

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Etude numérique d'un propulseur ECRA alimenté au diiode

Référence : **PHY-DPHY-2025-22**

(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : 01/10/2025

Date limite de candidature : 01/06/2025

Mots clés : Propulsion spatiale, physique des plasmas, Propulseur ECRA, Plasma d'iode, Propergol alternatif, simulation numérique Particle-In-Cell

Profil et compétences recherchées :

- Connaissance en physique des plasmas souhaitable mais non indispensable
- Expérience en recherche en simulation numérique souhaitable mais non indispensable
- Master "Physique Appliquée", "Physique des Plasmas", "Physique fondamentale", "Physique Générale"

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Le diiode est envisagé depuis les années 2010 comme alternative à l'usage des gaz nobles, et en particulier du xénon, comme gaz propulsif (propergol) pour les moteurs électriques de satellites (propulseurs plasmas). Les avantages de ce gaz sont nombreux : haute densité de stockage sous état solide dans des réservoirs non-pressurisés, masse atomique élevée, faible énergie d'ionisation et sections efficaces d'ionisation élevée. Le premier vol d'un propulseur plasma à l'iode a été réalisé en 2020 par la société ThrustMe avec un modèle de propulseur à grille de faible puissance (30 Watts). Depuis, l'évolution des prix du xénon et les difficultés d'approvisionnement poussent vers une généralisation de l'utilisation de l'iode. Néanmoins, l'iode possède des propriétés qui rendent son utilisation plus difficile que celle des gaz nobles. La molécule de diiode permet de produire une grande variété d'ions à l'état plasma, ce qui complexifie la maîtrise des équilibres chimiques du plasma en vue de l'optimisation des propulseurs.

Le propulseur ECRA est un propulseur électrique de satellite innovant développé à l'ONERA. Il utilise de l'énergie électrique micro-onde pour ioniser le gaz propulsif. Le plasma ainsi créé est accéléré dans une tuyère magnétique qui permet la conversion de l'énergie électronique en moment axial ionique. Les récents développements et les résultats obtenus à l'ONERA sur ce type de propulseurs démontrent les potentialités énormes de cette technologie. Une d'entre elles est sa combinaison avec le propergol diiode. L'absence de neutraliseur, la simplicité de ECRA, sa compacité, sa faible sensibilité à la corrosion et sa haute température électronique pourrait faire de cette combinaison un nouveau prototype de propulseur très performant.

Le projet de recherche sera axé sur la modélisation numérique du propulseur ECRA par le développement et l'utilisation du code de simulation numérique *Particle In-Cell* (PIC) Rhei. Ce code, développé à l'ONERA, est capable de résoudre l'ensemble des équations de Maxwell ainsi que les processus de collisions et de transport pour modéliser le dépôt de puissance micro-onde et le comportement du plasma du propulseur ECRA. L'objectif de la thèse est de compléter ce modèle en y ajoutant les processus associés aux réactions chimiques présentes dans les plasmas de diiode. Ce travail sera réalisé en plusieurs étapes : dans un premier temps la sélection des mécanismes prépondérants de la chimie de l'iode, dans un second l'intégration de ces réactions dans le module Monte-Carlo du code Rhei et enfin la réalisation de simulations utilisant le code modifié. Ce travail de développement initial va permettre d'étudier le comportement du plasma du propulseur ECRA. Les résultats produits seront complémentaires de mesures expérimentales effectuées simultanément dans l'équipe. Les comparaisons entre les résultats des deux approches contribueront à mieux comprendre les plasmas d'iode et leur utilisation dans le cadre de la propulsion plasma.

Collaborations envisagées : Ecole polytechnique, laboratoire de physique des plasmas

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Physique, Instrument, environnement, espace

Lieu (centre ONERA) : Palaiseau

Contact : Paul-Quentin Elias

Tél. : 0180386171 Email : paul-quentin.elias@onera.fr

Directeur de thèse (envisagé)

Nom : Paul-Quentin Elias

Laboratoire : ONERA DPHY

Tél. :

Email :

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>