

Sujet de stage : Etude de la dynamique spatio-temporelle de la connectivité fonctionnelle en IRMf

1^{er} décembre 2022

1 Contexte

L'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) est la modalité privilégiée pour l'étude de la connectivité fonctionnelle cérébrale (CF). L'analyse des données IRMf (3D + temps) permet d'identifier des régions cérébrales dont l'activité temporelle, appelée aussi décours temporel, est fortement corrélée : ces régions forment ce que l'on appelle les réseaux fonctionnels. Dans le cas de pathologies neurodégénératives (Alzheimer) et neuropsychiatriques (dépression, schizophrénie, etc.), des différences de connectivité entre les réseaux fonctionnels par rapport aux sujets sains ont été détectées grâce à l'IRMf au repos.

D'un point de vue traitement du signal, l'identification des réseaux fonctionnels et leur activité cérébrale peut être formalisée comme un problème de séparation de sources aveugle.

Dans le cas de pathologies neurodégénératives (Alzheimer) et neuropsychiatriques (dépression, schizophrénie, etc.), des différences de CF avec des sujets sains ont été détectées en IRMf de repos en identifiant les réseaux fonctionnels avec des méthodes classiques de séparation de sources (comme l'analyse en composantes indépendantes) puis en comparant les matrices de corrélation des décours temporels des réseaux identifiés. Cette technique fait l'hypothèse que les réseaux fonctionnels sont stationnaires temporellement.

Cette hypothèse est remise en cause depuis quelques années avec l'apparition de méthodes d'analyse dynamique de la CF [Allen et al., 2014, Di and Biswal, 2015, Thompson and Fransson, 2015, Warnick et al., 2018]. Dans ces nouvelles études, la CF est supposée évoluer temporellement, les réseaux étant quant à eux toujours définis avec une analyse en composantes indépendantes (donc sous l'hypothèse de stationnarité temporelle). La dynamique temporelle de la CF est mise en évidence grâce à des algorithmes de classification appliqués sur une fenêtre temporelle glissante. Cette approche constitue un premier pas vers une définition dynamique temporelle de la CF mais souffre de plusieurs limites :

- les réseaux cérébraux sont supposés constants dans le temps ;
- la dynamique temporelle est limitée par le faible nombre d'états cérébraux ;
- ces états cérébraux sont définis à l'échelle du cerveau entier, et non localement ;
- l'analyse est réalisée au niveau d'un groupe d'individus, et non individuellement.

Ces cinq dernières années ont vu de nombreuses méthodes et modèles pour analyser la dynamique temporelle de la CF ; elles soulèvent néanmoins des questions sur la validité de ces différents modèles et sur les hypothèses posées [Lurie et al., 2020]. Dans le projet ANR DynaSTI (Modélisation de la **D**ynamique **S**patio-**T**emporelle de la connectivité fonctionnelle en **I**RMf de repos), nous nous intéressons aux approches de type décomposition sur un dictionnaire où les atomes du dictionnaire constituent le support spatial des différents sous-réseaux actifs à un moment donné de l'examen IRMf. Ainsi, nous avons introduit le concept d'unité de connectivité fonctionnelle (UCF). Les UCF peuvent se connecter et se déconnecter au cours du temps. On peut alors modéliser les états de connectivité par une décomposition parcimonieuse sur le dictionnaire des UCF et générer ainsi une matrice qui résume toute l'information spatio-temporelle de la dynamique de la CF. Les premiers résultats obtenus sur quelques souris sont très prometteurs [Adam et al., 2022].

2 Objectifs du stage

Le premier objectif du stage consiste en un état de l'art approfondi des méthodes récentes étudiant la dynamique temporelle de la CF afin :

- d'identifier celles qui autorisent, comme notre approche, une grande souplesse dans la modélisation de la dynamique temporelle et spatiale de la CF ;
- de proposer des améliorations de l'approche par décomposition sur un dictionnaire en intégrant d'autres manières de modéliser la connectivité, d'extraire les réseaux fonctionnels, etc. ;
- d'adapter ces méthodes à l'analyse chez le sujet unique pour comparer aux performances de l'approche que nous proposons.

Le second objectif du stage est de tester les approches d'apprentissage de dictionnaire et de comparer les dictionnaires obtenus avec nos travaux préliminaires [Adam et al., 2022].

Les différents algorithmes pourront être testés sur données synthétiques réalistes et sur données réelles acquises au laboratoire ICube ou dans les laboratoires partenaires du projet DynaSTI.

3 Contexte du stage

Laboratoire et équipe d'accueil

Équipe "Images, Modélisation, Apprentissage, Géométrie et Statistique" (IMAGeS)
Laboratoire des sciences de l'Ingénieur, de l'Informatique et de l'Imagerie – ICube
CNRS – Université de Strasbourg
300 Boulevard Sébastien Brant, BP 10413
67412 Illkirch Cedex (FRANCE)

Encadrants :

Céline Meillier, équipe IMAGeS, Maître de conférences, laboratoire ICube.
Contact : meillier@unistra.fr.

Vincent Mazet, équipe IMAGeS, Maître de conférences HDR, laboratoire ICube.
Contact : vincent.mazet@unistra.fr.

Marion Sourty, équipe IMIS, Ingénieure de recherche, laboratoire ICube.
Contact : sourty@unistra.fr.

Profil de la personne candidate :

Master 2 et/ou 3A en école d'ingénieur.

Pour candidater merci de nous envoyer un CV, une lettre de motivation et les relevés de notes de licence et master ou école d'ingénieurs.

Compétences souhaitées :

- Traitement du signal et des images.
- Science des données (statistiques, graphes, apprentissage automatique)
- Programmation Python ou Matlab.
- Autonomie et esprit d'initiative.
- Bonne compréhension de l'anglais.

Une poursuite en thèse pourra éventuellement être envisagée à l'issue du stage.

Références

- [Adam et al., 2022] Adam, A., Meillier, C., Achard, S., Becq, G., Bhanot, A., and Leborgne, A. (2022). Modélisation parcimonieuse de la dynamique spatio-temporelle de la connectivité fonctionnelle en IRMf cérébrale. *Gretsi*.
- [Allen et al., 2014] Allen, E. A., Damaraju, E., Plis, S. M., Erhardt, E. B., Eichele, T., and Calhoun, V. D. (2014). Tracking whole-brain connectivity dynamics in the resting state. *Cerebral cortex*, 24(3) :663–676.
- [Di and Biswal, 2015] Di, X. and Biswal, B. B. (2015). Dynamic brain functional connectivity modulated by resting-state networks. *Brain Structure and Function*, 220(1) :37–46.
- [Lurie et al., 2020] Lurie, D. J., Kessler, D., Bassett, D. S., Betzel, R. F., Breakspear, M., Kheilholz, S., Kucyi, A., Liégeois, R., Lindquist, M. A., McIntosh, A. R., et al. (2020). Questions and controversies in the study of time-varying functional connectivity in resting fmri. *Network Neuroscience*, 4(1) :30–69.
- [Thompson and Fransson, 2015] Thompson, W. H. and Fransson, P. (2015). The frequency dimension of fmri dynamic connectivity : network connectivity, functional hubs and integration in the resting brain. *NeuroImage*, 121 :227–242.
- [Warnick et al., 2018] Warnick, R., Guindani, M., Erhardt, E. B., Allen, E. A., Calhoun, V. D., and Vannucci, M. (2018). A bayesian approach for estimating dynamic functional network connectivity in fmri data. *Journal of the American Statistical Association*, 113(521) :134–151.