

Titre de la thèse (acronyme) : Atténuation des blackouts RF de véhicules hypersoniques à l'aide de champs électromagnétiques externes (ABHEM)

Candidature avant le 16 mars 2023 :

<https://recrutement.cnes.fr/fr/annonce/2038663-23-223-rf-blackout-mitigation-using-external-electromagnetic-fields-31400-toulouse>

Sujet de thèse :

Un engin entrant dans l'atmosphère d'une planète à une vitesse hypersonique (e.g., véhicule spatial ou missile) est enveloppé par une couche de plasma, également appelée gaine de plasma. L'un des problèmes associés à la gaine de plasma de rentrée est le "blackout RF" qui peut entraîner une perte totale du lien de communication entre l'engin et le sol [1]. En effet, les électrons de la couche de plasma peuvent interrompre la propagation des ondes électromagnétiques RF si la fréquence d'oscillation des électrons du plasma dépasse celle des ondes.

De nombreux efforts ont été déployés pour tenter d'atténuer la panne RF par des solutions mécaniques (e.g., le façonnage aérodynamique) [2], chimiques (e.g., l'ingénierie des matériaux) [3] ou électromagnétiques [4-8], mais ce problème reste préoccupant aujourd'hui.

Parmi les solutions électromagnétiques, il a été proposé de décaler les fréquences de fonctionnement du lien de communication [4,5], de coupler la gaine de plasma avec un métamatériau [6], ou d'appliquer des champs externes, électriques et/ou magnétiques, statiques et/ou pulsés, pour contrôler la propagation des micro-ondes dans la gaine de plasma [7-9]. Ces dernières techniques semblent très prometteuses mais elles doivent être évaluées, comparées et bien sûr validées par une expérience.

Cependant, il est important de noter que la mise en œuvre d'une telle expérience reste très complexe. Quelques installations très coûteuses peuvent générer une décharge plasma réaliste dans une soufflerie autour d'un objet à tester [10,11], mais il ne s'agit généralement pas d'un écoulement hypersonique, et les mesures de propagation RF restent difficiles à gérer dans ces bancs d'essai. Des solutions alternatives consistent à utiliser des réacteurs plus simples pour créer une décharge de plasma statique à basse pression à l'intérieur d'un récipient en verre afin de permettre les tests de propagation RF [12]. Si cette solution n'est pas totalement représentative des conditions de la gaine du plasma, elle reste plus facile et moins coûteuse à mettre en œuvre.

L'objectif principal de cette thèse est d'étudier des solutions électromagnétiques pour atténuer le blackout RF. Pour ce faire, le travail de thèse sera organisé comme suit :

- Analyse critique de l'utilisation de champs externes, électriques et/ou magnétiques, statiques et/ou pulsés, pour contrôler la propagation RF dans la gaine du plasma.
- Études théoriques et numériques des configurations de champs externes qui ont été retenues pour atténuer le blackout RF dans l'analyse précédente.
- Conception et réalisation d'une expérience impliquant un réacteur pour créer un plasma à basse pression imitant les densités électroniques en jeu lors de la rentrée.

- Études expérimentales de la propagation RF à travers le plasma généré avec et sans la technique d'atténuation.

Ces travaux seront supervisés par ANYWAVES, l'ISAE-SUPAERO et le LAPLACE. Au final, ils doivent nous permettre de gagner en compétences et en maturité pour concevoir, fabriquer et mesurer des solutions antennaires originales compatibles avec les environnements plasma autour des véhicules hypersoniques.

[1] J. P. Rybak and R. J. Churchill, "Progress in Reentry Communications," IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol. AES-7, pp. 879-894, 1971.

[2] Y. Takahashi et al., "Examination of Radio Frequency Blackout for an Inflatable Vehicle During Atmospheric Reentry," J. Spacecraft Rockets, vol. 51, pp. 430-441, 2014.

[3] H. Takasawa et al., "Experimental demonstration and mechanism of mitigating reentry blackout via surface catalysis effects," J. Phy. D: Appl. Phys., vol. 54, p. 225201, 2021.

[4] H. Li et al., "Potential application of X-ray communication through a plasma sheath encountered during spacecraft reentry into earth's atmosphere," J. Appl. Phys., vol. 121, p. 123101, 2017.

[5] K. Xie et al., "Experimental apparatus for investigating the propagation characteristics of the low-frequency electromagnetic waves in hypersonic plasma fluid generated by shock tube," Rev. Sci. Instrum., vol. 90, p. 073503, 2019.

[6] B. A. Webb and R. W. Ziolkowski, "Metamaterial-inspired multilayered structures optimized to enable wireless communications through a plasmasonic region," Appl. Phys. Lett., vol. 118, p. 094102, 2021.

[7] N. Mehra et al., "Mitigation of Communication Blackout during Re-entry Using Static Magnetic Field," PIER B, vol. 63, pp. 161-172, 2015.

[8] J. Xu et al., "Density reduction on plasma sheath using pulsed magnetic field," Phys. Plasmas, vol. 28, P; 042509, 2021.

[9] M. Keidar et al., "Electromagnetic reduction of plasma density during atmospheric reentry and hypersonic flight," J. Spacecraft Rockets, vol. 45, pp. 445-453, 2008.

[10] D. Vennemann, "Hypersonic test facilities available in Western Europe for aerodynamic / aerothermal and structure / material investigations," Philosophical Transactions of the Royal Society of London, vol. 357, pp. 2227-2248, 1999.

[11] A. Shashurin et al., "Laboratory Modeling of the Plasma Layer at Hypersonic Flight," J. Spacecraft Rockets, vol. 51, pp. 838-846, 2014.

[12] Y. Min et al., "A large volume uniform plasma generator for the experiments of electromagnetic wave propagation in plasma," Phys. Plasmas, vol. 20, p. 012101, 2013.

Contacts :

Directeurs de thèse :

Thierry CALLEGARI, LAPLACE, Université de Toulouse, thierry.callegari@laplace.univ-tlse.fr

Romain PASCAUD, DEOS, ISAE-SUPAERO, romain.pascaud@isae-supero.fr