

## Sujet de thèse

### *Physique des films chargés en grains : de l'attraction entre particules à la rhéologie de surface*

---

#### Unité de recherche d'accueil

**Unité de Recherche :** Institut de Physique de Rennes – UMR 6251 (Département Matière Molle)

**Financement :** oui (Bourse Ministérielle)

---

#### Encadrement

**Directeur de thèse :** Anaïs Gauthier

**Mail :** anais.gauthier@univ-rennes1.fr

**Tél. :** 02 23 23 73 00

**Co-directeur de thèse :** Isabelle Cantat

**Unité de recherche :** IPR – UMR 6251

**Mail :** isabelle.cantat@univ-rennes1.fr

**Tél. :** 02 23 23 56 28

---

#### Sujet

**Titre :** Physique des films chargés en grains : de l'attraction entre particules à la rhéologie de surface

Le contrôle des propriétés mécaniques des mousses et de leur stabilité est un problème quotidien et industriel important. Si l'on souhaite parfois détruire la mousse (dans les boues d'épuration par exemple), on tente souvent, au contraire, de la rendre la plus stable possible : c'est souvent le cas dans l'agro-alimentaire (les crèmes glacées ou la mousse au chocolat) ou la cosmétique (mousse à raser). Or il existe une technique simple et très efficace pour augmenter de façon spectaculaire la stabilité des mousses : l'ajout de petites particules solides. Lorsque la mousse est créée, les grains viennent se bloquer dans les films liquides qui séparent les bulles, ce qui leur confère des propriétés remarquables. Les films ainsi stabilisés s'affinent plus lentement (meilleure résistance au drainage), ils sont moins perméables aux gaz (ce qui limite le vieillissement de la mousse) et résistent beaucoup mieux à des contraintes mécaniques.

Les propriétés globales des films chargés en grains sont maintenant de mieux en mieux connues, mais il reste beaucoup à comprendre sur les phénomènes qui ont lieu à l'échelle de quelques particules. Des travaux préliminaires menés au laboratoire ont ainsi montré des résultats inattendus. Par exemple, la force d'attraction entre deux particules de quelques centaines de micromètres confinées dans un film est typiquement cent fois plus grande que celle mesurée lorsque les particules sont bloquées à l'interface liquide/air. En outre, les particules « aspirent » le liquide autour d'elles, ce qui modifie profondément la distribution d'épaisseur du film avec le temps. Les forces capillaires entre les particules pourraient donc conduire à une inversion du processus de drainage et provoquer un épaississement avec le temps, à l'opposé de ce qui se passe pour des films libres.

Dans le cadre de cette thèse, nous souhaitons comprendre la façon dont des grains déforment localement les films de savon et interagissent entre eux, ce qui couple dynamique, mouillage et capillarité. En particulier, nous nous intéresserons à la façon dont les particules modifient le vieillissement du film, et impactent sa tension. L'originalité de l'approche sera d'utiliser des sollicitations magnétiques pour contrôler le déplacement et les forces entre les billes.

Ce travail fera le pont entre la petite échelle (les interactions entre particules et entre les particules et le film) et les propriétés rhéologiques et mécaniques globales des bulles, dont leur stabilité. Il sera majoritairement expérimental et complété par une modélisation théorique. Pour mener ce projet à bien, nous utiliserons un outil que nous sommes en train d'installer au laboratoire : des bobines de Helmholtz triaxiales permettant de générer des champs magnétiques très forts (de l'ordre de 250 Gauss). En utilisant des particules paramagnétiques, nous pourrions utiliser cet outil pour mesurer avec une grande précision la force d'interaction entre deux grains suspendus dans le film. Nous utiliserons également ce système pour mesurer localement la rhéologie de la bulle, en faisant tourner une aiguille formée par deux particules magnétiques collées. Ces mesures seront complétées par une analyse optique (mesures interférométriques, vidéos à la caméra rapide). Nous augmenterons petit à petit la complexité du système étudié : de la particule au radeau puis à la bulle en armure.

Le double encadrement de cette thèse permettra à l'étudiant de bénéficier des compétences croisées d'Anaïs Gauthier pour l'étude des particules aux interfaces et des interactions capillaires, et d'Isabelle Cantat pour la physique des écoulements dans les bulles.