

SLAMM

GDR 2019 CNRS-INRAE

Newsletter du GdR SLAMM - septembre 2023

Edito

Bonjour à toutes et tous,

Vous trouverez ci-après notre newsletter de rentrée du GdR SLAMM (Groupement de Recherche 'Solliciter LA Matière Molle'). Cette newsletter est la première de la saison 2 de SLAMM, qui vient d'être renouvelé pour 5 ans. Nous bénéficierons donc du soutien du CNRS (au travers de ses instituts de physique, de chimie et de sciences de l'ingénierie) et de l'INRAE (en particulier le département TRANSFORM) jusqu'à fin 2027.

SLAMM continuera à favoriser la fertilisation croisée entre études fondamentales sur des systèmes modèles et recherche appliquée, qui est une richesse et une spécificité forte de notre réseau. Nous souhaitons également renforcer l'ancrage sociétal de nos recherches en proposant de nouvelles questions scientifiques fondamentales pour répondre à des défis sociétaux en lien avec les transitions alimentaire et environnementale.

Nous avons également étoffé le conseil scientifique (CS) de SLAMM de manière à couvrir un plus large éventail de compétences et de sensibilités. Le CS est constitué du comité de direction et de Catherine Barentin (ILM, Lyon), François Boué (LLB, Saclay), Said Bouhallab (STLO, Rennes), Claire Bourlieu-Lacanal (IATE, Montpellier), Christophe Chassenieux (IMMM, Le Mans), Pascal Hervé (Solvay), Martine Meireles (LGC, Toulouse), Anne Pitkowski (Fromageries Bel) et Corinne Rondeau (OPAAL, Rennes).

Au cours de cette mandature, nous veillerons à conserver les actions phares que nous avons mises en place au cours des 5 années précédentes, mais aussi à proposer de nouvelles actions d'animation scientifique. L'atelier thématique sur la diffusion de rayonnement qui se déroulera fin septembre, et les sessions de science dating aux prochaines journées plénières, font partie des nouveautés.

Cette newsletter débute par une interview de Catherine Barentin, Professeure à l'Institut Lumière Matière à Lyon, membre du CS de SLAMM. Nous revenons ensuite sur deux faits marquants récents issus de collaborations entre laboratoires membres de SLAMM. Nous rendons aussi hommage à Anne-Marie Levelut, une grande experte de la diffusion des rayons X, qui nous a récemment quittés. Enfin nous annonçons trois événements à venir et la création en 2023 d'un GDR au contour scientifique proche et complémentaire de celui de SLAMM.

Antoine Bouchoux, Ludovic Pauchard et Laurence Ramos – directeurs de SLAMM

antoine.bouchoux@insa-toulouse.fr, ludovic.pauchard@universite-paris-saclay.fr, laurence.ramos@umontpellier.fr

Interview de Catherine Barentin



Catherine Barentin est professeure à l'Université Claude Bernard Lyon 1 et à l'Institut Lumière Matière. Catherine a été membre junior de l'Institut Universitaire de France (IUF) de 2013 à 2018.

. Quelle est votre formation et votre parcours scientifique ?

Après des études à l'ENS de Lyon au cours desquelles j'ai passé l'agrégation de physique puis le DEA de physique statistique, j'ai préparé une thèse de doctorat à l'Institut Charles Sadron (Strasbourg 1) sous la direction de Jean-François Joanny et Pierre Müller. Le sujet

portait sur les propriétés statiques, dynamiques et rhéologiques de monocouches de polymères adsorbés à l'interface eau-air. Ces études qui ont mêlé expériences et théories analytiques ont permis en particulier de quantifier des viscosités de surface. Depuis, mes activités de recherche ont été consacrées à l'étude de la matière molle, de l'hydrodynamique et des interfaces. Je m'intéresse aux propriétés dynamiques de fluides complexes et au couplage entre les échelles microscopiques et les propriétés rhéologiques macroscopiques de ces fluides. J'étudie également l'influence des interfaces et du confinement sur les propriétés rhéologiques des fluides complexes. Parallèlement, je m'intéresse au glissement hydrodynamique induit par des surfaces complexes, hétérogènes et/ou superhydrophobes, lors d'écoulements de fluides simples.

. Comment ont évolué vos travaux entre expériences et théories ?

Un aspect singulier des études que j'ai menées a bénéficié des possibles allers-retours entre théories et expérimentations. J'ai toujours eu en effet la chance d'être dans un univers qui mêlait expérimentateurs et théoriciens. Cet univers a été accessible depuis mes travaux de thèse à l'Institut Charles Sadron en particulier grâce aux dialogues avec Jean-Marc di Meglio et Jean-François Joanny et la possibilité de se greffer sur un travail expérimental ou théorique. Les différentes collaborations qui ont suivi ont été toujours propices à ces allers-retours entre théories et expériences, même si mes études expérimentales ont pris plus d'importance au cours du temps.

. Quels sont les outils des sciences de la 'matière molle' que vous utilisez pour vos recherches passées et actuelles ?

Parmi les différents outils de la 'matière molle' que j'ai utilisés dans mes recherches j'en citerai un issu de la théorie, l'autre des procédés expérimentaux. J'ai pu bénéficier d'une formation très enrichissante sur les analyses dimensionnelles dès mes travaux de thèse. Du point de vue expérimental savoir moduler les propriétés physicochimiques des surfaces a été un atout à la fois pour étudier le glissement aux parois de fluides simples ou complexes, le mouillage de fluides à seuil au contact de surfaces lisses ou rugueuses ainsi que l'impact de fluides simples sur des surfaces super-hydrophobes. Ce dernier travail actuellement en cours est réalisé en collaboration avec Anne-Laure Bianco.

. Quelles sont les propriétés applicatives de vos études ?

Les fluides complexes tels que les suspensions de microgels de polymères, émulsions, mousses interviennent dans pratiquement tous les domaines de la vie quotidienne, qu'il s'agisse de cosmétiques, de détergents, de produits pharmaceutiques ou agroalimentaires. Cependant un effort de recherche doit être mené afin de comprendre et de prédire les comportements de ces systèmes en particulier dans des applications spécifiques.

Actuellement j'ai deux thématiques en relation directe avec des applications industrielles.

- L'écoulement d'un fluide à seuil dans un micro-canal en laboratoire peut modéliser un écoulement dans les pores d'une roche (boues dans la nature, gels utilisés pour la fracturation hydraulique), ou bien dans un capillaire (industrie cosmétique, applications médicales). Parmi les caractéristiques spécifiques aux fluides à seuil dans cette situation, on trouve le glissement aux parois, qui est celle sur laquelle nous nous concentrons avec Marie Le Merrer. Bien que souvent peu significatif, le glissement s'observe aussi à l'échelle macroscopique. Ce travail s'applique en particulier à l'impression 3D des textiles. Lors de l'étape de coloration des textiles l'écoulement de fluides à seuil et les phénomènes d'extrusion doivent être contrôlés.
- Une seconde étude concerne le mouillage des fluides complexes et en particulier le cas des fluides à seuil pour lesquels nos intuitions sont mises à défaut. Nous travaillons en collaboration avec Saint-Gobain sur le collage des laines de verre, une situation pour laquelle un fluide complexe doit pénétrer dans une matrice. Une des complexités réside dans le fait que ce processus couple des matériaux hydrophobes (la laine de verre) et hydrophiles (le ciment).

. Nous vous savons convaincue que le GdR est d'une importance toute particulière dans la formation de jeunes chercheurs, doctorants et post-doctorants : de quelle(s) manière(s) ?

De manière générale ce que j'adore dans les GdR est qu'ils constituent l'échelle parfaite pour dialoguer au niveau du nombre de personnes impliquées. Ceci est particulièrement bénéfique pour les étudiants qui ont ainsi accès à un dialogue facilité avec d'autres chercheurs plus expérimentés de la communauté. Un GDR permet également de créer un véritable réseau pour les jeunes chercheurs qui va durer plusieurs années.

Propriétés non linéaires et écoulement des gels enzymatiques de lait

Collaboration entre les laboratoires STLO et ILM.

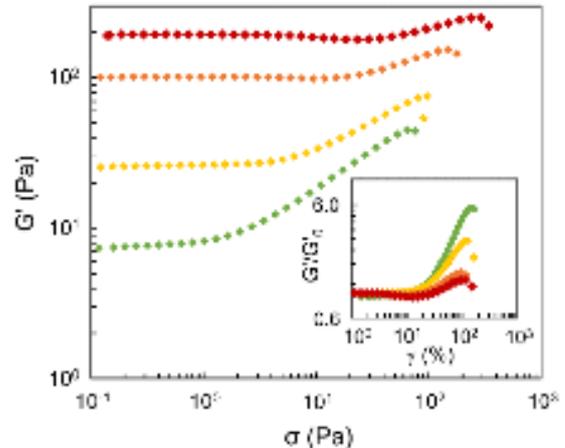
Au cours de la fabrication fromagère, le lait se transforme en un gel enzymatique qui est ensuite découpé, agité puis égoutté pour en extraire son sérum. Les propriétés solides du gel enzymatique sont bien caractérisées par des mesures rhéologiques dans le domaine linéaire, c'est-à-dire en mesurant la résistance du solide soumis à des petites déformations qui ne l'endommagent pas. Cependant, ces mesures ne fournissent que peu d'informations sur le comportement du gel lors de grandes déformations telles que celles appliquées pendant le procédé de fabrication du fromage.

Une autre approche consiste à étudier les propriétés non linéaires du gel, c'est-à-dire lorsque la déformation n'est plus proportionnelle à la contrainte, et ceci jusqu'à sa mise en écoulement, c'est-à-dire étudier la transition solide-liquide.

Le comportement du gel de lait enzymatique dans le domaine non linéaire a donc été étudié au moyen d'essais de fluage, de fatigue et de balayage de contraintes. Après la gélification d'un lait reconstitué et son vieillissement, des mesures dans le domaine non linéaire ont été effectuées à l'aide d'un rhéomètre à contrainte imposée. La plupart des mesures ont été appliquées après une période de vieillissement d'environ dix fois le temps de gélification du lait, ceci afin d'éviter les variations importantes de modules du gel observées au tout début de la gélification. La microstructure du gel a également été observée par microscopie confocale à fluorescence.

L'un des principaux résultats des essais de fluage et de fatigue est que le gel de lait enzymatique présente une rupture irréversible et brusque, contrairement à une mise en écoulement progressif telle qu'observée pour d'autres gels colloïdaux. En outre, l'observation d'un régime de fluage d'Andrade et d'une transition gel-sol suivant la loi de Basquin pendant les essais de fluage et de fatigue, ainsi que la récupération du gel après une déformation oscillatoire, indiquent que les gels enzymatiques de lait subissent une accumulation « silencieuse » de dommages avec peu de conséquences sur les propriétés mécaniques avant la rupture.

Au cours du balayage à contrainte croissante, un comportement inhabituel est observé avant d'atteindre le régime d'écoulement : une première phase de ramollissement du gel, suivie d'une phase de durcissement. L'ampleur relative du ramollissement et du durcissement dépend à la fois



Balayage en contrainte appliquée à différents temps de vieillissement du gel enzymatique après le temps de gélification (t_{gel}) ($T=30^{\circ}C$, fréquence= 1 Hz) : module élastique (G') en fonction de l'amplitude de la déformation (σ). De bas en haut : $t-t_{gel}=5, 15, 60, 260$ min. L'insert montre le rapport G'/G'_0 avec G'_0 la valeur de G' dans le régime linéaire ($f=1$ Hz) en fonction de l'amplitude de la déformation.

de la fraction volumique de protéines formant le gel et du temps de vieillissement de celui-ci. Lorsqu'on augmente la fraction volumique de protéines, le comportement non-linéaire évolue vers une phase unique de ramollissement, tandis que le durcissement est amplifié à faible fraction volumique. Le durcissement est donc attribué à la topologie du réseau, tandis que le ramollissement serait plutôt dû aux propriétés des briques constitutives du réseau, c'est-à-dire des micelles de caséine.

Cette étude fournit une caractérisation approfondie des propriétés non-linéaires des gels enzymatiques de lait. Elle démontre également que ces propriétés changent en fonction des conditions de gélification étudiées, conditions qui sont pertinentes vis-à-vis de la transformation fromagère, à savoir, la teneur en protéines du lait ou le vieillissement du gel. Une caractérisation plus poussée de la rupture du gel, par exemple par des observations microscopiques *in situ*, c'est-à-dire au cours de sa déformation, permettrait de mieux comprendre les mécanismes impliqués dans la mise en écoulement de ces gels et ainsi, le comportement du gel de lait pendant la fabrication fromagère, en particulier pendant sa découpe et son brassage.

Non-linear properties and yielding of enzymatic milk gels.
J. Bauland, M. Leocmach, M.H. Famelart, T. Croguennec, *Soft Matter*, 2023, 19, 3562-3569
<https://doi.org/10.1039/D2SM01556K>

Gouttes d'hydrogels colloïdaux

Collaboration entre les laboratoires FAST et LIONS.

Les hydrogels sont des structures poreuses tridimensionnelles qui peuvent absorber de grandes quantités d'eau. De plus ce sont des matériaux à la fois mous et fragiles. Ces propriétés s'avèrent très utiles pour de nombreuses applications biologiques, notamment la libération contrôlée de médicaments et l'ingénierie tissulaire. Leurs comportements mécaniques doivent ainsi être adaptables. C'est dans ce contexte qu'une collaboration entre le laboratoire FAST et le LIONS a été entreprise sur des hydrogels à base de particules colloïdales constituant ainsi une structure poreuse homogène. La solidification de dispersions de nanoparticules de silice peut s'effectuer par évaporation du solvant, et par la modification des propriétés physico-chimiques du milieu. Ce dernier processus peut être contrôlé par l'ajout d'espèces ioniques à la dispersion. L'étude a été menée à deux échelles. A l'échelle macroscopique, des gouttes d'hydrogel déposées sur un substrat superhydrophobe ont été étudiées. Un diagramme a été élaboré afin de délimiter les conditions conduisant à la formation de gouttes homogènes au cours de la solidification ou mécaniquement instables présentant la formation de fissures ou de plis. A l'échelle microscopique des mesures de diffusion de RX ont été entreprises afin de caractériser les gels formés à l'échelle des particules et notamment leurs interactions.

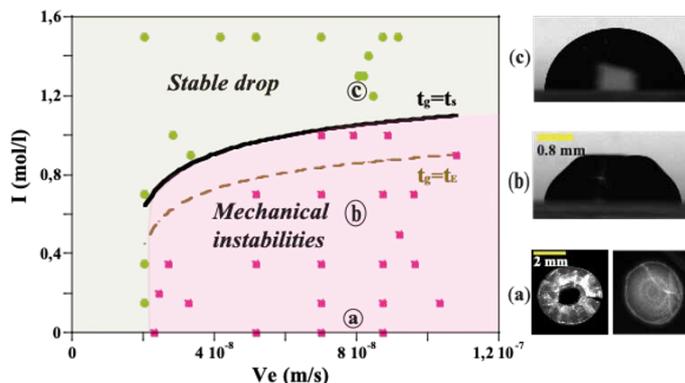


Diagramme délimitant les conditions conduisant à la formation de gouttes homogènes (a) au cours de la solidification ou mécaniquement instables présentant la formation de flambement (b) ou de fissures (c).

Soutenance de thèse de S. N'mar le 14 novembre 2023 à 14h au laboratoire FAST (Université Paris-Saclay).

Structuration and deformation of colloidal hydrogels.

S. N'Mar, L. Pauchard, P. Guenoun, J. P. Renault and F. Giorgiutti-Dauphiné

Soft Matter 19, 3348-3356 (2023)

<https://doi.org/10.1039/D2SM01532C>

Hommage



Chers collègues,

C'est avec une grande tristesse que nous avons appris le décès d'Anne-Marie Levelut à l'âge de 86 ans. Nos pensées vont d'abord à sa famille et à ses proches. Anne-Marie a joué un rôle immense pour nombre d'entre nous et nous sommes profondément affligés par cette nouvelle.

Ancienne élève d'André Guinier, Anne-Marie Levelut fut l'un des piliers de l'équipe de diffusion des rayons X, depuis la fondation du Laboratoire de Physique des Solides (LPS) jusqu'à son départ à la retraite en 2001.

Elève-ingénieure de l'ESPCI, elle rejoignit le laboratoire au début des années 1960 pour y préparer sa thèse d'état sur la diffusion des rayons X aux petits angles. Elle y initia ensuite les premières études structurales de la « matière molle ». En collaboration avec de nombreux chimistes, elle révolutionna la relation entre la structure moléculaire et l'organisation des phases cristal-liquides en dépassant la vision simpliste des molécules en forme de bâtonnets par l'introduction de formes et de propriétés variées : molécules discoïdes, coniques, polaires, composés ioniques, à transfert de charges, organométalliques, polymères cristaux liquides, assemblages supramoléculaires ... Au-delà de cette variété, elle a classifié toutes les phases cristal-liquides en précisant rigoureusement leurs propriétés de symétrie.

En récompense de la qualité de ses travaux, elle a reçu le prix Félix Robin de la SFP en 1998. Après avoir quitté le laboratoire, elle a consacré son temps à sa famille, aux randonnées en montagne qu'elle affectionnait tout particulièrement, mais aussi à la rédaction d'un ouvrage de référence sur les phases cristal-liquides chères à son cœur, ouvrage qu'elle a pu achever il y a quelques mois, malgré une santé devenue fragile.

Tous ceux qui l'ont connue peuvent témoigner qu'Anne-Marie possédait une intuition exceptionnelle de l'organisation de la matière molle à l'échelle moléculaire, une maîtrise proverbiale de l'espace réciproque et un talent hors-pair d'expérimentatrice. Elle a formé de nombreux thésards dont plusieurs ont poursuivi une carrière académique et beaucoup de visiteurs et chercheurs post-doctoraux étrangers sont venus de loin pour bénéficier de son enseignement.

Au delà d'un premier abord réservé, c'était une personne passionnée qui nous laisse un héritage scientifique remarquable.

Marianne Impéror et Patrick Davidson

Un nouveau GDR : le GDR SoPhy



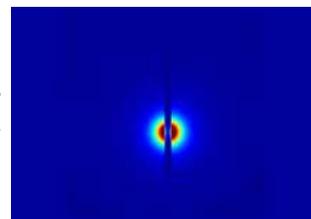
La mission du GDR **Soft Physics for Hard Materials (SoPhy)** est de rassembler la communauté française impliquée dans l'étude des matériaux durs obtenus à partir de précurseurs mous. C'est le cas de très nombreux matériaux tels que le ciment, les supports poreux pour la catalyse ou encore des matériaux d'inspiration ou d'origine biologiques tels que les composites à base de collagène mettant en jeu des processus de biominéralisation. Ce GDR couvre toutes les étapes de synthèse et d'obtention de matériaux durs et examinera la possibilité de jouer sur les propriétés structurales, mécaniques ou fonctionnelles de ces précurseurs pour mieux contrôler leurs propriétés finales à l'état durci.

Pour en savoir plus : <https://www.sophy.cnrs.fr>

Evénements à venir

Atelier SAXS-SANS

Les GdRs SLAMM et DUMBIO organisent conjointement un atelier dédié aux techniques SAXS et SANS (Small Angle X-ray / Neutron Scattering) les 26 et 27 Septembre 2023 à Paris, ESPCI. Le programme est consultable [ici](#).



Journées plénières du GDR SLAMM

La prochaine réunion plénière du GDR SLAMM se tiendra sur 3 jours complets du 27 au 30 Novembre 2023 au Village Vacances «Le Lazaret» à Sète (34).

Parmi les événements d'ores et déjà programmés, notez (i) deux conférences plénières de Marie Le Merrer (ILM, Lyon) et Ivar Ekeland (Université Paris-Dauphine) sur des aspects liés au développement durable, suivie d'une table ronde sur le sujet, (ii) une session de « science dating » (iii) nos maintenant traditionnelles sessions « posters animés », et bien sûr (iv) des contributions orales des participants, jeunes et moins jeunes.

Les inscriptions sont ouvertes jusqu'au 23 octobre [au lien suivant](#).



GDR SLAMM - Solliciter la Matière Molle
Sète (Hérault) - 27 au 30 Novembre 2023

Summer school on Soft Matter Systems: from fundamentals to Foods

L'été prochain, du 23 juillet au 2 août 2024 aura lieu une école d'été sur la matière molle à l'institut d'étude scientifique de Cargèse en Corse. Cet événement, organisé conjointement par le GDR SoPhy et le GDR SLAMM, réunira 21 intervenant.e.s dont les cours couvriront tous les thèmes de la matière molle, y compris la physique des polymères et des colloïdes, et leur assemblage en différentes structures tels que les gels et autres composites viscoélastiques dont la caractérisation structurale et mécanique, ainsi que la modélisation multi-échelle seront détaillées. Cette école offrira aussi une série de cours plus avancés sur des produits liés à l'alimentation, abordant leurs ingrédients (protéines, polysaccharides et matières grasses), leurs attributs texturaux (interfaces, tribologie et rhéométrie extensionnelle), ainsi que leurs applications industrielles. Les inscriptions sont ouvertes, et des places sont disponibles dans la limite de 76 participants. N'attendez pas, inscrivez-vous !

<https://softfood.sciencesconf.org>



SUMMER SCHOOL ON SOFT MATTER SYSTEMS
From fundamentals to Foods
23 Jul-2 Aug 2024 Cargèse (France)