OFFRE DE STAGE – MASTER/ECOLE D'INGENIEUR

Tomographie par impédance électrique pour la localisation de microrobots magnétiques : caractérisation physique et traitement des données par apprentissage automatique

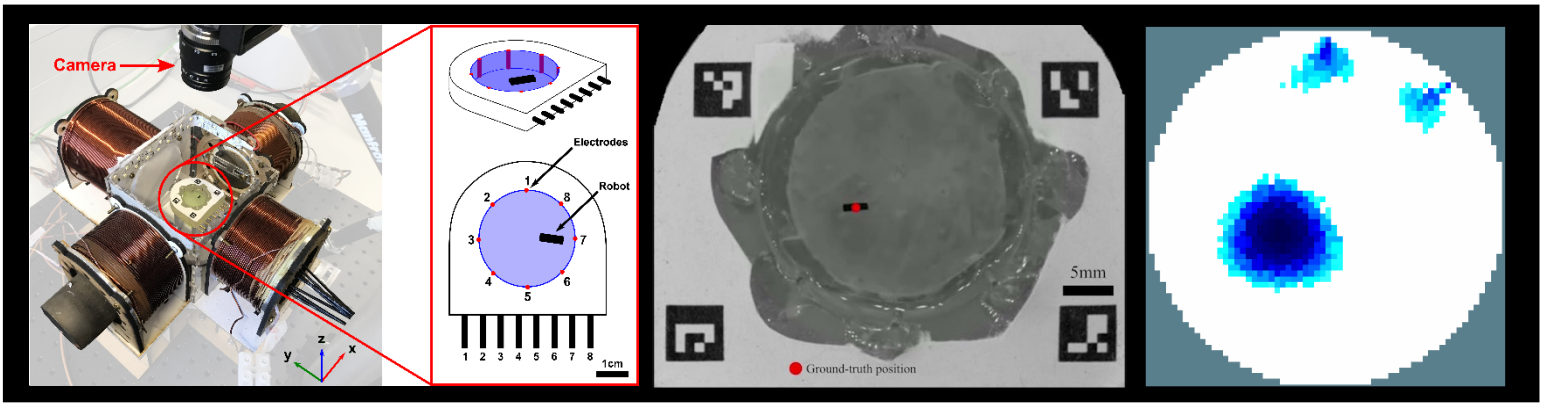


Figure 1 : Localisation d'un robot magnétique par EIT [FEMTO-ST - Max Planck Institute, 2022]

Laboratoire : Institut FEMTO-ST, affilié au CNRS, à SupMicroTech-ENSMM et à l'Université Marie et Louis Pasteur.

Contexte scientifique

La tomographie par impédance électrique (Electrical Impedance Tomography, EIT) est une technique d'imagerie non invasive qui permet de reconstruire la distribution des propriétés électriques d'un milieu à partir de mesures d'impédance réalisées sur un ensemble d'électrodes. Elle présente un intérêt particulier pour la localisation et le suivi d'objets à petite échelle, notamment dans des environnements où les techniques d'imagerie conventionnelles sont difficiles à mettre en œuvre ou présentent des limites.

Dans le cadre de nos travaux, nous développons une approche fondée sur la tomographie par impédance électrique pour localiser des microrobots actionnés à distance par champ magnétique. Cette approche repose sur la détection des perturbations électriques induites par la présence et le déplacement des objets dans un environnement instrumenté par un réseau d'électrodes.
Des travaux préliminaires ont déjà permis de démontrer le potentiel de cette approche (https://ieeexplore.ieee.org/document/9695494), et ces recherches se poursuivent actuellement dans le cadre d'une thèse de doctorat (Anes Boulmerdj).

Nous souhaitons aujourd'hui approfondir plusieurs aspects de cette technologie afin d'améliorer les capacités de détection et de localisation, mais également d'explorer de nouvelles possibilités offertes par l'EIT à l'échelle micrométrique.

Objectifs du stage

Le stage pourra s'articuler autour de deux grandes orientations scientifiques et techniques, en fonction du profil, des compétences et des intérêts du candidat.

Axe 1 – Caractérisation physique et exploration de nouvelles modalités d'imagerie par EIT

L'objectif de cet axe est d'étudier l'influence de différents phénomènes physiques sur les mesures d'impédance et d'explorer leur utilisation pour enrichir les capacités de caractérisation et d'imagerie du système.

Plusieurs pistes pourront être envisagées :

- Influence de la température sur les mesures d'EIT : étudier comment les variations thermiques perturbent les mesures d'impédance et affectent la précision de la localisation des objets.
- Imagerie thermique par EIT : explorer la possibilité de cartographier des variations spatiales de température à partir des mesures d'impédance. Cette approche pourrait notamment ouvrir de nouvelles perspectives pour l'observation de phénomènes thermiques à petite échelle, par exemple sous pince optique.
- Caractérisation fréquentielle des objets : étudier l'évolution de leur signature électrique en fonction de la fréquence afin de distinguer différents types d'objets ou de matériaux.
- Cartographie des propriétés électriques complexes : explorer la possibilité de reconstruire des variations locales de capacité et d'inductance, en complément des variations de conductivité et de résistivité.

Cet axe comportera une composante de modélisation numérique sous COMSOL Multiphysics, suivie d'une validation expérimentale sur le dispositif EIT existant. Pour l'étude thermique, le système pourra notamment être complété par une source de chaleur contrôlée et une caméra thermique permettant de comparer les mesures d'EIT aux variations de température effectivement observées.

Axe 2 – Traitement des données et apprentissage automatique pour la localisation des objets

L'objectif de cet axe est de développer des méthodes de traitement du signal et d'apprentissage automatique permettant d'exploiter efficacement les mesures d'impédance pour détecter et localiser les objets.

Deux configurations expérimentales pourront être considérées :

- Traitement des données EIT obtenues par application successive des différentes stimulations électriques : développer des algorithmes capables d'exploiter les mesures acquises successivement pour estimer la position d'un objet et suivre ses déplacements au cours du temps sans passer par la reconstruction d'images.
- Traitement des données multivoies haute vitesse : adapter ou développer des méthodes de traitement afin de déterminer la position d'un objet à partir de mesures acquises simultanément par une carte électronique FPGA 16 voies, reposant sur un multiplexage fréquentiel.

Différentes approches pourront être explorées, notamment les méthodes d'apprentissage supervisé, les réseaux de neurones ou les algorithmes de régression et de classification. Une attention particulière sera portée à la robustesse des méthodes développées, à leur capacité de généralisation et à leur compatibilité avec les contraintes d'acquisition en temps réel.
Nous disposons déjà d'une expérience dans le développement de méthodes d'apprentissage automatique pour le suivi de particules à partir de mesures d'impédance, ce qui permettra d'assurer un encadrement scientifique et technique adapté à cet axe (https://pubs.rsc.org/lc/article-abstract/26/18/5022/1292262/Impedance-based-particle-tracking-at-micrometer).

Missions principales

Selon l'orientation retenue, le stagiaire pourra être amené à :

- Réaliser une étude bibliographique sur les méthodes de tomographie par impédance électrique et les approches envisagées.
- Prendre en main le dispositif expérimental et les outils de mesure existants.
- Mettre en place des simulations numériques sous COMSOL Multiphysics et/ou développer des algorithmes de traitement de données.
- Concevoir et réaliser des expériences pour caractériser les phénomènes physiques étudiés ou constituer une base de données expérimentale.
- Développer et évaluer des méthodes de traitement du signal, de reconstruction ou d'apprentissage automatique.
- Analyser les résultats et proposer des améliorations du dispositif ou des méthodes développées.
- Présenter les résultats sous forme de rapports et de présentations scientifiques.

Profil recherché

Étudiant en Master ou en école d'ingénieur, avec une formation en mécatronique, instrumentation, électronique, traitement du signal, automatique, robotique ou informatique.

Les compétences et intérêts suivants seront particulièrement appréciés, selon l'orientation du stage :

- Pour l'axe physique : électromagnétisme, physique des matériaux, instrumentation, simulation multiphysique (COMSOL), conception et réalisation expérimentale.
- Pour l'axe traitement des données : programmation, traitement du signal, apprentissage automatique (machine learning), analyse de données et éventuellement traitement de données en temps réel.
- La curiosité scientifique, l'autonomie, le goût pour le travail expérimental et la capacité à aborder des problématiques interdisciplinaires seront des qualités importantes.

Environnement scientifique et encadrement

Le stage s'inscrit dans un projet de recherche à l'interface entre instrumentation, physique, traitement du signal et microrobotique. Le stagiaire bénéficiera d'un environnement expérimental existant, de moyens de simulation et d'un encadrement par une équipe disposant de compétences complémentaires en microrobotique, instrumentation, tomographie par impédance électrique et apprentissage automatique.

Résultats attendus

À l'issue du stage, le travail devra permettre de démontrer la faisabilité d'une ou plusieurs des approches étudiées, de mieux comprendre les phénomènes physiques impliqués ou d'améliorer les performances de localisation des objets. Il pourra également constituer une première étape vers de nouvelles méthodes de caractérisation et d'imagerie électrique à l'échelle micrométrique.

Début du stage et durée : 5 à 6 mois à partir de février ou mars 2027

Lieu : Institut FEMTO-ST, Besançon, France

Salaire : gratification de stage de 4,50€ par heure

Candidatures : Les candidatures sont à envoyer avec un CV, les relevés de notes des deux dernières années et une lettre décrivant votre motivation et votre projet à : Hugo Daguerre, hugo.daguerre [at] femto-st.fr