ABSTRACT BOOK

DISCOVER the **RHEOMETER** with the...

Sensitivity • Ease-of-use • Versatility



TO ADDRESS THE MOST DEMANDING APPLICATIONS



Discovery Core







Discovery Hybrid Rheometers



Discovery ARES-G3

Waters™

tainstruments.com

COMMUNICATIONS ORALES

Impact du séchage et du broyage sur le comportement rhéologique de suspensions de poudres de gombo

Fatma ORUC[1], Adeline MERIAUX[1], Benjamin PATÉ[1], Laura GAILLY[1], Idriss MIGANEH WAISS[2], Jennifer BURGAIN[1] et **Jérémy PETIT[1,*]**

[1] *LIBio (Laboratoire d'Ingénierie des Biomolécules), Université de Lorraine, France.*

[2] *Institut des Recherches Médicinales, Centre d'Études et de Recherche de Djibouti, Djibouti.*

* jeremy.petit@univ-lorraine.fr SOUHAIT : **Communication orale**

RESUME

Le gombo est un légume tropical apprécié dans de nombreuses recettes pour son pouvoir unique de texturation dû à sa forte teneur en mucilage : il donne aux sauces et aux soupes une consistance visqueuse et filante. Le séchage et la transformation en poudre du gombo permettraient une longue conservation, ce qui permettrait de diminuer les pertes post-récolte et de contribuer au développement des filières maraîchères et agroalimentaires tropicales par la transformation en ingrédient alimentaire à haute valeur ajoutée. Or, un échauffement trop intense serait susceptible de dégrader le mucilage et de faire perdre une partie du pouvoir viscosant du gombo, il est donc nécessaire de choisir judicieusement les conditions de séchage et broyage.

La présente étude a ainsi eu pour objectif d'optimiser les conditions de séchage à air convecté (entre 30 et 90 °C) et de broyage ultracentrifuge. La température de séchage a eu la plus grande influence : délétère sur les propriétés rhéologiques de suspensions et d'extraits de mucilage de gombo, favorable pour la conservation et pour l'aptitude à l'écoulement de la poudre de gombo. À température de séchage plus élevée, les particules obtenues sont plus petites, plus régulières et ont une plus faible teneur en eau. À plus grande fréquence de broyage, les particules étaient également plus petites et de forme plus régulière, sans impact notable sur la viscosité du gombo reconstitué.

Le meilleur compromis entre préservation des propriétés rhéologiques du mucilage et déshydratation suffisante à des fins de conservation a été obtenu avec une température de séchage de 46,6 °C. La diffusivité effective de l'eau au cours du séchage [1] a été déterminée pour tous les essais réalisés, ce qui a permis d'évaluer l'énergie d'activation avec l'équation d'Arrhenius à 44,01 ± 2,25 kJ.mol^{-1} en accord avec la littérature [2]. Une fréquence de broyage intermédiaire a été jugée optimale pour limiter l'échauffement du gombo et obtenir des particules suffisamment fines pour favoriser la solubilisation des molécules actives. Le comportement rhéologique des extraits de gombo reconstitué s'est avéré suivre un modèle de Cross rhéofluidifiant. Après un séchage à 30 °C, un meilleur pouvoir viscosant a même été obtenu qu'avec l'extrait obtenu à partir de gombo frais.

MOTS-CLES

Gombo, séchage, broyage, poudre, viscosité.

RÉFÉRENCES

[1] Lopez, A., Iguaz ,A., Esnoz ,A., and Virseda, P., 2000. Thin-Layer *Drying Behaviour of Vegetable Wastes from Wholesale Market.* Drying Technology 18, 995–1006.
https://doi.org/10.1080/07373930008917749
[2] Doymaz, İ., 2005. *Drying characteristics and kinetics of okra.* Journal of Food Engineering 69, 275–279. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.08.019

Rhéologie de poudres cohésives modèle

Thibus METOLI [1], Adrien GANS[2] et Sébastien KIESGEN DE RICHTER[3]

Université de Lorraine, CNRS, LEMTA, F-54000 Nancy

thibus-senamy-mario.metoli@univ-lorraine.fr

RESUME

Les poudres cohésives sont largement utilisées dans les industries pharmaceutique et agroalimentaire. Leur comportement à l'écoulement dépend de nombreux paramètres et varie constamment sous l'influence de l'humidité et de la température, ce qui constitue un enjeu industriel majeur [1].

Afin de caractériser ce comportement, nous utilisons un dispositif de plan incliné motorisé. La méthode développée par Gans et al. [2] consiste à mesurer l'angle de démarrage θ, c'est-à-dire l'angle auquel la poudre commence à s'écouler, pour différentes hauteurs de remplissage h. En traçant), on obtient une droite dont l'ordonnée à l'origine donne la longueur cohésive et la pente donne le coefficient de friction statique (Figure 1). Le dispositif a été calibré à l'aide de billes modèles, de longueur cohésive et de coefficient de friction statique connues. Cette méthode est ensuite appliquée à quatre poudres de lactose de la société Meggle : GranuLac® 200, GranuLac® 140, InhaLac® 230 et FlowLac® 100, de 30 % à 65 % d'humidité relative à 23°C. La teneur en eau absorbée est mesurée par sorption dynamique de vapeur d'eau (DVS).

La Figure 2 montre que ni l_c ni μ_s ne varient significativement avec l'humidité relative pour chaque poudre individuellement, dans la plage étudiée. Cependant, les quatre poudres présentent des comportements très différents entre elles, montrant que l'humidité relative seule ne suffit pas à décrire leur comportement rhéologique.

Les isothermes DVS (Figure 3) révèlent que chaque poudre absorbe une quantité d'eau différente à une même humidité relative. Le FlowLac® 100 présente un pic d'absorption autour de 40–45 %, associé à la transition amorphe-cristalline du lactose, également détectée par notre dispositif via une chute du coefficient de friction à 40 %.

Perspectives

Un modèle physique unifié reliant RH est en cours de développement, incluant la mesure de l'angle de contact

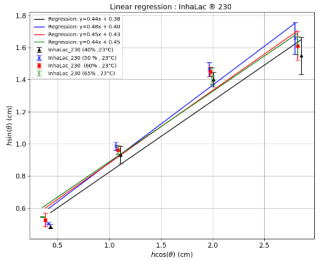


Figure 1 : Mesure de l_c et μ avec le dispositif du plan incliné pour l'InhaLac® 230.

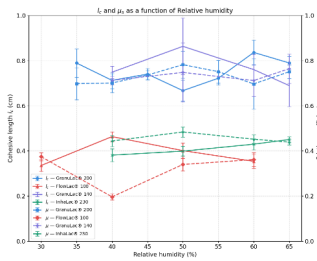


Figure 2 : l_c et μ_s en fonction de l'humidité relative pour les quatre poudres de lactose étudiées.

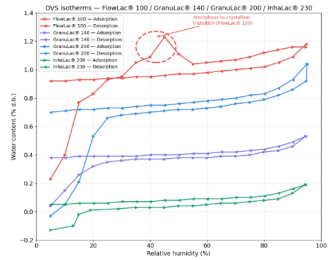


Figure 3 : Isothermes DVS pour les quatre poudres de lactose étudiées à 23°C.

MOTS-CLES : Rhéologie; Poudres cohésives

RÉFÉRENCES

[1] G. Lumay, K. Traina, F. Boschini et al., Effect of Relative Air Humidity on the Flowability of Lactose Powders, Journal of Drug Delivery Science and Technology 35, 207-212 (2016). doi:10.1016/j.jddst.2016.04.007

[2] A. Gans et al., Cohesion-Controlled Granular Material, Physical Review E 101(3), 032904 (2020). doi:10.1103/PhysRevE.101.032904

Chargement triboélectrique d'une poudre emportée par un flux d'air

Thomas GEMINE[1], Simon DEHARENG[2], Thomas ANDRIANNE[2], **Geoffroy Lumay[1]**

[1]Laboratoire GRASP, unité de recherche CESAM, Université de Liège, Belgique
[2]Laboratoire d'aéroélasticité et d'aérodynamique expérimentale, Université de Liège, Belgique

Geoffroy.Lumay@ULiege.be

SOUHAIT : Communication Orale

RESUME

Lors du contact entre deux objets, un échange de charges électriques, appelé effet triboélectrique, se produit couramment dans les systèmes naturels comme industriels. Dans les matériaux granulaires, où d'innombrables collisions se produisent, cet effet devient significatif et peut entraîner adhésion, agrégation, voire des décharges électriques susceptibles de provoquer des explosions. Malgré son omniprésence, l'effet triboélectrique reste mal compris, et les données expérimentales sont essentielles pour faire progresser les modèles et les théories.

Dans cette présentation, nous étudions l'effet triboélectrique dans des matériaux granulaires transportés par un écoulement d'air. À l'aide d'une soufflerie miniature réalisée sur mesure en impression 3D, nous examinons systématiquement l'influence du type de matériau, de la taille des particules, de la masse, de la vitesse de l'écoulement et de la turbulence de l'air sur la charge triboélectrique. De plus, la distribution spatiale de la charge générée est cartographiée. Le mouvement des grains est également enregistré avec une caméra rapide, ce qui permet de corréler la charge triboélectrique avec la dynamique des particules lors du transport et des impacts. Nous montrons que l'amplitude et la polarité de la charge triboélectrique dépendent fortement de ces paramètres, en particulier des caractéristiques de la turbulence de l'écoulement.

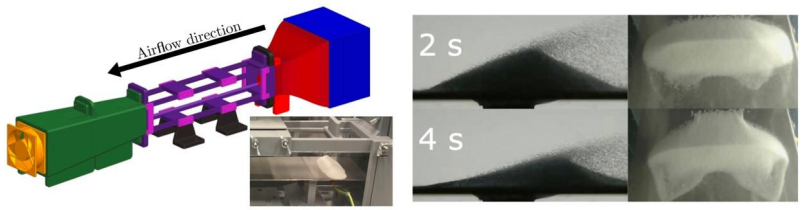


Fig. 1. Schéma de la soufflerie et photo d'un tas de poudre emporté par le flux d'air. La charge électrostatique des grains transportés est ensuite mesurée.

MOTS-CLES (5 maximum)

Matériaux granulaires, charges triboélectriques, transport pneumatique, turbulence.

RÉFÉRENCES

T. Gemine, S. Dehareng, T. Andrianne et G. Lumay, *Influence of turbulence on the triboelectric charging of granular materials carried by an airflow*, Phys. Rev. E **113**, 045415 (2026)

Effect of Vibration on the μ(I)-Rheology of Dry Granular Media

Sokaina Mozannar[1,2], Rudy Valette[1], Romain Castellani[1] and Michael Lech[2]

[1]*Mines Paris, PSL University, France*

[2]*Stellantis, France*

sokaina.mozannar@minesparis.psl.eu

PREFERENCE: **Oral Presentation**

RESUME

The quality of parts produced in industry, notably in the lost-foam casting process, strongly depends on the rheology and flow of sand around the mold. Understanding how grains fluidize with vibration in the resulting thin granular layers and fill complex geometries requires a detailed investigation of frictional behaviour (Figure). In our experimental work, we perform characterizations using a well-known rheometric flow on an inclined plane, adding vibrations through actuators. Free surface flow of grains driven by gravity, without any slippage at the base, ensures a proper, regular flow [1]. Two samples of industrial grains, differing mainly in their particle smoothness, were considered, with vibration introduced in both vertical and horizontal modes, and varying the vibration frequency (f) and amplitude (A) [2]. We show that the dimensionless acceleration, Γ = ρ d3 A (2πf)2/(P d2), where d is the grain diameter, ρ is the grain density, and P is the normal stress, is the key factor of grain fluidization, as it links the acceleration force with the confinement force. One of the important measurements we focused on is the basal layer thickness, and how it is influenced by the energy of vibration supplied to the system. By plotting the friction coefficient μ with respect to the inertial number I, I2 = ˙γ2 d2 ρ/P, where ˙γ is the shear rate, we obtained a lower static friction μs for accelerations equal to or larger than one, indicating that to suppress contact between grains, the acceleration force should be equal to or greater than the confining force. This analysis, with this new setup, helps us predict the critical acceleration above where the static frictional coefficient μs of the grains is negligible, and thus granular flows occur.

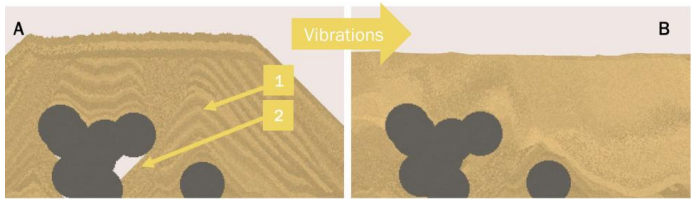


Fig. 1. Figure: Schematic diagram of a grain stacking process (filled from the top) around a complex shape, before (A) and after (B) imposing vibrations. Illustration of structuration (1) and filling defects (2). Drawn using Sandspiel.

REFERENCES

[1] GDR MiDi, "On dense granular flows," European Physical Journal E, vol. 14, pp. 341–365, 2004.

[2] A. H. Clark, E. E. Brodsky, H. J. Nasrin, and S. E. Taylor, "Frictional weakening of vibrated granular flows," Physical Review Letters, vol. 130, no. 11, p. 118201, 2023.

EFFECTS OF PARTICLE SHAPE NONCONVEXITY ON THE QUASI-STATIC RHEOLOGY OF GRANULAR MATERIALS

Auwal ALHASSAN MUSA[1*], Saeid NEZAMABADI[1] and Farhang RADJAI[1]

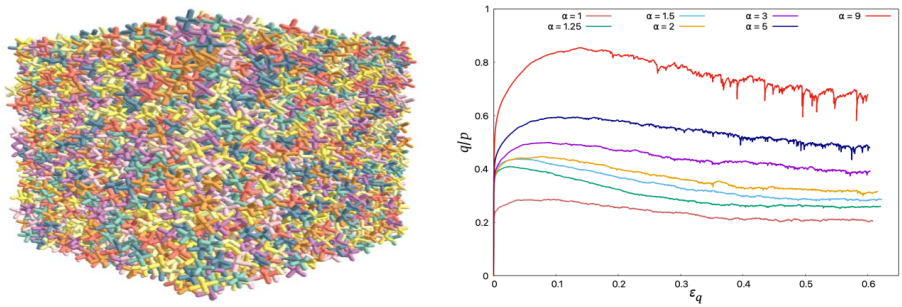
[1] **Laboratoire de Mécanique et Génie Civil (LMGC), CNRS, Université de Montpellier**

* alhassan-musa.auwal@umontpellier.fr

PREFERENCE: Oral

Abstract

Particle shape plays a critical role in the rheology of granular materials. In particular, shape nonconvexity enhances geometrical interlocking and is expected to increase shear strength [1]. It has even been suggested that such assemblies may show a "geometrical cohesion" due to entanglement [2]. In this work, we use DEM simulations to investigate assemblies of hexapod-shaped particles with aspect ratios α ranging from 1 to 9; see Fig. 1(a). The samples prepared by isotropic compaction under fully periodic boundary conditions are subjected to triaxial shearing until a steady shear state (critical state) is reached. We show that the shear strength, both in the critical and peak states, increases monotonically with shape nonconvexity (see Fig. 1(b)) while the packing fraction is a nonmonotonic function. Using Mohr-Coulomb analysis, we find that even for high shape nonconvexity, the samples exhibit no geometric cohesion, and the increase in shear strength can be consistently explained by an increase in the internal friction coefficient. We also analyze the microstructure and the origins of the nonmonotonic variation of the packing fraction with shape aspect ratio.



(a) (b)

Fig. 1: (a) A snapshot of a packing of hexapods with aspect ratio α = 5; (b) Shear stress q normalized by confining pressure p as a function of cumulative strain ε_q for hexapod assemblies with varying aspect ratio α.

Keywords: Granular materials, shear strength, geometrical cohesion, shape non-convexity, Discrete Element Method

References

1. Trieu-Duy Tran, Saeid Nezamabadi, Jean-Philippe Bayle, Lhassan Amarsid, Farhang Radjai, *Effect of interlocking on the compressive strength of agglomerates composed of cohesive nonconvex particles*, Advanced Powder Technology 36, (2) 2025, 104780, https://doi.org/10.1016/j.apt.2025.104780
2. Jaeger, Heinrich M. *Celebrating soft matter's 10th anniversary: Toward jamming by design*. *Soft matter* 11.1 (2015): 12-27 10.1039/C4SM01923G

Frictional Dynamics and Ageing at Silica Interfaces

Arthur FRUH[1,2], Bruno BRESSON[1], Lola CIAPA[2], Nicolas SANSON[1] et Jean COMTET[1]

[1]*Soft Matter Science and Engineering Laboratory (SIMM), ESPCI Paris – PSL, Université PSL, Sorbonne Université, CNRS, France*
[2] *Saint-Gobain Recherche Paris, France*

arthur.fruh@espci.fr

PREFERENCE: **Oral**

RESUME

Cementitious suspensions, as well as emerging alternative composed of low-CO_2 binders exhibit complex rheology, whose control is key to their processing and performance. These materials can be modeled as dense suspensions of grains, where local mechanical interactions- such as adhesion and friction - play a central role in the macroscopic rheological behavior. What drives these local interactions and how do they relate to material formulation remains however poorly understood, due in particular to the peculiar conditions set by the high molarity and alkalinity of the aqueous solution, leading to reactivity and non-standard interactions.

In this study, we investigate the properties of aqueous silica suspensions as a model system for cement paste. We combine rotating-drum measurements at the suspension scale with Atomic Force Microscopy (AFM) at the single-contact scale to relate local interfacial mechanics to macroscopic flow behavior under physicochemical conditions approaching that of cement. At the nanoscale, our measurements reveal complex interactions between grains. At low ionic strength, dynamic friction follows a stress-activated transition from electrostatically stabilized interactions to Coulomb-like friction. Through slide-hold-slide protocols, we further unveil the presence of significant ageing when particles are put into contact, which we attribute to chemical bridging by interfacial siloxane condensation. Quantitatively, the stiction overshoot increases as the logarithm of the contact time, grows sub-linearly with contact force and shows significant dependence on ionic strength, ionic type and pH, highlighting the complex microscopic processes at play during contact strengthening. Remarkably, these local interactions have macroscopic consequences, as rotating drum experiments reveal similar ageing laws and physicochemical dependence at the scale of the suspension. These results provide key insights into the reactivity of surfaces in aqueous media, and their macroscopic effects on suspension dynamics, of key relevance for our understanding of cementitious materials.

KEYWORDS (maximum 5)

Tribology, atomic force microscopy, rotating-drum, ageing.

REFERENCES

J. Comtet et al., Pairwise frictional profile between particles determines discontinuous shear thickening transition in non-colloidal suspensions. Nat Commun, 2017.

F. Bonacci et al., Contact and macroscopic ageing in colloidal suspensions. Nat. Mater., 2020.

Q. Li et al. Frictional ageing from interfacial bonding and the origins of rate and state friction. Nature, 2011.

C. Clavaud et al., Revealing the frictional transition in shear-thickening suspensions, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 2017.

hydrogels doped with organogel inclusions: gelification dynamics and hardening

Alexy BRUNEL[1,2], Florian SCHOLKOPF[1], Ludovic PAQUIN[2], Fabienne GAUFFRE[2], Véronique VIE[1] and Arnaud SAINT-JALMES[1]

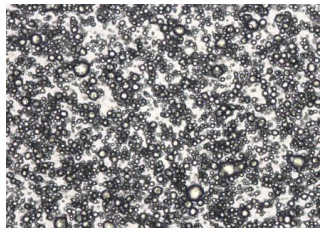
[1]Institut de Physique de Rennes, France
[2]Institut des Sciences Chimiques de Rennes, France

arnaud.saint-jalmes@univ-rennes.fr

PREFERENCE: **Oral Presentation**

RESUME

Hydrogels are widely present in food products, especially because of their soft and pleasant textures. Still as a food sample, hydrogels can also include medical purposes, in particular for helping dysphagic patients to get hydrated. To go beyond hydration issues and to add some nutritional values to dysphagia-oriented hydrogels, new composite hydrogels are under investigation. Here we present results on the design and rheological properties of soft hydrogels doped with different types of inclusions. Polysaccharides (iota-carrageenan) are used as hydro-gelators in the aqueous phase to produce the main hydrogel, in which we succeeded to disperse various inclusions in the liquid state at high temperature. These inclusions are either liquid oil droplets, oil droplets containing an organo-gelator to create organogel inclusions under cooling, or solid particles. Under cooling, we investigate the impact of these liquid, organogel and rigid inclusions on the gelification dynamics and on the mechanical properties, as a function of the volume fraction of inclusions and of the concentrations of hydro- and organo-gelator (setting both the softness of the hydrogel and organogel). We show that there are ranges of concentrations where the inclusions are able to strongly reinforce the hydrogel. This hardening effect is bigger than what can be predicted considering only the volume fraction. We also show that the gelification temperature of the hydrogel is increased by the presence of the inclusions, and that small elasticities can already be monitored well above this gelification temperature. These unexpected features are explained by considering some interaction and adsorption of the hydro-and organo-gelators at the surface of the inclusions, and confirmed by measurements at the scale of a single inclusion and interfacial measurements.



After cooling, the organo-gelator (octadecanol) has gelified oil inclusions, which are dispersed within the aqueous phase, itself gelified by the hydro-gelator (iota-carrageenan). The red bar is 50 microns.

KEYWORDS

hydrogel, organogel, dispersion, gelification, hardening

Des interactions à l'échelle nanométrique aux signatures rhéologiques : une approche multi-échelle de l'adhésion de LGG en milieu liquide

Simon BINDER[1], Nicolas LOUVET[2], Claire GAIANI[1,3] et Jennifer BURGAIN[1]

[1]*Laboratoire d'Ingénierie des Biomolécules, ENSAIA, France*

[2]*Laboratoire Énergies & Mécanique Théorique et Appliquée, ENSEM, France*

[3]*Institut Universitaire de France, France*

Contact : simon.binder@univ-lorraine.fr

SOUHAIT : Communication Orale

RESUME

La mucoadhésion, définie comme la capacité d'une molécule ou particule à adhérer aux muqueuses, constitue un enjeu majeur en microbiologie et en formulation pharmaceutique. Son évaluation repose classiquement sur des approches *in vitro*, *ex vivo* et *in vivo*, souvent complexes et peu adaptées aux études préliminaires ou aux criblages à haut débit (Bayer, 2022).

Dans ce contexte, le développement de méthodes indirectes, rapides et prédictives apparaît comme un levier stratégique. Parmi celles-ci, la synergie rhéologique, correspondant à l'apparition de propriétés d'écoulement spécifiques lors du mélange de systèmes en interaction, est souvent utilisée comme indicateur d'interactions intermoléculaires et inter-particulaires (Chiarentin *et al.*, 2025).

Dans ce travail, nous proposons d'exploiter cette approche comme un indicateur fonctionnel de l'adhésion bactérienne en milieu liquide, en prenant pour modèle *Lacticaseibacillus rhamnosus* GG (LGG, ATCC 53103), une souche probiotique reconnue pour ses propriétés mucoadhésives liées à l'expression de pili (Guerin *et al.*, 2018 ; Mu *et al.*, 2023).

Des cultures de LGG ont été mélangées à différentes matrices modèles, et les signatures de synergie rhéologique ont été analysées. Afin de valider la pertinence de cette approche, les résultats ont été comparés à ceux obtenus avec des mutants délétés pour les gènes impliqués dans la formation des pili (spaCBA) et la production d'exopolysaccharides (welE). Les interactions ont également été caractérisées par microscopie confocale, microscopie à force atomique et tests d'adhésion en puits.

Les résultats mettent en évidence une corrélation entre les signatures rhéologiques observées et les capacités d'adhésion bactérienne, avec des différences attendues entre la souche sauvage et les mutants affectés dans leurs mécanismes d'interaction. Ces observations sont en accord avec les résultats obtenus par microscopie et par tests d'adhésion, confirmant la pertinence de la synergie rhéologique pour caractériser les interactions bactéries - matrice.

Cette étude démontre ainsi le potentiel de cette approche comme méthode rapide, non destructive et quantitativement pertinente pour l'évaluation de l'adhésion bactérienne en milieu complexe.

MOTS-CLES

Mucoadhésion, bactéries lactiques, synergie rhéologique, rhéologie oscillatoire.

RÉFÉRENCES

Bayer I. S., *Recent Advances in Mucoadhesive Interface Materials, Mucoadhesion Characterization, and Technologies* Advanced Materials Interfaces, mai 2022, vol. 9, no. 18, p. 2200211.

Chiarentin L., V. Moura, *et* C. Vitorino, *Mucoadhesion and rheology characterization in topical semisolid formulations: An AQbD-driven case study*, International Journal of Pharmaceutics, mars 2025, vol. 673, p. 125389.

Guerin J., et al., *Adhesive interactions between milk fat globule membrane and Lactobacillus rhamnosus GG inhibit bacterial attachment to Caco-2 TC7 intestinal cell*, Colloids and Surfaces, juillet 2018, vol. 167, pp. 44–53.

Mu M. et al., *Influence of Surface Roughness, Nanostructure, and Wetting on Bacterial Adhesion*, Langmuir, avril 2023, vol. 39, no. 15, pp. 5426–54393.

Modélisation des caractéristiques rhéologiques de pâtes à biscuit en vue d'optimiser leur formulation pour un façonnage par moulage rotatif

Marion POMMET[1], Sylvie DAVIDOU[2], Aurel MENSAH[1], Gilles BERTHEAU[3] et Lalatiana RAKOTOZAFY[1]

[1]UMR SayFood, CNAM, France

[2]Chimie Vivant Santé, CNAM, France

[3]CTCPA, France

marion.pommet@lecnam.net

SOUHAIT : Communication Orale

RESUME

Ces travaux ont pour objectif de développer une méthode d'analyse rhéologique d'une pâte à biscuit sans gluten, afin d'évaluer son aptitude à une transformation par moulage rotatif. Ils s'inscrivent dans une démarche de valorisation du sorgho en alimentation humaine, pour promouvoir la culture durable de cette céréale dans un contexte de transition agro-écologique. Diverses formulations de pâtes à biscuit à base de sorgho, comprenant des teneurs variées en eau et en huile, ont été réalisées à l'échelle laboratoire selon un plan d'expériences et caractérisées à l'aide d'un rhéomètre rotationnel et d'un texturomètre (mesures de modules, indice de relaxation, collant). Les formulations les plus appropriées en termes de cohésion et de collant ont été testées sur des mouleuses rotatives à différentes échelles (1 puis 7 kg de pâte). L'analyse du plan d'expériences, couplée aux résultats des fabrications pilotes, a mis en évidence l'importance capitale de la teneur en eau des pâtes, et a permis d'identifier l'indice de relaxation comme critère pertinent de prévision de l'aptitude au moulage rotatif des pâtes étudiées (Fig. 1). Ces résultats ayant été reproduits avec une autre variété de sorgho, ils ouvrent la voie à une méthode simple d'optimisation de la formulation tout en garantissant l'aptitude à la transformation.

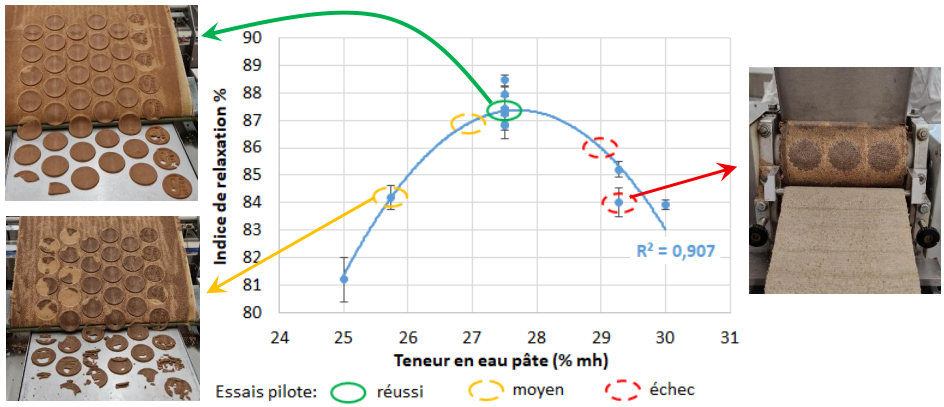


Fig. 1. Modélisation de l'indice de relaxation des pâtes en fonction de leur teneur en eau et aptitude au moulage rotatif lors des essais pilote

MOTS-CLES

Plan d'expériences, pâte à biscuit, indice de relaxation, sorgho, moulage rotatif.

Modulation des propriétés rhéologiques de purées de mangue verte par la solubilisation des pectines et contrôle de la gélatinisation de l'amidon

Manon SERVAL[12], Julien RICCI[12], Chloé PEYROUSET[12], Pierre LABEILLE[3], Mathieu LECHAUDEL[12] et Layal DAHDOUH[12]

[1] Qualisud, Université de Montpellier, Avignon Université, CIRAD, Institut Agro, IRD, Université de La Réunion, France

[2] CIRAD, UMR Qualisud, France

[3] SOLYVE, F-14460, France

manon.serval@cirad.fr

SOUHAIT : Communication Orale

RESUME

Les mangues vertes, souvent écartées en raison de leur structure ferme riche en amidon et en pectines, constituent une matrice prometteuse mais encore peu valorisée pour la production de purée au potentiel texturant. Cette étude vise à comprendre comment les propriétés rhéophysiques de purées de mangue verte peuvent être modulées en contrôlant l'état structural de l'amidon et des pectines.

Des purées ont été élaborées par des traitements thermomécaniques (70 et 95°C), combinés ou non à des prétraitements enzymatiques ciblés, puis caractérisées par l'analyse de la distribution de taille des particules, de la gélatinisation de l'amidon et des comportements à l'écoulement et viscoélastiques des purées.

L'ensemble des systèmes présente un comportement rhéofluidifiant, caractéristique des dispersions végétales concentrées. Les traitements thermomécaniques augmentent la gélatinisation de l'amidon, sans que cela ne se traduise directement par des modifications des propriétés d'écoulement et viscoélastiques. Ce résultat souligne que les propriétés rhéophysiques ne dépendent pas uniquement de l'état de l'amidon, mais également de la structuration des pectines. En cohérence, les prétraitements enzymatiques à base de pectinases réduisent la taille des particules et la consistance, favorisant l'accessibilité de l'amidon à l'eau et à la chaleur. Combinés au traitement thermique, ils conduisent à des niveaux plus élevés de gélatinisation de l'amidon. Cette évolution structurale permet une expression accrue du potentiel textural de l'amidon, induisant des modifications marquées du comportement à l'écoulement et viscoélastique des purées de mangue verte.

Ce travail met ainsi en évidence que le contrôle des états structuraux amidon–pectines constitue un levier clé pour ajuster les propriétés rhéophysiques des matrices végétales, ouvrant des perspectives pour la valorisation de la mangue verte dans des systèmes alimentaires structurés.

MOTS-CLES (5 maximum)

Purée de mangue verte, comportement à l'écoulement, gélatinisation de l'amidon, solubilisation des pectines, modulation des propriétés rhéophysiques

Effet de la température de séchage sur la qualité nutritionnelle et les propriétés d'écoulement de la poudre de feuilles de manioc (*Manihot esculenta* Crantz)

Amoin Gervaise KOUAMÉ[1,2], André Cyril GUITA[2], Mamidou Witabouna KONÉ[2], Claire GAIANI[1], Jennifer BURGAIN[1], Benjamin PATÉ[1] et **Jérémy PETIT[1]**

[1]LIBio (Laboratoire d'Ingénierie des Biomolécules), Université de Lorraine, France.

[2]LaBVDiV (Laboratoire de Botanique et Valorisation de la Diversité Végétale), Université Nangui ABROGOUA, Côte d'Ivoire

gervaise.kouame@univ-lorraine.fr

SOUHAIT : Communication orale

RESUME

Les feuilles de manioc, sous-exploitées mais riches en protéines, fibres, minéraux et composés bioactifs, possèdent un fort potentiel nutritionnel et fonctionnel[1]. Cependant, leur forte teneur en eau limite leur conservation et leur valorisation industrielle, faisant du séchage une étape clé de stabilisation. Bien que les conditions thermiques influencent la qualité du produit fini, l'impact de la température de séchage sur les propriétés nutritionnelles et bioactives des feuilles de manioc reste peu étudié.

Cette étude vise à évaluer l'effet de différentes températures de séchage (20, 25 et 30 °C), choisies pour préserver les composés bioactifs, sur les caractéristiques physicochimiques et rhéologiques de poudres de feuilles de manioc broyées à 12 000 tr/min. Les analyses ont porté sur les paramètres physicochimiques et nutritionnels, notamment la teneur en eau, cendres, protéines, lipides et certains composés bioactifs. Les propriétés d'écoulement ont été évaluées avec le rhéomètre à poudre FT4, et mises en lien avec la granulométrie et la densité, ainsi que d'autres propriétés fonctionnelles des poudres.

Les résultats montrent que l'augmentation de la température de séchage dans la gamme 20 – 30 °C n'a pas induit de modifications significatives de la composition nutritionnelle ni de la structure intrinsèque des particules. Cela est confirmé par l'absence de différence significative pour la densité vraie, la composition chimique exprimée en base sèche, l'acidité totale et le pH[2]. L'augmentation de la température de séchage a permis de diminuer la teneur en eau résiduelle et l'activité de l'eau, contribuant ainsi à améliorant les propriétés d'écoulement. On constate en effet une hausse des densités apparente et tassée, corrélée à une amélioration des indices de Carr et de Hausner. Les résultats avec le FT4 témoignent d'une meilleure aptitude à l'écoulement et d'une diminution des forces de cohésion entre les particules. Ces observations confirment que l'impact thermique du séchage module prioritairement la microstructure et les interactions de surface des particules plutôt que le profil chimique de la matrice. À ce titre, le choix d'une température intermédiaire s'avère être un compromis judicieux pour concilier stabilité, intégrité nutritionnelle et performances d'écoulement.

Ces travaux mettent en évidence l'importance de l'optimisation des conditions de séchage pour la valorisation technologique des feuilles de manioc sous forme de poudre fonctionnelle. Les résultats obtenus pourraient contribuer au développement d'ingrédients végétaux destinés aux industries agroalimentaires et nutraceutiques.

MOTS-CLES

Feuilles, manioc, séchage, broyage, poudre, rhéologie.

RÉFÉRENCES

1. **Passos, C. P.; Yilmaz, S.; Silva, C. M.; Coimbra, M. A. (2009). Enhancement of Grape Seed Oil Extraction Using a Cell Wall Degrading Enzyme Cocktail. Food Chem. 115(1), 48–53. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.064.**
2. **Tenrimega Tjalo, A., Hasizah, A., Dirpan, A., & Langkong, J. (2024). Effect of Drying Temperature on the Proximate Content of Moringa Leaves (*Moringa oleifera*) Powder as Raw Material in Food Industry using Fluidized Bed Dryer. BIO Web of Conferences, 96, 02008. https://doi.org/10.1051/bioconf/20249602008**

Contrôle magnétique des microstructures dans des nanocomposites biopolymères : une approche intégrée propriétés rhéologiques et observations optiques in situ

Alberto VARELA-FEIJOO[1], Williams BRETT[1], Souad AMMAR-MERAH[2] et **Alain PONTON[1]**

[1]*Laboratoire Matière et systèmes complexes, Université Paris Cité, CNRS, France*

[2]*Laboratoire Interface traitement organisation et dynamique des systèmes (ITODYS), Université Paris Cité et CNRS*

alain.ponton@u-paris.fr

SOUHAIT : Communication Orale

RESUME

Nous présentons le développement de nanocomposites biopolymères magnéto-sensibles, composés de solutions d'alginate de sodium et de nanoparticules d'oxyde de fer fonctionnalisées par l'acide 3-aminopropylphosphonique (APPA). L'originalité réside dans l'utilisation conjointe de mesures rhéologiques et d'observations optiques in situ pour étudier les mécanismes de structuration sous champ magnétique. Les résultats démontrent une augmentation marquée de la viscosité à faible cisaillement et des modules viscoélastiques sous champ magnétique, attribuée aux interactions électrostatiques entre les groupes $-NH_3^+$ des nanoparticules et les groupes $-COO^-$ de l'alginate. Pour la première fois, une visualisation directe des microstructures (taille micrométrique) est réalisée et analysée par une segmentation d'images utilisant un réseau de neurones de convolution révélant leur réorganisation anisotrope en fonction de l'intensité du champ magnétique et du taux de cisaillement. Deux taux de cisaillement critiques sont identifiés, marquant respectivement la réorientation et la rupture des microstructures, tandis que la contrainte seuil, proportionnelle au carré du champ, confirme la stabilité des agrégats. De plus, une transition fluide-solide à basse fréquence est observée, démontrant la formation d'un réseau microstructurel dense et anisotrope [1].

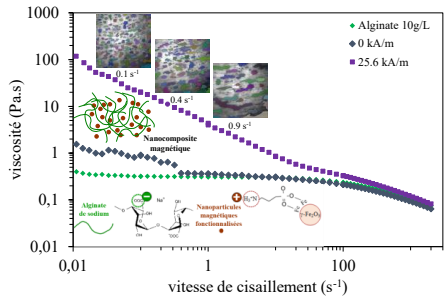


Fig. 1. Corrélation observations optiques et variation de la viscosité en fonction du cisaillement

MOTS-CLES

Nanocomposites magnétiques, biopolymère, nanoparticules, microstructures, champ magnétique.

RÉFÉRENCES

A. Varela-Feijoo, W. Brett, S. Ammar-Merah and A. Ponton, *Microstructure patterning induced by magnetic field in biopolymer composites: correlation between rheological properties and in situ optical observation*, Rheologica Acta 64, 151–165 (2025).

Bioinspired Multilayer Nanocellulose Films with Cross-Aligned Architecture Obtained through Shear-Induced Orientation

Elizangela HAFEMANN FRAGAL[1], Nathan PIAGET[1], Mohamed KARROUCH[1], Didier BLÉSÈS[1], Michael SZTUCKI[2], Jean-Luc PUTAUX[3], Bruno JEAN[3], Christine LANCELON-PIN[3], Lucie BAILLY[4], Laurent ORGÉAS[4], Michael HOLZINGER[5], Nicolas HENGL[1], Manfred BURGHAMMER[2], Rémi TUCOULOU TACHOUERES[2] and Frédéric PIGNON[1]

[1] *Grenoble INP, LRP, Univ. Grenoble Alpes, France*
[2] *ESRF, The European Synchrotron, France*
[3] *CERMAV, Univ. Grenoble Alpes, France*
[4] *Grenoble INP, 3SR, Univ. Grenoble Alpes, France*
[5] *Grenoble INP, DCM, Univ. Grenoble Alpes, France*

elizangela.hafemann-fragal@univ-grenoble-alpes.fr

PREFERENCE: **Oral Presentation**

RESUME

This study explores the biomimetic fabrication of multilayered nanocomposite films featuring a cross-aligned architecture, inspired by the hierarchical organization of natural load-bearing structures, such as the intervertebral disc and wood cell wall structure. The films were produced through a precise layer-by-layer assembly, where cellulose nanocrystals (CNCs) were oriented by shear forces, with each successive layer rotated perpendicularly to the previous one. Additionally, UV-assisted photopolymerization rapidly locked the aligned structures, resulting in stable and cohesive films composed of locally anisotropic CNC layers. First, the structural anisotropy was tracked from the liquid suspension phase using small-angle light scattering (SALS) and dichroism to understand the influence of their structure on the anisotropic organization of the resulting films. Second, small- and wide-angle X-ray scattering (SAXS and WAXS) analyses of the UV-cured films provided quantitative nanoscale evidence of the permanent CNC alignment in layers, together with the perpendicular CNC orientation across layers after fabrication. By comparison with unidirectionally aligned materials, the mechanical performance of the resulting architecturally-structured films is remarkable, as they exhibit a 51% increase in compression modulus and a 91% improvement in tensile ductility. These findings open up new perspectives for the design of bioinspired materials with tailored structural and mechanical properties, able to mimic natural hierarchical architectures [1].

KEYWORDS

Cellulose nanocrystals, Cross-orientation, Small-angle X-ray scattering, Wide-angle X-ray scattering, Mechanical properties

REFERENCE

[1] E.H. Fragal, N. Piaget, M. Karrouch, D. Blésès, M. Sztucki, J.-L. Putaux, B. Jean, C. Lancelon-Pin, L. Bailly, L. Orgéas, M. Holzinger, N. Hengl, M. Burghammer, R.T. Tachoueres, F. Pignon, Bioinspired cross-aligned multilayered nanocellulose films through shear-induced orientation, Journal of Colloid and Interface Science 722 (2026) 140776. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcis.2026.140776

Influence de particules colloïdales de lignine sur les transitions morphologiques et rhéologiques de mélanges ternaires biosourcés multifonctionnels PA11/PLA/Lignine

Bao Anh HUYNH[1], Baptiste VINCENT[1], Angélique GAINVORS-CLAISSE[2], Brigitte CHABBERT[2], Véronique AGUIE-BEGHIN[2], Françoise BERZIN[2] et Trystan DOMENECH[1]

[1]Université de Reims Champagne-Ardenne, INRAE, FARE, UMR A614, FAREMAT, France

[2]Université de Reims Champagne-Ardenne, INRAE, FARE, UMR A614, France

bao-anh.huynh@univ-reims.fr

SOUHAIT : Communication Orale

RESUME

Sous l'effet des préoccupations environnementales croissantes, les matériaux biosourcés suscitent récemment un intérêt considérable. Les lignines techniques sont des sous-produits dérivés des processus industriels, e.g., dans la papeterie ou en bioraffinerie. Ce travail vise à développer un matériau 100 % biosourcé multifonctionnel constitué de mélanges ternaires polyamide 11 (PA11), polylactide (PLA) avec des lignines techniques. La structure de la lignine comporte des groupes phénoliques capables de contribuer aux propriétés globales des mélanges [1]. Dans ce travail, cinq types de lignines de différentes origines botaniques et issus de différents procédés d'extraction ont été sélectionnées et incorporées dans des mélanges immiscibles de PA11 et PLA en voie fondue. Cela permet d'étudier l'influence des lignines sur les transitions morphologiques et rhéologiques des mélanges, ainsi que leurs propriétés bioactives. Les résultats montrent que les particules de lignine sont dispersées dans les deux phases, celle du PA11 et celle PLA, et induisent des phénomènes de coalescence. En particulier, les particules de lignine favorisent la coalescence de la phase PA11 et conduisent à la formation d'un réseau de fibrilles. Cela est confirmé par l'évolution du comportement rhéologique lors d'un balayage en fréquence en cisaillement oscillatoire de faible amplitude (SAOS), au cours duquel le module de stockage du mélange binaire sans lignine présente une relaxation caractéristique d'une morphologie nodulaire, en accord avec le modèle de Palierne [2]. L'ajout de lignine entraîne l'apparition d'un plateau à basse fréquence, dont la valeur augmente avec le pourcentage de la lignine lorsqu'un réseau de fibrilles se forme dans les échantillons. En ce qui concerne les propriétés bioactives, l'incorporation de la lignine dans les mélanges améliore de manière significative leurs propriétés antioxydantes et antimicrobiennes.

MOTS-CLES

Matériaux multifonctionnels biosourcés, mélanges ternaires, lignine.

RÉFÉRENCES

[1] Aguié-Béghin, V. et al. in *Green Chemistry and Agro-food Industry: Towards a Sustainable Bioeconomy* 269-290 (Springer, 2024).

[2] Graebling, D., Muller, R. & Palierne, J. Linear viscoelastic behavior of some incompatible polymer blends in the melt. Interpretation of data with a model of emulsion of viscoelastic liquids. *Macromolecules* 26, 320-329 (1993).

Fragile rheology in suspensions of attractive biopolymer microcapsules

Clément de LOUBENS[1], Mehdi MALEKI[1], Nishant NAIR[1], Romain LHERMEROUT[2], Benjamin CROSS[2] and Hugues BODIGUEL[1]

[1]Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, LRP, 38000 Grenoble, France
[2]Univ. Grenoble Alpes, CNRS, LIPhy, 38000 Grenoble, France

Clement.de-loubens@univ-grenoble-alpes.fr

PREFERENCE: **Oral Presentation**

RESUME

We investigated the rheological properties of suspensions of attractive microcapsules, which unexpectedly formed a weak gel at volume fractions as low as 0.1. These suspensions exhibited a yield stress ranging from approximately 0.1 to 3 Pa as the volume fraction increased from 0.1 to 0.5 (Figure 1). In addition, they displayed a frequency-sweep response similar to that observed in attractive colloidal suspensions (Trappe and Weitz, 2000). A degree of microstructural anisotropy, reminiscent of fragile matter, was evidenced by the transient fluidization of the suspension when the direction of the applied stress was reversed. To elucidate the physical origin of the attractive forces responsible for the microstructure formation, we studied the behavior of capsule pairs subjected to an AC electric field, demonstrating the presence of Coulombic interactions.

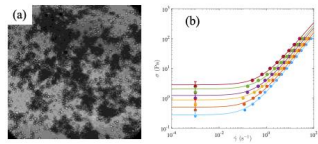


Fig. 1. (a) Suspension of chitosan microcapsules at rest showing spontaneous attraction. (b) Flow curve of the suspensions showing the presence of a yield stress for volume fraction ranging from 0.1 to 0.4 (from bottom to top).

We concluded that the rheology of biopolymer microcapsule suspensions is predominantly controlled by Coulombic attractions (Nair et al., 2026), making these systems rare examples of Bingham-like fluids whose microstructure depends both on the magnitude and the direction of the applied stress (Maleki et al., 2025).

KEYWORDS

microcapsule, suspension, yield stress, electric field

REFERENCES

Maleki, M., Bodiguel, H., & de Loubens, C. (2025). Suspensions of attractive microcapsules: A noncolloidal fragile gel?. *Journal of Rheology*, *69*(2), 121-130.
Trappe, V., & Weitz, D. A. (2000). Scaling of the viscoelasticity of weakly attractive particles. *Physical review letters*, *85*(2), 449.
Nair, N., de Loubens, C., Lhermerout, R., Cross, & Bodiguel, H. (2026). Bouncing under AC electric field and Coulombic attraction suggest charge transfer between biopolymer microcapsules. *Physical review of fluids, in press*.

Rhéologie de suspensions non browniennes de particules adhésives et frictionnelles par simulations numériques résolues à l'échelle des particules

Michel ORSI[1], Laurent LOBRY[1] , Elisabeth LEMAIRE[1] et **François PETERS**[1]

[1]*Institut de Physique de Nice (InPhyNi), Université Côte d'Azur, CNRS, France*

Francois.PETERS@univ-cotedazur.fr

SOUHAIT : Communication Orale

RESUME

Les forces adhésives entre particules sont connues pour induire de nombreux comportements importants dans les suspensions, tels que la gélification, l'existence d'un seuil d'écoulement ou encore des comportements rhéofluidifiants. De nombreuses études se sont concentrées sur les suspensions browniennes. En revanche, la dernière décennie a vu émerger et se renforcer l'idée selon laquelle la friction interparticulaire joue un rôle clé dans la rhéologie des suspensions non browniennes. Dans la présente étude, nous cherchons à mettre en évidence l'effet couplé de la friction et de l'adhésion dans des suspensions non browniennes à l'aide de simulations résolues à l'échelle des particules. À cette fin, le coefficient de friction entre particules, l'intensité de la force adhésive et la fraction volumique en particules sont variés indépendamment. Les effets compétitifs de l'adhésion et de la contrainte de cisaillement globale sont décrits au moyen d'une contrainte adimensionnée, où a désigne le rayon des particules. Inspirés par les modèles actuels de suspensions non adhésives, ainsi que par des études antérieures de la littérature, nous proposons de rationaliser les données au moyen d'une fraction volumique de blocage dépendant à la fois de la contrainte et de la friction, ce qui est équivalent à un seuil d'écoulement dépendant de la fraction volumique et de la friction. On observe que la fraction volumique de blocage augmente à la fois avec la contrainte et avec le coefficient de friction, ce qui reflète le comportement rhéofluidifiant de ces suspensions. En outre, les contraintes normales, et en particulier leur contribution de contact, sont étudiées. Leur comportement lorsque le système s'approche du blocage diffère significativement de celui observé dans les suspensions de particules non adhésives. Enfin, à fraction volumique et contrainte suffisamment faibles, les particules s'effondrent en formant un grand amas dense susceptible de ne pas se déformer, ce qui empêche toute mesure fiable des lois constitutives. Ce dernier comportement pourrait présenter un intérêt du point de vue expérimental.

MOTS-CLES

Suspensions non-browniennes, adhesion, frottement, simulations.

RÉFÉRENCES

Orsi, M., Lobry, L., Lemaire, E., & Peters, F. (2025). The effect of coupled friction and adhesion on the rheology of non-Brownian dense suspensions. *Journal of Rheology*, *69*(4), 515-539.

Jamming et rhéologie non linéaire des pâtes de chocolat

Michel ORSI[1,2], Veeraj SHAH[2], Mahesh PADMANABHAN[3], Thomas CURWEN[4] et Jeff MORRIS[2]

[1]*Department of Applied Science and Technology, Politecnico di Torino, Italy*
[2]*Department of Chemical Engineering, Levich Institute, City College of New York, USA*
[3]*Mondelez International, USA*
[4]*The Reading Science Center, Mondelez International, UK*

michel.orsi@polito.it

SOUHAIT : Communication Orale

RESUME

Les pâtes de chocolat sont des suspensions denses non-Browniennes de particules de sucre et de cacao dans du beurre de cacao fondu, dont la rhéologie dépend de la teneur en solides et de réseaux de contacts sensibles à la contrainte, liés au frottement, à l'adhésion et à la polydispersité. Nous caractérisons ici la rhéologie non linéaire de pâtes de chocolat noir pré-raffinées et les comparons à des suspensions simplifiées de chocolat noir modèle et de masse de cacao. Les mesures en cisaillement stationnaire révèlent un seuil d'écoulement, une forte rhéo-fluidification, de l'hystérésis et des contraintes normales compatibles avec des contacts adhésifs et frictionnels. En ajustant la viscosité avec la loi de Maron-Pierce, nous extrayons la fraction volumique maximale d'écoulement, $\phi_m(\sigma)$, et construisons la carte d'écoulement qui délimite écoulement et blocage dans le plan (ϕ,σ). Le chocolat noir pré-raffiné présente une forte augmentation de ϕ_m avec la contrainte, passant d'un comportement proche de la masse de cacao à faible contrainte à celui du chocolat noir modèle à forte contrainte, signe d'une rupture progressive des contraintes adhésives. La rhéologie en cisaillement oscillatoire de grande amplitude montre que la transmission des contraintes résulte de la formation, de la déformation et de la rupture réversibles de réseaux de contacts. Ces résultats décrivent la pâte de chocolat comme une suspension adhésive dense dont l'écoulement est contrôlé par le frottement, l'adhésion et la distribution des tailles de particules, et offrent un cadre pour prédire les transitions entre écoulement, seuil d'écoulement et blocage.

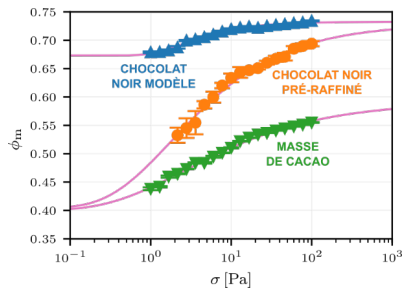


Fig. Carte d'écoulement pour le chocolat noir modèle, le chocolat noir pré-raffiné et la masse de cacao. Les symboles correspondent aux valeurs expérimentales ; les courbes magenta sont des ajustements fondés sur le modèle proposé par Richards et al. (2020).

MOTS-CLES

Jamming, rhéologie non linéaire, seuil d'écoulement, adhésion, chocolat

RÉFÉRENCES

Orsi M., Shah V., Padmanabhan M., Curwen T., Morris J.F., *Shear jamming and nonlinear rheology of chocolate suspensions*, Rheologica Acta, 2026. https://doi.org/10.1007/s00397-026-01546-x

Richards J.A., Guy B.M., Blanco E., *The role of friction in the yielding of adhesive non-Brownian suspensions*, Journal of Rheology, 2020. https://doi.org/10.1122/1.5132395

Impact of Sodium Alginate on a Dry Surface: A Coupled Experimental–Modeling Approach

Nada NAZZAL[1], Martin DRAHÉ [1], Edith PEUVREL-DISDIER[1] and Anselmo PEREIRA[1]

[1]Mines Paris, PSL University, Centre for material forming (CEMEF), UMR CNRS 7635, rue Claude Daunesse, 06904 Sophia-Antipolis, France

nada.nazzal@minesparis.psl.eu

PREFERENCE: Oral Presentation

RESUME

The impact dynamics of non-Newtonian sodium alginate droplets on dry solid surface were investigated experimentally and through simplified physical modeling over a wide range of concentrations (1–10 wt%) and impact velocities (0.5–2 m/s). High-speed imaging was used to characterize droplet spreading, maximum deformation and recoil following impact on a glass substrate (Fig.1). Rheological characterization revealed strong shear-thinning behavior together with increasing viscoelastic effects as polymer concentration increased. A simplified one-dimensional model based on Kelvin–Voigt viscoelastic framework combined with a power-law viscous contribution was developed to describe the spreading dynamics. The model incorporates viscous, capillary, and elastic stresses for a thin cylindrical lamella approximation. Despite the simplified assumptions, good agreement was obtained between experiments and model predictions for the maximum spreading factor over a broad range of impact conditions. Stress analysis revealed the existence of two dominant spreading regimes: an inertia–capillary regime at low concentration and low impact velocity, and an inertia–viscous regime at higher concentrations and velocities. Elastic stresses were found to mainly influence the recoil dynamics rather than the spreading phase itself. Based on energy balances, a generalized impact number accounting simultaneously for inertial, viscous, and capillary effects was proposed to predict the maximum spreading factor. The proposed scaling law showed a good overall collapse of the experimental measurements and numerical simulations over a broad range of impact conditions onto a single master curve, providing a unified framework for predicting the maximum spreading behavior of sodium alginate droplets.

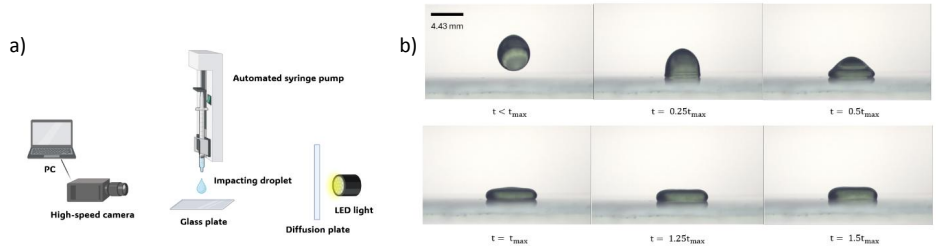


Fig. 1. (a) Schematic showing the experimental setup used. (b) High speed camera snapshots illustrating the impact process of a 4.43 mm 5% wt sodium alginate in deionized water impacting at speed of ~1.03m/s.

KEYWORDS : ***Droplet impact, non-Newtonian fluids, maximum spreading, rheology.***

REFERENCES : S. An and S. Lee. Maximum spreading of a shear-thinning liquid drop impacting on dry solid surfaces. Experimental Thermal and Fluid Science, 38:140–148, 2012.

DRIPPING-ONTO-DROPLET RHEOMETRY OF SODIUM ALGINATE SOLUTIONS

Martin DRAHÉ[1], Nada NAZZAL[1], Ricardo EL KHOURY[1], Loren JØRGENSEN[2], Cécile MONTEUX[2], Edith PEUVREL-DISDIER[1], and Anselmo PEREIRA[1]

[1]Mines Paris, PSL University, Centre for material forming (CEMEF), UMR CNRS 7635, rue Claude Daunesse, 06904 Sophia-Antipolis, France
[2]Sciences et Ingénierie de la Matière Molle (SIMM), ESPCI Paris, Université PSL, UMR CNRS 7615, Sorbonne Université, Paris, France

martin.drahe@minesparis.psl.eu

PREFERENCE: **Oral Presentation**

RESUME

In this experimental and theoretical study, we assess the extensional relaxation time of alginate solutions by using dripping-onto-droplet capillary breakup rheometry (DoD). e.g., capillary thinning and breakup of viscoelastic filaments formed following the coalescence of a millimetric-nozzle-generated pendant drop with a lower droplet cap of the same fluid contained in a millimetric cylinder in ambient air (Fig.1). Our approach relies on experiments recorded with a high-speed camera using alginate solutions with concentrations ranging from 0.1% to 10% by weight in deionised water. The results are depicted by considering the dynamics of fluid filament thinning, stress balances, and scaling laws. Extensional relaxation times are resolved from the filament diameter evolution even for diluted solutions. Additionally, three flow regimes are highlighted: capillary-inertial, capillary-elastic, and mixed capillary-inertial-elastic. The findings are summarised in a two-dimensional diagram that correlates the filament breakup time t_b with different flow regimes using the important dimensionless parameter of the problem, e.g., the intrinsic Deborah number (which relates the extensional relaxation time to the characteristic capillary-inertial time) for a fixed Bond number (which balances the gravitational stress with the capillary one). This diagram can be used to quantify both the solution's extensional relaxation time and the solution-gas surface tension solely from filament breakup times.

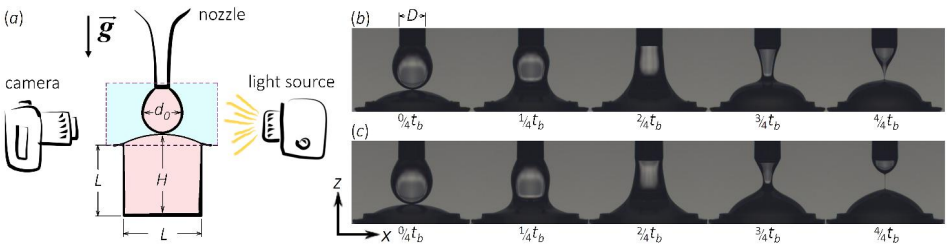


Fig. 1. (*a*) Schematic showing the experimental setup used here. (*b-c*) High-speed camera snapshots illustrating the filament-thinning process for fluids exhibiting low (in *b*) and high (in *c*) viscoelasticity.

KEYWORDS: ***capillary thinning, extensional rheology, viscoelasticity, experiments, scaling laws.***

MACHINE LEARNING MODELING OF DRIPPING-ONTO-DROPLET RHEOMETRY

Ricardo EL KHOURY[1], Anselmo PEREIRA[1], and Elie HACHEM[1]

[1]Mines Paris, PSL University, Centre for material forming (CEMEF), UMR CNRS 7635, rue Claude Daunesse, 06904 Sophia-Antipolis, France

ricardo.elkhoury@minesparis.psl.eu

PREFERENCE: **Oral Presentation**

RESUME

As many industrial and natural flows are governed predominantly by elongational rather than shear deformation, understanding extensional behaviour is essential for accurately describing these systems. Consequently, reliable and precise extensional rheometry has become increasingly important for both fundamental fluid mechanics research and technological applications. This interest has motivated a recent surge of research into filament-thinning methods. In this work, we develop a machine-learning (ML) model capable of predicting the diameter evolution of filament thinning of Newtonian fluids based on two dimensionless parameters characterising the flow conditions: Ohnesorge and Bond numbers. The model is implemented as a continuous-time multilayer perceptron (MLP) trained to predict the filament diameter without relying on fixed time grids. This continuous formulation facilitates direct comparison across datasets with differing materials, rupture times, or temporal windows. The model is trained using a hybrid dataset comprising experimental measurements and complementary numerical simulations (Fig.1*a*-*b*). After training, the model accurately reconstructs thinning trajectories and reproduces pinch-off dynamics with high fidelity, achieving a median MAE of 0.007, RMSE of 0.0098, and an R^2 of 0.99 across the dataset. The resulting framework produces instantaneous diameter predictions *D*(*t*) within a few milliseconds, enabling fast parametric sweeps and providing a strong foundation for ML-empowered rheometry (Fig.1*c*).

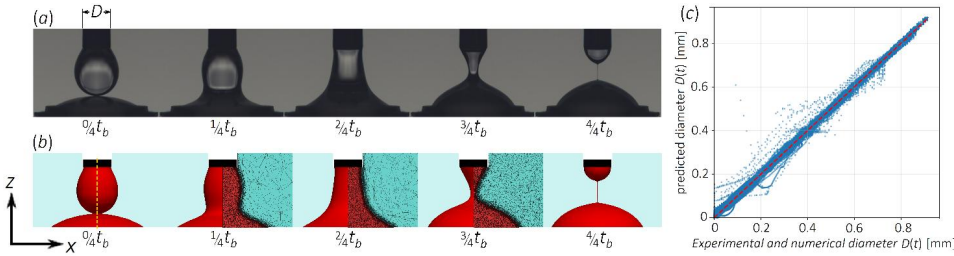


Fig. 1. (*a*) High-speed camera snapshots showing the evolution of a typical DoD experiment. (*c*) Snapshots illustrating the evolution of a typical DoD numerical simulation. (*c*) ML-predicted instantaneous minimum filament diameters *D(t)* against experimental and numerical instantaneous minimum filament diameters *D(t)*.

KEYWORDS: ***machine learning, extensional rheology, rheometry, experiments, numerical simulations.***

MICROFLUIDIC DROPLET GENERATION USING NON-NEWTONIAN FLUIDS

Kévin GUTIERREZ[1], Jean CAPPELLO[2], Benoit SCHEID[2], Edith PEUVREL-DISDIER[1], and Anselmo PEREIRA[1]

[1]Mines Paris, PSL University, Centre for material forming (CEMEF), UMR CNRS 7635, rue Claude Daunesse, 06904 Sophia-Antipolis, France
[2]Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgium

kevin.gutierrez@minesparis.psl.eu

PREFERENCE: **Oral Presentation**

RESUME

Microfluidic droplet generation is a pivotal topic in Fluid Mechanics supporting a wide range of high-precision industrial processes, including emulsification, encapsulation, particle synthesis, biochemical assays, drug discovery, cell analysis, and gene manipulation. Although these processes involve non-Newtonian fluids, they are very often studied from a purely Newtonian standpoint, making it difficult to satisfactorily fill the gap between the fundamental understanding of droplet microfluidics and quantitative predictions for real-life applications. In this study, we combine experiments and numerical simulations to highlight the physical mechanisms driving the generation of shear-thinning viscoelastic drops. Experiments are performed using a Raydrop device (e.g. an axisymmetric co-flow-focusing geometry), as well as a low-viscosity mineral oil (dispersed phase), and alginate and xanthan gum solutions (continuous phases). The experimental outcomes are compared with corresponding 3D numerical-simulation results for which the viscosity of the non-Newtonian continuous phase is described by a Carreau-Yasuda equation. These comparisons allow us to underline significant shear-thinning and viscoelastic effects on the drops' shape and frequency generation.

KEYWORDS: ***microfluidics, non-Newtonian fluid, numerical simulations, experiments.***

Dripping Instabilities in Non-Newtonian Liquid Films Flowing Down Inclined Surfaces.

Aya ALALI[1], Romain CASTELLANI[2], Rudy VALETTE[3] et Michael LECH[4]

[1,2,3]*Cemef, Mines Paris-PSL University , France*

[4]*Research and developement, Stellantis, France*

aya.alali@minesparis.psl.eu

SOUHAIT : Communication Orale

RESUME

Dip-coating is widely used in industry where achieving uniform layer thickness is critical. Instabilities such as dripping are influenced by withdrawal speed, object geometry, orientation relative to gravity, and rheology, leading to many types of defects. This work investigates experimentally and theoretically dripping of thin flowing films of colloidal suspensions facing gravity, fed at controlled flow rate, for various inclinations and volume fractions. The latter controls the liquid rheology, from Newtonian to viscoplastic behaviors, while flow rate controls base flow velocity and thickness; inclination controls the instability. We experimentally investigate flows down arbitrary long planes of TiO_2 particles in glycerol, while flow width is of the order of the capillary length. Doing so, we make sure basic flow and instabilities are 2D, instead of forming rivulets (narrow flows) or complex dripping patterns (wide flows). Laser profilometer and image analysis were used to measure the flow at high spatial and time resolutions. For Newtonian fluids we show that sufficiently large velocities and inclination angles give convectively unstable flows, forming spatially amplifying waves. Wave frequency, wavenumber and spatial amplification rates are clearly linked to the most unstable mode of instability, selected by the capillary length, which is proven theoretically using linear stability analysis [1]. Up to a finite wave amplitude, drops form and detach faster than the wave period, leading to a global periodic flow, fully characterized. Adding particles leads to viscosity increase and appearance of a moderate (compared to flow wall shear stress) yield stress and shear thinning behaviour. We then show filler content (i) increases/decreases flow thickness/velocity, mostly due to viscosity increase; (ii) favors the appearance of multiple convectively unstable modes. We then show how these modes are due to competition or synergy of capillarity and yield stress effects and investigate their interaction.



Fig. 1. Dripping Liquid films.

MOTS-CLES (5 maximum)

Flow instabilities , Non -newtonian fluids ,Linear stability analysis.

RÉFÉRENCES

Brun, P.-T., Damiano, A., Rieu, P., Balestra, G. et Gallaire, F., *Rayleigh-Taylor instability under an inclined plane*, Physics of Fluids, Vol. 27, 2015, 084107.

STIFFENING EMULSIONS WITH BUBBLES

Gustavo INCIARTE[1], Maxime SCHNEIDER[2], Olivier PITOIS[3], François BOULOGNE[2] and **Anniina SALONEN**[1]

[1]*Sciences et ingénierie de la matière molle, ESPCI Paris - PSL, France*
[2]*Laboratoire de physique des solides, Université Paris-Saclay, France*
[3]*Laboratoire Navier, Université Gustave Eiffel, France*

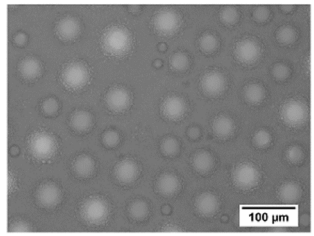
anniina.salonen@espci.fr

PREFERENCE: **Oral Presentation**

RESUME

Concentrated emulsions are viscoelastic materials whose mechanical response arises from the deformation and rearrangement of droplets. The addition of gas bubbles to an emulsion can either soften or stiffen the resulting material. In concentrated emulsions, this behavior is generally described by continuum approaches in which the effect of bubbles is governed by the elastocapillary number, comparing the elastic modulus of the emulsion to the bubble Laplace pressure [1,2]. We have previously shown that, in emulsion gels, the incorporation of small inclusions can increase the elastic modulus through an increase in the effective solid volume fraction and through a restructuring of the network around the inclusions [3].

We investigate the mechanical properties of aerated attractive emulsions. We show that the addition of bubbles can increase the elastic modulus significantly beyond the predictions of continuum elastocapillary models. The observed stiffening suggests that the bubbles do not behave as passive inclusions, but instead interact with the attractive emulsion microstructure in a manner that enhances the mechanical response of the material. These results indicate that the rheology of aerated attractive emulsions cannot be fully captured by continuum elastocapillary descriptions alone and highlight the importance of microstructure–bubble interactions in determining their macroscopic properties.



Gas bubbles in an emulsion.

KEYWORDS

Bubble, Emulsion, Elastocapillarity

REFERENCES

[1] Ducloué, L. et al. Soft Matter, 10, 5093, 2014; [2] Gorlier, F., Khidas, Y., Pitois. O., J. Coll. Int. Sci., 501, 103, 2017. [3] Ferreiro-Córdova, C. et al. Soft Matter, 18, 2842, 2022.

Caractérisation rhéologique d'émulsion Pickering à base d'huiles végétales amazoniennes pour des applications solaires

Laisa Bulhoes[1,2,3], Vincent Faivre[3], Ileana-Alexandra Pavel[3], Marilia Goulart2, **Sylvia IMBART[1]** et Samar Issa[1]

[1]EBInnov, Ecole de biologie industrielle, France

[2]Département, Federal university of Alagoas, Brazil

[3]Université Paris Saclay, France

s.imbart@ebi-edu.com

SOUHAIT : Communication Orale

RESUME

La demande pour des formulations durables et à haute performance a conduit au développement de systèmes à base de stratégies durable et de stabilisation alternatives. Les huiles végétales amazoniennes, telles que les huiles de *Mauritia flexuosa* (buriti) et de *Carapa guianensis* (andiroba), sont riches en composés bioactifs avec un potentiel photoprotecteur et répulsif pour les insectes (Montenegro et *al.*) Cependant, leur incorporation dans des systèmes stables reste difficile en raison de l'instabilité dans les émulsions classiques à base de tensioactifs. Les émulsions de Pickering, stabilisées par des particules solides, représentent une approche prometteuse pour améliorer la stabilité tout en réduisant l'utilisation des tensioactifs synthétiques (S.Peito et *al.*, J.Q. Chen et *al.*). Les émulsions ont été préparées avec des concentrations de particules de 3,5 % (p/p) en utilisant un ratio huile–eau défini avec présence ou non d'ions calcium ou calcium-aluminium. L'analyse rhéologique a montré une augmentation de la viscosité lors de la formation de l'émulsion par rapport aux huiles pures, indiquant un effet de structuration induit par les particules. De plus, l'ion calcium augmente cette viscosité pour les particules les plus hydrophiles. L'analyse par balayage d'amplitude a révélé que les émulsions d'huile d'andiroba présentaient principalement un comportement solide viscoélastique (G' > G"), en revanche pour les huiles à base de buriti, elles ont un comportement majoritairement liquide viscoélastique. Enfin, à l'aide d'un balayage en fréquence, les huiles de buriti ont montré une faible stabilité dans le temps contrairement à l'huile d'andiroba.

MOTS-CLES (5 maximum)

Viscosité, viscoélasticité, émulsion pPickering, stabilité, durabilité.

RÉFÉRENCES

Montenegro, L., Santagati, L.M., *Use of vegetable oils to improve the sun protection factor of sunscreen formulations*. Cosmetics, 2019, 2(2).

Peito, S. *et al.*, Nano- and microparticules-stabilized pickering emulsions designs for topical therapeutics and cosmetics applications, International journal of pharmaceutics, Science direct, 2022, 615.

Chen, J.Q. *et al.*, *In vitro and in vivo immune-enhancing effects of polysaccharides with different molecular weights and structural characteristics from Gastrodia elata Blume*, IJBM, 2025, 293.

Influence des ponts capillaires sur la microstructure et la dynamique transitoire de suspensions non-browniennes de fibres

Lea EBEL[1,2], Frederic BLANC[1], Elisabeth LEMAIRE[1], et Enric SANTANNACH CARRERAS[2]

[1]INPHYNI, Université Côte d'Azur, France

[2]PERL, TotalEnergies OneTech, France

lea.ebel@univ-cotedazur.fr

SOUHAIT : Communication Orale

RESUME

Les suspensions non-browniennes de fibres présentent une rhéologie étroitement couplée à leur microstructure, en particulier à l'orientation collective des fibres sous cisaillement. Dans les régimes concentrés, les interactions fibre–fibre conduisent à des comportements fortement non newtoniens associés à une structuration anisotrope du milieu [1]. L'ajout d'un faible volume de fluide secondaire permet la formation de ponts capillaires entre fibres, introduisant des interactions attractives qui modifient la microstructure et la dynamique sous écoulement. Nous caractérisons expérimentalement la microstructure de suspensions de fibres avec et sans ponts capillaires par imagerie optique en géométrie de Couette iso-indice. Les distributions d'orientation révèlent une dépendance marquée à la fraction volumique de fibres. Des expériences de shear-reversal mettent en évidence un régime transitoire de réorganisation de la microstructure après inversion du cisaillement [2]. La présence de ponts capillaires ralentit la réorientation des fibres et renforce la persistance d'états microstructuraux hors équilibre, soulignant leur rôle clé dans le couplage microstructure–rhéologie.

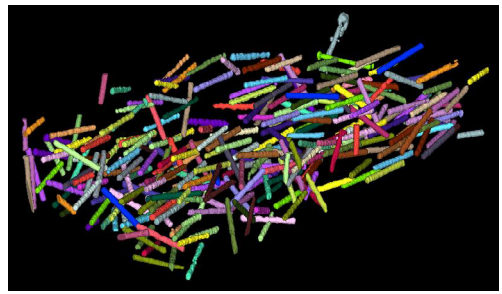


Fig. 1. Microstructure d'une suspension de fibres sous cisaillement

MOTS-CLES

Suspensions de fibres, Microstructure, Ponts capillaires, Rhéologie

RÉFÉRENCES

[1] Bounoua, S., Lemaire, E., Peters, F., & Deboeuf, A. (2016). Shear-thinning in concentrated rigid fiber suspensions: Aggregation induced by adhesive interactions. Journal of Rheology, 60(5), 1049–1061.

[2] Pine, D. J., Gollub, J. P., Brady, J. F., & Leshansky, A. M. (2005). Chaos and threshold for irreversibility in sheared suspensions. Nature, 438, 997–1000.

Local rheology and 3D microstructure of non-Brownian suspensions of soft particles

Francisco-Jesus VAZQUEZ-PEREZ[1], **Frédéric BLANC**[1] and Elisabeth LEMAIRE[1]

[1]*Institut de Physique de Nice, UMR7010 CNRS, Université Côte d'Azur, France*

frederic.blanc@univ-cotedazur.fr

PREFERENCE: **Oral Presentation**

RESUME

Non-Brownian suspensions of soft particles are model systems for studying the link between particle deformability, microstructure, and flow properties. Here, we investigate transparent suspensions of Aquakeep hydrogel particles, with an elastic modulus of the order of 1 kPa, over volume fractions ranging from 5% to 75%. To make the particles optically detectable, a fluorescent dye is dispersed within the particulate phase.

These suspensions are characterized using a custom-built three-dimensional visualization setup coupled to a commercial rheometer. This setup allows the positions and trajectories of the particles to be tracked in three dimensions during flow. Particle positions provide access to the 3D microstructure under shear, as well as to the local volume fraction. Particle trajectories are used to reconstruct the velocity fields and estimate the local viscosity.

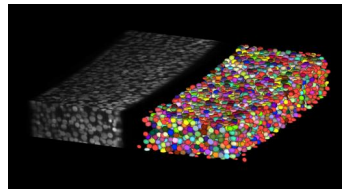


Fig. 1. Image 3D and segmentation of the suspension

This approach makes it possible to overcome the limitations of macroscopic rheometry when the flow becomes heterogeneous [1]. In our suspensions, near-wall structuring and local variations of the shear rate across the gap make macroscopic rheometric measurements difficult to interpret directly. Local measurements instead provide access to the rheological properties effectively explored by the material.

We analyze the evolution of the mechanical behavior with volume fraction. The material exhibits a transition from a yield-stress-free shear-thinning fluid to a yield-stress fluid, comparable to a hydrogel, once the volume fraction exceeds a critical value that we determine experimentally [2]. The local rheology results will be discussed together with pair distribution functions and compared with those obtained for suspensions of rigid spheres, in order to highlight the specific role of particle deformability in the microstructure and constitutive laws of these concentrated suspensions.

KEYWORDS (maximum 5)

Soft particles; non-Brownian suspensions; local rheology; 3D microstructures; yield transition.

REFERENCES

[1] D. Gilbert. « Rôle des contacts adhésifs et frottants dans la rhéologie des suspensions non-browniennes. » Thèse de doctorat. Université Côte d'Azur (2021)

[2] K. N. Nordstrom et al., « Microfluidic Rheology of Soft Colloids above and below Jamming », Phys. Rev. Lett., vol. 105, no 17, p. 175701 (2010)

Cisaillement en régimes permanent et transitoire : Etude de l'impact de la morphologie et de la polydispersité sur la rhéologie des suspensions denses

Ulisses SILVA OLIVEIRA[1,2], Thomas GIBAUD[2], Rudy VALETTE[3] et Arnaud POULESQUEN[1]

[1]*Laboratoire de Formulation et Caractérisation des Matériaux minéraux, CEA Marcoule, France*

[2]*Laboratoire de Physique de l'ENS de Lyon (LPENSL), ENS de Lyon, France*

[3]*Centre de Mise en Forme des Matériaux (CEMEF), Mines Paris - PSL, France*

ulisses.silva-oliveira@cea.fr

SOUHAIT : Communication Orale

RESUME

Les suspensions concentrées de particules solides non browniennes sont couramment rencontrées dans divers pans de l'industrie [1]. Dans le domaine du nucléaire, et particulièrement le conditionnement de déchets, nous sommes amenés à étudier le comportement à l'écoulement de ce type de suspensions afin de fournir des données d'entrée pour les codes de calcul et ainsi optimiser les procédés de mise en forme. La nature des suspensions est diverse, les matériaux cimentaires, les suspensions de verre ou encore les enrobés de bitume en sont quelques exemples, l'objectif principal étant d'augmenter la fraction volumique de déchets dans ces matrices.

Dans cette étude, nous nous intéressons à des suspensions modèles mono et polydisperses sphériques ou anisotropes à diverses fractions volumiques. Dans un premier temps, des billes monodisperses suspendues dans une huile silicone newtonienne ont été étudiées en régime permanent et en inversion de cisaillement et les résultats obtenus sont en parfait accord avec les données de la littérature [2] pour ce système purement frictionnel. A fraction volumique et contrainte équivalente, la viscosité des suspensions de particules monodisperses sphériques est plus faible que pour les suspensions à particules anisotropes, et au contraire, elle est plus élevée que pour les suspensions sphériques polydisperses. Dans un second temps, nous avons caractérisé ces suspensions en régime transitoire en appliquant des rampes montantes et descendantes de taux de cisaillement ou de contraintes. Les résultats mettent en évidence deux régimes : une rhéoépaississement à faible contrainte et une rhéofluidification à haute contrainte, séparés par une contrainte limite qui semble dépendre uniquement du matériau des particules. Le rhéoépaississement est d'autant plus important que la fraction volumique est élevée, alors que le régime de rhéofluidification correspond au régime classiquement observé sur les suspensions denses non browniennes, les viscosités relatives obtenues lors des rampes étant en parfait accord avec celles obtenues en régime permanent. L'influence de la polydispersité et de l'anisotropie des particules sera discutée.

MOTS-CLES

Rhéologie, suspensions denses, inversion de cisaillement.

RÉFÉRENCES

[1] H. A. Barnes, J. F. Hutton, et K. Walters, *An Introduction to Rheology*. Elsevier, 1989.

[2] F. Blanc, E. D'Ambrosio, L. Lobry, F. Peters, et E. Lemaire, « Universal scaling law in frictional non-Brownian suspensions », *Phys. Rev. Fluids*, vol. 3, n° 11, p. 114303, nov. 2018, doi: 10.1103/PhysRevFluids.3.114303.

Attention : 1 page maximum est requise pour soumettre votre résumé.

Partially crystallized glass melts: impact of crystallization on rheology

T. Pitarch[1], E. Régnier[1], S. Castel[1], P. Marchal[2], F. Faure[3]

[1] *CEA Marcoule, ISEC, DPME, SEME, Laboratoire de Formulation et de Caractérisations des Matériaux Minéraux, BP 17171, 30207 Bagnols-sur-Cèze Cedex, France*
[2] *Université de Lorraine, CNRS, LRGP-GEMICO, UMR 7274, 1 rue Grandville, F-54001 Nancy, France*
[3] *Université de Lorraine, CNRS, CRPG, UMR 7358, 15 rue Notre Dame des Pauvres, F-54501 Vandoeuvre-lès-Nancy, France*

Theo.PITARCH@cea.fr

SOUHAIT : Communication Orale

RESUME

In France, high-level and long-lived nuclear wastes are immobilized in alumino-borosilicate glass. The formulation of these glasses for radioactive waste conditioning balances two key objectives: maximizing waste incorporation into the glass matrix while ensuring both its technological feasibility and long-term stability. Currently, these glasses are formulated to avoid any crystallization in the melt. However, the tolerance of crystals in the glass melt could allow to reach higher waste loadings, which would decrease the number of glass-containers and therefore the cost of the long-term storage.

This study aims to determine the rheological behaviour of glass melts when undergoing crystallization. The system of interest is a simulated simplified nuclear glass. The initial composition was selected to promote the precipitation of Apatite crystals ($Ca_2Nd_8(SiO_4)_6O_2$), which are known to have an acicular shape [1], [2].

The glass was first elaborated at 1250°C and quenched to room temperature in order to obtain homogeneous glass. Then, thermal treatments were performed under both quiescent and sheared conditions on separate portions of the material. Thermal treatments in quiescent conditions, combined with XRD and SEM post-mortem analysis, allowed the characterization of apatite crystals: their thermal domain, morphology, and their quantity. For thermal treatments in sheared conditions, the glass was put in a platinum-rhodium cylindrical crucible and inserted in a stress-controlled high temperature rheometer that can reach 1450°C [3]. A large gap Taylor-Couette geometry was used to perform steady state and step rate experiments at different temperatures. The rheological results are then interpreted based on the crystallization characteristics obtained under quiescent conditions. These results show that below a critical crystal fraction, the flow of the melt is described by a Newtonian behaviour. However, above a critical crystal fraction, viscosity increases and the material exhibits a shear-thinning behaviour with a yield stress that can be well described by a Herschel-Buckley model. Finally, the influence of shear rate on the crystallization dynamics is also investigated.

MOTS-CLES (5 maximum)

Crystallization, High temperature rheology, apatite crystal

RÉFÉRENCES

[1] J. Jiusti *et al.*, « Crystallization and rheological study of a Nd-oxyapatite-bearing melt », *Journal of Non-Crystalline Solids*, vol. 628, p. 122847, mars 2024, doi: 10.1016/j.jnoncrysol.2024.122847.
[2] O. Delattre, « Cristallisation de fontes verrières d'intérêt nucléaire en présence d'un gradient thermique: application aux auto-creusets produits en creuset froid », Thèse de doctorat, Orléans, 2014.
[3] J. Puig, C. Hanotin, M. Neyret, et P. Marchal, « High temperature rheological study of borosilicate glasses containing platinum group metal particles by means of a mixer-type rheometer », *Journal of Nuclear Materials*, vol. 469, p. 112‑ 119, févr. 2016, doi: 10.1016/j.jnucmat.2015.11.053.

Rhéologie à Haute Température : Transition Viscoélastique dans les Verres Borosilicatés

Sébastien CASTEL[1] et Arnaud POULESQUEN[1]

[1]*CEA, DES, ISEC, DPME, Université de Montpellier, Marcoule, France*

sebastien.castel@cea.fr

SOUHAIT : **Communication Orale**

RESUME

Les verres d'oxydes sont des matériaux amorphes constitués d'un réseau tridimensionnel d'atomes liés par des liaisons covalentes. Leur propriété caractéristique est la transition vitreuse, qui marque le passage d'un état liquide à haute température — où la structure est en équilibre thermodynamique — à un état vitreux à basse température, où la structure est figée hors équilibre en raison de l'augmentation des temps de relaxation structurelle avec la diminution de la température.

Cette étude porte sur l'analyse rhéologique de verres borosilicatés à l'aide d'un rhéomètre haute température équipé d'une géométrie Couette à large entrefer, usinée dans un alliage platine/rhodium. Ce dispositif permet de réaliser des mesures jusqu'à 1520 °C.

Dans un premier temps, l'évolution de la viscosité en fonction de la température a été déterminée à partir de courbes d'écoulement. Les résultats s'écartent d'un comportement arrhénien et peuvent être modélisés par des lois empiriques, telles que le modèle de Vogel-Fulcher-Tammann (VFT).

Ensuite, des balayages en fréquence ont été réalisés dans le domaine linéaire à différentes températures. À haute température, un comportement typique de liquide visqueux newtonien est observé. À plus basse température, le module élastique (G') domine le comportement visqueux (G''), et le verre adopte un comportement proche de celui d'un solide. La transition entre ces deux régimes viscoélastiques est marquée par un point de croisement unique (G' = G''), qui, grâce à une superposition temps-température (TTS), peut être extrapolé à un temps caractéristique dépendant de la température. Le comportement global des systèmes est alors décrit par un modèle de Maxwell.

L'étude de différentes compositions d'échantillons permet de mettre en évidence l'influence du degré de polymérisation du réseau silicaté sur les paramètres viscoélastiques des verres.

MOTS-CLES (5 maximum)

Verre, Haute Température, Transition vitreuse, Viscoélasticité

RÉFÉRENCES

Rhéométrie par écoulements gravitaires à surface libre

Aya AL ALI[1], Romain CASTELLANI[1] et **Rudy VALETTE**[1]

[1]*Centre de Mise en Forme des Matériaux (CEMEF), MINES Paris – Université PSL, France*

rudy.valette@minesparis.psl.eu

SOUHAIT : Communication Orale

RESUME

On présente une technique relativement simple de rhéométrie, basée sur des mesures d'épaisseur et de débit (massique ou volumique), couplée à des corrections de type Rabinowitsch, le tout permettant de remonter à une loi de viscosité fonction de la vitesse de cisaillement pour des écoulements gravitaires à surface libre.

On montrera son application sur des écoulements sur plan inclinés et le long de cylindres, pour suspensions glycérol/TiO_2 de différentes fractions volumiques.

L'intérêt de la méthode de base est qu'elle permet de s'affranchir de mesure de vitesse locale. Une limitation étant la gamme relativement faible de vitesses de déformation (autour d'une décade) utiles, l'écoulement étant supposé à nombre de Reynolds négligeables. On montrera que cette gamme peut s'étendre raisonnablement pour des nombres de Reynolds modérés.

MOTS-CLES

Écoulements gravitaires à surface libre, corrections de Rabinowitsch, rhéomètre bon marché □

VISCOELASTIC FINGERPRINTING OF WEAKLY STRUCTURED LIQUIDS: CLASSIFICATION OF ORANGE-BASED BEVERAGES

Guillaume DARSY[1] and Jérémy PATARIN[1]

[1]*Rheonova, France*

darsy@rheonova.fr

PREFERENCE: Oral

RESUME

Orange juices and nectars constitute a family of beverages with highly diverse microstructures, ranging from clarified solutions to pulp-suspensions, depending on the fruit variety, processing technology, and formulation [1]. However, their characterization by oscillatory rheology is challenging due to their low viscosity and weak elasticity [2]. Using a high-precision rheometer capable of resolving very small elastic contributions, we investigated the viscoelastic properties of several commercial, orange-based products alongside fresh-squeezed juice. Clear differences in the loss tangent (tan δ) profiles and frequency-dependent moduli were observed across product categories, enabling a microstructure-based classification. Notably, certain products displayed soft-solid behavior (G' > G"), suggesting a structured network despite their fluid appearance. These findings highlight the potential of high-sensitivity rheology as a quality control and product differentiation tool in the food and beverage industry.

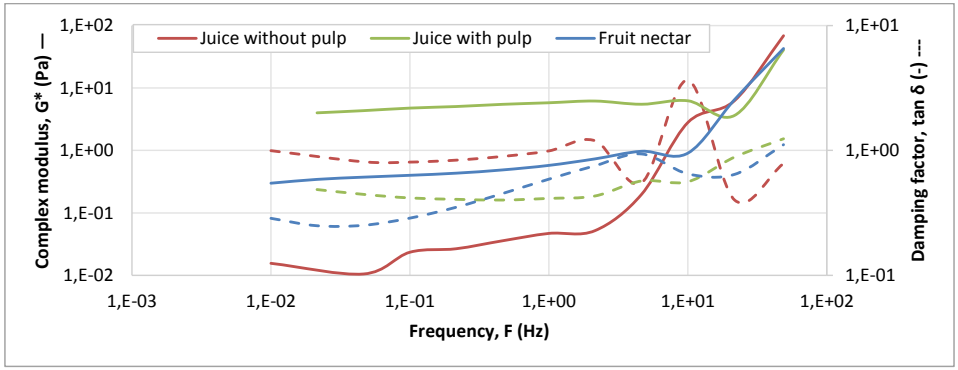


Fig. 1. Viscoelastic properties of three types of orange juice

KEYWORDS

low-viscosity fluids, orange juice, microstructure, high-sensitivity rheology, weak viscoelasticity, product discrimination.

REFERENCES

[1] Dahdouh, L., *Rheological study of orange juices for a better knowledge of their suspended solids interactions at low and high concentration*, Journal of Food Engineering, Volume 174, 2016, p. 15-20.

[2] Salehi, F., Physicochemical characteristics and rheological behaviour of some fruit juices and their concentrates, Food Measure 14, 2020, p. 2472–2488.

Caractérisation de mélanges de PET de grade textile et de grade bouteille en vue de leur recyclage chimique par glycolyse

Isabelle Hénaut [1], Maelann Durand[1] et Frédéric Favre[2]

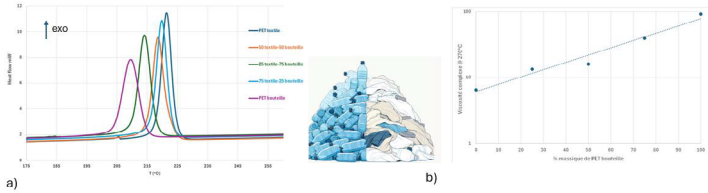
[1]*Physico-Chimie et Mécanique appliquée, IFPEN, France*
[2]*Expérimentation Procédés, IFPEN, France*

isabelle.henaut@ifpen.fr

SOUHAIT : Communication Orale

RESUME

Le PET (polyéthylène téréphtalate) représente 10 % de la production mondiale de plastiques, ce qui en fait l'un des polymères les plus produits et utilisés, après le polyéthylène (PE), le polypropylène (PP) et le polychlorure de vinyle (PVC). Il sert principalement à la fabrication de bouteilles, d'emballages alimentaires, et de fibres textiles. Actuellement, son recyclage se focalise sur le gisement des bouteilles colorées transparentes, ces dernières sont en effet relativement homogènes et leur collecte assez organisée. Ce n'est pas le cas du gisement textile pouvant se montrer hétérogène (présence de coton, de laine, d'élasthanne etc.). Néanmoins, le recyclage du PET grade textile reste une nécessité écologique en raison des grandes quantités de déchets générés. Le recyclage chimique déjà bien établi pour les bouteilles parait une solution prometteuse pour intégrer le cas des textiles car cette technologie peut tolérer des matériaux mélangés et des contaminants. Afin de promouvoir cette piste, des premiers mélanges contenant différentes proportions de PET grade textile et de PET grade bouteille ont été réalisés dans un mélangeur interne. Les propriétés rhéologiques et thermiques des mélanges ont été déterminées. Les deux grades de PET se distinguent significativement par leur masse molaire avec une gamme comprise entre 15 000 et 20 000 g/mol pour le grade textile et entre 24 000 et 36 000 g/mol pour le grade bouteille. La viscosité du PET grade bouteille est alors plus élevée que celle du PET textile à haute température mais leur ordre s'inverse à basse température quand le PET textile cristallise plus aisément. Malgré les différences prononcées des polymères parents, les mélanges se sont montrés miscibles avec une viscosité évoluant de façon continue avec la composition. Cette miscibilité est appuyée par la co-cristallisation des deux polymères et l'évolution graduelle du pourcentage de cristallinité des mélanges. Ces tendances ont été obtenues sur deux types de mélanges: une première série préparée avec un grade bouteille et un grade textile européen, et une seconde série avec un grade bouteille et un grade textile japonais. La viscosité de ce flux mixte semble compatible avec les procédés de recyclage chimique.



a) Co-cristallisation des mélanges de PET DSC à 10°C/min sur Mettler ; b) viscosité complexe à 5% de déformation et 10 rad/s des mélanges géométrie plan/plan sur rhéomètre rotationnel DHR3

MOTS-CLES (5 maximum)

Recyclage chimique, PET grade bouteille, PET grade textile, mélange, rhéologie

RÉFÉRENCES

[1] : Y. Ko J.P. Hinestroza and T. Uyar, Appl. Polym. Mater, 2023, 5, 7298-7307
[2] : C. Pudack, M. Stepanski and P. Fassler, Chem. Ing. Tech, 2020, 92, 4, 452-458
[3] : A. Bata, G. Toth, D. Nagy and K. Belina, J. Phys. Conf. Ser, 2018, 1045, 012007
[4] E. Deloye, J-M Haudin, and N. Billon, Int. J. Mater. Form. 2008, 1, 1, 715-718
[5] D. Lei, et al., Ind. Eng. Chem. Res. 2022, 61, 4794-4802

Rhéologie de polymères recyclés : impact des impuretés et d'un procédé d'homogénéisation pour la valorisation de DEEE

Louis CHARTON[1], Mohamed YOUSFI[1], Abderrahim MAAZOUZ[12] et Khalid LAMNAWAR[1]*
[1]*Université de Lyon, INSA Lyon, CNRS, UMR 5223, Ingénierie des Matériaux Polymères, France*
[2]*Hassan II Academy of Science and Technology, Morocco*

Khalid.lamnawar@insa-lyon.fr

SOUHAIT : Communication Orale

RESUME

La valorisation des plastiques issus de déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) représente un enjeu important pour le développement de filières de recyclage à haute valeur ajoutée. Toutefois, ces gisements présentent une composition complexe, marquée par la présence d'impuretés polymériques, minérales ou additives, susceptibles de modifier fortement le comportement à l'état fondu des matériaux recyclés. Dans ce contexte, cette étude vise à mieux comprendre l'impact des impuretés sur la rhéologie de HIPS et d'ABS recyclés, ainsi qu'à évaluer l'effet d'un procédé innovant d'homogénéisation de la matière. Une première étape de caractérisation permet de mettre en évidence la composition hétérogène des matériaux, lesquels sont ensuite étudiés avant et après passage dans le procédé d'homogénéisation, afin de déterminer si celui-ci modifie leur comportement rhéologique à l'état fondu. L'analyse est menée dans les domaines linéaires et non linéaires, à travers l'étude des comportements viscoélastiques et des mécanismes de relaxation après grande déformation. Les résultats permettent de comparer l'état initial des matériaux recyclés à leur état après homogénéisation. La superposition temps-température met en évidence l'influence des impuretés sur le comportement aux basses fréquences, tandis que les essais de relaxation révèlent une réponse plus complexe, marquée par plusieurs temps caractéristiques. L'évolution de la morphologie des matériaux est également discutée afin de venir vérifier le raffinement et la meilleure dispersion des hétérogénéités, mais aussi d'appuyer les conclusions émises sur les comportements rhéologiques. Cette approche relie ainsi la composition complexe des HIPS et ABS recyclés, leur comportement rhéologique et l'effet du procédé de mise en œuvre. Elle montre que la rhéologie constitue un outil pertinent pour évaluer l'impact des impuretés, mais aussi pour juger de l'efficacité d'un procédé d'homogénéisation dans une perspective de valorisation à haute valeur ajoutée des polymères recyclés.

MOTS-CLES (5 maximum)

DEEE, Rhéologie à l'état fondu, Impuretés, valorisation.

RÉFÉRENCES

[1] Forti, Vanessa, Balde, Cornelis P., Kuehr, Ruediger, and Bel, Gabriela. The global e-waste monitor 2024, 2024. ISBN 978-92-61-37102-5.

[2] Aoki, Yuji, et Kenjiro Nakayama. « Dynamic Viscoelastic Properties of ABS Polymers in the Molten State IV. Effect of Rubber Particle Size ». Polymer Journal, vol. 14, no 12, décembre 1982, p. 951-58.

[3] Bertin, Marie-Pierre, et al. « Viscoelastic Properties of Acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) Polymers in the Molten State ». Polymer Engineering & Science, vol. 35, no 17, septembre 1995, p. 1394-406.

Eco-design of PLA/CNC nanocomposites with dynamic-crosslinking network: Enhanced nanofillers dispersion, strain hardening and mechanical properties via reactive extrusion.

Hu Qiao[1], Jixiang Li[1] and Khalid Lamnawar[1]

[1] INSA-Lyon, CNRS, Université Claude Bernard Lyon 1, Université Jean Monnet, UMR 5223, Ingénierie des Matériaux Polymères, F-69621Villeurbanne Cedex, France
Jixiang.li@insa-lyon.fr

PREFERENCE: **Oral or Poster Presentation**

RESUME

In this study, a novel concept termed "Polyols Coating/Crosslinked" was introduced for the PLA nanocomposites with dynamic-crosslinking network (DCN) via a two-step reactive extrusion process. In this approach, polyols were used both as crosslinking components and physically coating agent of cellulose nanocrystals (CNC) and through a freeze-drying method with water, CNC dispersion inside PLA was enhanced. Meanwhile, during the establishment of DCN inside PLA, the coated CNC were subsequently connected to the DCN to enhance reinforcement. The freeze-dried, glycerol-coated CNC exhibited significantly improved dispersion, indicated via an average distributed length of approximately 400 nm, which is much smaller than the several-micrometer length of untreated CNC particles. This enhanced dispersion and reinforcement further notably reinforced melt strength, mechanical stiffness and thermal resistance of the PLA/CNC composites. Much more pronounced strain hardening behavior, a ~20% increase in storage modulus and 3.7 ºC increase in vicat softening temperature were observed comparing with the neat PLA matrix. As a practical outcome, the CNC-reinforced DCN systems demonstrated excellent foamability, achieving a 25-fold foam expansion, attributed to CNC's role as a foaming nucleating agent. Last but not least, the entire process is recyclable, re-processable, organic-solvents-free and suitable for continuous melt extrusion. Based on these results, this method could potentially be applied to transform similar polyester-based polymer wastes to a composite DCN form, offering improved mechanical and melt-strengthening properties, without sacrificing the original processability, thus realizing upcycling of polyesters.

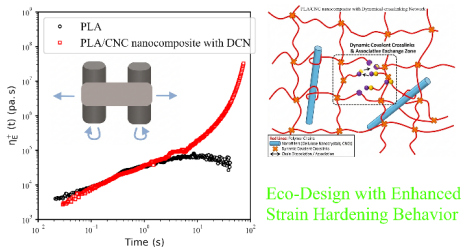


Fig. 1. Enhanced strain hardening of PLA/DCN nanocomposite

KEYWORDS

Poly(L-lactide) (PLA), Cellulose nanocrystals (CNC), Dynamic-crosslinking network (DCN), Strain hardening, Upcycling.

La rhéologie des polymères, outil indispensable à la compréhension/résolutions de problématiques industrielles

Sylvain Tombolato[1], Florent Mazières[2], Vincent Luca[2], Mathieu Cyrille[2] et Raber INOUBLI[2]

[1]*Groupement de Recherche de Lacq,* [2]*Centre de Recherche Rhône-Alpes, ARKEMA, France*

sylvain.tombolato@arkema.com

SOUHAIT : Communication Orale

RESUME

La rhéologie des polymères est une science fine, souvent de haute volée, permettant de simuler le mouvement de chaines polymères, permettant de prédire le comportement complexe de fluides viscoélastiques, permettant même d'anticiper des mouvements, des écoulements, des relaxations sur des temps allant de la seconde à plusieurs mois, voir années.

Et, à coté de cet aspect fondamental, nécessaire et indispensable à La science, la rhéologie est aussi un outil indispensable pour le bon fonctionnement et l'innovation dans le monde industriel des polymères.

Dans cette présentation, nous proposons d'exposer quelques cas concrets où la rhéologie a permis de débloquer des situations applicatives bloquantes, où la rhéologie a permis de développer de nouvelles formulations utilisées pour les batteries, adhésifs et autres.

Le 1er cas est un cas intéressant de formulation adhésive basée sur des copolymères à blocs qu'il a fallu passer du laboratoire, au pilote puis sur un procédé industriel. Lors des scale-ups, les copolymères en question présentaient les mêmes compositions (RMN), les mêmes masses molaires et pourtant ne donnaient pas les mêmes propriétés applicatives à la formulation finale. Grace à des analyses rhéologique, il a été possible de démonter l'effet prédominant de la structure de la chaine de copolymère et de son passé thermodynamique sur les performances finales.

Le 2iem cas concerne le domaine innovant des batteries Li. Le procédé de fabrication complexe des cathodes et anodes nécessite l'utilisation d'encres sous forme de dispersions solvantées. Connaître le comportement rhéologique de ces « encres » est indispensable pour déterminer la capacité à réaliser des électrodes qualitative et « productives » (contrainte de vitesse /rendement de fabrication industrielles) et anticiper les propriétés applicatives finales des électrodes.

Nous montrerons à travers ces quelques exemples pratiques dans quelles mesures les caractéristiques rhéologiques sont des données incontournables dans notre processus de développement R&D.

MOTS-CLES (5 maximum)

Rhéologie industrielle, innovation, adhésif, batterie

Création et structuration de cavités dans un fluide viscoélastique compressible

Léa CAILLY-BRANDSTATER[1], **Romain CASTELLANI[1]** et Rudy VALETTE[1]

[1]*Centre de Mise en Forme des Matériaux (CEMEF), MINES Paris – Université PSL, France*

romain.castellani@minesparis.psl.eu

SOUHAIT : Communication Orale

RESUME

Les processus de décollement de couches minces de PSA (Pressure Sensitive Adhesive) impliquent plusieurs phénomènes complexes qui influencent l'énergie dissipée par le matériau. Ces phénomènes sont mis en évidence lors d'essais de « tack » où deux surfaces maintenant une fine couche de colle sous fort confinement sont écartées à une certaine vitesse. La littérature, très riche à ce sujet, décrit les premiers instants en faisant l'hypothèse d'un comportement hyperélastique ; puis, pour les dynamiques des filaments qui se forment, d'un matériau plutôt liquide, avec une forte contribution des interfaces. Nous nous proposons dans cette communication de décrire plutôt les premiers instants de l'étirage d'un film par une démarche « rhéologique » liant viscoélasticité et compressibilité du matériau à la création de cavités dans le film. Ces cavités seront les structures menant à la formation des filaments, et donc à la façon dont l'énergie est dissipée lors de l'étirage d'un film mince. A cet effet, des mesures mécaniques en oscillations (TACOS – Tunable Amplitude Confined Oscillatory Squeeze) couplées à de l'imagerie sur un film de PEHA (polyacrylate de 2-éthylhexyle) sont réalisées. L'imagerie se fait par fluorescence aux UVs de la couche de colle et à l'aide d'une caméra rapide (voir Fig. 1). En premier lieu, nous montrons que la mécanique du système se comprend uniquement en prenant en compte les propriétés de compressibilité et de viscoélasticité. L'évolution des cavités (taille et répartition dans l'entrefer) au cours des oscillations est ensuite caractérisée en fonction de leur amplitude et fréquence. Leur structuration dans l'entrefer – croissance, fusion, migration, répartition – peut alors être contrôlée.

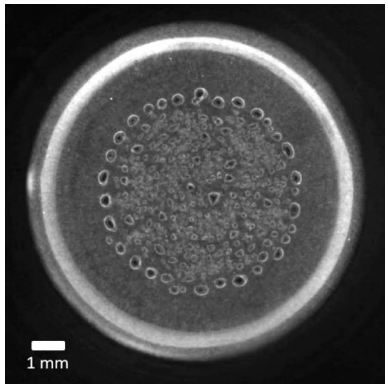


Fig. 1. Mise en évidence des cavités dans un film de PEHA

MOTS-CLES

PSA, tack-test, viscoelasticité, compressibilité, polymère.

Caractérisation du temps de relaxation dépendant du taux d'élongation dans des solutions de polymères diluées

Vincent VERDOOT, Manar TALHA, Frédéric HUGENELL, Hugues BODIGUEL, Emeline TALANSIER et Clément de LOUBENS

Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, LRP, 38000 Grenoble, France

vincent.verdoot@univ-grenoble-alpes.fr

SOUHAIT : Communication Orale

RESUME

La technique de « Capillary Break-up Rheometry » (CaBER) permet de caractériser le temps de relaxation de solutions viscoélastiques grâce à la dynamique d'amincissement d'un filament[1]. Dans son utilisation en configuration SRM (Slow Retraction Method), où le moteur de l'amincissement est la force capillaire, le taux d'élongation $\dot{\epsilon}$ est subi et non contrôlé[2]. Pour des solutions de polymères diluées présentant un comportement rhéofluidifiant en élongation, cette absence de contrôle de $\dot{\epsilon}$ constitue une limitation méthodologique[3] puisque le temps de relaxation dépend du taux d'élongation[4].

L'objectif de cette étude est de caractériser l'évolution du temps de relaxation $\lambda(\dot{\epsilon})$ de solutions de polymères diluées par CaBER. Les différents taux d'élongation $\dot{\epsilon}$ sont obtenus en modifiant les paramètres initiaux du système, en particulier le diamètre des plateaux et le volume de fluide mis en œuvre. Ces solutions de polymères diluées sont également caractérisées en rhéométrie de cisaillement par la mesure directe de la première différence de contraintes normales N_1 et par la détermination du temps de relaxation à différents taux de cisaillement $\dot{\gamma}$ à partir d'essais de relaxation après arrêt de cisaillement (« stop-flow »).

L'ensemble de ces méthodes démontrent que les solutions ayant une viscosité de cisaillement newtonienne présentent un comportement en accord avec une loi de comportement d'Olroyd-B : $N_1(\dot{\epsilon}) = 2\,\eta\lambda\dot{\epsilon}^2$. Pour des solutions de polymères présentant un comportement rhéofluidifiant, le comportement correspond à un fluide de Maxwell avec un temps de relaxation qui dépend du taux d'élongation : $N_1(\dot{\epsilon}) = 2\,\eta(\dot{\epsilon})\lambda(\dot{\epsilon})\dot{\epsilon}^2$.

MOTS-CLES

Temps de relaxation, viscosité élongationnelle, polymères dilués, Slow Retraction Method

RÉFÉRENCES

1. Anna, S. L., McKinley, G. H., *Elasto-capillary Thinning and Breakup of Model Elastic Liquids*, Journal of Rheology, vol. 45, no. 1, 2001, pp. 115–138.
2. Campo-Deaño, L., Clasen, C., *The Slow Retraction Method (SRM) for the Determination of Ultra-Short Relaxation Times in Capillary Breakup Extensional Rheometry Experiments*, Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 2010
3. Gaillard, A., *et al.*, *Beware of CaBER: Filament Thinning Rheometry Does Not Always Give "The" Relaxation Time of Polymer Solutions*, 2024.
4. Salas-Barzola, X., Naillon, A., de Loubens, C., Maîtrejean, G., Carreras, E. S., & Bodiguel, H. (2026). Quantification of first normal stress difference in shear-thinning viscoelastic fluids via particle focusing dynamics in confined Poiseuille flow. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 105596.

Insights into the flow behavior of nematic side-chain liquid crystal polymers

Matthieu Kermarrec[1], Linus Kuckling[1] and Annette Schmidt[1]

[1] ***University of Cologne, Institute for Light and Matter, Germany***
mkermarr@uni-koeln.de

PREFERENCE: Oral Presentation

RESUME: Stimuli-responsive and active materials have potential in novel materials, e.g., in soft robotics or sensing. More specifically, the recent emergence of 4D-printing, referring to the development of smart structures whose shapes can evolve over time, has led to an increase in demand in responsive and soft materials.[1] In this regards, liquid crystal elastomers (LCEs) offer programmable shape morphing in response to various triggers, e.g., temperature, light, and electric fields.[2] The shape morphing properties in such systems is caused by a nematic to isotropic phase change, and depends on the internal architecture, determined by the domain structure and crosslinking topology that is usually fixed during the preparation process.

Our study investigates the (flow-induced) nematic-isotropic phase transition and mechanical properties in side-chain liquid crystal polymers (LCPs) based on poly(methylsiloxane)s (PHMS) with mesogenic 4-methoxyphenyl 4-(3-butenyloxy) benzoate (M4) pending groups. The synthesis of a large set of polymers with different degree of mesogen functionalization showed that the thermal (T_{NI}) and rheological properties can be finely tuned by varying the quantity of side-chain mesogens (see Figure 1). Furthermore, depending on the molar mass and degree of functionalization, these LCPs show a shear-induced phase transition at a critical shear rate with indication for a transient shear thickening behavior. With further introduction of other pending groups, we can further alter both the transition temperature and mechanical properties.

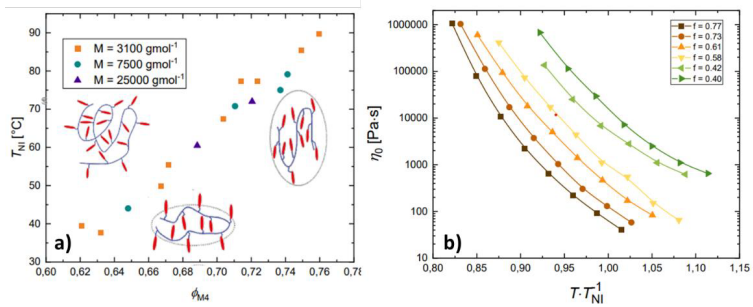


Figure 1: **a)** Evolution of the nematic to isotropic transition temperature T_{NI} as a function of the degree of mesogen functionalization (M4-PHMS) for different polymer chain lengths (M_{PHMS} = 3100 g.mol^{-1}, 7500 g.mol^{-1} and 25 000 g.mol^{-1}) insert: configurations of the mesogen and polymer chains depending on the temperature and degree of functionalization; **b)** zero shear viscosity η_0 as a function of the temperature over nematic to isotropic transition temperature ratio for different functionalization degrees (M_{PHMS} = 3100 g.mol^{-1}).

KEYWORDS: ***side-chain polymer, liquid-crystal***

REFERENCES:

1 X. Kuang, D. J. Roach, J. Wu, C. M. Hamel, Z. Ding, T. Wang, M. L. Dunn and H. J. Qi, *Advanced Functional Materials*, 2019, **29**, 1805290.

2 M. Chen, M. Gao, L. Bai, H. Zheng, H. J. Qi and K. Zhou, *Advanced Materials*, 2023, **35**, 2209566.

Investigation of solvent diffusion in a polymer matrix by DWS microrheology

KHALED-AITCHERIF Thayri [1], NGUYEN LE Anh Vu [1], CHALAMET Yvan [1] and MAJESTE Jean-Charles[1]

1Univ Lyon, CNRS, UMR 5223, Ingénierie des Matériaux Polymères, Université Claude Bernard Lyon1, INSA Lyon, Université Jean Monnet, France

Thayri.ait.cherif@univ-st-etienne.fr

Oral

RESUME

Solid polymeric foams are cellular materials widely used in everyday life and across various industries, including sport footwear, construction insulation, and automotive shock absorption. Among the foaming techniques, the use of supercritical (sc) CO_2 as a clean and sustainable foaming agent presents clear advantages. However, producing polymer foams with scCO_2 remains complex due to dual role of dissolved CO_2—initially as a plasticizer and subsequently as a physical blowing agent—which significantly alters the rheological properties of the polymer matrix. In turn, these changes directly impact the rate of diffusion of CO_2 in the matrix throughout the foaming process. Therefore, a better understanding of the rheology of polymer plasticized by CO_2 under supercritical conditions is essential to optimize the foaming process and to control the final properties of polymer foams.

As a preliminary step for subsequent studies on polymer-CO_2 systems under high pressure, we use Diffusing Wave Spectroscopy (DWS) to characterize the rheological properties of a model system that is PDMS oils absorbing their good solvents. In a nutshell, DWS uses the generalized Stokes-Einstein equation to obtain the storage G'(ω) and loss G"(ω) moduli with good spatial and temporal resolution from the evolution of the mean square displacement (MSD) of nanometric tracer particles (e.g. TiO_2) dispersed in the sample. When used in conjunction with diffusion mechanisms, this technique allows us to measure changes in the local viscoelastic behavior of a polymer as the solvent diffuses through the matrix, at various points along the z-axis, and from the initial polymer-solvent contact (t = 0) until saturation (t = ∞). Rheological measurements from DWS are validated against those obtained using a conventional mechanical rheometer.

The simultaneous measurement of an effective diffusion coefficient and a critical exponent of the viscosity law can be achieved through a model that couples one-dimensional Fickian diffusion with a local constitutive law of the power-law type, relating viscosity to the polymer volume fraction. Within this approach, the viscosity measured by DWS is interpreted as spatial average of the local viscosity over a photon-probed volume, whose propagation is described as a random walk, characterized by transport mean free path l*. This approach leads to an integration of the local viscosity weighted by the geometry of the diffusive volume. The analysis also highlights two distinct regimes: an initial diffusion phase driven by a solvent reservoir at imposed concentration, followed by an internal re-equilibration regime governed by no flux boundary conditions.

This work establishes a methodological foundation for future study of polymer- CO_2 systems under supercritical conditions and open perspectives for a better understanding of the mechanisms coupling diffusion and rheology.

KEYWORDS : ***Diffusion, supercritical CO2, Diffusing Wave Spectroscopy***

POSTERS

Analogie de Couette et rhéologie systémique : comment ça marche… et surtout pourquoi ça marche ?

Hector LECLERC[1,2], Adilson SAMBA[1], Cecile LEMAITRE[1] et Philippe MARCHAL[1]

[1]Université de Lorraine, CNRS, LRGP, France

[2]Département de physique, ENS de Lyon, France

hector.leclerc@ens-lyon.fr

SOUHAIT : Poster

RESUME : Afin de reproduire des situations courantes en génie chimique, telles que l'agitation ou le mélange de fluides complexes, éventuellement réactifs, des géométries non viscosimétriques (ancres, rubans hélicoïdaux, agitateurs multi-pales, etc.) sont fréquemment utilisées sur rhéomètres rotatifs pour établir des rhéogrammes en régimes transitoire, permanent ou oscillatoire. Une procédure de calibration, telle que l'analogie de Couette, permet de superposer ces résultats à ceux obtenus avec des géométries viscosimétriques classiques (cône-plan, plan-plan, cylindres coaxiaux). L'accord observé est remarquablement précis malgré l'hétérogénéité du champ d'écoulement généré par ces mobiles d'agitation. Cet article en analyse les origines et les limites à l'aide d'une géométrie de Couette modifiée. La validité de l'analogie repose sur un critère essentiel : le couple doit être principalement généré par un volume de fluide dans lequel le gradient de vitesse varie de moins d'un ordre de grandeur pour une vitesse angulaire donnée. Des distorsions sur des rhéogrammes issus de géométries non viscosimétrique ne peuvent apparaître que si deux conditions sont simultanément réunies : la coexistence de zones soumises à des taux de cisaillement très distincts correspondant à des comportements rhéologiques différents (par exemple plateau newtonien et zone rhéofluidifiante), et des contributions de couple du même ordre de grandeur dans ces zones. Ces conditions n'étant pas rencontrées avec les outils de mesure usuels, viscosimétriques ou non, cela explique l'excellent accord expérimental et le large domaine d'applicabilité de l'analogie de Couette.

Mots-clés : Rhéologie systémique, Analogie de Couette, Rhéomètre rotatif, Polyisobutylène.

RÉFÉRENCES

[1] Leclerc H., Samba A., Lemaitre C., Marchal P. Rhéologie 47, 15–22 (2025).

[2] Ait-Kadi A., Marchal Ph., Chrissemant A.S., Bousmina M., Choplin L., Quantitative analysis of mixer-type rheo-meters using Couette analogy, Can. J. Chem. Eng., 80, 1166-1174 (2002).

[3] Estellé P., Lanos C., Perrot A., Amziane S., Processing the vane shear flow data from Couette analogy, Appl. Rheo., 18, 34037 (2008).

[4] Guillemin J.P., Menard Y., Brunet L., Bonnefoy O., Thomas G., Development of a new mixing rheometer for studying rheological behaviour of concentrated energetic suspensions, J. Non-Newt. Fluid Mech., 151, 136-144 (2008).

[5] Bbosa B., Delle Case E., Volk M., Ozbayoglu E., Development of a mixer-viscometer for studying rheological behavior of settling and non-settling slurries, J. Petrol. Expl. Prod. Tech., 7, 511-520 (2017).

Caractérisation rhéométrique de bois en écoulement en filière d'extrusion radiale

Charles CARRE[1], Pierre Mousseau[1] et Nadine ALLANIC[1]

[1]Equipe OSE, GEPEA, Université de Nantes, France

Charles.Carre@univ-nantes.fr

SOUHAIT : Poster

RÉSUMÉ

Les granulés de bois sont issus de déchets de scieries qui, dans le procédé conventionnel, subissent trois étapes principales permettant d'obtenir un granulé stable. En effet, le bois doit être broyé, séché puis compacté dans une presse à galets. Puisque ces étapes nécessitent des procédés très volumineux et coûteux pour être installés en scierie, la matière première est généralement transportée chez des fabricants de granulés, augmentant ainsi l'empreinte carbone du produit final. Pour cela, la start-up WoodTechno développe un procédé utilisant l'extrusion bi-vis radiale pour remplacer les trois étapes nécessaires à l'obtention du pellet [*Becquart 2023*]. Par rapport au procédé conventionnel, cette nouvelle méthode de production est plus flexible quant à l'état de la matière première. Elle nécessite moins de prétraitements du bois et permet d'obtenir de meilleures performances, notamment en termes de résistance à l'eau et à la casse. L'ANR FEELWOOD vise à comprendre et à optimiser le procédé par l'analyse de la transformation du bois dans le fourreau de la bi-vis. Le bois est travaillé avec sa teneur naturelle en eau qui est le seul "additif" qui permet de plastifier le jonc en sortie. Au sein de la bi-vis, le complexe lignocellulosique chargé en eau est porté à une pression supérieure 180 bar, des températures dépassant les 120°C et des taux de cisaillement importants ($\dot{\gamma} \simeq 10^4 s^{-1}$). Outre l'évaporation violente de l'eau en sortie de bi-vis qui présente un danger, ce procédé innovant nécessite d'être optimisé par une meilleure compréhension du comportement du bois extrudé dans ces conditions de pression, cisaillement et température. Cette approche nécessite des études approfondies sur les paramètres de process, notamment sur l'écoulement de la "pâte" de bois obtenue dans l'extrudeuse et qui sort en filière. Dans cette étude, deux méthodes sont envisagées :

- Une méthode basée sur l'instrumentation de la filière de sortie avec deux capteurs de pression et une matrice de thermocouples non-intrusifs. Cette instrumentation permet de tirer des informations sur la manière dont s'écoule la pâte de bois (viscosité, échauffement visqueux, etc.).
- Un appareil de mesure de viscosité sous une presse est développé pour caractériser le bois en s'approchant des conditions d'extrusion (T, P, $\dot{\gamma}$). En effet, les rhéomètres classiques ne permettent pas d'atteindre de tels conditions simultanément.

Dans la présente étude, les résultats obtenus par la méthode basée sur la mesure de température dans la filière est présentée et l'appareil de mesure développé pour quantifier la viscosité est détaillé.

MOTS-CLES

Bois, Extrusion bi-vis, Viscosité, Méthode inverse, thermo-rhéologie

RÉFÉRENCE

Becquart F. et al., *Process for the Extrusion of Wood Pellets, Co-Rotating Twin-Screw Extruder for the Extrusion of Wood Pellets, and Corresponding Wood Pellets*, patent, 2023.

DRIPPING-ONTO-DROPLET CAPILLARY BREAKUP

Ricardo EL KHOURY[1], Kindness ISUKWEM[1], Elie HACHEM[1], and Anselmo PEREIRA[1]

[1]*Mines Paris, PSL University, Centre for material forming (CEMEF), UMR CNRS 7635, rue Claude Daunesse, 06904 Sophia-Antipolis, France*

ricardo.elkhoury@minesparis.psl.eu

PREFERENCE: Poster Presentation

RESUME

This experimental, numerical, and theoretical study investigates the capillary thinning and breakup of Newtonian filaments formed following the coalescence of a millimetric-nozzle-generated pendant drop with a lower droplet cap contained in a millimetric cylinder in ambient air, i.e., \textit{dripping-onto-droplet capillary breakup} (DoD). Our mixed approach combines filament breakup experiments recorded with a high-speed camera and three-dimensional numerical simulations based on a variational multiscale framework for multiphase fluid flows. The results are analysed by considering the dynamics of fluid filament thinning, energy transfers, and scaling laws. Three flow regimes are highlighted: capillary-inertial, capillary-viscous, and mixed capillary-inertial-viscous. All regimes are affected by gravity. The findings are summarised in a two-dimensional diagram that correlates the filament breakup time with different flow regimes using the important dimensionless parameters of the problem, e.g., the Ohnesorge number (which relates the viscous stress to inertial and capillary stresses) and the Bond number (which balances the gravitational stress with the capillary one). This diagram can be used to quantify both the liquid viscosity and the liquid-gas surface tension (for Newtonian fluids). Lastly, we demonstrate that DoD can also be used as a rheometric test, giving access to the extensional relaxation time of polymer solutions (for viscoelastic fluids).

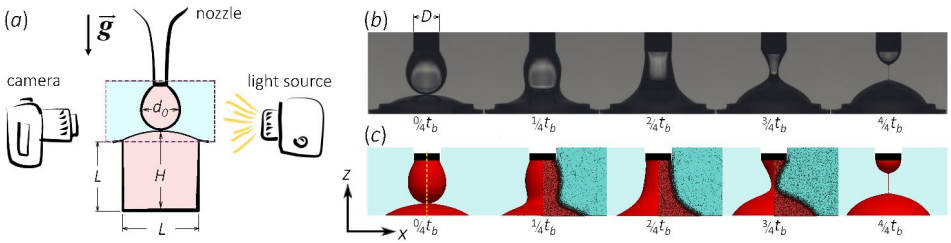


Fig. 1. (*a*) Schematic illustrating the experimental setup. (*b*-*c*) Experimental (*b*) and numerical (*c*) snapshots showing the evolution of the capillary thinning until the filament rupture at instant t_b.

KEYWORDS: ***extensional rheology, rheometry, experiments, numerical simulations.***

Émulsions de Pickering : effet des paramètres de procédé sur leurs propriétés finales

Laura GONZALEZ[1], Véronique SADTLER[1] et Thibault ROQUES-CARMES[1]

[1]Laboratoire Réactions et Génie des Procédés (LRGP), Université de Lorraine, France

laura-camila.gonzalez-hernandez@univ-lorraine.fr

SOUHAIT : Poster

RESUME :

Ces dernières années, les émulsions de Pickering ont suscité un intérêt croissant en raison de leur grande stabilité et de leur potentiel comme alternative aux émulsions conventionnelles stabilisées par des tensioactifs. Ces systèmes sont stabilisés par des particules solides adsorbées à l'interface huile-eau, ce qui leur confère une résistance accrue à la coalescence. Toutefois, leur élaboration reste complexe, car les mécanismes d'adsorption et de stabilisation des particules sont généralement plus lents que ceux des tensioactifs moléculaires. La maîtrise des paramètres opératoires constitue ainsi un enjeu majeur pour la compréhension du rôle des paramètres opératoires est donc essentielle pour maîtriser la structure et les propriétés finales des émulsions obtenues.

Cette étude porte sur l'influence des paramètres de procédé et des techniques d'homogénéisation sur la formation d'émulsions de Pickering huile-dans-eau stabilisées par des particules de carbonate de calcium et des nano-cristaux de cellulose. Trois procédés d'émulsification ont été comparés : un rotor-stator, un sonicateur et un homogénéisateur à haute pression. Cette comparaison repose sur leurs paramètres opératoires ainsi que sur l'énergie spécifique apportée au système afin d'évaluer leur impact sur la formation, la structure et les caractéristiques finales de l'émulsion.

Les émulsions obtenues ont été caractérisées par des mesures de distribution de taille de gouttes (granulométrie laser et microscopie optique) et des analyses rhéologiques. Les résultats montrent que les procédés à plus forte énergie conduisent à une réduction significative de la taille des gouttes mais peuvent également modifier les propriétés des particules solides. Les différences observées entre technologies suggèrent que l'efficacité de stabilisation ne dépend pas uniquement de l'énergie fournie, mais également de la capacité des particules à atteindre et couvrir les interfaces nouvellement créées pendant l'émulsification. Ces observations mettent en évidence le rôle déterminant des conditions de procédés dans le contrôle des propriétés finales des émulsions de Pickering et apportent des éléments de compréhension pour l'optimisation de leur élaboration.

MOTS-CLES (5 maximum)

Émulsions de Pickering, Particules solides, Procédés d'homogénéisation, Taille de gouttes

Energy Based Characterization of Yielding and Erosion in Natural Cohesive Sediments

Gracia SALLOUM[1], Sébastien JARNY [1], Lionel THOMAS[1] and Florence GIBOUIN [1]

[1]Pprime Institute, CNRS-University of Poitiers-ISAE ENSMA, France

gracia.salloum@univ-poitiers.fr

PREFERENCE: Poster Presentation

RESUME

The rheological characterization of natural cohesive sediments remains challenging due to the complex interactions between microstructure, consolidation state, and mechanical history. Unlike simple fluids or non cohesive granular materials, cohesive sediments exhibit highly nonlinear and history dependent behavior, including viscoelasticity, thixotropy, structural rebuilding, and progressive yielding. Consequently, their mechanical response depends not only on concentration but also on previous deformation and loading conditions, complicating the definition of robust rheological descriptors.

This work focuses on natural sediments collected from the Gironde Estuary, France. Particular attention is devoted to the development of a reproducible conditioning methodology prior to rheological measurements. A systematic protocol involving controlled pre-shear, restructuring, and rest phases was established to minimize the influence of unknown shear history and ensure reproducible initial structural states.

Rheological characterization is performed using a stress controlled rotational rheometer equipped with a vane geometry. Oscillatory, stress ramp, and creep tests are combined to investigate viscoelastic behavior, yielding mechanisms, and fluidization dynamics. Beyond conventional parameters such as elastic moduli and yield stress, particular emphasis is placed on the energetic aspects of structural breakdown.

A state based framework is explored in which sediment resistance is quantified through an energy to fluidization descriptor corresponding to the cumulative mechanical work required to induce structural breakdown. Unlike classical yield stress values, energy based quantities integrate the entire yielding process and may provide a more physically meaningful characterization of sediment state.

The long term objective is to establish quantitative links between rheological state descriptors and erosion behavior under hydrodynamic forcing. By combining rheological characterization with controlled flume erosion experiments, this work aims to contribute to a physically grounded framework linking sediment structure, rheological response, and erosion resistance in natural cohesive sediments.

GFR 2026
Nancy

KEYWORDS

Cohesive, sediments, Rheology, yield stress, Energy.

Etude d'un broyat de bois lors du passage en filière d'extrusion

Candice COUSSOT[1], Romain CASTELLANI[1] et Rudy VALETTE[1]

[1]*Mines Paris, Université PSL, Centre de Mise en Forme des Matériaux (CEMEF), UMR7635 CNRS, France*

candice.coussot@minesparis.psl.eu

SOUHAIT : Poster

RESUME

Dans le contexte actuel de développement des énergies vertes, la biomasse forestière est particulièrement intéressante à utiliser, par son abondance et son aspect renouvelable. Les déchets générés par le sciage du bois sont, en partie, valorisés en les séchant et densifiant en granulés de chauffage. Récemment, un nouveau procédé de fabrication de ces granulés a été mis au point, consistant en une extrudeuse bi-vis à filières d'extrusion latérales. Bien que ce procédé fonctionne à une échelle de laboratoire, de nombreuses questions scientifiques se posent encore sur les phénomènes qui conduisent à l'obtention de granulés cohésifs solides à partir de la biomasse fournie.

L'étude présentée se concentre spécifiquement sur la dernière étape du procédé, lors de l'extrusion, entre le moment où le broyat de bois est râclé par les vis vers l'entrée des filières, jusqu'à sa compaction en granulé cohésif. Il a été déterminé que la température des filières, le taux d'humidité du bois, et la pression dans les filières, sont les paramètres qui ont le plus d'influence sur ces transformations [1,2].

Nous étudions donc ici la réponse rhéologique du broyat, à travers des essais de compression. Ces essais nous permettent de connaitre le comportement du matériau ainsi que de caractériser la migration de phase liquide qui a lieu sous la contrainte, pour différents taux d'humidité et types de bois. Dans un second temps, les mécanismes de transformation du broyat en matériau solide et cohésif sont caractérisés. Des pastilles de broyat compacté sont mises en forme à l'aide d'une presse pour mimer le cycle de transformation (température, pression, temps), puis caractérisés grâce à des essais de résistance à la rupture.

Ces travaux sont financés par l'ANR, dans le cadre du projet PRCE ANR-24-CE51-5977.

MOTS-CLES (5 maximum)

Broyat, compression, compaction, taux d'humidité, cohésion.

RÉFÉRENCES

[1] W. Stelte et al., « A study of bonding and failure mechanisms in fuel pellets from different biomass resources », Biomass and Bioenergy, 2011, doi: 10.1016/j.biombioe.2010.11.003.

[2] S. Frodeson et al., « Effects of moisture content during densification of biomass pellets, focusing on polysaccharide substances », Biomass and Bioenergy, 2019, doi: 10.1016/j.biombioe.2019.01.048.

Étude des propriétés de composites polymères/lignines obtenus par extrusion bivis

Loubna LEHMKANTER, Véronique AGUIE-BEGHIN, Angélique GAINVORS-CLAISSE, Trystan DOMENECH et Françoise BERZIN

Université de Reims Champagne-Ardenne, INRAE, FARE, UMR A614, France

francoise.berzin@univ-reims.fr

SOUHAIT : Poster

RESUME

Nous nous intéressons à l'influence d'une petite quantité de lignine (1 à 3 % en masse) sur les propriétés de deux polymères, un PBS bio-sourcé et un mélange PP/PPgMA pétro-sourcé. Nous avons utilisé trois lignines commerciales (Protobind, Indulin AT et Indulin C), différant par leur origine (paille de blé et de bagasse, bois) et leur procédé d'extraction (Soda et Kraft). Les mélanges polymère/lignine ont été préparés en extrusion bivis, dans les mêmes conditions opératoires, et caractérisés en termes de comportement rhéologique, de stabilité thermique et de propriétés antimicrobiennes.

Les mesures rhéologiques dynamiques en géométrie plan-plan montent que la viscosité complexe diminue avec l'ajout de lignine. Cette diminution augmente avec le taux de lignine, dépend fortement du type de lignine utilisée (elle est très marquée avec l'Indulin C et très peu avec l'Indulin AT), et est nettement plus importante avec le PBS. Cet effet « plastifiant » de la lignine a déjà été rapporté dans la bibliographie [1] ; il est lié à la structure de la lignine, à son origine botanique mais également à la polarité des matrices, ainsi qu'aux interactions polymère/lignine.

Pour caractériser la résistance à la thermo-oxydation, des mesures de température de début d'oxydation (OOT) et de temps d'induction de l'oxydation (OIT) ont été réalisées en DSC sous oxygène. Les résultats montrent que les lignines Protobind et Indulin AT jouent un rôle d'anti-oxydant, avec, pour le PBS à 3 %, une augmentation importante de la température d'oxydation (+ 92°C) et du temps d'induction (+ 118 min). Pour la matrice PP+PPgMA, l'amélioration est plus modérée, avec des augmentations de 24°C et de 20 min (à 3 %). Les analyses ont aussi révélé une activité antimicrobienne de l'Indulin C vis-à-vis des levures, tandis que la Protobind et l'Indulin AT présentent une activité contre certaines bactéries. Les différences observées entre les différentes lignines et les deux matrices polymères peuvent en partie s'expliquer par les affinités plus ou moins forte entre polymères et lignines.

MOTS-CLES (5 maximum)

Composite, lignine, thermo-oxydation, propriété antimicrobienne.

RÉFÉRENCES

[1] Mousavioun P, Halley PJ, Doherty WOS, Thermophysical properties and rheology of PHB/lignin blends, Ind Crops Prod, 2013, 50, 270–275.

Étude des variations des propriétés des fluides oxydés sous l'effet d'un champ électrique

VEGA-BUSTOS Yireth-Andrea[1], MATRAT Mickaël[1], HENAUT Isabelle[1] et SIRJEAN Baptiste[2]

[1]IFP Energie Nouvelles, France
[2]Université de Lorraine, France

Yireth-andrea.vega-bustos@ifpen.fr

SOUHAIT : Poster

RESUME

Aujourd'hui, un quart de la consommation énergétique est lié à la tribologie, touchant divers secteurs comme la mobilité et l'énergie. La transition énergétique vers des technologies décarbonées, incluant des moteurs et systèmes électrifiés, crée des environnements complexes pour les fluides techniques utilisés notamment pour la lubrification ou le refroidissement. Le manque de compréhension des nouvelles contraintes, notamment l'exposition prolongée aux champs électriques, constitue un enjeu majeur, car elle influence significativement la cinétique d'oxydation des fluides et leur durabilité.

Cette étude présente une approche expérimentale originale pour déterminer l'influence d'un champ électrique sur le mécanisme et la cinétique d'oxydation d'un fluide technique. Des molécules représentatives des fluides techniques ont d'abord été identifiées, et une méthodologie en deux étapes a été établie pour étudier l'effet du champ électrique sur le chemin d'oxydation. La méthodologie couple un réacteur d'oxydation de type autoclave et un rhéomètre rotationnel à contrainte imposée HR20, utilisés successivement comme réacteurs d'oxydation dans des conditions contrôlées. La caractérisation des échantillons vieillis avec et sans champ électrique est réalisée à l'aide de différentes techniques complémentaires : la spectroscopie UV, la spectrométrie de masse en phase gazeuse (GC-MS) et le titrage iodométrique. De même, les propriétés telles que la viscosité ou le coefficient de friction (COF), mesuré à l'aide d'un tribomètre, ont été analysées afin de déterminer si elles subissaient des changements.

Les résultats ont révélé que selon la nature du fluide, sa réactivité et sa viscosité une fois oxydé peuvent être influencées par un champ électrique continu. Il s'agit à notre connaissance d'une première démonstration expérimentale de l'impact du champ électrique sur le processus d'oxydation et sur ses effets quant à la formation de produits réactionnels divers. Par ailleurs, les échantillons oxydés sous champ électrique présentent une concentration plus élevée en hydroperoxydes, une couleur jaune moins intense et un coefficient de friction plus faible, mesuré en regime de lubrification limite, ce qui suggère que leur niveau d'oxydation est inférieur. Cela souligne la nécessité d'une analyse plus approfondie pour identifier précisément où se situe l'effet principal de cette contrainte. Enfin, le couplage entre l'autoclave et le rhéomètre offre un contrôle précis du processus réactionnel, permettant de caractériser l'influence d'un champ électrique sur les mécanismes et la cinétique d'oxydation d'un fluide.

MOTS-CLES (5 maximum)

Mécanisme d'oxydation, champ électrique, HPLC-PcR, hydroperoxydes, Fluides.

RÉFÉRENCES

Ivan Krupka et al. 'Mechanical Degradation of the Liquid in an Operating EHL Contact'. In: Tribology Letters 41.1 (2011), pp. 191–197. issn: 1023-8883. doi: 10.1007/s11249- 010-9698-x.

James Pullen and Khizer Saeed. 'An overview of biodiesel oxidation stability'. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 16.8 (2012), pp. 5924–5950. issn: 13640321. doi: 10.1016/ j.rser.2012.06.024.

Xin-an Zeng, Zhong Han and Zhi-hong Zi. 'Effects of pulsed electric field treatments on quality of peanut oil'. In: Food Control 21.5 (2010) pp. 611–614. issn: 09567135. doi: 10.1016/J.FOODCONT.2009.09.004.

Fabrication additive de métamatériaux biocomposites intégrant des particules colloïdales de lignine et des nanocristaux de cellulose

Yves VALLET[1], Julien PAGEOT[2], Baptiste VINCENT[1], Raphaël MOULART[2], Vincent MARQUET[2], Angélique GAINVORS-CLAISSE[1], Véronique AGUIE-BEGHIN[1], Sébastien ALIX[2] et Trystan DOMENECH[3]

[1]Université de Reims Champagne-Ardenne, INRAE, FARE, UMR A 614, Reims, France

[2]Université de Reims Champagne-Ardenne, ITheMM, Reims, France

[3]Université de Reims Champagne-Ardenne, INRAE, FARE, UMR A 614, FAREMAT, Reims, France

trystan.domenech@univ-reims.fr

SOUHAIT : Poster

RESUME

Les métamatériaux sont des matériaux conçus artificiellement, dont les propriétés macroscopiques sont principalement déterminées par leurs microstructures architecturées plutôt que par leur composition chimique intrinsèque. Ce paradigme de conception permet des combinaisons inédites de réponses physiques, impossibles à obtenir avec des solides conventionnels. Ces réponses englobent des phénomènes tels que la masse volumique effective négative, des tenseurs de rigidité anisotropes sur mesure et, en particulier, un coefficient de Poisson négatif (i.e. auxéticité). Ces comportements non conventionnels sont généralement obtenus en concevant des cellules unitaires périodiques ou quasi-périodiques, qui sont ensuite reproduites dans plusieurs dimensions spatiales pour former un milieu structuré continu. Nous proposons ici une approche combinant l'intégration de nanocharges lignocellulosiques (lignine et nanocristaux de cellulose (CNC)) dans des biocomposites dont la forme auxétique finale est obtenue par fabrication additive de dépôt de fil fondu afin de produire des métamatériaux biosourcés. En effet, l'ajout de CNC entraîne un renfort mécanique ainsi qu'une amélioration des propriétés barrières, tandis que la lignine confère des propriétés bioactives telles qu'un effet antioxydant accompagné d'une activité antibactérienne. Le procédé de mise en forme de ces métamatériaux comprend trois étapes : (1) dispersion des nanocharges par extrusion bivis, (2) fabrication du filament par extrusion monovis pour l'alimentation de l'imprimante 3D, et (3) impression 3D des structures auxétiques par dépôt de fil fondu. Nous détaillons l'effet de la composition des biocomposites sur leur rhéologie, ainsi que sur l'imprimabilité des pièces et leur propriétés mécaniques et bioactives finales.

MOTS-CLES (5 maximum)

Fabrication additive, extrusion, métamatériaux, lignine, cellulose, nanoparticules.

Influence de la lignine sur les propriétés physico-chimiques d'un polyester destiné à la fabrication de scaffolds pour l'ingénierie tissulaire

Baptiste VINCENT [1]*, Angélique GAINVORS[1], Véronique AGUIE[1] et Trystan DOMENECH[2]

[1] Université de Reims Champagne-Ardenne, INRAE, FARE, UMR A 614, Reims, France
[2] Université de Reims Champagne-Ardenne, INRAE, FARE, UMR A 614, FAREMAT, Reims

baptiste.vincent@univ-reims.fr

SOUHAIT : Poster

RESUME

Au cours des dix dernières années, la demande européenne en tissus mous a augmenté de 80% [1]. La recherche et le développement concernant ce type de tissus étaient initialement testés sur des animaux vivants. C'est pourquoi des alternatives telles que des supports de croissance cellulaire (ou scaffolds/échafaudages) ont été développées. Dans ce contexte, le projet MICROPLAITE vise à développer de nouveaux scaffolds et à les intégrer dans une puce microfluidique reproduisant des conditions physiologiques réalistes. Différentes échelles (de 500 µm au nanomètre) sont envisagées pour des scaffolds à base de poly(succinate de butyle) (PBS), un polymère thermoplastique biodégradable bien connu et couramment utilisé pour ce type d'applications [2]. Ces scaffolds prendront la forme de membranes électrofilées, de tricots ou d'hydrogels, qui pourront également être combinés entre eux.

Par ailleurs, nous avons incorporé de la lignine, un biopolymère considéré comme un sous-produit de l'industrie papetière, présentant de bonnes propriétés antimicrobiennes et antioxydantes [3]. La principale lignine utilisée dans ce projet est une lignine technique de type SODA (Protobind), bien caractérisée et relativement pure. D'autres lignines sont aussi testées : Kraft, organosolv et une lignosulfonate.

Des mélanges de 1 à 7% de lignine ont été obtenus avec un mélangeur interne, et mis en forme pour les essais de caractérisation. Les propriétés rhéologiques des différents mélanges ont été testées en rhéométrie oscillatoire. Pour cela, des mesures de viscoélasticité linéaire ont été faits sur le PBS chargé avec différentes lignines. Ces dernières ont montré que, pour la plupart des mélanges, la viscosité baisse en fonction de la charge en lignine. Cela peut s'expliquer par la production de radicaux et de la transestérification lors de la production des mélanges. D'autres tests rhéologiques sont aussi en cours. Par ailleurs, d'autres propriétés telles que la résistance à l'oxydation, l'activité antioxydante ainsi que l'activité antibactérienne des différents mélanges ont été testées.

MOTS-CLES (5 maximum)

Lignine, poly(succinate de butyle), scaffolds, microfluidique, ingénierie tissulaire

RÉFÉRENCES

[1] « Europe Tissue Engineering Market Size & Outlook, 2030 ». Consulté le: 16 décembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.grandviewresearch.com/horizon/outlook/tissue-engineering-market/europe

[2] G. C. Miceli, F. S. Palumbo, F. P. Bonomo, M. Zingales, et M. Licciardi, « Polybutylene Succinate Processing and Evaluation as a Micro Fibrous Graft for Tissue Engineering Applications », *Polymers*, vol. 14, n° 21, p. 4486, oct. 2022, doi: 10.3390/polym14214486.

[3] J. Domínguez-Robles *et al.*, « Lignin/poly(butylene succinate) composites with antioxidant and antibacterial properties for potential biomedical applications », *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 145, p. 92‑99, févr. 2020, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.12.146.

Mesure de biréfringence d'une suspension de Laponite : les franges révélatrices de l'évolution de la structure

Florence GIBOUIN[1], Philippe MONNET[1], Sébastien JARNY[1], Jean-Christophe DUPRE[2] et Valéry VALLE[2]

[1]*Département FTC, équipe HydEE, Institut Pprime, France*

[2]*Département GMSC, équipe PEM, Institut Pprime, France*

florence.gibouin@univ-poitiers.fr

SOUHAIT : Poster

RESUME

La compréhension des propriétés rhéologiques et structurales des suspensions colloïdales complexes, comme la Laponite, est essentielle dans de nombreux domaines industriels et fondamentaux. Cette étude explore la dynamique structurale d'une suspension de Laponite *via* la mesure de densité de franges, en utilisant une géométrie de Couette en entrefer mince couplée à la photoélasticimétrie avec une technique de déphasage pour augmenter la précision des mesures.

Trois protocoles de sollicitation mécanique ont été appliqués : une rampe décroissante de contrainte, des paliers successifs décroissants de contraintes, et des cycles de contraintes supérieures à la contrainte seuil de la suspension. Les résultats montrent que la densité de franges évolue exponentiellement avec le temps, permettant d'extraire des temps caractéristiques d'établissement de la structure. Une modélisation par somme d'exponentielles offre une description unifiée de la dynamique structurale sur toute la durée de la mesure.

La densité de franges résiduelle révèle un figeage progressif de la structure dans les cas de la rampe et des paliers décroissants, mais reste faible dans le cas des cycles de contraintes, pour lesquels la contrainte appliquée est toujours supérieure à la contrainte seuil. Cette approche non invasive permet d'estimer la contrainte seuil de la suspension, de caractériser sa dynamique structurale, son état (solide ou liquide), tout en ouvrant des perspectives pour une modélisation fine des mécanismes de vieillissement et de réorganisation sous contrainte.

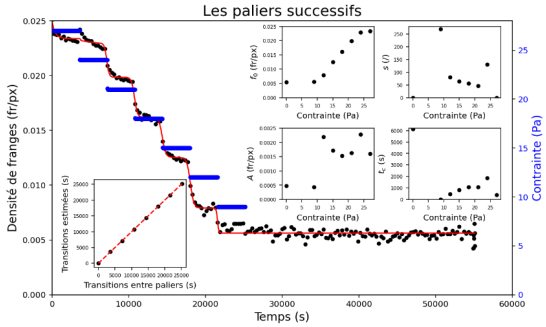


Fig. 1. Evolution de la densité de franges au cours du temps sous paliers successifs de contrainte.

MOTS-CLES (5 maximum)

Laponite, biréfringence, dynamique structurale, contrainte seuil, rhéologie.

Mouvement d'une sphère et relaxation dans des fluides à seuil

Jorge PEIXINHO[1], Miguel A. HERRADA[2], Joshua A. DIJKSMAN[3], et Tom MULLIN[3]

[1]Laboratoire PIMM, CNRS, Arts et Métiers, Cnam, Paris, France

[2]Departemento de Mecánica de Fluidos e Ingenieria Aeroesoacial, Universidad de Sevilla, Spain

[3]Van der Waals-Zeeman Institute, Institute of Physics, University of Amsterdam, The Netherlands

[3]The Mathematical Institute and Linacre College, University of Oxford, UK

Jorge.peixinho@ensam.eu

RESUME

Les modèles élastico-visco-plastiques sont de plus en plus utilisés pour décrire la déformation et l'écoulement des fluides à seuil. Dans cette communication, on se propose de tester ces modèles pour le cas d'une sphère en mouvement dans une suspension de billes d'hydrogels et dans un gel de Carbopol. Ces deux systèmes sous cisaillement sont couramment décrits par la loi de Herschel-Bulkley. Cependant, les fluides à seuils passent de l'état viscoélastique, où la déformation est récupérable, à l'état plastique, où la déformation est irréversible lorsque la contrainte est au-delà de la contrainte seuil. En particulier, on testera les modes de contrôle de l'écoulement en contrainte ou vitesse imposée. Les résultats révèlent une dépendance de la force de trainée à la vitesse, ainsi qu'une sensibilité aux conditions aux limites. Ces résultats seront discutés dans le contexte de la dynamique de relaxation observée au niveau des contacts entre particules.

MOTS-CLES

Fluides à seuil

RÉFÉRENCES

Saramito, P., A new elasticviscoplastic model based on the Herschel-Bulkley viscoplastic model, Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 158 (2009) 154-161.

K. Kamani, G. J. Donley, S. A. Rogers, Unification of the rheological physics of yield stress fluids, Physical Review Letters, 126, 218002 (2021)

Propriétés rhéologiques d'interfaces stabilisées par différentes particules hydrophobisées de silice amorphe pyrogénée

Isabelle Hénaut, JM Claveau, Christine Dalmazzone, Benoit Creton et Carlos Nieto-Draghi

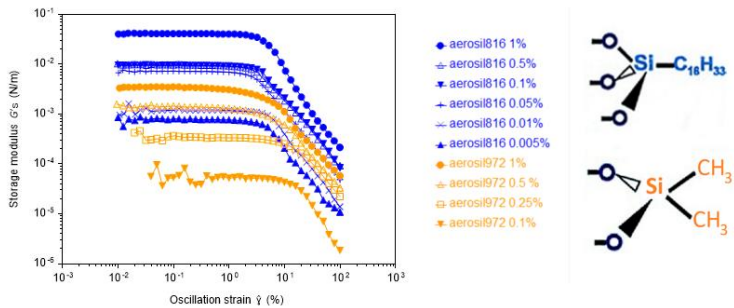
Physico-Chimie et Mécanique appliquée, IFPEN, France

isabelle.henaut@ifpen.fr

SOUHAIT : Poster

RESUME

De nombreuses études sont actuellement menées pour trouver des alternatives à l'utilisation de molécules tensioactives toxiques et non biodégradables, telles que l'emploi de protéines, de polymères, de molécules biosourcées comme les esters polyglycériques d'acides gras, ou encore de particules solides [1]. En raison de leurs propriétés de mouillage et d'adsorption irréversible, ces dernières sont reconnues pour renforcer la stabilité des émulsions appelées émulsions de Pickering. Elles limitent en effet fortement les phénomènes de coalescence et de mûrissement d'Ostwald. Les particules de Pickering sont en général minérales (silice, argile, etc.), mais s'ouvrent à d'autres familles de produits (nanocristaux de cellulose, chitosane, oxydes métalliques, particules molles) [2]. Les particules de silice amorphe pyrogénée présentent l'avantage d'avoir un coût modéré et d'être facilement fonctionnalisées. Elles peuvent ainsi être hydrophobes, légèrement hydrophobes ou complètement hydrophiles conférant des propriétés rhéologiques interfaciales différentes [3]. Dans cette même démarche, nous avons comparé des interfaces eau distillée/dodécane stabilisées par des particules de silice Aerosil R816 hydrophobisées avec des groupes hexadécylsilyle (-Si-$C_{16}H_{33}$) et des interfaces stabilisées par des particules de silice Aerosil R972 hydrophobisées par des groupes diméthylsilyle (-$Si(CH_3)_2$). Les essais ont été menées en rhéologie rotationnelle de cisaillement avec la géométrie d'anneau à doubles parois (DWR sur DHR3). Les balayages en déformations menées à une vitesse angulaire constante ont montré la plus grande élasticité des interfaces stabilisées par les particules R816. Ses longues chaînes $C_{16}H_{33}$ pourraient s'ancrer plus facilement dans la phase organique et conduire à une interface mécaniquement plus élastique. Des interfaces dodécane/air stabilisées par les deux types de particules R816 et 972 ont également été étudiées confirmant que ces particules solides sont également capables de stabiliser des mousses [4].



Comparaison des modules élastiques interfaciaux eau/dodécane stabilisées en aerosil 816 et 972, T=25°C, w = 1 rad.s

MOTS-CLES (5 maximum)

Emulsions de Pickering, particules de silice, rhéologie interfaciale, Aerosil 816, Aerosil 972

RÉFÉRENCES

[1] : A. Asdrubal 'Emulsions de Pickering à application dermo-cosmétique ' HAL Id tel-05351641, 2025
[2] :S. Velandia et al. 'Globular proteins as Pickering emulsion stabilizers: particles or surfactants?' J. colsurfa.2024 135469
[3] : M. Kamkar et al. 'Polymeric-nanofluids stabilized emulsions: interfacial versus bulk rheology' JCIS 2020, 04105
[4] : G. Sethumadhavan et al. 'Stability of Liquid films containing monodisperse colloidal particles' JCIC 2001.7628

Shear Reversal as a Quantitative Probe of Interparticle Friction in Concentrated Non-Brownian Suspensions

Serigne LO[1], Duncan GILBERT[1], Cyrille CLAUDET[1], Laurent LOBRY[1], François PETERS[1] and Elisabeth LEMAIRE[1]

[1]*Institut de Physique de Nice, Université Côte d'Azur, France*

Serigne-Touba.LO@univ-cotedazur.fr

PREFERENCE : Poster

RESUME

Previous studies have shown that the shear-thinning behavior of concentrated non-Brownian suspensions can be explained by a decrease of the interparticle friction coefficient with increasing normal load [1]. In this framework, shear reversal experiments provide a powerful tool to investigate frictional contributions to suspension rheology and the dynamics of contact-network destruction and rebuilding following flow inversion [2].

In the present work, shear reversal experiments were performed on concentrated suspensions of TS40 particles dispersed in silicone oil. After flow inversion, the viscosity exhibits the characteristic transient response commonly observed in dense suspensions, namely an instantaneous drop, a minimum viscosity and a progressive recovery towards the steady-state value. These different stages are associated with the destruction and rebuilding of the contact network [2].

Experiments were carried out for several volume fractions and applied stresses using a stress-controlled rheometer equipped with a parallel-plate geometry. A complete analysis procedure, including Mooney–Rabinovitch, inertia and strain corrections, was implemented to determine the characteristic quantities of the transient response : η_{init}, η_{min}, $\Delta\eta$, γ_{min} and $\gamma_{0.5}$.

The viscosity jump $\Delta\eta$, associated with the contact contribution, decreases significantly with increasing stress whereas remains nearly constant. This behaviour is consistent with a decrease of the effective interparticle friction coefficient while hydrodynamic interactions remain almost constant.

Using the universal framework proposed for frictional suspensions [3], shear reversal measurements were used to determine the stress-dependent jamming volume fraction and the corresponding effective friction coefficient μ. The values obtained are in excellent agreement with previous rheological measurements [1], numerical simulations [2] and direct AFM friction measurements [4,5]. The characteristic transient quantities η_{init}, γ_{min} and $\gamma_{0.5}$ were also analysed over a range of volume fractions and effective friction coefficients. Good agreement was obtained with the numerical simulations of Peters et al. [2], confirming the influence of interparticle friction on the complete shear-reversal dynamics.

KEYWORDS

Shear reversal, shear-thinning, friction, contact, hydrodynamic

REFERENCES

[1] Lobry, L. et al., *Shear thinning in non-Brownian suspensions explained by variable friction between particles*, J. Fluid Mech., 2019.

[2] Peters, F. et al., *Shear reversal in concentrated suspensions: the role of frictional contacts*, J. Rheol., 2016.

[3] Blanc, F. et al., *Universal behaviour of frictional suspensions under shear reversal*, J. Rheol., 2018.

[4] Arshad, M. et al., *Role of inter-particle friction in the shear-thinning behavior of non-Brownian suspensions*, 2021.

[5] Le, A. V. N. et al., *Solvents govern rheology and jamming of polymeric bead suspensions*, 2023.

SPREADING DYNAMICS OF THERMALLY-GELLING AGAR DROPS IMPACTING A SOLID

Martin DRAHÉ[1], Nada NAZZAL[1], Ricardo EL KHOURY[1], Edith PEUVREL-DISDIER[1], and Anselmo PEREIRA[1]

[1]Mines Paris, PSL University, Centre for material forming (CEMEF), UMR CNRS 7635, rue Claude Daunesse, 06904 Sophia-Antipolis, France

martin.drahe@minesparis.psl.eu

PREFERENCE: **Poster Presentation**

RESUME

We investigate, in this experimental and numerical work, the physical mechanisms governing the spreading of thermally gelling agar drops impacting a solid plate. In this connection, a falling millimetric-70°C-agar drop (described as a reactive elasto-viscoplastic fluid) hits a 25°C-glass plate and spreads (Fig.1). During spreading, the drop's temperature decreases due to contact with the plate, triggering gelation within the impacting object. Hence, the drop turns into a strong gel (a solid-like material) whose final shape is determined by the impact/spreading process. This final shape is predicted in our work using a mixed experimental-numerical approach, which highlights the physical mechanisms driving the problem.

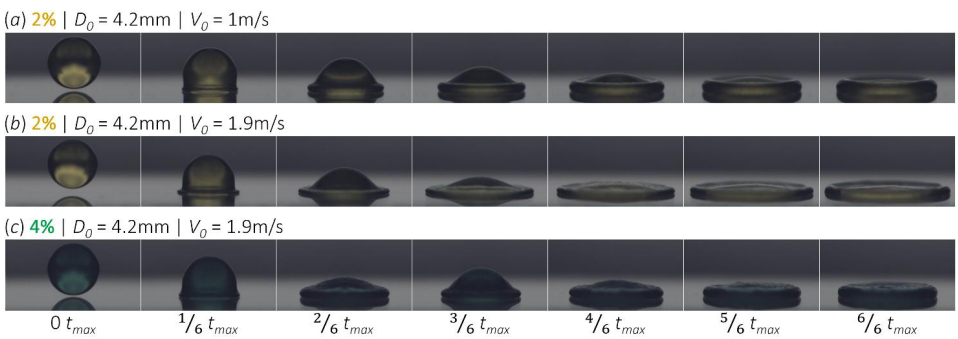


Fig. 1. High-speed camera snapshots illustrating agar-in-deionised water drops impacting a glass plate and spreading until they reach their maximum diameter D_{max} at time t_{max}. (a) 2wt%-agar drop impacting at 1m/s. (b) 2wt%-agar drop impacting at 1.9m/s. (c) 4wt%-agar drop impacting at 1.9m/s.

KEYWORDS: ***drop impact, agar, gelling elasto-viscoplastic material, experiments, numerical simulations.***

THERMALLY-GELLING AGAR DROPS IMPACTING AN IMMISCIBLE LIQUID

Nada NAZZAL[1], Martin DRAHÉ[1], Ricardo EL KHOURY[1], Edith PEUVREL-DISDIER[1], and Anselmo PEREIRA[1]

[1]Mines Paris, PSL University, Centre for material forming (CEMEF), UMR CNRS 7635, rue Claude Daunesse, 06904 Sophia-Antipolis, France

martin.drahe@minesparis.psl.eu

PREFERENCE: Poster Presentation

RESUME

We investigate, in this experimental and numerical work, the physical mechanisms governing the spreading and retraction of thermally gelling agar drops impacting an immiscible liquid (Esterex, from ExxonMobil Chemical's). In this connection, a falling millimetric-70°C-agar drop (described as a reactive elasto-viscoplastic fluid) hits a 25°C-Esterex bath, and spreads and retracts. During penetration in the liquid bath, the drop's temperature decreases, triggering gelation within the impacting object. Hence, the drop turns into a strong gel (a solid-like material) whose final shape is determined by the drop/Esterex interactions. Different final shapes can be obtained, which includes spheres, pears, Mexican hats, bowls, capsules (see Fig.1) etc. The final shape is predicted in our work using a mixed experimental-numerical approach, which highlights the physical mechanisms driving the problem.

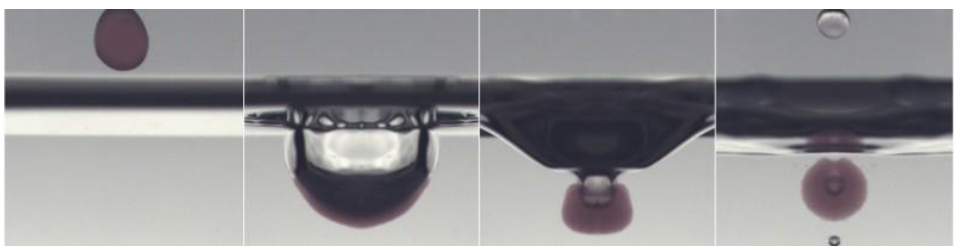


Fig. 1. A millimetric-70°C agar drop impact a 25°C-Esterex liquid bath. During the penetration, the drop spreading and retracts, and undergoes gelation. As a result, a solid-like capsule (with an air bubble inside) is generated.

KEYWORDS: ***drop impact, agar, gelling elasto-viscoplastic material, experiments, numerical simulations.***

Towards Sustainable Reservoir Sediment Management: Rheological Characterization and Flow Properties of Dredged Dam Sediments from Northwestern Algeria

HADJ DJELLOUL MOHAMMED[1], GUIZ AMINE[1]

[1]Department of Hydraulic, Institute of Science and Technology, Maghnia University Centre, Maghnia, Algeria

m.hadjdjelloul@cu-maghnia.dz

PREFERENCE: Poster Presentation

RESUME

Sedimentation in reservoirs constitutes a major challenge for water resource management, leading to a progressive reduction in storage capacity and requiring costly maintenance operations. The hydraulic removal, transport, and potential valorization of dredged sediments require a detailed understanding of their rheological behavior.

This study investigates the rheological properties of sediments collected from reservoirs located in the Tlemcen region (North-West Algeria). A comprehensive characterization of the sediments was first conducted, including particle size distribution, specific gravity, moisture content, organic matter content, and mineralogical composition. Sediment suspensions were then prepared at different volumetric solid concentrations representative of dredging and hydraulic transport conditions.

Rheological measurements were carried out using a rotational rheometer under controlled shear conditions. The flow curves obtained were analyzed using several constitutive models commonly employed for concentrated suspensions, including Bingham, Herschel–Bulkley, and Casson models. The influence of solid concentration on yield stress, apparent viscosity, consistency index, and flow behavior index was evaluated.

The experimental results revealed a pronounced non-Newtonian behavior characterized by shear-thinning properties and the development of a yield stress beyond a critical solids concentration. The increase in concentration significantly affected the rheological parameters and the energy required for sediment transport. Among the tested models, the Herschel–Bulkley model provided the best agreement with the experimental data.

The findings contribute to a better understanding of the flow behavior of reservoir sediments and provide valuable information for the design of dredging operations, hydraulic transport systems, and future sediment valorization strategies. This work also highlights the importance of rheological characterization as a decision-support tool for sustainable reservoir sediment management.

KEYWORDS (maximum 5)

Rheological characterization; Reservoir sediments; Suspensions; Yield stress; Hydraulic transport.

Visualizing foam under shear with fluorescence microscopy

Alexandre GUELLUY[1], Anniina SALONEN[1] and François BOULOGNE[2]

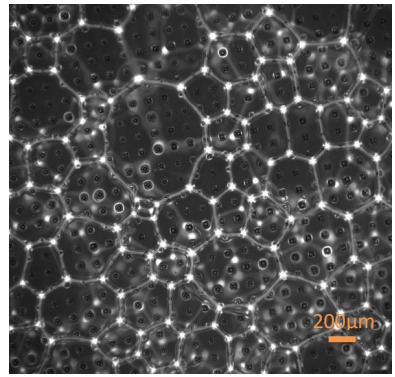
[1]Sciences et ingénierie de la matière molle, ESPCI Paris - PSL, France
[2]Laboratoire de Physique des Solides, Université Paris Saclay, France

alexandre.guelluy@espci.fr

PREFERENCE: Poster Presentation

RESUME

The structure of foams plays a crucial role in their mechanical properties. Foams derive their elasticity from the surface tension of their bubbles, which depends on bubble size distribution. To explore the link between foam structure and mechanical properties, we perform simultaneous visualization of the foam structure and shear experiments using a fluorescence microscope mounted on a rheometer. This enables us to track the bubble size distribution within the foam, identify possible bubble rearrangements at a microscopic scale, and better understand their impact on the foam's mechanical properties.



Foam observed inside the rheometer.

KEYWORDS

Foam, Rheology, Microscopy

Biocomposites inspirés des parois végétales secondaires : élaboration, mise en forme et propriétés mécaniques

Ngoc Thien Kim NGUYEN, Véronique AGUIE-BEGHIN, Françoise BERZIN et Trystan DOMENECH

Université de Reims Champagne-Ardenne, INRAE, FARE, UMR A614, France

ngoc-thien-kim.nguyen@inrae.fr

SOUHAIT : Poster

RESUME

Face aux enjeux environnementaux actuels, le développement de matériaux biosourcés constitue une alternative prometteuse aux matériaux issus des ressources fossiles. L'élaboration de structures totalement vertes aux performances optimisées reste un verrou majeur [1]. Les parois cellulaires végétales représentent une source d'inspiration particulièrement intéressante en raison de leur organisation hiérarchique complexe et de leurs remarquables propriétés mécaniques [2].

Dans cette optique de biomimétisme, différentes formulations ont été réalisées en faisant varier les proportions de plusieurs constituants clés : des nanofibrilles de cellulose, dont le potentiel de renfort est fortement documenté [3], des hémicelluloses (xyloglucanes, xylanes), de la lignine (Protobind) ainsi que du poly(alcool vinylique) (PVA) en tant que matrice auxiliaire éliminable. Le composite est obtenu par extrusion bivis. La rhéologie permet de comprendre comment le matériau s'écoule pendant sa transformation et ainsi de contrôler le procédé d'extrusion.

L'influence de la proportion des constituants sur le composite a été caractérisée via trois axes majeurs, en s'appuyant sur des protocoles de mesure établis pour l'analyse des nanomatériaux cellulosiques [4]. Le comportement rhéologique a été étudié en mode oscillatoire, au travers de balayages en fréquence, temps, température et déformation. Les températures de fusion et de transition vitreuse ont été déterminées par DSC, la teneur en eau et la dégradation thermique du système par ATG. Les propriétés structurales et optiques ont été analysées par spectroscopie IR, UV et fluorescence. Cette compréhension des propriétés à l'état fondu constituera la base de travail pour valider les procédés de mise en forme, avant d'aborder la caractérisation mécanique des matériaux solides obtenus.

MOTS-CLES (5 maximum)

Composite, cellulose, lignine, extrusion bivis, rhéologie

RÉFÉRENCES

[1] Kirschnick U, Ravindran B, Sieberer M, Fauster E, Feuchter M. The Fossil, the Green, and the In-Between: Life Cycle Assessment of Manufacturing Composites with Varying Bio-Based Content. *J. Composites Science*. 2025; 9(3):93.

[2] Gibson LJ, The hierarchical structure and mechanics of plant materials. *J R Soc Interface*. 2012; 9 (76): 2749–2766.

[3] Moon RJ, Martini A, Nairn J, Simonsen J, Youngblood J. Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. Chem. Soc. Rev. 2011; 40(7): 3941-3994.

[4] Foster EJ, Moon RJ, Agarwal UP, *et al*. Current characterization methods for cellulose nanomaterials. Chem. Soc. Rev. 2018; 47(8): 2609-2679.

Émulsions de matériaux à changement de phase : influence du procédé d'émulsification sur les propriétés rhéologiques, thermiques et la stabilité

Antonin HAEBERLE[1,2], Nicolas LOUVET[1], Christel MÉTIVIER[1],

Philippe MARCHAL[2], Véronique SADTLER[2]

[1] *LEMTA, Université de Lorraine, France*

[2] *LRGP, Université de Lorraine, France*

antonin_haeberle@ens.univ-artois.fr

RESUME

Les matériaux à changement de phase (MCP) présentent un fort potentiel pour le stockage thermique grâce à leur capacité à stocker et restituer de grandes quantités d'énergie sous forme de chaleur latente. Leur formulation sous forme d'émulsions huile-dans-eau permet d'envisager le développement de fluides caloporteurs intégrant une fonction de stockage thermique.

Des émulsions huile-dans-eau contenant des MCP ont été formulées en faisant varier la nature du MCP ainsi que sa fraction massique (30, 40 et 50 %). Après une étape de pré-émulsification réalisée à l'aide d'un rotor-stator, deux procédés de réduction de taille ont été comparés : un traitement par ultrasons et une homogénéisation haute pression.

Les formulations obtenues ont été caractérisées à l'aide de plusieurs techniques complémentaires. Les propriétés rhéologiques ont permis d'évaluer le comportement d'écoulement et le degré de structuration des émulsions, tandis que les mesures granulométriques ont fourni des informations sur la distribution de taille des gouttelettes. Les propriétés thermiques ainsi que la stabilité au cyclage ont été étudiées dans un réacteur agité thermostaté équipé d'un calorimètre afin de déterminer les capacités de stockage thermique et les températures de transition de phase.

Les résultats montrent qu'il est possible d'obtenir des émulsions stables contenant jusqu'à 50 % massique de MCP et conservant leurs propriétés après plus de 30 cycles successifs de fusion-cristallisation. L'étude met également en évidence l'influence de la taille des gouttelettes sur la stabilité des émulsions, leurs propriétés rhéologiques et l'apparition de phénomènes de surfusion associés à la réduction de taille.

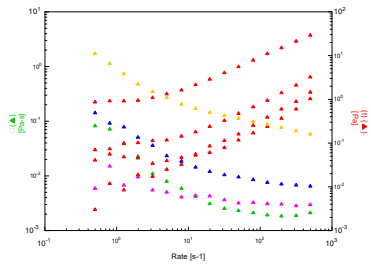


Figure 1: Effet de la fraction massique à T fixe (vert : 40%, rose : 30% , bleue : 20% , jaune : 10%)

MOTS-CLES

Matériau à changement de phase (MCP) – Émulsion huile-dans-eau – Stockage thermique latent – Surfusion – Taille des gouttelettes

Deepening understanding of complex fluid physics to improve the performance of modern printing technologies

Michaël PICARD[1,2], Cécile LEMAITRE[1], Philippe MARCHAL[1], Magali STURMA[2], Bruno BARBET[2]

[1]*University of Lorraine, CNRS, LRGP, Nancy, France*
[2]*Markem, Imaje, 9 rue Gaspard Monge, Bourg-lès-Valence, France*

mpicard2@markem-imaje.com

RESUME

Continuous Inkjet (CIJ) printing is widely used in industrial coding, traceability, and product authentication in sectors such as food, pharmaceuticals, and electronics. The process relies on the emission of a conductive ink jet that breaks up into microdroplets, which are then charged and electrically deflected before being deposited onto the substrate. Print quality and reliability therefore depend directly on jet stability, droplet regularity, and precise control of the break-up length near the charging electrode. While the physics of Newtonian jets is now well understood, the industrial inks used in CIJ often exhibit non-Newtonian behaviours, particularly shear-thinning and viscoelasticity, which modify breakup dynamics and droplet shape. The aim of this CIFRE PhD project is to establish a predictive framework linking rheological properties, stimulation parameters, and nozzle geometry in order to better describe jet breakup and droplet formation mechanisms. The main scientific challenges concern, in particular, the hydrodynamic boundary condition inside the nozzle, especially wall slip, jet contraction at the nozzle outlet, and the effect of the ink's non-Newtonian behaviour on jet breakup. To address these questions, the project combines rheological characterization, experimental jet visualization, and CFD simulations, complemented by a machine-learning approach. Ultimately, this work aims to improve understanding of the physical mechanisms governing ink-machine compatibility and to develop predictive tools capable of reducing empirical testing campaigns and accelerating the development of new modeling strategies for CIJ systems.

KEYWORDS

Interfacial Rheology ; Drop formation ; CIJ ; numerical-experimental modeling ; predictive qualification.

Role of interfacial elasticity (E') as an indicator for the foam characteristics of plant proteins

Mohammad MAHDI-ASSAF[1], Philippe MARCHAL[1], Florentin MICHAUX[2], Véronique SADTLER[1], Sophie BEAUBIER[1], Romain KAPEL[1], Tayssir HAMIEH[3], Thibault ROQUES-CARMES[1]

[1]Laboratoire Réactions et Génie des Procédés (LRGP), Université de Lorraine, France

[2]Université de Lorraine, LIBio, F-54000 Nancy, France

[3]Maastricht University, Faculty of Science and Engineering, P.O. Box 616, 6200 MD Maastricht, The Netherlands

thibault.roques-carmes@univ-lorraine.fr

RESUME :

A pronounced shift has occurred in recent years toward replacing petrochemical stabilizers with natural and bioavailable alternatives. Among the alternatives, plant proteins have emerged as promising candidates that align with consumer demand for sustainable and clean-label products. Foam performance depends strongly on the physicochemical behavior of surface-active molecules at the air–water interface. Proteins, are effective foaming agents due to their amphiphilic nature, which enables them to adsorb, unfold, and reorganize at interfaces to form viscoelastic films that stabilize bubbles. Among several interfacial parameters governing foam behavior, interfacial dilatational elasticity E' appeared as the most relevant indicators of protein's ability to generate and stabilize foams.

Identifying and quantifying relationships between E' and foam characteristics is essential for developing a mechanistic understanding of protein-based foams. Correlations between E' and foam formation can reveal how efficiently proteins stabilize newly created bubble surfaces, while relationships with foam stability can elucidate the role of interfacial rigidity in controlling bubble stability. Interfacial and foaming properties of plant protein isolates remain insufficiently characterized. Systematic investigations linking E' to foam properties are still scarce. A deeper understanding of these relationships is needed to support the rational use of plant proteins as sustainable alternatives to petro-sourced stabilizing agents and to enable improved control of foam performance.

This work addresses the interfacial and foaming behavior of three plant protein isolates obtained from rapeseed, sunflower, and linseed meals, at concentrations ranging from 1 to 60 g/L. The goal is to highlight the link and the correlations between the interfacial storage elasticity modulus E' and foaming properties through experimental values and statistical methods. The nature and the concentration of proteins have a strong impact on the interfacial and foam properties. Rapeseed albumin isolate exhibits improved properties with increasing protein concentration, displaying higher interfacial properties and leading to the higher foamability, foam elastic modulus G'_{Foam}, and moderate foam stability. Linseed and sunflower protein isolates behave differently. Both show an enhancement in interfacial elasticity and foam properties up to a critical concentration, which indicates the presence of protein aggregates. This induces an antifoaming effect rather than foam stabilization, leading to a simultaneous decrease in the elastic interfacial modulus and inhibition of the foam characteristics. A clear correlation between E' and several foam properties, including foamability, foam elastic modulus, half-life stability t1/2, and the foam stability after 1 hour, is highlighted. The relationships are statistically significant with p-values substantially lower than 0.05. Positive correlations are confirmed between E' and all the foam properties enlightening that the enhancement of E' induces better foam properties.

MOTS-CLES (5 maximum)

Foams stabilized by plant proteins, Interfacial rheology, Interfacial dilatational elasticity, rapeseed, linseed, sunflower

Poiseuille, Couette and Tadmor models as design tools for an artisanal manual extruder

Louise REY[1], Mister MANCATINGUL[1] and **Lorraine MARCHAL**[1]

[1]*Ingénierie Mécanique, Université de Technologie de Compiègne, France*

lorraine.marchal@etu.utc.fr

PREFERENCE : Poster

RESUME

In a hand-cranked food extruder, the torque an operator can apply is capped by an ergonomic limit, while the strongly shear-thinning dough makes the torque required for a given output depend on the internal geometry. The sizing problem then rests on two opposing requirements: the machine must deliver a minimum output to remain productive, and the crank torque must stay below the ergonomic limit set by the applicable standard. These are linked through an implicit design loop, since the channel dimensions set the shear rate, which fixes the apparent viscosity, hence the pressure drop and finally the torque, while the torque requirement feeds back on the geometry to be chosen. The operating point, that is the flow rate and pressure the machine settles at, is therefore imposed by satisfying both limits at once. Such a coupling is seldom addressed explicitly as a mechanical design problem, because the analytical tools it calls for belong to three fields that rarely intersect: fluid mechanics and rheology (Couette and Poiseuille analogies), polymer extrusion (Tadmor model), and mechanical design (dimensioning, ergonomics). In powered industrial extruders the abundant motor power masks the torque constraint; manual actuation removes this margin and makes the input torque binding, which is what requires the three descriptions to be combined. The aim of this work is to dimension a screw, barrel and die geometry that meets both requirements at once, using classical analytical flow models as the sizing tools. The screw and die together fix the operating point: a Tadmor screw model gives the relation between geometry, flow rate and resistive torque, while a Poiseuille model of the die relates pressure drop to output and yields the hydraulic resistance used to size the die. The apparent viscosity both require is obtained by combining a Couette estimate of the shear rate in the screw-barrel gap with a shear-thinning flow curve for the dough taken from the literature; this estimate also gives a second value of the resistive torque, independent of the Tadmor one. The known variables are fixed first, namely the dough viscosity from the literature flow curve and the barrel height from the ergonomic constraint, and the remaining geometry is then adjusted iteratively to balance input effort against output flow, the resulting orders of magnitude serving to size and compare several candidate dies. Because the three models describe the same flow from different standpoints, their agreement serves as an internal cross-validation: when they converge to the same order of magnitude and the same design choice, this consistency makes numerical simulation unnecessary. Each model is kept at the coarsest level of description that still captures the coupling between output and torque, so that it is the agreement between simple models, rather than a single refined computation, that supports the retained geometry.

KEYWORDS

Manual extrusion, shear-thinning dough, analytical flow modelling, ergonomic torque limit, design methodology

REFERENCES

Sarghini, F., Romano, A. and Masi, P., "Experimental analysis and numerical simulation of pasta dough extrusion process", *Journal of Food Engineering*, vol. 176, 2016, pp. 56-70.

Aït-Kadi, A., "Quantitative analysis of mixer-type rheometers using the Couette analogy", *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, vol. 80, no. 6, 2002, pp. 1166-1174.

NF EN 1005-3, *Safety of machinery — Human physical performance — Part 3: Recommended force limits for machinery operation*, AFNOR.

A steady state diagram of W/O emulsions: from homogeneous dispersion to three-layer phase separation

Chloé Olivi[1], Jean-Christophe Aka[1], Nicolas Passade-Boupat[2], Enric Santanach Carreras[1], and Pascal Panizza[1,3]

[1]*Laboratoire Physico-Chimie des Interfaces Complexes, Batiment ChemStartUp, RD B17, Lacq F-*
[2]*TotalEnergies One Tech, CSTJF, Avenue Larribau, Pau, France*
[3]*Univ. Rennes, CNRS, Institut de Physique de Rennes, Rennes, France*

chloe.olivi@totalenergies.com

SOUHAIT : Poster

RESUME

The injection of water into oil reservoirs leads to the formation of stable water-in-oil (W/O) emulsions, which can significantly hinder their transport and subsequent separation. This study investigates how shear controls the rheological and morphological evolution of a W/O emulsion prepared by agitating a mixture of dodecane, Span 80 (800 ppm), and an aqueous NaCl solution (0.1 M). A rotary vane rheometer was used to investigate the behavior of the emulsion over a broad range of rotational speeds, corresponding to shear rates ranging from 3.14.10−4s−1 to 3.14.102s−1. Once the emulsion had formed and reached a stable initial state, a constant shear rate was imposed, while the temporal evolution of the system was monitored simultaneously by video imaging and by recording the torque exerted on the vane until a steady state was reached.

Our results reveal a shear-rate-dependent sequence of distinct steady states, defining a state diagram that encompasses both inertial and laminar flow regimes. At high shear rates, where inertial effects become dominant, the system remains macroscopically homogeneous, with no discernible free-oil or free-water phase. Upon entering the laminar regime, the system undergoes a transition towards phase-separated configurations. At intermediate shear rates, a free-oil phase develops above a sedimented emulsion, whereas at lower shear rates, a free-water phase progressively emerges below the emulsion, leading to a three-layer configuration consisting of free oil, emulsion, and free water. Surprisingly, in static conditions, sedimentation occurs, but there is no free-water phase.

The resulting state diagram demonstrates that the applied shear rate plays a key role in determining the final macroscopic organization of the emulsion. In particular, the transition between the different steady states is governed not only by the balance between viscous and inertial effects, but also by the competition between droplet sedimentation, coalescence, and the shear-induced relative motion of the droplets.

Tétraméthylguanidine comme catalyseur alternatif pour les vitrimères époxy-acide

Pauline BOUCHEVREAU[1], Sandrine HOPPE[1] et Quentin POUTREL[1]

[1]CNRS, Université de Lorraine, UMR 7274, F-54000 Nancy, France

pauline.bouchevreau@univ-lorraine.fr

RESUME

Les vitrimères à base d'époxy, reposant sur des réactions de transestérification, utilisent souvent des catalyseurs métalliques, tels que des dérivés du zinc ou de l'étain, ou des bases organiques hautement actives comme le 1,5,7-triazabicyclo[4.4.0]déc-5-ène (TBD).[1,2] Ce dernier catalyse efficacement la formation (estérification) du réseau ainsi que les réactions d'échange de liaisons (transestérification), tout en évitant certains problèmes liés à l'utilisation de catalyseurs métalliques, tels que la formation et la précipitation de carboxylates métalliques.[3] Néanmoins, son état solide, les contraintes liées à sa manipulation, son coût élevé et son accessibilité limitée à l'échelle industrielle représentent encore des obstacles majeurs à son utilisation à grande échelle.

Dans cette étude, la 1,1,3,3-tétraméthylguanidine (TMG), base guanidine liquide, est étudiée comme organocatalyseur alternatif pour les vitrimères époxy-acide.[4] Les réseaux catalysés par le TBD et la TMG sont comparés lors de la formation et de l'utilisation du réseau. L'estérification ainsi que les éventuelles réactions secondaires sont suivies par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR). La cinétique de réticulation est également étudiée par rhéologie oscillatoire à petites amplitudes. La structure du réseau obtenu, ses propriétés mécaniques, ainsi que sa dépolymérisation chimique sont ensuite évaluées afin de déterminer si la TMG peut constituer une alternative pratique et facilement industrialisable au TBD, sans compromettre les performances du vitrimère.

MOTS-CLES

Vitrimères époxy ; catalyse ; transestérification

RÉFÉRENCES

(1) **Waechter, E.; Poutrel, Q. A.; Mendoza, D. J.; Gresil, M. Tuning Curing, Latency, and Dynamic Behavior in Optically Clear Epoxy Vitrimers Using Organotin Catalysts. ACS Appl. Polym. Mater. 2026, 8 (13), 10801–10816. https://doi.org/10.1021/acsapm.6c01813**

(2) **Poutrel, Q.-A.; Blaker, J. J.; Soutis, C.; Tournilhac, F.; Gresil, M. Dicarboxylic Acid-Epoxy Vitrimers: Influence of the off-Stoichiometric Acid Content on Cure Reactions and Thermo-Mechanical Properties. Polym. Chem. 2020, 11 (33), 5327–5338. https://doi.org/10.1039/D0PY00342E**

(3) **Ciardi, D.; Retailleau, I.; Tournilhac, F. The Soap Opera of Metal Catalysis in Epoxy-Acid Vitrimers. Macromolecules 2025, 58 (7), 3377–3385. https://doi.org/10.1021/acs.macromol.4c03067**

(4) **Karavalakis, G.; Anastopoulos, G.; Stournas, S. Tetramethylguanidine as an Efficient Catalyst for Transesterification of Waste Frying Oils. Appl. Energy 2011, 88 (11), 3645–3650. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.03.050**

Rheo-UV-Guided Optimization of HEMA-Free Photocurable Dental Resins for DLP 3D Printing

R. Latoui, QA. Poutrel, C. Nouvel

Université de Lorraine, CNRS, LRGP, F-54000 Nancy, France.

rayenne.latoui@univ-lorraine.fr

ABSTRACT

Digital Light Processing (DLP) 3D printing requires photocurable resins combining suitable rheological properties with controlled photopolymerization kinetics. HEMA is widely used as a reactive diluent in dental resin formulations to reduce viscosity and improve processability; however, its use raises concerns regarding its stability and potential release of degradation products. This study focuses on the development of HEMA-free photocurable dental resins using alternative reactive diluents. A constrained mixture design combined with Rheo-UV characterization was employed to investigate the influence of resin composition on initial viscosity, gelation kinetics, and storage modulus development during photopolymerization. Several formulations were evaluated within a predefined composition domain, followed by multi-response optimization to identify suitable formulations. The results highlight a strong dependence of rheological and photorheological behavior on resin composition. Overall, the combination of mixture design and Rheo-UV provides a relevant approach for guiding the formulation and optimization of HEMA-free dental resins for DLP 3D printing.

KEYWORDS

Rheo-UV; photopolymerization; rheology; dental resin; DLP 3D printing; HEMA-free; mixture design.

RÉSUMÉ

L'impression 3D par Digital Light Processing (DLP) nécessite des résines photocurables présentant des propriétés rhéologiques adaptées et une cinétique de photopolymérisation maîtrisée. L'HEMA est couramment utilisé comme diluant réactif dans les résines dentaires afin de réduire la viscosité et d'améliorer leur mise en œuvre. Cependant, son utilisation soulève des préoccupations liées à sa stabilité et à la libération potentielle de produits de dégradation. Cette étude vise ainsi à développer des résines dentaires photocurables sans HEMA, à partir de diluants réactifs alternatifs. Un plan de mélange contraint, associé à la Rheo-UV, a été utilisé pour étudier l'influence de la composition sur la viscosité initiale, le temps de gel et l'évolution du module de stockage lors de la photopolymérisation. Plusieurs formulations ont ensuite été comparées par une optimisation multicritère. Les résultats mettent en évidence l'influence importante de la composition sur les comportements rhéologique et photorhéologique. Cette approche permet ainsi d'orienter rationnellement la formulation de résines dentaires sans HEMA destinées à l'impression 3D DLP.

MOTS-CLES

Rheo-UV ; photopolymérisation ; rhéologie ; résine dentaire ; DLP ; HEMA-free ; plan d'expérience.

CONTACTEZ NOUS

UL PROPULS (PCO)

1 rue Grandville
54000 Nancy

+ 33 (0)3 72 74 37 14

events@ul-propuls.fr

PLUS D'INFORMATIONS

gfr2026@ul-propuls.fr | www.gfr2026.fr

Organisé par

Partenaires & sponsors

Cette conférence est organisée avec le soutien d'UL Propuls, organisateur d'événements et de congrès

© GFR 2026 | Graphic design: UL Propuls
Photo credit: Istock, Adobe Express | Commons : freepik, unsplash (Florian K)