

Sujet de thèse de doctorat 2024-2027
Laboratoire LEMTA - Equipe Transverse « IRM pour l'ingénierie »
Université de Lorraine - Ecole doctorale SIMPPE

TITRE DU PROJET DE RECHERCHE

« Optimisation des méthodes de vélocimétrie par résonance magnétique pour l'étude d'écoulements »

ENCADREMENT

Jean-Christophe Perrin (directeur) – Sébastien Leclerc / Laouès Guendouz / Tien Dung Le / Christophe Morlot

CONTEXTE DE L'ETUDE

L'équipe transverse « IRM pour l'ingénierie » du LEMTA développe un axe de recherche concernant le développement de méthodes de mesure de champs de vitesse (vélocimétrie par résonance magnétique – MRV) pour des applications dans le champ des milieux poreux, du transport multi-phases, des écoulements de fluides complexes, des procédés...etc.

Le travail de thèse de Feryal Guerroudj (2019-2022) a permis de mettre en évidence des limitations dans l'utilisation des méthodes « standards » d'IRM pour la caractérisation d'écoulements à l'échelle submillimétrique [1-3] (figure 1). D'autres limites se manifestent lorsque les écoulements sont instationnaires car le temps nécessaire à la mesure (quelques millisecondes) est trop grand en comparaison avec l'échelle de temps caractéristique des phénomènes sondés. Afin de mieux cerner ces limites, un travail de simulation numérique du comportement de l'aimantation nucléaire basé sur les équations de Bloch a été initié dans le cadre d'un stage de niveau Master II [4]. Les résultats permettent d'ores et déjà de simuler une partie des mesures mais la simulation doit être complétée pour pouvoir tenir compte de toute la complexité des méthodes MRV.

Par ailleurs, l'installation d'un nouvel appareil IRM (premier semestre 2024) va ouvrir de nouvelles possibilités de programmation de séquences de mesure, plus adaptées aux besoins du laboratoire (software open source, collaboration avec le fabricant).

PROPOSITION DE PROGRAMME

Le travail de thèse consistera dans un premier temps à développer un outil de simulation des expériences « standards » de vélocimétrie IRM utilisant des gradients de champ bipolaires (continuité du travail de Master II [4]). Cet outil, qui devra être validé par des mesures sur le nouvel imageur 3T et sur le système de micro-imagerie à 14.1T de la plateforme de RMN de l'Université de Lorraine, permettra de cerner de façon quantitative les limites des méthodes employées actuellement (suite de la thèse [3]).

Dans un second temps, le travail s'orientera vers l'optimisation des mesures par la programmation et l'utilisation de nouvelles séquences. Une des pistes envisagées est celle de la théorie du contrôle optimal. Cette approche, déjà introduite dans les domaines de la RMN [5] et de l'IRM médicale [6] commence à être appliquée à la MRV. Les premiers travaux utilisant le contrôle optimal en vélocimétrie par IRM sont encourageants car ils démontrent que le temps de mesure peut être raccourci par un encodage de la vitesse des molécules directement pendant l'impulsion RF initiale [7] et non pendant les impulsions de gradient de champ bipolaires.

RÉFÉRENCES

- [1] F. Guerroudj *et al.*, "3D magnetic resonance velocimetry for the characterization of hydrodynamics in microdevices: Application to micromixers and comparison with CFD simulations," *Chemical Engineering Science*, vol. 269, Apr 2023, Art no. 118473, [doi: 10.1016/j.ces.2023.118473](https://doi.org/10.1016/j.ces.2023.118473).

- [2] F. Guerroudj *et al.*, "Low-cost MRI devices and methods for real-time monitoring of flow and transfer phenomena in milli-channels," *Pure and Applied Chemistry*, 2023 Jun 2023, [doi: 10.1515/pac-2023-0105](https://doi.org/10.1515/pac-2023-0105).
- [3] Feryal Guerroudj, thèse de l'Université de Lorraine (2022). https://docnum.univ-lorraine.fr/public/DDOC_T_2022_0273_GUERROUDJ.pdf
- [4] Vincenot, M. "Simulation de micro-mélanges par IRM". Rapport de stage de Master II Energie, Université de Lorraine, Septembre 2023.
- [5] Tosner, Z. et al., "Optimal control in NMR spectroscopy: Numerical implementation in SIMPSON", *Journal of Magnetic Resonance*, vol.197, 2009, 120-134.
- [6] Van Reeth, E. et al. Optimal control design of preparation pulses for contrast optimization in MRI, *Journal of Magnetic Resonance*, vol. 279, 2017, 39-50.
- [7] Jouzdani, M. A. *et al.*, "Optimal control flow encoding for time-efficient magnetic resonance velocimetry", *Journal of Magnetic Resonance*, vol. 352, 2023, 107461.

CONDITIONS

Le travail de thèse se déroulera au laboratoire LEMTA à Vandoeuvre-lès-Nancy, au sein de l'équipe « IRM pour l'ingénierie », comportant actuellement 6 chercheurs et enseignants-chercheurs, 2 ingénieurs, 1 doctorante, 1 postdoctorante et 3 stagiaires de Master 2 (<https://lemta.univ-lorraine.fr/irm-ingenierie/>).

Une collaboration avec le laboratoire CREATIS (INSA Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, UMR CNRS 5220, Inserm U1294, Université Jean Monnet) sera envisagée pour le travail sur l'utilisation de l'approche utilisant le contrôle optimal (<https://www.creatis.insa-lyon.fr/site/fr>).

Le laboratoire LEMTA a accès à deux imageurs IRM (2.34T et 14.1T) de la plateforme de RMN de l'Université de Lorraine (<https://crm2.univ-lorraine.fr/plateformes/plateforme-rmn/>) et est sur le point d'acquérir un nouvel appareil à 3T, en cours d'installation dans ses locaux.

Le financement de la thèse est un contrat doctoral (ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche) d'une durée de trois ans. La rémunération, fixée par la LPR, sera comprise entre 2100€ et 2300€ brut. La date de prise de fonction est fixée au 1^{er} octobre 2024.

PROFILS RECHERCHES

Les candidat(e)s doivent posséder (ou posséderont au cours de l'année universitaire 2023-2024) un diplôme de Master 2, d'ingénieur (ou équivalent) en physique, ingénierie, génie chimique, génie des procédés ou dans une discipline connexe et auront un niveau de français et d'anglais intermédiaire. Des connaissances en RMN et/ou IRM et une expérience en laboratoire ne sont pas obligatoires, mais seront considérées comme des atouts.

PROCEDURE DE CANDIDATURE

Les candidat(e)s doivent contacter directement les encadrants de la thèse par e-mail (jean-christophe.perrin@univ-lorraine.fr) et fournir un CV détaillé, une lettre de motivation et une liste d'au moins deux références pouvant être jointes par téléphone ou e-mail. La date limite de candidature est fixée au 28 juin 2024.