

Invitation à la soutenance de thèse

DYNAMIQUES IONIQUES DANS LA TUYÈRE MAGNETIQUE D'UN PROPULSEUR ECR

Romain PIOCH

26 novembre 2024 – 14h00

ONERA Palaiseau, 6 chemin de la Vauve aux Granges
salle Jacques Dorey

Devant le jury composé de :

Stéphane Mazouffre	ICARE, Université d'Orléans	Rapporteur
Renaud Gueroult	LAPLACE, Université Paul Sabatier	Rapporteur
Anne Bourdon	LPP, Ecole Polytechnique	Examinatrice
Laure Vermare	LPP, Ecole Polytechnique	Examinatrice
Freddy Gaboriau	LAPLACE, Université Paul Sabatier	Examineur
Pascal Chabert	LPP, Ecole Polytechnique	Directeur de thèse
Victor Désangles	DPHY, ONERA	Encadrant
Ulysse Weller	CNES	Invité

Résumé

Au cours des dernières décennies, les moyens de propulsion des satellites ont évolué et la propulsion électrique s'est imposée face à la propulsion chimique classiquement utilisée. Les propulseurs électriques produisent, accélèrent et éjectent un gaz ionisé, appelé plasma, pour générer une force de poussée. Le propulseur ECRA est un concept de propulseur électrique développé à l'ONERA qui bénéficie d'un design simple et innovant. Le plasma est accéléré dans un champ magnétique divergent appelé tuyère magnétique. L'objectif de cette thèse est de comprendre les phénomènes régissant l'accélération et l'éjection du plasma dans la tuyère magnétique du propulseur ECRA. Dans un premier temps, l'amélioration du diagnostic de Fluorescence Induite par Laser (LIF) a permis la mesure des deux composantes du champ de vitesse des ions dans la source du propulseur et dans les 20 premiers centimètres de la tuyère magnétique du propulseur. La solution analytique d'un modèle fluide et isotherme décrivant l'expansion d'un plasma dans une tuyère magnétique a été dérivée et comparée aux données expérimentales, et un bon accord a été trouvé entre les mesures et la théorie. Dans un second temps, pour pallier le manque de signal de LIF dans la plume du propulseur à des distances supérieures à 20 cm, un diagnostic électrostatique a été développé : la coupe de Faraday directionnelle. Grâce à un design innovant, ce diagnostic permet une sélection angulaire du flux d'ions collecté. Cette propriété directionnelle a été validée grâce à des mesures de flux en face d'une source à ions calibrée puis des mesures de flux d'ions dans la plume du propulseur ECRA. De plus, l'utilisation de ce diagnostic pour estimer la poussée du propulseur donne une erreur de 5% par rapport à la mesure directe de poussée effectuée grâce à une balance. Ce résultat est à comparer à une erreur de plus de 20%

obtenue quand une sonde de Faraday plate est utilisée, ce qui valide le niveau de courant mesuré par la coupe de Faraday directionnelle. Ce diagnostic de coupe de Faraday directionnelle a été monté sur un moteur pas à pas, permettant une rotation de la sonde autour d'un axe coupant son orifice d'entrée. Grâce à ce montage, la distribution angulaire de densité de courant des ions a pu être mesurée localement dans la plume du propulseur ECRA. Cette propriété a permis d'évaluer la direction locale du flux d'ions dans une zone s'étendant de 20 à 60 cm de la source du propulseur pour différents débits de gaz, puissances du propulseur, conditions de vide dans l'enceinte de test et topologies de tuyère magnétiques. La comparaison de la direction du flux d'ions avec la direction des lignes de champ magnétique dans la tuyère a permis de mettre en évidence plusieurs résultats. Premièrement, les ions ont une trajectoire colinéaire aux lignes de champ magnétique dans la partie centrale de la plume. Deuxièmement, les ions sont détachés des lignes de champ de la tuyère dans la partie latérale de la plume. La position de ce détachement ne dépend ni des conditions d'opération du propulseur, ni du niveau de vide dans l'enceinte. En revanche, ces conditions ont une influence sur la trajectoire des ions détachés des lignes de champ magnétique. En effet, il est montré que les ions détachés suivent des trajectoires rectilignes. Par conséquent, les conditions d'opération du propulseur ont une influence sur l'angle que font les ions avec les lignes de champ magnétique à la position du détachement. Pour toutes les conditions testées, ce détachement est plus divergent que le champ magnétique. Enfin, il apparaît que la tuyère magnétique gouvernant la dynamique des ions résulte de la somme du champ magnétique produit par l'aimant permanent du propulseur et de la moyenne azimutale de l'influence du champ magnétique terrestre. Ce résultat inattendu pourrait être expliqué par une dynamique de rotation globale du plasma dans la tuyère magnétique du propulseur ECR.

Mots clés

Physique des plasmas, Tuyère magnétique, Ingénierie spatiale