



Sujet de stage Master 2024-2025

Intelligence artificielle, (multi)graphes et « physics-informed neural networks »

Application à la paralysie cérébrale de l'enfant

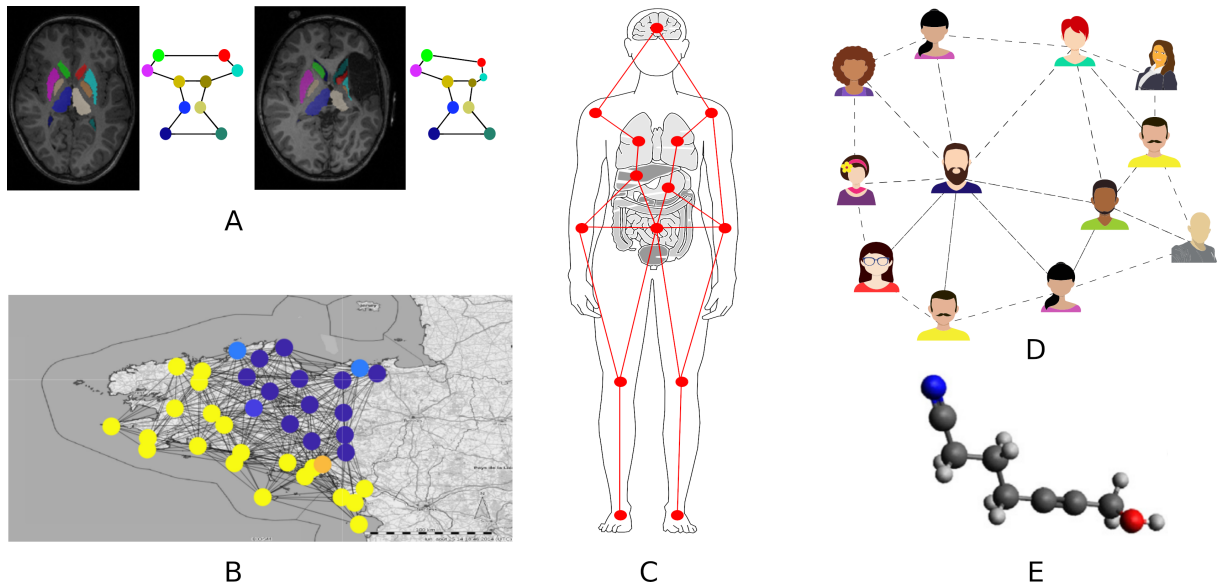


Figure 1 : Quelques exemples d'utilisation des graphes : en santé avec les relations entre des structures anatomiques (A-C), en météorologie avec des réseaux de stations météorologiques (B), dans les réseaux sociaux (D) et en chimie (E).

Les graphes sont des structures présentes dans de multiples domaines d'application (voir figure 1) et sont au cœur de beaucoup de travaux de recherche en intelligence artificielle, notamment avec l'apprentissage profond sur graphes, donnant lieu aux « graph neural networks » (GNN) [1]. Ces graphes peuvent par exemple être utilisés pour la segmentation sémantique des images [2,3], en associant les nœuds à régions (e.g. structures anatomiques en imagerie médicale) et les arêtes à des relations entre les régions (e.g. distance entre deux organes). Le GNN apprend, à partir d'exemples, à automatiquement classer les nœuds, permettant ainsi d'identifier les régions. Les relations peuvent être hétérogènes : «le cœur est entre les poumons» (position relative), «les deux yeux d'un individu sont espacés, en moyenne, de X centimètres» (distance relative). Cette hétérogénéité des relations peut être modélisée par des multigraphes, avec la notion sous-jacente de multi-vue (e.g. vue « position relative », vue « distance relative »), au cœur de multiples travaux de recherche actuels [4,5]. Un autre point important correspond à l'intégration de connaissances a priori dans le GNN en s'appuyant, par exemple, sur la connaissance physique de l'organisation des structures anatomiques. Ainsi, on sait que le cœur est situé entre les poumons : cette notion physique pourrait être exploitée lors de l'entraînement et de l'inférence d'un réseau de neurones (on se rapproche de la notion récente de « Physics-Informed Neural Networks » - PINNS) [6,7]. En intégrant les notions de multiview et de PINNS, on cherche ainsi à concevoir un GNN générique (e.g. par rapport à l'hétérogénéité des informations) et hybride (data / PINNS), pas uniquement basé sur des données d'entraînement parfois difficiles à collecter.

L'objectif du sujet proposé est de proposer un GNN intégrant le « multi-vue » et la notion de PINNS pour de la segmentation d'images, dans la continuité des récents travaux de l'équipe ISISV [2,3,8]. L'application privilégiée concernera la segmentation des structures anatomiques cérébrales d'enfants ayant eu un AVC, à partir d'une image IRM (collaboration avec le CHU d'Angers [8] - voir figure 1-A).

Les tâches consisteront à :

- 1-Lire les articles référencés (et compléter l'état de l'art) et se familiariser avec les notions et codes informatiques produits au LARIS [2,3,8]
- 2-Intégrer les connaissances a priori (PINNS) dans la fonction de coût du GNN.
- 3-Gérer les relations hétérogènes en considérant des multigraphes (multi-vues) et évaluant les méthodes mentionnées dans l'état de l'art (les codes sont généralement fournis).
- 4-Evaluer l'architecture du GNN conçue sur des données synthétiques puis sur l'application considérée.

Les programmes seront réalisés en Python, en particulier avec les bibliothèques Pytorch-geometric et Networkx.

Le stage se déroulera au laboratoire LARIS (Polytech Angers).

Contacts : Jean-Baptiste Fasquel (jean-baptiste.fasquel@univ-angers.fr)

Références :

- [1] D. Bacciu, F. Errica, M. Alessio, M. Podda, "A gentle introduction to deep learning for graphs", Neural Networks, 2020.
- [2] J. Chopin, J.-B. Fasquel, H. Mouchère, R. Dahyot, Isabelle Bloch, Model-based inexact graph matching on top of DNNs for semantic scene understanding, Computer Vision and Image Understanding, 2023.
- [3] P. Coupeau, J.-B. Fasquel, M. Dinomais, On the use of GNN-based structural information to improve CNN-based semantic image segmentation, Submitted to Journal of Visual Communication and Image Representation (in minor revision), 2024,
- [4] N. Chaari, M. A. Gharsallaoui, H. C. Akdağ, I. Rekik, Multigraph classification using learnable integration network with application to gender fingerprinting, Neural Networks, 2022.
- [5] N. Chaari, H. C. Akdağ, I. Rekik, Comparative survey of multigraph integration methods for holistic brain connectivity mapping, Medical Image Analysis, 2023
- [6] Pablo Arratia López, Hernán Mella, Sergio Uribe, Daniel E. Hurtado, Francisco Sahli Costabal, WarpPINN: Cine-MR image registration with physics-informed neural networks, Medical Image Analysis, 2023
- [7] Jay Paul Morgan, Adeline Paiement, Christian Klinke, Domain-informed graph neural networks: A quantum chemistry case study, Neural Networks, 2023.
- [8] P. Coupeau, J. Démas, J.-B. Fasquel, L. Hertz-Pannier, S. Chabrier, M. Dinomais, Hand function after neonatal stroke: A graph model based on basal ganglia and thalami structure, NeuroImage: Clinical, 2024