis
Talansier	Emeline	emeline.talansier@univ-grenoble-alpes.fr	Université Grenoble Alpes
Tapia	Franco	stfranco@gmail.com	CNRS
Tavernier	Thibault	ttavernier@tainstruments.com	TA Instruments

GFR 2017
52^{ème} Congrès du Groupe Français de Rhéologie

Terray	Michel	michel.terray@malvern.com	Malvern
Thiene	Oumar	oumar.thiene@irstea.fr	IRSTEA
Thirunavukkarasu	Prashanth	prashanth.thirunavukkarasu@mines-paristech.fr	Michelin
Valette	Rudy	rudy.valette@mines-paristech.fr	MINES ParisTech
Vergnes	Bruno	bruno.vergnes@mines-paristech.fr	MINES ParisTech
Vidal	Valérie	valerie.vidal@ens-lyon.fr	Ens Lyon
Ville	Julien	julien.ville@univ-brest.fr	Université de Bretagne Occidentale
Volkova	Olga	Olga.Volkova@unice.fr	Université de Nice
Zhang	Xiao	xiao.zhang@ifsttar.fr	Université Paris-Est

