

Proposition de stage de recherche

Modélisation morpho-élastique de la croissance par déformation contrainte

La compréhension de données biologiques ou médicales est un défi majeur, rendu crucial par l'augmentation du nombre et de la complexité des données disponibles. Il s'agit de pouvoir caractériser les différences entre deux données, faire des statistiques sur une population (pour identifier des bio-marqueurs d'une maladie par exemple) ou reconstruire et analyser l'évolution entre différentes observations d'un même sujet. Lorsque ces données sont de nature géométrique (des *formes*: surfaces ou images par exemple), une stratégie utilisée fréquemment consiste à modéliser la différence entre deux observations à travers la déformation de l'espace modélisant ce changement. Les paramètres du difféomorphisme obtenu peuvent ensuite être analysés. Cependant, cette approche morphométrique peut aboutir à des résultats décevants si l'ensemble de déformations considéré est indépendant des formes étudiées. Plusieurs modèles de déformations sous contraintes ont ainsi été développés afin d'incorporer des a priori dans de tels modèles.

En particulier, le cadre des **modules de déformation** [2], développé par Barbara Gris et ses collaborateurs, permet d'incorporer une structure hiérarchique dans le modèle de déformation afin de proposer une **analyse morphométrique** de ces données plus proche des modèles **bio-physiques**. Les **modules implicites** [3] permettent notamment d'intégrer des propriétés élastiques des objets considérés. L'idée sur laquelle repose ce cadre est de munir l'espace de ces objets d'une métrique sous-Riemannienne caractérisant pour chaque forme les déplacements infinitésimaux autorisés. Ce cadre est implémenté dans la bibliothèque Python IMODAL [1] utilisant les outils de différenciation automatique proposés par PyTorch [4].

L'objectif de ce stage est tout d'abord d'étudier les liens entre ce cadre mathématique et la **modélisation morpho-élastique de la croissance** selon laquelle certains phénomènes de croissance peuvent se décomposer en une composante de croissance pure et une réponse élastique du matériau [5]. C'est en particulier une hypothèse convaincante pour expliquer la formation des plis cérébraux (gyrification corticale) [6]. Le second objectif de ce stage est proposer un modèle convainquant capable d'**expliquer les phénomènes de plissement à l'aide de la librairie IMODAL**.

Ce stage aura lieu au sein du Laboratoire Jacques-Louis Lions à Sorbonne Université sous la direction de Barbara Gris,. Une gratification d'environ 570 euros par mois sera proposée.

Pour postuler, merci d'envoyer un CV, une courte lettre de motivation et une liste des cours suivis avec un relevé de notes.

References

- [1] <https://www.kernel-operations.io/im/>.
- [2] B. Gris, S. Durrleman, and A. Trouvé. A sub-riemannian modular framework for diffeomorphism-based analysis of shape ensembles. *SIAM Journal on Imaging Sciences*, 11(1):802–833, 2018.
- [3] L. Lacroix, B. Charlier, A. Trouvé, and B. Gris. Imodal: creating learnable user-defined deformation models. 2021.
- [4] A. Paszke, S. Gross, S. Chintala, G. Chanan, E. Yang, Z. DeVito, Z. Lin, A. Desmaison, L. Antiga, and A. Lerer. Automatic differentiation in pytorch. 2017.
- [5] E. K. Rodriguez, A. Hoger, and A. D. McCulloch. Stress-dependent finite growth in soft elastic tissues. *Journal of biomechanics*, 27(4):455–467, 1994.
- [6] R. Toro and Y. Burnod. A morphogenetic model for the development of cortical convolutions. *Cerebral cortex*, 15(12):1900–1913, 2005.

Contact : Barbara Gris, chargée de recherche CNRS au Laboratoire Jacques-Louis Lions, Sorbonne Université, bgris.maths@gmail.com.