

Invitation à la soutenance de thèse

CONCEPTION ET VALIDATION D'UN MICRO-CAPTEUR POUR LA MESURE DE POUSSEE DE PROPULSEURS ELECTRIQUES DE SATELLITES

Séverin Astruc

13 décembre 2023 – 15h00

6, chemin de la vauve aux Granges – 91120 PALAISEAU

Salle : Jacques Dorey

Devant le jury composé de :

M. Alain GIANI	Université de Montpellier	Rapporteur
M. Freddy GABORIAU	Université de Toulouse	Rapporteur
M. Olivier DUCHEMIN	Safran Spacecraft Propulsion	Examineur
M. Tiberiu MINEA	Université Paris-Saclay	Examineur
Mme Gaëlle LISSORGUES	ESIEE Paris, Université Gustave Eiffel	Examinatrice
M. Ulysse WELLER	CNES	Invité
M. Antoine GODARD	ONERA	Directeur de thèse
M. Paul-Quentin ELIAS	ONERA	Co-directeur de thèse

Résumé

La conception et la qualification des propulseurs électriques de satellite nécessitent de mesurer leur poussée au sol dans des enceintes à vide. Cette poussée est habituellement mesurée grâce à des balances de poussée ou à des cibles immergées dans le plasma du propulseur. Cependant, ces systèmes sont volumineux, dépendent de l'enceinte sous vide, de la gamme de poussée du propulseur, et ils nécessitent la gravité pour fonctionner. Pour ces raisons, cette thèse présente la conception d'un micro-capteur, sensible, peu intrusif et indépendant de l'enceinte, destiné à mesurer le flux de quantité de mouvement transporté dans le jet de plasma du propulseur. La poussée du propulseur est déduite grâce à un sondage de ce jet. Dans un premier temps, une analyse théorique identifie les phénomènes qui limitent la mesure dans le jet de plasma. Ensuite, pour mieux comprendre l'impact de ces phénomènes, une sonde de mesure est conçue à partir d'une microcellule accélérométrique préexistante. Cette sonde est caractérisée puis testée avec des sources de gaz neutre et de plasma. La comparaison des résultats expérimentaux avec des simulations permet de comprendre les biais de mesure liés au plasma. Enfin, en tirant parti de ces enseignements, un design de sonde spécifiquement adaptée à la mesure de la poussée, est proposé, et ses performances simulées. L'étude théorique et par simulation montre que, malgré les forces induites par la gaine plasma au contact de la sonde sur les particules, la pression mesurée à la paroi est la même que dans le cas sans sonde. La mesure de poussée est donc possible. En revanche, cette gaine provoque un flux de particules sur les parois tangentes à la direction du plasma et des pressions électrostatiques sur toutes les surfaces de la sonde. Ceci biaise légèrement la mesure de poussée.

De plus, le flux thermique du plasma, les charges électrostatiques et la pulvérisation sont des phénomènes plasma perturbateurs de la mesure. On propose d'ajouter une couche métallique sur la cellule accélérométrique pour diminuer ces effets perturbateurs. Après cette modification, la cellule est intégrée dans un boîtier permettant de la protéger du plasma. La sonde résultante est caractérisée dans un caisson sous vide. Sa résolution est limitée par l'environnement vibratoire et la collection des charges du plasma. On démontre néanmoins une résolution de mesure de $0.01 \mu\text{N}\cdot\text{cm}^{-2}$ lors de son exposition à une source de gaz neutre. Face au jet de plasma d'un propulseur ECR, on montre que la sonde mesure une différence de pression due à une accumulation de gaz dans son boîtier. Cette accumulation de gaz entraîne un biais de mesure qui empêche la mesure de la pression dans le jet. À partir de ces enseignements, on conçoit une microcellule de mesure spécifiquement adaptée à la mesure de poussée dans un jet de propulseur électrique. L'architecture particulière de cette nouvelle cellule diminue d'un ordre de grandeur la sensibilité de la sonde aux vibrations et évite les biais de mesure liés à l'accumulation de gaz et la collection de charges. Cette nouvelle sonde peut constituer un outil compact et flexible pour mesurer la poussée des propulseurs électriques. Contrairement aux balances de poussée traditionnelles, cette sonde est indépendante de l'enceinte sous vide, de la gravité, de la taille du propulseur ou de la nature des tests réalisés. La prochaine étape nécessite de valider ces performances sur un propulseur. Ainsi validée, cette sonde pourrait être envisagée pour une standardisation des méthodes de qualification des propulseurs électriques.

Mots clés

Capteur, Plasma, Microtechnologie, Propulsion