

# Phénomènes de rotation dans les plasmas partiellement magnétisés

J.P. Boeuf

<sup>1</sup> LAPLACE, CNRS, Université de Toulouse

[jpb@laplace.univ-tlse.fr](mailto:jpb@laplace.univ-tlse.fr)

Dans les plasmas froids à basse pression, on peut utiliser un champ magnétique externe appliqué perpendiculairement au courant de décharge ou au champ électrique appliqué pour augmenter le temps de résidence des électrons dans la décharge et permettre l'ionisation et le maintien du plasma dans des conditions de basse pression (fraction de mtorr à quelques mtorr) et dans des dispositifs de relativement petites dimensions (quelques cm). Dans ces conditions les libres parcours des particules chargées sont très supérieurs aux dimensions du dispositif et le champ magnétique permet de confiner les électrons. De telles configurations à champs électrique et magnétique croisés ( $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ ) sont utilisées dans diverses applications telles que les moteurs à courant de Hall pour la propulsion des satellites, les décharges de magnétrons pour le traitement de surface, les sources d'ions négatifs pour l'injection de faisceau de neutres rapides pour chauffer les plasmas de fusion ou les tuyères magnétiques de propulseurs à plasma. Les plasmas dans ces dispositifs sont partiellement magnétisés, c'est-à-dire que les électrons sont fortement magnétisés tandis que les ions ne le sont pas ou peu, et ils sont soumis à diverses micro et macro-instabilités très distinctes des instabilités dans les plasmas de fusion<sup>1,2</sup>. Ces instabilités sont souvent dues à la grande différence de vitesses de dérive des électrons et des ions dans la direction  $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ . Elles ont pour conséquence un transport électronique perpendiculaire au champ magnétique beaucoup plus grand que ce que prévoit la théorie classique (« transport anormal »). La possibilité de maintenir un champ électrique important dans le plasma quasineutre des propulseurs à courant de Hall malgré le transport anormal des électrons, ou la présence de fortes doubles couches associées à la rotation azimutale de structures de plasma (« rotating spokes ») dans les décharges de magnétrons et les propulseurs à courant de Hall, sont des exemples de la physique difficile mais passionnante des dispositifs à configuration  $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ . Dans cette présentation, nous décrirons certains aspects importants de cette physique et les avancées récentes, basées sur des simulations, la théorie et les expériences, dans notre compréhension des différents types d'instabilités (instabilité de dérive cyclotronique électronique, instabilité de Simon Hoh, ondes d'ionisation tournant dans la direction  $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ , ...) présentes dans ces plasmas et de leurs conséquences sur le fonctionnement des dispositifs.

## Références

- [1] J.P. Boeuf and A. Smolyakov, *Physics and instabilities of low-temperature  $E \times B$  plasmas for spacecraft propulsion and other applications*, *Physics of Plasmas* 30, 050901 (2023).
- [2] I. D. Kaganovich, A. Smolyakov, Y. Raitses, E. Ahedo, I. G. Mikellides, B. Jorns, F. Taccogna, R. Gueroult, S. Tsikata, A. Bourdon, J.-P. Boeuf, M. Keidar, A. T. Powis, M. Merino, M. Cappelli, K. Hara, J. A. Carlsson, N. J. Fisch, P. Chabert, I. Schweigert, T. Lafleur, K. Matyash, A. V. Khrabrov, R. W. Boswell and A. Fruchtman, *Physics of  $E \times B$  discharges relevant to plasma propulsion and similar technologies*, *Phys. Plasmas* 27, 120601 (2020).