



**DEPARTEMENT PHYSIQUE INSTRUMENTATION  
ENVIRONNEMENT ESPACE (DPHY)**

-----







**Soutenance de thèse de Lucas NICOLLE**

**Vendredi 10 février 2023 – 14h00**  
**Auditorium ONERA Toulouse**

**MODELISATION MULTI-ECHELLE DU COUPLAGE ELECTROSTATIQUE  
ENTRE UN PROPULSEUR PLASMA ET LES SOUS-SYSTEMES D'UN  
SATELLITE TOUT-ELECTRIQUE**

(Multi-scale modeling of electrostatic coupling between a plasma thruster and the subsystems of an all-electric satellite)

Devant le jury :

-  **M. Laurent GARRIGUES** ..... Directeur de thèse  
LAPLACE, Université Toulouse III - Paul Sabatier
-  **M. Pierre SARRAILH** ..... Co-directeur de thèse  
ONERA
-  **M. Fabrice CIPRIANI** ..... Examineur  
ESA/ESTEC
-  **M. Richard FOURNIER** ..... Examineur  
LAPLACE, Université Toulouse III - Paul Sabatier
-  **Mme Sedina TSIKATA** ..... Rapporteuse  
CNRS ICARE
-  **M. François LEBLANC** ..... Rapporteur  
LATMOS - Sorbonne Université

## RÉSUMÉ

Ces dix dernières années ont été marquées par l'arrivée massive de satellites commerciaux tout-électriques dans l'industrie spatiale. La spécificité de ces plateformes est de permettre une mise à poste du satellite au moyen d'un ou plusieurs propulseurs plasma (le plus souvent des propulseurs de Hall), en effectuant une manœuvre appelée EOR (Electrical Orbit Rising). Cette technologie a l'énorme avantage de diviser par deux environ la masse d'un satellite à iso-fonctionnalité et donc de réduire les coûts de lancement, ou alternativement, d'augmenter les capacités opérationnelles des satellites tout en conservant une masse inférieure aux capacités d'emport des lanceurs commerciaux. L'inconvénient de ce système propulsif est cependant de générer un plasma secondaire autour du satellite. En interagissant avec les surfaces externes du satellite et les systèmes électriques tels que les panneaux solaires, ce plasma est susceptible de créer de nombreux effets indésirables et de limiter les performances du système propulsif.

L'objectif de cette thèse est de modéliser à l'échelle du système complet les interactions entre les propulseurs plasmas et les différents systèmes du satellite. Ainsi, il est primordial de pouvoir modéliser correctement : les mécanismes de création des particules chargées dans le propulseur, le transport de celles-ci, ainsi que les interactions avec les différents matériaux du satellite. Cela permet ainsi de pouvoir prévenir les problèmes liés aux effets indésirables et envisager des propulseurs de puissance supérieure ou bien d'autres architectures comme les clusters de propulseurs. Pour ce faire, l'ONERA développe depuis 2005 le cœur numérique du logiciel SPIS (initié dans le cadre du réseau européen SPINE), qui est aujourd'hui utilisé par la communauté scientifique et les acteurs industriels majeurs dans le domaine pour évaluer la propreté électrostatique des satellites. Il permet de simuler en 3D l'interaction de jets plasmas issus de propulseurs avec les surfaces externes du satellite. Cependant, les modèles actuellement implémentés dans SPIS ne permettent pas de simuler correctement un certain nombre de couplages physiques pourtant essentiels à la quantification des effets liés à la propulsion plasma.

Durant cette thèse, la démarche choisie a été d'étudier dans un premier temps la validité des modèles de propulseur et de transport des particules en comparant les simulations avec des mesures expérimentales. Ces mesures peuvent être effectuées en caisson sous vide, au sol ou directement sur plateforme satellite. L'approche retenue pour ces travaux a été d'analyser les mesures du satellite russe Express-A caractérisant le panache d'ions du propulseur de Hall de type SPT-100. Cela a nécessité le développement d'un nouveau modèle de sonde plus détaillé et permettant l'analyse quantitative des mesures de sonde RPA réalisées en orbite. De plus, un algorithme de backtracking optimisé par octree a été développé dans le logiciel SPIS afin de pouvoir réaliser numériquement la prédiction de la mesure expérimentale en prenant en compte la géométrie de la plateforme et les interactions plasma-satellite dans une configuration réaliste. Cette approche innovante a permis d'obtenir un outil de validation des caractéristiques du plasma du propulseur, de caractériser les phénomènes physiques en jeu dans le panache de plasma tels que les effets électrostatiques. L'influence du modèle physique pour les électrons ou la prise en compte des collisions dans le panache a pu être étudiée et comparée aux mesures expérimentales, permettant de préciser le transport des particules du propulseur et par conséquent, l'interaction électrostatique plasma – satellite. De plus, cette démarche a permis d'augmenter les indices de confiance pour les simulations d'interactions propulseur-satellite pour les designs de demain : des propulseurs de plus haute puissance (20kW), des configurations direct-drive ou encore des clusters de propulseurs.