

Characterization and 2D-Modelling of the viscous sintering between superimposed filaments based on corn protein

L. Chaunier¹, M. Thadasack¹, A.-L. Réguerre¹, A. Chebbi², L. Huttin², A. Moisy^{1,2}, S. Comas-Cardona² and T. Weitkamp³

¹INRAE, UR 1268 BIA, La Géraudière, F-44316 Nantes, France

²Nantes Université, Ecole Centrale Nantes, CNRS, GeM, UMR 6183, F-44000 Nantes, France

³Synchrotron SOLEIL, ANATOMIX beamline, F-91190 Saint-Aubin

Speaker's email: laurent.chaunier@inrae.fr

Preference: TALK & Preferred session: S5/ Food rheology

Keywords: Additive manufacturing, Adhesion, Biopolymer, Image analysis, Zein

Abstract: Viscous sintering of polymer melts is generally studied by thermomicroscopy and modelled using the Frenkel-Eshelby's approach. It is based on the evaluation of the growth rate of the bonding neck between two circular parts, linked to melts surface tension (Γ , as the driving force) and viscosity (η). It was recently completed by the acquisition of 3D scans by dynamic X-Ray Tomography (res^o:5.2 μ m, acq^o:1scan/s) on the ANATOMIX beamline of Synchrotron SOLEIL, to follow the hot-melt sintering of 4 superimposed filaments (L_{Fil} =5mm, \varnothing_{Fil} =2mm). The analysis of the reconstructed volumes leads to assess the decreasing size of the central porosity between the filaments during sintering. Concomitantly, the 2D modelling of this phenomenon is carried out by the Finite Elements Method combined to the Level Set with COMSOL Multiphysics®. It requires a simplification of geometry according to an axial symmetry and an adaptive timestepping. At 120°C, typical temperature to process zein, a protein used as a model-biopolymer for the additive manufacturing of edible resorbable parts, the simulated and experimental sintering kinetics are similar, with a decrease rate of the porosity at about 1%/s. One of the perspectives of the present work is the 3D modelling of sintering.

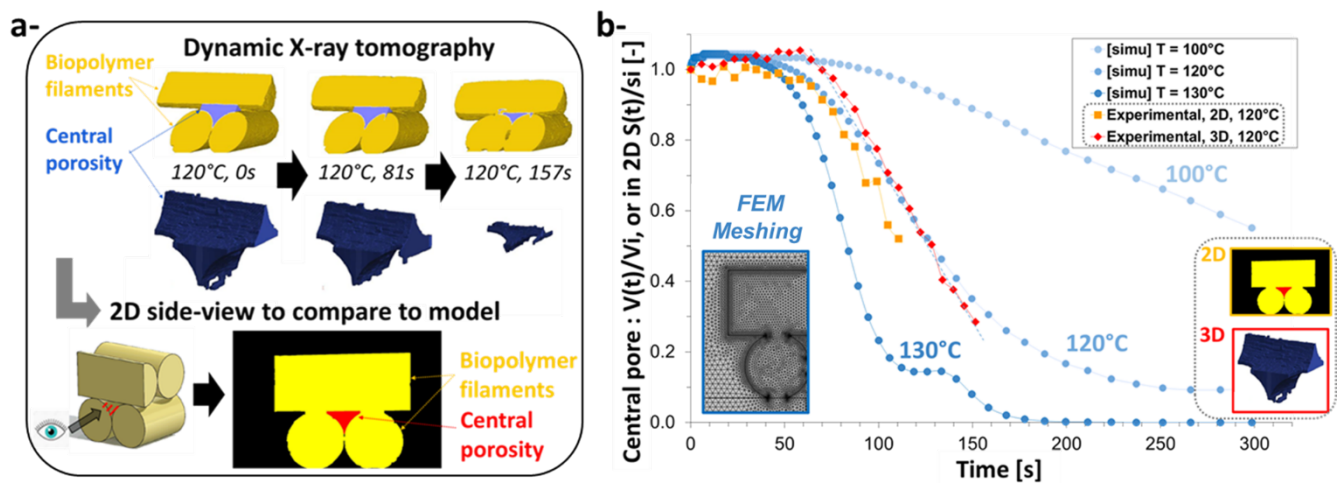


Figure: a- Sintering followed by XR-Tomography. b- Experimental results (2D and 3D) and FEM model (2D)



“Gelled waters” for swallowing disorders: rheological, tribological and chemical characterizations related to sensory perception

Alexy BRUNEL ^{1,2}, Ludovic PAQUIN ², Fabienne GAUFFRE ², Véronique VIE ¹, Vincent MATHIEU ⁴,
Ronan THIBAUT ³, Arnaud SAINT-JALMES ¹

¹ Univ Rennes, CNRS, Institut de Physique de Rennes - UMR 6251, Rennes

² Univ Rennes, CNRS, Institut des Sciences Chimiques de Rennes – UMR 6226, Rennes

³ INRAE, INSERM, Univ Rennes, Nutrition Métabolismes et Cancer, NuMeCan, Rennes

⁴ INRAE, L'Institut Agro, Science et Technologie du Lait et de l'Œuf, Rennes

Contact email address: alexey.brunel@univ-rennes.fr

Preference: TALK – S5/ Food rheology

Keywords (5 max): Edible gels; Dysphagia; Polymers; Sensorial perception; Rheology

Abstract:

Many diseases can lead to swallowing disorders and trigger health consequences. In order to prevent the risk of penetration-aspiration, aqueous edible gels are one of the possible options for providing water under a non-liquid form. However, the texture of these gels can still be optimized for patients, both from a sensory and/or nutritional point of view. Our aim is to characterize the structure and rheological properties of these gels in order to understand the links between the mechanical properties and the sensory perception, and thus to drive further formulation developments.

In practice, we have focused on twelve different gels by mixing up to 5 gelling ingredients of different natural sources, together with calcium carbonate, based on the already existing commercial products. To fully characterize their viscoelastic, slipping, flow, fracture and aging properties, we performed various shear, compression and extensional rheological tests, representing more than 200 experiments. These small to large deformations allow us to demonstrate that it is possible to cover wide ranges of rheological properties, by simply combining polymeric gelling agents. To determine the oral friction, a custom-built tribometer was employed with a deformable artificial tongue.

In parallel, we performed a descriptive analysis using a trained panel of sensory assessors. For each formulation, we collected the evaluation of 18 descriptors. They are distributed before (spoon-held, etc.) and during the oral phase (sticky, grainy, etc.) but also after swallowing (residues, etc.). We then discuss the correlations between the rheological measurements and the sensorial evaluation and how formulations could be optimized.

Viscosité de mélanges de protéines de pois et blé et de leurs extrudés en milieu humide

T. Purcell^{1,2}, G. Delaplace¹, A. Riaublanc², G. Della Valle²

¹ INRAE, Unité Matériaux et Transformations (UMET), Villeneuve d'Ascq, France

² INRAE, Biopolymères, Interactions & Assemblages (BIA), Nantes, France

Résumé:

Le développement d'analogues de viande à partir de protéines végétales (en anglais : Plant Based Meat Analogs, PBMA), par cuisson-extrusion en milieu humide (%Eau \geq 50%), contribue à la nécessaire transition protéique, environnementale et alimentaire. Cependant le comportement des PBMA lors de l'extrusion est loin d'être maîtrisé et, en dépit de l'intérêt scientifique croissant du sujet, les propriétés rhéologiques des PBMA sont encore méconnues. Notre objectif est donc de déterminer précisément ces propriétés pour des mélanges protéiques et leurs extrudats à haute teneur en eau afin de mieux comprendre les mécanismes qui régissent leur transformation et de modéliser le procédé d'extrusion.

À cette fin, nous avons utilisé le rhéomètre capillaire à pré-cisaillement Rhéoplast, qui permet de simuler un traitement d'extrusion tout en contrôlant les conditions thermomécaniques appliquées, pour déterminer la viscosité d'un mélange de 60% d'isolat de protéines de pois (PPI) et de 40% de gluten G, à trois teneurs en eau (50-55-60 %, base humide totale) ainsi que ces mélanges extrudés à trois différentes températures d'extrusion (130-140-150°C). Ces 12 matériaux ont été caractérisés au Rhéoplast à trois températures, 60, 90 et 120°C, qui représentent l'intervalle réel de mise en œuvre de la matière lors de l'extrusion. Les profils de pression P sont déterminés dans un intervalle de vitesse de cisaillement apparente compris entre 10 et 10⁴s⁻¹, pour des filières de rapport L/D 8, 16 et 32 (D=1mm), afin de pouvoir effectuer les corrections de Bagley.

Les résultats montrent que, pour tous les matériaux, les profils de pression sont réguliers, suggérant l'absence de glissement à la paroi, et les graphes P(L/D) linéaires. La viscosité en cisaillement ainsi déterminée suit une loi de puissance. Les valeurs de l'indice de consistance K, variant de 480 à 5000 Pa.sⁿ, et celles de l'indice d'écoulement n, variant de 0,25 à 0,7, sont inversement corrélées. En règle générale, la viscosité des matériaux extrudés est supérieure à celle des mélanges initiaux, ce qui suggère que des conditions d'extrusion différentes conduisent à une structuration différente. En outre, l'application du principe de superposition temps-température permet de déterminer des énergies d'activation, E/R valant 3500K pour le mélange initial et variant de 5500 à 12000K pour les matériaux extrudés. L'influence de la teneur en eau peut être prise en compte en introduisant la température de transition vitreuse du mélange protéique T_g, les facteurs de glissement des courbes d'écoulement dépendant alors linéairement de T/T_g. L'ensemble des résultats peut être ajusté par un modèle de modèle de Cross, qui permet de décrire le comportement visqueux dans l'intervalle [1, 10⁵s⁻¹], avec des valeurs de viscosité au plateau η_0 variant entre 120 et 3200 Pa.s. Enfin, l'extrapolation des graphes de Bagley à L/D=0, permet de déterminer la pression d'entrée et, d'accéder à une viscosité élongationnelle apparente, et donc de calculer un nombre de Trouton, dont les valeurs sont de l'ordre de 100.

Ces travaux sont poursuivis pour mettre en relation ces propriétés rhéologiques avec la structure fibreuse des matériaux extrudés, caractérisée par leur anisotropie mécanique et morphologique. Les lois de comportement ainsi déterminées alimenteront un modèle numérique d'écoulement et des échanges thermiques dans la filière de l'extrudeuse.

Ce travail fait l'objet de la thèse Cifre de Tom Purcell, dans le cadre de la convention ANRT entre la Sté Nxtfood et INRAE.



Rhéologie, tribologie et perception sensorielle de boissons épaissies

R. Lecanu¹, K.Xu¹, G. Della Valle², C. Leverrier¹, A.Izzet¹, M. Ramaioli¹

¹ Université Paris-Saclay, INRAE, Agroparistech, UMR SayFood, Palaiseau

² INRAE UR 1268, Biopolymères, Interactions & Assemblages (BIA), Nantes
Email : remi.lecanu@agroparistech.fr

Preference : TALK - Food rheology

Keywords : Déglutition, Rhéologie, Tribologie, Texture

Abstract : Pour accompagner les patients atteints de difficultés à déglutir, il est commun de modifier la texture et les propriétés rhéologiques des boissons par l'ajout d'épaississants. Le comportement rhéologique, en cisaillement et en extension, conditionne les risques d'aspiration dans les voies respiratoires, les résidus post-déglutition, mais aussi leur appétence.

Nos récents travaux ont permis de relier les propriétés rhéologique à la classification IDDSI¹, pour les boissons à destination des personnes dysphagiques (Lecanu et al., 2024) et a mis en évidence de possibles limitations de cette classification de texture. Une extension de cette étude aux fluides à seuil et aux fluides élastiques est présentée dans cette contribution.

Dans ce contexte, une analyse sensorielle de boissons à la rhéologie contrôlée a été réalisée sur un panel de juges sains. Ces boissons sont obtenues par l'épaississement d'une eau minérale avec de la maltodextrine (DE8), de l'amidon et de la gomme de xanthane. L'objectif était de déterminer si les différences rhéologiques sont perceptibles ou non par l'humain. A cet effet, la formulation des boissons est modulée pour étudier l'effet de l'amylase salivaire en modifiant le pH.

Le comportement en cisaillement a été caractérisé en imposant un gradient de cisaillement avec une géométrie Couette, les mesures en oscillation avec une géométrie plane et les mesures tribologiques à l'aide d'une surface texturées imitant les propriétés interfaciales de la langue humaine. Les boissons formulées présentent différents comportements : newtonien ($\eta \in [0.03 ; 2.00]$ Pa.s), rhéofluidifiant ($K \in [0.34 ; 6.54]$ Pa.sⁿ) et $n \in [0.44 ; 0.64]$) et des propriétés viscoélastiques.

L'étude rationalise certaines perceptions et descripteurs, notamment en distinguant les descripteurs « épais » et « gluant ». Les variations des valeurs critiques de vitesse indiquant des modifications du régime de friction permettent d'expliquer le descripteur « granuleux ». A l'aide d'une carte rhéologique une estimation des taux de cisaillement en bouche d'environ 175s⁻¹ est déterminée. La pertinence de tels standards est discutée.

R. Lecanu, G. Della Valle, C. Leverrier, M. Ramaioli. Predicting the gravity-driven flow of power law fluids in a syringe : a rheological map for the IDDSI classification. *Rheol Acta* 2024, In Press <https://doi.org/10.1007/s00397-024-01449-9>

¹ International Dysphagia Diet Standardization Initiative : <https://www.iddsi.org/>



Beauty in Motion: How Rheology Saves Cosmetic Production

Duncan GILBERT

*Research Laboratory, *L'Occitane en Provence*, 04100 Manosque,
Duncan.Gilbert@L'occitane.com

Preference : TALK Agroalimentaire section

Keywords (5 max): Cosmetics, Applied Rheology, Bulk Preservation, Process Optimization

Abstract : In the competitive field of cosmetics, rheological principles are not just academic; they are crucial for resolving complex industrial challenges. This presentation discusses two pivotal case studies where rheology significantly improved production processes at L'Occitane en Provence. The first case addresses an issue with the bulk destruction during the drainage phase of production. By applying fluid mechanics principles to cylindrical pipe flows, we determined the optimal pipe diameter necessary to prevent product waste effectively. This solution not only preserved valuable bulk but also streamlined the production process. The second case explores the use of a rheometer to analyze crystal formation at low temperatures. This analysis was critical for ensuring product stability and texture consistency, which are key to consumer satisfaction. Both cases highlight the practical application of rheological concepts in cosmetics manufacturing and underscore the importance of tailored equipment and analytical techniques in industrial settings. Through these examples, we illustrate how theoretical rheology can be effectively translated into practice, ensuring product integrity and enhancing manufacturing efficiency.



Figure: Rheology understanding of gel-cream behaviors



Emulsion ink formulation for 3D food printing

Yara Moawad*, Émilie Korbel*, [Raphaël Poryles*](#)

* GEPEA, Oniris, rue de la Géraudière, 44322 Nantes
raphael.poryles@oniris-nantes.fr

Preference: TALK & session food rheology

Keywords: 3D printing, ink rheology, phase transition, emulsion, by-products

Abstract: 3D printing represents a major technological advance that has transformed the way we design, prototype and manufacture objects. It has opened new perspectives in various fields such as industry, medicine, art and design. However, 3D printing is not limited to the manufacture of objects; it also finds innovative applications in the culinary field with food 3D printing. This technology offers unprecedented flexibility and customization, while helping to reduce waste and production costs. When it comes to food 3D printing, a key consideration is the rheology of food inks.

With this in mind, our study focuses on the development of new edible inks for 3D printing. Our printer works according to the extrusion principle: the material, contained in a syringe, is heated and deposited layer by layer on a moving plate. We use vegetable protein stabilized emulsions to promote the transition from animal products to plant alternatives. We also include in the ink yeasts from brewery waste, thus valuing this by-product, as well as spirulina, a popular protein source.

After rheological and thermal characterization of isolates and co-products in solution and emulsion, only those meeting the necessary criteria are used for printing. For example, potato protein ink, rich in protease inhibitors, has demonstrated excellent printing ability in terms of flow and elasticity, as well as a phase transition with irreversible gelation at 60°C (see image). These properties were characterized by rheological measurements coupled with differential scanning calorimetry.

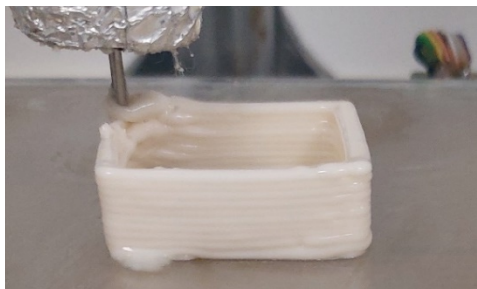


Figure: 3D printed shape from an emulsion ink stabilized by potatoes proteins