

SLAMM

GDR 2019 CNRS-INRAE

Newsletter du GdR SLAMM - décembre 2022

Edito

Bonjour à toutes et tous,

Vous trouverez ci-après notre newsletter d'hiver du GdR SLAMM (Groupement de Recherche 'Solliciter LA Matière Molle'). Cette édition débute par une interview de Saïd Bouhallab, directeur de recherche INRAE et membre incontournable de notre communauté. Nous revenons ensuite sur trois faits marquants récents issus de collaborations entre laboratoires membres de SLAMM. Nous évoquons ensuite les échanges et animations scientifiques qui ont eu lieu lors de nos dernières journées plénières à Roscoff en novembre dernier.

SLAMM a été créé au 1er Janvier 2018 et prend fin au 31 Décembre 2022. Mais cette newsletter n'est probablement pas la dernière du GdR SLAMM... Nous avons en effet déposé une demande de renouvellement auprès de nos instances cet été, et nous avons bon espoir que le GDR soit renouvelé pour 5 ans, à partir du 1er Janvier 2023. Nous ne manquerons pas de vous en informer.

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 Saïd Bouhallab



Saïd Bouhallab est directeur de recherche INRAE au laboratoire Science et Technologie du Lait et de l'Œuf (STLO) à Rennes. Il est un membre assidu et passionné de la communauté SLAMM.

. Quelle est votre formation et votre parcours scientifique ? Comment est né votre intérêt pour les approches physiques de type 'matière molle' ?

Après une maîtrise (M1) de Biochimie et un DEA (M2) en Pharmacologie moléculaire, j'ai opté pour une thèse dans un laboratoire de chimie bio-organique du CNRS (CERCOA, Thiais) qui développait des recherches notamment sur les antibiotiques en alliant, chose rare à l'époque, la biochimie fondamentale, la chimie organique et la biologie (un peu loin de la physique ? pas tant que cela, sic). Ce choix m'a été inculqué par les cours fascinants des Professeurs Jean Bernard Le Pecq (spécialiste des intercalants de l'ADN, drogues anti cancer) et François Le Goffic (expert en chimie organique et de synthèse). La question de recherche de ma thèse sous la direction de F. Le Goffic était de déterminer comment des molécules d'antibiotiques, de la famille des pristinamycines, agissaient en se fixant sur le ribosome bactérien, la machine cellulaire à synthétiser les protéines. Nous avons pu mettre en évidence que ces antibiotiques modifiaient spécifiquement deux protéines ribosomales la L24 de la sous-unité 50S et la protéine S14 de la petite sous-unité 30S du ribosome. C'est là qu'est née ma passion pour les protéines et leurs interactions entre elles et avec différents ligands.

Ceci a été confirmé par un post-doc court chez ex Roussel-Uclaf (industrie pharmaceutique, actuellement groupe Sanofi-Aventis) où j'ai travaillé sur les interleukines recombinantes puis à l'INRA où j'ai développé plusieurs projets sur les protéines et peptides vus sous les angles technologie, procédés et fonctionnalités. Le début de ma carrière était un peu plus chimie-biochimie que physique physico-chimie.

C'est au travers des procédés, et en collaboration avec le LGC de Toulouse (notamment avec Pierre Aimar, que je salue ici très amicalement et à qui je souhaite une heureuse retraite) que j'ai commencé à intégrer les notions de physique de la matière molle dans mes approches. L'orientation de mes travaux et ceux de mon équipe vers la structuration des protéines alimentaires au cours des années 2000, combinée au montage d'une équipe transverse avec l'IPR, ont révélé chez moi et à plusieurs chercheurs de l'équipe un intérêt pour ce type d'approche (outils et concepts) pour répondre à nos propres questions de recherche autour de la transformation des biomolécules.

. *Quels ont été et quels sont les apports fondamentaux des concepts et outils des sciences de la 'matière molle' à vos recherches passées et actuelles ?*

Comme mentionné précédemment, les bases de l'introduction de ces concepts et outils dans nos problématiques ont été initiées il y a une vingtaine d'années avec le montage d'une collaboration autour des propriétés des protéines alimentaires entre mon équipe et celle d'Anne Renaud, physicienne au CNRS qui a constitué une équipe à l'Université Rennes 1 sur les interfaces. Cette collaboration, élargie plus tard à de nombreuses thématiques, est à l'origine de nos liens forts actuels avec l'IPR. La mise en évidence de la coacervation complexe hétéro-protéique (séparation de phase liquide-liquide) dans le cadre de la thèse de Michaël Nigen a constitué un tournant dans mes approches de biochimiste. J'étais convaincu de la nécessité de renforcer les liens avec la communauté des physiciens de la matière molle pour aller plus loin dans la compréhension des propriétés et fonctionnalités de nos assemblages. J'ai ainsi développé d'autres collaborations dont celles avec le CEA Grenoble, BIA Nantes, Université de Lund en Suède et l'UBS à Vannes. L'introduction des concepts et outils de ces sciences constituait ainsi un moyen d'avoir des leviers pour piloter les interactions et innover dans la formulation des assemblages pour des applications ciblées.

Ce qui me passionne dans ces approches interdisciplinaires est le fait d'observer des structures, leur dynamique et leur organisation à une échelle microscopique (forme, taille, alignements) et de tenter d'expliquer les mécanismes intimes de leur genèse par (i) des études expérimentales aux échelles nanométrique et moléculaire en mettant en œuvre des techniques qui permettent d'avoir accès aux changements de structures et aux constantes thermodynamiques d'interaction (calorimétrie, dialyse, fluorescence), (ii) la recherche de généralité par l'application de modèles des sciences des polymères et colloïdes.

S'agissant des biomolécules, la recherche de généralité des processus est cependant un vrai challenge. On peut assimiler certains objets à une simple sphère pour appliquer des modèles décrivant son comportement. En même temps, nous savons que toutes les protéines ne sont pas identiques, et encore moins des "colloïdes comme les autres" ! la substitution d'un seul parmi les 150-250 acides aminés composant une protéine de taille moyenne peut complètement bouleverser son comportement en solution en termes d'interactions avec les autres molécules environnantes, d'auto-assemblage, de séparations de phases, etc.

. *En tant que chercheur INRAE, quel est votre regard sur le GdR SLAMM ? En quoi une structure de ce type contribue-t-elle à répondre aux enjeux scientifiques de l'INRAE ?*

Ce que je trouve formidable dans cette communauté inter et pluridisciplinaire est la possibilité de partage des visions complémentaires et multi angles (sans jeu de mot) sur un même objet de recherche. Par exemple, comment un complexe nanométrique organo-minéral, appelé micelle de caséines, est vu par les physiciens, les physicochimistes ou les spécialistes des sciences des aliments. C'est vraiment fascinant. Un enrichissement mutuel basé sur les visions disciplinaires des uns et des autres.

Maîtriser la formulation et la structuration multi-échelle des objets de complexité variable pour des applications alimentaires et non-alimentaires est un enjeu majeur pour INRAE et plus spécifiquement pour le département TRANSFORM. La structuration multi-échelle des systèmes complexes est une question partagée par plusieurs secteurs économiques et est clairement affichée comme un des objectifs dans le document de demande de renouvellement du GDR. C'est donc un lieu de ressourcement pour nos thématiques à INRAE.

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

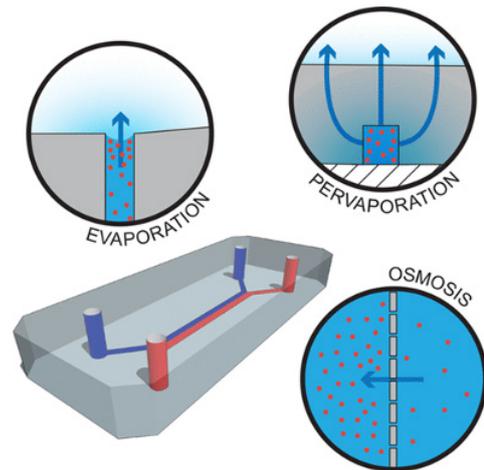
De plusieurs manières. Tout d'abord par une confrontation à d'autres générations, à d'autres manières de penser, de raisonner, de voir "les objets de recherche". La recherche est faite en grande partie dans nos laboratoires par ces jeunes chercheurs. Au quotidien, ils discutent certes avec leurs encadrants mais passent ensuite beaucoup de temps à réaliser les expériences... et parfois en "galérant" (ça ne marche pas toujours !!!). Ces rencontres sont des moments exceptionnels qui font saisir l'origine et le pourquoi des hypothèses formulées ou de la stratégie de recherche adoptée à un moment donné. Deuxièmement, c'est un lieu de découverte d'autres sujets et approches que l'on pensait loin des préoccupations personnelles mais qui ne le sont finalement pas forcément, ce qui renforce les compétences transversales. Enfin, c'est une communauté ouverte pour établir des contacts pour une plus large ouverture de son sujet de recherche du moment mais aussi pour l'étape d'après. C'est aussi tellement convivial... ce qui facilite l'exposé des problèmes rencontrés au quotidien.

Évaporation, pervaporation et osmose microfluidique : du pompage passif à la concentration de soluté

Collaboration entre les laboratoires LGC et LOF.

L'évaporation, la pervaporation et l'osmose directe sont des procédés conduisant à un transfert de masse de solvant à travers une interface : gaz/liquide pour l'évaporation et solide/liquide (membrane) pour la pervaporation et l'osmose (cf figure ci-contre).

Des discussions initiées dans le GDR SLAMM* ont abouti à un article de revue qui dresse un panorama de l'utilisation de ces procédés à l'échelle microfluidique pour des applications allant du pompage passif au criblage des diagrammes de phase et à l'ingénierie des micromatériaux. Sur le plan théorique, il est proposé une description unifiée de ces procédés, basée sur des flux induits uniquement par des gradients de potentiel, qui permet de mettre en évidence les différences et les similitudes entre ces trois phénomènes de transport passif. Sur le plan expérimental, l'article détaille le fonctionnement de dispositifs microfluidiques qui utilisent ces phénomènes de transport passif pour transporter et/ou concentrer des solutés jusqu'à des régimes de concentration élevée pouvant aller jusqu'à la solidification. L'article dégage des perspectives et des avancées potentielles autour des points suivants : (i) les phénomènes de transport de masse dans les fluides complexes et notamment leur modélisation, (ii) l'intégration de membranes aux fonctionnalités avancées dans les dispositifs microfluidiques, et (iii) la conception bioinspirée de processus complexes de transport passif.



*Le GDR est remercié pour ces raisons en fin d'article : « This work benefited from meetings within the French working group GDR CNRS 2019 Solliciter LA Matière Molle (SLAMM) »

Microfluidic evaporation, pervaporation, and osmosis: from passive pumping to solute concentration

P. Bacchin, J. Leng, J.-B. Salmon

Chemical Reviews, vol.122(7), 6938–6985, 2022

<https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.1c00459>

Propriétés et procédés de transformation des protéines végétales

Collaboration entre les laboratoires STLO et BIA.

Du fait de l'évolution des préférences des consommateurs vers des choix alimentaires plus sains, plus durables et avec une meilleure empreinte écologique, le marché mondial des protéines végétales est en forte croissance. Selon un des scénarios actuels, la valeur de ce marché dépasserait les 162 milliards de dollars à l'horizon 2030 contre 29 milliards de dollars en 2020. Parmi les protéines végétales, les protéines de légumineuses occupent une place de choix car ces protéines sont abondantes, durables, relativement peu coûteuses, relativement peu allergisantes et largement acceptées par les consommateurs. Les principales classes de protéines de légumineuses sont les globulines (protéines globulaires et compactes, de masses moléculaires élevées, solubles dans l'eau salée et représentant 60 à 70%), les albumines (protéines solubles dans l'eau pure et représentant 10 à 15 %), et deux classes de protéines insolubles dans l'eau,



Lentilles, haricots, pois, fèves, soja, lupin..., des légumineuses riches en protéines cultivées à travers le monde (© P. Albaret, INRAE)

les gluténines et les prolamines (environ 10%). Dans deux revues récentes, des chercheurs de Transform, INRAE, passent en revue les avancées des recherches sur les protéines végétales, notamment les légumineuses, en termes de procédés émergents pour leur transformation, leurs propriétés fonctionnelles et nutritionnelles et leur digestibilité. Des exemples sont donnés sur l'utilisation des protéines végétales comme alternatives aux protéines animales (viande, produits laitiers, produits de la mer).

L'application de technologies alternatives non thermiques, telles que l'utilisation de hautes pressions et d'ultrasons, aux protéines de légumineuses permet de modifier leur structure et ainsi d'améliorer considérablement leurs fonctionnalités et leurs propriétés d'encapsulation de molécules bioactives. Les nouveaux aliments conçus avec des composés bioactifs encapsulés avec des protéines de légumineuses possèdent de bonnes propriétés sensorielles, des valeurs nutritionnelles accrues, une biodisponibilité et une libération contrôlée de composés bioactifs améliorées, ainsi que d'autres effets favorables à la santé. En attendant de futurs développements sur d'autres légumineuses, les protéines de pois et de soja restent parmi les sources les plus utilisées industriellement en raison de leur disponibilité, de la mise en œuvre de technologies innovantes pour leur extraction et de leur acceptation par les consommateurs.

Plusieurs études soulignent que les protéines d'origine végétale présentent des propriétés techno-fonctionnelles et organoleptiques similaires à celles d'origine animale, et peu d'inconvénients sur le plan nutritionnel. Les études relatives à la digestion gastro-intestinale in vitro des deux types de protéines ont révélé des différences notables de digestion et d'absorption des produits d'hydrolyse, différences attribuées à des compositions et structures différentes et à la présence de facteurs antinutritionnels, fibres et polysaccharides.

Monitoring the state of proteins in a gel during digestion

Collaboration entre les laboratoires LLB et BIA.

We have studied the evolutions of rheological properties and nanostructures using small angle neutron scattering (SANS) of canola seed protein gels, containing cruciferin and napin, obtained by heating protein solutions prepared at pH 8 and pH 11. We focused on the gastric and the intestinal digestion of samples with dimensions of about ten millimeters, aiming at mimicking conditions of the human gastro-intestinal tract.

After preparation at pH 11 (above the IEP, isoelectric point, of the two proteins), the -rather strong- gels, remained locally folded and showed compact conformations, resembling the ones of the native proteins. After preparation at pH 8 (below the IEP of napin but above the one of cruciferin), the gels were softer, with SANS showing almost unfolded local structures. pH 8 could induce some destabilization of the conformations due to differences in the charges of the two proteins.

Under both gastric and intestinal digestion, differences are maintained. In gastric digestion, while a slight continuous decrease of the moduli was observed for the pH 8 gels, an unexpected increase in elasticity occurred for the pH 11 gels. It can be due to a competition between (i) unfolding, which increases the local interactions (and thus the modulus), and (ii) enzymatic scission of the protein bonds and crosslinks, which lowers the gel elasticity.

Des études approfondies sur les procédés innovants de transformation et sur la digestion gastro-intestinale in vitro sur matrices réelles combinée à des essais cliniques sont à poursuivre pour améliorer le profil nutritionnel et les attributs de qualité des produits à base de protéines végétales mimant les aliments conventionnels d'origine animale. Des travaux, cofinancés par le programme BIENVENÛE (région Bretagne-Union Européenne) sont en cours pour fonctionnaliser les protéines végétales afin d'améliorer leurs propriétés d'encapsulation de bioactifs.

Application of high-pressure and ultrasound technologies for legume proteins as wall material in microencapsulation: New insights and advances

K. Sridhar, S. Bouhallab, T. Croguennec, D. Renard, V. Lechevalier-Datin

Trends in Food Science & Technology, vol.127, 49-62, 2022
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.07.006>

Recent trends in design of healthier plant-based alternatives: Nutritional profile and gastrointestinal digestion

K. Sridhar, S. Bouhallab, T. Croguennec, D. Renard, V. Lechevalier

Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1-16, 2022
<https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2081666>

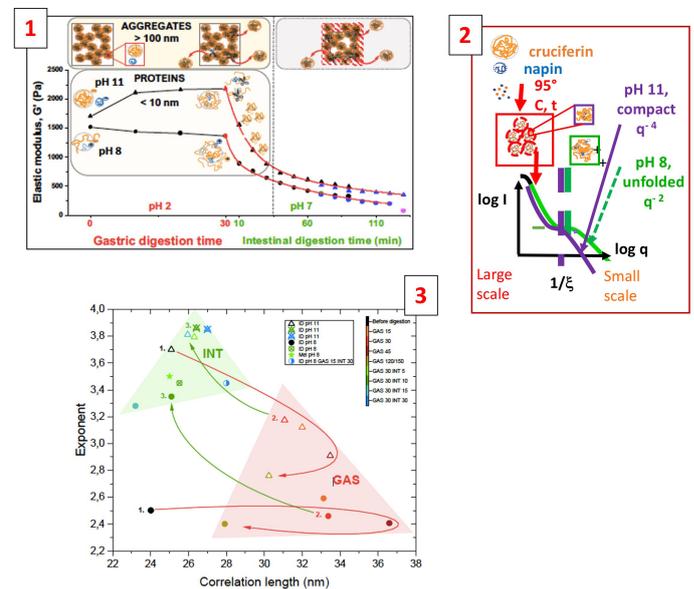


Fig.1: The evolutions under gastric digestion of the G' and G'' moduli at $\omega = 1 \text{ s}^{-1}$ show surprising differences for gels synthesized at two pHs (above or below the pI).

Fig.2: The conformations after heating before digestion remain folded for pH11 while they are strongly unfolded at pH8.

Fig.3: From the large q range variation of the exponent and of the correlation length ξ , we can monitor the state of unfolding / refolding and then scission, in GASTric then INTestinal phase. From the low q range variation, we try to infer the contribution of some aggregates

In the intestinal digestion step, rheological differences of the two gels tended to attenuate: moduli of both gels decrease progressively, indicating loss of connectivity at larger size. Strikingly, proteins of both gels experience a re-compaction, which may have consequences on the bio-availability. For longer times than studied with SANS, rheology suggests that intestinal digestion proceeds via some erosion of the gel.

These results have been confirmed with very nice accuracy and systematicity by recent SAXS measurements during the SLAMM-BAG on SWING by z-scanning of a

kinetic gradient of digestion along capillaries created by digestive juices poured on top, at successive times t . We can follow in great detail the back-and-forth evolution of the conformation (manuscrit to be submitted), over a (z,t) master curve.

Monitoring food structure in plant protein gels during digestion: rheometry and Small Angle Neutron Scattering studies
M. Napieraj, A. Brûlet, E. Lutton, U. Randrianarisoa, A. Boire, F. Boué

Food Structure, vol.32, 100270, 2022

<https://doi.org/10.1016/j.foostr.2022.100270>

Événements récents



Novembre 2022

Journées plénières

La réunion plénière d'automne s'est tenue du 7 au 10 novembre 2022 à Roscoff, réunissant plus de 60 participants. Les présentations ont été organisées en particulier autour des thématiques suivantes : transport, interfaces, rhéologie, mouillage. Le programme était constitué de 9 posters et 39 contributions orales dont une conférence invitée d'Alex Routh (University of Cambridge). En complément de cette conférence invitée une table ronde a été organisée sur le séchage. Une session dédiée au BAG (Block Allocation Group au Synchrotron Soleil) a également été organisée autour des résultats obtenus par différents groupes lors des campagnes d'expériences à Soleil. Les présentations ont été suivies de nombreux échanges soulignant le succès de ces nouvelles rencontres plénières. Le programme des journées est disponible au [lien suivant](#). Les deux dernières photos ont été prises lors d'un atelier improvisé visant à créer des 'antibulles', gouttes de liquide entourées d'un fin film de gaz.

Forts du succès de la table ronde et de la session associée au BAG, nous programmons pour le 1er trimestre 2023, en cas de renouvellement de SLAMM, un atelier dédié à la diffusion de rayonnement et une journée thématique sur le séchage. A suivre...