

## DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **25 juillet 2025**

Nom de famille et prénom de l'auteur. e : **Monsieur Guillaume DUPREZ**

Titre de la thèse : Propriétés rhéologiques de tissus biologiques et de colloïdes actifs denses

### Résumé



Cette thèse vise à explorer les propriétés rhéologiques de systèmes actifs denses, en s'appuyant sur deux systèmes modèles distincts : des monocouches de cellules épithéliales et de colloïdes synthétiques autopropulsés (particules Janus). L'objectif de cette thèse est donc d'étudier la réponse mécanique de ces systèmes 2D en réponse à une perturbation, à l'aide d'une approche expérimentale unique basée sur une géométrie de type écoulement de Stokes, c'est-à-dire l'écoulement autour d'un obstacle circulaire. Pour les colloïdes Janus, j'ai développé un dispositif expérimental original afin de traîner un obstacle à travers une monocouche dense de particules autopropulsées. Cela a permis l'étude systématique des champs de vitesse et de densité induits. Un résultat clé est l'asymétrie avant/arrière de l'écoulement et la compressibilité non linéaire du sédiment, mise en évidence par une accumulation de particules en amont de l'obstacle et une déplétion en aval qui sont non antisymétriques. J'ai introduit une longueur de cicatrisation, caractérisant l'étendue spatiale de la zone de déplétion. Cette longueur s'est révélée mieux corrélée à la pression mécanique qu'à la densité ou au niveau d'activité seul. Des simulations de dynamique moléculaire menées en collaboration avec Gianmarco Spera et François Graner ont confirmé que cette longueur de cicatrisation et l'échelle de temps associée dépendent uniquement de la pression mécanique, indépendamment de l'activité ou de la vitesse de l'obstacle. Ces résultats démontrent que la pression est le paramètre qui contrôle la réponse mécanique des particules autopropulsées. Dans le cas de la monocouche de cellules épithéliales, la réponse mécanique à un obstacle circulaire a été étudiée dans deux géométries : une bande, où la direction de l'écoulement est imposée par la géométrie et un circuit fermé (racetrack), où l'écoulement est généré intrinsèquement par les cellules. Dans ce travail, j'ai développé des outils d'analyse d'image pour extraire des propriétés individuelles des cellules telles que la forme, l'allongement et la surface, en me basant sur l'algorithme Cellpose. La géométrie en circuit fermé permet d'accéder aux fluctuations du système sur de grandes échelles de temps et d'espace. En testant 4 drogues différentes (Nocodazole, CK666, Simvastatine et Para-aminoblebbistatine), nous avons révélé les contributions distinctes du cytosquelette et des moteurs moléculaires sur la corrélation spatiale du champ de vitesse. Une

tentative de modélisation de la monocouche cellulaire par un fluide actif a été réalisée en collaboration avec Nathan Shourick, Ibrahim Cheddadi et Pierre Saramito, menant à des résultats préliminaires ; toutefois, la comparaison avec le système expérimental reste à améliorer. Ce travail illustre néanmoins comment la géométrie de Stokes peut s'avérer discriminante pour confronter modèles et expériences. Dans les deux cas — colloïdes Janus et monocouches cellulaires — nous ne sommes pas encore capable de caractériser quantitativement la réponse rhéologique. Cependant, la géométrie de Stokes a permis de poser des jalons expérimentaux qui vont au-delà des théories actuelles. Dans le cas des colloïdes Janus, des développements expérimentaux complémentaires sont nécessaires, notamment la mesure de la force exercée sur l'obstacle, afin de déterminer pleinement la réponse rhéologique du système. Dans l'ensemble, ces résultats établissent de nouveaux outils expérimentaux pour sonder la rhéologie des systèmes actifs, comblant le fossé entre matière active synthétique et biologique, et ouvrent des perspectives pour modéliser et prédire leur comportement collectif sous perturbation.

**Mots-clés :** Matière active, Micro-rhéologie, Biophysique