



Normale
Physics Review

INIPR

École normale
supérieure

— *Fights Bohr-dom* —

Édito N_{21} : delocalised electrons

Which parameters limit your own mean free path? It is a serious question that we should think about one day as a student. If we naturally start our journey in the research world by looking at our surroundings, for example the assistant lecturer giving us the tutorial on quantum mech, we unfortunately tend to restrict our explorations to our nearest neighbors. Don't worry, it is a natural bias! It is even more true when our scientific environment is rich and diverse, as one can experience in Paris. Then, the Parisian ring road becomes a potential barrier and it requires huge efforts to visit labs in Saclay, despite there only being 30 km between the two places...

With this attitude, we might lose something. We don't take the opportunity to discover a larger part of the French research landscape, to experience new environments and to be connected to a wider network. And these things are paramount for a would-be researcher! More seriously, we can become unfairly judgemental with the research that takes place outside. The density is definitively smaller than the one of Quartier Latin but labs in France also produce beautiful and competitive research. Moreover, some places have developed unique expertise on some topics, recognized throughout France. For example, one can think about Marseille and Bordeaux for neurosciences, Grenoble for biophysics and geophysics, Lyon for non-linear physics, Toulouse for hydrodynamics and fluids mechanics...

In this regard, I think it crucial to shed light on the work and the people from labs outside Paris as often as possible. We already try to do it in this newsletter as we have presented the CNES in Toulouse, the INMED in Marseille and... in few words the Laboratoire Ondes et Matière d'Aquitaine (LOMA) last year. There was only little information on this one. During my internship I was so surprised by the lab that I would like to share again a part of its activities in the Normale Physics Review. At the beginning, the idea was only to write one or two articles inserted in an edition. The enthusiasm shared by everyone during the project leads in the end to a huge document that finally made a self-consistent edition, the one we present to you today!

We wish you a good reading!

— *Ludovic Brivady*

SOMMAIRE

Presentation of the lab	2	EMetBrown team	17
		Interview of Thomas SALEZ	17
Turbulence and Instabilities group	3	Interview of Vincent BERTIN	20
Interview of Hamid KELLAY	3	Interview of Maxime LAVAUD	22
Interview of Benjamin GORIN	6	Interview of Caroline KOPECZ MULLER	23
Interview of Thomas BAROIS	8	Sir, I have a question	25
Juliette's L3 internship	10	New problems	25
Optoflow group	11	Mystery photo	25
Presentation of the group	11	Solution of N_{17}	25
Interview of Ulysse DELABRE	11	Photo of N_{21}	25
Interview of Antoine AUBRET	13	Acknowledgements	25
Ludovic's M2 internship	15		

PRESENTATION OF THE LAB

The *Laboratoire Ondes et Matière d'Aquitaine* (LOMA) is a component of CNRS (UMR 5798) and University of Bordeaux. It was created in 2011 after the restructuration of a former lab, the *Centre de Physique moléculaire optique et hertzienne*. The lab has a central position for fundamental physics in Bordeaux and hosts multidisciplinary research. Currently composed by around fifty permanent members (CNRS and Associate professors), it benefits from the support of a community of twenty research engineers and technicians, technical platforms and common services. The research is structured along three axis* covering different topics :

- *Soft Matter and Biophysics* (twelve people) : Instabilities and Turbulence, Nano-Physics of Fluids at Interfaces, Optoflow, Biophysics and Nano-systems, Mecanogenetics of Cells and Tissues ;
- *Photonics and Material* (seventeen people) : Nano-Optics, Photonics and Ultrafast Spectroscopy, Plasmonics, Singular Optics and Liquid Crystals ;
- *Condensed Matter Theory Group* (fourteen people) : Soft Matter, Stochastic Processes, Active Matter and Colloidal Transport, Theory of Quantum Transport, Topological Matter and Superconductivity, Nano Electro/opto Mechanical Systems, Fluctuations of Liquids at Interfaces, Correlated Fermions and Magnetism.

A very large spectrum of physics is covered in the lab, from terahertz imaging to bio-sensors or nanophysics. The different activities can overlap one another and are mainly linked by a common denominator that is the local expertise on interactions between waves and matter.

In this edition, we would like to present three teams of the lab. The team *Instabilities and Turbulence* which is at the interface between soft matter and fluid mechanics. The team *Optoflow* that manipulates matter, interfaces and flows with light and investigates the resulting couplings. And the team *EmetBrown* where theory and experiment are brought together to study the properties of amorphous condensed matter in confinement or at interfaces. We choose to present the groups and their activities through interviews of permanent and PhD students. In our opinion it might be the best way to transmit the human and scientific atmosphere existing in the teams ! We apologize for the large fraction of interviews that are in French, we choose the most convenient option but try to write the descriptions and the introductions in English as much as possible. Nevertheless, we hope that it will arouse some curiosity and if so, we encourage you to have a look on the website of the lab and the teams and to contact them : <https://www.loma.cnrs.fr/>.



Figure 1 – One of the buildings of the lab (from LOMA website)

* For those who are not familiar with labs, this description might appear a bit too hierarchical. You should keep in mind that the main activity of researchers is interacting with other people of the lab. This makes such subdivisions superficial in daily lab life.

TURBULENCE AND INSTABILITIES GROUP

Interview of Hamid KELLAY

Hamid KELLAY is chairing the Turbulence and Instabilities team. He is an experimentalist and his research topics are broad and lead by curiosity. Today, he tells us about some of the beautiful experiments conducted in the team.

NPR : Bonjour Hamid, est-ce que tu peux nous présenter ton parcours et tes thèmes de recherche ?

Hamid Kellay : J'ai un parcours classique de Bachelor dans une université américaine. Puis, je suis venu à l'ENS pour faire le DEA de Physique théorique, avant de préparer une thèse en matière molle – à l'époque physico-chimie des liquides – soutenue en 1993. La physique expérimentale me plaisait plus car plus ludique. Et je me suis très vite intéressé aux fluides et en particulier à la turbulence 2D. A l'époque, Yves Couder en était un des pionniers et était dans le même labo où j'ai fait ma thèse. C'était une source d'inspiration pour beaucoup d'entre nous, je pense que c'est pour ça que je m'y suis intéressé.

Après les liquides, je me suis intéressé à la physique des milieux granulaires, où la grande question est de savoir s'il y a des régimes où l'on peut décrire ces milieux comme des fluides. Beaucoup d'équipes travaillent dessus. De notre côté, nous avons regardé le comportement d'un écoulement granulaire autour d'un cylindre et nous avons découvert la présence d'onde de chocs dans l'écoulement qui peuvent être rapprochés d'un comportement supersonique.

Aujourd'hui dans le groupe on s'intéresse aux milieux dits actifs, avec des particules macroscopiques. A cette échelle, les collisions sont plutôt élastiques, et pour des particules plongées dans un liquide, les nombres de Reynolds sont très grands.

Avec Benjamin (voir ci-dessous), il y a encore des expériences sur les fluides en cours, mais cette fois-ci, on regarde plutôt l'étalement de gouttes en présence d'une transition de phase liquide/solide. Sur d'autres expériences, nous avons regardé l'étalement d'un fluide complexe. L'étalement ne se passe parfois pas comme prévu et peut présenter des inhomogénéités ou des instabilités.

Enfin, il y a encore des manips sur les granulaires. Cette fois-ci, on fabrique des avalanches de granulaires sur un plan incliné, pour mesurer la distance d'arrêt. Selon la théorie de Coulomb, elle doit être contrôlée par le coefficient de friction, qui est une constante. Mais nous avons montré que ça n'était pas suffisant. Il faut tenir compte du nombre de grains, mais aussi de leur taille car ces paramètres modifient la friction.

NPR : Derrière nous, il y a le montage où tu as fait les expériences sur les films de savon. Il est imposant (c'est un cadre de 2 mètres de haut). Est-ce que tu peux nous parler de son fonctionnement et des manips faites dessus ?

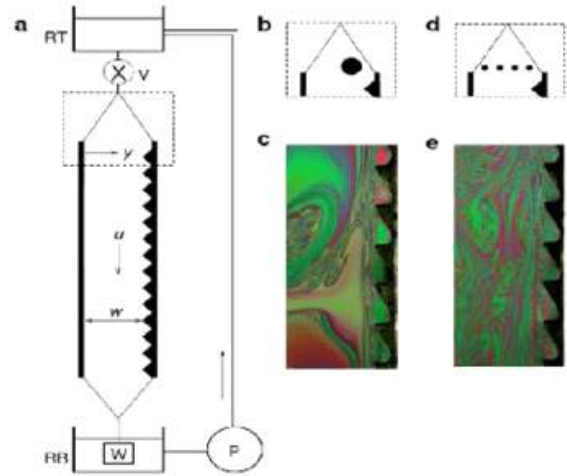


Figure 2 – a) Diagram of the setup used to study flow in soap film. The solution is injected from an upper reservoir and collected at a bottom one. Gravity drives the flow that reaches a mean velocity between 0.5 and 3 m/s. b, d) Rods generate turbulence. The rods size scales the energy cascade observed. c) Turbulence generated for a flow with a 5/3 exponent. d) Turbulence generated for a flow with a 3 exponent. Adapted from Kellay et al., "Testing a missing spectral link in turbulence," *Phys. Rev. Lett.* 109, 254502 (2012).

H.K. : En général, lorsque l'on fait des expériences sur des films de savons, on tire un cadre qui a été immergé dans du liquide. Mais au cours de l'expérience, le film draine, s'amincit et finit par éclater. On a donc un temps réduit pour faire la manip et de manière plus critique, l'état du film est modifié au cours du temps. L'idée ici c'est d'alimenter le fluide par le haut du cadre pour qu'il puisse garder son épaisseur constante au cours du temps. Le fluide coule vers le bas à 2 ou 3 m/s et avec une pompe, on réinjecte le liquide en haut (figure 2). Comme le cadre est assez large, on atteint des régimes turbulents où le nombre de Reynolds est de 100 000, ce qui nous a permis de mesurer des spectres de turbulence très propres et caractéristiques de la turbulence 2D, c'est-à-dire une cascade inverse pour l'énergie (l'énergie est transférée des petites vers les grandes échelles) avec un exposant de $-5/3$ et une cascade directe pour l'enstrophie d'exposant -3 . Avec notre montage, nous avons pu vérifier ces prévisions.

Nous avons aussi regardé les pertes de charge dans l'écoule-

ment. Si on note f la perte de charge normalisée par l'énergie cinétique volumique : $f = \Delta P / \rho v^2$, on s'attend à ce que à bas nombre de Reynolds, elle évolue selon $f \sim \text{Re}^{-1}$. Et pour des très hauts Reynolds, nous sommes supposés atteindre le régime de Blasius où l'exposant devient $-1/4$. Cette prévision a été testée avec notre montage pour un exposant de $-5/3$. Pour un exposant de -3 on s'attend à un exposant $1/2$, ce que nous avons mis en évidence au labo.

Ce qui est crucial ici, c'est que le spectre est une propriété microscopique du système, alors de le coefficient des pertes de charges est lui macroscopique. En montrant qu'il est effectivement sensible au spectre de la turbulence, nous avons montré qu'il serait peut-être possible de comprendre des lois macroscopiques en faisant plus attention aux propriétés de la turbulence. Ça pourrait avoir des répercussions sur la construction d'abaques par exemple.

NPR : Expérimentalement, comment peut-on choisir la cascade d'énergie que l'on regardera dans notre système ?

H.K. : Ça dépend de l'échelle à laquelle l'énergie est injectée ! Pour la cascade directe d'énstrophie, il faut injecter à des grandes échelles, et inversement pour la cascade inverse d'énergie. Dans notre cas, l'excitation de l'écoulement se fait par des cylindres. C'est leur taille qui va définir les échelles auxquelles sont injectées l'énergie. Plus elle est petite, plus nous nous dirigerons vers la cascade inverse, d'exposant $-5/3$.

NPR : Et pourquoi avoir choisit d'être à Bordeaux ? Tes travaux sur la turbulence par exemple ont l'air assez éloignés des spécialités « locales ».

H.K. : C'est un peu bizarre comme question. Pour Bordeaux, je cherchais du travail dans un endroit où on me laisserait libre pour mes recherches. À l'époque ils cherchaient des gens qui avaient fait des micro-émulsions et c'était mon cas. Puis j'ai été très libre dans le choix de mes sujets et j'ai pu diversifier ma recherche, en allant sur des granulaires, puis des films de savon. Après, pour l'aspect scientifique, il ne faut pas oublier qu'il y avait ici au CRPP* Alain ARNEODO qui a travaillé sur des instabilités mais aussi les ondelettes et l'analyse multi-fractale ! Pour nos travaux, on a aussi emprunté des techniques optiques qui émanaient directement des travaux d'opticiens du labo. Par exemple, la mesure des fluctuations d'épaisseur dans les films de savons se base sur une discussion avec Eric FREYSZ.

Et nous avons aussi fait des expériences avec des molécules uniques pour mesurer le glissement aux parois dans des écoulements. La maîtrise de ces molécules était à l'époque une spécificité bordelaise.

* Centre de Recherche Paul Pascal

NPR : Tu n'as pas fait que des films de savon plans, mais tu as aussi regardé les écoulements dans des bulles de savon...

H.K. : Oui, nous avons étudié les structures tourbillonnaires qui apparaissent dans des bulles en rotation. Ici, c'est de la turbulence induite par la convection thermique que l'on regarde. Les exposants sont différents mais nous avons pu retrouver expérimentalement les statistiques prédites. En fait, il y a peut-être des analogies profondes qui peuvent être faites à partir de ces manips avec les tourbillons que l'on observe dans les atmosphères des planètes.

NPR : Et pour les expériences sur les robots cafards, comment est venue l'idée ?

H.K. : Beaucoup de gens faisaient déjà de la matière active. Le champ était dominé par les simulations, avec tout de même des expériences à Lyon avec Lydéric BOCQUET et Cécile COTTIN-BIZONNE, à Paris avec Olivier DAUCHOT ou plus tard avec Denis BARTOLO. On peut essayer de comprendre les mouvements de foules ou de populations de poissons avec le formalisme de la matière active, mais ce n'est pas avec des expériences sur les colloïdes ou les particules Janus que l'on y arrivera car les nombres de Reynolds et les échelles ne sont pas du tout les mêmes !

Un jour j'ai vu une pub à la télé sur les robots fish, un jouet pour les enfants (figure 3). C'est une petite figurine en forme de poisson, avec des nageoires vibrantes. Ce qui est bien c'est que le poisson a un régime de propulsion aléatoire. On a joué avec ça et vu des comportements curieux que l'on n'a toujours pas complètement compris. Les interactions hydrodynamiques entre particules à haut Reynolds sont effroyablement complexes... On travaille en collaboration avec des mathématiciens de l'INRIA. Ils ont réussi à modéliser les interactions avec deux, trois poissons. Nous, nous aimerions des simulations avec dix poissons, mais c'est dur.



Figure 3 – Different types of self-propelled robots studied in the team. Left : artificial cockroach. Right : artificial fishes. (from LOMA website)

J'en ai parlé à Jean-Christophe BARET sur le ton de la rigolade. Il était à l'époque à Goettingen et avait acheté pour un projet pleins de robots en forme de cafards (1000! - figure 3).

J'étais persuadé que l'on pouvait faire de la physique avec. Je les ai donc ramenés au labo, sans aucune idée de ce que l'on pouvait faire avec. On a fait travailler des stagiaires de L3, M1 dessus et on a vu des choses bizarres, que l'on a compris peu à peu. Notamment quel est le rôle des parois dans la dynamique du groupe de robots...

Par exemple, on a observé que pour une densité critique de particules, il se forme des agrégats sur les parois de la boîte où sont confinés nos robots. Il n'y a pas besoin d'énormément de robots pour voir de l'organisation, dans ce cas vingt-et-un robots suffisent. On a pu aussi construire des petites « cellules », avec des robots emprisonnés par une membrane flexible. Ces cellules peuvent passer à travers des obstacles, mais aussi jouer au billard. Ce qui est rigolo, c'est que même si les particules à l'intérieur se désorganisent (par exemple, lorsque un robot tombe sur le côté), comme l'ensemble est dynamique, l'auto-organisation reprend le dessus. Nous avons aussi essayé de contrôler les robots avec la lumière, en changeant par exemple leur mouvement avec l'éclairage : en fonction de l'éclairage, les robots avancent en ligne droite ou tournent sur eux-mêmes. On pouvait alors avec la lumière changer l'organisation de nos particules.

Aujourd'hui, on continue de travailler avec ces robots pour faire de la physique statistique. Ils vont suffisamment vite pour que les collisions soient quasi-élastiques, comme un gaz. Nous jouons avec les notions de la physique statistique pour voir si l'on peut décrire nos particules comme un gaz, de jouets!

NPR : Merci Hamid!

Liens et références : About turbulence in soap films :

- Vidéothèque CNRS, Cyclones en bulles : <https://images.cnrs.fr/video/4175>
- Meuel, T., Xiong, Y., Fischer, P. et al. Intensity of vortices : from soap bubbles to hurricanes. *Sci Rep* 3, 3455 (2013). <https://doi.org/10.1038/srep03455>
- Kellay et al., "Testing a missing spectral link in turbulence," *Phys. Rev. Lett.* 109, 254502 (2012).

About robots :

- Antoine Deblais, Thomas Barois, T. Guérin, Pierre-Henri H Delville, Rémi Vaudaine, et al.. Boundaries Control Collective Dynamics of Inertial Self-Propelled Robots. *Physical Review Letters*, American Physical Society, 2018, 120 (18), pp.188002 (1-5). [ff10.1103/PhysRevLett.120.188002ff](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.120.188002). [ffhal01792275f](https://arxiv.org/abs/1709.02275)
- Jean-François Boudet, Juho S. Lintuvuori, Claire Lacouture, T. Barois, Antoine Deblais, et al.. From collections of independent, mindless robots to flexible, mobile, and directional superstructures. *Science Robotics*, American Association for the Advancement of Science (AAAS), 2021, 6 (56), pp.eabd0272. [ff10.1126/scirobotics.abd0272ff](https://doi.org/10.1126/scirobotics.abd0272). [ffhal-03298591f](https://arxiv.org/abs/2103.03298)

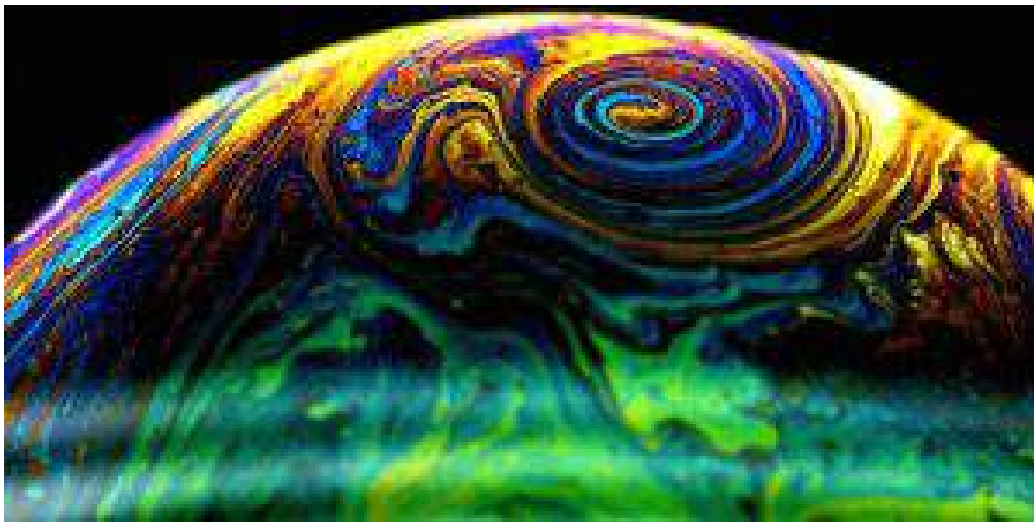


Figure 4 – Image of the full bubble with a vortex being formed (from LOMA website)

Interview of Benjamin GORIN

Benjamin GORIN is a PhD student in the Turbulence and Instabilities team. Coming from the French Basque country, he started his bachelor at the Université d'Anglet. In this interview, Benjamin gives us some insights about his work on impacting drops on cold surfaces.

NPR : Benjamin, pour commencer peux-tu te présenter en quelques mots s'il-te-plaît ?

Benjamin Gorin : Je suis en thèse, au début de ma troisième année, avec Hamid KELLAY et Daniel BONN, qui est, lui, basé à Amsterdam. Avant ma thèse, je suis passé par l'Université d'Anglet pour mes deux premières années de Licence. C'est une fac très familiale et je n'étais pas trop dépaysé par rapport au lycée pour la taille des effectifs. Nous étions une quarantaine par promo. Puis j'ai voulu voir une structure de taille plus grosse en allant à l'Université Paul Sabatier de Toulouse et ensuite l'Université de Bordeaux pour mon master.

NPR : Comment as-tu trouvé ton sujet de thèse ?

B.G. : D'une manière assez peu conventionnelle à vrai dire ! Mon premier passage au laboratoire était à l'occasion d'un stage avec Yann LOUYER sur la lévitation optique. En parallèle, une amie du master faisait, elle, son stage avec Hamid sur les robots cafards et s'est vue proposer mon sujet de thèse actuel sur l'étude de l'impact de gouttes sur des surfaces froides. Comme il ne correspondait pas tout à fait à ses goûts, elle m'a suggéré de me positionner dessus. C'est comme ça que je me suis retrouvé à toquer à la porte de la salle de manip pour discuter avec Hamid.

Pour donner le contexte, il s'agit d'une thèse en co-tutelle avec Daniel BONN à Amsterdam. En fait Daniel et Hamid se connaissent et travaillent ensemble depuis très longtemps. Daniel a eu des fonds et a proposé à Hamid de financer une thèse. Il en a simplement parlé aux étudiants autour de lui ensuite.

NPR : À propos de la co-tutelle, peux-tu nous exposer comment ça s'organise dans ton cas ?

B.G. : Je pense que ça dépend beaucoup de comment est organisée la co-tutelle et des exigences des deux parties. Certaines co-tutelles exigent de passer un temps minimal dans les deux laboratoires. Dans mon cas, c'est beaucoup plus flexible. Et le Covid a joué pas mal en ce sens aussi ! Mes excursions aux Pays-Bas se font plus sur des « coups de tête », en fonction de l'avancement et des questions qui peuvent émerger. Il y a aussi des réunions de groupe tous les vendredis matin avec l'équipe d'Amsterdam auxquelles je peux participer en

visio depuis le Covid. Je ne passe certes pas la moitié de mon temps là-bas, mais il y a beaucoup de communication avec l'équipe néerlandaise.

D'ailleurs, quand je vais à Amsterdam je ne suis pas trop dépaysé car il y a un gros contingent de jeunes chercheurs et d'étudiants français, dont Antoine DEBLAIS, un ancien thésard de Hamid qui est *Assistant Professor* là-bas, ou Julie JAGIELKA, une ancienne stagiaire de Hamid qui y fait sa thèse. Et bientôt, Kaili XIE, un ancien post-doc de l'équipe, qui y part pour trois ans. Il y a beaucoup de liens entre les deux groupes, et plus généralement avec les facs françaises, principalement grâce au travail de Daniel et maintenant d'Antoine.

NPR : Tu as commencé ta thèse pendant le Covid, ça n'a pas été trop compliqué pour s'imprégner du sujet ?

B.G. : Pour être précis, j'ai commencé deux semaines avant le confinement ! Mon sujet de thèse est essentiellement expérimental, je n'ai pas pu faire grand-chose pendant cette période effectivement. J'avais quelques vidéos de manips préliminaires que j'ai pu m'essayer à analyser. Mais je trouve que ce sujet demande de mettre les mains dedans pour pouvoir comprendre les enjeux et travailler correctement. C'était assez dur de lire de la bibliographie en étant déconnecté des manips.

NPR : Venons-en finalement au sujet de ta thèse, tu étudies l'impact des gouttes sur des surfaces froides. En quoi ça consiste ?

B.G. : Ce sujet fait suite à une interrogation qu'a eu Daniel en assistant à la soutenance de thèse de Virgile THIÉVENAZ. Virgile a travaillé sur l'impact et la solidification de gouttes d'eau. Il a regardé comment une goutte se déforme au contact de la surface et les motifs formés une fois la goutte gelée. Daniel a été happé par le sujet et a voulu le tester. Si c'est un phénomène relativement courant, l'impact d'une goutte sur une surface est quelque chose de très compliqué à expliquer. Analytiquement par exemple, il n'y pas de jeu d'équations qui s'écrit simplement pour ça. Et il couvre en réalité plusieurs questions : comment décrire l'étalement de la goutte au cours du temps après l'impact ? Quel est l'impact de la température sur cette dynamique ?

Pourtant, il est crucial dans de nombreux domaines, par exemple pour l'impression, la peinture de surface, la diffusion de sprays... Et donc avec des applications en agriculture ou en aéronautique notamment.

Deux aspects ont néanmoins été bien explorés : la déposition, c'est à dire l'impact à des vitesses quasi-nulles, et les impacts à hautes vitesses, pour lesquels la goutte explose au contact de la surface. Nous, nous nous intéressons plutôt au régime intermédiaire, à des impacts à faibles vitesses,

plus précisément entre 0 et 1 m/s (là où les résultats de Virgile commencent). C'est une voie peu explorée, la difficulté étant que l'on ne peut négliger ni les effets visqueux, ni les effets intertiels et ni les effets capillaires. La mouillabilité de la surface joue aussi un rôle, plus l'influence de la température de la surface de contact...

Si on prend une goutte déposée sur une surface, elle va s'étaler jusqu'à atteindre un diamètre maximum D_{max} qui dépend des propriétés de mouillage de ta surface. Sur une surface froide, il va se développer un front de solidification. Et si ta surface est suffisamment froide, la goutte n'atteindra pas son diamètre maximum, mais une autre valeur D_{end} (cf figure 5).

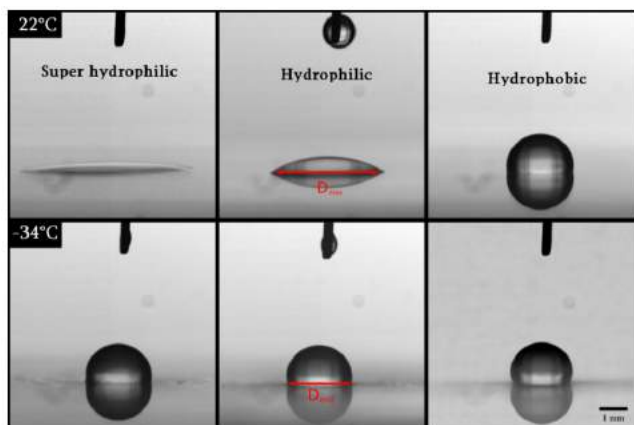


Figure 5 – Snapshots of droplet impacts ($V_0 = 0.25$ m/s) on different glass surfaces at 22°C and -34°C taken 0.2 s after impact. D_{max} is the maximum spreading diameter for isothermal case while D_{end} is the one after impact on a cold surface.

Nous concernant, nous avons regardé l'évolution du diamètre atteint en fonction de la vitesse d'impact et pour différentes températures de surfaces, toutes inférieures à la température de fusion du liquide (par exemple pour l'eau, des températures entre 0°C et -40°C). Nous avons alors montré que nous pouvions décrire plus simplement l'impact, en considérant une superposition d'un étalement et d'un front froid qui monte jusqu'à atteindre une épaisseur critique. À cette épaisseur critique, l'étalement s'arrête. Le modèle de Stefan nous permet de modéliser l'évolution du front de solidification et en regard le temps d'arrêt de la goutte, nous pouvons en déduire l'épaisseur critique. Mais il subsiste une grosse difficulté. Comment mesurer cette épaisseur expérimentale? C'est extrêmement dur! Pour donner une idée, on cherche à mesurer une couche de quelques microns qui se forme en quelques millisecondes, le tout pendant l'étalement d'une goutte. Nous avons essayé plusieurs pistes, notamment en utilisant des moteurs moléculaires (qui produisent de la

fluorescence lorsqu'ils ne tournent pas : on peut les utiliser par exemple pour mesurer les variations de viscosité d'un liquide, plus le liquide est visqueux, plus la fluorescence est importante). Mais ici, les images obtenues étaient trop floues et la fluorescence pas assez conséquente pour pouvoir mesurer quelque chose.

NPR : Quel est le montage que tu utilises pour tes expériences?

B.G. : Le montage typique est très simple : une pipette pour lâcher des gouttes sur une plaque en verre et une caméra rapide qui filme l'impact et l'étalement de la goutte de profil. Puis j'ai rajouté par dessus différentes extensions. En premier lieu, un système pour refroidir la surface d'impact. Puis nous avons eu besoin de contrôler l'humidité, car à -40°C du givre se forme! J'ai donc ajouté une boîte dont je peux assécher l'air emprisonné dedans.

NPR : Et peux-tu nous dire un mot sur l'ambiance dans l'équipe?

B.G. : C'est assez cool, je découvre un peu aussi car c'est ma première année complète au labo. On est une petite équipe, ce qui me permet d'avoir un bureau dans la salle de manip. D'ailleurs je suis le seul thésard de Hamid aujourd'hui. Ce n'est pas la même échelle à Amsterdam où les équipes sont beaucoup plus grosses.

Après l'ambiance est très tranquille, on va surfer avec les permanents à l'occasion!

NPR : Pourquoi avoir choisi d'aller à Bordeaux?

B.G. : Pour le surf! C'est une passion et j'ai besoin de pouvoir aller à la mer de temps en temps. Et puis comme les facs de Bordeaux et Toulouse sont à peu près de la même taille, ça ne m'a pas embêté pour trouver une thèse.

NPR : Tu envisages la suite?

Pas trop aujourd'hui. Thomas SALEZ nous avait indiqué qu'il était important de s'inscrire sur des listes de diffusions, ce qui permet de recevoir beaucoup d'offres de thèses et de post-doc. C'est ce que j'ai fait. Mais c'est encore un peu tôt pour moi pour me positionner sur les candidatures, d'ici six mois le timing sera meilleur!

NPR : Merci Benjamin!

Interview of Thomas BAROIS

Thomas BAROIS is CNRS researcher in the Turbulence and Instabilities team. In the spirit of the group, he is guided by his curiosity and the aesthetics of experiments in the choice of its subjects.

NPR : Bonjour Thomas, pour commencer, peux-tu te présenter et nous parler ton parcours ?

Thomas Barois : J'ai fait ma thèse à l'Institut Lumière Matière à Lyon sur les micros et nanotechnologies. Plus précisément on a étudié la vibration de micro/nano-résonateurs (MEMS/NEMS). C'est assez différent des manips que je fais aujourd'hui qui sont plutôt des manips de coin de table. Là je travaillais avec une instrumentation plus spécifique, comme des microscopes électroniques. Pour donner un exemple des sujets que j'ai regardés pendant ma thèse, nous nous sommes intéressés aux régimes d'oscillation spontanée de nanofils : sous certaines conditions, un nanofil auquel est appliqué un courant continu peut se mettre à osciller spontanément. C'était un montage un peu lourd, car sous vide et avec le besoin de contrôler finement le champ électrique environnant.

Mon travail de thèse peut être vu avec un peu de gymnastique comme l'instabilité du tuyau d'arrosage : Si tu prends un tuyau flexible, pour un débit suffisant, il peut se mettre à osciller violemment. C'est une analogie un peu capillotractée, mais c'est comme ça que j'ai connu des gens de la communauté de



Figure 6 – Thomas BAROIS

l'interaction fluide-structures. Ce qui m'a amené pour mon premier post-doc au LadHyx pour travailler sur les interactions entre les plantes et le vent. La question que nous nous sommes posés avec Emmanuel DE LANGRE était de savoir s'il existe une structure déformable pour laquelle la force de traînée ne dépend pas de la vitesse du vent. Le lien avec les plantes ? Sous l'effet du vent, les arbres se déforment, donc la traînée est également modifiée. C'est comme ça que j'ai remis un pied dans l'hydrodynamique et l'élasticité. Peut-être que je peux rajouter que je travaillais certes au département de mécanique mais l'approche qui y est développée est très physique, avec beaucoup de raisonnements en loi d'échelle par exemple.

Puis je suis parti à Grenoble pour un deuxième post-doc sur les écoulements turbulents. Ce projet a donné lieu à une des expériences que j'ai faite à Bordeaux : faire léviter une balle de ping-pong avec un sèche cheveux. En fait, c'est exactement le genre de sujet qui m'intéresse aujourd'hui et plus généralement dans l'équipe car il s'agit d'un système macroscopique qui permet de recréer des phénoménologies qui pourraient exister à des petites échelles. Dans le cas précédent, on peut

rapprocher le système macroscopique aux pinces optiques ou acoustiques.

NPR : Les travaux que tu as mené embrassent un spectre très large. Tu as pu t'intéresser à l'élasticité de lames fines et dans le même temps regarder des systèmes macroscopiques de particules actives. Comment as-tu choisi ces thèmes ?

T.B. : En fait j'ai bifurqué à chaque fois que j'ai changé d'endroit. Et j'ai presque changé de communauté *in fine*. On n'y pense pas trop quand on commence la recherche mais cette idée de communauté est hyper importante, notamment si l'on regarde la manière d'aborder un problème. Par exemple, les travaux que j'ai menés sur les feuilles minces peuvent être vus de deux façons qui vont parler à deux communautés différentes. Si l'on voit le système comme un feuille élastique, alors on s'adressera plutôt aux personnes qui travaillent sur des problèmes de mécanique, comme ceux avec qui j'ai collaboré sur les plantes pour mon premier post-doc. Si l'on voit le système comme un feuille mince, Alors que le problème peut aussi intéresser beaucoup de personnes de l'hydrodynamique qui vont le rapprocher d'écoulements de nappes d'eau par exemple.

Pour le choix des thématiques ça s'est fait un peu au fil de l'eau, en fonction de mes envies du moment et de ma curiosité. Dans le cas des oscillations spontanées, tu fais varier un paramètre et il se passe quelque chose. J'ai trouvé que le sujet attirait l'œil. C'est plutôt fun et ça excitait pas mal ma curiosité ! Aussi, j'ai parfois choisi de travailler sur certains sujets pour explorer quelque chose de nouveau, tout en sachant que je n'aurais pas toujours fait ça. Par exemple la thèse qui a été l'occasion de faire des expériences contrôlées sous vide. C'est peut-être le message que je voudrais faire passer : la thèse, un post-doc c'est aussi l'opportunité de tester de nouvelles choses. Ce qui est une liberté assez sympa avec du recul.

Finalement, si je regarde en arrière j'y vois une approche plutôt commune, où il s'agit de chercher quels sont les paramètres importants pour modéliser la physique du phénomène. Même si l'on n'apporte peut-être pas beaucoup à la communauté spécifique, qui par exemple est capable de simuler très précisément le comportement de leur système, on fait en avancer la compréhension en essayant de dégager le squelette de la physique qu'il y a derrière.

NPR : Est-ce que tu peux nous parler d'un de tes travaux récents ?

T.B. : Je me suis intéressé il y a quelques temps à la forme que prend une feuille de papier lorsqu'on la courbe. C'est un sujet que j'ai commencé à regarder au moment où je suis parti travailler sur les questions de couplage entre le vent et les plantes. Cette fois ci il est question de rigidité induite par la

flexion de l'objet qui est un mécanisme non linéaire amenant à des questions de géométrie et d'énergie de surface. Puis je l'ai repris récemment au moment du Covid avec un stagiaire qui devait faire des expériences au laboratoire. Ce n'était évidemment pas possible et on a dû improviser pour qu'il puisse travailler de chez lui ! Il a donc fait des expériences avec des transparents de vidéo projecteur que je lui ai envoyés.

Pour regarder la forme prise par une feuille sous sa courbure, on a donc réalisé une expérience très simple que vous pouvez faire vous même : Vous prenez une feuille A4, percée en deux points au milieu des bords longs et vous y passez un fil. En le nouant, la feuille va se courber pour satisfaire le contact. Pour une feuille A4, la feuille est courbée de manière lisse comme le montre la figure 7 à gauche. Pour une feuille de même longueur mais plus étroite, des plis apparaissent (figure 7 - à droite).

Ce que l'on a montré, c'est que l'apparition des pliures dépend seulement du rapport d'aspect de la feuille : dans un diagramme de phase (longueur/épaisseur ; largeur/épaisseur), les plis apparaissent pour une longueur suffisamment grande (ou une largeur suffisamment faible). De manière intéressante, le mécanisme de l'instabilité est le même que celui qui apparaît dans l'écrasement des canettes métalliques. Dans ce cas, on peut mesurer une force seuil pour laquelle les canettes s'écrasent.

Pour détailler un peu ce qui se passe dans nos feuilles en contact ponctuel, la courbure transversale induit des efforts d'étirement et de compression longitudinale. En effet pour minimiser l'énergie élastique, il est préférable pour la feuille d'autoriser un peu d'étirement/compression dans le plan. C'est précisément dans les régions de plus forte compression que les plis apparaissent avec un seuil qui est le même que celui observé dans la compression et l'écrasement des cylindres.

NPR : Et l'encadrement de stage à distance tu en retiens quoi ?

T.B. : C'était assez sympa ! À vrai dire, j'étais presque plus rigoureux dans l'encadrement, notamment avec un suivi écrit de tout ce qui était fait. Ça nous a permis d'être efficace dans la communication.

NPR : Tu continues toujours cette activité sur les feuilles minces ?

T.B. : Oui toujours. Il y a également un volet numérique et on cherche à confirmer avec des simulations l'instabilité de froissement que l'on a observée. Le principe des simulations est assez simple, il s'agit d'un réseau de ressorts répliqué périodiquement. Ce n'est bien sûr pas isotrope mais on doit pouvoir retrouver les lois d'échelles. C'est suffisant pour nous et c'est ce qui justifie d'utiliser ce modèle plus simple, mais bien contrôlé.

Je regarde aussi des problèmes reliés, notamment autour de la rigidité induite par la courbure et l'intervention du poids. Tu peux courber une feuille pour la rendre plus rigide et la maintenir droite. Mais si l'on ajoute une force – ou le poids de la feuille – est-ce que l'on peut continuer à observer ceci ? On fait en ce moment des expériences avec rubans courbés sur lesquels on ajoute des poids. Et également des simulations qui se révèlent être contre-intuitives. Nous avons par exemple observé que, dans certaines configurations d'encastrement, ce ne sont pas nécessairement les feuilles les plus larges qui sont les plus rigides.

NPR : Merci Thomas !

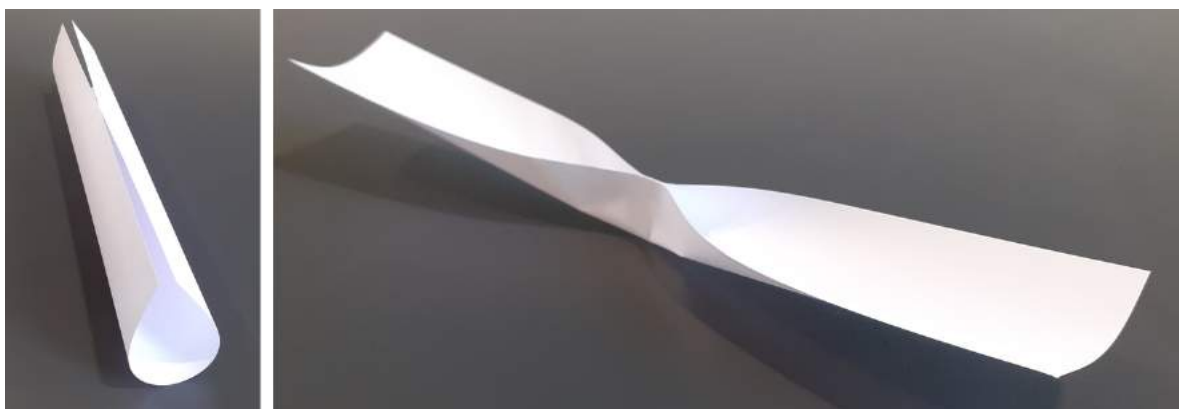


Figure 7 – Left : sheet of dimensions 29.7 cm × 15 cm with point contact at the middle of long edges. Right : sheet of dimensions 29.7 cm × 5 cm.

Juliette's L3 internship

Agrégats dansants de robots-cafards

J'ai effectué mon stage au LOMA au sein de la thématique *Turbulences et instabilités* de l'équipe *Matière molle et biophysique*. Mon sujet tournait autour du domaine de la matière active - en gros, je me suis amusée avec des robots-cafards pendant un mois.

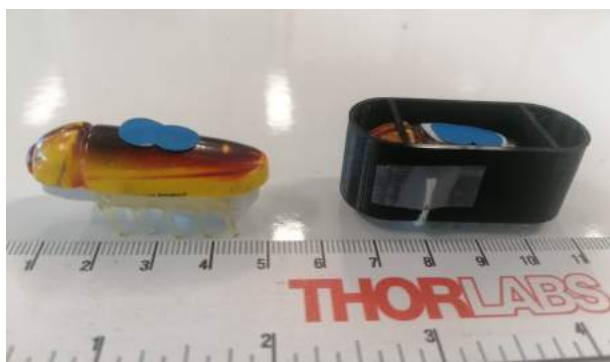


Figure 8 – Deux robots cafard se pavanant habillés de leurs pastilles bleues permettant de repérer leur position et direction, et d'une robe pour éviter une chute sur le côté

Pour le contexte rapide, lorsqu'ils ne sont pas trop nombreux, ces petits robots macroscopiques (2 cm de longueur environ) peuvent se comporter comme un gaz à l'équilibre... ce qui est loin d'être trivial puisque par définition la matière active est toujours hors équilibre! Mon stage consistait globalement à trouver des déviations par rapport à ce modèle, notamment en mettant plus de cafards dans l'arène pour qu'ils forment des agrégats. Au cours du stage, on s'est rendu compte que certains agrégats "dansaient", en se synchronisant avec les oscillations du pendule de torsion qui constituait les parois de l'arène. Configuration inattendue donc, qui m'a bien occupée (et bien amusée).

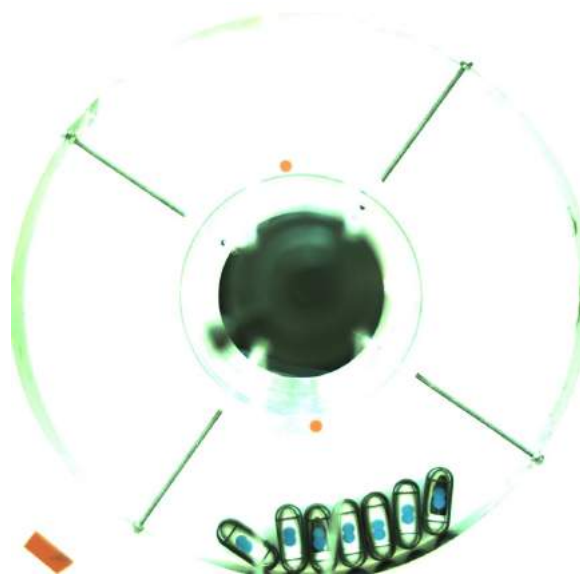


Figure 9 – Agrégat de cafards contre les parois de l'arène

Un des gros avantages de ce stage (et de la matière molle en général, en tout cas une bonne partie) était que mon expérience était très simple dans le principe, ce qui me laissait une grande autonomie dans mon travail : si je voulais faire des films de cafards en plus pour vérifier quelque chose, ou changer un paramètre, je pouvais le faire quand je le voulais, sans besoin d'autorisation ou quoique ce soit. Pas besoin de mille précautions pour éviter de cramer les yeux de quelqu'un avec un laser par exemple! Et dans ce domaine, il suffit d'un dispositif relativement simple pour voir de la belle physique, même si pendant mon stage c'était encore un peu exploratoire.

Une autre partie très sympathique de ce stage a été la vie de laboratoire, entre les encadrants qui réservent un accueil chaleureux aux stagiaires et les nombreuses activités proposées. Notamment, on avait droit à un petit-déjeuner organisé par le secrétaire du LOMA tous les lundis matins, et les stagiaires encore présents début juillet ont même pu participer à la journée annuelle du LOMA. Cela a permis de faire plus ample connaissance avec les chercheurs, grâce à diverses activités ludiques (et d'un verre de cognac en guise de goûter). Bref, un stage à la fois intéressant et amusant!

– Juliette Savoye

OPTOFLOW GROUP

Presentation of the group

The *Optoflow* group is a part of the *Soft Matter and Biophysics* team. It is currently composed by Antoine AUBRET, Hamza CHRAIBI (on standby now) and Jean-Pierre DELVILLE. The central theme is the study of the mechanical effects and the energy deposition induced by laser waves in fluids, and their applications. This wave-liquid coupling enables us to explore the opto-hydrodynamics in surface or bulk, microfluidics and opto-rheology. And thus, to have a very broad reflection about the interactions between waves and matter when the constraint or the deposited energy is huge, instead of the applied force.

We can also optically deform (so, without mechanical contact) interfaces, droplets or columns (figure 10). Moreover, radiation pressure is a tool for the study of out-of-equilibrium liquids structures.

Another theme is out-of-equilibrium thermodynamics and in particular how resonant effects of light can be used to optically control evaporation of suspensions or solid-liquid phase transitions (laser photo-deposition). This opens the way to the development of nanomaterials for photocatalysis or the

synthesis of heteronanodimeres (nano-Janus particles), that are crucial for the new activities of the group about active matter at nanoscales.

– Jean-Pierre Delville

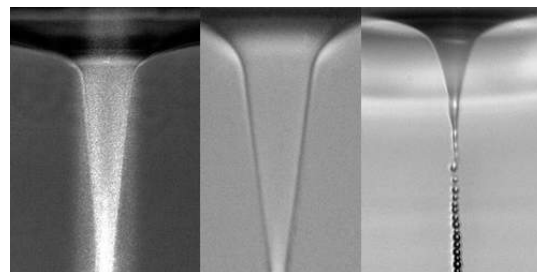


Figure 10 – Conical interface deformations induced by a laser between two immiscible liquids. The cone-shaped structure can emit a jet of fluid from its tip (snapshot on the right). Adapted from Conical Interfaces between Two Immiscible Fluids Induced by an Optical Laser Beam, A. Giro, J. Petit, R. Saiseau, T. Guérin, H. Chraïbi, U. Delabre, and J. P. Delville, *Phys. Rev. Lett.* 122, 174501 - (2019)

Interview of Ulysse DELABRE

Ulysse DELABRE is an assistant professor at the LOMA and at Université de Bordeaux, and member of the Optoflow group. He is working on the the developpement of optical strategies to manipulate soft and biological matter using light. He is also deeply implicated in teaching and is involved in the Smartphonics project.

NPR : Bonjour Ulysse, pour commencer, peux-tu te présenter et nous parler du parcours qui t’as mené au LOMA ?

Ulysse Delabre : Avant mes études supérieures, je ne connaissais pas le monde de la recherche. Je suis passé par l’ESPCI et c’est vraiment là où j’ai pris goût pour la recherche puisque dès le début on est placé dans les laboratoires en immersion. J’y ai découvert le métier de chercheur avec les petits projets en laboratoire que l’on a tout au long du cursus ! En sortant de classes préparatoires, j’avais l’impression de redécouvrir les sciences. Puis j’ai fait ma thèse à l’ENS au Laboratoire de Physique Statistique avec Anne-Marie CAZABAT sur les films minces de cristaux liquides. Ensuite, j’ai voulu changer de thématique et découvrir le monde de la biophysique en partant en Angleterre à l’Université de Cambridge dans le Cavendish lab. J’ai travaillé sur les pièges optique et sur comment on pouvait déformer des objets mous, biolo-

giques, avec des forces optiques. C’est ça qui m’a amené à intégrer l’équipe optofluidique du LOMA où on utilise justement des LASERs pour agir sur les fluides grâce à la pression de radiation.

NPR : Quels sont tes travaux de recherche aujourd’hui ?

U.D. : Aujourd’hui, mes travaux de recherche continuent dans cette dynamique-là, autour de l’utilisation des lasers pour agir ou pour sonder les fluides.

Il y a deux volets : d’abord, la partie actuation où le laser est utilisé pour agir sur le fluide, comme c’est le cas lorsque l’on envoie un laser sur une goutte et que ce laser est absorbé ; le laser va alors engendrer des écoulements par effet Marangoni. Un des buts est alors d’utiliser ces écoulements pour contrôler le transport de particules et créer potentiellement de nouveaux matériaux pour positionner de manière bien contrôlée des particules fonctionnalisées.

Le deuxième aspect, c’est d’utiliser le laser pour sonder les propriétés des fluides, c’est-à-dire étudier leur rhéologie.



Figure 11 – Ulysse DELABRE

On parle alors d'« opto-rhéologie ». La pression de radiation optique associée au transfert de quantité de mouvement des photons lors d'un changement de milieu optique est utilisée, soit sur des films plans, soit sur des objets sphériques, comme des vésicules, voire des cellules. On va déformer ces objets avec le laser sans aucun contact et étudier la déformation en fonction des propriétés élastiques de ces objets.

NPR : Tu as une grande dynamique dans les activités d'enseignements. Est-ce que enseigner en étant chercheur c'était quelque chose de naturel pour toi ou tu t'y es dirigé « par hasard » ?

U.D. : J'ai toujours aimé enseigner même si c'est très exigeant. J'ai commencé en thèse en étant moniteur, mais c'est vraiment depuis que je suis maître de conférences à l'Université de Bordeaux que je m'y suis mis entièrement. Je trouve qu'il y a un enjeu majeur à l'Université : être capable d'enseigner de manières différentes, innovantes, des sujets classiques à un public très hétérogène.

Il y a bien sûr pleins de contraintes associées (effectif, hétérogénéité, ...) mais aussi des possibilités énormes : on a une grande liberté pédagogique, l'université est le seul système sur 5 ans intégrant la recherche dès la L1... et ce sont de jolis défis ! En plus d'aider les étudiants les plus fragiles scientifiquement, notre but est de pouvoir amener les meilleurs au plus haut niveau. Il y a souvent beaucoup d'autocensure de la part des meilleurs. Le travail avec des étudiants est très bénéfique pour les deux parties.

Ensemble, on a une bonne dynamique.

NPR : En 2019, tu as publié un livre original, *Smartphonique*^{*}, peux-tu nous expliquer ce dont il s'agit et comment s'est monté ce projet ?

U.D. : On avait commencé à faire un cours en ligne à distance, un MOOC, sur la physique des objets du quotidien en 2016. On cherchait un moyen pour effectuer des expériences à distance. On a alors développé toute une semaine de cours sur l'utilisation du smartphone en tant qu'outil de mesures en sciences. Il y avait aussi d'autres thèmes dans ce MOOC sur le micro-onde, les écrans ou le liquide-vaisselle. Mais on voulait utiliser le smartphone comme objet pour faire des mesures, car c'était déjà à distance ! On a développé une vingtaine de vidéos accessibles à tous. Ce cours en ligne a eu un vrai succès, c'était le début des MOOC. Ça a été diffusé et suivi dans plus de quatre-vingt pays avec plus de six mille apprenants sur la première session.

Il y avait un besoin dans la communauté des enseignants notamment pour avoir une sorte de manuel. Puis, des discussions avec des inspecteurs et d'autres collègues m'ont motivé

pour transférer le savoir des dernières années et faire un point sur l'utilisation du smartphone pour faire des mesures. C'est suite à ça que j'ai décidé d'écrire cet ouvrage.

L'idée, c'est vraiment de se dire que le smartphone contient plus d'une dizaine de capteurs que l'on va pouvoir détourner avec des applications gratuites pour faire des expériences de physique. Ce livre décrit comment utiliser les applications et quels protocoles mettre en place pour, par exemple, mesurer la vitesse du son, ou transformer son smartphone en microscope.

NPR : Est-ce que vous travaillez toujours aujourd'hui sur ce projet, ou des extensions similaires ?

U.D. : Oui ! On est arrivé à un stade où on peut faire pleins de belles expériences avec. Aujourd'hui, j'essaie de me rapprocher de plus en plus des expériences de master, voire des expériences de laboratoire. J'aimerais à terme fusionner ces deux dynamiques : l'utilisation du smartphone pour l'enseignement et l'utilisation pour la recherche. Il y a une grosse lacune au centre que l'on essaie de combler aujourd'hui.

NPR : Penses-tu que le smartphone puisse avoir une vraie place dans l'instrumentation d'un laboratoire, ou est-ce que son utilisation resterait plutôt circonscrite à l'enseignement ?

U.D. : Je pense que oui. On voit de plus en plus de dispositifs qui s'ajoutent au smartphone pour faire des analyses quantitatives, que ce soit en biophysique ou même en spectroscopie. Je sais que le smartphone a déjà une place conséquente en laboratoire pour tester, mais le développement de nouveaux dispositifs et analyses représente un enjeu énorme puisqu'il y a plusieurs domaines et pays où il n'y a pas les outils et le matériel scientifique nécessaire. C'est donc un moyen de développer des laboratoires low-cost. Le smartphone permet aussi de réaliser des mesures *in situ*, à l'extérieur, pour faire de la recherche sur le terrain. C'est un gros enjeu avec un vrai travail dessus.

NPR : Merci Ulysse ! Pour finir, aurais-tu un conseil que tu voudrais partager avec les étudiants qui te liront ?

U.D. : Je dirais qu'à l'heure actuelle on est face à des problèmes sociétaux très interdisciplinaires. Il faut veiller à aller chercher d'autres disciplines dans sa formation, des extensions qui vont au-delà d'un socle disciplinaire fort. Me concernant je suis physicien, mais je fais de la chimie et j'ai besoin d'avoir des connaissances en biologie pour mes travaux en biophysique. On est à l'interface entre plusieurs disciplines. Il faut vraiment s'ouvrir dès le début de sa formation pour être capable de passer d'un domaine à l'autre.

* <https://smartphonique.fr/>

Interview of Antoine AUBRET

CNRS researcher since 2020 (section 5, organisation and dynamics), Antoine AUBRET is one of the four permanent members of the Optoflow group. His experiments aim to explore the properties of active matter at nanoscale.

NPR : Antoine, peux-tu nous dire un mot pour te présenter et parler de tes recherches passées ?

Antoine Aubret : J'ai préparé ma thèse à l'Institut de la Lumière et Matière à Lyon dans l'équipe de Christophe DUJARDIN et sous la direction de Florian KULZER et Anne PILLONNET. On a travaillé sur l'étude des propriétés optiques des boîtes quantiques colloïdales. Les boîtes quantiques sont des nanocristaux semiconducteurs. Du fait d'effets de confinement quantique, elles possèdent des propriétés optiques particulières, notamment la possibilité d'adapter leur longueur d'onde d'émission avec leur taille et composition, ainsi qu'un (généralement) très bon rendement quantique de fluorescence. Nous nous sommes intéressés à comprendre comment leurs propriétés sont influencées par leur environnement diélectrique local, et dans quelle mesure celui-ci doit être pris en compte pour interpréter les mesures de fluorescence obtenues.



Figure 12 – Antoine AUBRET

Après avoir soutenu en 2015, je suis parti à San Diego (UCSD) pour un post-doc sur la matière active. La matière active, d'une manière générale, est l'étude de la dynamique d'objets ou agents capables de convertir de l'énergie en travail. Elle est représentée par tous les organismes vivants, et à toutes les échelles. Il existe aussi beaucoup de systèmes artificiels de matière active, notamment à l'échelle micrométrique. Un exemple typique est donné par les colloïdes autopropulsés, dont les dynamiques individuelles et collectives ont été étudiées assez en détail.

Durant mon séjour à San Diego, nous nous sommes plutôt penchés sur l'étude de leur assemblage en structures spécifiques et organisées, comme des micro-machines (voir figure 13). Le but a été de répondre à un certain nombre de questions comme : quels nouveaux types de structures dynamiques peut-on obtenir ? Peut-on manipuler ces microparticules et structures ? Peut-on comprendre les interactions régissant leur assemblage ? J'ai pu mettre en pratique des compétences en optiques développées pendant ma thèse, notamment en imagerie ou en manipulation avec la lumière.

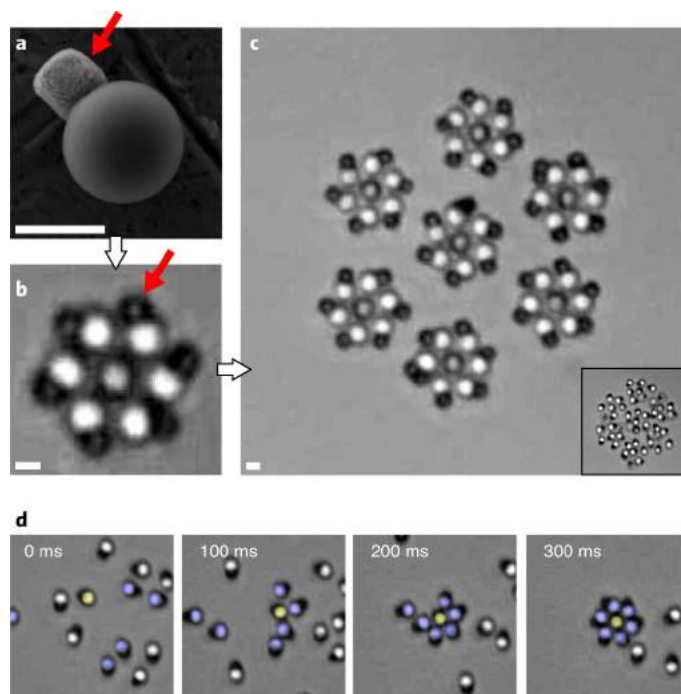


Figure 13 – Hierarchical self-assembly of an active structure. a) Phototactic swimmers with a fore-aft asymmetry assemble themselves to form self-spinning motors. b), c) One can finally observe this kind of superstructure resulting from the sequential formation of rotors. d) Timelapse of the rapid self-assembly of phototactic swimmers into self-spinning microgears triggered by a focused laser beam. Scale bars are 1 μm . Adapted from : Targeted assembly and synchronization of self-spinning microgears, Antoine Aubret, Mena Youssef, Stefano Sacanna & Jérémie Palacci, *Nature Physics* volume 14, pages 1114–1118 (2018) doi : 10.1038/s41567-018-0227-4.

NPR : Pour ton post-doc, tu as cherché en particulier de partir en Californie ou tu t'es laissé guidé par le projet ?

A.A. : Non, c'est une opportunité qui s'est présentée. Jérémie PALACCI venait d'être recruté comme Assistant Professor en matière molle à UCSD et cherchait des gens qui avaient des compétences différentes des siennes pour monter son équipe. Mon expérience en optique lui allait bien et ça s'est fait comme ça. Au début on a passé une première année exploratoire comme le domaine était nouveau pour moi et le labo nouveau pour lui. C'était hyper formateur de voir comment se monte une équipe et un nouveau projet, et de participer à ce montage !

Les cinq années de post-doc ont été une super expérience, tant au niveau de la recherche qu'au niveau de la vie à San Diego. Les deux premières années j'ai choisi de me concentrer à 100 % sur la recherche, ce qui était facile vu que mon visa avait été accordé pour 5 ans et qu'au niveau de l'équipe, il n'y avait aucun soucis pour prolonger mon contrat. J'encou-

rage vraiment à faire des post-docs, à l'étranger si possible. Partir voir de nouveaux fonctionnements est une expérience formatrice. Vous y rencontrez plein de monde, et surtout une énorme diversité de profils et de fonctionnements de la recherche.

NPR : Tu es fraîchement rentré au CNRS (2020), est-ce que tu peux nous parler de ton expérience du processus de recrutement ?

A.A. : On ne va pas se cacher que c'est très dur aujourd'hui d'avoir des postes au CNRS. Il faut savoir être patient et accumuler de l'expérience en amont. Le CNRS cherche des gens autonomes, capables de monter un projet et de mener des recherches seul. Comme je te l'ai dit, mon post-doc a duré cinq ans en tout. Il faut le prendre comme étant encore un apprentissage, où tu vas découvrir et apprendre de nouvelles notions et manip. Ce temps permet de voir ce qui nous intéresse vraiment comme sujet, mais aussi de s'interroger sur les domaines dans lesquels il peut y avoir encore des verrous. Et donc, monter un projet de recherche pour essayer de rentrer au CNRS.

Pour le concours, il faut d'abord avoir un projet solide et nouveau, taillé pour notre profil, puis intégrer le projet dans un laboratoire pour le présenter au CNRS. L'idée c'est de montrer la plus-value que l'on apporterait au domaine, mais aussi pour le labo et réciproquement : quel est l'apport des compétences présentes dans le labo pour le projet.

Pour en avoir discuté avec d'autres qui ont aussi été recrutés il y a peu, le plus dur lorsque l'on commence à chercher un poste, c'est peut-être de concilier vie de famille et vie professionnelle. Surtout avec l'incertitude liée au concours. Lorsque tu partages ta vie avec un conjoint, c'est déjà moins évident de bouger pour enchaîner sur un nouveau post-doc. Et quelques années après la thèse, il peut y avoir des enfants qui vont rentrer dans l'équation !

NPR : Et alors, pourquoi Bordeaux et le LOMA ?

A.A. : J'ai fait une thèse en nano-optique et après mon post-doc dans le monde microscopique, je voulais revenir sur de l'optique et redescendre d'une échelle pour aller vers le nano. Et j'ai beaucoup aimé la matière molle et la matière active lors de mon post-doc. J'ai donc cherché à concilier tout ça. Et en fait, le LOMA est assez unique car il héberge à la fois une forte expertise en optique et en matière molle.

Avant d'être recruté au CNRS, j'ai obtenu une bourse Marie Curie pour laquelle j'avais pris contact avec le groupe de matière molle et Jean-Pierre. L'équipe utilise la lumière pour mettre en mouvement la matière. Et nous étions intéressés pour faire ça avec de la matière active.

Et puis la ville de Bordeaux me plaisait bien, ça me permet de continuer à faire du surf, que j'ai commencé en Californie !

NPR : Peux-tu nous préciser comment tes recherches s'inscrivent dans les thématiques de l'équipe Optoflow ?

A.A. : L'équipe s'intéresse à l'étude de phénomènes hors équilibre, en utilisant la lumière pour mettre en mouvement la matière. Dans l'histoire il y a une forte coïncidence ! Je cherchais à redescendre d'une échelle et faire de la matière active à l'échelle nanométrique, et il se trouve que l'équipe avait développé des nano-Janus qui sont des nano hétérodimères. Ces particules pourraient nous permettre d'explorer la matière active à petites échelles.

Dans le labo, il y a aussi l'équipe de Hamid (voir plus haut) et leurs expériences avec les cafards et les poissons mécaniques. C'est de la matière active à l'échelle mésoscopique cette fois-ci ! D'une manière générale, mon projet s'inscrit donc au labo en apportant une dimension multi-échelle en matière active, avec une forte composante d'opto-actuation.

NPR : Mais il me semble que la matière active c'est un domaine qui a été bien exploré, autant expérimentalement que théoriquement. Peux-tu nous préciser ce qui est singulier dans ton projet ?

A.A. : En effet la matière active à l'échelle micro ça a été beaucoup fait. Ce que l'on espère être nouveau c'est de descendre vers une échelle plus petite, où de nouveaux effets physiques pourraient émerger du fait de la réduction d'échelle. En revanche, en descendant à l'échelle nanométrique, le bruit thermique et la limite de résolution optique rendent tout plus compliqué : ça bouge dans tous les sens et c'est difficile à voir et à suivre, c'est tout le challenge du projet. Les effets de bords et du confinement peuvent être différents aussi, tout comme les mécanismes d'auto-propulsion. L'idée au long terme est de pouvoir construire une approche hiérarchique pour faire des systèmes actifs : on part du nano pour faire du micro plus compliqué que ce qui se fait actuellement, et ainsi de suite !

NPR : Tu peux nous donner un aperçu de ce que tu attends dans tes recherches à court terme ?

A.A. : On va avoir un thésard qui arrive en co-direction avec Jean-Pierre. Avec lui, on veut déjà voir si les nano-particules peuvent être autopropulsées par la lumière. Le carburant est nécessaire à l'échelle microscopique : par exemple, si tu prends des bactéries, il faut qu'elles puissent se nourrir. Ce sont les nutriments présents qui ont le rôle de carburant. Et dès que tu considères des échantillons denses, il y a des effets de dépletions de carburants, avec génération de produits

parfois indésirables (par exemple de l'oxygène). On veut en fait se passer de carburant et essayer d'induire par laser une autopropulsion des particules avec des gradients thermiques, en utilisant ce que l'on appelle la thermophorèse.

Ensuite, eh bien il faudra quantifier la propulsion induite. Puis nous aimerions augmenter la densité. Peut-on observer des effets collectifs ou observer des transitions de phase? Y-a-t-il des effets dus au confinement géométrique?

Avec la lumière, on peut observer et induire des forces optiques. Et sur ce point, on pourra bénéficier de l'équipe. On imagine par exemple utiliser la pression de radiation pour créer un gradient de densité. Le but est d'étudier des échantillons statistiques de nanojanus, en utilisant la lumière pour sonder leur dynamique, mais aussi les activer et contrôler leur dynamique par le biais de forces optiques, qui pourraient contribuer à leur organisation. Et à plus moyen terme, on peut imaginer débloquent des verrous sur des questions qui sont posées à l'échelle microscopique en étant redescendu d'une échelle...

NPR : Pour finir, aurais-tu un mot pour les étudiants qui te liront?

A.A. : Oui! Explorez et essayez de nouveaux domaines. Je dis parfois aux thésards qu'être spécialisé dans un domaine, c'est bien, mais vous serez beaucoup dans le même cas. Il faut donc être très très bon. Si vous arrivez à englober deux domaines différents, votre combinaison est déjà beaucoup plus rare, voir unique. Et l'important c'est d'essayer de nouvelles choses, sinon il ne se passe rien; c'est à mon sens, ça la recherche : sortir de sa zone de confort pour essayer!

NPR : Merci pour cette discussion Antoine!

Ludovic's M2 internship

Optorheology of non-newtonian liquid films

For my M2 intership I was supervised by Thomas SALEZ and Jean-Pierre *Delville*. Two supervisors, since the subject takes place at the interface between their two teams : we aimed to study the rheology of thin films with an optical method. Thus, we needed the experimental set-up developed in the Optoflow group and the theoretical background on thin liquid films from Thomas.

Being able to understand the rheological properties of complex fluids in confinement and at small scales is a modern challenge of soft matter physics and nanophysics. How do these systems flow or deform at scales comparable to the ones of their inner components still leaves a lot of open fundamental and applied questions in out-of-equilibrium conditions, with direct implication for medical science or coating technologies. For example, understanding of the transient rheology during solvent evaporation might answer some questions about the formation of cracks. Even if many types of rheometers exist, most of them induce a mechanical contact, often poorly controlled, that may bring pollution or modify the local structure. To investigate nanoscales, we therefore need a local, fast and contactless approach to probe the rheology of the samples.

Then, during my internship we would like to use a setup developed in the team (Verma G. et al, 2020) to probe the rheology of non-newtonians liquids and develop preliminary theoretical elements to apply this method to nanometric films.

The experiments

To probe the rheology of a liquid, we can study the response of its interface with air to deformation. This is widely done using an AFM. In our case, we propose to use the optical radiation pressure to deform the interface without mechanical contact. The setup (figure 15) consists of a high-power (2-5 W) green pump laser that deforms the interface and of a large probe beam used to monitor by interferometry. Indeed, since the radiation pressure created is very small compared to the Laplace pressure (around 30 mPa for optical pressure), the resulting deformations are of the order of 10 – 100 nm and we need an interferometric method to measure them with sufficient resolution.

This method was successfully tested with newtonian liquids (Verma G. et al, 2020), my work here was to adapt it to non-newtonian mixtures of polyacrylamide and find a relevant model to analyse the rheology. Our main experimental result is that aqueous polyacrylamide mixtures are intrinsically non linear and cannot be described with a linear model.

The theoretical part

In soft matter and nanophysics, relevant flows often have their thickness negligible compared to their longitudinal scale. We call them *lubricated flows*. It is easy to derive a non-linear PDE describing the behavior of the film thickness and to see with it that the interface deformation dynamics would be different from the one of a thick film (a classical drop). During this spring, I implemented non-newtonian rheologies in this

PDE and studied the asymptotic regimes appearing during the levelling of thin film after a perturbation – in the newtonian or non-newtonian case. We think that if we were able to understand theoretically these regimes, we could experimentally extract informations about the rheology of the liquid with the levelling of the film after a deformation triggered by radiation pressure.

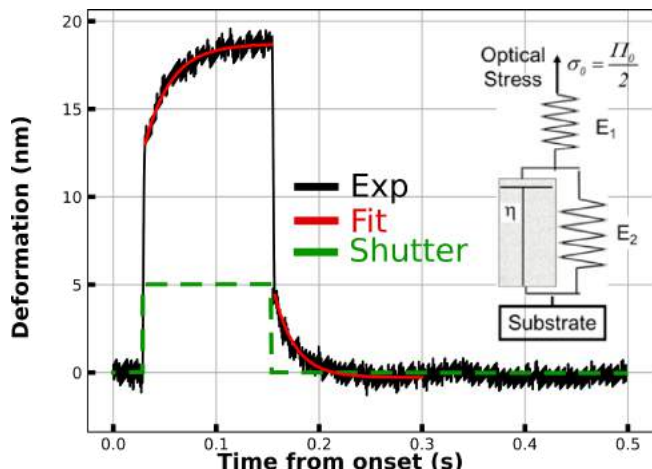


Figure 14 – Example of deformation height versus time, for a PAAM polymeric solution exhibiting a viscoelastic response.

A word about the lab

The LOMA is a great place for research! A lot of topics are under concern here, from biophysics to superconductivity. There is also a dynamic lab life, with weekly seminars on Tuesdays, informal lab meetings on Thursdays, coffee parties... I think that almost everyone feel good in this place and tries to make it as comfortable as possible for the others. It is even more true for the two teams that welcomed me, Optoflow and EmetBrown!

– Ludovic Brivady

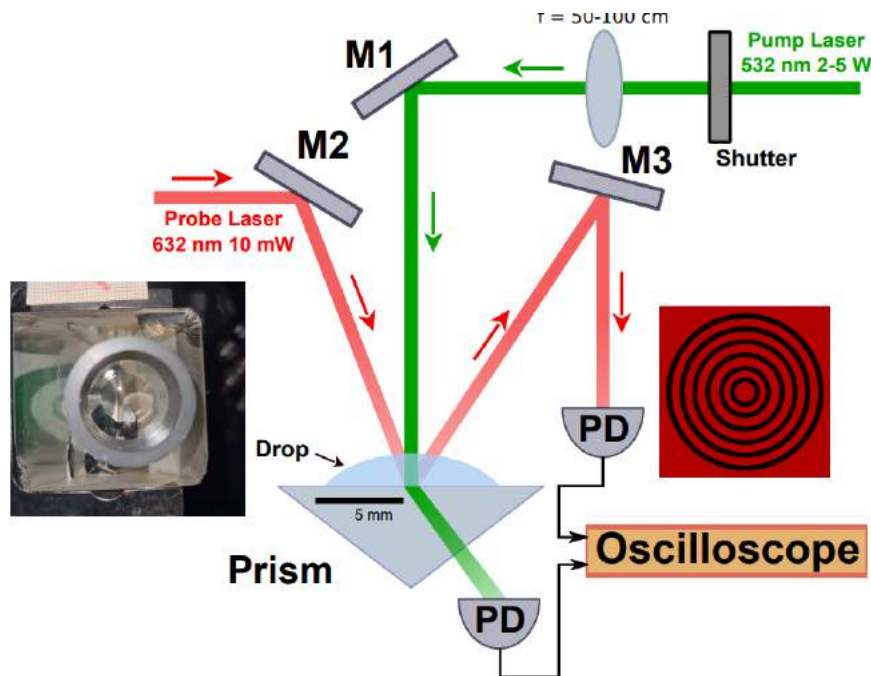
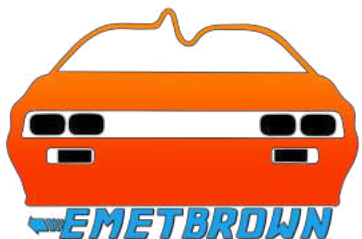


Figure 15 – Diagram of the setup used to deform a droplet with radiation pressure. A sessile drop is deposited on a prism (photo on the left) and deformed with a pump beam (green beam) during a few hundreds of milliseconds. A second beam, the probe beam (in red) is used to monitor the nanometric deformation by measuring the intensity at the center of the interference pattern created (Newton rings, inset scheme).

EMETBROWN TEAM



Interview of Thomas SALEZ

Thomas SALEZ is a former student of ENS Lyon and Paris, and a CNRS researcher at the LOMA. He chairs the EMetBrown project. Though he was initially in love with high-energy theoretical physics – a classical romantic trend among ENS students, preparing the “Agrégation” at Montrouge reminded him the beauty of experimental physics. He is now interested in nanophysics in complex environments, and with his team they revisit brownian motion, that is, an old problem of physics, but in a modern nanoscience fashion : “back to the future!”



Figure 16 – Thomas SALEZ

NPR : Let’s first go back in the past. Tom, can you tell us the path that led you to Bordeaux ?

Thomas Salez : After my PhD at the Laboratoire Kastler Brossel, where I participated in the building of a full cold-atomic experiment from scratch, I decided to do a postdoc on a very different research activity, at ESPCI Paris, in the Gulliver lab. Funding was possible thanks to my lecturer position as a “caïman” in the ENS Paris physics department. Specifically, I worked on theory of soft matter, confined glasses, and polymers at the nanoscale. This is also the lab where I was recruited as a CNRS researcher in 2014.

In 2017, I decided to leave Gulliver, and Paris, to join the “Liliputians”, aka LOMA, at University of Bordeaux, through a CNRS lab transfer. There were several reasons to that. First of all, on the personal level, it became urgent to leave Paris with my young and growing family, in order to reach a more human-sized and peaceful environment – even with space for a house and garden in town! The Aquitaine region is simply gorgeous, the nearby oceanic coast is a pure joy, and it is easy to be connected with sports and nature here.

On the professional side, I was very happy with the atmosphere at ESPCI, the training in material science, and the proximity with industry and innovation therein, but, at

some point, it was important to change and see something different from “La Montagne” I guess. Moreover, it was an opportunity for my scientific project to shift towards a more physics-oriented lab with statistical mechanics and optics as main themes. Luckily, through a discussion at the pub with David DEAN and Abdelhamid MAALI, after a lecture session in Les Houches, they invited me to visit LOMA, which I did as well as other labs on campus. I immediately realized that LOMA, despite not being the most famous lab there, had all the ingredients for a beautiful and promising future : plenty of new and young researchers recruited, a thematic reorientation towards the physics of complex systems, a brand-new building with a lot of space, and, above all, a nice and friendly atmosphere. What else ! ?

NPR : Let’s talk about the EMetBrown project precisely, how did this idea mature ? Isn’t it by falling while trying to hang a clock ?

T.S. : Almost :) After joining CNRS, I spent some time abroad as an invited scholar, through several extended stays at Harvard and Princeton, in the USA, and at Perimeter Institute, in Canada. In particular, in the US, I worked with Lakshminarayanan MAHADEVAN and Howard STONE on soft-lubricated contact mechanics. The motivations behind that were long-lasting puzzles in geology and physiology. For instance, what are the mechanics of landslides in wet poroelastic media ? Or, what is the role of cartilaginous biogels in the amazing frictional properties of mammalian joints ?

After a theoretical paper with Maha, we started to test our ideas experimentally with Baudouin SAINTYVES, and we demonstrated the emergence of counter-intuitive inertial-like effects (e.g. Magnus-like and lift forces, like for airplanes and tennis balls), but at very low Reynolds numbers, as allowed by the presence of elastic boundaries. I started to wonder whether or not these original elasto-hydrodynamic couplings (see explanation below !) could be triggered at smaller scales - and even solely by thermal noise ! I discussed that with several colleagues. Unfortunately, we rapidly faced a wall with my two PhD students and some collaborators. No easy theoretical prediction emerged due to the presence of non-trivial multiplicative noises in the associated Langevin equations, and the various preliminary measurements on colloids didn’t exhibit any effect...

Thus, totally discouraged, I put this question aside between 2015 and 2017, and worked on other projects related to the glass transition in confinement for instance. But the seed was there, and the idea of adding statistical physics to look at soft matter at the nanoscale remained. When I arrived at LOMA

in 2017, I met in particular Yacine AMAROUCHENE and the scientific contact and friendship between us were immediate. He got really pumped by the idea of revealing the existence of a “soft Brownian motion”, and rapidly amplified it with tons of great proposals for potential experimental validations. Together with Abdelhamid and David (see above), with inputs from collaborators on campus and in Paris, and through endless discussions and coffees, we rejuvenated and assembled the so-called EMetBrown project.

Elastohydrodynamic coupling (EHD)

Let’s imagine a colloidal particle, immersed in a fluid, is brought close to a wall. In the region of fluid which is squeezed between the wall and the particle, the pressure is increased and the liquid is forced to escape. Now if the surface of the wall is coated with an elastic material, the higher pressure will also deform the elastic layer and, in return, modify the particle movement. This mechanism is described by an elastohydrodynamic coupling (EHD). In particular it has been shown that the presence of the elastic boundary results in a lift force on the particle, that repels it from the wall and prevents collision (Bertin, JFM 2022). For instance thanks to this phenomenon, our blood cells can flow in our blood vessels without damage (Davies *et al.*, PRL 2018).

To go further : <https://www.refletsdelaphysique.fr/articles/refdp/pdf/2021/02/refdp202169p10.pdf>

References :

- Bertin, V., Amarouchene, Y., Raphaël, E., & Salez, T. (2022). *Soft-lubrication interactions between a rigid sphere and an elastic wall*, Journal of Fluid Mechanics, 933, A23. doi :10.1017/jfm.2021.1063
- Heather S. Davies, Delphine Débarre, Nouha El Amri, Claude Verdier, Ralf P. Richter, and Lionel Bureau (2018). *Elastohydrodynamic Lift at a Soft Wall*, Phys. Rev. Lett. 120, 198001. doi :10.1103/PhysRevLett.120.198001

It is only thanks to this new environment at LOMA that everything could happen I believe. I realized here the importance of collaborations and team work, and how much we are actually thermalized by the scientific and human reservoirs, as individual researchers. Rapidly after, we started with a first PhD student on the experimental side (Maxime, LAVAUD, see below), and a first PHD student on the theoretical side (Vincent, BERTIN, see below). Both were the decisive actors in getting the preliminary results needed for the project, and were then accompanied or followed by a dream team involving : Zaicheng ZHANG, Alexandre VILQUIN, Aditya JHA, Caroline KOPECZ-MULLER, Elodie MILLAN, Arthur

ALEXANDRE, Nicolas FARÈS, Ludovic BRIVADY, Yilin YE and Quentin FERREIRA. In parallel, we fought very hard to secure funding for equipment and salaries. Mounting, testing, estimating, calculating, writing, trying to convince referees and jurys, were the basis for our everyday lives during a few years. Until we eventually succeeded in 2021 and 2022 to obtain three ANR grants and an ERC Consolidator one, in order to properly launch the project.

NPR : And the hell, Tom, why EMetBrown ?

T.S. : “Name of Zeus, Marty!” Don’t you see it?;-) Well, as sad as it might sound, a trend in modern science is for young permanent staff to search for nothing else than... funding! This imply a running gag among all desperate applicants : finding the most ridiculous acronyms ever for their projects. In our case, we aim at revisiting the canonical paradigm of Brownian motion, in novel complex confinement situations that are relevant to nanophysics and biophysics. In other words, a problem of the past, with a modern/futuristic reshaping if you wish. And in the movie “Back to the Future”, Dr. Emmett BROWN is this crazy but iconic scientist who builds a machine, that is bound to fail for physicists (*sigh*), but which nevertheless works in the story. Of course, in the end, we can have fun fitting just about anything into this acronym, e.g. : “Elastic Membranes & BROWNian motion”...

NPR : So is there a *Back to the Future* fan club at LOMA ?

T.S. : Not yet, but we are on it! Thanks to support from LOMA, we have a brand-new experimental room dedicated to the project. It is naturally named the “DeLorean”. Will you be creative enough to find an acronym behind it ?

NPR : It’s something we don’t talk about much, but research is also a collective experience. What is it to build this project on the human side ?

T.S. : It’s a very good question. And we typically only start to think about these things at late stages in our training. Most of us do not come from engineering schools, and certainly not from management programs! We only grow up by dreaming about fundamental discoveries in science. But as soon as you are recruited for a permanent position, the rather widespread and apparently ugly word “management” pops into the game, and the reality behind it becomes an important part of your everyday thinking. We are totally unprepared for that, I must say, and thus learn directly, by documenting ourselves a bit and/or through training courses, but mostly through practice, failure, experience, and thus aging. Pretty much like parents with their kids if I can dare the comparison.

In the end — at least for a multidisciplinary project as ours — while the main scientific idea is essential, the practical, financial and human implementation are also of paramount importance. A question that emerges quite quickly then is : how to create an ideal scientific and human ecosystem to host and feed a given project? No one can predict when a discovery will be made, and on what topic, but we certainly can establish and assemble the conditions and the means that allow for creativity and the collective force to express themselves fully.

The financial means are necessary to gather the equipment and materials, but also to fund people. That is obvious. But, beyond that, managing to recruit the right people, with diverse and complementary skills and backgrounds, while ensuring a horizontal, positive, learning and creative atmosphere in the group is essential. It is certainly not easy at all, and it requires a lot of time for thought, as well as self-questioning and adaptation. And there are inevitably doubts and mistakes made : it is essentially a non-linear learning process. But, these questions are simply at the heart of every human enterprise, in the primary sense of the term. One has to find joy in addressing them I guess.

NPR : And there were failures sometimes ?

T.S. : Of course there were! Ambitious projects are difficult and fragile by definition. Only a very little perturbation on the scientific, human and/or financial aspects can be sufficient to break the whole dynamics and discourage the actors, with the idea ending up dying by itself.

But, failure is also essential. It is just part of any competition and thus life. It basically pushes you to put yourself in improved situations of success. For example, we spend important parts of our professional lives writing articles, grant proposals and job applications. All these are evaluated by experts, and we receive their detailed feedbacks. It can be quite violent sometimes. The ego put aside, we realize that most of these reports are scientifically justified, and we can then constructively move forward and build things in more solid ways. It's a quite general process I think : you need to take strong risks of failure, and compare your ideas with peers, to be able to really advance in a creative way.

NPR : The team now has its own "DeLorean", can you tell us about what is planned with it ?

T.S. : It is the machine of our project : a room that gathers all the experimental devices for studying Brownian motion in complex confinement situations. The seminal Jean Perrin's observations were decisive for the characterization of Brownian motion in the bulk and for the atomic hypothesis. But, nowadays, with the miniaturization trend in science and

technology, laboratory experiments and questionings are often centered on objects and media that can be nanometric (and even below) in size, placed in complex confinement settings, with soft, porous, charged, fluctuating and even living boundaries.

In the EMetBrown team, what motivates us is precisely to study these aspects. Mainly, we hope to reveal that, and quantify how, the random motion of nanoscopic physical or biological entities is strongly influenced by such boundaries, due to hypothetical emerging Brownian elasto-hydrodynamic forces and torques. If existing, these are expected to drastically alter trajectories, and in particular first-passage times to given targets. To reach our goal, we assembled different setups. For instance, one needs high-precision optical methods based on interferometry and stochastic inference schemes to track colloids and deduce the surfaces forces acting on them. But it is also crucial for us to properly characterize the properties of the materials we use. Indeed, our substrates can be highly non-trivial in their time-dependent rheologies. So, in addition to state-of-the-art optical tools and methods, we need for example an AFM and a rheometer to characterize samples.

As one sees, the knowledge acquired in physico-chemistry, applied mechanics, and soft matter was not a useless detour for this fundamental-physics project. Quite the contrary in fact. Soft materials and their numerous artifacts may really constitute one of the main pitfalls preventing progress here. The project is thus interdisciplinary by essence. The theory section is also very rich. It covers a whole arsenal of different approaches, from asymptotic lubrication mechanics, to stochastic theory and numerical methods. Finally, in terms of exploratory avenues, we will look at biological materials, with activity and/or collective effects. More generally, gradually adding complexity to get closer to reality is a guiding principle.

NPR : Thanks Tom! Do you have a last word for the students who read you ?

T.S. : Thanks to you! Ok, let me try. This is probably a very subjective statement, but over the years I have realized the importance of a few elements :

- i) Listen and read a lot, explore various fields or topics, and accumulate knowledge on the research landscape : what are the questions? what remains to be done in such a field, and why ?
- ii) Once an idea, more appealing and resistant than the others, emerges and keeps obsessing you, then dare to mount a project, and believe in it. There is no possible progress without taking risks, and without a grain of craziness at the heart ;

iii) Finally, surround yourself properly, as research is a collective game. It makes it a source of joy. Besides, a lab, a department, or a community are all reservoirs that thermalize our minds and nourish our creativity. Pick and fuel the good ones. Above all, remember that building a team and the sustainable framework that goes along with it might be at least as important as finding the key scientific idea that will guide you for decades.

With all that, let me end up by wishing good luck and a lot of fun to my younger colleagues! Enjoy this period of life with infinite possibilities you are in.

NPR : Back to the future now! We have interviews below from Vincent BERTIN, Maxime LAVAUD, and Caroline KOPECZ-MULLER, some of the former or current students of the EMet-Brown team, who we will talk about their respective paths.

Interview of Vincent BERTIN

Former student of ENS and the physics department, Vincent BERTIN was a PhD student in the EMetBrown team. He started to become interested in climate change during his thesis.

NPR : Bonjour Vincent, peux-tu nous présenter ton parcours, notamment ce qui t'as mené en thèse dans l'équipe ?

Vincent Bertin : Je suis passé par le master ICFP en 2017 et il se trouve que Thomas était chargé de TD pour le cours de matière molle. Lors de la semaine de séminaire de présentation des labos en novembre, il avait organisé une visite du laboratoire Gulliver, qui a fourni les pizzas pour l'occasion. Comme je cherchais un stage, tout ça m'a amené vers Thomas. Il m'a présenté différents sujets théoriques avec une approche qui me plaisait pas mal : des calculs certes, mais avec beaucoup de physique derrière.

Puis, Thomas est parti à Bordeaux durant l'été 2017 et j'ai voulu continuer en thèse avec lui. Il m'a alors proposé d'être basé à Paris et de travailler avec lui à distance. J'ai donc fait une thèse en co-direction avec Thomas et Elie RAPHAËL. A priori, je n'avais pas d'idée précise de sujet. Je suis plutôt allé vers des questions qui me plaisaient sur le moment et des personnes avec qui j'avais envie de travailler.

NPR : Bien que tu sois théoricien, ce n'était pas trop bizarre d'être loin des manips ?

V.B. : Pas tant que ça en fait. Effectivement, c'est pas très facile de collaborer avec quelqu'un si on le voit pas ou peu. Le contact est assez abstrait. L'important je pense c'est que le problème soit bien posé au départ et que la confiance règne. Aujourd'hui, dans mon laboratoire de post-doc, je travaille

avec un autre chercheur qui fait des manips à l'étage en-dessous du mien. Maintenant, je suis un peu plus au courant de l'avancement des expériences, du montage en lui-même.

De manière très générale, que ce soit à distance ou dans le même bâtiment, il faut passer beaucoup de temps à discuter pour comprendre les questions qui arrivent des expériences. Et tu peux tout à fait travailler dans le même bâtiment que tes collaborateurs et discuter très peu avec eux, et *a contrario* te sentir très proche de manips qui sont faites dans un autre pays. Après effectivement ça aide d'être dans la même salle.

NPR : Tu t'es engagé auprès de l'association *La Fresque du climat* durant ta thèse, est-ce tu souhaites orienter tes activités de recherche autour des enjeux du changement climatique ?

V.B. : En effet vers le milieu de ma thèse, en début de deuxième année, j'ai commencé à me poser la question de ce que je voudrais faire quand je serai plus grand (*rires*). J'ai toujours été intéressé par les sciences de la Terre et évidemment par le changement climatique et la transition énergétique. J'ai découvert et rejoint l'association *La Fresque du climat*.

C'est une association qui a pour objectif de sensibiliser la population aux défis posés par le changement climatique. La sensibilisation prend la forme d'un atelier de 2-3h où des problématiques liées au changement climatique sont exposées aux participants, pour ensuite amorcer un dialogue sur des actions qui peuvent être mises en place. Et en fait, animer des fresques du climat a contribué à développer encore plus mon intérêt pour ces questions-là. On a même organisé une fresque du climat en Zoom avec l'équipe!

Aujourd'hui, je continue à travailler sur des thématiques en matière molle relativement proches de celles de ma thèse. Donc finalement assez éloignées de ces préoccupations. Mais si je continue dans le monde académique, c'est à peu près certain que j'irai sur des sujets plus en accords avec mes convictions écologiques, comme en sciences du climat.

NPR : Durant ta thèse, tu as posé les jalons théoriques du projet EMetBrown. Peux-tu nous parler de ce sur quoi tu as travaillé ?



Figure 17 – Vincent BERTIN

V.B. : Pour reprendre l'histoire du début, avant même ma thèse, à la fin 2017, Yacine et Thomas soutiennent pour la première fois le projet EMetBrown à l'appel d'offre ANR. De mon côté, mon dossier CDSN*, que l'on déposait à l'époque en novembre, s'appelait EMetBrown.

C'était un copié/collé du dossier pour l'ANR.

Le projet partait un peu dans tout les sens au début si l'on relit les documents. J'ai eu du mal à connaître la direction dans laquelle j'allais m'intégrer au début. Et finalement, j'ai conduit pas mal de calculs analytiques pour comprendre le mouvement d'une particule près d'une interface molle déformable. Mais attention, il n'y a pas de mouvement brownien dans ce que j'ai fait. La vitesse et le déplacement étaient imposés.

Sur le chemin, Abdelhamid MAALI à Bordeaux faisait aussi des manips par AFM dans des échantillons où il imposait une vitesse horizontale au substrat. Nous avons besoin de faire un modèle exact pour calculer la force de lift qui était déjà prédite depuis une vingtaine d'années, mais uniquement en terme de scaling. Des calculs exacts existaient dans les littératures mais uniquement pour des cylindres de longueur infini, pas très réalistes. Nous avons adapté ces modèles à des sphères afin de comparer à des manips.

L'avantage d'être un théoricien, c'est que j'ai pu faire pas mal de choses différentes. J'ai ainsi aussi pu travailler avec un collaborateur canadien de Thomas sur les problèmes d'écoulement dans des films minces au voisinage d'interfaces déformables. Nous avons regardé les couplages non-triviaux qui peuvent apparaître entre les écoulements dans le film et déformation des interfaces.

NPR : Tu nous as expliqué que ton stage de M2 s'est fait sous la direction de Thomas, est-ce que tu étais déjà décidé à continuer en thèse avec lui ou as-tu mûri ceci au cours de ta quatrième année?

V.B. : J'avais assez rapidement choisi d'être avec Thomas en fait. Ce qui nous a permis de faire un demande de CDSN dès la rentrée ensuite. Sur ma quatrième année, j'ai pu en profiter pour faire plusieurs stages, 3, dans différents laboratoires. Dont un au Canada.

NPR : La fin de ta thèse s'est déroulée pendant la pandémie, comment ton travail a-t-il été impacté?

V.B. : Je dois être un des rares étudiants pour qui le confinement a permis de voir plus son directeur! Avec Thomas, on discutait en visio à peu près toutes les semaines. Après il est vrai que les premiers mois, mars-avril, il y a eu un coup d'arrêt dans le travail. C'est devenu plus facile ensuite et on a trouvé un mode de communication bien huilé, avec notamment des réunions virtuelles sur l'avancement de mon travail toutes les 2-3 semaines.

NPR : Tu as vu "de l'intérieur" la construction du projet EMetBrown. Est-ce que tu as eu l'occasion de mettre la main à la pâte?

V.B. : Pas directement. Peut-être que des discussions que j'ai eu avec des membres de l'équipe ont aidé à faire mûrir certains aspects. Après ce que je trouve chouette dans ce projet, c'est que à peu-près tout peut être inclus dedans. Quand tu y regardes de plus près, ça traduit bien le travail de Thomas qui est assez large finalement. Et une manière de fonctionner que j'aime bien : dès qu'il y a un sujet un peu chaud vu en conférence ou pendant une discussion, on peut mettre sur pause des travaux en cours et foncer dessus. Ça demande une certaine plasticité intellectuelle et une flexibilité vis-à-vis des thématiques, mais je trouve que ça donne une liberté très plaisante aux étudiants. Par exemple, mon sujet de thèse c'est finalement construit au fur et à mesure des rencontres.

Concernant EMetBrown, ce que je trouve chouette dans la manière de fonctionner de Thomas, c'est d'inclure les étudiants dans les discussions. Tu ne rédiges pas les projets certes, mais tu es en contact derrière avec un réseau suffisamment dense pour pouvoir te lancer dans un autre sujet.

NPR : Sur quoi travailles-tu aujourd'hui? Tu as déjà des idées pour plus tard?

V.B. : Aujourd'hui je suis en post-doc à *Twente* dans l'équipe de Jacco SNOEIJER. Encore une fois, j'ai du mal à définir un titre global, mais globalement je suis sur des sujets proches de ceux de ma thèse, des films minces avec des fluctuations thermiques. Je travaille aussi sur la rétractation de films viscoélastiques.

Pour la suite, je pense continuer dans la recherche académique et présenter le CNRS d'ici 2-3 ans.

NPR : Merci Vincent!

* Contrats Doctoraux Spécifiques Normaliens

Interview of Maxime LAVAUD

Maxime LAVAUX is coming from the physics track of Université de Bordeaux and prepared an experimental thesis in the EMMet-Brown team. He is now in post-doc in the team and would like to explore in the future frontiers between fundamental sciences and data science.

NPR : Bonjour Maxime, peux-tu te présenter et nous parler de ton parcours s'il te plaît ?

Maxime Lavaud : Je suis actuellement un post-doc au LOMA au sein du projet EMMetBrown, qui est une continuité de ma thèse effectuée au même endroit. J'ai fait toutes mes études à l'université de Bordeaux, sauf mon M1 où je suis parti en suède faire un Erasmus d'un an à l'Université de Stockholm.

NPR : Comment es-tu arrivé dans cette équipe, sur ce sujet de thèse ?

M.L. : J'ai découvert cette équipe, alors essentiellement composée de Thomas SALEZ et Yacine AMAROUCHENE, lors d'une visite du laboratoire pendant mon M2. L'enthousiasme de Thomas lors des présentations des sujets de stage m'a donné envie d'en savoir plus. Après avoir appris que le projet mêlait beaucoup d'aspects de la recherche (expérimental, analyse de donnée, simulation numérique et théorie) j'ai décidé de faire ce stage et me voilà ici aujourd'hui.

NPR : Durant ta thèse, tu as mis en place un montage central pour étudier le mouvement brownien dans un cas très particulier. Peux-tu nous parler de ce sur quoi tu as travaillé ?

M.L. : L'objectif initial du projet est de prouver l'existence de force élastohydrodynamique (voir encadré plus haut) à l'échelle de particule browniennes. Ces forces émergent de la déformation d'un substrat mou par le fluide déplacé par une particule. Des expériences faites dans l'équipe avaient déjà permis d'observer ces forces pour des expériences déterministes, mais nous n'avions aucun résultat pour un système stochastique. Il existe plusieurs méthodes pour mesurer des forces entre des colloïdes – nos particules stochastiques – et des surfaces, comme le TIRF (microscopie de fluorescence) ou l'AFM (microscope à force atomique). Cependant, ces techniques ne permettent pas d'avoir une résolution assez importante pour pouvoir mesurer les forces qui nous intéressent.

Dans le but de résoudre ce problème, nous avons construit une méthode expérimentale, de la construction de l'expérience à l'analyse des données. Pour suivre les particules, nous utilisons de l'holographie de Mie, qui nous permet d'avoir une résolution nanométrique sur la trajectoire (figure

18). Ensuite, nous inférons les forces à l'équilibre. L'algorithme que nous utilisons va utiliser toutes les observables que l'on peut extraire des trajectoires, pour finalement nous fournir une mesure avec une résolution de l'ordre du femto newton, qui est aussi l'amplitude du bruit thermique associé. Nous avons donc finalement construit une méthode de mesure de force la plus précise possible.

Ces premiers résultats, associés au travail de Vincent BERTIN se sont avérés être cruciaux dans l'obtention de l'ERC !

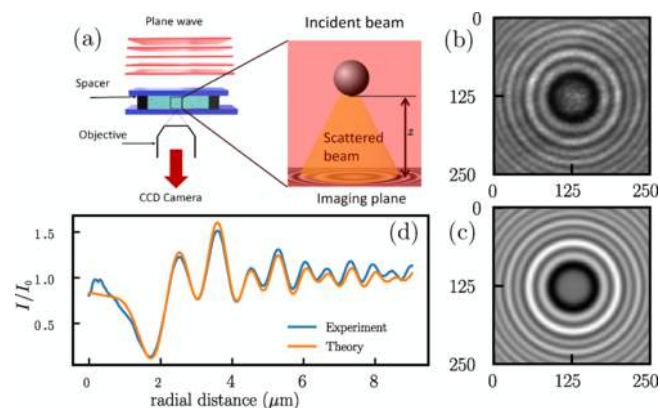


Figure 18 – a) Diagram of the experimental setup. A laser plane wave of intensity I_0 illuminates the chamber containing a dilute suspension of microspheres in water. The light scattered by a particle interferes with the incident beam and the interference pattern is recorded by a camera. b) Typical experimental interference pattern produced by one particle. This pattern will be fit by a Lorenz-Mie interference pattern to infer the distance to the wall. Adapted from Maxime Lavaud, Thomas Salez, Yann Louyer, and Yacine Amarouchene, *Phys. Rev. Research* 3, L032011 – (2021)

NPR : Et l'ambiance au sein de l'équipe, tu en retiens quoi ?

M.L. : Les sorties au bar ? Plus sérieusement, Thomas et Yacine qui dirigent l'équipe ont de nombreux *soft skills* et dirigent l'équipe de manière très humaine tout en nous poussant à sortir le meilleur de nous même.

NPR : Sur quoi travailles-tu aujourd'hui ? À l'avenir quels sont tes projets ?

M.L. : Actuellement, je poursuis l'exploitation du montage expérimental construit lors de ma thèse. J'essaie toujours de mesurer des forces élastohydrodynamiques et coupler ces mesures à une caractérisation des substrats que nous utilisons. Pour la suite, l'analyse des données étant la partie de mon travail qui m'a le plus passionné, je suis actuellement en train de chercher un post-doc pouvant mêler science fondamentale et science des données, avec notamment du machine et deep learning.

NPR : Merci Maxime !

Interview of Caroline KOPECZ MULLER

Former student of the ENS (graduated in 2020), Caroline KOPECZ MULLER is a PhD student in soft matter and polymer physics supervised by Thomas SALEZ (LOMA) and Joshua MCGRAW (Gulliver Lab). Even if she is based in Paris, she come periodically to Bordeaux to discuss live with Thomas and members of the EMetBrown team.

NPR : Hi Caro, can you introduce yourself please ?

Caroline Kopecz Muller : Since I obtained the ENS diploma in 2020, I have been working on my PhD thesis in soft matter and polymer physics, supervised by Thomas SALEZ at the LOMA and by Joshua MCGRAW at Gulliver lab (ESPCI, Paris). I am based in Paris but I come periodically to Bordeaux to discuss live with Thomas and members of the EMetBrown team.



Figure 19 – Caroline KOPECZ MULLER

NPR : How does your thesis fall within the EMetBrown project ?

C.K.M. : I am generally interested in confined viscous flows within super soft and porous materials, and in the mechanics of poro-elastic films, such as hydrated polymer hydrogels, grafted on stiff substrates.

You have been told previously about what EHD is for classical elastic materials (see above explanation). Now, if the coating is not only elastic anymore but also porous, such that the surrounding fluid can penetrate in it and eventually make it swell, the mechanics is again strongly modified. For example, thanks to the fascinating cartilaginous joints in our bodies, which are made of an intermediate layer of polymer between the sinovial liquid and bones, the friction between the rigid bones is strongly reduced (Jahn & Klein, Phys. Tod, 2018). The hypothesis of EHD, being central for generating these properties, is not described so much in litterature.

The latter idea was the starting point of my PhD : to investigate the movement of a particle immersed in a fluid near a poro-elastic boundary. On the experimental side, mainly two techniques have been considered. Atomic Force Microscopy (AFM) can be used to probe the mechanical properties of a poroelastic sample. Now if instead of a classical cone-shaped tip we use colloidal probes (hard spheres, radius $\sim 1 - 100 \mu\text{m}$), in liquid, we can monitor the surface - particle interaction (Ducker *et al*, Lett. to Nat. 1991). Particularly we can

measure the force applied on the particle as a function of the distance to the substrate.

Another, complementary technique that I use is Surface Force Apparatus (SFA) in spherical geometry : the principle is the same as before, except that it gives access to larger scales : a hard sphere (radius $\sim 2.5 \text{ cm}$) is brought close to a poro-elastic substrate in a liquid. An optical method enables to monitor the gap distance and to derive the resulting force (Kristiansen *et al*, Langmuir 2019). On the theoretical side, calculation of the mechanical response of such materials subject to a pressure field is needed to complete the experimental work.

NPR : You started your PhD during the pandemic, could you tell us what was your progression in your work ?

C.K.M. : In the context of the pandemic, I mostly started with the theoretical side. I have also been running numerical simulations to complement calculations. Between lockdowns I could barely start to dive into experiments, while I could finally make a consistent amount of SFA experiments at the end of my first year. During the same period, I had the chance to supervise a brilliant intern (Clémence GAUNAND) who was working on AFM. Among other things, she initially had to assess the quality of hydrogel samples prior to my SFA experiments.

The surface shape of the poro-elastic film matters : in particular, SFA experiments need a flat sample, and calculations are done with the same assumption. Before any SFA experiment, the surface topography of samples is imaged by AFM. Some samples turned out not to be flat and exhibited a surface instability, with a strange morphology (figure 20). Clémence started to investigate this aspect systematically and made plenty of AFM experiments while I was co-supervising her work as a side project of my thesis. Then the side-project became my full-time work as I continued the work she had began.

It happened to be the turning point of my thesis work, as I am still working on that today. We now much better understand the experimental observation of amazing surface patterns on soft and porous gels we made a year ago. The top surface of the sample can be destabilized if the sample is thick enough to swell enough when brought in contact with water (Dervaux & Ben Amar, Annu. Rev. Condens. Matt. Phys. 2012). Multiple morphologies can be observed (Fig. 1), and remind numerous shapes that can be observed everywhere in nature : the brain, intestines, the drying of skin or soils... These can be characterized with respect to the physical properties of the material. Understanding the underlying mechanisms of patterns formation on a model gel could reveal universal mechanisms that are at play in nature. I am currently developing my own model to better understand the

behavior of these poro-elastic gels swelling under geometrical constraints.

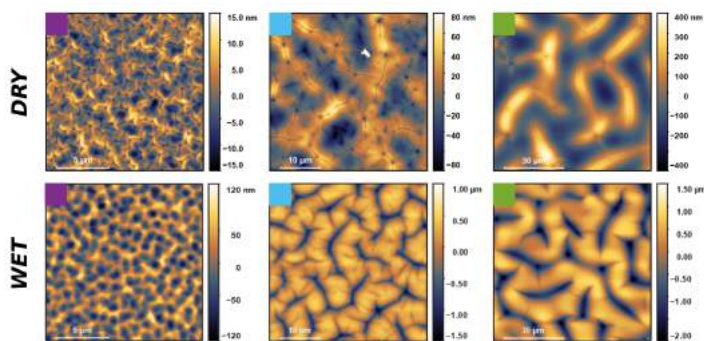


Figure 20 – Surface topography of PNIPAM hydrogel films measured by AFM. First row : dry condition. Second row : in water. First column : dry thickness ~ 60 nm. Second column : dry thickness ~ 1.5 μm . Third column : dry thickness ~ 4 μm . Each column exhibits two images from the same sample. Wet images were done thanks to the EUSMI TA support and the expertise of Dr H. PEISKER on a Nanosurf CoreAFM.

NPR : It seems to be far away from the starting point!

C.K.M. : Compared to the initial plan of my PhD, I totally stepped aside, following my interests for beautiful patterns generated by nature and interesting projects that can emerge when doing research. I am quite satisfied with this choice made by pure scientific interest, but it might also be hard to handle : I often have the feeling that there is still a lot to do compared to what I said I would do and I am not working on it. There is also much more to do on the surface instability project than I will do until the end of my PhD. But it is worth to say that these following their initial plan are really rare : the question is how much do they deviate from it?

Another really important benefit of having followed the way of this new question emerging from nowhere is that I

have been making new collaborations. I personally find that my two supervisors are the best in the world, yet having been closely talking not only with them but also with several other people who have a relevant perspective on the problem, I find that the scientific network that has been emerging is really rewarding.

NPR : If everything goes right, you will defend your thesis in 2023, could you give us a word about this experience?

C.K.M. : The PhD appears as a huge challenge and needs you to be wholly implicated in. Deep motivation and kind working atmosphere are required! Then, if you are curious and have fun with your topics and exploration, it can be incredibly exciting!

NPR : Thanks you Caro!

References :

- Jahn, S., Seror, J., & Klein, J. (2016). *Lubrication of Articular Cartilage*, Annual review of biomedical engineering, 18, 235–258. <https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-081514-123305>
- Ducker, W., Senden, T. & Pashley, R. *Direct measurement of colloidal forces using an atomic force microscope*, Nature 353, 239–241 (1991). <https://doi.org/10.1038/353239a0>
- Kai Kristiansen, Stephen H. Donaldson, Zachariah J. Berkson, Jeffrey Scott, Rongxin Su, Xavier Banquy, Dong Woog Lee, Hilton B. de Aguiar, Joshua D. McGraw, George D. Degen, and Jacob N. Israelachvili, *Langmuir* 2019 35 (48), 15500-15514 doi : 10.1021/acs.langmuir.9b01808
- Julien Dervaux and Martine Ben Amar. *Mechanical Instabilities of Gels* (2012), Annual Review of Condensed Matter Physics 2012 3 :1, 311-332

SIR, I HAVE A QUESTION

New problems

As always, here are ten physics questions to fill up every second of your life with physics!

- I :** How many cannelés bordelais shops is there in Bordeaux ?
- II :** How would you model the evolution of total gain at a national lottery (e.g EuroMillion, ...) across draws ?
- III :** What is the force needed to push the plunger down on a French press ?
- IV :** If you look at the colored patterns appearing on a soap bubble, you should see that there are no red fringes. Why ?
- V :** Does sea level change when a floating iceberg melts ?
- VI :** What is the mechanical power developed by Usain Bolt at the start of his world record 100 meter sprint ? And what is the amount of energy deployed during all the sprint ?
- VII :** You jump into a swimming pool. What is the amount of water that goes outside ?
- VIII :** What is the height of the Jet d'Eau in Geneva ? (The Jet d'Eau is a large fountain on the lake Geneva).
- IX :** What is the daily national consumption of gasoline in France if one considers only road traffic ?
- X :** If France (let's say only mainland France) were covered by solar panels, how much energy would be produced ? Would it be enough to supply the underground ?

MYSTERY PHOTO

Solution of N_{20}

The picture is taken from Oriane's internship at the LOMA, which will be covered in greater detail in the next issue of the NPR. The internship was under Hamid KELLAY's supervision, and indeed the photo shows a setup used to study 2D turbulence.



Figure 21 – Photo of N_{20}

No more than some dishwashing liquid is needed to produce the cylindrical soap bubble that can be seen in the photo. As the bubble is heated up at the bottom, large convection

cells start to appear. Those are then sheared by way of rotating the top and bottom cylinders in opposite directions, and the result is turbulent flow that can then be studied.

As you can read in Hamid KELLAY's interview, two phenomena take place in 2D turbulence : contrary to 3D turbulence, the energy cascade is reversed and a direct enstrophy cascade also appears. The resulting exponents can be observed to be different to the usual KOLMOGOROV 3D ones !

If you are still eager to read more, be sure to check out the entier article in next month's issue !

Photo of N_{21}

Well now, what could this new LOMA-related image be ?



Figure 22 – Mystery photo of N_{21}

ACKNOWLEDGEMENTS

For all the enthusiasm they put in this project, I would like to warmly thank Thomas, Hamid, Benjamin, Thomas, Maxime, Vincent, Caroline, Jean-Pierre, Ulysse and Antoine ! I would like also to thank all the people in the lab who took some time to discuss the newsletter, thanks you for your ideas, tips and encouragements.

We need you! If you would like to contribute, submit questions or provide feedback, please contact us :

— **Paul Balavoine** φ_{21} :
paul.balavoine@ens.pls.eu

- **Juliette Savoye** φ_{21} :
juliette.savoye@ens.pls.eu
- **Victor Lequin** φ_{21} :
victor.lequin@ens.pls.eu
- **Oriane Devigne** φ_{21} :
oriane.devigne@ens.pls.eu
- **Esteban Foucher** φ_{20} :
esteban.foucher@ens.pls.eu
- **Guillaume de Rochefort** φ_{19} :
guillaume.de.rochefort@ens.pls.eu

(The Editorial Board)

<https://www.facebook.com/NormalePhysicsReview>

<https://normalephysicsreview.netlify.app>

If you like the review, please be sure to subscribe to its
mailing list on the website!