

Invitation à la soutenance de thèse

VECTORISATION DE LA TUYERE MAGNETIQUE DU PROPULSEUR ELECTRIQUE ECRA

Etienne Gourcerol

6 novembre 2025 – 14h

Ecole polytechnique, Route de Saclay 91120 PALAISEAU – Amphithéâtre Curie

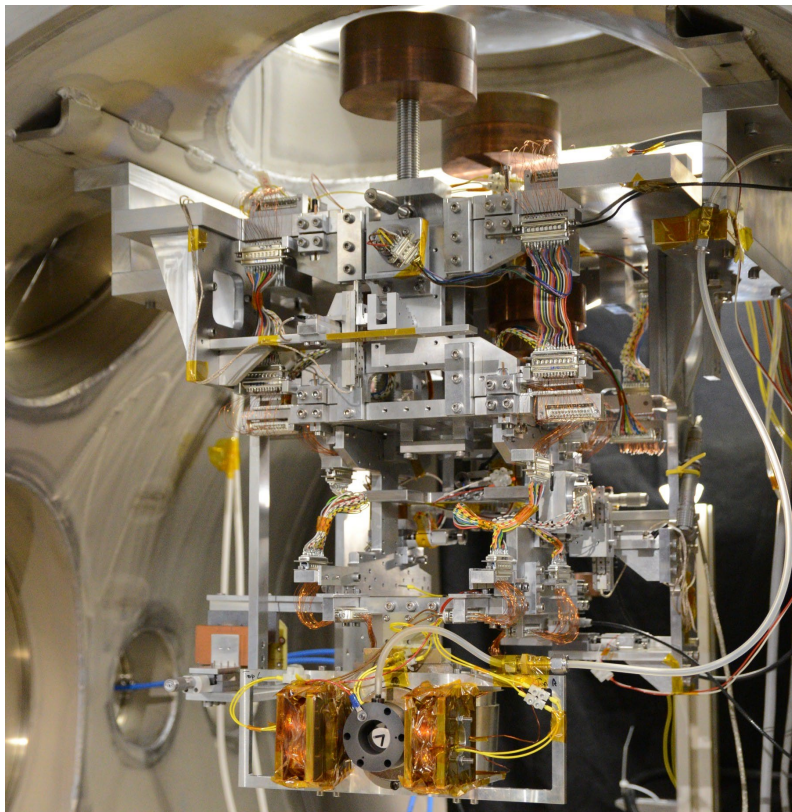
Devant le jury composé de :

Mario Merino	Universidad Carlos III de Madrid	Rapporteur
Peter Klar	Justus-Liebig-Universität Gießen	Rapporteur
Sédina Tsikata	Georgia Tech	Examinatrice
Gilles Cartry	PIIM, Université Aix-Marseille	Examineur
Freddy Gaboriau	LAPLACE, Université de Toulouse	Directeur de thèse
Victor Désangles	DPHY, ONERA	Co-directeur de thèse
Alejandro Alvarez-Laguna	LPP, CNRS	Invité
Denis Packan	DPHY, ONERA	Invité, Encadrant

Résumé

Afin d'améliorer leur manœuvrabilité et de tenir compte du déplacement de leur centre de masse, les satellites peuvent être équipés de systèmes de vectorisation de poussée (TV). Actuellement, les moteurs sont montés sur des platines d'orientation, qui offrent une amplitude de vectorisation de poussée dans un cône de demi-angle de 10° et qui sont précises mais massives et complexes. Certaines technologies de propulsion électrique pourraient permettre de remplacer ces dispositifs mécaniques par des systèmes immobiles. En particulier, le propulseur ECRA de 30 W développé à l'ONERA est un propulseur électrique sans électrode qui accélère le plasma dans un champ magnétique divergent. Cette tuyère magnétique peut être déformée à des fins de TV. L'objectif de ce travail est de caractériser des systèmes de TV magnétique pour le propulseur ECRA. Tout d'abord, une balance de poussée à deux axes est développée et validée expérimentalement pour mesurer l'angle de poussée. Cet instrument consiste en un système à deux étages empilés, chaque étage étant un pendule avec une géométrie en parallélogramme déformable. La validation expérimentale du système est réalisée avec un propulseur à gaz froid tournant, produisant une poussée à des angles d'opération connus. L'angle de poussée mesuré suit de près l'angle d'opération avec une petite erreur augmentant avec le débit massique et proportionnelle à l'angle d'opération. Une incertitude de mesure expérimentale de $0,9^\circ$ est estimée pour des poussées totales inférieures à $630 \mu\text{N}$, et de $1,2^\circ$ pour des poussées totales plus élevées. Ensuite, deux configurations de TV magnétique sont étudiées, appelées respectivement perpendiculaire et axiale, faisant référence à l'agencement de bobines par rapport à l'axe du propulseur. La plus grande amplitude de TV est de $\pm 5^\circ$, obtenue avec les bobines perpendiculaires situées à 14,5 mm de la surface arrière du propulseur pour une puissance consommée maximale de 51,2 W. Pour la configuration axiale, la plus grande amplitude de vectorisation mesurée est de $\pm 1,5^\circ$ pour la

même puissance, avec les bobines situées à 44,5 mm de la surface arrière. Il apparaît que la direction de TV suit la direction des lignes de champ magnétique dans la source du propulseur. Enfin, la structure du plasma dans la tuyère magnétique déformée est étudiée au moyen de sondes électrostatiques. Des scans angulaires de la densité de courant ionique, réalisés avec une coupe de Faraday à des distances allant de 25,8 à 45,8 cm du propulseur, confirment que les ions suivent la direction des lignes de champ magnétique dans la source du propulseur, même lorsque la tuyère magnétique est déformée dans la direction opposée dans la plume. Le champ électrique dans la plume est calculé à partir de mesures de potentiel plasma utilisant une sonde émissive. Dans le cas non vectorisé et avec la configuration perpendiculaire, le champ électrique à l'intérieur de la tuyère magnétique est symétrique par rapport à la ligne de champ magnétique centrale et orienté vers l'extérieur de la tuyère. Pour la configuration axiale, la symétrie est brisée et un champ électrique vers l'intérieur apparaît dans la tuyère magnétique. Ce champ électrique est suffisamment élevé pour modifier la trajectoire des ions dans la plume.



Balance de poussée à 2 axes dans le caisson à vide ERIS avec le propulseur ECRA et le système de vectorisation à bobines perpendiculaires.

Mots clés

PROPULSION ELECTRIQUE, ECR, VECTORISATION DE POUSSEE, BALANCE DE POUSSEE