

Stage M2 / Bac+5 : Apprentissage profond sur graphes pour l'analyse et la comparaison morphofonctionnelle d'encéphales.

Encadrement

- Jean-Yves Ramel – LIFAT Université de Tours
- Elodie Chaillou – INRAE PRC
- Frédéric Andersonn Christophe Destrieux (iBrain, INSERM)

Descriptif du stage

L'essor de méthodes d'imagerie cérébrale génère une masse considérable de données morphologiques et fonctionnelles. Pour autant, leur exploration puis leur comparaison au cours du temps pour un individu (développement et vieillissement), entre individus (variabilité au sein de l'espèce), et plus encore entre espèces différentes n'ont pu être que partielles. Nous proposons de modéliser ces données sous forme de graphes, puis d'utiliser les approches récentes de l'intelligence artificielle pour mieux les analyser.

Cette démarche a déjà été initiée par un consortium pluridisciplinaire réunissant des chercheurs en neuroanatomie, en biologie animale et en informatique ainsi que des neurochirurgiens lors des projets Régionaux NeuroGéo et Neuro2Co (LIFAT, INRAE, INSERM). Elle a abouti à la création de [SILA3D](#), une plateforme logicielle, en accès libre permettant la représentation des données anatomo-fonctionnelles sous forme de graphes grâce à une segmentation sémantique interactive des images [1].

Dans ce contexte, le projet proposé vise à créer de nouveaux algorithmes d'analyses et de comparaisons anatomo-fonctionnelles d'encéphales à l'aide de méthodes classiques (théorie des graphes) mais aussi plus récentes (réseaux de neurones profonds sur graphes (GNN), geometric deep learning ...).

Les objectifs de ce stage sont :

- Spécifier différentes stratégies de modélisation des données sous forme de graphes. Le ou la stagiaire utilisera deux jeux de données d'ores et déjà acquises : a) IRM ex vivo à très haut champ du tronc cérébral humain (iBrain et NeuroSpin) [8]; b) IRM in vivo d'agneaux en croissance (PRC et PIXANIM) [12].
- Proposer une ou plusieurs méthodes de comparaison de graphes exploitant les avancées récentes dans le Deep Learning sur Graphes (GNN) [4, 5, 6] pour étudier les différences entre individus (variabilité du tronc cérébral humain) et au cours du temps (suivi du développement cérébral de l'agneau de la naissance à l'âge adulte) [12].

Les défis scientifiques associés à ces objectifs sont **(1)** développer de nouvelles méthodes d'apprentissage profond sur graphes pour la détection et la classification de sous-structures particulières dans un encéphale (classification semi-supervisée de nœuds) [4]; **(2)** de développer de nouvelles méthodes d'apprentissage profonds sur graphes pour la comparaison, la discrimination, et la classification d'encéphales (classification supervisée ou non supervisée de graphes) [5, 6].

Les techniques d'IA développées reposent sur la mobilisation d'un parc de processeurs graphiques spécialisés (GPU) pour les calculs optimisation/Deep Learning proposés par le centre de calcul Regional Cascimodot (dont certains ont été financés par la région CVL suite à une demande portée par le LIFAT)

Complémentarité des partenaires

Le LIFAT apportera son expertise dans le domaine de l'apprentissage automatique (IA) et de l'analyse d'images 3D exploitant des méthodes à base de graphes.

L'UMR PRC est reconnue internationalement pour son expertise en neuroanatomie fonctionnelle de l'encéphale ovin, étudiée par des approches d'imagerie cellulaire et d'imagerie par résonance magnétique. Le développement de ces méthodes a donné lieu à la création de plateaux techniques au

sein de l'UMR PRC, le plateau d'imagerie cellulaire (PIC) et la plateforme de phénotypage et imagerie *in* et *ex vivo* de l'animal à la molécule (PIXANIM), soutien incontestable au développement de nouveaux projets comme le développement cérébral et sa sensibilité à l'environnement.

Au sein de l'UMR inserm U1253 iBrain, le groupe dirigé par le Prof C Destrieux développe une expertise en neuro-anatomie humaine. C Destrieux a développé un atlas surfacique du cortex humain inclus dans le package FreeSurfer (<http://surfer.nmr.mgh.harvard.edu/>). Plus récemment le même groupe a développé des règles de segmentation anatomique en vue de la production d'un atlas probabiliste du tronc cérébral humain [8].

Compétences requises

- Licence/master en informatique, mathématiques appliquées, science des données, ou similaire.
- Compétences (avec expériences) : réseaux neuronaux, apprentissage profond, programmation Python, analyse numérique.

Quand ? Où ? Combien ? Comment ?

Le stage se déroulera entre avril et septembre 2022. Le stage sera rétribué à hauteur de l'indemnité légale des stages (≈550€/mois). La durée du stage est limitée à 5 mois mais il pourrait être prolongé par une thèse de doctorat dont le financement est en cours de demande.

Le stage aura lieu au Laboratoire d'Informatique Fondamentale et Appliquées de Tours (LIFAT, <http://lifat.univ-tours.fr>)

Veillez soumettre votre CV en format pdf à : ramel@univ-tours.fr

Bibliographie

- [1] Galisot G, Brouard T, **Ramel JY**, **Chaillou E**. (2019) A Comparative Study on Voxel Classification Methods for Atlas based Segmentation of Brain Structures from 3D MRI Images. VISIGRAPP International Conference p341-350
- [2] Zhuang X, Galisot G, **Ramel JY** et al. (2019) Evaluation of algorithms for Multi-Modality Whole Heart Segmentation: An open-access grand challenge. Medical Image Analysis 58
- [3] Abu-Aisheh Z, Raveaux R, **Ramel JY**. (2020) Efficient k-nearest neighbors search in graph space. Pattern Recognition Letters. 134: 77-86
- [4] Balcilar M, Heroux P, Gauzere B, Vasseur P, Adam S, Honeine P. (2021) Breaking the Limits of Message Passing Graph Neural Networks. In International Conference on Machine Learning.
- [5] Morris C, Rattan G, Mutzel P. (2020) Weisfeiler and Leman go sparse: Towards scalable higher-order graph embeddings. In Advances in Neural Information Processing Systems.
- [6] Rozemberczki B, Scherer P, He Y, Panagopoulos G, Astefanoaei M, Kiss O, Beres F, Collignon N, Sarkar R. (2021) PyTorch Geometric Temporal: Spatiotemporal Signal Processing with Neural Machine Learning Models. arXiv preprint arXiv:2104.07788
- [7] Abu-Aisheh Z, Raveaux R, **Ramel JY**, Martineau P. (2015) An Exact Graph Edit Distance Algorithm for Solving Pattern Recognition Problems. 4th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods [URL NetworkX](#)
- [8] Lechanoine F, Jacqueson T, Beaujoin J, Serres B, Mohammadi M, Planty-Bonjour A, **Andersson F**, Poupon P, Poupon C, **Destrieux C** (2021) WikiBS: an online atlas to manually segment the human brainstem at mesoscopic scale. Neuroimage 236.
- [9] Menant O, **Andersson F**, Zelena D, **Chaillou E**. (2016) The benefits of magnetic resonance imaging methods to extend the knowledge of the anatomical organisation of the periaqueductal gray in mammals. J Chem Neuroanat 77:110-120. doi: 10.1016/j.jchemneu.2016.06.003.
- [10] **Chaillou E**, Tillet Y, **Andersson F** (2012) MRI Techniques and New Animal Models for Imaging the Brain in book: When Things Go Wrong - Diseases and Disorders of the Human Brain (doi: 10.5772/35834)
- [11] Zelena D, Menant O, **Andersson F**, **Chaillou E**. (2018) Periaqueductal gray and emotions: the complexity of the problem and the light at the end of the tunnel, the magnetic resonance imaging. Endocr Regul 52(4):222-238. doi: 10.2478/enr-2018-0027
- [12] **Love SA**, Haslin E, Bellardie M, **Andersson F**, Barantin L, Filipiak I, ... **Chaillou E**. (2021). Maternal deprivation and milk replacement affect the integrity of gray and white matter in the developing lamb brain. Zenodo. <http://doi.org/10.5281/zenodo.4714660>
- [13] **Siwiaszczyk M**, Yebga Hot R, Morisse M, Calandreau L, Barrière D, Beaujoin J, ... **Chaillou E**. (2021). Quail (Coturnix japonica) brain MRI template and whole-brain atlas [Data set]. Zenodo. <http://doi.org/10.5281/zenodo.4700523>
- [14] Zemmoura I, Serres B, **Andersson F**, Barantin L, Tauber C, Filipiak I, Cottier JP, Venturini G, **Destrieux C** (2014) FIBRASCAN: A novel method for 3D white matter tract reconstruction in MR space from cadaveric dissection. Neuroimage, 103C:106–118
- [15] **Destrieux C**, Fischl B, Dale A, Halgren E (2010): Automatic parcellation of human cortical gyri and sulci using standard anatomical nomenclature. Neuroimage 53:1–15.

Internship Master2 / Bac+5 : Deep learning on graphs for morphofunctional analysis and comparison of brains.

Description of the internship

The development of brain imaging methods generates a considerable amount of morphological and functional data. However, their exploration and comparison over time for an individual (development and aging), between individuals (variability within the species), and even more between different species have been only partial. We propose to model these brain data in the form of graphs in order to use recent approaches of artificial intelligence to better analyze them.

This work has already been initiated by a multidisciplinary consortium gathering researchers in neuroanatomy, animal biology and computer science as well as neurosurgeons during the regional projects NeuroGeo and Neuro2Co (LIFAT, INRAE, INSERM). It led to the creation of [SILA3D](#), a software platform, in free access, allowing the representation of anatomo-functional data in the form of graphs thanks to an interactive semantic segmentation of images [1].

In this context, the proposed project aims at creating new algorithms for anatomical-functional analysis and comparison of brain data using classical methods (graph theory) but also more recent ones (deep neural networks on graphs (GNN), geometric deep learning ...).

The objectives of this internship are:

- To specify different strategies for modeling data as graphs. The trainee will use two datasets already acquired: a) ex vivo high field MRI of the human brainstem (iBrain and NeuroSpin) [8]; b) in vivo MRI of growing lambs (PRC and PIXANIM) [12].
- To propose one or more graph comparison methods exploiting recent advances in Deep Learning on Graphs (GNN) [4, 5, 6] to study differences between individuals (variability of the human brain stem) and over time (monitoring of brain development in lambs from birth to adulthood) [12].

The scientific challenges associated with these objectives are (1) to develop new graph-based deep learning methods for the detection and classification of particular substructures in an encephalon (semi-supervised classification of nodes) [4]; (2) to develop new graph-based deep learning methods for the comparison, discrimination, and classification of encephalon (supervised or unsupervised classification of graphs) [5, 6].

Skills required

- Bachelor's/Master's degree in computer science, applied mathematics, data science, or similar.
- Skills (with experience): neural networks, deep learning, Python programming, numerical analysis.

When? Where? How much? How?

The internship will take place between March and September 2022. The internship will be paid at the legal internship allowance in France (around 550€/month). The duration of the internship is limited to 5 months but it could be extended by a PhD thesis for which the financing has been requested.

The internship will take place at the Laboratoire d'Informatique Fondamentale et Appliquées de Tours (LIFAT, <http://lifat.univ-tours.fr>)

Please submit your CV in pdf format to: ramel@univ-tours.fr

Complementarity of the partners

LIFAT will bring its expertise in the field of machine learning (AI) and 3D image analysis using graph-based methods.

The UMR PRC is internationally recognized for its expertise in functional neuroanatomy of the ovine brain, studied by cellular imaging and magnetic resonance imaging approaches. The development of these methods has led to the creation of technical platforms within the UMR PRC, the cellular imaging platform

(PIC) and the platform of phenotyping and in and ex vivo imaging from the animal to the molecule (PIXANIM), an undeniable support to the development of new projects such as brain development and its sensitivity to the environment.

Within the UMR inserm U1253 iBrain, the group led by Prof C Destrieux develops an expertise in human neuroanatomy. C Destrieux has developed a surface atlas of the human cortex included in the FreeSurfer package (<http://surfer.nmr.mgh.harvard.edu/>). More recently, the same group has developed anatomical segmentation rules for the production of a probabilistic atlas of the human brain stem [8].

Bibliographie

- [1] Galisot G, Brouard T, **Ramel JY**, **Chaillou E**. (2019) A Comparative Study on Voxel Classification Methods for Atlas based Segmentation of Brain Structures from 3D MRI Images. VISIGRAPP International Conference p341-350
- [2] Zhuang X, Galisot G, **Ramel JY** et al. (2019) Evaluation of algorithms for Multi-Modality Whole Heart Segmentation: An open-access grand challenge. Medical Image Analysis 58
- [3] Abu-Aisheh Z, Raveaux R, **Ramel JY**. (2020) Efficient k-nearest neighbors search in graph space. Pattern Recognition Letters. 134: 77-86
- [4] Balcilar M, Heroux P, Gauzere B, Vasseur P, Adam S, Honeine P. (2021) Breaking the Limits of Message Passing Graph Neural Networks. In International Conference on Machine Learning.
- [5] Morris C, Rattan G, Mutzel P. (2020) Weisfeiler and Leman go sparse: Towards scalable higher-order graph embeddings. In Advances in Neural Information Processing Systems.
- [6] Rozemberczki B, Scherer P, He Y, Panagopoulos G, Astefanoaei M, Kiss O, Beres F, Collignon N, Sarkar R. (2021) PyTorch Geometric Temporal: Spatiotemporal Signal Processing with Neural Machine Learning Models. arXiv preprint arXiv:2104.07788
- [7] Abu-Aisheh Z, Raveaux R, **Ramel JY**, Martineau P. (2015) An Exact Graph Edit Distance Algorithm for Solving Pattern Recognition Problems. 4th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods [URL NetworkX](#)
- [8] Lechanoine F, Jacqueson T, Beaujoin J, Serres B, Mohammadi M, Planty-Bonjour A, **Andersson F**, Poupon P, Poupon C, **Destrieux C** (2021) WikiBS: an online atlas to manually segment the human brainstem at mesoscopic scale. Neuroimage 236.
- [9] Menant O, **Andersson F**, Zelena D, **Chaillou E**. (2016) The benefits of magnetic resonance imaging methods to extend the knowledge of the anatomical organisation of the periaqueductal gray in mammals. J Chem Neuroanat 77:110-120. doi: 10.1016/j.jchemneu.2016.06.003.
- [10] **Chaillou E**, Tillet Y, **Andersson F** (2012) MRI Techniques and New Animal Models for Imaging the Brain in book: When Things Go Wrong - Diseases and Disorders of the Human Brain (doi: 10.5772/35834)
- [11] Zelena D, Menant O, **Andersson F**, **Chaillou E**. (2018) Periaqueductal gray and emotions: the complexity of the problem and the light at the end of the tunnel, the magnetic resonance imaging. Endocr Regul 52(4):222-238. doi: 10.2478/enr-2018-0027
- [12] **Love SA**, Haslin E, Bellardie M, **Andersson F**, Barantin L, Filipiak I, ... **Chaillou E**. (2021). Maternal deprivation and milk replacement affect the integrity of gray and white matter in the developing lamb brain. Zenodo. <http://doi.org/10.5281/zenodo.4714660>
- [13] **Siwiaszczyk M**, Yebga Hot R, Morisse M, Calandreau L, Barrière D, Beaujoin J, ... **Chaillou E**. (2021). Quail (Coturnix japonica) brain MRI template and whole-brain atlas [Data set]. Zenodo. <http://doi.org/10.5281/zenodo.4700523>
- [14] Zemmoura I, Serres B, **Andersson F**, Barantin L, Tauber C, Filipiak I, Cottier JP, Venturini G, **Destrieux C** (2014) FIBRASCAN: A novel method for 3D white matter tract reconstruction in MR space from cadaveric dissection. Neuroimage, 103C:106–118
- [15] **Destrieux C**, Fischl B, Dale A, Halgren E (2010): Automatic parcellation of human cortical gyri and sulci using standard anatomical nomenclature. Neuroimage 53:1–15.