

Sujet de Recherche Master 2 Sciences Cognitives 2025-2026

Développement et validation du pipeline REORG pour l'intégration de données multimodales IRM. Application à l'étude de la plasticité dans l'épilepsie

Direction du projet

- Pr. Monica Baciú (Professeur en Neurosciences Cognitives)
- Dr. Romain Grandchamp (Ingénieur de Recherche Neuroimagerie CNRS)

Contexte. L'étude des mécanismes de plasticité cérébrale dans l'épilepsie, notamment chez les patients candidats à une chirurgie, repose sur la combinaison de plusieurs modalités d'IRM. Chacune apporte des informations complémentaires : (a) **IRM anatomique (VBM-IRM, épaisseur corticale)** : mesure des modifications structurelles de la matière grise ; (b) **IRM de diffusion (DTI-IRM)** : exploration de l'intégrité des faisceaux de substance blanche et de la connectivité anatomique ; (c) **IRM fonctionnelle de repos (rs-IRMf)** : analyse de la connectivité intrinsèque des réseaux cérébraux ; (d) **IRM fonctionnelle de tâche (tâche IRMf)** : cartographie spécifique des réseaux cognitifs activés (langage, mémoire, fonctions exécutives, etc.). Traditionnellement, ces analyses sont le plus souvent réalisées séparément, modalité par modalité, avec des logiciels et formats hétérogènes. Cette approche présente plusieurs limites : (a) **absence d'intégration multimodale** : chaque modalité est interprétée indépendamment alors que les processus cérébraux sont intrinsèquement multimodaux ; (b) **faible reproductibilité** : outils disparates, absence de standardisation des formats et paramètres ; (c) **charge de travail et risques d'erreurs** : les étapes manuelles (conversion, prétraitement, extraction) sont chronophages et sources d'erreurs.

Le pipeline REORG, développé en open-source, répond à ces défis. Basé sur la norme BIDS (Brain Imaging Data Structure), il a pour objectif de permettre : **une automatisation complète du flux de données** (conversion DICOM → NIfTI → dérivés analytiques), une **standardisation et interopérabilité avec les logiciels de référence** (FreeSurfer, MRtrix, FSL, fMRIPrep), une **analyse multimodale intégrée**, combinant directement résultats structuraux et fonctionnels (épaisseur corticale, tractographie, connectomes de repos et de tâche), **un gain de temps et de fiabilité** dans des contextes cliniques où les données sont sensibles.

5 modules du pipeline ont déjà été développés : module de conversion au format BIDS, module d'analyse des données IRM anatomique T1, module d'analyse d'IRMf de tâche ; module d'analyse d'IRMf de repos, module d'analyse d'IRM de diffusion.

Une fois sa validation technique effectuée, REORG ouvre la voie à une **intégration finale multimodale** : les résultats de chaque module (VBM, DTI, rs-IRMf, tâche-IRMf) pourraient être fusionnés dans un espace commun (connectome multimodal, analyses multivariées), offrant une lecture globale de la réorganisation cérébrale.

L'application clinique à l'épilepsie temporelle servira d'exemple d'application de cette base, pour caractériser les mécanismes de plasticité pré- et post-chirurgie, en particulier au sein des réseaux du langage et de la mémoire, avec des retombées translationnelles directes pour la prédiction des résultats neurocognitifs.

Objectifs scientifiques

1. **Finalisation du développement et documentation** du pipeline REORG pour le traitement intégré des données multimodales (VBM, DTI, rs-IRMf, task-IRMf)
2. **Validation technique** par comparaison avec pipelines et logiciels de référence.
3. **Intégration multimodale finale** : mise en place d'outils d'agrégation (connectomes multimodaux, analyses multivariées, modèles prédictifs) pour combiner les résultats issus de chaque modalité.
4. **Application clinique exploratoire** : caractériser la réorganisation cérébrale chez des patients épileptiques avant et après chirurgie.

Méthodologie

- **Étape 1. Prise en main et amélioration du pipeline REORG actuel**
 - Conversion et organisation des données en format BIDS
 - Automatisation modules de prétraitement et extraction (anat/DTI/rest/tâche)
 - Vérification de compatibilité avec MultiPy et outils standards
- **Étape 2. Validation technique**
 - Comparaison des sorties (épaisseur corticale, tractographie, connectivité fonctionnelle) avec FreeSurfer, MRtrix, FSL
 - Contrôle qualité (MRIQC, comparaisons de métriques)
- **Étape 3. Intégration multimodale**
 - Construction de connectomes multimodaux combinant structure et fonction
 - Analyses multivariées pour mettre en évidence les relations croisées entre modalités
 - Définition de biomarqueurs multimodaux de plasticité
- **Étape 4. Application clinique (épilepsie)**
 - Analyse de données pré- et post-chirurgie chez des patients atteints d'épilepsie temporale gauche et droite.
 - Étude des réorganisations structurelles et fonctionnelles dans les réseaux du langage et de la mémoire grâce à des données fournies par le protocole GE2REC (voir travail équipe ; Banjac et al. 2021 ; Banjac et al., 2022).
 - Comparaison avec données de participants sains (disponibles équipe)

Retombées attendues

- Développement d'un pipeline robuste, automatisé, intégré et documenté pour l'analyse multimodale des IRM
- Démonstration de la plus-value de l'intégration multimodale par rapport aux analyses séparées
- Identification de biomarqueurs multimodaux de plasticité pertinents pour la chirurgie de l'épilepsie
- Potentiel translationnel : contribution à la prédiction des issues neurocognitives post-chirurgicales

Travail demandé à l'étudiant·e

- Revue de littérature sur les pipelines multimodaux et la plasticité cérébrale en épilepsie.
- Connaissance du protocole multimodal GE2REC
- Implémentation du module de fusion multimodale du pipeline REORG
- Benchmarking et validation du pipeline REORG
- Rédaction de documentation technique et utilisateur du pipeline REORG
- Réalisation des analyses multimodales et intégration des résultats
- Application exploratoire aux données d'épilepsie
- Rédaction d'un mémoire scientifique et présentation des résultats.

Compétences attendues

- Compétences en programmation (Python, bash) et gestion de données BIDS
- Familiarisation avec des données de neuroimagerie
- Autonomie, rigueur, capacités de synthèse et esprit critique

Contacts

monica.baciu@univ-grenoble-alpes.fr ; romain.grandchamp@univ-grenoble-alpes.fr

Références

- Banjac S, Roger E, Cousin E, Mosca C, Minotti L, Krainik A, Kahane P, Baciu M. Mapping of Language-and-Memory Networks in Patients With Temporal Lobe Epilepsy by Using the GE2REC Protocol. *Front Hum Neurosci*. 2022 Jan 6;15:752138. doi: 10.3389/fnhum.2021.752138. PMID: 35069148; PMCID: PMC8772037.
- Banjac S, Roger E, Cousin E, Perrone-Bertolotti M, Haldin C, Pichat C, Lamalle L, Minotti L, Kahane P, Baciu M. Interactive mapping of language and memory with the GE2REC protocol. *Brain Imaging Behav*. 2021 Jun;15(3):1562-1579. doi: 10.1007/s11682-020-00355-x. Erratum in: *Brain Imaging Behav*. 2021 Aug;15(4):2234. doi: 10.1007/s11682-020-00403-6. PMID: 32761343; PMCID: PMC8286228.