

Proposition de stage de M2 (printemps-été 2026)

Modélisation, simulation et segmentation de tissus embryonnaires en croissance

Institut Camille Jordan (UMR 5208, Villeurbanne)

Financé par le projet PREMMOVE du PEPR Maths-Vives

Encadrants : Michèle Romanos et Simon Masnou

Contexte

Ce stage s'inscrit dans le cadre du projet interdisciplinaire PREMMOVE (2025-2031) financé par le PEPR Maths-Vives. Le projet est porté par un consortium de chercheuses et chercheurs issus de différentes disciplines : mathématiques (Institut Camille Jordan et Institut de Mathématiques de Toulouse), biologie (Centre de Biologie Intégrative de Toulouse) et physique (LAAS- CNRS).

Mots clés : morphogénèse, modélisation mathématique, équations aux dérivées partielles (EDP), analyse des EDP, simulation numérique, intelligence artificielle, analyse d'images.

Motivation biologique

La morphogénèse d'un embryon désigne le processus biologique par lequel les structures de l'embryon se mettent en place pour qu'il devienne fonctionnel. Au cours de ce processus, des milliers de cellules embryonnaires s'auto-organisent en tissus qui se développent, interagissent et acquièrent des fonctions distinctes. On comprend encore peu, aujourd'hui, comment les cellules et les tissus interagissent, aussi bien à l'échelle cellulaire qu'à l'échelle tissulaire, et en quoi ces interactions diffèrent selon que le développement est « normal » ou « anormal ». Un enjeu central est notamment de déterminer comment les propriétés biomécaniques — telles que la viscosité, l'élasticité ou la pression tissulaire — émergent du comportement cellulaire et influencent la croissance et la forme des tissus, et comment elles permettent d'expliquer certaines malformations congénitales.

Objectifs du stage

Le stage a plusieurs objectifs, ils seront plus ou moins développés selon la vitesse de progression :

- Développer un modèle **d'EDP en dimension deux**, dans un cadre mathématique rigoureux, pour décrire la dynamique couplée de plusieurs tissus embryonnaires en croissance, en intégrant les **propriétés biophysiques** tissulaires et un **couplage mécanique** entre tissus. L'objectif est d'identifier, à l'aide de **simulations numériques** et par **l'étude théorique** du modèle, les mécanismes qui gouvernent la coordination

multi-tissulaire. L'étudiant(e) commencera tout d'abord par se familiariser avec les modèles de la littérature développés pour l'embryogenèse.

- Implémenter un **schéma numérique** adapté au modèle développé, et **calibrer** le modèle. Faire des simulations numériques en 2D en explorant **différents régimes de paramètres**.
- **Comparer** les résultats du modèle avec les **données biologiques**. Pour cela l'étudiant(e) sera amené à **analyser des images** d'embryons (segmentation, mesures, etc.) qui seront également utiles pour calibrer le modèle. Un état de l'art des outils de segmentation constituera la première étape, l'exploration pouvant inclure, si le temps le permet, la mise en place et l'entraînement d'un réseau de neurones pour la segmentation automatique des tissus. Des images d'embryons d'oiseau, obtenues en collaboration avec l'équipe de Bertrand Bénazéraf (CBI Toulouse) au sein du consortium PREMMOVE, seront utilisées pour l'entraînement et la validation du réseau.

Si le stage se déroule bien, une poursuite en thèse sera envisageable avec une allocation financée par le projet PREMMOVE.

Compétences recherchées

- Goût pour la modélisation mathématique et l'interdisciplinarité.
- Très bonnes bases en EDP et analyse.
- Bonnes compétences en calcul scientifique et programmation (python ou julia ou matlab), et en méthodes numériques pour les EDP.
- Intérêt pour l'imagerie biomédicale et l'intelligence artificielle. La connaissance des bibliothèques Pytorch/Tensorflow serait un plus.
- Notions en mécanique des milieux continus / fluides.

Informations pratiques

- Période de stage : à partir d'avril 2026.
- Lieu : Institut Camille Jordan (Villeurbanne).
- Stage encadré par Michèle Romanos (Chargée de recherche, CNRS & Institut Camille Jordan, romanos@math.univ-lyon1.fr) et Simon Masnou (Professeur, Université Claude Bernard Lyon 1 & Institut Camille Jordan, masnou@math.univ-lyon1.fr)