



# 49<sup>ème</sup> Congrès Annuel du Groupe Français de Rhéologie



## Rhéologie et approches multiphysiques couplées



### Grenoble

### 27 au 29 octobre 2014



## Thématique scientifique



La matière molle (suspensions, systèmes polymères et composites, systèmes biologiques, émulsions, mousses, ...) est constituée d'entités qui ont la capacité de s'organiser et de former des structures multi-échelles. L'apport de nouvelles approches multiphysiques couplées à la caractérisation des propriétés rhéologiques permet d'étudier et/ou de contrôler la matière molle à différentes échelles spatio-temporelles et donnent accès à une maîtrise fine des procédés de mise en œuvre et des propriétés fonctionnelles des matériaux. Ce couplage se réalise par l'utilisation croissante de techniques récentes à l'interface entre la mécanique, la physique, la physico-chimie ou encore la biologie (diffusion de rayonnements, RMN, AFM, MEB, spectrométrie infrarouge, rhéo-acoustique, rhéo-optique, microrhéologie, ...). D'une autre manière, cette approche multiphysique ouvre de nouvelles voies de structuration de la matière molle par application de champs extérieurs (sonore, électrique, magnétique, pression, thermique ...). La modélisation et la simulation numérique trouvent aussi pleinement leur place dans ces approches, permettant la prévision et la compréhension des propriétés rhéologiques, en relation avec la microstructure des matériaux.

Le 49<sup>ème</sup> congrès du GFR sera l'occasion de rassembler une communauté scientifique fortement pluridisciplinaire autour des dernières avancées scientifiques et technologiques impliquant les approches multiphysiques et la compréhension de la rhéologie de la matière molle.

### Comité scientifique

Thierry AUBRY  
Jean-Louis BARRAT  
Philippe CASSAGNAU  
Michel CLOITRE  
Sébastien MANNEVILLE  
René MULLER  
Taco NICOLAI  
Alain PONTON  
Arnaud POULESQUEN  
Laurence RAMOS  
Jean-Baptiste SALMON  
Bruno VERGNES

### Comité d'organisation

Frédéric BOSSARD  
Yahya RHARBI  
  
Nadia EL KISSI  
Laurent JOSSIC  
Albert MAGNIN  
Frédéric PIGNON  
Denis ROUX  
François CATON  
Emeline TALENDIER  
Hélène GALLIARD  
François BERGEROT  
Didier BLESES

### Chairmans

Guy DELLA VALLE  
Thomas PODGORSKI  
Rudy VALETTE  
Thierry AUBRY  
François CATON  
Philippe MARCHAL  
Arnaud POULESQUEN  
Lazhar BENYAHIA  
Christian CARROT

## Programme du congrès

Lundi 27 octobre		
8h00	Accueil	
8h15 – 8h30	Discours d'ouverture	
8h30 – 9h30	<b>Conférence plénière</b> <b>Jean-François Berret</b> "Particules magnétiques pour la $\mu$ -Rhéologie : applications aux fluides complexes et biologiques"	
9h30	Rhéologie et Biomatériaux	PO 1 <b>Jean-Baptiste BOITTE</b> Détermination par couplage rhéologie/microscopie confocale de profils d'écoulement ou de déformation d'un système thermosensible
9h50		PO 2 <b>François CATON</b> L'élasticité du sang
10h10		PO 3 <b>Vassanti AUDEMAR</b> Rhéologie des suspensions de globules rouges
10h30		PO 4 <b>Mohsen DAHESH</b> Novel gels from wheat gluten proteins
10h50 – 11h10	Pause	
11h10	Colloïdes et Suspensions	PO 5 <b>Yara ABIDINE</b> Microrheology of living cells using the AFM
11h30		PO 6 <b>Julien FEREC</b> Modélisation du comportement rhéologique de suspensions diluées de clusters rigides et déformables
11h50		PO 7 <b>Jean PUIG</b> Rhéologie des fontes verrières d'intérêt nucléaire contenant des platinoïdes
12h10		PO 8 <b>Guilherme DE OLIVEIRA REIS</b> Propriétés rhéologiques de gels colloïdaux de latex naturel: mise en évidence d'un durcissement irréversible sous déformation
12h30-12h45	Présentation exposant 1	
	Présentation exposant 2	
	Présentation exposant 3	
12h45 -14h00	Déjeuner	
14h00	Rhéologie et modèles	PO 9 <b>Anselmo PEREIRA</b> Analyses statistiques et tensorielles de l'étirement des polymères dans les écoulements visco-élastiques turbulents en canal plan
14h20		PO 10 <b>Stéphanie RIBER</b> Adaptation de maillage anisotrope et approche variationnelle multi-échelles pour les écoulements incompressibles des fluides de Bingham
14h40		PO 11 <b>Abdoulaye GUEYE</b> Étude numérique de l'écoulement d'un fluide newtonien et non-newtonien dans un milieu poreux saturé
15h-15h20	Présentation des posters	
15h20-16h20	Pause Poster	
16h20	Rhéologie et modèles	PO 12 <b>Marta PEREZ</b> Multiscale modeling of diluted CNTs suspensions electrical properties
16h40		PO 13 <b>Jan DOMURATH</b> Viscosity amplification in dilute suspensions of spherical particles with a non-Newtonian matrix fluid
17h-18h	Assemblée Générale du GFR	
18h00 – 20h00	Cocktail	

Chairman  
Guy Della Valle

Chairman  
Thomas Podgorski

Chairman  
Rudy Valette

Chairman  
Rudy Valette

Mardi 28 octobre		
8h30 – 9h30	<p align="center"><b>Conférence plénière</b> <b>Jan Vermant</b> <i>"Mechanical and structural anisotropy in complex fluids"</i></p>	
9h30	Fluides structurés	PO 14 <b>Monica BRAVO</b> The fusion and fission dynamics in amphiphilic block copolymer micelles at equilibrium and their effects on the micellar rheology
9h50		PO 15 <b>Alain PONTON</b> Propriétés viscoélastiques basses et hautes fréquences de solutions aqueuses de biopolymères
10h10		PO 16 <b>Justine QUIGNON</b> Peut-on considérer les fluides complexes comme des fluides de Maxwell ?
10h30		PO 17 <b>Michel TERRAY</b> Mesures combinées de la taille, des propriétés viscoélastiques et de la structure des protéines en solution
10h50 – 11h10	Pause - Poster	
11h30	Bioprocédés	PO 18 <b>Guy DELLA-VALLE</b> Variations des propriétés rhéologiques et de la structure alvéolaire de pâtes de farine de blé au cours du laminage
11h50		PO19 <b>Philippe CASSAGNAU</b> Plastification d'une matrice EPDM et PVC avec des huiles végétales modifiées
12h10		PO 20 <b>Magdalena KRISTIAWAN</b> Coupling phenomenological model of expansion with mechanical model of starchy products extrusion
12h30		PO 21 <b>Isabelle HENAUT</b> Rhéologie des champignons filamenteux : un outil pour la compréhension d'un procédé de production de biocatalyseurs utilisés pour la production de bioéthanol
12h30-12h45	Présentation exposant 4	
	Présentation exposant 5	
	Présentation exposant 6	
12h45 – 14h00	Déjeuner	
14h00-15h00	<p align="center"><b>Conférence plénière</b> <b>Theyencheri Narayanan</b> <i>"Probing flow-induced transient structures by SAXS"</i></p>	
15h00	Matériaux structurés	PO 22 <b>Xavier CALLIES</b> Propriétés viscoélastiques/adhésives de nouveaux matériaux supramoléculaires
15h20		PO 23 <b>Arnaud POULESQUEN</b> Transition sol/gel d'un géopolymère
15h40		PO 24 <b>Malladi NAGALAKSHMAIAH</b> Structural morphology and flow instability of commercial grade cellulose nanocrystals
16h00-16h20	Pause - Poster	
16h20	Matériaux structurés	PO 25 <b>Imane BOUCENNA</b> Etude du mécanisme d'adsorption du Pluronic F127 sur les nanoparticules de laponite
16h40		PO 26 <b>Quentin BEUGUEL</b> Etude des relations structure - rhéologie de composites polyamide/talc synthétique
17h00		PO 27 <b>Nicolas HUANG</b> Émulsions biodégradables et biocompatibles à usage pharmaceutique stabilisées par des particules de PLGA
17h20-19h30	Visite de Grenoble	
19h30 – 23h30	Banquet	

Chairman  
Thierry Aubry

Chairman  
François Caton

Chairman  
Philippe Marchal

Chairman  
Arnaud Poulesquen

Mercredi 29 octobre		
8h30 – 9h30	<b>Conférence plénière</b> <b>Prix Maurice Couette</b>	
9h30	Composites	PO 28 <b>Romain CASTELLANI</b> Composites à fibres végétales : étude rhéo-optique de la casse des fibres et influence de l'espèce végétale sur la rhéologie à l'état fondu
9h50		PO 29 <b>Alix GASSIOT-TALABOT</b> Dispersion par extrusion réactive de whiskers de cellulose dans le poly(oxyéthylène)
10h10		PO 30 <b>Jean-Charles MAJESTE</b> Modèle cinétique pour le renforcement des élastomères chargés de silice
10h30		PO 31 <b>Christophe LANOS</b> Tribologie appliquée aux enrobés bitumineux
10h50 – 11h10	Pause	
11h10	Polymères	<b>PO 32 Prix de Thèse</b>
11h30		PO 33 <b>Anne RUBIN</b> Etude de la recouvrance viscoélastique d'une surface d'un polymère vitreux en fonction de sa microstructure
11h50		PO 34 <b>René FULCHIRON</b> Détermination du comportement hyper-viscoélastique par échographie ultrasonore sur des fantômes d'aorte
12h10		PO 35 <b>Arnaud BONDON</b> Rhéologie aux interfaces des polymères : rôle de l'architecture moléculaire et/ou de l'interphase dans les écoulements stratifiés
12h30	PO 36 <b>Raber INOUBLI</b> Nanostrength® Copolymères à bloc. De la rhéologie à l'application industrielle	
12h50	Déjeuner	

Chairman  
Lazhar Benyahia

Chairman  
Christian Carrot

## Sommaire

### 1. Présentations orales

<p><b>CP1. Particules magnétiques pour la micro-rhéologie: applications aux fluides complexes et biologiques</b> J.-F. Berret <i>Matière et Systèmes Complexes, UMR 7057 CNRS Université Denis Diderot Paris-VII, Batiment Condorcet, 10 Rue Alice Domon et Léonie Duquet, F-75205 Paris, France</i></p>	p11
<p><b>PO1. Détermination par couplage rhéologie/microscopie confocale de profils d'écoulement ou de déformation d'un système thermosensible</b> J-B Boitte<sup>1</sup>, C. Vizcaino<sup>1</sup>, T. Nicolai<sup>2</sup> et L. Benyahia<sup>2</sup> <sup>1</sup> CAD Instruments, 10 rue de la Haie aux Vaches, 78690 Les Essarts-le-Roi <sup>2</sup> LUNAM Université du Maine, IMMM UMR-CNRS, Polymères, Colloïdes et Interfaces, 72085 Le Mans</p>	p12
<p><b>PO2. L'élasticité du sang</b> E. Ghirnishelli<sup>1</sup>, B. Polack<sup>2,3</sup> et F. Caton<sup>1</sup> <sup>1</sup>Laboratoire Rhéologie et Procédés, Université de Grenoble <sup>2</sup>Département d'Hématologie, Centre Hospitalier Universitaire, Grenoble <sup>3</sup> TIMC-TheREx, Faculté de médecine, Université de Grenoble</p>	p13

<p><b>PO3. Rhéologie des suspensions de globules rouges</b>  V. Audemar, G. Coupier et T. Podgorski  <i>Laboratoire Interdisciplinaire de Physique (LIPhy), UMR 5588 CNRS-Université Joseph Fourier, Grenoble</i></p>	p14
<p><b>PO4. Novel gels from wheat gluten proteins</b>  M Dahesh<sup>1,2,3</sup>, A Banc<sup>1,2</sup>, A Duri<sup>3</sup>, MH Morel<sup>3</sup>, L Ramos<sup>1,2</sup>  <sup>1</sup> Université Montpellier 2, Laboratoire Charles Coulomb UMR 5221, F-34095, Montpellier, France  <sup>2</sup> CNRS, Laboratoire Charles Coulomb UMR 5221, F-34095, Montpellier, France  <sup>3</sup> UMR IATE, UM2-CIRAD-INRA-SupAgro, 2 pl Pierre Viala, 34070 Montpellier, France</p>	p15
<p><b>PO5. Microrheology of living cells using the AFM</b>  Y. Abidine<sup>1,2*</sup>, V.M. Laurent<sup>1,2</sup>, R. Michel<sup>1,2</sup>, A. Duperray<sup>3,4,5</sup> and C. Verdier<sup>1,2</sup>  <sup>1</sup> Univ. Grenoble Alpes, LIPHY, F-38000, Grenoble, France  <sup>2</sup> CNRS, LIPHY, F-38000, Grenoble, France  <sup>3</sup> INSERM, IAB, F-38000, Grenoble, France  <sup>4</sup> Univ. Grenoble, IAB, F-38000, Grenoble, France  <sup>5</sup> CHU de Grenoble, IAB, F-38000, Grenoble, France</p>	p16
<p><b>PO6. Modélisation du comportement rhéologique de suspensions diluées de clusters rigides et déformables</b>  J. Férec<sup>a</sup>, E. Abisset-Chavanne<sup>b</sup>, G. Ausias<sup>a</sup>, F. Chinesta<sup>b</sup> et R. Keunings<sup>c</sup>  <sup>a</sup> Laboratoire d'Ingénierie des MATériaux de Bretagne (LIMATB), Université de Bretagne-Sud, rue de St Maudé, 56325 Lorient, France  <sup>b</sup> GeM, Ecole Centrale de Nantes, 1 rue de la Noë, 44000 Nantes, France  <sup>c</sup> ICTEAM, Université catholique de Louvain, Bat. Euler, Av. Georges Lemaitre 4, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgium</p>	p17
<p><b>PO7. Rhéologie des fontes verrières d'intérêt nucléaire contenant des platinoïdes</b>  J. Puig<sup>a</sup>, B. Penelon<sup>a</sup>, Ph. Marchal<sup>b</sup>, M. Neyret<sup>a</sup>  <sup>a</sup> CEA, DEN, DTCD/SECM/LDMC- Marcoule, F- 30207 Bagnols sur Cèze Cedex, France  <sup>b</sup> CNRS, Laboratoire Réactions et Génie des Procédés (LRGP-GEMICO), UMR 7274, Université de Lorraine, Nancy, F-54001, France</p>	p18
<p><b>PO.8 Propriétés rhéologiques de gels colloïdaux de latex naturel: mise en évidence d'un durcissement irréversible sous déformation</b>  G. De Oliveira Reis, P. Menut, L. Vaysse, F. Bonfils et C. Sanchez  UMR IATE,(UM2-CIRAD-INRA-SupAgro), Montpellier</p>	p19
<p><b>PO.9 Analyses statistiques et tensorielles de l'étirement des polymères dans les écoulements visco-élastiques turbulents en canal plan</b>  Anselmo S. Pereira <sup>a</sup>, Ramon S. Martins <sup>a</sup>, Gilmar Mompean <sup>a</sup>, Laurent Thais <sup>a</sup> et Roney Leon Thompson <sup>b</sup>  <sup>a</sup>Laboratoire de Mécanique de Lille (LML), CNRS, UMR 8107, École Polytechnique Universitaire de Lille, Université Lille Nord de France, F59655 Villeneuve d'Ascq, France  <sup>b</sup> Laboratório de Mecânica Teórica Aplicada (LMTA), Universidade Federal Fluminense, Rua Passo da Pátria 156, Niterói, RJ 24210-240, Brésil</p>	P20
<p><b>PO.10 Adaptation de maillage anisotrope et approche variationnelle multi-échelles pour les écoulements incompressibles des fluides de Bingham</b>  S. Riber, R. Valette, E. Hachem  Centre de Mise en Forme des Matériaux, Mines ParisTech</p>	P21
<p><b>PO.11 Étude numérique de l'écoulement d'un fluide newtonien et non-newtonien dans un milieu poreux saturé.</b>  A. Gueye<sup>1</sup>, G. Mompean<sup>1</sup>, A. C. Beye<sup>2</sup>  <sup>1</sup> Laboratoire de Mécanique de Lille, UMR-CNRS 8107, Polytech-Lille, Cité Scientifique, 59665 Villeneuve d'Ascq cedex, France  <sup>2</sup> Laboratoire Mécanique de Fluides et Applications, Département de physique, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal</p>	P22
<p><b>PO.12 Multiscale modeling of diluted CNTs suspensions electrical properties</b>  M. Perez<sup>1</sup>, E. Abisset-Chavanne<sup>1</sup>, A. Barasinski<sup>1</sup>, J. Elliott<sup>2</sup>, A. Ammar<sup>3</sup> et F. Chinesta<sup>1</sup>  <sup>1</sup> GeM, UMR CNRS-Centrale Nantes  <sup>2</sup> Department of Materials Science &amp; Metallurgy, University of Cambridge  <sup>3</sup> Arts et Métiers ParisTech</p>	P23

<p><b>PO.13 Viscosity amplification in dilute suspensions of spherical particles with a non-Newtonian matrix fluid</b></p> <p>J. Domurath<sup>1,2</sup>, M. Saphiannikova<sup>1</sup>, J. Férec<sup>2</sup>, G. Ausias<sup>2</sup>, G. Heinrich<sup>1,3</sup></p> <p><sup>1</sup>Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V., Institut für Polymerwerkstoffe, Dresden, Germany  <sup>2</sup>Université de Bretagne-Sud, LIMATB BP92116, Lorient, France  <sup>3</sup>Technische Universität Dresden, Institut für Werkstoffwissenschaft, Dresden, Germany</p>	P24
<p><b>CP2. Mechanical and structural anisotropy in complex fluids</b></p> <p>J. Vermant</p> <p>Laboratory of Soft Materials, Department of materials, ETH Zürich, Switzerland  Soft Matter, Rheology and Technology division, KU Leuven, Belgium</p>	P25
<p><b>PO.14 The fusion and fission dynamics in amphiphilic block copolymer micelles at equilibrium and their effects on the micellar rheology</b></p> <p>M. Bravo<sup>1,2</sup>, G. Landazuri<sup>1,2</sup>, J.F.A. Soltero<sup>1,2</sup>, Y. Rharbi<sup>1</sup></p> <p><sup>1</sup>Laboratoire de Rhéologie et procédés, UJF/INPG/CNRS, UMR 5520, B.P.53, F-38041 Grenoble, FRANCE  <sup>2</sup>Departamentos de Ingeniería Química, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jal. 44430, MÉXICO</p>	P26
<p><b>PO.15 Propriétés viscoélastiques basses et hautes fréquences de solutions aqueuses de biopolymères</b></p> <p>J. Penalosa<sup>1</sup>, P. Djemia<sup>2</sup>, B. Abou<sup>1</sup>, A. Ponton<sup>1</sup></p> <p><sup>1</sup>Laboratoire Matière et Systèmes Complexes, Université Paris Diderot-Paris 7  <sup>2</sup>Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux, Université Paris 13</p>	P27
<p><b>PO.16 Peut-on considérer les fluides complexes comme des fluides de Maxwell ?</b></p> <p>J. Quignon<sup>1</sup>, S. Amziane<sup>2</sup>, J.C. Baudez<sup>1</sup></p> <p><sup>1</sup>IRSTEA, Domaine des Palaquins, 03150 Montoldre, France  <sup>2</sup>Université Blaise Pascal, Department of Civil Engineering, Clermont-Ferrand, France</p>	P28
<p><b>PO.17 Mesures combinées de la taille, des propriétés viscoélastiques et de la structure des protéines en solution</b></p> <p>Michel Terray, Frédéric Fraïsse</p> <p>Malvern Instruments</p>	P29
<p><b>PO.18 Variations des propriétés rhéologiques et de la structure alvéolaire de pâtes de farine de blé au cours du laminage</b></p> <p>A.J. Sandoval<sup>a,b</sup>, L. Chaunier<sup>b</sup>, H. Chiron<sup>b</sup>, G. Della Valle<sup>b</sup>, D. Lourdin<sup>b</sup>, &amp; A.-L. Réguerre<sup>b</sup></p> <p><sup>a</sup>Depto. de Tecnología de Procesos Biológicos y Bioquímicos, Universidad Simón Bolívar, Aptdo. 89000, Caracas 1080-A, Venezuela  <sup>b</sup>INRA, UR 1268 Biopolymères Interactions &amp; Assemblages (BIA), BP 71267, 44316 Nantes Cedex 3, France</p>	P30
<p><b>PO.19 Plastification d'une matrice EPDM et PVC avec des huiles végétales modifiées</b></p> <p>C.Bétron<sup>1</sup>, P.Cassagnau<sup>1</sup>, V. Bounor-Legaré<sup>1</sup>, G.Scalabrino<sup>2</sup>, C.Pinel<sup>2</sup>, L.Djakovitch<sup>2</sup></p> <p><sup>1</sup>Université de Lyon 1, UMR CNRS 5223 Ingénierie des Matériaux Polymères, IMP@Lyon1, Bât PolyTech, 15 Boulevard Latarjet, 69622 Villeurbanne Cedex, France  <sup>2</sup>Université de Lyon 1, UMR CNRS 5256 Institut de Recherches sur la Catalyse et l'Environnement, 2 avenue Albert Einstein, 69626 Villeurbanne Cedex, France</p>	P31
<p><b>PO. 20 Coupling phenomenological model of expansion with mechanical model of starchy products extrusion</b></p> <p><sup>1</sup>M. Kristiawan, <sup>1</sup>G. Della Valle, <sup>1</sup>K. Kansou, <sup>2</sup>A. Ndiaye, <sup>3</sup>B. Vergnes, <sup>4</sup>C. David</p> <p><sup>1</sup>INRA, UR 1268 Biopolymers Interactions and Assemblies (BIA), BP 71627, 44316 Nantes, France  <sup>2</sup>INRA, USC 1368 Institut de Mécanique et d'Ingénierie (I2M), UMR 5295 CNRS, Univ. Bordeaux 1, 33405 Talence Cedex, France  <sup>3</sup>MINES ParisTech, CEMEF, UMR CNRS 7635, BP 207, 06904 Sophia-Antipolis Cedex, France  <sup>4</sup>Sciences Computers Consultants, 10 rue du Plateau des Glières F-42000 Saint-Etienne, France</p>	P32
<p><b>PO.21 Rhéologie des champignons filamenteux : un outil pour la compréhension d'un procédé de production de biocatalyseurs utilisés pour la production de bioéthanol</b></p> <p>N. Hardy<sup>1,3</sup>, I. Henaut<sup>1</sup>, N. Pannacci<sup>1</sup>, F. Augier<sup>1</sup>, C. Béal<sup>2</sup> et F. Ben Chaabane<sup>1</sup></p> <p><sup>1</sup>IFP Energies nouvelles, 1 et 4 avenue de Bois-Préau, 92852 Rueil-Malmaison, France  <sup>2</sup>UMR 782 AgroParisTech INRA, 1 avenue Lucien Brétignières, 78850 Thiverval-Grignon, France  <sup>3</sup>ADEME, 20 avenue du Grésillé - BP 90406, 49004 Angers Cedex 01, France</p>	P33

<p><b>CP3. Probing flow-induced transient structures by SAXS</b> Theyencheri Narayanan <i>European Synchrotron Radiation Facility, Grenoble</i></p>	P34
<p><b>PO.22 Propriétés viscoélastiques/adhésives de nouveaux matériaux supramoléculaires</b> X. Callies, G. Ducouret, C. Creton <i>UMR 7615, ESPCI-CNRS-UPMC, Sciences Ingénierie de la Matière Molle, 10 rue Vauquelin, 75231 Paris Cedex 05</i></p>	P35
<p><b>PO.23 Transition sol/gel d'un géopolymère</b> J. Rouyer, A. Poulesquen <i>Laboratoire de Physico-Chimie des matériaux Cimentaires, CEA de Marcoule</i></p>	P36
<p><b>PO.24 Structural morphology and flow instability of commercial grade cellulose nanocrystals</b> M. Nagalakshmaiah<sup>1,2</sup>, N. Elkissi<sup>1</sup>, A. Dufresne<sup>2</sup> <sup>1</sup>Laboratoire Rhéologie et Procédés, 63 rue de la Chimie- Bâtiment B - Domaine Universitaire - BP 53 - 38041 Grenoble cedex 9 <sup>2</sup>Laboratoire de Génie des procédés papetiers (LGP2) Grenoble.</p>	P37
<p><b>PO.25 Etude du mécanisme d'adsorption du Pluronic F127 sur les nanoparticules de laponite</b> T.U. Ngyen Doan, T. Dufour, P. Colinart, M.A. Guedeau-Boudeville, L. Royon, A. Mourchid et I. Boucenna <i>Matière et Systèmes Complexes, UMR 7057 CNRS and Université Paris Diderot, cc 7057, 75205 Paris Cedex 13, France.</i></p>	P38
<p><b>PO.26 Etude des relations structure – rhéologie de composites polyamide/talc synthétique</b> Q. Beuguel<sup>(1)</sup>, J. Ville<sup>(1)</sup>, J. Crepin-Leblond<sup>(2)</sup>, P. Médéric<sup>(1)</sup>, T. Aubry<sup>(1)</sup> <sup>(1)</sup> Equipe Rhéologie – Laboratoire d'Ingénierie des Matériaux de Bretagne EA 4250 – Université de Bretagne Occidentale – 6 Avenue Victor le Gorgeu – CS 93837 – 29238 Brest cedex 3 <sup>(2)</sup> Imerys Talc, 2 Place Édouard Bouillères, 31036 Toulouse cedex 1</p>	P39
<p><b>PO.27 Émulsions biodégradables et biocompatibles à usage pharmaceutique stabilisées par des particules de PLGA</b> N.Huang<sup>1,2</sup>, A. Crochemar-Galou<sup>1,2</sup>, G. Mekhloufi<sup>1,2</sup>, E.Fattal<sup>1,2</sup>, N.Tsapis<sup>1,2</sup>, F. Agnely<sup>1,2</sup> <sup>1</sup> Univ Paris-Sud, Institut Galien Paris-Sud, LabEx LERMIT, Faculté de Pharmacie, 5 rue J.B. Clément, 92296 Châtenay-Malabry, France. <sup>2</sup> CNRS UMR 8612, Institut Galien Paris-Sud, LabEx LERMIT, 5 rue J.B. Clément, 92296 Châtenay-Malabry, France.</p>	P40
<p><b>PO.28 Composites à fibres végétales : étude rhéo-optique de la casse des fibres et influence de l'espèce végétale sur la rhéologie à l'état fondu</b> R. Castellani<sup>1</sup>, S. Dobosz<sup>2</sup>, J. Beaugrand<sup>2</sup>, F. Berzin<sup>2</sup>, T. Budtova<sup>1</sup>, B. Vergnes<sup>1</sup> <sup>1</sup>MINES ParisTech, CEMEF, UMR CNRS 7635, Sophia Antipolis, France <sup>2</sup>FARE, UMR INRA/URCA 614, Reims, France</p>	P41
<p><b>PO.29 Dispersion par extrusion réactive de whiskers de cellulose dans le poly(oxyéthylène)</b> A. Gassiot-Talabot, C. Carrot et M. Desse <i>Laboratoire d'Ingénierie des Matériaux Polymères, Université Jean Monnet</i></p>	P42
<p><b>PO.30 Modèle cinétique pour le renforcement des élastomères chargés de silice</b> J.C. Majesté et F. Vincent <i>Ingénierie des Matériaux Polymères, Université de Lyon, 42023, Saint Etienne</i></p>	P43
<p><b>PO.31 Tribologie appliquée aux enrobés bitumineux</b> C. Lanos, A. Phelipot-Mardelé <i>Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique EA 3913, Université Rennes 1</i></p>	P44
<p><b>PO.32 Fundamental Studies of Interfacial Rheology at Multilayered Model Polymers for Coextrusion Process</b> H. Zhang<sup>1</sup>, K. Lamnawar<sup>2</sup> et A. Maazouz<sup>1,3</sup> <sup>1</sup>Université de Lyon, F-69361, Lyon, France; CNRS, UMR 5223, Ingénierie des Matériaux Polymères, INSA Lyon, F-69621, Villeurbanne, France <sup>2</sup>Université de Lyon, F-69361, Lyon, France; CNRS, UMR 5259, INSA-Lyon, LaMCoS, Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures, F69621, Villeurbanne, France <sup>3</sup>Hassan II Academy of Science and Technology, Rabat, Morocco.</p>	P45

<p><b>PO.33 Etude de la recouvrance viscoélastique d'une surface d'un polymère vitreux en fonction de sa microstructure.</b></p> <p>A. Rubin, D. Favier et C. Gauthier</p> <p><i>Université de Strasbourg - Institut Charles Sadron CNRS UPR22, 23 rue du Loess, 67034 - Strasbourg</i></p>	P46
<p><b>PO.34 Détermination du comportement hyper-viscoélastique par échographie ultrasonore sur des fantômes d'aorte.</b></p> <p>E-J. Courtial<sup>1</sup>, P. Douek<sup>2</sup>, M. Orkisz<sup>2</sup> et R. Fulchiron<sup>1</sup></p> <p><sup>1</sup> Ingénierie des Matériaux Polymères, IMP@Lyon1, CNRS UMR 5223, Université Claude Bernard Lyon 1  <sup>2</sup> CREATIS, Université de Lyon; CNRS UMR 5220; Inserm U1044; Université Lyon 1; INSA-Lyon</p>	P47
<p><b>PO.35 Rhéologie aux interfaces des polymères : rôle de l'architecture moléculaire et/ou de l'interphase dans les écoulements stratifiés</b></p> <p>Arnaud Bondon<sup>1,2</sup>, Khalid Lamnawar<sup>1,3</sup>, Abderrahim Maazouz<sup>1,2,4</sup></p> <p><sup>1</sup> Université de Lyon, INSA-LYON, F-69361 Lyon, France  <sup>2</sup> UMR 5223, Ingénierie des Matériaux Polymères IMP, CNRS, INSA Lyon, F-69621 Villeurbanne, France  <sup>3</sup> UMR 5259, Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures LaMCoS, CNRS, INSA Lyon, F69621, Villeurbanne, France  <sup>4</sup> Hassan II Academy of Science and Technology, 10 100 Rabat, Morocco</p>	P48
<p><b>PO.36 Nanostrength<sup>®</sup> Copolymères à bloc, De la rhéologie à l'application industrielle</b></p> <p>R.Inoubli S.Bourrigaud, C.Rey, S.Cazaumayou</p> <p><i>Arkema, Laboratoire de Rhéologie et Additifs, Laboratoire de Rhéologie et Additifs, 64170 Lacq</i></p>	P49

## 2. Présentations par affiches

<p><b>PP1. Dépôt de La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> par projection plasma de solution : Rôle des précurseurs</b></p> <p>W. Duarte, M. Vardelle et S. Rossignol</p> <p><i>Laboratoire de Science des Procédés Céramique et de Traitement de Surface, Université de Limoges</i></p>	P50
<p><b>PP2. Relation entre propriétés électriques et rhéologiques des boues résiduaire: impact de la température</b></p> <p>C. Ségalen, E. Dieudé-Fauvel et J.C. Baudez</p> <p><i>Irstea, UR TSCF, Domaine des Palaquins, F-03150 Montoldre, France</i></p>	P51
<p><b>PP3. Instabilités d'écoulement de type glissement/fracturation lors du cisaillement de suspensions aqueuses de nanofibrilles de cellulose</b></p> <p>O. Nechyporchuk<sup>1,2</sup>, M. N. Belgacem<sup>2</sup>, F. Pignon<sup>1</sup></p> <p><sup>1</sup>Univ. Grenoble Alpes, CNRS, U.J.F. Grenoble I, INP, LRP, UMR 5520, F-38000 Grenoble, France</p>	P52
<p><b>PP4. Simulation directe d'une suspension concentrée de fibres soumises à des effets de flexion</b></p> <p>R. Mezher, E. Abisset-Chavanne, J. Férec, G. Ausias et F. Chinesta</p> <p><i>GeM, UMR CNRS Ecole Centrale de Nantes</i></p>	P53
<p><b>PP5. Influence de plastifiants ioniques novateurs sur la rhéologie de l'amidon de maïs en phase fondue</b></p> <p>P. Decaen<sup>1,3</sup>, G. Della Valle<sup>2,3</sup>, D. Lourdin<sup>2,3</sup>, E. Leroy<sup>1,3</sup></p> <p><sup>1</sup>Laboratoire GEPEA, UMR CNRS 6144, University of Nantes, 37 boulevard de l'Université BP 420, 44606 Saint Nazaire cedex 2  <sup>2</sup>INRA, UR1268 Biopolymères Interactions &amp; Assemblages (BIA), BP 71627, 44316 Nantes cedex 3 (France)  <sup>3</sup>Structure Fédérative IBSM, INRA Nantes-Angers, rue de la Géraudière, BP 71627, 44316 Nantes cedex 3 (France)</p>	P54
<p><b>PP6. Maîtrise de la dynamique de la ligne triple pour l'élaboration de matériaux à surfaces multi-structurées</b></p> <p>B. Vuillemeys, K. Ako et Y. Rharbi</p> <p><i>Laboratoire Rhéologie et Procédés, UMR 5520 – UJF – Grenoble INP - CNRS</i></p>	P55
<p><b>PP7. Etude exploratoire des mécanismes de migration de nanoparticules d'argile dans des mélanges de polymères immiscibles</b></p> <p>J. Ville, P. Médéric et T. Aubry</p> <p><i>Equipe Rhéologie, Laboratoire d'Ingénierie des Matériaux de Bretagne EA 4250  Université de Bretagne Occidentale, 6 avenue Victor Le Gorgeu, CS 93 837, 29 238 Brest cedex 3, France.</i></p>	P56

<p><b>PP8. Détermination du point de gel par microrhéologie</b>  R. Ramsch, C. Tisserand, G. Brambilla, M. Fleury, P. Bru, G. Meunier  <i>Formulation, 10 impasse Borde Basse, 31240 L'Union, France</i></p>	P57
<p><b>PP9. Observations de l'instabilité de filaments viscoélastiques</b>  Jorge Peixinho  <i>Laboratoire Ondes et Milieux Complexes, CNRS et Université du Havre</i></p>	P58
<p><b>PP10. Interactions entre les structures cohérentes et les polymères dans les écoulements visco-élastiques turbulents en canal plan</b>  A.S. Pereira, R.S. Martins, G. Mompean et L. Thais  <i>Laboratoire de Mécanique de Lille (LML), CNRS, UMR 8107, École Polytechnique Universitaire de Lille, Université Lille Nord de France, F59655 Villeneuve d'Ascq, France</i></p>	P59
<p><b>PP11. Macro et nano-rhéologie: le RhéoSpeckle</b>  N. Ali, D. Roux, F. Caton  <i>Laboratoire Rhéologie et Procédés, Université de Grenoble</i></p>	P60
<p><b>PP12. RheOptiCAD : microstructures de systèmes modèles ou complexes sous contraintes thermo-mécaniques</b>  J-B. Boitte  <i>CAD Instruments, 10 rue de la Haie aux Vaches, 78690 Les Essarts-le-Roi</i></p>	P61
<p><b>PP13. Rheology of PVC plastisol</b>  Y. Abdesselam<sup>1,2</sup>, J.F. Agassant<sup>1</sup>, R. Valette<sup>1</sup>, Y. Demay<sup>3</sup>, D.Gourdin<sup>2</sup> and R.Peres<sup>2</sup>  <sup>1</sup>Mines ParisTech, Centre de Mise en Forme des Matériaux (CEMEF), UMR CNRS 7635, 06904 Sophia Antipolis France  <sup>2</sup>Tarkett GDL, Z.A Salzbaach, L-9559 Wiltz, Luxembourg  <sup>3</sup>Université de Nice Sophia Antipolis, Laboratoire J.A. Dieudonné, UMR CNRS 6621, 06108 Nice, France</p>	P62
<p><b>PP14. Suivi de la réticulation de silicones pour des dispositifs thérapeutiques destinés au relargage contrôlé d'antiviraux</b>  M. Memmi<sup>a</sup>, M. Desloir<sup>b</sup>, B. Figueroa<sup>a</sup>, T. Bourlet<sup>a</sup>, C. Carrot<sup>b</sup> and B. Pozzetto<sup>a</sup>  <sup>a</sup>Groupe Immunité des Muqueuses et Agents Pathogènes, EA 3064, Faculté de Médecine Jacques Lisfranc, Université de Lyon, Université Jean Monnet, Saint-Etienne, France  <sup>b</sup>Ingénierie des Matériaux Polymères, Université de Lyon, CNRS UMR 5223, Université Jean Monnet, Saint-Etienne, France</p>	P63
<p><b>PP15. Effet des biopolymères sur propriétés viscoélastiques en agroalimentaire – étude par microrhéologie passive</b>  M. Fleury, R. Ramsch, G. Brambilla, P. Bru, G. Meunier  <i>Formulation, 10 impasse Borde Basse, 31240 L'Union, France</i></p>	P64
<p><b>PP16. Structuration de nanocomposites polyoléfine/argile lamellaire en extrusion biva corotative : Effet des paramètres d'extrusion</b>  G. Normand, E. Peuvrel-Disdier, B. Vergnes  MINES ParisTech, PSL Research University, CEMEF - Centre de Mise en Forme des Matériaux, CNRS UMR 7635, CS 10207, rue Claude Daunesse, 06904 Sophia Antipolis Cedex (France)</p>	P65
<p><b>PP17. Structuration de colloïdes concentrés sous filtration et ultrasons: mécanismes révélés par diffusions de rayons x aux petits angles</b>  Y. Jin<sup>1</sup>, N. Hengl<sup>1</sup>, S. Baup<sup>1</sup>, F. Pignon<sup>1</sup>, N. Gondrexon<sup>1</sup>, A. Magnin<sup>1</sup>, M. Sztucki<sup>2</sup>, T. Narayanan<sup>2</sup>, L. Michot<sup>3</sup>, B. Cabane<sup>4</sup>, G. Gésan-Guiziou<sup>5</sup>, A. Romdhane<sup>6</sup>, A. Guillet<sup>6</sup>, M. Arousseau<sup>6</sup>, E. Mauret<sup>6</sup>  <sup>1</sup>Univ. Grenoble Alpes, CNRS, U.J.F. Grenoble I, INP, LRP, UMR 5520, F-38000 Grenoble, France  <sup>2</sup>European Synchrotron Radiation Facility, BP220 38043 Grenoble Cedex 9, France;  <sup>3</sup>Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux. PECSA UMR 7195 - CNRS - UPMC – ESPCI, 4 place Jussieu, case courrier 51 75005 Paris Cedex 5, France;  <sup>4</sup>Laboratoire PMMH, ESPCI, 10 Rue Vauquelin, 75231 Paris Cedex 5, France;  <sup>5</sup>INRA AGROCAMPUS OUEST UMR1253 STLO Science et technologie du lait et de l'œuf, 65 rue de Saint-Brieuc - 35042 Rennes Cedex  <sup>6</sup>Univ. Grenoble Alpes, CNRS, LGP2, F-38000 Grenoble, France</p>	P66

<p><b>PP18. Un Modèle Couplé pour l'Evolution de Produits Liquides Alimentaires sous Traitement Thermique Continu</b>  A. Plana-Fattori, F. Ducept, C. Doursat, D. Flick, C. Michon et S. Mezdour  <i>AgroParisTech, UMR1145 Ingénierie Procédés Aliments; INRA, UMR1145 Ingénierie Procédés Aliments; CNAM, UMR1145 Ingénierie Procédés Aliments</i></p>	P67
<p><b>PP19. Déplacement et stabilité de cônes dans un fluide à seuil</b>  F. Ahonguio, L. Jossic et A. Magnin  <i>Laboratoire de Rhéologie et Procédés, Université de Grenoble</i></p>	P68
<p><b>PP20. Etude rhéologique de suspensions aqueuses de boehmite</b>  C. Gallois, E. Lécolier, L. Rouleau, P. Gateau et P. Levitz  <i>IFP Energies nouvelles, Laboratoire PHENIX</i></p>	P69
<p><b>PP21. Elaboration et caractérisation rhéologique d'un matériau hybride magnétique</b>  M. Bencharki, B. Blottière  <i>Université de Lyon, IMP@UJM St-Étienne, CNRS UMR 5223, Faculté des Sciences et Techniques, Université Jean-Monnet, 23 rue du docteur Paul Michelon, 42023 St-Étienne Cédex 2, France</i></p>	P70
<p><b>PP22. Etude expérimentale de la formation des biofilms sous conditions hydrodynamiques contrôlées</b>  A. Medeiros<sup>a,b</sup>, Z<sup>a</sup> Huang, P<sup>a</sup> Séchet, F<sup>b</sup> Pignon, J.M.F.<sup>c</sup> Martins  <sup>a</sup>Laboratoire des Ecoulements Géophysiques et Industriels, UMR5519, 1023-1025 rue de la piscine, Domaine Universitaire, BP53, F-38041 Grenoble Cedex  <sup>b</sup>Laboratoire Rhéologie et Procédés, UMR5520, 1301 rue de la Piscine, Domaine Universitaire, BP53, F-38041 Grenoble Cedex  <sup>c</sup>Laboratoire des Transferts en Hydrologie et Environnement, UMR5564 CNRS/UJF/G-INP/IRD 460, rue de la piscine, Domaine Universitaire, BP53, F-38041 Grenoble Cedex</p>	P71
<p><b>PP23. Effet des propriétés rhéologiques des solutions de silicate sur la fabrication de matériaux basse température</b>  L.Vidal<sup>1,2,3</sup>, E. Joussein<sup>4</sup>, J. Absi<sup>3</sup> et S. Rossignol<sup>1,2</sup>  <sup>1</sup>Laboratoire de Science des Procédés Céramiques et Traitements de Surface (SPCTS) UMR 7315 CNRS, Université de Limoges  <sup>2</sup>Ecole Nationale Supérieure de Céramique Industrielle (ENSCI)  <sup>3</sup>Groupe d'Etude des Matériaux Hétérogènes (GEMH)  <sup>4</sup>Université de Limoges, GRESE EA 4330</p>	P72

# Particules magnétiques pour la micro-rhéologie : applications aux fluides complexes et biologiques

**J.-F. Berret**

<sup>1</sup>*Matière et Systèmes Complexes, UMR 7057 CNRS Université Denis Diderot Paris-VII, Batiment  
Condorcet, 10 Rue Alice Domon et Léonie Duquet, F-75205 Paris, France*

[jean-francois.berret@univ-paris-diderot.fr](mailto:jean-francois.berret@univ-paris-diderot.fr)

Depuis quelques années notre groupe travaille sur des nanomatériaux innovants pour les applications en nanomédecine. Dans ce cadre, nous avons développé une méthode de synthèse d'objets micrométriques magnétiques répondant à l'application de champ extérieur. Dans cet exposé je montrerais d'abord que des objets anisotropes sous forme de bâtonnets peuvent être facilement obtenus. Une fois dispersés au sein d'un fluide ces bâtonnets peuvent être utilisés comme des micro-rhéomètres à contrainte imposée. Après un aperçu des résultats récents dans le domaine de la micro-rhéologie, je montrerais les avantages de ces sondes, en particulier comment déduire les grandeurs de la rhéologie linéaire (viscosité statique, module élastique) à l'aide d'expériences simples. Je conclurais l'exposé avec des données récentes obtenues sur cellules vivantes prouvant la nature viscoélastique des milieux intracellulaires.

## *References*

- B. Frka-Petecic , K. Eglis , J.-F. Berret , A. Cebers , V. Dupuis , J. Fresnais, R. Perzynski, O. Sandre, *Dynamics of organic/inorganic magnetic microrods under rotating field* , Journal of Magnetism and Magnetic Materials 323 (2011) 1309–1313**
- R. Colin, M. Yan, L. Chevy, J.-F. Berret and B. Abou, *3D rotational diffusion microrheology using 2D video microscopy*, Europhysics Letters 97, 30008 (2012)**
- L. Chevy, R. Colin, B. Abou and J.-F. Berret, *Intracellular microrheology probed by micron-sized wires*, Biomaterials 34 (2013) 6299 – 6305**
- R. Colin, L. Chevy, J.-F. Berret and B. Abou, *Rotational microrheology of Maxwell fluids using micron-sized wires*, Soft Matter 10, 1167–1173 (2014)**

# Détermination par couplage rhéologie/microscopie confocale de profils d'écoulement ou de déformation d'un système thermosensible

J-B Boitte<sup>1</sup>, C. Vizcaino<sup>1</sup>, T. Nicolai<sup>2</sup> et L. Benyahia<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CAD Instruments, 10 rue de la Haie aux Vaches, 78690 Les Essarts-le-Roi

<sup>2</sup> LUNAM Université du Maine, IMMM UMR-CNRS, Polymères, Colloïdes et Interfaces, 72085 Le Mans

Email : [jean-baptiste.boitte@cad-inst.com](mailto:jean-baptiste.boitte@cad-inst.com)

Communication Orale

**Mots-clé** : rhéo-optique, microscopie confocale, profil d'écoulement, gélification, microstructure

**Résumé** : Les biopolymères sont largement utilisés dans diverses industries grâce à leurs propriétés thermosensibles et thermoréversibles permettant d'obtenir diverses microstructures (solution ou gel de force variable) en fonction de leur utilisation. De nombreux auteurs ont déjà caractérisés rhéologiquement les propriétés d'écoulement de ces ingrédients. Nous proposons ici une approche rhéo-optique basée sur le principe de l'observation d'une signature optique résultante d'une sollicitation thermomécanique contrôlée. A l'aide d'un dispositif rhéo-optique mis en place sur un microscope confocal (Boitte et al., 2013), le comportement d'une solution de carraghénane soumise à des contraintes thermomécaniques a été étudié. Ensemencée de traceurs fluorescents ( $\varnothing = 1 \mu\text{m}$ ), la solution de carraghénane a été sollicitée à différents taux de cisaillement à isotherme ( $T = 45^\circ\text{C}$ ). L'acquisition dans l'espace (plans vitesse-vorticité-gradient) permet de visualiser l'écoulement en 3D au sein de l'échantillon. Utilisant la faible résolution en  $z$  du microscope confocal, le suivi du déplacement des traceurs dans la solution au cours du temps a été effectué. Grâce à un algorithme de Hough (Duda & Hart, 1972; Mostafaoui, Achard, & Milgram, 2010), la trajectographie des traceurs a été établie et des profils d'écoulements ont pu ensuite être extraits et quantifiés. Cette technique permet de mettre en évidence l'écoulement réel au sein de l'échantillon, en particulier le gradient de vitesse dans l'entrefer. Une comparaison entre la déformation imposée et celle effective peut alors être réalisée. Dans un second temps, la solution a été soumise à un refroidissement contrôlé tout en conservant un cisaillement constant. Dans ces conditions, l'acquisition d'images permet d'observer 2 phases au sein de l'échantillon, l'une gélifiée, l'autre liquide. La détermination d'un plan de gélification peut être alors mise en œuvre ainsi qu'une cinétique de gélification du système. L'utilisation de la rhéo-optique fournit donc une information qualitative et quantitative sur la microstructure et le comportement d'un système soumis à des contraintes contrôlées.

Boitte, J.-B., Vizcaino, C., Benyahia, L., Herry, J.-M., Michon, C., & Hayert, M. (2013). A novel rheo-optical device for studying complex fluids in a double shear plate geometry. *Review of Scientific Instruments*, 84(1), 13709.

Duda, R. O., & Hart, P. E. (1972). Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures. *Communications of the ACM*, 15(1), 11–15.

Mostafaoui, G., Achard, C., & Milgram, M. (2010). A Hough Transform with projection for velocity estimation. *Machine Vision and Applications*, 21(4), 469–483.

# L'élasticité du sang

E. Ghirighelli<sup>1</sup>, B. Polack<sup>2,3</sup> et F. Caton<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Rhéologie et Procédés, Université de Grenoble

<sup>2</sup>Département d'Hématologie, Centre Hospitalier Universitaire, Grenoble

<sup>3</sup>TIMC-TheREx, Faculté de médecine, Université de Grenoble

Email : [francois.caton@ujf-grenoble.fr](mailto:francois.caton@ujf-grenoble.fr)

*Communication Orale*

**Mots-clé** : Sang, viscoélasticité, diagramme des phases, transition sol-gel.

**Résumé** : Alors que la viscosité du sang est reconnue depuis longtemps comme un marqueur de nombreuses pathologies, sa viscoélasticité a été très peu étudiée. Cet état de fait est du essentiellement aux grandes difficultés expérimentales associées à la mesure, en oscillations, d'un matériau très peu visqueux (*ca.* 4 m Pa.s at 10s<sup>-1</sup>), qui sédimente relativement rapidement, présente éventuellement un seuil et pourrait être thixotrope. De plus, le sang présente une grande variabilité biologique, autant en termes de concentration en protéines et en érythrocytes qu'en propriétés physiques.

Afin de diminuer autant que possible cette variabilité, nous utilisons un sang modèle constitué d'érythrocytes lavés, suspendus à des fractions volumiques variées dans un tampon contenant les principales protéines plasmatiques. Afin d'éviter les artefacts de mesures liés à l'évolution temporelle des propriétés mécaniques due à la sédimentation nous utilisons l'Optimal Fourier Rheometry. Cette méthode permet la mesure la plus rapide possible (optimale en temps) tout en évitant les problèmes de superposition de déformation de la FTMS.

Nos résultats montrent tout d'abord que le sang présente un module élastique plus élevé qu'attendu, module qui peut être plus grand que le module visqueux. Nous discuterons de l'origine de cette élasticité pour la lier au contenu protéique du sang ainsi qu'à sa microstructure. L'exploration systématique à la fois de l'hématocrite et des concentrations en protéines mène à l'établissement d'un diagramme des phases du sang qui peut présenter des phases liquide, marginale ou gel. Enfin nous comparons la transition sol-gel expérimentale avec celle prédite par la mode coupling theory ainsi que la théorie de la percolation.

# Rhéologie des suspensions de globules rouges

V. Audemar, G. Couplier et T. Podgorski

*Laboratoire Interdisciplinaire de Physique (LIPhy), UMR 5588 CNRS-Université  
Joseph Fourier, Grenoble  
Email : [vassanti.audemar@ujf-grenoble.fr](mailto:vassanti.audemar@ujf-grenoble.fr)*

Communication Orale

Mots-clé : Globules rouges, rhéologie, confinement

## Résumé :

Le comportement rhéologique des suspensions, qui a été très étudié dans le cas modèle des sphères dures, peut être très sensible aux propriétés éventuellement complexes des particules en suspension. Les globules rouges sont des cellules constituées d'une membrane plasmique et d'un cytosquelette qui leur confèrent des propriétés viscoélastiques et qui peuvent varier dans des situations pathologiques (ex: drépanocytose). Le couplage entre l'écoulement, la dynamique et les interactions entre ces objets déformables conduit notamment à un comportement rhéofluidifiant des suspensions de globules, ainsi qu'une remarquable diminution de la viscosité apparente avec l'augmentation du confinement dans des tubes ou capillaires sanguins (effet Fahraeus-Lindqvist).

La viscosité des suspensions confinées de globules rouges et l'effet Fahraeus-Lindqvist ont fait l'objet de nombreuses études, in vivo et in vitro, pour des concentrations proches de l'hématocrite moyen chez l'Homme (environ 45%), mais très peu d'études explorent une gamme de concentration plus étendue. Or, on sait maintenant que la répartition des globules est très hétérogène dans les capillaires où le confinement est élevé et que les concentrations varient fortement d'un capillaire à l'autre.

Nous avons effectué des mesures de la viscosité de suspensions de globules rouges en écoulement de Poiseuille confiné (proche des diamètres des capillaires sanguins) par une méthode de viscosimétrie microfluidique ainsi qu'en cisaillement simple avec un rhéomètre à entrefer micrométrique (Force rebalance Microgap Rheometer) développé par Christian Clasen (KU Leuven). Les résultats obtenus révèlent un comportement surprenant, où la viscosité normalisée définie par  $[\eta] = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0 \phi}$  (avec  $\eta_0$  la viscosité du fluide suspendant et  $\phi$  la fraction volumique) peut être négative aux faibles concentrations et faibles taux de cisaillement. Autrement dit, dans ces conditions particulières de confinement élevé, l'ajout de globules dans la suspension pourrait entraîner une diminution de la viscosité effective qui deviendrait inférieure à celle de la viscosité du fluide suspendant. Nous discuterons des différentes hypothèses pouvant expliquer ce phénomène.

# Novel gels from wheat gluten proteins

M Dahesh<sup>1,2,3</sup>, A Banc<sup>1,2</sup>, A Duri<sup>3</sup>, MH Morel<sup>3</sup>, L Ramos<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Université Montpellier 2, Laboratoire Charles Coulomb UMR 5221, F-34095, Montpellier, France

<sup>2</sup> CNRS, Laboratoire Charles Coulomb UMR 5221, F-34095, Montpellier, France

<sup>3</sup> UMR IATE, UM2-CIRAD-INRA-SupAgro, 2 pl Pierre Viala, 34070 Montpellier, France

Email : [laurence.amos@univ-montp2.fr](mailto:laurence.amos@univ-montp2.fr)

*Communication Orale*

**Résumé :** Wheat storage gluten proteins are among the most complex proteins families comprising at least fifty different proteins, with extremely broad polymorphisms. Wheat gluten proteins are moreover largely insoluble in water, rendering their study difficult. Gluten proteins are responsible for the remarkable viscoelastic properties of dough. However despite extensive studies over more than 200 years, in order to provide structural and mechanistic basis for the improvement of the viscoelastic properties of dough and of the quality of resulting food products, there is still a crucial need to understand supramolecular organization of gluten proteins.

We have proposed a novel extraction protocol that allows for the first careful structural and rheological analysis of gluten protein suspensions over a wide range of protein concentrations. Our system appears therefore as a unique model system to investigate the supramolecular organization of gluten proteins and its impact on the viscoelastic properties of gluten gels.

Rheological measurements show a spontaneous and very slow and concentration-dependent gelation of the samples which can be rationalized using percolation models. Consistently, scattering data highlight a hierarchical structure strikingly similar to that of polymeric gels, thus providing some factual knowledge to rationalize the viscoelastic properties of wheat gluten and their assemblies.

# Microrheology of living cells using the AFM

Y. Abidine<sup>1,2\*</sup>, V.M. Laurent<sup>1,2</sup>, R. Michel<sup>1,2</sup>, A. Duperray<sup>3,4,5</sup> and C. Verdier<sup>1,2</sup>

*1 Univ. Grenoble Alpes, LIPHY, F-38000, Grenoble, France*

*2 CNRS, LIPHY, F-38000, Grenoble, France*

*3 INSERM, IAB, F-38000, Grenoble, France*

*4 Univ. Grenoble, IAB, F-38000, Grenoble, France*

*5 CHU de Grenoble, IAB, F-38000, Grenoble, France*

\*Email : [yara.abidine@ujf-grenoble.fr](mailto:yara.abidine@ujf-grenoble.fr)

*Communication Orale*

**Keywords:** Atomic Force Microscopy, viscoelasticity, polyacrylamide gels, cancer cells, T24

**Abstract:** The viscoelastic properties of biological cells are a key factor in the regulation of cell processes and are dependent on the cell micro-environment. In particular, the mechanical properties of cancer cells undergo major changes during each step of the metastatic process. Thus, understanding the link between viscoelastic properties and cell functions is crucial for the study of tumor progression. Here, the dynamical moduli  $G'$  and  $G''$  of bladder epithelial cancer cells T24 are investigated using AFM in contact force modulation mode.

The method was first calibrated using polyacrylamide gels of increasing polymer concentration using both AFM in contact force modulation at high frequencies and a controlled stress rheometer at low frequencies. A common region was found between these two measurements. A model based on fractional derivatives covering the whole frequency range is proposed. The model predicts the slope of both moduli in the transition regime, as well as a new transition time  $\lambda_T$ . This model can be used to fit the measurements on cells which revealed intriguing gel-like viscoelastic properties, with the existence of a plateau modulus at low frequencies.

To relate the viscoelastic properties to cell functions, such as the actin cytoskeleton network, a mapping of the local mechanical properties of the cell is done, and drugs disrupting the cytoskeleton network are used. Preliminary results show that the nucleus is less rigid than the rest of the cell and when the cytoskeleton is disrupted, the cell's elastic modulus decreases and the cell becomes more viscous. The results highlight the particular role of the cytoskeleton components in the viscoelasticity of cancer cells. Further studies will allow us to have a better understanding of how the microrheology of cancer cells is linked to their invasivity and by which means they undergo migration in different environments.

# Modélisation du comportement rhéologique de suspensions diluées de clusters rigides et déformables

J. Férec<sup>a</sup>, E. Abisset-Chavanne<sup>b</sup>, G. Ausias<sup>a</sup>, F. Chinesta<sup>b</sup> et R. Keunings<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Laboratoire d'Ingénierie des MATériaux de Bretagne (LIMATB), Université de Bretagne-Sud, rue de St Maudé, 56325 Lorient, France

<sup>b</sup> GeM, Ecole Centrale de Nantes, 1 rue de la Noë, 44000 Nantes, France

<sup>c</sup> ICTEAM, Université catholique de Louvain, Bat. Euler, Av. Georges Lemaitre 4, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgium

Email : [julien.ferec@univ-ubs.fr](mailto:julien.ferec@univ-ubs.fr)

*Communication Orale*

**Mots-clé** : Suspensions diluées d'agrégats, Cluster rigide, Cluster déformable, Modélisation

**Résumé** : Une grande majorité de particules nanométriques, en suspension dans un liquide, a une forte tendance à s'agréger pour former des clusters de tailles et de formes variées. C'est le cas notamment des nanotubes de carbone quand leur dispersion est mal maîtrisée. Ce travail propose une approche originale pour décrire la cinématique et le comportement rhéologique de suspensions diluées d'agrégats présentant des formes quelconques à l'aide d'un tenseur de conformation. Quand ces clusters sont sujets à un écoulement, deux dynamiques de déformation s'opposent : soit le cluster est complètement rigide et dans ce cas il décrit un mouvement de particule rigide, soit le cluster est totalement déformable ce qui conduit à ce que chaque particule constituant le cluster se comporte de façon individuelle. Un modèle rhéologique, incluant l'expression du tenseur des contraintes et une équation d'évolution de l'orientation du cluster, est développé pour chacune de ces deux possibilités. Le cas le plus probable étant intermédiaire, un couplage est alors proposé. Les propriétés rhéologiques de ce genre de systèmes ne sont pas encore bien connues et ce travail est une alternative permettant de proposer des solutions.

# Rhéologie des fontes verrières d'intérêt nucléaire contenant des platinoïdes

J. Puig<sup>a</sup>, B. Penelon<sup>a</sup>, Ph. Marchal<sup>b</sup>, M. Neyret<sup>a</sup>

<sup>a</sup> CEA, DEN, DTCD/SECM/LDMC- Marcoule, F- 30207 Bagnols sur Cèze Cedex, France

<sup>b</sup> CNRS, Laboratoire Réactions et Génie des Procédés (LRGP-GEMICO),

UMR 7274, Université de Lorraine, Nancy, F-54001, France

Email : [jean.puig@cea.fr](mailto:jean.puig@cea.fr)

*Communication Orale*

**Mots-clé** : Rhéologie, verres nucléaires inactifs, platinoïdes, sédimentation

**Résumé** : En France, les produits de fission issus du retraitement des combustibles usés sont conditionnés au sein d'une matrice vitreuse borosilicatée dont la composition chimique et les propriétés résultantes sont l'objet d'améliorations constantes. Au cours de l'élaboration des colis de déchets vitrifiés à haute température, des particules du groupe des platinoïdes demeurent insolubles dans la fonte verrière. La présence de ces éléments en suspension a un impact sur certaines propriétés physiques du bain de verre qui sont importantes pour la conduite du procédé de vitrification, notamment sur ses propriétés rhéologiques.

L'objet de ces travaux est de décrire l'influence de la teneur en platinoïdes sur les propriétés rhéologiques des verres nucléaires inactifs (c'est-à-dire dont les éléments radioactifs sont simulés par des éléments non radioactifs) au cours de leur élaboration à haute température (environ 1200°C).

Dans ce contexte, nous avons développé un dispositif rhéométrique original permettant de réaliser des mesures en régimes transitoire, permanent et oscillatoire aux températures d'élaboration des verres. L'évolution de la viscosité de ces fontes verrières a ainsi été évaluée en fonction de la vitesse de cisaillement, de la teneur en platinoïdes et du temps de mesure. Pour la première fois, le caractère non newtonien des verres nucléaires contenant des platinoïdes a été mis en évidence et quantifié à l'aide de spectres mécaniques réalisés à 1200°C. Un scénario décrivant le mouvement des particules au sein de ces fontes a été proposé à partir de caractérisations macroscopiques (photographies et mesures de densité) et microscopiques (MEB) des amas de platinoïdes formés dans les conditions de mesure. Enfin, un modèle rhéologique a été déterminé à partir des données acquises.

La description des phénomènes d'agglomération et de sédimentation des particules insolubles et l'établissement d'un modèle rhéologique affiné permettront de modéliser les phénomènes physiques qui se produisent au sein des fontes verrières d'intérêt nucléaire.

# Propriétés rhéologiques de gels colloïdaux de latex naturel: mise en évidence d'un durcissement irréversible sous déformation

G. DE OLIVEIRA REIS, P. MENUT, L. VAYSSE, F. BONFILS et C. SANCHEZ

UMR LATE, (UM2-CIRAD-INRA-SupAgro), Montpellier

Email : guilherme.de\_oliveira\_reis@cirad.fr

Communication Orale

**Mots-clés** : latex naturel, gel colloïdal, durcissement irréversible sous déformation

## Résumé :

Le latex d'*Hevea brasiliensis* est utilisé pour préparer une grande variété de produits en raison de ses propriétés exceptionnelles. Au cours de sa transformation, le latex est dans un premier temps coagulé, au cours d'un processus d'acidification permettant la formation d'un gel colloïdal caractérisé par une dimension fractale de 1,8.<sup>1</sup> Dans cette étude, nous avons étudié les propriétés rhéologiques des gels dans une gamme de fraction volumique  $\Phi_v$ , en particules comprise entre 0,01 et 0,5. La gelification est conduite *in situ* dans une géométrie couette crantée, par ajout de glucono-delta-lactone (GDL), dont l'hydrolyse progressive permet l'acidification du milieu. La déstabilisation de la suspension est associée ici à la formation de liaisons irréversibles entre les particules, d'une énergie très supérieure à  $k_B T$ . Dans le domaine linéaire, nous observons une augmentation du module élastique au plateau ( $G'_0$ ) des gels et une diminution de la déformation à la limite de linéarité ( $\gamma_0$ ) en fonction de  $\Phi_v$ . Pour  $0,01 < \Phi_v < 0,2$ , les gels ont montré des signes d'un durcissement sous déformation. A la différence de ce qui est observé généralement, ce durcissement est irréversible et peut être associé à la formation de nouvelles liaisons de forte énergie entre les particules. Ce phénomène est caractérisé par une augmentation continue des modules mécaniques ( $G'$  et  $G''$ ) lorsque la déformation augmente. Au-delà d'un maximum  $G'_{max}$ , les gels se décollent de la paroi et se fracturent. L'ampleur relative du durcissement peut être estimée par le ratio  $G'_{max}/G'_0$  qui diminue lorsque la fraction volumique augmente jusqu'à une limite de  $\Phi_v = 0,3$  pour laquelle ce durcissement présumé n'est plus observé.

<sup>1</sup> G. DE OLIVEIRA REIS, P. MENUT, L. VAYSSE, F. BONFILS et C. SANCHEZ. "Rheological properties of colloidal gels from *Hevea brasiliensis* latex", Poster session stand 26 coll-1544, International Soft Matter Conference, (Rome, IT, 2013-09-15)

# Analyses statistiques et tensorielles de l'étirement des polymères dans les écoulements visco-élastiques turbulents en canal plan

Anselmo S. Pereira<sup>a,1</sup>, Ramon S. Martins<sup>a,2</sup>, Gilmar Mompean<sup>a,3</sup>, Laurent Thais<sup>a,4</sup> et

Roney Leon Thompson<sup>b,5</sup>

<sup>a</sup>Laboratoire de Mécanique de Lille (LML), CNRS, UMR 8107, École Polytechnique Universitaire de Lille, Université Lille Nord de France, F59655 Villeneuve d'Ascq, France

<sup>b</sup>Laboratório de Mecânica Teórica Aplicada (LMTA), Universidade Federal Fluminense, Rua Passo da Pátria 156, Niterói, RJ 24210-240, Brésil

Email : <sup>1</sup>[anselmo.pereira@polytech-lille.fr](mailto:anselmo.pereira@polytech-lille.fr), <sup>2</sup>[ramon.martins@polytech-lille.fr](mailto:ramon.martins@polytech-lille.fr), <sup>3</sup>[gilmar.mompean@polytech-lille.fr](mailto:gilmar.mompean@polytech-lille.fr), <sup>4</sup>[laurent.thais@polytech-lille.fr](mailto:laurent.thais@polytech-lille.fr), <sup>5</sup>[rthompson@id.uff.br](mailto:rthompson@id.uff.br)

*Communication Orale*

**Mots-clés** : étirement des polymères; analyses statistique et tensorielle; réduction de la traînée; écoulement en canal plan; simulation numérique directe.

**Résumé** : La dilution en très faible concentration de chaînes polymériques longues dans un fluide newtonien peut réduire considérablement la traînée turbulente. Ce phénomène remarquable focalise l'attention en raison de ses nombreuses applications pratiques. Dans le présent travail, des simulations numériques directes d'écoulements newtoniens et visco-élastiques turbulents en canal plan, au nombre de Reynolds frictionnel de 180 et pour différents régimes de réduction de traînée, sont utilisées afin d'explorer le mécanisme d'extension des polymères. L'étirement polymérique relatif, les distributions de probabilité de l'alignement entre le tenseur de conformation et d'autres entités tensorielles sont analysés. Tout proche de la paroi, les polymères présentent une forte tendance à s'orienter sur la direction longitudinale de l'écoulement (direction  $x$ ). Par ailleurs, l'extension des chaînes polymériques semble être fortement corrélée avec l'alignement entre le tenseur de conformation et celui formé par les produits des fluctuations de vitesse,  $\tau'$ . Les densités de probabilité croisées montrent que les valeurs positives les plus élevées de fluctuations du travail polymérique dans la direction  $x$ ,  $E_x'$ , sont liées aux taux de variation positifs du produit des fluctuations de vitesse dans la même direction,  $\frac{\partial u'^2}{\partial t}$ . En revanche, les fluctuations du travail polymérique les plus négatives sont observées dans les régions où le terme  $\frac{\partial u'^2}{\partial t}$  est négatif. Dans ces deux cas, les polymères sont pourtant majoritairement alignés sur la direction principale de  $\tau'$ , indiquant que ce tenseur joue un rôle important dans le mécanisme d'interaction polymères-turbulence.

# Adaptation de maillage anisotrope et approche variationnelle multi-échelles pour les écoulements incompressibles des fluides de Bingham

S. Riber, R. Valette, E. Hachem

*Centre de Mise en Forme des Matériaux, Mines ParisTech*

*Email : [stephanie.riber@mines-paristech.fr](mailto:stephanie.riber@mines-paristech.fr)*

*Communication Orale*

**Mots-clé** : fluides de Bingham, adaptation de maillage anisotrope, approche variationnelle multi-échelles, régularisation de Papanastasiou

**Résumé** : L'objectif de ce travail consiste à montrer que l'adaptation de maillage anisotrope améliore la précision et les performances des calculs de l'écoulement des fluides de Bingham. Le maillage anisotrope adaptatif est construit en fixant le nombre de noeuds, et repose sur un estimateur d'erreur a posteriori pour les équations de Navier-Stokes incompressibles. Il est couplé avec un modèle de fluide à seuil classique, Bingham, régularisé avec l'approche formulée par Papanastasiou. L'estimateur proposé est basé sur le tenseur de distribution des longueurs. Une nouvelle métrique construite directement aux nœuds du maillage est ainsi proposée. Le solveur s'appuie sur une approche variationnelle multi-échelles (VMS), qui consiste à décomposer les champs de vitesse et de pression des équations de Navier-Stokes en grandes échelles résolubles et en petites échelles non résolubles. L'algorithme est appliqué à des écoulements à hauts nombres de Bingham dans une cavité entraînée et autour d'un cylindre, et ses performances sont étudiées. Il améliore la précision des calculs de l'écoulement des fluides de Bingham, en séparant de manière plus distincte les zones rigides des zones fluides.

# Étude numérique de l'écoulement d'un fluide newtonien et non-newtonien dans un milieu poreux saturé.

A. Gueye<sup>1</sup>, G. Mompean<sup>1</sup>, A. C. Beye<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Laboratoire de Mécanique de Lille, UMR-CNRS 8107, Polytech-Lille, Cité Scientifique, 59665 Villeneuve d'Ascq cedex, France*

<sup>2</sup> *Laboratoire Mécanique de Fluides et Applications, Département de physique, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal*

*Email : [Abdoulaye.Gueye@polytech-lille.fr](mailto:Abdoulaye.Gueye@polytech-lille.fr)*

*Communication Orale*

**Mots-clé** : milieu poreux, simulation numérique, volume fini, loi de Darcy, fluide non newtonien

**Résumé** : Ce travail concerne l'étude numérique de l'écoulement d'un fluide newtonien et non-newtonien au sein d'un système fluide/poreux. Les difficultés qui se posent dans le cas de ces milieux composés, se situent au niveau de l'écriture des équations de conservation qui décrivent l'écoulement et le transfert dans les deux milieux, ainsi que l'établissement des conditions limites au niveau de l'interface fluide/poreux. L'approche à un seul domaine qui consiste à écrire l'équation de Navier-Stokes incluant le terme de Darcy - Brinkman - Forchheimer est adopté dans cette étude. La relation entre le gradient de pression et la vitesse débitante linéaire dans le cas de Darcy, sera étendu dans les cas non-Darcy. Un code de calcul en Fortran, permettant de varier les paramètres du fluide et celles du milieu poreux, est développé. La méthode utilisée est celle des volumes finis. Les équations de conservation sont intégrées sur le volume de contrôle, puis le théorème de Gauss est utilisé pour transformer certaines intégrales de volume en intégrales de surface. Toutes les grandeurs scalaires sont traitées au centre du volume, les vitesses sont localisées au centre des faces du volume, ce choix constitue le principe du maillage entrelacé. La difficulté du problème émerge d'un fort couplage entre la géométrie du milieu poreux et le caractère non-newtonien du fluide considéré. Les premiers résultats obtenus concernant la validation du code de calcul sont encourageants et en accord avec la littérature. La relation non linéaire entre le gradient de pression et la vitesse débitante est obtenue pour les fluides non-newtoniens. Les contours de vitesse et pression sont montrés pour illustrer le développement de l'écoulement.

# Multiscale modeling of diluted CNTs suspensions electrical properties

M. Perez<sup>1</sup>, E. Abisset-Chavanne<sup>1</sup>, A. Barasinski<sup>1</sup>, J. Elliott<sup>2</sup>, A. Ammar<sup>3</sup> et  
F. Chinesta<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *GeM, UMR CNRS-Centrale Nantes*

<sup>2</sup> *Department of Materials Science & Metallurgy, University of Cambridge*

<sup>3</sup> *Arts et Métiers ParisTech*

Email : [marta.perez-miguel@ec-nantes.fr](mailto:marta.perez-miguel@ec-nantes.fr)

*Communication Orale*

**Mots-clé** : Suspensions, Electrical properties, CNTs, Kinetic theory models

**Résumé** : Polymer composites are an industrially important class of material in which the properties of a polymer matrix can be enhanced by introducing filler particles. In particular, CNTs have remarkable electrical and mechanical properties and their adjunction in nanocomposites has opened up new perspectives for functional materials. The introduction of these conductive nanoparticles in an isolating polymer matrix is expected to induce an electrical conductivity at very low filler contents. A challenge is then to be able to predict the macro properties of the modified fluid that depend not only on the type and concentration of these filler particles but also on the flow induced microstructure evolution.

The objective of this work is to model the electrical conductivity of diluted suspensions of CNTs using a method based on the kinetic theory framework. Kinetic theory is a useful micro-to-macro approach which allows one to address the system at the mesoscale while keeping the fine physics through a number of conformational coordinates introduced to describe the microstructure and its evolution. As the conductivity depends on the contact between the CNTs, in the considered materials the conduction phenomena depends on two descriptors: the orientation distribution and the local particles' concentration. Indeed, from them we can calculate, at each position, the density of contacts distribution as a function of the nanotube orientation. Finally, the model proposed establishes a natural bridge between the different scales of descriptions. After evaluating induced conductivity properties of the microstructure we are able to identify preferential electric paths in the domain of interest. Different experiments for characterizing the suspension and validating the numerical predictions will be proposed.

# Viscosity amplification in dilute suspensions of spherical particles with a non-Newtonian matrix fluid

J. Domurath<sup>1,2</sup>, M. Saphiannikova<sup>1</sup>, J. Férec<sup>2</sup>, G. Ausias<sup>2</sup>, G. Heinrich<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>*Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V., Institut für Polymerwerkstoffe, Dresden, Germany*

<sup>2</sup>*Université de Bretagne-Sud, LIMATB BP92116, Lorient, France*

<sup>3</sup>*Technische Universität Dresden, Institut für Werkstoffwissenschaft, Dresden, Germany*  
Email : [domurath@ipfdd.de](mailto:domurath@ipfdd.de)

*Communication Orale*

**Mots-clé** : suspensions, rigid filler, polymer melts, constitutive equations

**Résumé** : We performed a numerical study of a suspension based on a non-Newtonian matrix fluid and rigid spherical particles. In particular, we simulated an elongational flow of a Bird-Carreau fluid around a sphere and used numerical homogenization to obtain the effective viscosity of the suspension (i.e. by comparing energy) for different applied rates of deformation and different thinning exponents. In the Newtonian regime we obtained the well-known Einstein result for the suspension viscosity:  $\eta = (1 + [\eta]\Phi)\eta_0$  with the intrinsic viscosity  $[\eta]=2.5$ .  $\Phi$  is the volume fraction of particles;  $\eta$  and  $\eta_0$  are the viscosities of the suspension and the matrix, respectively. However in the transition region from Newtonian to non-Newtonian behavior we obtained lower values of the intrinsic viscosity  $[\eta]$ , which depend on both the applied rate of deformation and the thinning exponent. In the power-law regime of the Bird-Carreau model, i.e. at high deformation rates, we found that the intrinsic viscosity  $[\eta]$  depends only on the thinning exponent. Analysis of the simulation results allowed us to propose a modification of the Bird-Carreau model for dilute suspensions with a non-Newtonian matrix fluid.

# Mechanical and structural anisotropy in complex fluids

Jan Vermant

*Laboratory of Soft Materials, Department of materials, ETH Zürich, Switzerland*

*Soft Matter, Rheology and Technology division, KU Leuven, Belgium*

*Email : [jan.vermant@mat.ethz.ch](mailto:jan.vermant@mat.ethz.ch)*

**Mots-clé** : superposition rheology, flow scattering

**Résumé** : In recent years there have been many methods to investigate the mechanism underlying response. But we should not forget the use of rheological measurements themselves. To this end Oscillatory measurements are often used to explore the non-linear response of soft materials and to interrogate the structure. Recently there has been a strong focus in the rheology community on using large amplitude oscillatory experiments. Measurements in the frequency domain are appealing as the effects of small (SAOS) and large (LAOS) deformations on the different relaxation modes can be probed. However, LAOS data are only scalar in nature and the deformation history in a LAOS experiment is (quite) complex. Superposition of a small strain oscillatory motion onto a steady or transient shear flow can provide a clearer insight into the effects of flow on the mechanisms underlying the non-linear response of rheological complex fluids. The superposition of an oscillatory motion onto a steady state shear flow is a method where the kinematic history experienced by the sample is simpler, making it more suited to interrogate theoretical concepts. First results of these techniques date back to the work of Tanner and coworkers on polymer solutions in the late 1960's (1,2). Such a superposed oscillation can be applied either orthogonal or parallel to the main flow direction. Both superposed deformation modes can since recently be achieved on rotational rheometers equipped with a force-rebalanced transducer, the orthogonal mode requiring a minor modification to the control loop of the normal force (3). We will demonstrate the insight gained on the non-linear rheological properties of a wormlike micellar surfactant solutions, by comparing the results to both the Giesekus continuum model and the microstructural ideas of Cates (4,5). Second, we will report on gelling colloidal suspensions which undergo a solid-to-liquid transition as a function of the applied shear stress. Current concepts and models to rationalise or predict the rheological behaviour invariably assume an isotropic microstructure, even under flow. Microstructural studies, either SAXS, SANS, SALS or microscopy reveal a pronounced anisotropy in the structure factor, which is then often ignored, because as yet there was no evidence for pertinence of mechanical anisotropy in these systems. In the present work we demonstrate the so far unaccounted presence of a spectacular anisotropy in the mechanical response of a pre-sheared gel, with especially the elastic moduli differing by as much as two orders of magnitude depending on the straining directions. This implies that directional nature by which stresses are transmitted in these systems have to be taken into account in modeling efforts and call for more in depth studies of the link between microstructure and flow.

1. Simmons, J., J. Sci. Instrum., 43 887 (1966) .
2. Tanner R.I. and J.M. Simmons, Chem. Eng. Sci., 22, 1803 (1967) .
3. Vermant J., P. Moldenaers, J. Mewis, M. Ellis and R. Garritano; Rev. Sci. Instr., **68** 4090 (1997).
4. Cates ME J Phys Chem 94 371-375 (1990)
5. Kim, S., Mewis, J., Clasen, C., Vermant, J. Rheologica Acta, 52:727 (2013)

# The fusion and fission dynamics in amphiphilic block copolymer micelles at equilibrium and their effects on the micellar rheology

Monica Bravo<sup>1,2</sup>, Gabriel Landazuri,<sup>1,2</sup> J.F.A. Soltero<sup>1,2</sup> Y. Rharbi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Rhéologie et procédés, UJF/INPG/CNRS, UMR 5520, B.P.53, F-38041 Grenoble, FRANCE

<sup>2</sup> Departamentos de Ingeniería Química, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jal. 44430, MÉXICO

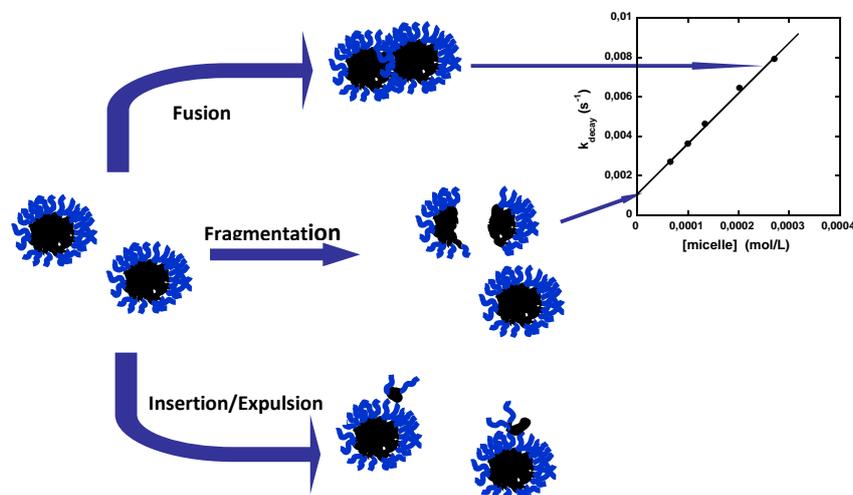
Email: [rharbi@ujf-grenoble.fr](mailto:rharbi@ujf-grenoble.fr)

Communication Orale

**Résumé:** Amphiphilic block copolymers self-assemble in water as micelles in diverse morphologies like spheres, rods etc.<sup>1</sup> Unlike low molecular weight surfactants, which are dynamically active, block copolymers exhibit a slow to frozen kinetic.<sup>2</sup> The dynamic of copolymer micelles is dominated by two mechanisms. The first is an individual process and involves insertion and expulsion of copolymer chains from the micelles.<sup>3</sup> The second is a collective and occurs through fusion and fission of proper micelles.<sup>3</sup> Fusion and fission are crucial for controlling the behaviour of amphiphilic aggregates particularly in drug delivery, for the synthesis of controlled nano-objects and the micellar rheology.<sup>1</sup> The theories<sup>3</sup> and randomization experiments<sup>2</sup> have suggested that fusion-fission are not relevant in block copolymer micelles at equilibrium. In this communication, we show, for the first time, that fusion and fission take place at equilibrium in triblock copolymer micelles (pluronic).<sup>4</sup> We use a fluorescent technique, which exploits the randomization of hydrophobic pyrene derivative between micelles as a tool to probe the fusion and fission.<sup>4</sup> We also show that while fusion and fission are not effective for homogenizing the copolymer chains between micelles they are very efficient in changing their shape from spheres to rods and for the delivery of solute molecules.<sup>5,6</sup> Finally, we discuss the role of these dynamical mechanisms in controlling the rheology.

## Références :

1. a) W, Hamley., *Block Copolymers in Solution*, ed. I. W. Hamley, John Wiley & Sons, San Francisco, 2005., b) *Amphiphilic Block Copolymers: Self-Assembly and Applications*, ed. P. Alexandridis and B. Lindmann, Elsevier, Amsterdam, 2000.
2. a) Nicolai, T. ; Colombani O. and Chassenieux, C. *Soft Matter*, **2010**, 6, 3111. b) Lund, R.; Willner, L; Richter, D *Macromolecules* **2006**, 39, 4566, c) Won Y.Y.; Davis HT; Bates, FS, *Macromolecules* **2003**, 36, 953-955, d) Johnson, B. K.; Prud'homme, R. K. *Phys. Rev. Lett.* **2003**, 91, 118302.
3. Halperin, A. ; Alexander, S. *Macromolecules* **1989**, 22, 2403., Dormidontova, E. E. *Macromolecules*, **1999**, 32, 7630.
4. Rharbi Yahya *Macromolecules*, , **2012**, 45, 9823-9826.
5. Landazuri, G. ; Fernandez, V. V. ; A.; Soltero, J. F.; Rharbi, Y. *J. Phys. Chem. B.* **2012**, 116 , 11720.
6. Burke, S. E.; Eisenberg, A. *Langmuir* **2001**, 17, 6714.



# Propriétés viscoélastiques basses et hautes fréquences de solutions aqueuses de biopolymères

J. Penalosa<sup>1</sup>, P. Djemia<sup>2</sup>, B. Abou<sup>1</sup>, A. Ponton<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Matière et Systèmes Complexes, Université Paris Diderot-Paris 7

<sup>2</sup>Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux, Université Paris 13

Email : [alain.ponton@univ-paris-diderot.fr](mailto:alain.ponton@univ-paris-diderot.fr)

Communication Orale

**Mots-clé** : viscoélasticité, spectroscopie Brillouin, microrhéologie, biopolymères

**Résumé** : Les modules viscoélastiques de matériaux complexes sont mesurés par rhéologie de Couette oscillatoire dans une gamme de fréquences limitée en général entre  $10^{-3}$  et 100Hz. L'extension à une plage de fréquence plus élevée nécessite de mettre en oeuvre d'autres techniques comme la spectroscopie Brillouin qui permet de mesurer une vitesse transverse  $V_T$  et une vitesse longitudinale  $V_L$  à partir de l'analyse des fréquences des modes acoustiques de volume d'un matériau solide transparent. Les largeurs à mi-hauteur des pics Brillouin permettent de mesurer les viscosités dynamiques transverse  $\eta_T$  et longitudinale  $\eta_L$ . Une fois la masse volumique du matériau déterminée, il est alors possible de calculer le module d'Young et le module de cisaillement à hautes fréquences (2-10 GHz) qui sont complémentaires des modules viscoélastiques obtenus par rhéologie de cisaillement. De même la microrhéologie donne accès aux propriétés locales par étude de la diffusion brownienne de sondes microniques. Nous proposons ainsi une étude préliminaire des propriétés viscoélastiques de solutions aqueuses de biopolymères, pour différentes concentrations, en combinant des mesures de rhéologie de cisaillement macroscopique, de spectroscopie Brillouin et de microrhéologie. Les résultats de diffusion Brillouin à hautes fréquences mettent en évidence une faible influence de la concentration (0-30 g/L) sur la vitesse du son (1486-1515 m/s) et la viscosité dynamique de la solution (0,052-0,058 Pa.s) mais toutefois avec une dépendance linéaire au contraire des valeurs obtenues par macro et microrhéologie qui varient en loi de puissance illustrant ainsi l'influence de l'échelle sondée sur les propriétés des matériaux. Ce travail doit se poursuivre par l'étude des gels et de la cinétique de gélification.

# Peut-on considérer les fluides complexes comme des fluides de Maxwell ?

J. Quignon<sup>1</sup>, S. Amziane<sup>2</sup>, J.C. Baudez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IRSTEA, Domaine des Palaquins, 03150 Montoldre, France

<sup>2</sup> Université Blaise Pascal, Department of Civil Engineering, Clermont-Ferrand, France

Email : [justine.quignon@irstea.fr](mailto:justine.quignon@irstea.fr)

Communication Orale

**Mots-clé :** Rhéologie, Fluides complexes, Transition Solide-liquide, Modélisation

**Résumé :** Les matériaux pâteux, tels que les suspensions d'argile, les émulsions, les mousses ou les gels, sont des matériaux non-Newtoniens à seuil. La modélisation de leur comportement rhéologique complexe présente de nombreux enjeux industriels. Néanmoins, il est d'usage de partitionner les états de la matière en un état solide et un état liquide. Cependant, à partir de gels de carbopol et de suspensions de bentonite, nous montrons que la réponse des matériaux pâteux à des paliers de fluage successifs met en évidence une transition continue du régime solide vers le régime liquide, transition s'opérant lorsque la déformation, et non pas la contrainte, atteint une valeur seuil. Modéliser séparément ces deux états n'est donc pas approprié pour décrire les états intermédiaires de la transition solide-liquide.

En appliquant un balayage en fréquence à amplitude de contrainte constante à ces mêmes matériaux, nous mettons en évidence que l'évolution du module complexe avec la fréquence peut être ramenée à une courbe maîtresse mettant en évidence la présence d'une composante élastique résiduelle aux temps courts et d'une composante visqueuse aux temps longs, quelle que soit la contrainte appliquée. L'ensemble de ces résultats nous amène à modéliser le comportement de ces matériaux par un modèle de type Maxwell. Les contributions solide et liquide de la déformation dépendent du temps et de la contrainte.

Le modèle proposé permet de modéliser de manière continue le comportement rhéologique d'un gel de Carbopol et d'une suspension de bentonite, depuis le régime solide jusqu'au régime liquide. Notre modèle est en adéquation avec les résultats expérimentaux, en régime transitoire comme en régime permanent.

# Mesures combinées de la taille, des propriétés viscoélastiques et de la structure des protéines en solution

Michel Terray, Frédéric Fraïsse

*Malvern Instruments*

Email : [michel.terray@malvern.com](mailto:michel.terray@malvern.com)

*Communication Orale*

**Mots-clé** : viscosité complexe, modules élastiques et visqueux, taille hydrodynamique, micro-rhéologie, traceurs, diffusion de la lumière, spectroscopie Raman

**Résumé** : La mesure non invasive et non destructive de nombreuses propriétés viscoélastiques et physico-chimiques des formulations de protéines telles que la viscosité, les modules élastiques et visqueux, la taille hydrodynamique mais aussi la structure des protéines est devenue un critère important dans la mise au point de formulations d'agents thérapeutiques à base de protéines ou d'anticorps. Certains appareils combinant la micro-rhéologie, la diffusion dynamique de la lumière (DLS) et la spectroscopie Raman permettent d'étudier les structures thermodynamiques et les cinétiques engendrées par les mécanismes d'agrégation des protéines. La DLS est une technique bien connue pour déterminer le rayon hydrodynamique des protéines en solution ainsi que la polydispersité de l'échantillon. Cette technique permet depuis 3 ans de mesurer la viscosité complexe et les modules grâce à l'utilisation de traceurs permettant de cisailier l'échantillon de l'intérieur à des fréquences supérieures à la rhéologie rotationnelle. En combinant à présent la DLS la micro-rhéologie et la spectroscopie Raman dans une plate-forme unifiée, il est possible de corrélérer un changement physique (la distribution des tailles et la viscosité) avec un changement chimique tel que la forme et la structure des agrégats à partir de la spectroscopie Raman. La Spectroscopie Raman permet d'accéder à des informations sur la structure secondaire et tertiaire des protéines en surveillant les vibrations moléculaires mais cette approche peut être généralisée à d'autres systèmes colloïdaux. La position, la forme et l'intensité des bandes spectrales Raman, fournissent toutes les informations pour caractériser des échantillons. Par exemple, la structure secondaire et tertiaire des protéines, la température de fusion, la température de début d'agrégation et la transition des valeurs d'enthalpie peuvent être extraits de cette analyse combinée. La nature complémentaire des résultats obtenus sur un même échantillon, par la spectroscopie Raman, la DLS et la micro-rhéologie fournit un éclairage unique sur les mécanismes d'agrégation.

# Variations des propriétés rhéologiques et de la structure alvéolaire de pâtes de farine de blé au cours du laminage

Aleida J. Sandoval<sup>a,b</sup>, Laurent Chaunier<sup>b</sup>, Hubert Chiron<sup>b</sup>, Guy Della Valle<sup>b</sup>, Denis Lourdin<sup>b</sup>,  
& Anne-Laure Réguerre<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Depto. de Tecnología de Procesos Biológicos y Bioquímicos, Universidad Simón Bolívar, Aptdo. 89000,  
Caracas 1080-A, Venezuela*

<sup>b</sup>*INRA, UR 1268 Biopolymères Interactions & Assemblages (BIA), BP 71267, 44316 Nantes Cedex 3, France  
Email : [guy.della-valle@nantes.inra.fr](mailto:guy.della-valle@nantes.inra.fr)*

*Communication Orale*

**Mots-clés:** porosité, réseau de gluten, stabilité, viscosité élongationnelle, tomographie RX.

**Résumé:** Durant la panification, la mise en forme de la pâte par laminage, étirement et enroulement, a des répercussions méconnues sur la structure alvéolaire, tant sur la phase gazeuse que sur les propriétés rhéologiques de la matrice amidon-gluten. Les propriétés rhéologiques de pâtes de farine de blé, pour différentes conditions de laminage (entrefer = 2mm -  $\infty$ ), ont donc été déterminées en faibles et grandes déformations par DMA et par compression uniaxiale en conditions lubrifiées, respectivement.

La diminution de l'entrefer augmente faiblement mais significativement leur viscosité élongationnelle, dont les variations ont pu être ajustées par un modèle<sup>1</sup> combinant déformation et vitesse de déformation. Une tendance semblable, mais moins significative, est observée en faibles déformations, par le rapport des modules de stockage mesurés à température ambiante et à 75-80°C; ce résultat suggère un impact réduit du laminage sur la structuration du réseau de gluten.

Les cinétiques de porosité P(t) et de stabilité S(t) des pâtes laminées en cours de fermentation ont ensuite été étudiées à l'échelle macroscopique, par analyse d'images. Le temps de croissance libre des alvéoles, défini comme le point d'inflexion de la courbe P(t), varie assez peu (36-52 min) mais augmente avec la diminution de l'entrefer, ce qui est interprétable par un modèle de croissance simple de bulles, en accord avec les variations de viscosité élongationnelle. Les variations de stabilité de la pâte suggèrent un optimum de valeur de l'entrefer pour une structure alvéolaire homogène.

Ces interprétations sont en cours de vérification par des expérimentations de microtomographie RX (ESRF-ID19, résolution 6  $\mu$ m) afin de préciser l'incidence du laminage sur l'anisotropie de la structure alvéolaire et son évolution en cours de fermentation.

---

<sup>1</sup> Launay, B., & Michon, C. (2008). Biaxial extension of wheat flour doughs: Lubricated squeezing flow and stress relaxation properties. *Journal of Texture Studies*, 39, 496-529

# Plastification d'une matrice EPDM et PVC avec des huiles végétales modifiées

C.Bétron<sup>1</sup>, P.Cassagnau<sup>1</sup>, V. Bounor-Legaré<sup>1</sup>, G.Scalabrino<sup>2</sup>, C.Pinel<sup>2</sup>,  
L.Djakovitch<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Université de Lyon 1, UMR CNRS 5223 Ingénierie des Matériaux Polymères, IMP@Lyon1, Bât PolyTech, 15  
Boulevard Latarjet, 69622 Villeurbanne Cedex, France

<sup>2</sup>Université de Lyon 1, UMR CNRS 5256 Institut de Recherches sur la Catalyse et l'Environnement, 2 avenue  
Albert Einstein, 69626 Villeurbanne Cedex, France  
Email : [philippe.cassagnau@univ-lyon1.fr](mailto:philippe.cassagnau@univ-lyon1.fr)

*Communication Orale*

**Mots-clé** : Plastifiant, huiles végétales, diffusion, EPDM, PVC

**Résumé** : Dans l'optique actuelle de rendre les matériaux de la vie courante de plus en plus « écologique », le projet FUI HUMEVERE en collaboration avec différents partenaires industriels et académiques s'inscrit dans cette veine en s'attachant à remplacer les plastifiants classiquement utilisés dans les matrices polymères du PVC et de l'EPDM. Pour ce faire, deux approches complètement différentes du fait de la nature de mise en œuvre de ces deux matrices ont été utilisées. Pour le PVC, le processus de gélification avec une rampe de température d'un plastisol a été étudié par voie rhéologique. Cette méthode a permis d'analyser les différentes phases de gélification avec du diisononyl phtalate (DINP) et de les comparer avec les huiles végétales modifiées afin de valider leurs caractères plastifiants avec la matrice PVC. Concernant la matrice EPDM, du fait de la nature élastomère du polymère l'analyse a dû être faite complètement différemment. Dans un premier temps, l'analyse par rhéologie d'un système bi-couche a été effectuée afin de déterminer une vitesse de diffusion propre à chaque huile. Une couche d'EPDM et d'huile à analyser a été placée en sandwich dans les entrefers du rhéomètre. La diffusion de l'huile dans la matrice entraîne un gonflement de celle-ci qui est suivi au cours du temps et donc qui permet de déterminer d'une part si le plastifiant est compatible (en vérifiant qu'il y a bien diffusion et donc gonflement) et également une vitesse de diffusion. Ces résultats ont ensuite été mis en parallèle avec des calculs de paramètres de solubilités de Hansen afin de pouvoir discriminer des géométries moléculaires viables dès l'étape de synthèse.

# Coupling phenomenological model of expansion with mechanical model of starchy products extrusion

<sup>1</sup>M. Kristiawan, <sup>1</sup>G. Della Valle, <sup>1</sup>K. Kansou, <sup>2</sup>A. Ndiaye, <sup>3</sup>B. Vergnes, <sup>4</sup>C. David

<sup>1</sup>INRA, UR 1268 Biopolymers Interactions and Assemblies (BIA), BP 71627, 44316 Nantes, France

<sup>2</sup>INRA, USC 1368 Institut de Mécanique et d'Ingénierie (I2M), UMR 5295 CNRS, Univ. Bordeaux I, 33405 Talence Cedex, France

<sup>3</sup>MINES ParisTech, CEMEF, UMR CNRS 7635, BP 207, 06904 Sophia-Antipolis Cedex, France

<sup>4</sup>Sciences Computers Consultants, 10 rue du Plateau des Glières F-42000 Saint-Etienne, France

Email : [magdalena.kristiawan@nantes.inra.fr](mailto:magdalena.kristiawan@nantes.inra.fr)

*Oral communication*

**Keywords** : Extrusion, expansion, shear viscosity, elongational viscosity, expansion indices, cellular structure

**Abstract** : During extrusion-cooking of starchy products, the molten material is forced through a die so that the sudden pressure drop causes part of the water to vaporize giving an expanded, porous structure. The moisture is lost due to evaporation and heat transfers, as the material cools down. Thus the material crosses glass transition and becomes solid. No deterministic model is available to describe satisfactory dynamic, multiphysic and multiphase phenomena during expansion. Current models are too complex to be coupled with Ludovic® (software for simulation of co-rotating twin-screw extrusion process), in order to predict the cellular structure of the starchy foams.

The objective of this work is to elaborate phenomenological model of expansion and couple it with Ludovic® mechanistic model. This model of bubble growth in a viscoelastic biopolymer matrix in the transition state from rubbery to solid phase takes also into account bubbles nucleation, coalescence, setting and shrinkage. The input variables are the shear viscosity  $\eta$ , temperature  $T$  and moisture content  $MC$  at the die exit, computed by Ludovic®, and the material storage moduli  $E'(T > T_g)$ , available from literature<sup>2,2</sup>. The output variables are the macrostructural and cellular structural features of starchy foams. The macrostructure is described by bulk expansion indices (density, anisotropy). The mean cell size, mean cell wall thickness and cell fineness, defining the cellular structure, are determined by Xray tomography (ESRF). Starting from experimental results obtained in a large range of thermo-mechanical conditions, a conceptual map of influence relationships between these variables has been built and a general mathematical expression of the model is suggested:  $VEI = K \cdot (\eta/\eta_0)^n$  in which  $K$  and  $n$  depend on  $T$ ,  $MC$  and  $E'$  whereas  $VEI$  is the volumetric expansion index of the extruded material, for instance. Predicted data are then compared to experimental ones.

---

<sup>2</sup> Kristiawan et al. (2013). Modélisation des propriétés viscoélastiques linéaires d'amidon de pomme de terre amorphe en fonction de la température et de la teneur en eau. 48ème Congrès du Groupe Français de Rhéologie, Nantes, France, 28 – 30 Octobre 2013.

<sup>2</sup> Babin et al. (2007). X-ray tomography study of the cellular structure of extruded starches and its relations with expansion phenomenon and foam mechanical properties. Carbohydrate Polymers, 68(2), 329-340.

# Rhéologie des champignons filamenteux : un outil pour la compréhension d'un procédé de production de biocatalyseurs utilisés pour la production de bioéthanol

N. Hardy<sup>1,3</sup>, I. Henaut<sup>1</sup>, N. Pannacci<sup>1</sup>, F. Augier<sup>1</sup>, C. Béal<sup>2</sup> et F. Ben Chaabane<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IFP Energies nouvelles, 1 et 4 avenue de Bois-Préau, 92852 Rueil-Malmaison, France  
<sup>2</sup>UMR 782 AgroParisTech INRA, 1 avenue Lucien Brétignières, 78850 Thiverval-Grignon, France

<sup>3</sup>ADEME, 20 avenue du Grésillé - BP 90406, 49004 Angers Cedex 01, France  
Email : [nicolas.hardy@ifpen.fr](mailto:nicolas.hardy@ifpen.fr)

*Communication Orale*

**Mots-clés** : Rhéologie, Champignons filamenteux, Procédé, Fermentation, Fluides Non-Newtoniens

**Résumé** : La production d'éthanol à partir de biomasse lignocellulosique nécessite la transformation préalable de cette biomasse en sucres fermentescibles. Cette transformation est réalisée par voie biologique grâce à des biocatalyseurs appelés cellulases. La production de ces dernières représente un verrou économique majeur au développement du procédé. Les cellulases sont généralement produites industriellement par le champignon filamenteux *Trichoderma reesei*, doué d'une forte capacité sécrétoire. Ces cultures sont réalisées en bioréacteurs aérés et agités mécaniquement ce qui implique la maîtrise des conditions physico-chimiques pour être optimisées. Or, la culture correspond à une suspension de champignon dont la viscosité augmente lors de la croissance avec un comportement rhéofluidifiant. Les champignons se développent en filaments et forment des structures tridimensionnelles allant du micromètre au millimètre rendant la mesure avec un rhéomètre rotatif à mobile de type plan/plan ou Couette difficile (éjection de particules au cours de la mesure, formation de nouvelles structures organisées dans le sens de l'écoulement). Pour contourner ces difficultés, une méthode de mesure de la viscosité avec un mobile hélicoïdal est développée. Elle a été validée avec l'utilisation de solutions modèles (xanthane 0.25% et 0.5%) et mise en œuvre avec des milieux de fermentation réels. L'utilisation d'un tel mobile hélicoïdal permet une mesure de la viscosité du milieu de culture pour une gamme de cisaillement correspondant à celles rencontrées lors du procédé, tout en évitant la décantation des suspensions. Cependant, ce dispositif ne permet cette mesure que lorsque la viscosité apparente du milieu de culture est suffisante (environ 0,1 Pa.s), correspondant à une forte concentration en champignons rencontrée en fin de croissance. Une façon de pallier cette restriction serait de compléter cette mesure avec d'autres méthodes (outils microfluidiques), pour les faibles concentrations en biomasse, c'est-à-dire lorsque les structures formées par les champignons sont de plus petites tailles.

# Probing flow-induced transient structures by SAXS

Theyencheri Narayanan

*European Synchrotron Radiation Facility, Grenoble*

*Email : [narayan@esrf.fr](mailto:narayan@esrf.fr)*

Communication Orale

**Mots-clé** : microstructure, rheology, self-assembly

**Résumé** : Small-angle X-ray and neutron scattering (SAXS and SANS, respectively) are well established techniques for elucidating the microstructure of soft matter systems. These scattering techniques can be combined with different flow geometries and thereby allowing to investigate flow-induced transient structures. This talk will give an overview of different possibilities offered by flow devices that can be coupled to scattering experiments. Examples include conventional Couette-flow coupled to a high resolution rheometer that allows correlating rheological properties to microstructure, stopped-flow rapid mixing that permits to follow kinetics in the millisecond range after the cessation of flow and microfluidics providing access to new hydrodynamic regimes in complex fluids. In addition, shear flow is also a powerful method to orient soft matter systems and thereby enhance the information content from a scattering experiment. Rest of the presentation will be focused on combined rheology and SAXS for probing concentrated interacting colloidal systems. Colloidal systems interacting via short-range attraction exhibit a variety of arrested states depending on the concentration, strength and range of short-range attractive potential. In these cases, anisotropic structures develop as a function of applied shear stress. The analysis of these anisotropic structures provides better insight into the arrest mechanism.

# Propriétés viscoélastiques/adhésives de nouveaux matériaux supramoléculaires

X.Callies, G.Ducouret, C. Creton

UMR 7615, ESPCI-CNRS-UPMC, Sciences Ingénierie de la Matière Molle, 10 rue Vauquelin,  
75231 Paris Cedex 05

Email : [guytaine.ducouret@espci.fr](mailto:guytaine.ducouret@espci.fr)

Communication Orale

Mots-clé : Polymères supramoléculaires, rhéologie linéaire, adhésion

**Résumé :** Depuis une dizaine d'années, la chimie supramoléculaire offre de nouvelles perspectives pour le développement de matériaux innovants. Certains auteurs<sup>1, 2</sup> ont montré le très grand potentiel des polymères supramoléculaires dans lesquels les chaînes sont fonctionnalisées par des groupements interactifs dynamiques (liaisons hydrogène, interactions ioniques...). Cependant la chimie supramoléculaire n'a jamais été utilisée dans la formulation d'adhésifs<sup>3</sup> sensibles à la pression du même type que les *Post-it*. Une étude préliminaire prometteuse d'un polymère constitué d'un cœur bis-uréés et de chaînes latérales polyisobutène (PIBUT)<sup>4</sup> a conduit au projet ANR SUPRADHESION\* auquel collaborent trois laboratoires. Dans le cadre de ce projet de nombreux matériaux supramoléculaires aux architectures et propriétés très variées ont été synthétisés par Cécile Fonteneau (équipe L. Bouteiller).

Dans ce travail, nous allons comparer les propriétés de deux systèmes : le premier possède un cœur bis-urée et le second un cœur tri-urée. Ces cœurs fonctionnalisés, substitués par des chaînes latérales de polymères linéaires de polyacrylate de butyle de masses molaires comprises entre 3000 et 100 000g/mol, ont la possibilité de s'auto-associer par des liaisons hydrogène.

Le comportement rhéologique et adhésif de ces matériaux est corrélé à leur structure déterminée par AFM et SAXS. Selon le niveau d'interaction entre les cœurs et la masse molaire des chaînes latérales, les propriétés viscoélastiques linéaires varient d'un comportement de fluide viscoélastique dissipatif à celui d'un gel très structuré. Ces propriétés rhéologiques, discutées en lien avec l'architecture supramoléculaire de ces matériaux à l'échelle nanoscopique, mettent en évidence des dynamiques moléculaires très différentes gouvernées soit par l'auto-association réversible des cœurs interactifs ou soit par l'enchevêtrement des chaînes latérales de polymères. De plus, le degré d'auto-organisation et la relaxation de ces structures est fortement dépendante de la nature des cœurs interactifs. Leur comportement sera comparé à celui de polymères linéaires de même masse molaire sans motif interactif.

\*Laboratoire de Chimie des Polymères LCP, UPMC, Paris (C. Fonteneau, S Pensec, L. Bouteiller),

\*Laboratoire MATEIS, CNRS, INSA, Lyon ( C. Vechambre, J-M Chenal, L. Chazeau)

\*Laboratoire SIMM, ESPCI, Paris

## Références

- <sup>1</sup> P. Cordier, F. Tournilhac, C. Soulié-Ziakovic, and L. Leibler, *Nature* **451**, 977 (2008).
- <sup>2</sup> K. P. Nair, V. Breedveld, and M. Weck, *Macromolecules* **44**, 3346 (2011).
- <sup>3</sup> C. Creton, *MRS Bulletin* **28** (6), 434 (2003).
- <sup>4</sup> J. Courtois, I. Baroudi, N. Nouvel, E. Degrandi, S. Pensec, G. Ducouret, C. Chaneac, L. Bouteiller, and C. Creton, *Advanced Functional Materials* **20**, 1803 (2010).

# Transition sol/gel d'un géopolymère

J. Rouyer, A. Poulesquen

*Laboratoire de Physico-Chimie des matériaux Cimentaires, CEA de Marcoule*

*Email : [arnaud.poulesquen@cea.fr](mailto:arnaud.poulesquen@cea.fr)*

*Communication Orale*

**Mots-clé :** Géopolymère, rhéologie résolue temps/fréquence, SAXS

**Résumé :** Les géopolymères sont des matériaux inorganiques mésoporeux, synthétisés par activation alcaline d'une source aluminosilicatée. Les processus mis en jeu sont l'hydrolyse et la dissolution de la source aluminosilicate, la formation d'oligomères dissous en solution suivie d'une étape de polycondensation avec apparition progressive du réseau poreux renfermant une solution interstitielle. Le but de cette étude est de se focaliser sur la transition sol/gel d'un géopolymère au cours de la prise en utilisant la rhéologie classique et résolue temps/fréquence ainsi que la diffusion des X aux petits angles. La rhéologie résolue temps/fréquence consiste à appliquer une déformation modulée en fréquence et de mesurer la contrainte résultante permettant ainsi l'acquisition de spectre mécanique, en un temps raisonnable, à divers temps de prise du géopolymère. Cette technique est parfaitement adaptée à des systèmes évolutifs et permet d'obtenir des informations sur le point de gel ainsi que sur les mécanismes d'agrégation. Les résultats obtenus montrent que le temps de gel peut précisément être déterminé à partir du critère de Winter et Chambon et que la dimension fractale (de masse) est environ égale à 2. Au delà du point de gel, le module visqueux devient supérieur au module élastique due à la présence de réactions de polycondensation. Enfin, le module visqueux chute et un plateau sur le module élastique est atteint, signe d'un comportement solide. Ces résultats sont confirmés par SAXS ou la dimension fractale de masse est égale à 2.1 au point de gel, augmentant jusqu'à une dimension fractale de surface (exposant compris entre 3 et 4) lors de la formation du réseau poreux.

# Structural morphology and flow instability of commercial grade cellulose nanocrystals

Malladi Nagalakshmaiah<sup>1,2</sup>, Nadia Elkissi<sup>1</sup>, Alain Dufresne<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Rhéologie et Procédés, 63 rue de la Chimie- Bâtiment B - Domaine Universitaire - BP 53 - 38041 Grenoble cedex 9.

<sup>2</sup>Laboratoire de Génie des procédés papetiers (LGP2) Grenoble.  
Email: [nadia.elkissi@ujf-grenoble.fr](mailto:nadia.elkissi@ujf-grenoble.fr)

*Communication Orale*

**Keywords:** cellulose nanocrystals, rheology, atomic force microscopy, thermo gravimetric analysis and X-ray diffraction.

**Abstract:** Cellulose nanocrystals (CNC) are unique rod like structured nanomaterial which is extracted from the plant biomass by acid hydrolysis. They carry negative electrical charges due to the sulfate surface groups endorsed for better dispersion in aqueous medium. Moreover they are ideal nanofiller for composite field in particular enhancement of the mechanical properties. With the recent announcement of commercial grade from university of Maine, it is possible to produce more stable results with well standardized material. In this study this grade was characterized to understand the physical, thermal and flow properties of the CNC by means of different techniques like Nanosizer, AFM, XRD, thermogravimetric analysis and rheometry. An abnormal behavior was observed at different concentrations, related to the cellulose-solvent interactions, and will be presented.

References:

1. Sadaf Shafiei-Sabet, Wadood Y.Hamad, and Savvas G. Hatzikiriakos. Rheology of Nanocrystalline Cellulose Aqueous Suspensions. *Langmuir* 2012, 28, 17124–17133.
2. Esteban E. Ure~na-Benavides, Geyou Ao, Virginia A. Davis, and Christopher L. Kitchens. Rheology and Phase Behavior of Lyotropic Cellulose Nanocrystals Suspensions. *Macromolecules* 2011, 44, 8990–8998.
3. Oleksandr Nechyporchuk, Frederic pignon, Mohamed Nacer Belgacem. rheological properties of the microfibrillated and nanofibrillated suspensions wall slip and shear banding phenomena (under review 2014)

# Etude du mécanisme d'adsorption du Pluronic F127 sur les nanoparticules de laponite

To Uyen NGYEN DOAN, Thomas DUFOUR, Pierre Colinart, Marie-Alice Guedeau-Boudeville, Laurent Royon, Ahmed Mourchid et Imane Boucenna

*Matière et Systèmes Complexes, UMR 7057 CNRS and Université Paris Diderot, cc 7057, 75205 Paris Cedex 13, France.*

*Email : [imane.boucenna@univ-paris-diderot.fr](mailto:imane.boucenna@univ-paris-diderot.fr)*

*Communication Orale*

**Mots-clé :** Laponite, Pluronic, SANS, rhéologie, DSC, mobilité électrophorétique, DLS,

**Résumé :** En étudiant la structure et les propriétés thermo-rhéologiques de solutions concentrées « copolymère-nanoparticules » nous avons mis en évidence que l'addition de nanoparticules de laponite aux solutions de copolymère favorise la transition de phase inverse cristal-liquide [1]. Cet effet s'accompagne de l'apparition de textures que nous avons observées par microscopie optique et qui correspondent à la formation et à la croissance de poly-cristaux de micelles sous l'action de la température. Les nanoparticules sont alors exclues du volume occupé par les textures et se retrouvent de plus en plus confinées dans les interstices entre textures [2].

Les mesures de diffusion de neutrons aux petits angles que nous avons réalisées ont confirmé l'interaction forte entre les nanoparticules de laponite (existence d'un pic lamellaire) sous l'action de la formation et de la croissance des polycristaux lorsque la température augmente. Pour tenter de comprendre les interactions mises en jeu entre les nanoparticules lorsqu'elles sont confinées, nous avons étudié les systèmes de particules chevelues, préparées au taux stœchiométrique (0.9g de copolymère pour 1g de laponite) défini grâce à la modélisation des données obtenues en diffusion de neutrons aux petits angles [1]. Les résultats préliminaires obtenus en DLS (NanoZs) montrent que le copolymère reste adsorbé sur les nanoparticules de laponite quelle que soit la température. Mais en se reliant sur la nanoparticule il affecte la charge électrique apparente portée par celle-ci et peut expliquer le comportement rhéoépaississant observé en rhéologie. Les mesures de calorimétrie et de diffusion de neutrons aux petits angles confirment ces résultats.

[1] Boucenna, L. Royon, P. Colinart, M-A Guedeau-Boudeville and A. Mourchid, "Structure and Thermorheology of Concentrated Pluronic Copolymer Micelles in the Presence of Laponite Particles", *Langmuir*, 26 (18), 14430-14436, 2010.

[2] I. Boucenna, M-A Guedeau-Boudeville, A. Lapp, P. Colinart, A. Proag, L. Royon and A. Mourchid "Temperature directed-assembly of coated-laponite nanoparticles in pluronic micellar solutions", *Soft Matter*, 9, 170–176, 2013.

# Etude des relations structure – rhéologie de composites polyamide/talc synthétique

Quentin BEUGUEL<sup>(1)</sup>, Julien VILLE<sup>(1)</sup>, Jérôme CREPIN-LEBLOND<sup>(2)</sup>,  
Pascal MEDERIC<sup>(1)</sup>, Thierry AUBRY<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Equipe Rhéologie – Laboratoire d'Ingénierie des Matériaux de Bretagne EA 4250 – Université de Bretagne Occidentale – 6 Avenue Victor le Gorgeu – CS 93837 – 29238 Brest cedex 3

<sup>(2)</sup> Imerys Talc, 2 Place Édouard Bouillères, 31036 Toulouse cedex 1

Email: [quentin.beuguel@univ-brest.fr](mailto:quentin.beuguel@univ-brest.fr)

*Communication Orale*

**Mots clés :** structure – rhéologie – nanocomposites – polyamides – talc synthétique

**Résumé :** Le talc naturel lamellaire, très utilisé dans l'élaboration de composites à matrice thermoplastique, conduit à une structure micrométrique qui distingue ces systèmes des nanocomposites à matrice polyamide (PA) chargée de montmorillonite organiquement modifiée (OMMT). Très récemment, la synthèse hydrothermale a permis d'obtenir des hydrogels chargés de plaquettes de talc nanométriques, ouvrant des perspectives d'élaboration de nanocomposites à base de talc.

Cette étude consiste à élaborer des composites à matrice PA (PA6 ou PA12) chargée de talc synthétique à partir d'un hydrogel, par malaxage simultané, à l'état fondu, à l'aide d'une mini-extrudeuse. Le caractère nanométrique de ces systèmes est quantifié en comparant leurs propriétés structurales et rhéologiques à celles de microcomposites PA/talc naturel et de nanocomposites PA/OMMT.

Les observations en microscopie électronique révèlent une structure multi-échelles des composites PA/talc synthétique, majoritairement constituée de plaquettes d'épaisseur nanométrique et de quelques agrégats micrométriques. En outre, la matrice PA6, plus polaire que la matrice PA12, améliore significativement la finesse des particules nanométriques de talc synthétique : le mécanisme de séparation mis en jeu est discuté.

Les propriétés viscoélastiques des composites PA/talc synthétique sont comprises entre celles des nanocomposites PA/OMMT et celles des microcomposites PA/talc naturel, en adéquation avec la caractérisation structurale. Les résultats rhéologiques mettent en évidence une fraction volumique de percolation, propre à chaque charge. En-deçà de cette fraction, le comportement rhéologique du composite est Newtonien : l'ajustement de la viscosité relative conduit à un rapport de forme de particules de talc synthétique, dispersées dans la matrice PA6, voisin de celui des charges d'OMMT. De même, le comportement de fluide à seuil, observé au-delà de cette fraction, confirme que le comportement rhéologique des composites PA6/talc synthétique, bien qu'affecté par la présence de particules micrométriques, est proche de celui des nanocomposites PA/OMMT.

# Émulsions biodégradables et biocompatibles à usage pharmaceutique stabilisées par des particules de PLGA

N.Huang<sup>1,2</sup>, A. Crochemar-Galou<sup>1,2</sup>, G. Mekhloufi<sup>1,2</sup>, E.Fattal<sup>1,2</sup>, N.Tsapis<sup>1,2</sup>,  
F. Agnely<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Univ Paris-Sud, Institut Galien Paris-Sud, LabEx LERMIT, Faculté de Pharmacie, 5 rue J.B. Clément, 92296 Châtenay-Malabry, France.

<sup>2</sup> CNRS UMR 8612, Institut Galien Paris-Sud, LabEx LERMIT, 5 rue J.B. Clément, 92296 Châtenay-Malabry, France.  
Email : [nicolas.huang@u-psud.fr](mailto:nicolas.huang@u-psud.fr)

*Communication Orale*

**Mots-clé** : biodégradable nanoparticles, Pickering emulsions, PLGA, Chitosane, PVA, Pluronic® F68, stability

**Résumé** : L'objectif de cette étude est de formuler des émulsions de Pickering stabilisées avec des nanoparticules biodégradables et biocompatibles à usage pharmaceutique. Ces émulsions sont potentiellement moins toxiques et irritantes que des émulsions stabilisées avec des tensioactifs synthétiques ou minérales.

Nous avons formulé des émulsions eau/Miglyol avec des nanoparticules de PLGA pour des utilisations cutanées et pour le traitement de maladie de la peau. Nous avons étudié l'impact de différentes formulations de nanoparticules sur la stabilité des émulsions, par exemple en modifiant le potentiel zêta des particules par recouvrement de leur surface avec différents polymères stabilisants. La caractérisation des émulsions et leur stabilité ont été étudiées par diffusion dynamique de la lumière, par microscopie optique et par observation macroscopique en bottle-test. Des expériences de rhéologie interfaciale ont permis d'étudier la cinétique du mécanisme de stabilisation de l'interface eau/huile en présence des nanoparticules.

Des émulsions stables ont pu être formulées. Le dosage de la quantité de tensioactifs à l'état libre dans la solution aqueuse couplé à des observations macroscopiques en bottle-test a montré que les tensioactifs utilisés pour la formulation des nanoparticules n'ont pas d'influence pour la stabilisation des émulsions de Pickering biodégradables, ce qui démontre l'influence cruciale des nanoparticules dans le mécanisme de stabilisation des émulsions.

Les émulsions de Pickering stabilisées par des particules de PLGA sont ainsi des systèmes prometteurs pour la formulation d'émulsions stables en vue d'une administration topique.

# Composites à fibres végétales : étude rhéo-optique de la casse des fibres et influence de l'espèce végétale sur la rhéologie à l'état fondu

R. Castellani<sup>1</sup>, S. Dobosz<sup>2</sup>, J. Beaugrand<sup>2</sup>, F. Berzin<sup>2</sup>, T. Budtova<sup>1</sup>, B. Vergnes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>MINES ParisTech, CEMEF, UMR CNRS 7635, Sophia Antipolis, France

<sup>2</sup>FARE, UMR INRA/URCA 614, Reims, France

Email : [romain.castellani@mines-paristech.fr](mailto:romain.castellani@mines-paristech.fr)

*Communication Orale*

**Mots-clé** : Composites, fibres végétales, extrusion, rhéo-optique.

**Résumé** : En réponse au mouvement de l'industrie cherchant à intégrer progressivement davantage de composés bio-sourcés dans ses réalisations, l'utilisation de fibres végétales comme alternative à la fibre de verre s'est considérablement développée ces dernières années, dans l'automobile par exemple. Facilement disponibles et provenant de ressources renouvelables, les renforts à base de lin, chanvre, sisal ou miscanthus, par exemple, doivent cependant conduire à l'élaboration de matériaux possédant des propriétés mécaniques suffisantes pour l'application visée. Outre les caractéristiques individuelles des faisceaux de fibres, leur rapport longueur/diamètre ( $L/D$ ) constitue un des paramètres à maximiser. Cependant, lors de la transformation (extrusion bivis pour la fabrication de granulés de composites ou injection pour l'élaboration des pièces finales), ces faisceaux subissent des dégradations conduisant à leur casse (*via* les déformations et les contraintes qu'ils endurent) et donc à une baisse de ce rapport  $L/D$ . En parallèle, le défibrage (séparation des faisceaux) qui se produit également augmente la valeur de ce paramètre et est alors recherché. Plusieurs échantillons de renforts provenant d'espèces végétales différentes ont donc été mis en œuvre par extrusion dans une matrice polypropylène. Les évolutions des morphologies ont été quantifiées et sont corrélées avec les propriétés rhéologiques du matériau. L'espèce végétale en elle-même ne semble pas avoir d'influence autre que les conséquences qu'elle a sur les tailles finales des fibres. On observe cependant une augmentation marquée des modules viscoélastiques durant les premières minutes de mesure, augmentation liée au taux d'humidité des fibres. En parallèle, la casse de ces différentes espèces végétales a été observée à l'aide d'un dispositif rhéo-optique, permettant de visualiser les mécanismes de défibrage et de dégradation qui conduisent à l'évolution du paramètre  $L/D$ .

# Dispersion par extrusion réactive de whiskers de cellulose dans le poly(oxyéthylène)

A. Gassiot-Talabot, C. Carrot et M. Desse

*Laboratoire d'Ingénierie des Matériaux Polymères, Université Jean Monnet*

*Email : [alix.gassiot.talabot@univ-st-etienne.fr](mailto:alix.gassiot.talabot@univ-st-etienne.fr)*

Communication Orale

**Mots-clé** : polymère électrolyte, poly(oxyéthylène), nanocristaux de cellulose, extrusion, extrusion réactive, dispersion, percolation

**Résumé** : Les batteries lithium polymères sont constituées d'un séparateur de batterie, film fin de polymère, présent entre l'anode et la cathode. Les nouvelles technologies impliquent une réduction de l'épaisseur de ce film ce qui implique une diminution des propriétés mécaniques du film. Pour contrer cette perte en tenue mécanique, la dispersion de whiskers de cellulose (CW) au sein de la matrice polymère est utilisée. Les CW sont sous la forme de bâtonnets de taille nanométrique et vont former un réseau percolant, permettant une bonne tenue mécanique du film. Après synthèse des CW, ils sont dispersés au sein de la matrice afin de réaliser des mélanges au mélangeur interne ou films par évaporation de solvant. Par la suite les mélanges et films sont analysés en spectrométrie dynamique afin d'observer les modules de conservation et de perte. L'étude rhéologique permet de détecter la dégradation de la matrice, la présence d'agrégats mais en priorité la présence d'un réseau percolant caractérisé par un plateau sur le module de conservation.

# Modèle cinétique pour le renforcement des élastomères chargés de silice

J.C. Majesté et F. Vincent

*Ingénierie des Matériaux Polymères, Université de Lyon, 42023, Saint Etienne.*

*Email : [majeste@univ-st-etienne.fr](mailto:majeste@univ-st-etienne.fr)*

Communication Orale

**Mots-clé :** Silice, dispersion, renforcement, interaction charge-charge, polymère lié, adsorption physique

## **Résumé:**

L'incorporation de charges nanométriques dans des matrices polymériques est une technique bien connue pour améliorer les propriétés des matériaux polymères et tout particulièrement dans l'industrie des pneumatiques où l'ajout de nanoparticules dans les élastomères renforce considérablement les propriétés finales (mécanique, usure, perméabilité...). L'étude proposée a été menée pour apporter plus de compréhension dans la compétition entre les interactions charge/charge et charge/matrice pendant l'étape de dispersion et pour montrer l'impact de cette compétition sur la structure finale et le renforcement induit. En couplant des observations locales de la dispersion et des vues plus globales par des mesures rhéologiques linéaires et non-linéaires, une meilleure estimation de la cinétique de dispersion a été obtenue. En se basant principalement sur les mesures rhéologiques et plus particulièrement le plateau secondaire observé à basses fréquences sur le module complexe dynamique (caractéristique du réseau élastique de charges), il est montré que le renforcement évolue avec le temps de mélangeage dû au remplacement des fortes interactions entre surfaces de charges nues par des contacts plus faibles du point de vue énergétique (adsorption des chaînes d'élastomère). La corrélation entre la quantité de polymère lié et le module associé au réseau de charge peut ainsi se mettre sous la forme d'une loi puissance universelle en introduisant une surface effective d'interaction forte entre les charges. Finalement, un modèle cinétique du renforcement des élastomères chargés de silice a été développé sur la base de la compétition entre le mécanisme de dispersion des charges et la cinétique d'adsorption physique de l'élastomère. Il est ainsi montré que la cinétique de dispersion est pilotée par l'énergie locale lors du mélangeage en très bon accord avec les résultats expérimentaux.

# Tribologie appliquée aux enrobés bitumineux

C. Lanos, A. Phelipot-Mardelé

Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique EA 3913, Université Rennes 1

Email: [christophe.lanos@univ-rennes1.fr](mailto:christophe.lanos@univ-rennes1.fr)

*Communication Orale*

**Mots-clé** : friction, enrobé à froid, orniérage

**Résumé** : La réalisation de surfaces en enrobés bitumineux est courante et bien maîtrisée par les professionnels. Cependant, dans le cas des enrobés à froid utilisés pour réaliser des allées et voies à faible trafic, l'application d'une couche de quelques centimètres de produits sur une couche de forme compactée peut conduire à des dégradations importantes. Un tel produit est très sensible au cisaillement. La friction d'un pneu lors d'un braquage prononcé peut induire le déchaussement des graviers enrobés situés sur la surface ou dans les cas les pires une déformation importante de la couche d'enrobé.

L'objectif de l'étude est de développer un test de laboratoire susceptible de reproduire ce type de dégradation, outil nécessaire avant d'envisager une optimisation des formulations. L'évaluation de la performance de l'enrobé à froid sous l'effet d'un cisaillement est réalisée à l'aide d'un essai de torsion. Un patin élastomère est appliqué sur un échantillon réaliste d'enrobé à froid. Le patin est comprimé sur la surface de l'échantillon à l'aide d'une presse universelle. L'échantillon est fixé sur la base de la machine. Le patin est relié à la traverse mobile de la machine dont le déplacement est piloté. Après mise en pression, le patin est mis en rotation à l'aide d'une tête rhéométrique de capacité 100 Nm. Lors de la rotation, la presse permet le déplacement vertical du patin afin de garantir le maintien de la force normale. Les mesures du couple de rotation, de la vitesse de rotation, de l'effort normal et du déplacement du patin durant l'essai sont enregistrées.

Pour réaliser les essais, les enrobés sont placés dans des moules prismatiques de faible profondeur (4 cm). Les moules sont métalliques, de surface 30 cm x 30 cm. La profondeur a été choisie de façon à reproduire une épaisseur normale d'application du produit. La mise en place de l'enrobé à froid dans les moules est réalisée conformément aux techniques de mise en œuvre sur chantier (compactage à la plaque vibrante ou au rouleau). Sur chaque échantillon, le protocole est répété plusieurs fois, jusqu'à trois fois, si l'état de l'échantillon le permet. Les essais sont réalisés à différentes échéances après mise en œuvre dans les moules et/ou à différentes températures.

Les enregistrements permettent d'interpréter les résultats en analysant l'évolution de la contrainte de cisaillement, de la contrainte normale et du déplacement du patin pendant l'essai. L'identification des contraintes d'adhérence et de friction et les déformations rémanentes, les effets de dilatance ou de compaction sont autant de paramètres d'interprétation du test.

En illustration, le test a été utilisé pour optimiser la formulation d'un enrobé bitumineux drainant. Les effets de l'application d'un traitement durcisseur de surface, de la modification du type de bitume, de la nature de l'émulsion et du squelette granulaire ont été évalués.

# Fundamental Studies of Interfacial Rheology at Multilayered Model Polymers for Coextrusion Process

H. Zhang<sup>1</sup>, K. Lamnawar<sup>2</sup> et A. Maazouz<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Université de Lyon, F-69361, Lyon, France; CNRS, UMR 5223, Ingénierie des Matériaux Polymères, INSA Lyon, F-69621, Villeurbanne, France

<sup>2</sup>Université de Lyon, F-69361, Lyon, France; CNRS, UMR 5259, INSA-Lyon, LaMCoS, Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures, F69621, Villeurbanne, France

<sup>3</sup>Hassan II Academy of Science and Technology, Rabat, Morocco.

Email : [huagui.zhang@insa-lyon.fr](mailto:huagui.zhang@insa-lyon.fr)

*Communication Orale*

**Mots-clé :** Rhéologie Linéaire et Non-linéaire; Cisaillement ; Elongation; Multicouches; Interphase; Processus d'Interdiffusion; Coextrusion; Modélisation

**Résumé:** Fundamental studies have been devoted to probe and modelize the interfacial phenomena at multilayered systems based on two model compatible polymers of PVDF and PMMA with varying molar masses. Linear and nonlinear rheology have been demonstrated to be sensitive to the presence of diffuse interphase triggered at polymer/polymer interface. Firstly, the interdiffusion kinetics as well as the development of the interphase have been investigated using small-amplitude oscillatory shear (SAOS) measurements with results analyzed according to Doi-Edwards theory. The PMMA/PVDF mixtures have been examined to be a couple of weak thermorheological complexity, owning close monomeric friction coefficients. Based on this physics, a new rheological model was developed to quantify the interdiffusion coefficients. Rheological and geometrical properties of the interphase have been quantified through this model and validated by SEM-EDX. Secondly, step strain, fast startup in shear and uni-axial extension have been carried out on the multilayer structures to investigate the sensitivity of nonlinear rheology to the well-defined diffuse interphase. An original model was proposed to fit the stress relaxation behavior of multilayer and to estimate the relaxation behavior of the interphase. Lack of entanglement at the interface and weak entanglement intensity at the diffuse interphase make them to be subsequently readily to suffer from interfacial yielding after continuous large deformations. Besides, elongational properties of the multilayer structures have been shown to be a function of composition as controlled by layer number and interphase properties. Finally, the diffuse interphase development coupled to flow in practical coextrusion process has been considered. The compromising result between negative effect of chain orientation and favorable effect of flow has been shown to broaden the interphase. Presence of the diffuse interphase was demonstrated to significantly weaken the viscous and elastic instabilities.

# Etude de la recouvrance viscoélastique d'une surface d'un polymère vitreux en fonction de sa microstructure.

A. Rubin, D. Favier et C. Gauthier

Université de Strasbourg - Institut Charles Sadron CNRS UPR22, 23 rue du Loess, 67034 - Strasbourg.

Email : [anne.rubin@ics-cnrs.unistra.fr](mailto:anne.rubin@ics-cnrs.unistra.fr)

Communication Orale

**Mots-clé** : Recouvrance, Polymère, Surface, Viscoélasticité.

**Résumé** : L'objectif de cette étude est la compréhension des mécanismes rhéologiques pilotant la recouvrance d'une surface polymère ou composite préalablement soumise à une contrainte normale par indentation d'un contact sphérique. Dans beaucoup d'applications les polymères techniques sont soumis à des contacts statiques entraînant un fluage dans le contact. Il est donc intéressant de comprendre le lien entre la microstructure du système polymère et sa cinétique de recouvrance de surface en fonction d'une déformation imposée. Cette connaissance permettra dans un second temps de pouvoir adapter la microstructure du système polymère en vue d'un contrôle fin de la cinétique de recouvrance.

Pour réaliser cette étude, le premier point clé est la méthode de caractérisation expérimentale de la recouvrance. Notre équipe a développé un ensemble de dispositifs expérimentaux dédiés à l'étude des mécanismes physiques pilotant la mécanique du contact sur surfaces de polymères sans être modèle dépendant dans l'analyse. Un premier montage adapté aux polymères transparents permet la mesure de l'aire de contact réelle lors du fluage et du volume résiduel de l'empreinte lors de la recouvrance. Les travaux de thèse de T. Chatel [1] sur PMMA ont permis d'identifier les comportements viscoélastiques linéaires ou non en fonction de la déformation, de la température, du temps de fluage... L'apparition dans le contact d'une déformation permanente localisée bloquerait les écoulements lors de la phase de recouvrance. L'étape actuelle est d'étendre cette étude aux polymères non transparents ou aux nanocomposites avec un second montage où la mesure de la recouvrance de l'empreinte est obtenue par une technique de déflectométrie optique. L'introduction d'une microstructure particulière pilote la réponse en déformation du système polymère et la réponse viscoélastique. Cette étude présentera l'influence de la microstructure sur la viscoélasticité.

[1] T. Chatel et al., J. Phys. D: Appl. Phys. 44 (2011) 375403.

# Détermination du comportement hyper-viscoélastique par échographie ultrasonore sur des fantômes d'aorte.

E-J. Courtial<sup>1</sup>, P. Douek<sup>2</sup>, M. Orkisz<sup>2</sup> et R. Fulchiron<sup>1</sup>

*1 : Ingénierie des Matériaux Polymères, IMP@Lyon1, CNRS UMR 5223, Université Claude Bernard Lyon 1 2 : CREATIS, Université de Lyon; CNRS UMR 5220; Inserm U1044; Université Lyon 1; INSA-Lyon  
Email : [rene.fulchiron@univ-lyon1.fr](mailto:rene.fulchiron@univ-lyon1.fr)*

*Communication Orale*

**Mots-clé** : Fantôme d'aorte, Hyper-viscoélasticité, Imagerie par échographie.

**Résumé** : Ce travail s'inscrit dans un projet de recherches visant à fabriquer des répliques (ou fantômes) au comportement mécanique représentant le plus fidèlement possible celui du système cardio-vasculaire, qu'il soit sain ou atteint de pathologies. Les applications visées sont diverses : répétition des gestes chirurgicaux avant une intervention réelle (en reproduisant l'effet de la circulation sanguine), calibration des systèmes d'imagerie médicale, aide à la modélisation du comportement viscoélastique des tissus réels... Plus précisément, le but de ce travail a été de valider une méthode de caractérisation du comportement hyper-viscoélastique de tubes à base de silicone en mesurant leur déformation (Inflation-Extension) par une méthode d'imagerie médicale (échographie ultrasonore) dans des conditions d'écoulement représentant le flux sanguin périodique. Pour ce faire, le tube est inséré dans un circuit d'eau dans lequel la pression est régulée pour simuler la pression artérielle. Le circuit est lui-même plongé dans un bain d'eau permettant la transmission des ondes ultrasonores. Le système a été validé en montrant que le comportement hyper-viscoélastique ainsi mesuré était cohérent avec celui déterminé par des méthodes standards telles que des tests de traction et d'analyse mécanique dynamique. Ce comportement, proche de celui des tissus artériels réels, a été modélisé par plusieurs éléments de Maxwell en parallèle avec une branche présentant un comportement hyperélastique (modèle de Yeoh). A terme, cette méthode devrait permettre de déterminer le comportement hyper-viscoélastique des parois de vaisseaux sanguins par une méthode non invasive d'imagerie médicale. Ainsi, il serait envisageable de diagnostiquer ou de prédire certaines pathologies affectant le comportement hyper-viscoélastique de la paroi artérielle.

# Rhéologie aux interfaces des polymères : rôle de l'architecture moléculaire et/ou de l'interphase dans les écoulements stratifiés

Arnaud Bondon<sup>1,2</sup>, Khalid Lamnawar<sup>1,3</sup>, Abderrahim Maazouz<sup>1,2,4</sup>

*1 Université de Lyon, INSA-LYON, F-69361 Lyon, France*

*2 UMR 5223, Ingénierie des Matériaux Polymères IMP, CNRS, INSA Lyon, F-69621 Villeurbanne, France*

*3 UMR 5259, Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures LaMCoS, CNRS, INSA Lyon, F69621, Villeurbanne, France*

*4 Hassan II Academy of Science and Technology, 10 100 Rabat, Morocco*

*Email : [arnaud.bondon@insa-lyon.fr](mailto:arnaud.bondon@insa-lyon.fr)*

*Communication Orale*

**Mots-clé :** Rhéologie linéaire et non linéaire, morphologie aux interfaces, interphase, liant, architecture moléculaire, réaction in-situ

**Résumé :** L'objectif de ce travail est de comprendre l'influence de l'architecture moléculaire des liants sur les propriétés d'écoulements stratifiés en coextrusion. Bien que la compatibilisation puisse permettre de réduire ou même supprimer les instabilités macroscopiques d'écoulement, d'autres défauts microscopiques peuvent apparaître. Ceux-ci ne sont pas référencés dans la littérature et peu de travaux ont été dédiés à la compréhension des mécanismes de génération des morphologies qui leur sont associés. Les phénomènes mis en jeu sont particulièrement complexes puisqu'ils impliquent de façon couplée des phénomènes hydrodynamiques via l'écoulement et la rhéologie des différentes couches d'une part, et physico-chimiques via la diffusion et la réaction chimique des polymères aux interfaces d'autre part. La stabilité de ces écoulements stratifiés résulte de phénomènes multi-échelles : nano (réaction de copolymérisation), micro (interphase) et macro (écoulement).

Ce travail porte essentiellement sur une étude fondamentale de la rhéologie interfaciale des systèmes multicouches et leurs équivalents en mélanges. Les matériaux choisis sont des PA et EVOH en couches barrières, des PP et des liants de type PP-g-AM de différentes masses molaires et taux de greffage. Ces systèmes ont été étudiés sous deux modes de déformations en cisaillement et en élongation. Les deux régimes ont été explorés : i) viscoélasticité linéaire (VEL), ii) viscoélasticité non-linéaire (VENL) en régime transitoire.

Cette étude a permis de déterminer les propriétés rhéologiques de l'interphase et d'établir les processus de relaxation de copolymères générés en fonction de la nature de la réaction chimique dans les deux couples « EVOH/liant et PA/liant ». Les analyses par diverses méthodes spectroscopiques (MEB, MET, AFM, IRTF) montrent à leur tour des morphologies différentes suivant la nature de l'interphase générée.

On démontre ainsi que l'outil rhéologique est une sonde très fine ayant une grande sensibilité à l'architecture moléculaire à l'échelle de l'interphase dans les écoulements stratifiés.

Projet ANR ASPECT (ARKEMA, BARBIER LEYGATECH, ARMINES-CEMEF, LPS, INSA-LYON)

# Nanostrength<sup>®</sup> Copolymères à bloc: De la rhéologie à l'application industrielle

R.Inoubli S.Bourrigaud, C.Rey, S.Cazaumayou

Arkema, Laboratoire de Rhéologie et Additifs, Laboratoire de Rhéologie et Additifs, 64170  
Lacq

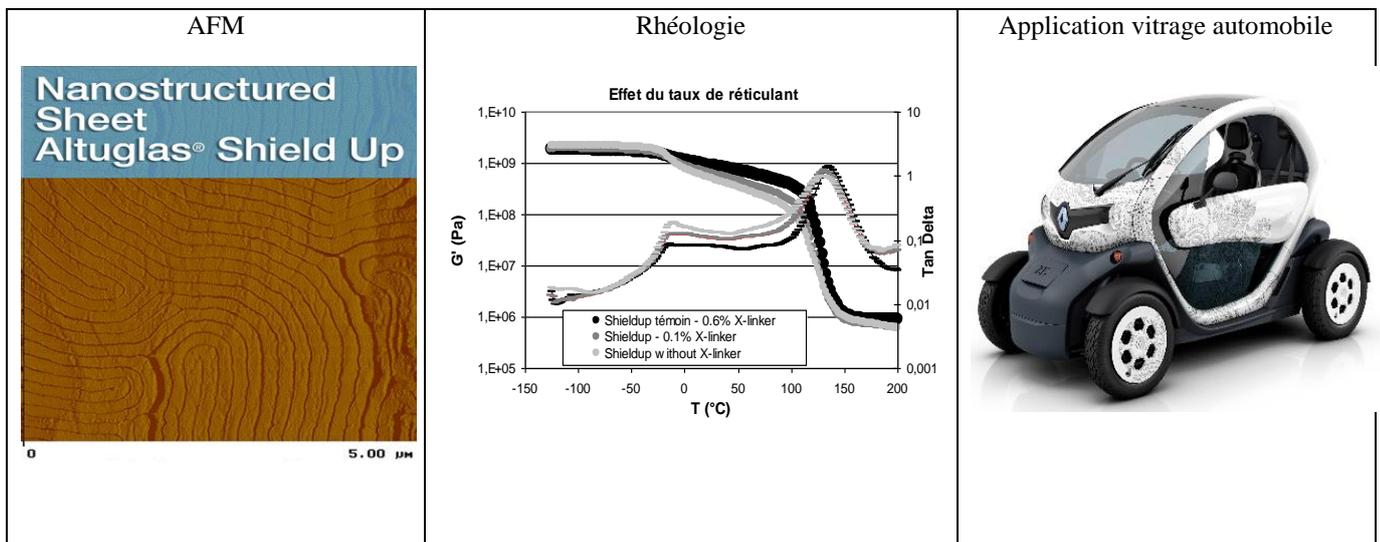
Email : [raber.inoubli@arkema.com](mailto:raber.inoubli@arkema.com)

Communication Orale

**Mots-clé** : Nanostructuration, copolymère à bloc, séparation de phase, propriétés macroscopiques...

**Résumé** : Arkema, via une technologie de polymérisation radicalaire contrôlée par Nitroxide Mediated Polymeriation, a développé une gamme complète de copolymères à bloc nanostructurés, les Nanostrength. Grâce à des interactions répulsives entre les différents blocs, le copolymère s'auto-organise à l'échelle nanométrique. Cette organisation permet d'aboutir à des compromis particuliers de propriétés tel qu'adhésion, résistance à l'impact, rigidité et transparence. Ces compromis très particuliers permettent l'utilisation de ces polymères dans des applications diverses telles que les adhésifs (PSA), les composites (TP et TD) ou encore l'électronique organique.

Dans cette présentation, nous nous proposons de détailler un cas précis d'application commercial qui sera le verre organique Shieldup<sup>®</sup>. Ce matériau résulte d'un contrôle très précis d'une séparation de phase entre un élastomère nanostructuré et du PMMA. L'originalité de ce matériau vient du fait que le copolymère à bloc est synthétisé in situ en concomitance avec la séparation de phase. L'étude de la rhéologie de ce matériau permet de mettre en relation directe le procédé de synthèse, la nanostructuration (imagerie AFM) et les propriétés mécaniques requises pour l'application finale (vitrage automobile).



# Dépôt de $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ par projection plasma de solution : Rôle des précurseurs

W. Duarte, M. Vardelle et S. Rossignol

*Laboratoire de Science des Procédés Céramique et de Traitement de Surface, Université de  
Limoges*

*Email : [william.duarte@etu.unilim.fr](mailto:william.duarte@etu.unilim.fr)*

**Mots-clé :** SPPS,  $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ , solutions, tension superficielle, viscosité

**Résumé :** Les aubes de turbines utilisées dans la propulsion aéronautique fonctionnent à des températures plus élevées que le point de fusion du superalliage. Par conséquent, des dépôts de céramiques sont réalisées sur ces aubes afin d'obtenir une barrière thermique assurant la protection de ces pièces lors du fonctionnement du moteur. Les motoristes cherchent à augmenter la température de fonctionnement du moteur afin d'améliorer son rendement. Ceci implique la recherche de matériau céramique performant tel que le zirconate de lanthane ( $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ ). Ce composé, de structure pyrochlore, présente une faible conductivité thermique, une stabilité de phase et un point de fusion élevé ( $> 2000^\circ\text{C}$ ).

La projection plasma de solution permet un dépôt de  $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$  avec microstructure fine qui augmente les propriétés du dépôt. Ce procédé nécessite la dissolution de sels métalliques de zirconium et de lanthane pour préparer la solution qui sera injectée dans le plasma thermique permettant la synthèse in situ du matériau céramique. Par conséquent, il est nécessaire de contrôler les interactions entre les espèces chimiques et le solvant au sein des solutions.

Ce travail consiste à étudier les différents précurseurs de zirconium et de lanthane dans des solutions aqueuses ou alcooliques, en particulier la décomposition thermique et les propriétés rhéologiques. Les premiers résultats ont mis en évidence l'effet des précurseurs et des solvants sur la tension superficielle ainsi que la viscosité des solutions entraînant une modification de la taille des lamelles de  $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$  élaborées par projection plasma de solution.

# Relation entre propriétés électriques et rhéologiques des boues résiduaires: impact de la température

C. Ségalen, E. Dieudé-Fauvel et J.C. Baudez

*Irstea, UR TSCF, Domaine des Palaquins, F-03150 Montoldre, France*

*Email : [emilie.dieude-fauvel@irstea.fr](mailto:emilie.dieude-fauvel@irstea.fr)*

*Communication par affiche*

**Mots-clé** : Boues, module élastique, viscosité, impédance électrique, température

**Résumé** : Chaque année, les stations d'épuration françaises génèrent près d'un million de tonnes de matières sèches de boues, qu'il faut traiter et valoriser. Ces traitements mettent en jeu des écoulements, que soit dans des bassins, des réacteurs ou des canalisations. Pour optimiser les procédés, les professionnels attendent des outils performants et faciles à mettre en œuvre in-situ leur permettant de relier les paramètres opératoires aux caractéristiques des matériaux, notamment les propriétés rhéologiques.

Parmi les différentes voies explorées, la spectroscopie d'impédance électrique présente un potentiel intéressant [1,2]. L'approche consiste à établir un parallèle entre les évolutions des propriétés rhéologiques et électriques pendant les étapes de traitement, afin de suivre en ligne les cinétiques d'évolution du signal électrique et d'en déduire les cinétiques d'évolution des caractéristiques rhéologiques. En effet, la signature électrique d'une boue peut se représenter par un circuit électrique modèle composé de résistances (dissipation d'énergie) et condensateurs (accumulation d'énergie).

Ces paramètres étant particulièrement dépendants de la température, qui est également un paramètre essentiel dans diverses opérations, nos travaux se sont penchés sur son impact sur la réponse des boues à une sollicitation électrique ou mécanique. Nous nous sommes plus particulièrement intéressés à l'évolution de la courbe d'écoulement et du module élastique, et à l'évolution du module et de la phase de l'impédance en fonction de la température.

Les résultats montrent que les paramètres solides obéissent à une loi de type VTF (Vogel-Tammann-Fulcher) alors que les caractéristiques purement liquides suivent une loi d'Arrhenius. Les mêmes tendances sont observées pour les caractéristiques électriques : les dissipatives suivent une loi d'Arrhenius alors que les accumulatives suivent une VTF. L'ensemble de ces résultats et notamment la comparaison des énergies d'activation permet de mieux appréhender les phénomènes moléculaires à l'origine du comportement macroscopique des boues et d'établir un parallèle entre signal électrique et réponse rhéologique.

## Références :

[1] Dieudé-Fauvel, E., Van Damme, H. and Baudez, J.C. (2009) Improving rheological sludge characterization with electrical measurements. *Chemical Engineering Research and Design* 87(7), 982-986.

[2] Dieudé-Fauvel, E., Héritier, P., Chanet, M., Girault, R., Pastorelli, D., Guibelin, E. and Baudez, J.C. (2014) Modelling the rheological properties of sludge during anaerobic digestion in a batch reactor by using electrical measurements. *Water Research* 51, 104-112.

# Instabilités d'écoulement de type glissement/fracturation lors du cisaillement de suspensions aqueuses de nanofibrilles de cellulose

O. Nechyporchuk<sup>1,2</sup>, M. N. Belgacem<sup>2</sup>, F. Pignon<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univ. Grenoble Alpes, CNRS, U.J.F. Grenoble I, INP, LRP, UMR 5520, F-38000 Grenoble, France

Email : [pignon@ujf-grenoble.fr](mailto:pignon@ujf-grenoble.fr)

<sup>2</sup>Univ. Grenoble Alpes, CNRS, LGP2, F-38000 Grenoble, France

**Mots-clés** : nano-fibrilles de cellulose (NFC), traitement enzymatique, TEMPO, instabilités, glissement, bandes de cisaillement

**Résumé** : Les propriétés rhéologiques de suspensions aqueuses de nano-fibrilles de cellulose (NFC) hydrolysée par voie enzymatique et oxydée par voie 2,2,6,6-tetraméthylpiperidine-1-oxyl (TEMPO) ont été comparés. Il a été mis en évidence que la concentration et le type de traitement enzymatique/oxydation utilisés ont une influence sur le comportement rhéologique de ces suspensions. Le module élastique, la viscosité ainsi que les contraintes de cisaillement décroissent avec une augmentation de la concentration en enzyme, ce qui a été corrélé à la saccharification de la cellulose et une séparation des nanofibrilles mis en évidence par des observations en microscopie à force atomique. Des instabilités d'écoulement ont été détectées lors de l'application d'un cisaillement en rhéométrie rotative cône-plan sur une large gamme de taux de cisaillement. Les champs de déformation à l'intérieur du volume de la suspension ont été caractérisés par des méthodologies de marquage et de visualisation dans l'entrefer du cône plan. Un glissement à la paroi a été mis en évidence à des taux de cisaillement faibles ( $0.001-1 \text{ s}^{-1}$ ) pour les deux types de suspensions de NFC lors de l'utilisation des géométries lisses. L'utilisation de géométries recouvertes de papier de verre définissant une rugosité de surface de  $120 \mu\text{m}$ , ont été ensuite utilisées pour éviter le glissement. Avec ces géométries rugueuses, les visualisations des écoulements de cisaillement des suspensions traitées par oxydation TEMPO ont alors mis en évidence des phénomènes d'instabilités du champ de déformation avec la formation de bandes de cisaillements : différents régimes d'écoulements ont alors été observés correspondants à différents niveaux de gradients de vitesses. Pour les suspensions de NFC hydrolysées par voie enzymatique, les valeurs des contraintes de cisaillement aux bas gradients de vitesse sont inférieures à celles établies pour les suspensions traitées par oxydation TEMPO et des phénomènes de sédimentation et de ressuage ont été identifiés.

# Simulation directe d'une suspension concentrée de fibres soumises à des effets de flexion

R. Mezher, E. Abisset-Chavanne, J. Férec, G. Ausias et F. Chinesta

*GeM, UMR CNRS Ecole Centrale de Nantes*

*Email : [rabih.mezher@ec-nantes.fr](mailto:rabih.mezher@ec-nantes.fr)*

**Mots-clé** : suspensions concentrées, simulation directe, description statistique, énergie élastique

**Résumé** : Quand les suspensions de fibres deviennent concentrées, les théories à l'échelle mésoscopique ne permettent plus d'avoir une description précise de la physique fine qui agit à l'échelle microscopique de la fibre. Ainsi, une façon d'étudier la cinématique et les effets rhéologiques de ces suspensions à l'échelle microscopique est de faire une simulation numérique directe (ou DNS en abrégé). Une DNS est basée sur le calcul dans un volume représentatif, du mouvement d'une centaine de fibres et de leurs interactions, à l'échelle microscopique. Dans les travaux précédents, l'élasticité associée à la flexion des fibres n'a pas été considérée: les fibres ont été considérées purement rigides et sans effets de flexion lorsque des forces d'interactions se manifestaient suite à un contact entre deux fibres. Dans ce travail, une DNS d'une suspension concentrée de fibres immergées dans un matrice newtonienne est développée, simulée et discutée. Les suspensions sont considérées avec des interactions entre les fibres et l'évolution statistique d'une population de fibres (forces d'interaction et le nombre de contacts entre les fibres) a été décrite. Ensuite, dans le cadre de la théorie des milieux élastiques, l'élasticité des suspensions est introduite en prenant compte que les forces qui agissent sur chaque fibre mènent à la flexion des fibres. Ainsi, cette flexion donne lieu à un comportement élastique physique illustré quantitativement par une énergie élastique emmagasinée à l'intérieur des suspensions pouvant produire la rupture des fibres. Le couplage entre la présence des fibres, leur orientation et la polydispersité de la suspension, et la cinématique de la suspension est mise en évidence.

# Influence de plastifiants ioniques novateurs sur la rhéologie de l'amidon de maïs en phase fondue

P. Decaen<sup>1,3</sup>, G. Della Valle<sup>2,3</sup>, D. Lourdin<sup>2,3</sup>, E. Leroy<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire GEPEA, UMR CNRS 6144, University of Nantes, 37 boulevard de l'Université BP 420, 44606 Saint Nazaire cedex <sup>2</sup>INRA, UR1268 Biopolymères Interactions & Assemblages (BIA), BP 71627, 44316 Nantes cedex 3 (France)

<sup>3</sup>Structure Fédérative IBSM, INRA Nantes-Angers, rue de la Géraudière, BP 71627, 44316 Nantes cedex 3 (France)

Email : [paul.decaen@univ-nantes.fr](mailto:paul.decaen@univ-nantes.fr)

**Mots-clé** : Amidon, Liquide ionique, Viscosité, Plastifiant, Extrusion

**Résumé** : L'amidon plastifié pourrait remplacer avantageusement les polymères de commodité issus du pétrole car il est biodégradable et bon marché. Ses principales limitations sont ses faibles propriétés mécaniques, ainsi que sa sensibilité à l'humidité environnante. Les liquides ioniques sont des sels dont la température de fusion est inférieure à 100°C. Des travaux antérieurs<sup>3,4</sup> ont révélé leur efficacité en tant que plastifiant de l'amidon, d'autant qu'ils réduisent la recristallisation et limitent sa reprise en eau. Afin de mieux comprendre les propriétés finales des matériaux, nous étudions les interactions amidon/additif lors du procédé d'extrusion. A titre d'exemple, le calcul de la viscosité apparente évaluée grâce à un micro mélangeur bi-vis, montre qu'à 120°C, l'amidon plastifié par le glycérol (23%) est environ deux fois plus visqueux que lorsqu'il est plastifié par l'[Emim]Ac un liquide ionique conventionnel.

Dans cette étude, nous comparerons les viscosités en cisaillement et élongationnelle d'amidon fondu additionné de différents plastifiants ioniques. Ces propriétés sont déterminées à l'aide du Rhéoplast®, un rhéomètre capillaire qui permet de transformer l'amidon sous l'action simultanée du chauffage et d'un pré-cisaillement, avant de réaliser les mesures de viscosité. Ces données, mises en lien avec les résultats des extrusions d'amidon plastifié aux mêmes teneurs en plastifiant sur un micro mélangeur bi-vis, aideront à comprendre le rôle de la structure du plastifiant sur la transformation de l'amidon lors de procédés de mise en œuvre. De plus, l'interprétation de ces résultats fera appel à l'analyse structurale des amidons ainsi plastifiés.

---

<sup>3</sup> A. Sankri, A. Arhaliass, I. Dez, A. Gaumont, Y. Grohens, D. Lourdin, I. Phillin, A. Rolland-Sabaté, E. Leroy, *Thermoplastic starch plasticized by an ionic liquid* Carbohydrate Pol. **82**, 256 (2010)

<sup>4</sup> E. Leroy, P. Decaen, P. Jacquet, G. Coativy, B. Pontoire, A.-L. Reguerre, D. Lourdin, *Deep eutectic solvents as functional additives for starch based plastics* Green Chem. **14**, 3063 (2012)

# Maîtrise de la dynamique de la ligne triple pour l'élaboration de matériaux à surfaces multi-structurées

B. Vuillemeys, K. Ako et Y. Rharbi

Laboratoire Rhéologie et Procédés, UMR 5520 – UJF – Grenoble INP - CNRS  
[benjamin.vuillemeys@ujf-grenoble.fr](mailto:benjamin.vuillemeys@ujf-grenoble.fr)

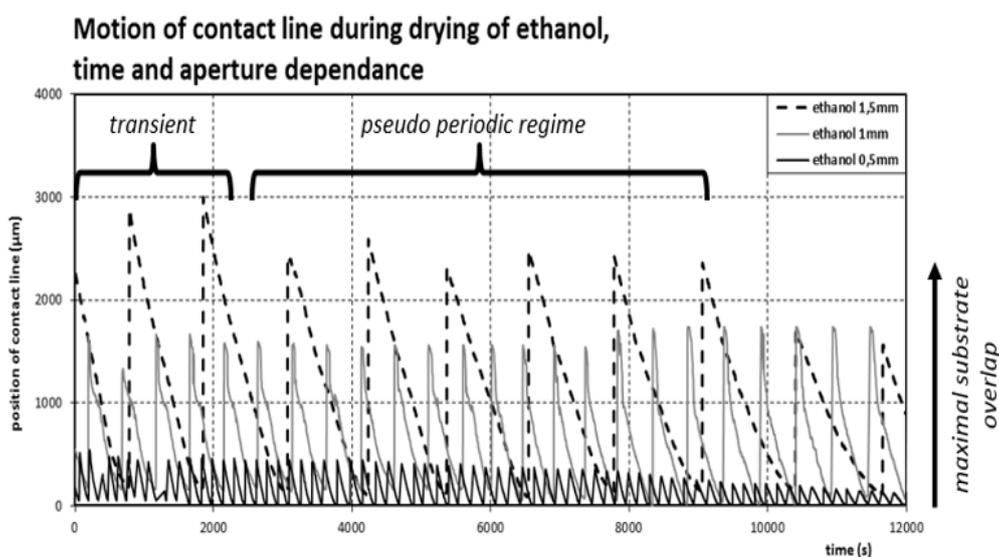
Communication par affiche

**Mots-clé** : séchage, physico-chimie des latex, ménisque, auto-assemblage par convection

**Résumé** : L'évaporation de suspensions, apparaît comme la méthode la plus simple pour parvenir à la structuration de la surface des matériaux. L'exemple le plus éloquent est celui de la goutte de café, où les particules viennent préférentiellement s'agglomérer sur son périmètre, portées par les différents flux résultant du mécanisme de séchage. Cependant, ce procédé d'auto-assemblage des particules sur la ligne triple air-liquide-substrat au cours du séchage, est difficile à appréhender. Ce constat est lié à la synergie entre la rhéologie des suspensions, leur physico-chimie et les aspects de tension interfaciale, qui s'opère au cours du procédé d'évaporation.

Il est primordial de comprendre et de maîtriser le déplacement de la ligne triple pour accroître le potentiel de cette méthode d'élaboration de revêtements. Nous proposons une méthode qui permet d'agir sur cette ligne triple. A la sortie de notre dispositif, le liquide est soumis à une évaporation libre, si bien que la ligne de contact adopte un mouvement périodique, apparenté à une respiration, voir figure. Ce phénomène, qualifié de « cyclic breathing », peut être contrôlé en amplitude et en fréquence. Par la combinaison de paramètres mécaniques propres au procédé et d'autres intrinsèque au fluide, l'expérimentateur est capable de gouverner ce mouvement, ainsi que le profil du ménisque formé.

La combinaison de cette approche, avec un travail sur la composition des solutions colloïdales, est susceptible d'accroître le contrôle de la texturation des dépôts, obtenu par évaporation. Cette démarche trouve de potentielles applications pour l'élaboration de surfaces super-hydrophobes, ainsi que dans le domaine des matériaux destinés à l'optique et à la photonique band-gap.



# Etude exploratoire des mécanismes de migration de nanoparticules d'argile dans des mélanges de polymères immiscibles

J. Ville, P. Médéric et T. Aubry

*Equipe Rhéologie, Laboratoire d'Ingénierie des Matériaux de Bretagne EA 4250  
Université de Bretagne Occidentale, 6 avenue Victor Le Gorgeu, CS 93 837, 29 238 Brest cedex 3, France.*

*Email : [julien.ville@univ-brest.fr](mailto:julien.ville@univ-brest.fr)*

**Mots-clé** : mélanges de thermoplastiques immiscibles, nanoargile, structure, morphologie, rhéologie, migration

**Résumé** : Les mélanges de polymères immiscibles chargés de nanoparticules d'argile présentent l'intérêt de mettre en jeu deux niveaux de structuration : l'un relatif à la morphologie micrométrique du mélange matrice/inclusions et l'autre spécifique à la structuration des nanocharges argileuses. La localisation des nanocharges 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 finale. Cependant, les mécanismes responsables de la migration des charges lors des opérations de malaxage à l'état fondu sont encore mal compris.

L'objectif de ces travaux est d'étudier expérimentalement, de manière exploratoire, les phénomènes de migration de nanoplaquettes d'argile dans les mélanges Polyéthylène/Polyamide/argile à morphologie nodulaire.

La rhéométrie, couplée à des techniques de caractérisation structurale, est le moyen d'investigation choisi pour étudier la migration des charges au sein de mélanges de polymères immiscibles. Les tests rhéométriques mis en place pour cette étude consistent à imposer un cisaillement permanent à des échantillons constitués de deux demi-cylindres d'épaisseur 2 mm : l'un constitué d'une matrice avec une phase dispersée nodulaire et l'autre composée de la même matrice dans laquelle sont dispersées des charges argileuses de différentes structures. Les caractérisations en microscopie électronique à balayage et en transmission ont permis d'observer l'évolution de la morphologie nodulaire et de localiser les charges principalement à l'interface matrice/inclusions, mettant clairement en évidence les phénomènes de migration. Les mécanismes de migration des nanocharges argileuses à l'interface seront discutés physiquement.

# Détermination du point de gel par microrhéologie

R. Ramsch, C. Tisserand, G. Brambilla, M. Fleury, P. Bru, G. Meunier

Formulation, 10 impasse Borde Basse, 31240 L'Union, France, roland.ramsch@formulation.com

Email : roland.ramsch@formulation.com

**Mots-clé :** Microrhéologie, point de gel, Time-cure superposition

## Résumé :

La microrhéologie permet de sonder les propriétés viscoélastiques de la matière molle en utilisant des particules micrométriques. Dans le cas de la microrhéologie passive, on suit le mouvement brownien (énergie thermique) des sondes micrométriques (particules, gouttelettes, fibres...) qui induit des déformations locales de l'échantillon représentatives de la rhéologie du milieu. Il s'agit d'une technique non-intrusive, sans contrainte extérieure appliquée au produit analysé. Pour détecter le déplacement de particules, on utilise une technique optique nommée DWS (Diffusing Wave Spectroscopy), une extension de la DLS [1] (Diffusion dynamique de la lumière) adaptée aux milieux concentrés et opaques. Plus précisément nous utilisons la MS-DWS (Multi Speckle-DWS) en rétrodiffusion : un faisceau laser est envoyé sur l'échantillon, une partie de la lumière incidente est rétrodiffusée et donne une image d'interférence (speckle) détectée par une caméra vidéo.

Par le moyen d'une modélisation [2,3,4] des parcours aléatoires des photons diffusés de façon multiple par l'échantillon sont quantifiées par le déplacement quadratique moyen (mean square displacement, MSD en anglais). Les courbes de MSD donnent directement les informations viscoélastiques en termes d'élasticité et viscosité. Utilisant une technique optique et non destructive, l'appareil Rheolaser Master permet également de faire une analyse cinétique de procédés de gélification. Les données peuvent être analysées avec le nouveau traitement de « Time Cure Superposition » [5,6]. Ce traitement est basé sur le criterium de Winter et Chambon [7] pour la détermination de point de gel. Les résultats montrent la détermination du point de gel en fonction du temps (formation de yaourt), de la température (carraghénane) et de la concentration de polymère (xanthane) et d'agent réticulant (gélatine + glutaraldéhyde).

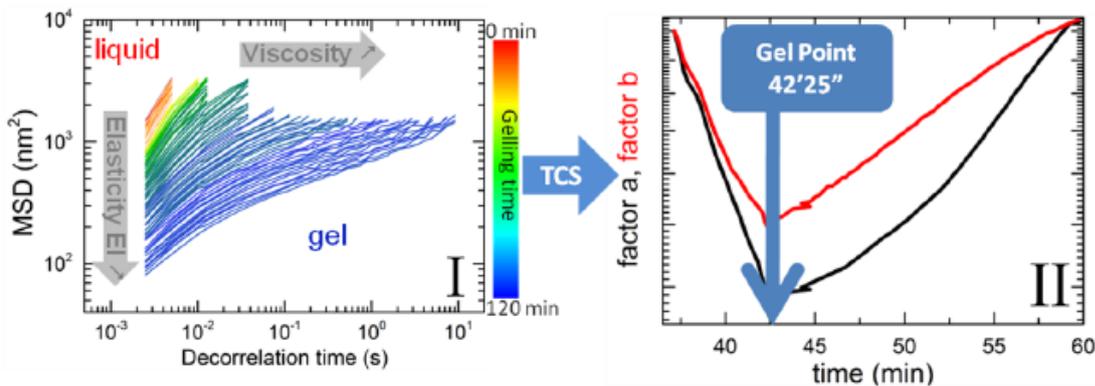


Figure 1 : Détermination du point de gel par Time Cure Superposition (TCS) pour une gélification acide de lait entier avec 1% (w/w) GDL.

[1] Weitz D. A. and Pine D. J. « Dynamic Light Scattering, The Method and Some Applications », edited by W. Brown (Clarendon, Oxford) 1993, p. 719.

[2] L. Brunel et al., « Adaptive Speckle Imaging Interferometry: a new technique for the analysis of microstructure dynamics, drying processes and coating formation », *Optics Express* 15, 23 (novembre 12, 2007): 15250-15259J.

[3] L. Brunel, Formulation, WO 2010130766 (2009)

[4] T.G. Mason and D.A. Weitz, Optical Measurement of Frequency-Dependent Linear Viscoelastic Moduli of Complex Fluids, *PRL*, vol 74, 7, 1995

[5] T. H. Larsen, E. M. Furst, *Physical Review Letters*, 2008, 100, 14600

[6] K. M. Schultz, E. M. Furst, *Soft Matter*, 2012, 8, 6198

[7] Winter, Chambon, 1986, *J. Rheology*

# Observations de l'instabilité de filaments viscoélastiques

Jorge Peixinho

*Laboratoire Ondes et Milieux Complexes, CNRS et Université du Havre*

*Email : [jorge.peixinho@univ-lehavre.fr](mailto:jorge.peixinho@univ-lehavre.fr)*

**Mots-clé** : Polymères en solution, Ecoulement d'élongation, Capillarité, Viscoélasticité, Poly(oxyéthylène)

**Résumé** : La capillarité peut déstabiliser un jet de liquide et le rompre en une multitude de petites gouttes. L'addition d'une petite quantité (quelques parties par millions) d'un long polymère flexible et soluble augmente significativement la durée de vie du filament, modifie la morphologie de l'instabilité et donne lieu au phénomène de perle sur ficelle où les gouttes sont reliées par un fin filament. Cette morphologie de perle sur ficelle est également observée lors de l'étirement d'un pont de liquide viscoélastique. Des expériences ont été réalisées décrivant l'évolution d'un pont de liquide viscoélastique étiré. Le comportement auto-similaire et la relaxation exponentielle du diamètre des filaments sont quantifiés. Cette dynamique est due aux forces élastiques et capillaires. Les temps de relaxation caractéristiques de cet écoulement d'élongation sont obtenus pour plusieurs solutions aqueuses de poly(oxyéthylène).

Le phénomène de perle sur ficelle est observé pour différents fluides. Lorsque le rapport d'aspect de l'étirement est suffisamment grand, on observe également la dynamique des gouttes. Cette dynamique inclut différents phénomènes comme la migration des gouttes sur le filament, l'oscillation de la position des gouttes, ou encore la coalescence des gouttes avant la rupture du filament. Cette étude vise à quantifier les effets des contraintes élastiques issues des polymères qui permettent un écoulement des petites gouttes vers les grosses gouttes à travers le filament.

# Interactions entre les structures cohérentes et les polymères dans les écoulements visco-élastiques turbulents en canal plan

Anselmo S. Pereira <sup>1</sup>, Ramon S. Martins <sup>2</sup>, Gilmar Mompean <sup>3</sup> et Laurent Thais <sup>4</sup>

*Laboratoire de Mécanique de Lille (LML), CNRS, UMR 8107, École Polytechnique  
Universitaire de Lille, Université Lille Nord de France, F59655 Villeneuve d'Ascq, France*

*Email : <sup>1</sup>[anselmo.pereira@polytech-lille.fr](mailto:anselmo.pereira@polytech-lille.fr), <sup>2</sup>[ramon.martins@polytech-lille.fr](mailto:ramon.martins@polytech-lille.fr),  
<sup>3</sup>[gilmar.mompean@polytech-lille.fr](mailto:gilmar.mompean@polytech-lille.fr), <sup>4</sup>[laurent.thais@polytech-lille.fr](mailto:laurent.thais@polytech-lille.fr)*

**Mots-clés** : réduction de la traînée ; structures cohérentes en turbulence ; fluide visco-élastique ; évènements Q ; écoulement en canal plan ; simulation numérique directe.

**Résumé** : Les écoulements turbulents présentent de nombreuses régions compactes et temporellement cohérentes connues génériquement sous l'appellation de 'structures cohérentes'. On sait par ailleurs que la taille des structures cohérentes augmente lorsqu'on dilue un polymère élastique dans un solvant newtonien, ce qui est attribué au phénomène de réduction de la traînée turbulente par l'action des polymères. Dans le présent travail, les interactions entre les structures cohérentes et les polymères sont analysées à l'aide de simulations numériques directes d'écoulements newtoniens et visco-élastiques turbulents en canal plan. L'analyse est menée pour quatre nombres de Reynolds frictionnels ( $Re_\tau = 180, 395, 590$  et  $1000$ ), en mettant l'accent sur les changements morphologiques des vortex caractérisés par le deuxième invariant positif du tenseur gradient de vitesse. Ces variations morphologiques sont prises en compte à travers la définition des évènements Q. Pour les écoulements newtoniens, les régions tourbillonnaires sont également dominées par des évènements Q2 (éjection) et Q4 (balayage). Pour les cas visco-élastiques, on observe une nette réduction des évènements Q2 dans les régions tourbillonnaires en proche paroi, alors que les évènements Q4 deviennent plus fréquents par rapport au cas newtonien. En outre, l'augmentation de la viscoélasticité rend les vortex plus étirés et d'intensité plus faible. Le moment induit par les polymères réduit la force des tourbillons, en s'opposant à leurs mouvements de rotation. Enfin, dans les régions tourbillonnaires, le travail polymérique est négatif en moyenne, ce qui indique que le polymère s'étire à l'intérieur des vortex, en stockant l'énergie de ces derniers.

# Macro et nano-rhéologie: le RhéoSpeckle

N. Ali, D. Roux, F. Caton

*Laboratoire Rhéologie et Procédés, Université de Grenoble*  
Email : [nabil.ali@ujf-grenoble.fr](mailto:nabil.ali@ujf-grenoble.fr)

**Mots-clé** : rhéologie, nano-rhéologie, multispeckles, vieillissement

**Résumé** : Dans ce poster, nous présentons une technique permettant l'accès simultané au comportement macroscopique et nanoscopique d'un échantillon peu diffusant. Ceci est rendu possible par le couplage d'un rhéomètre et d'un montage de diffusion dynamique de la lumière par multispeckles, résolu spatialement et temporellement. Les propriétés rhéologiques du matériau sont mesurées par un rhéomètre MCR301 en géométrie de Couette transparent. Les déplacements nanométriques sont observés dans le volume diffusant de dimensions ( $5 \times 5 \times 1 \text{ mm}^3$ ) contenu dans l'entrefer du Couette, à l'aide d'une camera CCD. Le gradient de vitesse appliqué dans l'entrefer du couette est recalculé par la technique PIV sur les paires d'images speckles et le temps de relaxation interne du matériau est extrait du calcul de la fonction d'autocorrélation d'intensité  $g_2(\tau, r) - 1$ . Enfin, le suivi du vieillissement sous cisaillement d'un polycrystal de Pluronic F108 est obtenu, par le calcul des temps de relaxation en fonction de la déformation appliquée et de l'âge du matériau.

# RheOptiCAD : microstructures de systèmes modèles ou complexes sous contraintes thermo-mécaniques

J-B. Boitte

*CAD Instruments, 10 rue de la Haie aux Vaches, 78690 Les Essarts-le-Roi*  
*Email : [jean-baptiste.boitte@cad-inst.com](mailto:jean-baptiste.boitte@cad-inst.com)*

**Mots-clé** : rhéo-optique, microscopie confocale, microstructure, profil d'écoulement, analyse d'images

**Résumé** : Les fluides complexes, comme les gels, les pâtes, les mousses ou encore les émulsions, sont omniprésents dans notre vie quotidienne. Ces fluides sont caractérisés par l'existence d'une échelle de taille caractéristique dite « mésoscopique ». Cette « mésostructure », microstructure d'un système à l'échelle mésoscopique, s'illustre par exemple par l'existence de gouttelettes dans une émulsion ou la présence d'un réseau tridimensionnel structuré comme dans le cas des gels ou des pâtes. Ces éléments, de taille comprise entre la dizaine de micromètres ( $\mu\text{m}$ ) et le millimètre (mm), confèrent souvent au fluide des propriétés viscoélastiques et fortement non-newtoniennes. Par ailleurs, les paramètres thermo-mécaniques jouent un rôle prépondérant dans la structuration de systèmes multiphasiques et sont rarement pris en compte dans l'observation de ces systèmes. Que ce soit au cours de leur fabrication (construction de la structure) ou de leur déconstruction (consommation, utilisation dans d'autres produits), les produits alimentaires subissent de nombreux traitements thermo-mécaniques. Comprendre l'évolution de la mésostructure au cours de la transformation du produit est particulièrement crucial et indispensable pour la compréhension et l'optimisation des recettes tout en pilotant les procédés de transformation. Nous présentons ici divers exemples de l'utilisation d'un dispositif rhéo-optique, RheOptiCAD, permettant d'identifier la signature optique d'un système résultant de sollicitations thermo-mécaniques. L'écoulement par cisaillement contra-translation d'un microgel de PMMA permet d'isoler et de localiser à souhait un champ de vitesse nulle. L'étude d'une solution de carraghénane soumise à différents taux de cisaillement puis à une rampe de refroidissement met en évidence sa cinétique de gélification. Des pâtes de farine à teneur en eau et/ou saccharose variées sont classées par étude du réseau de gluten soumis à des oscillations. Enfin, la microstructure d'un réseau protéique laitier enrichi en guar est étudiée à différentes températures.

# Rheology of PVC plastisol

Y. Abdesselam<sup>1,2\*</sup>, J.F. Agassant<sup>1</sup>, R. Valette<sup>1</sup>, Y. Demay<sup>3</sup>, D. Gourdin<sup>2</sup> and R. Peres<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mines ParisTech, Centre de Mise en Forme des Matériaux (CEMEF), UMR CNRS 7635, 06904 Sophia Antipolis France –  
Email : yamina.abdesselam@mines-paristech.fr

<sup>2</sup>Tarkett GDL, Z.A Salzbaach, L-9559 Wiltz, Luxembourg

<sup>3</sup>Université de Nice Sophia Antipolis, Laboratoire J.A. Dieudonné, UMR CNRS 6621, 06108 Nice, France

**Keywords:** PVC resin, plastisol, rheology.

**Abstract:** A plastisol is a suspension of PVC particles resin (from 50nm to 50 $\mu$ m diameter, Figure 1) in a liquid continuous phase composed of plasticizer, adjuvants such as stabilizers, pigments, blowing agents and mineral fillers (dimensions between 10 and 40 $\mu$ m). Plastisol and mineral filler particles size are close to the characteristic flow dimensions (around 100 $\mu$ m in a coating process) which make plastisol a unique kind of suspension. After processing, plastisol gels progressively under the effect of temperature [1].

Several studies on plastisol rheology at room temperature can be found in the literature. Some plastisols present a pseudoplastic behaviour in the whole shear rate range; other plastisols are quasi-Newtonian at low shear rates and present a shear thickening behaviour at higher shear rates.

In this study, several plastisol formulations filled or not, have been investigated at room temperature. Different types of rheometer were used to sweep a large shear rate range: a Couette device in dynamic and continuous mode, a flat die rheometer. Influence of PVC resins particle size distribution, plasticizer and filler content on rheology has been investigated.

Three PVC resins have been used, with different particle size distribution, Figure 1. Particle size and particle size distribution have a high impact on rheology. For a polydisperse (A1) resin, a pseudoplastic behaviour is observed in the whole shear rates range. PVC resins with monodisperse (A3) particle distribution result in a slight shear thinning behaviour at low shear rate, followed by a more or less pronounced dilatancy peak depending on plasticizer rate. A bidisperse (A2) particle size distribution leads to slight shear thinning behaviour followed by a slight dilatancy peak at high shear, which value also varies with plasticizer content. Filler content also impacts the rheological behaviour: viscosity increase in the whole shear rate range and this effect is enhanced with small particle size fillers.

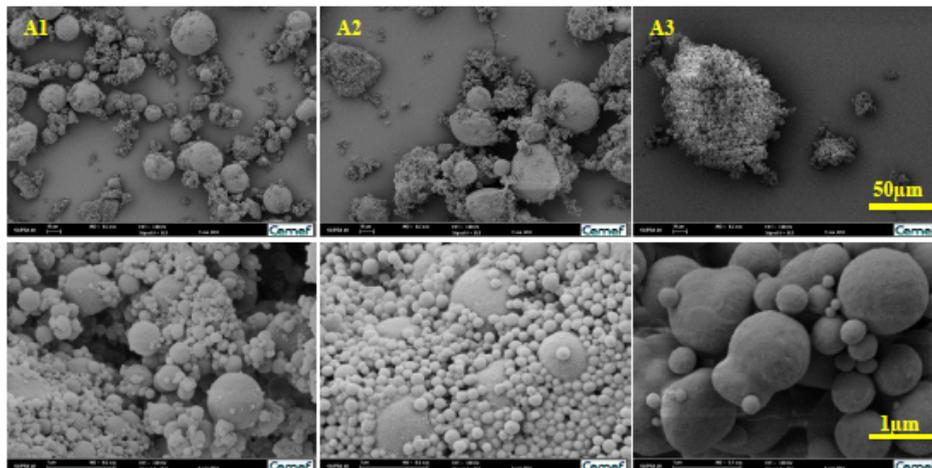


Figure 1: Type A PVC resins SEM pictures

## Reference

[1]: Y Georget. *Mise en œuvre des plastisols. Techniques de l'ingénieur.* (1996), Doc A, 3665.

# Suivi de la réticulation de silicones pour des dispositifs thérapeutiques destinés au relargage contrôlé d'antiviraux

M. Memmi<sup>a</sup>, M. Desloir<sup>b</sup>, B. Figuereo<sup>a</sup>, T. Bourlet<sup>a</sup>, C. Carrot<sup>b</sup> and B. Pozzetto<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Groupe Immunité des Muqueuses et Agents Pathogènes, EA 3064, Faculté de Médecine Jacques Lisfranc, Université de Lyon, Université Jean Monnet, Saint-Etienne, France*

<sup>b</sup>*Ingénierie des Matériaux Polymères, Université de Lyon, CNRS UMR 5223, Université Jean Monnet, Saint-Etienne, France.*

*Email : [carrot@univ-st-etienne.fr](mailto:carrot@univ-st-etienne.fr)*

**Mots-clé** : Réticulation, Hydrophobe, Silicone

**Résumé** : La propagation du virus HIV-1 représente un problème majeur de santé publique, notamment en Afrique sub-saharienne où six adultes infectés sur dix sont des femmes. Parmi les nouvelles options de traitement préventif, les médicaments antirétroviraux utilisés comme microbicides distribués par un anneau intravaginal (IVR) constituent une solution originale. L'IVR est un mode de délivrance de médicaments, qui peut être laissé en place pendant plusieurs mois et peut libérer des quantités régulières de microbicides. L'objectif de ce travail était de mettre en place un IVR capable de délivrer simultanément plusieurs médicaments avec un choix de silicones compatibles avec le principe de libération de chaque médicament. La réticulation de différentes combinaisons de silicones a été suivie par spectrométrie dynamique dans diverses conditions de température en présence de Ténofovir, médicament antirétroviral considéré comme très efficace dans la protection contre l'infection HIV. Les questions liées à l'inhibition possible de la réticulation par des groupes fonctionnels de la molécule active ont été soulevées. Des IVR ont été moulés en combinant deux élastomères de type polysiloxanes contenant différentes concentrations de Ténofovir. Les IVR ont ensuite été placés dans des conditions simulant étroitement l'environnement physiologique. Les quantités de Ténofovir libérées ont été mesurées par spectrophotométrie UV. Parmi les combinaisons de siloxanes utilisés, seuls quelques-unes ont montré la libération de quantités de Ténofovir suffisante. Le principe de la mise en forme simultanée de plus d'un médicament, par un IVR à réservoirs multiples, fabriqué par co-extrusion, et moulage suivi sera également décrit.

# Effet des biopolymères sur propriétés viscoélastiques en agroalimentaire – étude par microrhéologie passive

M. Fleury, R. Ramsch, G. Brambilla, P. Bru, G. Meunier

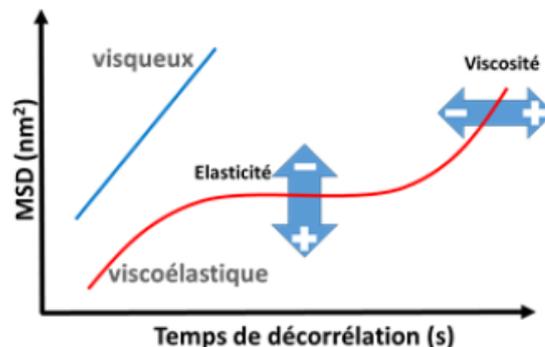
Formulation, 10 impasse Borde Basse, 31240 L'Union, France, roland.ramsch@formulation.com

Email : fleury@formulation.com

**Mots-clé :** Microrhéologie, viscoélastique, point de gel, DWS, synergie

## Résumé :

Ce travail présente la nouvelle technique de microrhéologie passive pour l'étude des propriétés viscoélastiques de la matière molle comme les émulsions ou des dispersions de (bio-)polymères. En microrhéologie passive, le mouvement Brownien ( $\sim k_B T$ ) des particules présentes dans l'échantillon (fibres, particules, etc.) est analysé. Il est directement relié aux propriétés viscoélastiques. La technique utilisée pour déterminer le mouvement des particules est la DWS pour Diffusing Wave Spectroscopy [1]. Cette méthode optique analyse la rétrodiffusion de la lumière en mode dynamique pour donner le Déplacement Quadratique Moyen (MSD) [2]. Ceci est la surface qu'une particule peut parcourir dans un temps de décorrélation donné. Dans le cas d'un échantillon purement visqueux, le MSD augmente linéairement en fonction du temps de décorrélation, car les particules sont entièrement libres de se déplacer (cf. Fick's law). Dans le cas d'un produit viscoélastique, la courbe de MSD possède une autre signature. Aux temps de décorrélation courts, la courbe croît de manière linéaire. La particule est donc libre dans son mouvement. A des temps de décorrélation moyens, la particule explore plus son environnement et sera contrainte par le réseau formé par les particules voisines ou par un réseau polymérique. La particule n'est plus libre de bouger et la surface parcourue n'évolue plus. Ceci se traduit par un plateau. L'élasticité d'un produit est directement reliée à ce plateau. A des temps de décorrélation plus long, la courbe évolue de nouveau, car la particule réussit à bouger de nouveau grâce à des restructurations du réseau. La montée donne une information sur la viscosité macroscopique du produit.



**Figure 1 :** Représentation de courbes de MSD visqueux et viscoélastique.

Ce travail présentera plusieurs exemples d'application de la microrhéologie pour l'étude des propriétés viscoélastiques de dispersions de biopolymères en agroalimentaire, notamment d'un mélange de carraghénane et de gomme de caroube en différentes proportions.

[1] D. A. Weitz, D. J. Pine, in Oxford University Press, 1993, 652

[2] L. Brunel et al., « Adaptive Speckle Imaging Interferometry: a new technique for the analysis of microstructure dynamics, drying processes and coating formation », Optics Express 15, 23 (novembre 12, 2007): 15250-15259J.

# Structuration de nanocomposites polyoléfine/argile lamellaire en extrusion bivaiss corotative : Effet des paramètres d'extrusion

Guillaume Normand, Edith Peuvrel-Disdier, Bruno Vergnes

*MINES ParisTech, PSL Research University, CEMEF - Centre de Mise en Forme des Matériaux, CNRS UMR 7635,*

*CS 10207, rue Claude Daunesse, 06904 Sophia Antipolis Cedex (France)*

*Email : [edith.disdier@mines-paristech.fr](mailto:edith.disdier@mines-paristech.fr)*

**Mots-clé :** Mots-clés: nanocomposite, polypropylène, argile, extrusion, dispersion, rhéologie

**Résumé :** Si la dispersion d'une argile lamellaire dans une matrice polyamide a connu un large engouement avec les travaux de Toyota sur les matériaux argile lamellaire/polyamide [1], la dispersion d'une argile dans une matrice polaire tel qu'un polypropylène même en présence d'agent compatibilisant reste un challenge [2-3]. Dans ce cas, l'état de dispersion de la charge doit être caractérisé à différentes échelles : échelle mésoscopique pour voir les agglomérats mal dispersés (microscopie électronique à balayage) et nanométrique pour voir l'état d'exfoliation de la charge (microscopie électronique en transmission, mais surtout la rhéologie). Différents travaux ont montré la relation entre le comportement rhéologique du nanocomposite en dynamique (mesures dans le domaine de viscoélasticité linéaire) et l'état d'exfoliation de la charge [4].

Une première étude menée sur l'étape de dilution d'un mélange maître par extrusion bi-vis a permis de montrer que l'augmentation de l'énergie mécanique spécifique fournie au matériau au cours de l'extrusion entraîne une amélioration de l'état de dispersion avec une saturation de l'état de dispersion de l'argile au-delà d'une certaine valeur d'énergie [5-6].

Dans le présent travail, les nanocomposites ont été préparés par voie directe en extrusion bi-vis. Nous avons étudié l'effet de la vitesse de rotation des vis sur l'état de dispersion du nanocomposite en sortie de filière, mais aussi sur l'évolution de l'état de dispersion le long du profil de vis. Nous nous sommes plus particulièrement intéressés à l'effet de fortes vitesses de rotation. L'état de dispersion de la charge a été, dans tous les cas, caractérisé à différentes échelles. Les résultats montrent qu'une faible vitesse de rotation permet de disperser l'argile, que l'augmentation de la vitesse permet d'améliorer l'état de dispersion mais que cet effet est limité par la dégradation des chaînes polymères à forte vitesse.

## Références:

- [1] Y. Kojima, A. Usuki, M. Kawasumi, A. Okada, Y. Fukushima, T. Kurauch, O. Kamigaito. *J. Mater. Res.* 1993, 8, 1185-1189.
- [2] M. Kawasumi, N. Hasegawa, M. Kato, A. Usuki, A. Okada. *Macromol.* 1997, 30, 6333-38.
- [3] W. Lertwimolnun, B. Vergnes. *Polymer* 2005; 46, 3462-3471.
- [4] B. Vergnes. *Int. Polym. Proc.* 2011, 26, 229-232.
- [5] T. Domenech, E. Peuvrel-Disdier, B. Vergnes. *Int. Polym. Proc.* 2012, 5, 517-526.
- [6] T. Domenech, E. Peuvrel-Disdier, B. Vergnes. *Compos. Sci. Technol.* 2013, 75, 7-14.

## Remerciements:

Les recherches menant aux présents résultats ont bénéficié d'un soutien financier du septième programme-cadre de l'Union européenne (7ePC/2007-2013) en vertu de la convention de subvention n° 314744.

# Structuration de colloïdes concentrés sous filtration et ultrasons : mécanismes révélés par diffusions de rayons x aux petits angles

Y. Jin<sup>1</sup>, N. Hengl<sup>1</sup>, S. Baup<sup>1</sup>, F. Pignon<sup>1</sup>, N. Gondrexon<sup>1</sup>, A. Magnin<sup>1</sup>, M. Sztucki<sup>2</sup>, T. Narayanan<sup>2</sup>, L. Michot<sup>3</sup>, B. Cabane<sup>4</sup>, G. Gésan-Guiziou<sup>5</sup>, A. Romdhane<sup>6</sup>, A. Guillet<sup>6</sup>, M. Aourousseau<sup>6</sup>, E. Mauret<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Univ. Grenoble Alpes, CNRS, U.J.F. Grenoble I, INP, LRP, UMR 5520, F-38000 Grenoble, France  
Email : pignon@ujf-grenoble.fr

<sup>2</sup>European Synchrotron Radiation Facility, BP220 38043 Grenoble Cedex 9, France;

<sup>3</sup>Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux. PECSA UMR 7195 - CNRS - UPMC – ESPCI, 4 place Jussieu, case courrier 51 75005 Paris Cedex 5, France;

<sup>4</sup>Laboratoire PMMH, ESPCI, 10 Rue Vauquelin, 75231 Paris Cedex 5, France;

<sup>5</sup>INRA AGROCAMPUS OUEST UMR1253 STLO Science et technologie du lait et de l'œuf  
65 rue de Saint-Brieuc - 35042 Rennes Cedex

<sup>6</sup>Univ. Grenoble Alpes, CNRS, LGP2, F-38000 Grenoble, France

**Mots-clés** : ultrafiltration, ultrasons, SAXS, colloïdes, micelles de caséine, nanocristaux amidons, cellulose, bioraffinerie, lait

**Résumé** : Lors de l'ultrafiltration tangentielle les particules colloïdales traitées sont soumises à la fois à un gradient de vitesse de cisaillement et à des forces de pression qui les amènent à se structurer en couches concentrées à la surface de la membrane. Des phénomènes de gradients de concentration, d'organisations (orientations, agrégations) et de changements de phases ainsi que les changements des propriétés rhéologiques associés, sont à l'origine de la réduction des performances du procédé. Afin de maîtriser cette accumulation une nouvelle méthode d'intensification par ultrasons a été développée pour apporter simultanément aux champs de pression et de cisaillement, une agitation locale. Des cellules originales de filtration ont été développées autorisant l'observation *in-situ* aux échelles nanométriques par diffusion de rayons X aux petits angles (SAXS). Les évolutions temporelles de la structure et de la concentration en colloïdes ont ainsi été caractérisées sous différentes conditions de filtration et de sollicitations ultrasonores.

Le but de ce travail a été de comprendre l'influence de la nature des colloïdes filtrés, sur les différents mécanismes associés à leur structuration sous filtration et ultrasons en lien avec les évolutions temporelles des flux de perméation. Différentes formes, tailles et types d'interactions colloïdales (attractives, répulsives) ont été étudiées ainsi que leur rhéologie (dispersions modèles d'argiles de Laponite [1, 2], de montmorillonite [3], micelles de caséines [4] pour l'agro-alimentaire et nanocristaux d'amidon et de cellulose [5] pour la bioraffinerie). Grâce à l'observation locale par SAXS, il a été montré que l'application des ondes ultrasonores augmente les gains en flux de perméation d'un facteur 2 à 15 suivant les colloïdes traités. Deux mécanismes principaux ont été mis en évidence : soit un mécanisme d'érosion des couches concentrées pour des colloïdes assemblés en structures ouvertes en forte interactions attractives, soit un mécanisme de fracturation lorsque les colloïdes forment un réseau dense très anisotrope.

- [1] Pignon F. *et al.*, "In-situ characterization by SAXS of concentration polarization layers during cross-flow ultrafiltration of Laponite dispersions", *Langmuir*, 28, 1083-1094 (2012).
- [2] Jin Y. *et al.* "Effects of ultrasound on colloidal organization at nanometer length scale during cross-flow ultrafiltration probed by *in-situ* SAXS", *Journal of Membrane Science*, 453, 624-635 (2014).
- [3] Hengl N. *et al.* "A new way to apply ultrasound in cross-flow ultrafiltration: application to colloidal suspensions", *Ultrasonics Sonochemistry*, 21, 1018-1025, (2013).
- [4] Jin Y. *et al.* "Effects of ultrasound on cross-flow ultrafiltration of skim milk: characterization from macro-scale to nano-scale", *Journal of Membrane Science*, accepted for publication (2014).
- [5] Jin Y. *et al.* "Ultrasonic assisted cross-flow ultrafiltration of starch and cellulose nanocrystals suspensions: characterization at multi-scales", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, under revision (2014).

# Un Modèle Couplé pour l'Evolution de Produits Liquides Alimentaires sous Traitement Thermique Continu

A. Plana-Fattori, F. Ducept, C. Doursat, D. Flick, C. Michon et S. Mezdour

1) *AgroParisTech, UMR1145 Ingénierie Procédés Aliments*

2) *INRA, UMR1145 Ingénierie Procédés Aliments*

3) *CNAM, UMR1145 Ingénierie Procédés Aliments*

Email : [artemio.planafattori@agroparistech.fr](mailto:artemio.planafattori@agroparistech.fr)

**Mots-clé :** Modélisation multi-physique, traitement thermique continu, transformation de produit liquide alimentaire, suspension d'amidon

**Résumé :** Les produits alimentaires de type crèmes dessert forment des systèmes complexes structurés par un ensemble d'ingrédients tels que le lait (protéines, matière grasse) et des agents épaississants et gélifiants (amidon et carraghénanes). Tous les éléments présents interagissent et contribuent à la texture du produit au cours de sa préparation, sa conservation et sa consommation.

La maîtrise de la fabrication, qui passe par une ou plusieurs opérations de mélange couplées à un traitement thermique (chauffage et refroidissement), nécessite de comprendre les mécanismes mis en jeu lors de la structuration. Cela implique d'intégrer (i) des connaissances relatives aux caractéristiques physico-chimiques des matières premières concernant leur évolution au cours de la transformation, (ii) de formuler des matrices alimentaires, et (iii) d'adopter une approche systémique de modélisation. La modélisation physique constitue un outil important dans la définition des produits, traitements et équipements, puisqu'elle met en évidence des processus à des échelles non accessibles par l'observation.

L'objectif de ce travail est de proposer un modèle déterministe qui couple les phénomènes d'écoulement, de transfert de chaleur et de transformation au long d'un échangeur thermique. Dans le but de développer un modèle générique, des matrices modèles simples d'abord (dispersions d'amidon dans l'eau ensuite dans le lait) puis de complexité croissante sont soumises à différentes histoires thermiques, conduisant à différents comportements rhéologiques.

La viscosité apparente du produit est représentée comme fonction du taux de cisaillement et de la fraction volumique des particules en suspension, dont le diamètre moyen est estimé par une équation cinétique. Les paramètres de cette dernière sont déterminés à partir de l'étude, en laboratoire, de l'évolution du produit sous différents traitements thermiques. Enfin, les prédictions du modèle sont confrontées à des observations de l'état de transformation du produit après qu'il a été soumis à un traitement thermique continu en échangeur tubulaire à l'échelle pilote.

# Déplacement et stabilité de cônes dans un fluide à seuil

F. Ahonguio, L. Jossic et A. Magnin

*Laboratoire de Rhéologie et Procédés, Université de Grenoble*

*Email : [laurent.jossic@grenoble-inp.fr](mailto:laurent.jossic@grenoble-inp.fr)*

**Mots-clé** : fluide à seuil, cône, force de traînée, zones rigides et cisillées, profils de vitesse

**Résumé** : L'étude expérimentale présentée porte sur l'écoulement rampant d'un fluide à seuil rhéofluidifiant autour d'un objet conique. L'écoulement est analysé en régime permanent avec des parois rugueuses pour éviter tout glissement aux parois de l'objet. L'évolution du coefficient de traînée est analysée au regard du nombre d'Oldroyd, rapport des effets plastiques aux effets visqueux, pour différents maître-couples et angles au sommet du cône. Des corrélations sont proposées pour modéliser cette évolution en fonction de ces différents paramètres. Les valeurs asymptotiques du coefficient de traînée obtenues à vitesse quasi-nulle, permettent de proposer un critère de stabilité i.e. la contrainte seuil minimale nécessaire pour maintenir un objet donné en suspension. Cette analyse fournit une nouvelle alternative pour la mesure de la contrainte seuil. Par ailleurs, les champs cinématiques dans le proche voisinage de l'obstacle ont également été analysés à l'aide de la technique de PIV. Ils permettent de décrire l'étendue et la forme des zones rigides et cisillées en fonction de l'angle au sommet du cône. Ces mesures mettent en évidence l'existence d'un angle au sommet critique au-dessus duquel une zone rigide statique apparaît sur la surface latérale du cône. A partir des profils de vitesses, il est possible d'estimer les contraintes de cisaillement à la surface de l'obstacle et ainsi chiffrer les contributions respectives de la surface latérale et du maître-couple dans la force de traînée.

# Etude rhéologique de suspensions aqueuses de boehmite

C. Gallois, E. Lécolier, L. Rouleau, P. Gateau et P. Levitz

*IFP Energies nouvelles, Laboratoire PHENIX*

Email : [eric.lecolier@ifpen.fr](mailto:eric.lecolier@ifpen.fr), [charlotte.gallois@ifpen.fr](mailto:charlotte.gallois@ifpen.fr)

Souhait : Communication par affiche

**Mots-clé** : Boehmite, viscosité, gélification

**Résumé** : La boehmite est souvent utilisée comme précurseur pour les supports de divers types de catalyseurs. Après synthèse, les suspensions de boehmite, de formule chimique  $(\text{AlOOH})\cdot n\text{H}_2\text{O}$ , se présentent sous la forme de fluides plus ou moins concentrés. La boehmite se compose de particules anisotropes portant une charge électrique. Les suspensions de telles particules colloïdales ont un comportement rhéologique complexe marqué par des phénomènes de gélification, de thixotropie par exemple, dont les origines restent à comprendre. Parmi les procédés industriels permettant de produire des supports de catalyseur, figure le séchage par atomisation. La qualité des poudres obtenues dépend non seulement des conditions opératoires de séchage mais également des propriétés physico-chimiques et rhéologiques des suspensions de boehmite. La connaissance des propriétés rhéologiques est donc primordiale. Dans cet article, nous décrivons une étude menée sur l'évolution des propriétés rhéologiques de suspensions de boehmite lorsque l'on fait varier la fraction volumique en solide et la force ionique du milieu. Les mesures ont été réalisées avec un rhéomètre rotatif équipé d'une géométrie cône-plan. Des mesures de viscosité, de seuil d'écoulement ainsi que de modules élastique et visqueux ont été réalisées pour différentes valeurs de fractions volumiques et de concentrations en sels. Nous avons ainsi observé une divergence de la viscosité pour des fractions volumiques faibles (de l'ordre de quelques pourcents). La modélisation des différentes données rhéologiques a permis de localiser une transition de type liquide-gel en fonction des paramètres étudiés. Parallèlement, des mesures de diffusion dynamique de lumière ainsi que des observations en microscopie électronique à transmission ont été réalisées pour déterminer le rayon hydrodynamique et la forme des particules de boehmite.

# Elaboration et caractérisation rhéologique d'un matériau hybride magnétique

M. Bencharki , B.Blottière\*

*Université de Lyon, IMP@UJM St-Étienne, CNRS UMR 5223, Faculté des Sciences et Techniques, Université Jean-Monnet, 23 rue du docteur Paul Michelon, 42023 St-Étienne  
cédex 2, France*

*Email : [benoit.blottiere@univ-st-etienne.fr](mailto:benoit.blottiere@univ-st-etienne.fr)*

**Mots-clé** : Matériaux hybrides, micro- nano charges magnétiques, dispersion, mélangeage, rhéologie

**Résumé** : Nous présentons l'étude de l'élaboration d'un matériau hybride composé d'une matrice de PMMA dans laquelle sont dispersées des charges magnétiques via plusieurs techniques : par voie fondue en mélangeur interne pour des charges magnétiques de taille micrométrique et par voies combinées solvant puis fondue en mini-extreuse pour des agglomérats de taille micrométrique de charges magnétiques nanométriques. Deux résines de PMMA ayant des viscosités différentes sont utilisées afin d'évaluer l'influence des paramètres rhéologiques sur la dispersion des particules. Cette analyse rhéologique est couplée à des observations de MEB. Des caractérisations en DSC sont menées afin d'évaluer l'impact potentiel de la dispersion des particules magnétiques sur la  $T_g$  du polymère en fonction de la composition du mélange polymère-charges magnétiques. La  $T_g$  semble ne pas être modifiée jusqu'à des compositions de mélange de 50/50 en fraction massique.

# Etude expérimentale de la formation des biofilms sous conditions hydrodynamiques contrôlées

MEDEIROS A<sup>a,b</sup>, HUANG Z<sup>a</sup>, SECHET P<sup>a</sup>, PIGNON F<sup>b</sup>, MARTINS J.M.F.<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Laboratoire des Ecoulements Géophysiques et Industriels, UMR5519  
1023-1025 rue de la piscine, Domaine Universitaire, BP53, F-38041 Grenoble Cedex

<sup>b</sup>Laboratoire Rhéologie et Procédés, UMR5520  
1301 rue de la Piscine, Domaine Universitaire, BP53, F-38041 Grenoble Cedex

<sup>c</sup>Laboratoire des Transferts en Hydrologie et Environnement, UMR5564 CNRS/UJF/G-INP/IRD  
460, rue de la piscine, Domaine Universitaire, BP53, F-38041 Grenoble Cedex

**Mots-clés :** croissance du biofilm, microstructure, milieux poreux, hydrodynamique, contrainte de cisaillement

**Résumé :** Une étude expérimentale de l'influence de l'écoulement sur la formation et la structure des biofilms a été effectuée sur une souche bactérienne *Pseudomonas putida* DSM 6521. Les biofilms sont développés dans une micro cellule d'écoulement de type Hele-Shaw soumis à 2 débits différents, 25 et 1000  $\mu\text{l}/\text{min}$ . Le milieu de culture qui circule sur la micro cellule est composé d'extraits de levure et de chlorure de sodium. Les biofilms sont marqués avec des fluorochromes (SYTO9 et le Propidium Iodide (PI)) et observés à l'aide d'un microscope confocal de fluorescence permettant l'acquisition de coupes transversales selon l'axe vertical Z. L'évaluation de la structure du biofilm a été réalisée à l'aide de la reconstruction tridimensionnelle du biofilm à partir des images obtenues par le microscope ou par l'analyse de certains paramètres structurels dans chaque coupe transversale. Un soin particulier a été apporté à la caractérisation de l'état initial de la colonisation de la chambre d'écoulement avant croissance du biofilm afin de pouvoir caractériser la variabilité statistique et la reproductibilité des expériences. Nos résultats montrent que la structure du biofilm s'organise en fonction de l'écoulement local. Aux plus faibles débits d'écoulement imposés, le taux de croissance est réduit et un biofilm épais mais peu compact, présentant des structures filamenteuses, est formé. A plus fort débit une hétérogénéité spatiale du biofilm apparaît, les filaments s'organisant dans l'espace pour donner des agrégats de bactéries en zones de différentes densités (Figure 1).

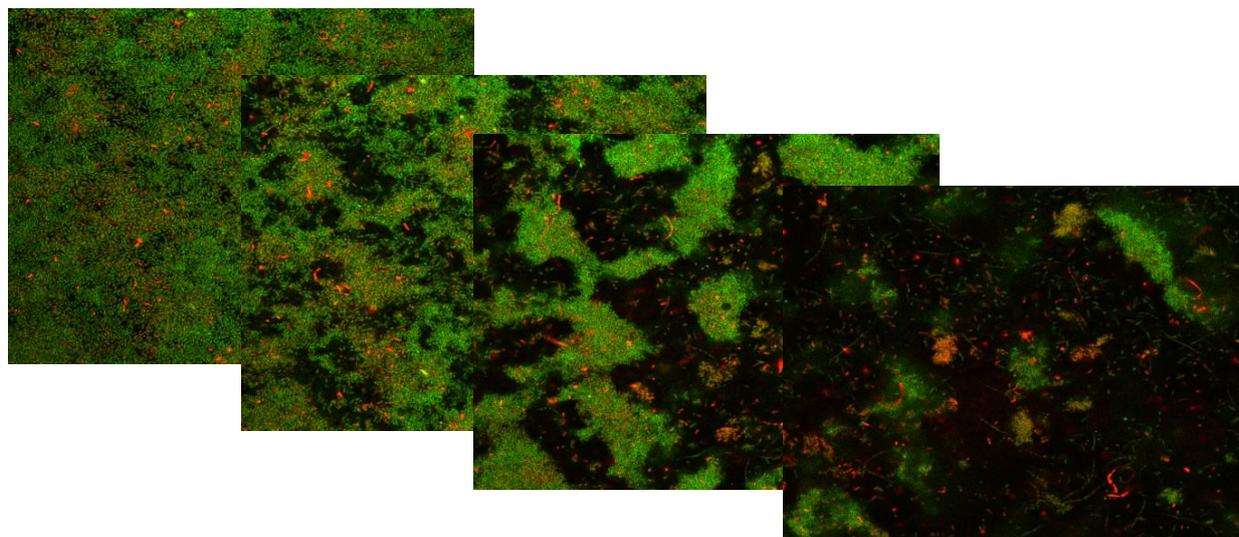


Figure 1 : Biofilm développé à fort débit (200 $\mu\text{l}/\text{min}$ ) et analysé à l'aide d'un microscope confocal de fluorescence en présence de marqueurs fluorescents SYTO9 et de Propidium Iodide.

# Effet des propriétés rhéologiques des solutions de silicate sur la fabrication de matériaux basse température

L.Vidal<sup>1,2,3</sup>, E. Joussein<sup>4</sup>, J. Absi<sup>3</sup> et S. Rossignol<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Science des Procédés Céramiques et Traitements de Surface (SPCTS)  
UMR 7315 CNRS, Université de Limoges

<sup>2</sup>Ecole Nationale Supérieure de Céramique Industrielle (ENSCI)

<sup>3</sup>Groupe d'Etude des Matériaux Hétérogènes (GEMH)

<sup>4</sup>Université de Limoges, GRESE EA 4330

Email : [sylvie.rossignol@unilim.fr](mailto:sylvie.rossignol@unilim.fr)

Souhait : Communication par affiche

**Mots-clé** : Solution de silicate alcalin, Tension de surface, Mouillabilité

**Résumé** : Les solutions de silicate alcalin sont utilisées pour la formulation de géopolymère ainsi que pour la consolidation de sable notamment dans le domaine de la protection électrique. En effet, l'industrie des fusibles est en constante amélioration pour diminuer les coûts ainsi que l'impact environnemental. Dans ce contexte, la fabrication de matériaux basse température représente une excellente alternative. La consolidation de sable par une solution alcaline ou la fabrication de géopolymères impliquent la connaissance des propriétés de ces solutions et notamment des propriétés rhéologiques. Ces connaissances permettent une meilleure compréhension des interactions entre la solution alcaline et le sable ou le métakaolin. Le comportement rhéologique de différentes solutions a été étudié à partir de mesures de tension de surface, ainsi que de mesures de mouillabilité sur du sable ou du métakaolin.

Les mesures de tension de surface ont permis de différencier les solutions et de mettre en évidence l'effet du traitement micro-ondes ou de l'ajout de molybdate d'ammonium aux solutions. De même, les mesures de mouillabilité sur du sable ou du métakaolin ont permis de montrer les différentes interactions entre les solutions et ces matériaux. De plus, il a également été montré que le traitement par micro-ondes de la solution ou du sable et l'ajout de molybdate d'ammonium présente un effet sur les mesures de mouillabilité.