

Instabilités dans les décharges $E \times B$ des propulseurs à effet Hall

Federico Petronio^{1,2,*}, Alejandro Alvarez-Laguna¹, Pascal Chabert¹, Anne Bourdon¹

¹ Laboratoire de Physique des Plasmas (LPP), CNRS, Ecole Polytechnique, Sorbonne Université, Institut Polytechnique de Paris, 91128 Palaiseau, France

² Propulsion Unit, Safran Aircraft Engines, Vernon, France, *federico.petronio@lpp.polytechnique.fr

I. INTRODUCTION

Le propulseur à effet Hall (HT) pour les satellites, développé dans les années 1960/70, est un système complexe tant par sa géométrie, sa topologie magnétique et son fonctionnement qui reste peu compris analytiquement. Malgré cela, des milliers de ces propulseurs sont utilisés en ce moment. Les nanosatellites de nouvelle génération demandent des propulseurs très différents (taille, puissance, etc.) par rapport à ceux qui sont utilisés dans les missions d'exploration de l'espace lointain. L'objectif final de notre travail est donc d'avoir un code qui puisse prédire le fonctionnement des propulseurs et apporter des suggestions pour le design de nouveaux modèles.

Le code *LPPic* permet de simuler deux plans d'un propulseur HT : le plan radial-azimutal ($R - \theta$), qui permet l'étude des interactions du plasma avec les surfaces du canal du propulseur et le plan axiale-azimutal ($Z - \theta$) où la direction axiale Z , est la direction de propulsion.

II. LES INSTABILITÉS

Même si les instabilités électrostatiques dans les propulseurs ont été objet d'études durant plusieurs années dans la communauté, le spectre de toutes les instabilités qui peuvent exister dans ces systèmes est encore loin d'être entièrement connu. Ces instabilités jouent un rôle fondamental dans la physique du propulseur HT, pour cela nous les étudions et dans le plan $R - \theta$ et dans le plan $Z - \theta$.

En plus de la bien connue *Electron Cyclotron Drift Instability* (ECDI), dans les plan $R - \theta$ nous avons identifié une instabilité avec une composante radiale et une azimutale, la *Modified Two-Streams Instability* (MTSI), et nous l'avons analysé en détail, en identifiant les conditions qui favorisent la croissance de cette instabilité et certains effets de l'MTSI sur la décharge plasma [1].

Les simulations dans la direction axiale-azimutale ($Z - \theta$) permettent de prendre en compte la convection de l'instabilité ECDI et de mieux quantifier le transport anormal des électrons dans la direction axiale. Dans ce plan de simulations nous observons deux autres instabilités, le *Mode de Respiration* (BM) et la *Ion Transit-Time Instability*

PSD entre 280.00 et 320.00 μs , $x = 3.34$ cm

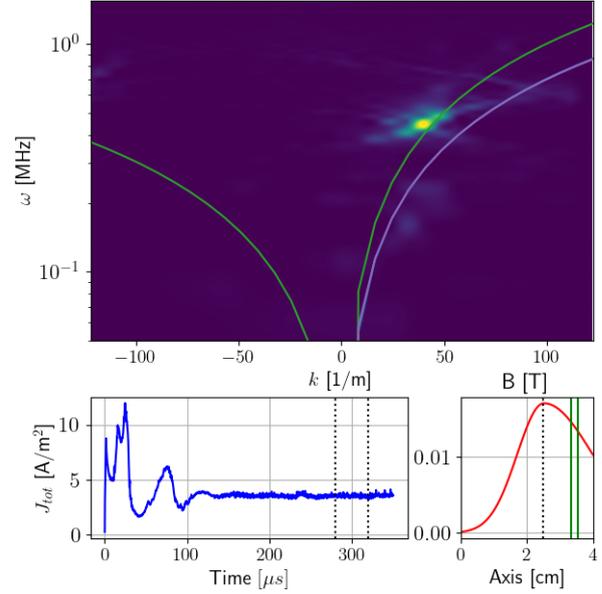


Fig. 1. Densité spectrale de puissance sur l'axe du propulseur.

(ITTI) [2]. Cette dernière a été étudiée avec une technique qui permet de reconstruire la densité spectrale de puissance "à deux points". Grâce à cette méthode, nous avons pu étudier la relation de dispersion dans le plan $Z - \theta$ et la comparer aux courbes théoriques, comme le montre la Figure 1.

III. CRÉDITS

Les travaux sur ces propulseurs à effet Hall au LPP sont menés dans le cadre d'une chaire ANR industrielle "POSEIDON" avec Safran Aircraft Engines. La thèse de FP est financée grâce à une bourse CIFRE par Safran. Les simulations ont été réalisées en collaboration avec le CINES, projet DARI A0100510439.

REFERENCES

- [1] Petronio, F. *et al.*, "Conditions of appearance and dynamics of the Modified Two-Stream Instability in $E \times B$ discharges", *Physics of Plasmas*, 2021, <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/5.0046843>
- [2] Charoy, T. *et al.*, "The interaction between ion transit-time and electron drift instabilities and their effect on anomalous electron transport in Hall thrusters", *Plasma Sources Sci. Technol.* 2021, 10.1088/1361-6595/ac02b3