



## Stage de Master 2

# Evaluation d'algorithmes de localisation de sources en Magnéto-encéphalographie, sur données simulées et réelles

### Résumé

Ce stage se place dans le contexte du projet ANR BMWs, dont l'objectif est de développer de nouvelles approches pour la localisation de sources corticales à partir d'enregistrements conjoints EEG/MEG/SEEG.

Il s'agira principalement d'étudier, mettre en œuvre et comparer différentes méthodes de régularisation pour le problème inverse EEG/MEG, et les tester sur des données simulées ainsi que des données réelles.

Ce stage, d'une durée de 6 mois (à partir de mars 2023), s'adresse principalement à des étudiants de master 2 ou de dernière année d'école d'ingénieurs, avec une spécialisation en mathématiques appliquées ou traitement des signaux ou des images. Des compétences en optimisation, statistique et problème inverse seront particulièrement utiles.

### Contexte

Ce stage se place dans le contexte du projet ANR BMWs ([Bayesian Meets Wavelets in spacetime](#)), dont l'objectif est de développer de nouvelles approches pour la localisation de sources corticales à partir d'enregistrements conjoints EEG/MEG/SEEG.

L'imagerie cérébrale électromagnétique se base généralement sur des capteurs externes : électrodes sur le scalp pour des mesures de potentiel électrique, ou capteurs SQUID pour des mesures de champ magnétique. Dans tous les cas, l'activité mesurée est le résultat de la propagation à travers différents tissus d'un courant électrique localisé sur le cortex, qui n'est pas accessible directement.

La *localisation de sources* vise à reconstruire, ou au moins localiser, l'activité cérébrale sur le cortex à partir de ces mesures externes. Ceci conduit à des problèmes inverses linéaires (dans le cas de modèles de sources distribuées) ou non-linéaires (méthodes de localisation de dipôles) extrêmement sous-déterminés, ce qui pose de difficiles problèmes d'identifiabilité (voir [1,2]). De nombreuses approches ont été proposées dans la littérature, qui sont difficiles à évaluer objectivement compte tenu de la sous-détermination du problème.

Dans le cadre du projet BMWs, un certain nombre d'approches basées sur des formulations variationnelles et Bayésiennes ont été développées. Le but du stage de mettre en place un protocole de comparaison objective, basé sur des données simulées mais aussi des données réelles, exploitant des enregistrements intra-cérébraux.

## Objectifs du stage

On se focalisera sur les modèles de sources distribuées, exprimant les observations sous la forme de combinaisons linéaires de valeurs échantillonnées de la densité de courant sur le cortex. Les approches développées au sein de l'équipe sont basées sur des approches variationnelles (optimisation non-différentiable, voir par exemple [3,9]) et des techniques Bayésiennes (*Sparse Bayesian Learning*, voir [6]), combinées à des outils de modélisation géométrique de fonctions définies sur des surfaces ou des graphes [4,5].

Le stage débutera par une étude bibliographique sur la problématique et les approches classiques, et la prise en main des outils développés dans l'équipe, avant d'aborder des développements nouveaux.

L'objectif de ce stage est double. Il s'agira de

- mettre en place des outils de validation objective de résultats de localisation de sources MEG sur données simulées, et les utiliser pour évaluer la qualité de résultats obtenus par différentes approches. Il s'agit à la fois d'outils classiquement utilisés en apprentissage machine, et de mesures de qualité plus spécifiquement adaptées au problème inverse MEG (voir par exemple [7]),
- étudier le problème de validation de résultats sur données réelles utilisant des mesures intracrânielles (SEEG, voir par exemple [8]), et mettre en place un protocole de comparaison de méthodes exploitant ces données intracrânielles.

Le stagiaire travaillera principalement sur des données MEG et SEEG fournies par équipe DYNAMAP de l'INS, il sera également amené à générer des données synthétiques par simulation. Il pourra également, si le temps le permet, aborder le problème de reconstruction de sources à partir de données multimodales (par exemple, MEG/EEG, ou MEG/SEEG).

## Informations pratiques

Le stage aura une durée de 4 à 6 mois, à partir de Mars ou Avril 2023, et donnera lieu à un défraiement (au taux standard de l'Université d'Aix-Marseille, environ 600€ par mois).

Il se déroulera au sein de l'équipe [Signal-Image](#) de l'Institut de Mathématiques de Marseille (I2M, UMR 7373), en étroite collaboration avec l'équipe [DYNAMAP](#) de l'Institut de Neurosciences des Systèmes (INS). Dans la mesure du possible il se déroulera dans les locaux des deux laboratoires (campus de Château-Gombert, et Hôpital de La Timone).

Les encadrants seront

- B. Torrèsani (Institut de Mathématiques de Marseille)
- S. Mokhtari (Institut de Mathématiques de Marseille)
- J.M. Badier (Institut de Neurosciences des Systèmes, Marseille)
- C. Bénar (Institut de Neurosciences des Systèmes, Marseille)

Des interactions régulières avec les membres du projet BMWs sont prévues, sous forme de groupes de travail en ligne ou en présentiel, et visites mutuelles.

Les candidat.e.s sont invité.e.s à contacter [bruno.torresani@univ-amu.fr](mailto:bruno.torresani@univ-amu.fr) et [samy.mokhtari@univ-amu.fr](mailto:samy.mokhtari@univ-amu.fr) ; les candidatures doivent comporter un CV, une lettre de motivation, des relevés de notes (master/école d'ingénieur uniquement) ainsi que des lettres de recommandation.

## Références

- [1] Adde G., Clerc M. & Keriven R. (2005). Imaging methods for MEG/EEG inverse problem. *Int. J. Bioelectromagnet.* 7, pp. 111–114.
- [2] Baillet A., Mosher J. C. & Leahy R.M. (2001). Electromagnetic brain mapping. *IEEE Signal Process. Magaz.* 18, pp 14–30
- [3] Becker H., Albera L., Comon P., Nunes J.-C., Gribonval R., Fleureau J., Guillotel P. & Merlet, I. (2017). Sissy: an efficient and automatic algorithm for the analysis of EEG sources based on structured sparsity. *NeuroImage*, 157, pp.157-172.
- [4] Castell F., Avena L., Gaudilliere A. & Melot C. (2020). Intertwining wavelets or Multiresolution analysis on graphs through random forests. *Applied and Computational Harmonic Analysis* 48:3, pp. 949-992.
- [5] Hammond D.K., Vandergheynst P. & Gribonval R. (2011). Wavelets on graphs via spectral graph theory, *Applied and Computational Harmonic Analysis*, 30 :2, pp. 129-150.
- [6] Hashemi A, Cai C, Kutyniok G, Müller K.-R., Nagarajan S.-S. & Haufe S (2021 ). Unification of sparse Bayesian learning algorithms for electromagnetic brain imaging with the majorization minimization framework, *NeuroImage*, 239, 118309,
- [7] Hauk O., Stenroos M. & Treder M.S. (2022). Towards an objective evaluation of EEG/MEG source estimation methods – The linear approach, *NeuroImage*, 255, 119177,
- [8] Lagarde S, Roehri N, Lambert I, Trebuchon A, McGonigal A, Carron R, Scavarda D, Milh M, Pizzo F, Colombet B, Giusiano B, Medina Villalon S, Guye M, Bénar CG & Bartolomei F. (2018). Interictal stereotactic-EEG functional connectivity in refractory focal epilepsies. *Brain*. 141 :10, pp. 2966-2980.
- [9] Li Y., Qin J., Hsin Y. L., Osher S., & Liu W. (2016). s-SMOOTH: Sparsity and Smoothness Enhanced EEG Brain Tomography. *Frontiers in neuroscience*, 10, p. 543