

Avis de Soutenance

Madame Aurore SEMEUX-BERNIER

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

Estimation non-invasive par magnétoencéphalographie de la zone épileptogène : une approche par apprentissage automatique

dirigés par Monsieur Christian BENAR et Monsieur Frédéric RICHARD

Soutenance prévue le **mercredi 01 octobre 2025** à 14h00

Lieu : Aix-Marseille Université 27 bd Jean Moulin 13005 Marseille

Salle : de thèse N°2

Composition du jury proposé

M. Christian BENAR	Aix Marseille Université, INSERM, INS	Directeur de thèse
M. Thomas MOREAU	INRIA, CEA, Université Paris-Saclay	Rapporteur
Mme Martine GAVARET	Université Paris Cité,	Rapporteuse
M. Arjan HILLEBRAND	Université d'Amsterdam, UMC,	Examineur
Mme Isabelle MERLET	Univiversité de Rennes, INSERM, LTSI	Examinatrice
M. Frédéric RICHARD	Aix Marseille Université	Co-directeur de thèse
Mme Sophie ACHARD	Université Grenoble Alpes, INRIA CNRS, LJK, STATIFY	Président

Mots- clés : Magnétoencephalographie, Epilepsie pharmacorésistante, analyse en composante indépendante., Traitement du signal, Apprentissage automatique, Classification déséquilibrée

Résumé :

L'épilepsie pharmacorésistante concerne environ 30% des patients. Pour rendre ces patients libres de crises, il est nécessaire de réséquer les zones du réseau épileptique qui génèrent l'activité pathologique. La méthode de référence pour cette évaluation préchirurgicale est l'électroencéphalographie (EEG) intracrânienne (stereotactic-EEG, SEEG), une opération lourde et invasive. Développer des techniques non-invasives pour le diagnostic de l'épilepsie serait donc une avancée majeure pour les patients. La magnétoencéphalographie (MEG) est une méthode non-invasive performante qui permet d'enregistrer les décharges épileptiques (IEDs) survenant entre les crises (période intercritique). Cependant, son analyse est fastidieuse car elle demande l'identification visuelle de chaque IED dans un signal comportant plus de 200 canaux. Les IEDs sont d'ailleurs souvent superposées à des activités cérébrales provenant de différentes sources, ce qui complique leurs localisations. L'analyse en composantes indépendantes (ACI) permet de séparer au niveau des capteurs les différentes sources. Pour retrouver le réseau intercritique il s'agit par cette projection de sélectionner les composantes indépendantes (CI) contenant les IEDs. Notre objectif dans ce projet de thèse est d'utiliser des méthodes de traitement du signal et d'apprentissage machine pour classer automatiquement les CIs en fonction de leurs activités sous-jacentes. Parallèlement à cela, nous voulons aussi évaluer la reproductibilité du réseau intercritique d'une

transformation ACI à une autre sur quelques enregistrements. Pour la classification, nous explorons d'abord l'utilisation de méthodes classiques d'apprentissage automatique, en se basant sur des caractéristiques du signal calculées à priori. Puis, nous testons des méthodes d'apprentissage profond censées retrouver les caractéristiques optimales pour séparer les différentes classes. Dans les deux cas, l'ACI a été calculée et chaque CI a été labélisée par un expert. Les modèles sont évalués par validation croisée en utilisant le F1-score, une métrique adaptée aux problèmes de classification déséquilibrés. Suite à l'étude de la reproductibilité du réseau intercritique dans l'ICA, nous proposons des métriques liées à sa stabilité. Grâce aux études de classification nous montrons qu'il est possible de retrouver le réseau intercritique dans l'ACI avec un F1-score supérieur à 0.5 pour la moitié des sujets avec les méthodes d'apprentissage machine classique et pour les deux-tiers des sujets avec les méthodes d'apprentissage profond. En particulier, nous proposons un nouveau protocole se basant sur l'utilisation des méthodes de regroupements automatique d'événements préalablement détectés dans les CIs. Nous montrons l'intérêt de la transformée en ondelettes, qui permet de diminuer le nombre de paramètres à apprendre des modèles tout en capturant dans le signal des informations multi-échelles. De façon intéressante, nous trouvons des moyens pour quantifier la différence faites par les experts entre les CIs ayant une activité épileptique évidente - pour laquelle aucun doute n'est soulevé - et, celles ayant des décharges épileptiques moins claires. Nous pouvons aussi classer avec des F1-score très élevés (supérieur à 0.9 pour 90% des sujets) les composantes artéfactuelles, en utilisant un modèle assez simple de forêt aléatoire. Dans leur ensemble, les travaux de cette thèse démontrent le potentiel des méthodes d'apprentissage automatique dans l'évaluation pré-chirurgicale des signaux MEG. En effet, elles facilitent le travail visuel des cliniciens, pour l'instant très fastidieux. Ces techniques pourraient aussi permettre la création d'un indice d'épilepsie sur des données non-invasive. Toutefois, au vu des questions éthiques, il est essentiel que des études à plus grande échelles (multicentriques), qui prennent en compte les problématiques légales (protection des données), soient conduites.

LE DOYEN

Georges LEONETTI