

# Enduction et évaporation sur des faisceaux de fibres



## Présentation du sujet

Ce sujet de thèse porte sur l'enduction et l'évaporation d'une suspension diluée sur un faisceau de fibres dans le but de mieux comprendre un procédé industriel utilisé pour modifier les propriétés physico-chimiques de surface de fibres de verre. Le défi industriel est d'assurer un parfait contrôle du dépôt ainsi que sa reproductibilité, ce qui nécessite une parfaite maîtrise des phénomènes physiques et chimiques en jeu dans le procédé. Ici, nous nous concentrons sur les aspects physiques et nous avons identifié deux étapes importantes : l'enduction d'un liquide sur un faisceau de fibres puis son évaporation qui assurera le dépôt de la suspension.

Un premier axe de recherche concerne l'enduction d'un liquide sur un faisceau de fibres. L'enduction d'un liquide sur une fibre unique est désormais bien établie par des travaux historiques de Landau, Levich et Derjaguin au milieu du 20<sup>ème</sup> siècle qui ont permis d'établir les épaisseurs entraînées dans des régimes dominés respectivement par la viscosité et l'inertie, en compétition avec la capillarité [1, 2, 3]. La courbure de la fibre revêt une importance cruciale car elle fixe la courbure de l'interface, et donc les forces capillaires. Cependant le cas d'un ensemble de fibres modifie significativement la géométrie et reste méconnu de la littérature.

Le deuxième axe concerne le rôle de l'évaporation sur le contrôle de l'homogénéité du dépôt lorsque le liquide déposé contient des particules colloïdales. En effet, l'expérience empruntée au quotidien consistant à laisser sécher une goutte de café sur une surface plane démontre que le dépôt est plus important sur le bord de la goutte. Là aussi, la nature du liquide ainsi que la géométrie du système ont une influence notable sur l'évaporation et le transport. Nous avons récemment étudié l'évaporation d'une goutte de colloïdes sur une fibre unique. Les résultats obtenus ont permis de découvrir les effets de la morphologie de la goutte [4] et de la thermique [5] sur la dynamique d'évaporation ainsi que les conséquences sur le transport de particules [6]. Par ailleurs, nous avons mis en évidence, lors d'expériences préliminaires, que lorsqu'une émulsion (dispersion de gouttelettes d'huile dans l'eau) est déposée sur une surface plane, des effets capillaires peuvent provoquer l'agrégation des gouttelettes et éventuellement leur coalescence. Au cours de cette thèse, nous explorerons l'évaporation et le transport de colloïdes (particules et/ou gouttelettes d'huile) sur des substrats plans, et les comparerons au comportement sur une fibre puis un ensemble de fibres. Des dynamiques très différentes sont attendues par la géométrie plane versus cylindrique, mais également par la formation de colonnes de liquide favorisées dans les faisceaux de fibres.

Enfin, dans un troisième axe de recherche nous chercherons à mimer la phase industrielle de maturation après mise sur bobine du matériau, phase au cours de laquelle le matériau finalise son séchage. Pour cela, nous proposons de mesurer la dynamique de séchage en superposant les faisceaux de fibres les unes aux autres en cellule 2D afin de modéliser une portion de bobine. Le séchage par l'une des faces de cette cellule ouvrira la possibilité de l'apparition d'hétérogénéité de séchage et de migration de liquide dans un milieu poreux anisotrope.

Lors de cette thèse, la recherche sera pilotée par le développement d'expériences modèles permettant d'obtenir une approche simplifiée mais représentative du système industriel. Ces expériences utiliseront notamment des techniques d'imagerie, de microscopie de fluorescence, confocale ou électronique, d'analyse d'images et de suivi de particules. L'analyse des résultats se fera avec une phrase de rationalisation des phénomènes observés à l'aide de divers outils tels que des lois d'échelle, des modélisations analytiques, des résolutions numériques ainsi que des modélisations par éléments finis.

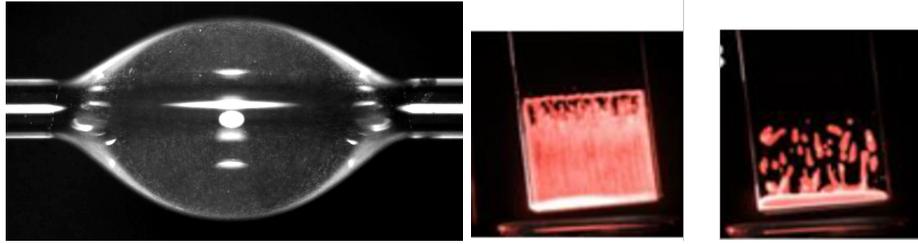


FIGURE 1 – À gauche, goutte contenant des particules fluorescente de  $1\ \mu\text{m}$  sur une fibre en verre de  $250\ \mu\text{m}$  de diamètre. La courbure de la fibre et ses propriétés thermiques influencent l'évaporation de la goutte. Au centre et à droite, déposition et drainage de gouttes d'émulsions sur une plaque de verre : les gouttes s'aggrègent par capillarité.

## Qualités recherchées dans les candidatures

Le ou la candidat-e aura un goût prononcé pour la physique de la matière molle avec des qualités pour l'expérimentation et la modélisation des phénomènes observés. Des connaissances en hydrodynamique et sur les phénomènes de transferts et de transports seront particulièrement appréciées. Par ailleurs, un profil motivé par une carrière dans la recherche industrielle sera privilégié.

## Financement et localisation

Cette thèse est financée par Saint-Gobain sous forme de contrat CIFRE.

La thèse s'effectuera sous la direction de **François Boulogne** et d'**Emmanuelle Rio** au LPS avec un co-encadrement de **Cécile Monteux** au SIMM. À Saint-Gobain Recherche (SGR), l'encadrement sera assuré par **Hanaé Dupont** et **Rémi Deleurence**.

La thèse se déroulera à 75% au Laboratoire de Physique des Solides (LPS), à l'université Paris-Saclay (Orsay) dans l'équipe Matière Molle aux Interfaces <https://equipes.lps.u-psud.fr/mmoi/>, ainsi qu'à 25% au laboratoire SIMM de l'ESPCI (Paris) <https://www.simm.espci.fr>.

La candidature comportera un CV, une lettre de motivation, les relevés de notes de M1 et M2, ainsi qu'au moins deux références.

### Contacts

- François Boulogne (Chargé de recherche CNRS, HDR), [francois.boulogne@cnrs.fr](mailto:francois.boulogne@cnrs.fr)
- Emmanuelle Rio (Professeure, Univ. Paris-Saclay), [emmanuelle.rio@universite-paris-saclay.fr](mailto:emmanuelle.rio@universite-paris-saclay.fr)
- Cécile Monteux (Directrice de recherche CNRS), [cecile.monteux@espci.fr](mailto:cecile.monteux@espci.fr)
- Hanaé Dupont (Ingénieure SGR), [Hanae.Dupont@saint-gobain.com](mailto:Hanae.Dupont@saint-gobain.com)
- Rémi Deleurence (Ingénieur SGR), [Remi.Deleurence@saint-gobain.com](mailto:Remi.Deleurence@saint-gobain.com)

## Références

- [1] L. Landau and B. Levich. Dragging of a liquid by a moving plate. *Acta Physicochim. URSS*, 17 :42–54, 1942.
- [2] B. Derjaguin and L. Landau. *Acta Physicochim URSS*, 14 :633–662, 1941.
- [3] E. Rio and F. Boulogne. Withdrawing a solid of a bath : how much liquid is coated? *Adv. Colloid Interface Sci.*, 247 :100–114, 2017.
- [4] M. Corpart, J. Dervaux, C. Poulard, F. Restagno, and F. Boulogne. Evaporation of a liquid coated on a fiber. *Europhys. Lett.*, 139(4) :43001, 2022.
- [5] M. Corpart, F. Restagno, and F. Boulogne. Analytical prediction of the temperature and the lifetime of an evaporating spherical droplet. *Colloids and Surfaces A*, 2023.
- [6] M. Corpart, F. Restagno, and F. Boulogne. Coffee stain effect on a fibre from axisymmetric droplets. *J. Fluid Mech.*, 957 :A24, 2023.