

LABORATOIRE / ÉQUIPE D'ACCUEIL

Laboratoire Traitement du Signal et de l'Image (LTSI)

UMR INSERM 1099 - Université de Rennes

Équipe CINETYKS

RESPONSABLE DU LABORATOIRE

Mireille GARREAU (PR Univ. Rennes)

RESPONSABLES DE L'ÉQUIPE D'ACCUEIL

Laurent ALBERA (PR Univ. Rennes) / Fabrice WENDLING (DR Inserm)

LIEU DU STAGE

Université de Rennes – LTSI

Campus Villejean - Bât. 5 / Campus Beaulieu - Bât. 22

ENCADRANTES DU STAGE

Fanny NOURY (MC Univ. Rennes)

Johanne BEZY-WENDLING (MC Univ. Rennes)

CONTACTS

Fanny NOURY

Tél : 02 23 23 48 83

Courriel : fanny.noury@univ-rennes.fr

Johanne BEZY-WENDLING

Tél : 02 23 23 62 20

Courriel : johanne.bezy@univ-rennes.fr

NIVEAU

Master 2/Stage Ingénieur fin d'études

PÉRIODE

Année universitaire 2025-26 : 2^{ème} semestre – Durée 6 mois

TITRE

Apport des réseaux de neurones et de la simulation pour cartographier les protéines cérébrales en Imagerie par Résonance Magnétique (IRM)

CONTEXTE DU STAGE

Pour l'optimisation de l'acquisition et du traitement des images par Imagerie par Résonance Magnétique (IRM), les outils de simulation et d'intelligence artificielle (IA) sont très utilisés pour générer des catalogues/dictionnaires exhaustifs de signaux et d'images. Cette étape préalable à l'acquisition sur sujets sains ou patients est nécessaire pour réduire la quantité de données réelles enregistrées (gain en temps sur la plateforme d'imagerie, confort du patient, gain en temps d'analyse).

Les maladies neurologiques représentent aujourd'hui la principale cause d'invalidité et la deuxième cause de décès dans le monde. Parmi elles, la maladie de Parkinson (MP) montre une très forte augmentation des cas ces dernières années. La MP altère certaines zones du cortex et certaines régions plus profondes, et entraîne des **symptômes moteurs, mais aussi des symptômes non moteurs** (sensoriels, émotionnels et cognitifs).

Le processus neurodégénératif de la maladie de Parkinson (MP) débute au moins vingt ans avant l'apparition des premiers signes moteurs [1,2]. Au cours de cette phase plusieurs mécanismes physiopathologiques ont été mis en évidence comme la formation d'agrégats de protéines dans les tissus cérébraux, ce qui affecte la connectivité cérébrale [3]. La progression du processus neurodégénératif de la MP reste aujourd'hui difficile à prévoir et le **clinicien a besoin de marqueurs d'imagerie** pour prédire l'évolution de la maladie, mais aussi pour améliorer son diagnostic précoce.

Les méthodes d'**IRM-CEST** pour **Chemical Exchange Saturation Transfer** permettent de caractériser de façon quantitative les proportions de différentes protéines présentes en faibles quantités dans un milieu. Elles sont basées sur le principe général du transfert d'aimantation en IRM et exploitent les échanges chimiques existants entre les différentes populations de protons [4]. Cependant, les principales métriques extraites des images CEST classiques ne permettent pas directement de différencier les effets de paramètres importants comme i) la quantité des protéines ou ii) la conformation/agrégation de la protéine.

OBJECTIFS DU STAGE

Les méthodes de *Magnetic Resonance Fingerprint* (MRF) [5] permettent de mieux caractériser les tissus biologiques, en générant des **cartographies indépendantes** pour les différentes propriétés tissulaires. Appliqués à l'IRM-CEST, les principes de la MRF peuvent donner accès à des **cartographies indépendantes pour les paramètres importants comme la quantité de protéine ou sa conformation**. Ces cartographies pourraient constituer des marqueurs quantitatifs de la MP, utiles pour le diagnostic et pour le traitement.

Les méthodes de CEST-MRF consistent à identifier ces paramètres en suivant plusieurs étapes :

- Génération d'un dictionnaire d'images IRM-CEST en faisant varier finement les paramètres du tissu et les paramètres d'acquisition (de façon pseudo-aléatoire ou optimisée), et en utilisant un **simulateur** basé sur les équations de Bloch-McConnell [6]
- Acquisition des images CEST à analyser (*in vitro*, préclinique, clinique) : faite en lien avec un autre stagiaire M2 qui fera les acquisitions d'images.
- Comparaison des images acquises avec les images du dictionnaire grâce à l'utilisation d'un **ensemble de réseaux de neurones interconnectés entre eux** [7]. La phase d'apprentissage des réseaux de neurones sera faite grâce aux images du dictionnaire pour lesquelles l'ensemble des paramètres est connu.
- Application : génération des cartographies quantitatives des paramètres d'intérêt dans le cadre de l'étude de la protéine alpha-synucléine (concentration, taux d'échanges, forme).

Dans le cadre du stage, ces différentes étapes seront mises en œuvre sur des fantômes physiques (tubes contenant des quantités variables de protéine), dans l'IRM en suivant le protocole détaillé proposé dans [8]. Les acquisitions d'images seront réalisées par un autre stagiaire en lien avec les encadrantes.

OUTILS

- Génération du dictionnaire (*Bloch-McConnell-based signal simulator*) à partir du *CEST-MRF package* (*open-py-cest-mrf*) [6].
- Protocole d'acquisition complet défini dans [8].

COMPETENCES

- Un master en physique, simulation/modélisation, informatique ou intelligence artificielle.
- Fortes compétences en programmation (Python, C++, ...)
- Une expérience en *machine learning* (Pytorch), en IRM et/ou en traitement d'images/signaux sera un plus.

REFERENCES

- [1] L.V. Kalia *et al.* (2015) *Lancet*. 386:896-912
- [2] P. Mahlknecht *et al.* (2015) *J Park Dis*. 5:681-97
- [3] D.M Wilson *et al.* (2023) *Cell*. 186:693-714
- [4] J. Zhou *et al.* (2019) *J Magn Reson Imaging*. 50:347-64
- [5] D. Ma *et al.* (2013) Magnetic resonance fingerprinting. *Nature* 495, 187–192
- [6] [GitHub - momentum-laboratory/molecular-mrf](#)
- [7] H. Shmueli *et al.* (2025), Quantitative multi-metabolite imaging of Parkinson's disease using AI boosted molecular MRI, preprint. DOI : 10.48550/arXiv.2507.11329
- [8] N. Vladimirov *et al.* (2025) *Nature Protocols*. 20:3024-3054