

Stage de Master 2 - 2024

Tractographie informée par l'anatomie et la microstructure pour l'évaluation de la connectivité

Superviseurs : Julie Coloigner (julie.coloigner@irisa.fr)
Emmanuel Caruyer (emmanuel.caruyer@irisa.fr)

Lieu : Empenn U1228, IRISA, Campus de Beaulieu, Rennes - <https://team.inria.fr/empenn/>

Durée : 5-6 mois

Début de stage : début 2024

Mots-clés : IRM de diffusion, microstructure, tractographie, connectivité, optimisation, géométrie riemannienne.

Contexte du stage :

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) permet l'exploration avancée et non invasive de l'anatomie du cerveau. En particulier, elle permet de détecter, potentiellement avant l'apparition des premiers symptômes, des anomalies de la structure du cerveau associées à une pathologie. Un pan récent des développements en IRM a concerné l'IRM quantitative, un ensemble de techniques permettant de caractériser des paramètres quantitatifs de la structure interne du cerveau : sa microstructure. Parmi ces techniques, la relaxométrie [1] permet par exemple, via des méthodes avancées d'estimation de modèle, la caractérisation des propriétés magnétiques du cerveau et la proportion de certains tissus essentiels au bon fonctionnement du cerveau comme la myéline. Une autre modalité, l'IRM de diffusion [2], permet, via la quantification de la diffusion des molécules d'eau (contraintes par leur environnement), d'inférer nombre de paramètres de la microstructure comme l'agencement des fibres nerveuses, les différents tissus les composant et leurs propriétés (diamètre des axones, proportion de corps cellulaires neuronaux, etc.). L'étude de ces IRM de diffusion a d'ores et déjà permis de nombreuses avancées dans la compréhension de l'atteinte par certaines pathologies comme par exemple la sclérose en plaques (SEP) [3] ou la dépression [4]. Cependant, ces études sont encore limitées car elles ne prennent pas en compte l'architecture interne des fibres du cerveau. Ainsi, en SEP par exemple, les mesures de diffusion classiques ne sont que peu corrélées avec le statut clinique d'un patient à un instant t et à l'évolution de sa maladie [5]. Pour remédier à cela, de récents développements s'intéressent à l'étude de paramètres d'IRM de diffusion le long des fibres [6] ou à l'étude des connexions entre différentes régions du cerveau (le connectome) [7].

Bien que très prometteuses, de telles approches restent encore limitées pour diverses raisons. Tout d'abord, la majeure partie des méthodes concernent encore des modèles simples de diffusion tels que le tenseur, ne permettant pas une caractérisation fine de la microstructure. Cette caractérisation est de plus complexe à interpréter, car issue d'un modèle trop simpliste et couvrant uniquement la diffusion moyenne à l'échelle d'un voxel. Méthodologiquement parlant, ces paramètres ne sont étudiés qu'un seul à la fois là où une étude jointe serait requise. D'autre part, l'extraction des fibres nerveuses du cerveau (tractographie [8], illustrée dans la figure 1), à la base de toutes ces approches, n'est pas encore fiable. Une étude récente [9] a en effet mis en lumière plusieurs problèmes notamment la trop grande présence de faux positifs, nécessitant alors leur filtrage manuel par l'utilisateur, tâche ardue et chronophage. La recherche en modélisation de la diffusion en IRM a exploré de nombreuses pistes pour remplacer le modèle simple du tenseur de diffusion. Parmi elles, des modèles multifibres semblent tout à fait adaptés pour estimer la distribution d'orientation des fibres (ODF) au sein d'un voxel [10]. Ces méthodes ont la capacité à mieux différencier les fibres se croisant lors de la tractographie.

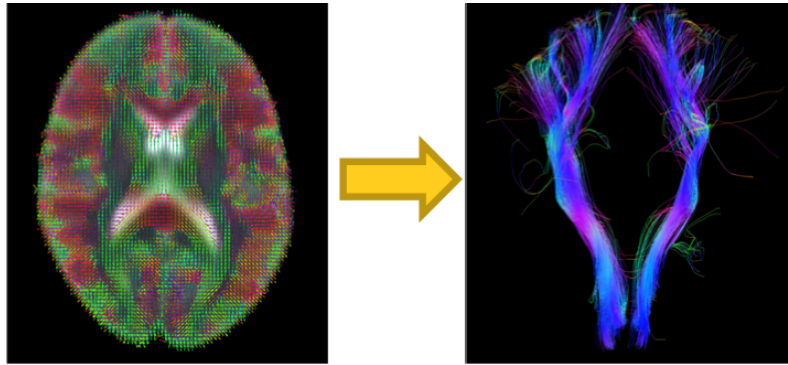


Figure 1 – Exemple de tractographie du faisceau cortico-spinal.

Malgré cela, ces méthodes d'estimation des fibres nécessitent d'être améliorées [9] et de nouvelles approches ont été proposées incluant des a priori anatomiques pour guider les algorithmes dans des régions complexes. Dans l'équipe Empenn, nous développons actuellement des méthodes de création d'a priori anatomique utilisant la géométrie Riemannienne, utilisable lors de la tractographie, comme décrit sur la figure 2.

Objectifs du stage

Reposant sur ce contexte, ce stage s'articulera autour de deux thèmes majeurs :

- Amélioration de l'estimation des a priori utilisant les caractéristiques micro-structurelles pour guider la tractographie. Ce travail s'appuiera sur des techniques développées durant la thèse de Thomas Durantel (Fig 2.b).
- Incorporation d'a priori anatomiques - atlas de faisceaux de fibres, information de microstructure issue de relaxométrie ou de l'image de diffusion le long de fibres connues et délinées manuellement – et des données afin d'aider la tractographie et éviter les faux positifs (Fig 2 c.).

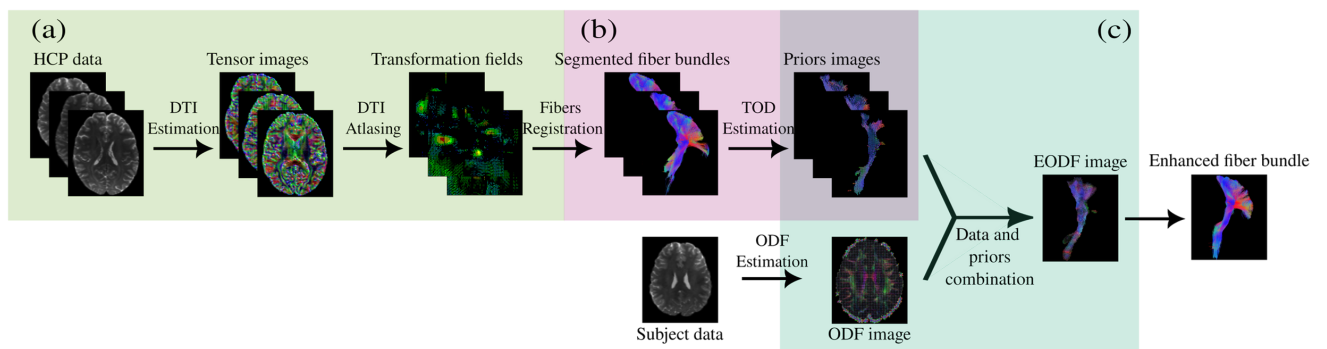


Figure 2 – Schéma de la méthode de tractographie informée par l'anatomie et la microstructure

Les méthodes développées s'appuieront sur les approches de track orientation distribution (TOD) et sur des outils de géométrie et d'optimisation riemannienne [11].

Une fois la méthode développée, elle sera testée sur une cohorte de patients atteints de dépression, dans le but de mieux estimer la microstructure et ainsi de mieux comprendre les modifications neuronales causées par cette maladie.

Localisation : Le stagiaire sera à l'IRISA, UMR CNRS 6074, dans l'équipe Empenn et travaillera en collaboration avec des doctorants du laboratoire.

Profil : Nous recherchons des candidats fortement motivés par des sujets de recherche en neuroimagerie. Le candidat doit présenter une bonne formation en mathématiques appliquées et en programmation (C++, python). Des connaissances de base en traitement d'images seraient un plus.

Références :

- [1] Paul Tofts. Quantitative MRI of the brain : measuring changes caused by disease. Wiley, 2004.
- [2] Peter J Basser, James Mattiello, and Denis LeBihan. Mr diffusion tensor spectroscopy and imaging. *Biophysical journal*, 66(1) :259–267, 1994.
- [3] M. Rovaris, A. Gass, R. Bammer, S. J. Hickman, O. Ciccarelli, D. H. Miller, and M. Filippi. Diffusion MRI in multiple sclerosis. *Neurology*, 65(10) :1526–1532, 2005.
- [4] Julie Coloigner, Jean-Marie Batail, Olivier Commowick, Isabelle Corouge, Gabriel Robert, Christian Barillot, and Dominique Drapier. White matter abnormalities in depression : a categorical and phenotypic diffusion MRI study. *Neuroimage-Clinical*, 22 :101710, February 2019.
- [5] C R Guttmann, S S Ahn, L Hsu, R Kikinis, and F A Jolesz. The evolution of multiple sclerosis lesions on serial MR. *American Journal of Neuroradiology*, 16(7) :1481–1491, 1995.
- [6] Stephen M. Smith, Mark Jenkinson, Heidi Johansen-Berg, Daniel Rueckert, Thomas E. Nichols, Clare E. Mackay, Kate E. Watkins, Olga Ciccarelli, M. Zaheer Cader, Paul M. Matthews, and Timothy E.J. Behrens. Tract-based spatial statistics : Voxelwise analysis of multi-subject diffusion data. *NeuroImage*, 31(4) :1487 – 1505, 2006.
- [7] Hae-Jeong Park and Karl Friston. Structural and functional brain networks : From connections to cognition. *Science*, 342(6158), 2013.
- [8] Ben Jeurissen, Maxime Descoteaux, Susumu Mori, and Alexander Leemans. Diffusion mri fiber tractography of the brain. *NMR in Biomedicine*, 32(4) :e3785, 2019. e3785 NBM-17-0045.R2.
- [9] Klaus H. Maier-Hein, Peter F. Neher, Jean-Christophe Houde, et al. The challenge of mapping the human connectome based on diffusion tractography. *Nature Communications*, 8(1) :1349, 2017.
- [10] Tuch DS, Reese TG, Wiegell MR, Wedeen VJ. Diffusion MRI of complex neural architecture. *Neuron*. 2003;40:885–995.
- [11] Dhollander, Thijs, et al. "Track orientation density imaging (TODI) and track orientation distribution (TOD) based tractography." *NeuroImage* 94 (2014): 312-336.