

Modélisation des propulseurs à résonance électronique cyclotronique : enjeux & problématiques

P.-Q Elias¹, J. Porto Hernandez¹

¹DPHY, ONERA, Université Paris Saclay F-91123 Palaiseau - France

mél: elias@onera.fr

L'utilisation de la résonance cyclotronique électronique pour la création et le chauffage du plasma d'un propulseur plasmique est une idée qui a été considérée dès les premiers travaux sur la propulsion spatiale [1], [2]. L'utilisation de sources ECR pour la génération d'ions dans des propulseurs à grille a été démontrée en vol [3], l'utilisation de sources plasma ouvertes a fait l'objet de peu de travaux, ceci étant peut-être lié à la taille de structures de couplages par guide d'onde. Pourtant, en permettant l'accélération et l'éjection d'un plasma quasi-neutre, cette approche évite l'utilisation de grilles accélératrices et de neutraliseur, ce qui en fait une solution attractive pour réduire les coûts et augmenter la fiabilité des systèmes de propulsion. Récemment un concept de propulseur utilisant un couplage coaxial a été proposé à l'ONERA [4]. Cette approche permet la réalisation de sources compactes ; les travaux expérimentaux ont montré l'intérêt de cette configuration qui permet d'atteindre des efficacités intéressantes même à faible puissance[5], [6].

Toutefois, comme souvent en propulsion plasmique, les développements expérimentaux et empiriques devancent la compréhension théorique des processus physiques à l'œuvre dans le plasma. En effet, les mécanismes de transfert de puissance entre l'onde électromagnétique et le plasma restent pour l'instant partiellement compris. La source ECR peut être classée comme une source à champ E et B croisés : dès lors, les mécanismes de diffusion aux parois peuvent présenter des similitudes importantes à ce qui est considéré pour d'autres sources de ce type (ex. propulseur à courant de Hall). Enfin le confinement des électrons et la polarisation du propulseur restent dans une enceinte à vide ou dans un milieu ouvert restent également mal compris.

En s'appuyant sur des observations expérimentales, cet exposé proposera d'examiner ces différentes questions scientifiques posées par ce type de propulseur ECR. L'état actuel des efforts pour y répondre sera ensuite résumé.

Références

- [1] D. MILLER, E. GIBBONS, et P. GLOERSEN, « CYCLOTRON RESONANCE PROPULSION SYSTEM », in *Electric Propulsion Conference*, American Institute of Aeronautics and Astronautics. doi: 10.2514/6.1963-2.
- [2] M. Nagatomo, « Plasma acceleration by high frequency electromagnetic wave in static magnetic field gradient », in *6th Electric Propulsion and Plasmadynamics Conference*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1967. doi: 10.2514/6.1967-660.
- [3] H. Kuninaka, K. Nishiyama, I. Funaki, T. Yamada, Y. Shimizu, et J. Kawaguchi, « Powered Flight of Electron Cyclotron Resonance Ion Engines on Hayabusa Explorer », *Journal of Propulsion and Power*, vol. 23, n° 3, p. 544-551, 2007, doi: 10.2514/1.25434.
- [4] F. Cannat, T. Lafleur, J. Jarrige, P. Chabert, P.-Q. Elias, et D. Packan, « Optimization of a coaxial electron cyclotron resonance plasma thruster with an analytical model », *Phys. Plasmas*, vol. 22, n° 5, p. 053503, mai 2015, doi: 10.1063/1.4920966.
- [5] T. Vialis, J. Jarrige, A. Aanesland, et D. Packan, « Direct Thrust Measurement of an Electron Cyclotron Resonance Plasma Thruster », *Journal of Propulsion and Power*, vol. 34, n° 5, p. 1323-1333, sept. 2018, doi: 10.2514/1.B37036.
- [6] S. Peterschmitt et D. Packan, « Impact of the Microwave Coupling Structure on an Electron-Cyclotron Resonance Thruster », *Journal of Propulsion and Power*, p. 1-10, sept. 2021, doi: 10.2514/1.B38156.

Statut :