

Etude des structures en rotation dans les plasmas $E \times B$ et de leur implication sur le transport des particules chargées

Study of rotating structures in $E \times B$ plasmas and their implication for the transport of charged particles

Les plasmas sont des gaz ionisés composés de particules neutres et chargées. La présence de champs électrique E et magnétique B croisés induit une dérive des particules chargées dans la direction $E \times B$. En l'absence de collisions, les particules chargées sont piégées le long des lignes de champ magnétique tout en dérivant dans la direction $E \times B$. Un confinement des électrons efficace est obtenu avec une géométrie cylindrique pour laquelle la dérive $E \times B$ est dans la direction azimutale (on parle de dérive fermée). Dans les plasmas basse pression, la configuration $E \times B$ augmente le temps de résidence des électrons dans la source et permet de soutenir l'ionisation par impact électronique. La configuration à dérive fermée se retrouve dans de nombreuses applications des plasmas froids hors équilibre : propulseurs de Hall, sources d'ions, accélérateurs de particules, décharges magnétron, jauge Penning, etc. Ces configurations $E \times B$ sont responsables d'une rotation azimutale du plasma et sont très favorables à la formation d'instabilités permettant un transport des particules chargées au travers du champ magnétique. Bien que ces questions soient centrales dans le contexte des plasmas de fusion, les instabilités $E \times B$ et le transport associé sont encore mal connus et peu décrits dans les plasmas froids hors équilibre (où la présence d'ions positifs pas ou faiblement magnétisés et de collisions entre particules chargées et neutre conduit à des phénomènes très spécifiques). Il est donc important de déterminer les mécanismes à l'origine de ces instabilités ainsi que leur rôle sur le transport des particules chargées (électrons et ions). Ces dernières années, sous l'impulsion de laboratoires français dont le LAPLACE, la communauté des plasmas froids hors équilibre partiellement magnétisés s'est fortement mobilisée et s'est organisée au niveau international autour de la vérification des résultats de modèles via la proposition et la publication de benchmarks de référence. Il est maintenant indispensable de réaliser un effort comparable au niveau expérimental en définissant une source plasma de référence qui aura vocation à devenir la référence au niveau international. C'est dans ce cadre que s'inscrit cette thèse. Cette expérience (projet IRENE, InstRumentation et analyse d'une source pENning de référence) est actuellement en cours de fabrication. Elle sera transportable, amenée à se déplacer dans différents laboratoires français, et elle sera localisée au LAPLACE pendant la thèse. Il s'agit d'une colonne plasma magnétisée modulable spécialement conçue pour y implémenter différents diagnostics complémentaires (sondes électrostatiques, sondes pariétales, caméra rapide, fluorescence induite par laser, tomographie, Diffusion Thomson collective, etc.).

Les premiers résultats de simulation sur une source magnétisée dont la géométrie est proche de celle de l'expérience IRENE montrent que des structures radiales se déplaçant dans la direction azimutale se développent et permettent le transport des électrons et des ions vers les parois latérales. Ces structures (apparition, forme, vitesse de rotation, spectrogramme) et leurs effets sur le plasma (répartition du potentiel et transport des particules chargées) dépendent des paramètres tels que la pression et l'intensité du champ magnétique. Il s'agira pendant la thèse de se focaliser sur l'identification et la caractérisation de ces structures en rotation et leurs effets sur le transport des ions. Les évolutions spatio-temporelles de la densité plasma et de la température électronique seront déterminées par un réseau de sondes électrostatiques, et les fluctuations du potentiel plasma (proche de la paroi) et du flux d'ions à la paroi seront déterminées à l'aide de sondes pariétales distribuées axialement et selon l'azimute. Une analyse spectrale de ces signaux par décomposition en ondelettes est envisagée. Ces mesures électriques pourront être complétées par de la fluorescence induite par laser sur les ions afin de déterminer les fonctions de distribution en vitesse. L'ensemble de ces données expérimentales sera systématiquement confronté aux résultats de simulation et participera à améliorer la compréhension de la physique des instabilités dans les décharges $E \times B$ et de leurs effets sur le transport des particules chargées.

Connaissances et niveau requis : goût pour le travail expérimental, très bonnes connaissances en physique des plasmas

Profil du doctorant : Master 2 ou Ecole d'Ingénieur

Direction de thèse : Laurent GARRIGUES, DR CNRS, LAPLACE, garrigues@laplace.univ-tlse.fr

Co-direction : Freddy GABORIAU, MCU UT3, LAPLACE, gaboriau@laplace.univ-tlse.fr

Co-encadrement : Alexandre ESCARGUEL, MCU Aix-Marseille, PIIM et Gwenaël FUBIANI, DR CNRS, LAPLACE

COLLABORATION(s) ACADEMIQUE(s) ou INDUSTRIELLE(s) sur ce sujet : projet fédérateur au niveau national (GdR EMILI, CNRS-INSIS)

FINANCEMENT : Contrat doctoral, 2100 € brut/mois