

## Invitation à la soutenance de thèse

### ÉTUDE DES MECANISMES D'EROSION IONIQUE SUR MATERIAUX, APPLICATION AU CAS DE LA PROPULSION ELECTRIQUE SPATIALE

*STUDY OF ION EROSION MECANISMS ON SPACECRAFT MATERIALS,  
APPLICATION TO SPACE ELECTRIC PROPULSION*

**Lucas NICOLAS**

**29 novembre 2024 – 14h00**

**Salle des thèses - ISAE-SUPAERO  
10 avenue Marc Pélegrin - 31400 TOULOUSE**

#### Devant le jury composé de :

Cécile ARNAS	Aix-Marseille Université	Rapportrice
Sédina TSIKATA	Georgia Institute of Technology	Rapportrice
Yvette NGONO-RAVACHE	Université de Caen Normandie	Examinatrice
Laurent GARRIGUES	Université Toulouse III - Paul Sabatier	Examineur
Thierry PAULMIER	ONERA, DPHY	Directeur de thèse
Marc VILLEMANT	ONERA, DPHY	Co-directeur de thèse

#### Résumé

Les propulseurs électriques embarqués à bord des satellites génèrent un plasma susceptible de dégrader toute surface qui y est exposée, à commencer par les propulseurs eux-mêmes, selon un mécanisme appelé érosion ionique. Il s'agit d'un processus au cours duquel les ions incidents entrent en collision avec les atomes constitutifs du matériau, ce qui met ces derniers en mouvement et en éjecte certains. Ces atomes, qualifiés de pulvérisés, sont alors susceptibles d'aller se déposer sur diverses surfaces du satellite qu'ils risquent de contaminer, dégradant leurs propriétés fonctionnelles. Cette thèse porte sur l'étude des mécanismes qui prennent place au cours du bombardement ionique. Nous avons plus particulièrement analysé l'influence de différents paramètres des matériaux (structure, état de surface) ainsi que des conditions d'essais (température, type de plasma) sur le taux d'érosion des échantillons, mais aussi sur la nature des espèces émises.

La première étape de ces travaux a consisté à mettre en place différentes méthodes expérimentales visant à quantifier le taux d'érosion de tous types de matériaux. L'une d'entre elles, qui repose sur l'utilisation de microbalances à quartz (QCM), permet en outre de mesurer le flux de particules

pulvérisées et d'estimer ainsi les risques de contamination. Ces techniques ont ensuite été utilisées pour étudier la dégradation de polymères communément employés à bord des satellites (Kapton, PEEK, PTFE). Il s'est alors avéré que le bombardement de ces matériaux engendrait l'émission de fragments de chaînes macromoléculaires, qui demeurent généralement en phase gazeuse. Nous avons ainsi mis en évidence un nouveau processus de dégradation, fortement dépendant des conditions de l'essai (flux d'ions, température).

Dans un second temps, l'influence de l'état de surface sur l'érosion a été analysée par le biais de la simulation numérique. Un code a été développé afin de simuler l'érosion d'une surface rugueuse. Celui-ci, couplé à quelques mesures expérimentales, a démontré que toutes les formes de rugosité n'ont pas la même influence sur l'érosion et que le paramètre déterminant est ici l'inclinaison locale de la surface. Enfin, plusieurs protocoles ont été mis en place dans le but d'étudier expérimentalement le phénomène de synergie ions-électrons sur la vitesse de dégradation du SiO<sub>2</sub>. Seuls des résultats qualitatifs ont été obtenus, mais ceux-ci attestent d'un important accroissement de l'érosion dans la zone exposée aux électrons.

### Mots clés

Pulvérisation ionique, propulsion électrique, contamination, polymères, QCM, rugosité

Lien visioconférence : <https://rdv.onera.fr/soutenanceth%C3%A8seLucasNicolas>