

## Caractérisation de la texture tissulaire par analyse topologique et apprentissage automatique pour la détection précoce de maladies dégénératives.

Encadrants :

1. Younès Bennani, Laboratoire d'Informatique de Paris-Nord-CNRS (UMR 7030), La Maison des Sciences Numériques-LaMSN
2. Ian Morilla, Laboratoire Analyse, Géométrie et Applications, MBI. Dept. Génétique de l'Université de Málaga-CSIC, Laboratoire de Machine Learning en Multi-omique (MLiMO).

Au cours de la morphogenèse, des processus biologiques permettent la création de structures topologiques spécifiques dans les tissus et les organes [1]. Les modifications de texture en imagerie biomédicale peuvent permettre l'identification de certaines lésions tissulaires. Dans le cas des greffes pulmonaires, la distribution et la forme des zones d'hypodensité (noires) en imagerie scanner X peuvent être utilisées pour visualiser le succès de l'opération ou l'apparition de complications, offrant ainsi une opportunité pour une intervention précoce [2,3].

Le projet de thèse proposé ici vise à développer de nouvelles méthodes mathématiques avancées pour caractériser la texture des tissus en utilisant l'analyse topologique des données (TDA). La TDA permet de capturer des informations complexes sur la structure spatiale d'une image par des moyens tels que les points, les trous et les boucles. L'objectif de ce projet est de fournir une description mathématique précise des structures topologiques des tissus et de les relier à des paramètres cliniques pertinents, en particulier dans le contexte de maladies dégénératives.

L'approche que nous proposons soulève plusieurs défis scientifiques et techniques. Tout d'abord, il est nécessaire d'étendre la Topological Data Analysis (TDA) en incluant le périmètre, l'aire ou la caractéristique d'Euler des composantes connexes pour remédier aux descriptions caractéristiques géométriques et statistiques des tissus imparfaites fournies par la TDA [4,5,6]. En outre, il est important d'incorporer l'apprentissage automatique et d'explorer les limites et biais de ces algorithmes pour identifier des modèles et des structures dans les données biomédicales, tout en mettant en place des méthodes de traitement d'images basées sur l'apprentissage profond pour améliorer la qualité des données et optimiser la détection des caractéristiques topologiques des tissus [7,8,9].

L'application de ces méthodes à l'étude de maladies dégénératives permettra de relever plusieurs défis scientifiques à l'intersection de la biologie et des mathématiques. Ces défis incluent l'identification de caractéristiques topologiques spécifiques associées à certaines maladies dégénératives, la compréhension de la relation entre ces caractéristiques et les paramètres cliniques pertinents, et le développement de modèles de prédiction pour évaluer l'efficacité de différents traitements sur la progression de ces maladies.

En résumé, le projet de thèse proposé ici vise à relever des défis scientifiques pour caractériser les structures topologiques des tissus en imagerie biomédicale, avec pour objectif d'apporter une contribution significative à la compréhension des maladies dégénératives, tout en mettant l'accent sur plusieurs défis mathématiques et de l'apprentissage automatique pour répondre à des questions biologiques fondamentales. Les données nécessaires seront fournies par les collaborateurs actuels des différents hôpitaux de l'AP-HP de la région parisienne.

## References

1. Hoffmann LA et al. 2022. Theory of defect-mediated morphogenesis. *Science (Biophysics)*.
2. Salas JA et al. 2021. Reconstruction of respiratory variation signals from fMRI data. *NeuroImage*.
3. Yung JY et al. 2020. Investigation of Functional Connectivity Differences between Voluntary Respirations via Mouth and Nose Using Resting State fMRI. *Brain Sciences*.
4. Biermé H et Desolneux A. 2016. On the perimeter of excursion sets of shot noise random fields. *The Annals of Applied Probability*.
5. Biermé H et Desolneux A. 2020. Mean Geometry for 2D random fields : level perimeter and level total curvature integrals. *The Annals of Applied Probability*.
6. Lindenbaum O et al. 2018. Geometry-Based Data Generation. *arXiv*.
7. Gauthier S, ..., Morilla I. 2023. Plasma proteome dynamics of COVID-19 severity learnt by a graph convolutional network of multi-scale topology. *Life Science Alliance* 6 (5).
8. Trahn-Din A, ..., Morilla I. 2022. Personalised Risk Predictor for Acute Cellular Rejection in Lung transplant using soluble CD31. *Scientific Reports*.
9. Gouiaa F, Trahn-Din A, Morilla I. 2023. Dimensionality reduction with topological data analysis enhances lung transplantation risk prediction. *Submitted*.