



Doctorant (H/F)

Caractérisation et modélisation d'instabilités non-linéaires dans les plasmas contenant des nanoparticules

Directeurs de thèse

Dr. Maxime MIKIKIAN, GREMI, Orléans
maxime.mikikian@univ-orleans.fr
<https://www.univ-orleans.fr/fr/gremi/maxime-mikikian>

Dr. Nils Berglund, IDP, Orléans
nils.berglund@univ-orleans.fr
<https://www.idpoisson.fr/berglund/>

Co-encadrant

Dr. Julien Barré, IDP, Orléans
julien.barre@univ-orleans.fr
<https://www.idpoisson.fr/barre/>

Localisation

GREMI, 14 rue d'Issoudun, 45067 Orléans
IDP, Bât. Math., rue de Chartres, 45067 Orléans

Date limite de candidature : lundi 16 juin 2025 23:59:00 heure de Paris

CV + lettre de motivation à maxime.mikikian@univ-orleans.fr

Date de début de la thèse : 1^{er} octobre 2025

Rémunération : 2200,00 € brut mensuel

Section(s) CN : 10 - Milieux fluides et réactifs : transports, transferts, procédés de transformation
41 - Mathématiques et interactions des mathématiques

Importance du sujet :

Ce sujet a été sélectionné par la MITI (Mission pour les Initiatives Transverses et Interdisciplinaires) du CNRS dans le cadre de l'appel à projets 80PRIME - 2025.

Ce sujet interdisciplinaire est à l'interface de la physique, de l'ingénierie et des mathématiques, champs couverts par CNRS Ingénierie et CNRS Mathématiques. Il permet d'approfondir des aspects liés au contrôle des procédés plasmas fortement impliqués dans l'industrie, à la description mathématique des systèmes dynamiques stochastiques et à la compréhension des phénomènes hors équilibre en améliorant leur contrôle et leur prédiction. L'extension de modèles mathématiques utilisés pour la description de systèmes oscillants en chimie, biologie et climatologie au domaine des plasmas permettrait de mieux comprendre et maîtriser l'origine de ces instabilités. Ce nouveau domaine d'application permettra en retour d'améliorer la compréhension et le caractère prédictif de ces systèmes d'équations impliqués dans de nombreux domaines, notamment sur le rôle du bruit entraînant des perturbations encore mal appréhendées.

Description du sujet de thèse

Ce projet fait suite à la découverte par le GREMI de l'existence d'instabilités non linéaires de type MMOs (Mixed Mode Oscillations) dans les plasmas froids contenant des nanoparticules [1-2]. Ces oscillations ont été observées dans de rares expériences de plasmas créés par décharge continue sans nanoparticules, mais n'ont jamais fait l'objet d'études précises dans les plasmas dits "poussiéreux". Le GREMI dispose ainsi d'une expérience plasma unique permettant d'obtenir et d'étudier ces oscillations particulières. Leur modélisation sera envisagée grâce à une collaboration interdisciplinaire avec l'IDP basé sur le même campus. Le couplage entre expériences plasma et

[1] M. Mikikian, M. Cavarroc, L. Couëdel, Y. Tessier, L. Boufendi, *Mixed-Mode Oscillations in Complex Plasma Instabilities*, Phys. Rev. Lett. **100**, 225005 (2008), <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00286650>

[2] M. Mikikian, L. Couëdel, M. Cavarroc, Y. Tessier, L. Boufendi, *Threshold phenomena in a throbbing complex plasma*, Phys. Rev. Lett. **105**, 075002 (2010), <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00502767>

approche mathématique est particulièrement original et ambitieux. Des avancées dans cette étude auraient un double impact à la fois pour les plasmas poussiéreux qui verraient émerger un système d'équations différentielles pouvant simuler les observations, et pour la modélisation mathématique des systèmes dynamiques qui verrait un nouveau champ d'application pour ses équations.

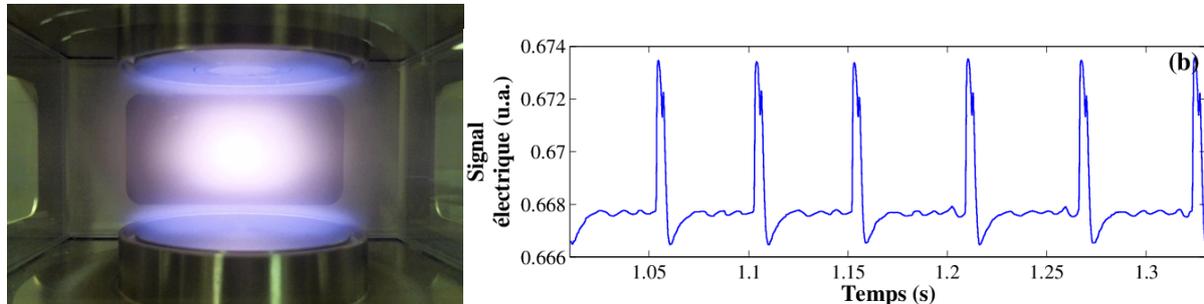


Fig. 1. (a) Plasma basse pression utilisé pour synthétiser des nanoparticules qui déclenchent l'apparition d'instabilités non linéaires observées en (b) sur le courant de décharge et mettant en évidence la présence d'oscillations multimodales (MMOs)

Dans ce contexte, le travail de thèse abordera à la fois les aspects expérimentaux et théoriques des MMOs. Au GREMI, le/la doctorant(e) créera un plasma basse pression à l'intérieur duquel il synthétisera des nanoparticules et il/elle recherchera les conditions expérimentales optimales qui permettent de contrôler les instabilités. Il/elle réalisera notamment les expériences avec une nouvelle alimentation radiofréquence en cours d'installation. Il/elle prendra en main la partie diagnostic qui consiste à mesurer le courant de décharge et à coupler ses variations avec de l'imagerie rapide du plasma. Il/elle développera des programmes de traitement d'images pour extraire les évolutions du plasma et du nuage de nanoparticules durant les instabilités. Il/elle se familiarisera avec les méthodes de représentation des données dynamiques et recherchera une méthode de classement des différents types de MMOs observées. Il/elle réalisera les expériences pour différents gaz plasmagènes (Ar, Kr, Xe), afin d'identifier le rôle précis des ions.

En parallèle, à l'IDP, le/la doctorant(e) se familiarisera avec les approches mathématiques des MMOs [3]. L'IDP travaille actuellement sur cette problématique et les premières bases de l'étude sont posées. Le/la doctorant(e) cherchera le système d'équations différentielles le plus adapté permettant de reproduire ses propres expériences. Il/elle s'attardera notamment sur l'introduction de grandeurs plasma réelles dans les équations. Il/elle envisagera le développement de nouveaux types de modèles mathématiques, de type hyperbolique, ou hyperbolique-parabolique, avec une structure lent-rapide, pour décrire des mouvements périodiques des fronts de densité.

Ce projet fortement interdisciplinaire donnera une double, voire triple, compétence au (à la) doctorant(e) qui développera une expertise en physique expérimentale des plasmas froids, en théorie des plasmas poussiéreux, et en mathématiques appliquées (équations différentielles ou aux dérivées partielles, analyse numérique).

Contexte de travail

Le/la doctorant(e) travaillera à Orléans dans 2 laboratoires distant de seulement 1 km : le Groupe de Recherches sur l'Energétique des Milieux Ionisés (GREMI, UMR7344 CNRS-Université d'Orléans) et l'Institut Denis Poisson (IDP, UMR7013 CNRS-Université d'Orléans-Université de Tours). Il/elle sera intégré(e) aux communautés des doctorants des deux laboratoires,

[3] N. Berglund et al., *Mixed-Mode Oscillations and Interspike Interval Statistics in the Stochastic FitzHugh-Nagumo equations*, *Nonlinearity* **25**, 2303 (2012), <https://arxiv.org/pdf/1105.1278.pdf>



et pourra s'il/elle le souhaite, effectuer des missions complémentaires d'enseignement au département de physique ou au département de mathématique, selon son profil.

Les 2 laboratoires étant sur le même campus, cela facilitera les échanges entre le/la doctorant(e) et les chercheurs membres du projet. Il est important que le/la doctorant(e) puisse mener les parties expérimentale et de modélisation en parallèle afin que l'expertise acquise sur le volet modélisation viennent enrichir la partie expérimentale. Cela permettra notamment de rechercher des signatures bien spécifiques, issues des modèles, dans les données expérimentales. De façon réciproque, les observations et dépendances expérimentales orienteront la définition du système d'équations le plus approprié.

Contraintes et risques

Le GREMI est un laboratoire en ZRR (Zone à Régime Restrictif), et conformément à la réglementation, le recrutement ne sera effectif qu'après accord du Haut Fonctionnaire de Défense et de Sécurité.

Profil recherché

Ce sujet fortement interdisciplinaire requiert un/une candidat(e) ayant de bonnes facultés d'adaptation et étant attiré(e) à la fois par la physique expérimentale des plasmas froids et par une approche plus théorique concernant l'analyse mathématique de systèmes d'équations différentielles.

Le/la candidate pourra ainsi avoir un profil d'expérimentateur(trice) en plasmas froids de décharge souhaitant également s'investir dans la manipulation d'équations complexes, ou un profil de mathématicien(ne) appliqué(e) souhaitant s'engager en physique expérimentale.

Pour mener à bien ce projet, le/la candidat(e) devra également avoir des qualités de curiosité, d'autonomie, et rédactionnelles (français et/ou anglais). Le caractère interdisciplinaire du sujet requiert également une forte motivation, des qualités organisationnelles et un bon esprit de synthèse.