



DEPARTEMENT DE PHYSIQUE INSTRUMENTATION ENVIRONNEMENT ESPACE

DPHY

Soutenance de thèse - JEAN PORTO HERNANDEZ
ASTRONOMIE ET ASTROPHYSIQUE

Lundi 18 octobre 2021 à 14h00

Simulation Cinétique d'un Plasma Magnétisé dans un Propulseur à Résonance Cyclotron Électronique à Tuyère Magnétique

Lieu : Sorbonne Université, 4 Place Jussieu, Paris 75005
Couloir 24-34, 509 (5ème étage) / Visioconférence*

Composition du jury :

- ✚ Andréa CIARDI, Maître de conférences, Sorbonne Université, Directeur de thèse
- ✚ Laurent MAUNOURY, Ingénieur de recherche CNRS, Grand Accélérateur National d'Ions Lourds, Rapporteur
- ✚ Laurent GARRIGUES, Directeur de recherche, Laboratoire LAPLACE Université de Toulouse, Rapporteur
- ✚ Anne BOURDON, Directeur de recherche, Laboratoire de Physique des Plasmas École Polytechnique, Examinatrice
- ✚ Caterina RICONDA, Professeur, Sorbonne Université, Examinatrice
- ✚ Paul-Quentin ELIAS, Ingénieur de recherche, ONERA, Invité
- ✚ Mario MERINO, Professeur associé, Université Charles-III de Madrid, Invité

Résumé :

Cette thèse s'inscrit dans le cadre du développement d'un nouveau concept de propulseur plasmique appelé propulseur ECR (Electron Cyclotron Resonance) qui utilise des ondes électromagnétiques pour chauffer, par résonance cyclotron électronique, un plasma. Ce plasma est ensuite accéléré dans une tuyère magnétique. L'objet de ce travail est de simuler la création et l'expansion du plasma magnétisé. Afin de mieux comprendre l'interaction entre les ondes électromagnétiques et le plasma, il a été nécessaire de développer une méthode Particle-In-Cell permettant un calcul auto-consistant des champs électromagnétiques. Pour la résolution des équations de Maxwell, une méthode numérique a été développée en se basant sur la méthode CIP (Constrained Interpolation Profile). Cette méthode semi-Lagrangienne est attractive dans ce contexte car elle permet d'utiliser de grands pas de temps lors des simulations des cas 2D plan et 3D tout en ayant une formulation explicite. Cependant, les algorithmes disponibles dans la littérature en 2D cylindrique n'ont pas cette capacité, étant limités à des nombres CFL ≤ 1 (Courant-Friedrichs-Lewy). Par conséquent, nous avons développé une procédure généralisant la méthode CIP pour traiter des CFL > 1 en géométrie 2D axisymétriques. Ces développements ont été intégrés au code électrostatique Particle-In-Cell/Monte-Carlo Module (PIC-MCC) de l'ONERA. Ils ont permis d'effectuer des simulations PIC électromagnétiques auto-

consistantes du propulseur en géométrie quasi-1D (CFL=2.9) et 2D axisymétrique (CFL=1). Le modèle 1D3V montre en particulier que l'énergie des électrons dans la direction perpendiculaire aux lignes de champ magnétique augmente près de la zone de chauffage et qu'elle pouvait présenter un second maximum dans la tuyère magnétique dû au confinement des électrons à haute énergie. De plus, la zone de chauffage s'étend 6 mm autour de la zone de résonance, ce qui est cohérent avec la valeur prédite par l'élargissement Doppler. Une analyse paramétrique avec ce modèle suggère en particulier que la diffusion des particules chargées vers les parois du propulseur est le mécanisme dominant de perte d'énergie par rapport aux collisions entre ces particules et les particules neutres. Enfin, les premiers résultats en 2D axisymétrique suggèrent qu'il y a une forte concentration d'électrons à haute énergie près de l'antenne du propulseur, en accord avec des observations expérimentales. Les outils développés pendant ce travail continueront à être exploités pour approfondir davantage notre connaissance sur le propulseur. La comparaison avec de futures mesures de densité électronique à l'intérieur du propulseur, une zone peu explorée dans le laboratoire, pourraient servir de validation aux résultats des simulations.

Mots clés : Propulsion spatiale, résonance cyclotron, simulation cinétique, électromagnétisme, plasmas froids.

* Accès réservé à la salle de soutenance du fait de la jauge réduite.

Contact lien visio-conférence : jean_carlos.porto_hernandez@onera.fr ou marie-line.pacou@onera.fr