

Soutenance de thèse

Adrien LAFFONT soutiendra sa thèse de doctorat préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA OLIMPES et du LAPLACE, et intitulée « *Contribution à l'étude théorique, numérique et expérimentale d'une antenne VHF miniature exploitant une décharge plasma* »

Le 2 février 2022 à 10h00, salle des thèses ISAE-SUPAERO

devant le jury composé de

M. Olivier PASCAL	Professeur Université Toulouse 3	Directeur de thèse
M. Ala SHARAIHA	Professeur Université de Rennes 1	Rapporteur
Mme Laure HUITEMA	Maîtresse de conférences Université de Limoges	Rapporteuse
M. Romain PASCAUD	Enseignant-chercheur ISAE-SUPAERO	Co-directeur de thèse
M. Jean-Marc LAHEURTE	Professeur Université Gustave Eiffel	
Mme Geneviève MAZE-MERCEUR	Directrice de recherche CEA-CESTA	

Résumé : Gaz ionisés composés d'électrons, d'ions et de neutres, les décharges plasmas ont déjà démontré leur potentialité pour le développement de systèmes radiofréquences et micro-ondes. Plus particulièrement, le contrôle de la densité électronique et l'aspect allumage/extinction (mode ON/OFF) des décharges plasmas suscitent un intérêt croissant pour le développement d'antennes furtives reconfigurables en fréquence et/ou en diagramme de rayonnement. Ces antennes exploitent principalement deux comportements électromagnétiques des décharges plasmas, le comportement électrique, pour lequel la partie réelle de la permittivité relative du plasma est grandement négative, et le comportement diélectrique lorsque cette dernière est comprise entre 0 et 1.

Récemment, un nouveau type d'antenne plasma miniature a été proposé et expérimentalement étudié en bande VHF [1]. Dans son utilisation, le plasma ne se comporte ni comme un bon conducteur électrique, ni comme un matériau diélectrique, mais comme un mauvais conducteur aussi appelé matériau ENG (Epsilon NéGatif). L'antenne consiste alors en un monopole miniature couplé à un résonateur ENG hémisphérique de dimension sub-longueur d'onde obtenu grâce à une décharge plasma. Les travaux présentés dans [1], issus d'une précédente thèse [2], permirent de mettre en évidence un phénomène de résonance associé à un rayonnement électromagnétique de l'antenne plasma miniature. La reconfigurabilité en fréquence de l'antenne a également été observée en modifiant la puissance électromagnétique communiquée au plasma et donc sa densité électronique.

Dans ces travaux de thèse, nous poursuivons le développement de cette antenne plasma miniature. Plus spécifiquement, ce travail de recherche a pour but de :

- comprendre le phénomène physique opérant au sein du plasma à l'origine du rayonnement électromagnétique de l'antenne plasma miniature,
- mettre en œuvre des dispositifs de mesure pour évaluer ses performances antennaires,
- étudier expérimentalement les propriétés potentielles de durcissement électromagnétique de l'antenne,
- proposer une modélisation numérique de cette antenne non-standard.

Au cours de cette thèse, les différents travaux de recherche ayant été menés afin de répondre aux objectifs sont :

- un état de l'art sur les antennes à plasma,
- le développement d'un modèle analytique afin de proposer une description phénoménologique de la résonance plasmonique, phénomène physique à l'origine du rayonnement électromagnétique de l'antenne,
- l'élaboration de dispositifs de mesure dédiés à la caractérisation des propriétés de cette antenne,
- la mesure des performances de l'antenne plasma miniature ainsi que la mise en évidence expérimentale de ses propriétés de durcissement électromagnétique.
- la mise en œuvre d'une stratégie pour modéliser numériquement cette antenne plasma miniature.

[1] V. Laquerbe, R. Pascaud, A. Laffont, T. Callegari, L. Liard and O. Pascal, "Towards antenna miniaturization at radio frequencies using plasma discharges," Phys. Plasmas, vol. 26, no. 3, p. 033509, 2019

[2] V. Laquerbe, Etude théorique et expérimentale d'un nouveau concept d'antenne VHF miniature et accordable par décharge plasma. PhD thesis, ISAE-Supaéro, 2017

Mots-clés : Antenne plasma, Antenne miniature, Résonance plasmonique

Summary: Ionized gas composed of electrons, ions and neutrals, plasma discharges have already demonstrated their potential for the development of radio frequency and microwave systems. In particular, the control of the electron density and the ON/OFF aspect of plasma discharges are of growing interest for the development of stealth antennas reconfigurable in frequency and/or in radiation pattern. These antennas mainly exploit two electromagnetic behaviors of plasma discharges, the electrical behavior, for which the real part of the relative permittivity of the plasma is largely negative, and the dielectric behavior when the latter is between 0 and 1.

Recently, a new type of electrically small plasma-based has been proposed and experimentally studied in VHF band [1]. In this case, plasma behaves neither as a good electrical conductor, nor as a dielectric material, but as a bad conductor also called ENG (Epsilon NeGative) material. The antenna then consists of a small monopole coupled to a sub-wavelength hemispherical ENG resonator obtained with a plasma discharge. The work presented in [1], resulting from a previous thesis [2], allowed to highlight a resonance phenomenon associated with an electromagnetic radiation of the electrically small plasma-based antenna. The frequency reconfigurability of the antenna was also observed by modifying the electromagnetic power communicated to the plasma, that is to say its electron density.

In this work, we continue the development of this electrically small plasma-based antenna. More specifically, this research work aims to :

- understand the physical phenomenon operating within the plasma at the origin of the electromagnetic radiation of the electrically small plasma-based antenna,
- implement measurement devices to evaluate its antenna performances,
- experimentally study the potential electromagnetic hardening properties of the antenna,
- propose a numerical model of this non-standard antenna.

During this thesis, the different research works that have been carried out to meet the objectives are :

- a state of the art on plasma-based antennas,
- the development of an analytical model in order to propose a phenomenological description of the plasmonic resonance, physical phenomenon at the origin of the electromagnetic radiation of the antenna,
- the development of measurement devices dedicated to the characterization of the properties of this antenna,
- the measurement of the performances of the electrically small plasma-based antenna as well as the experimental demonstration of its electromagnetic hardening properties.
- the implementation of a strategy to numerically model this antenna.

[1] V. Laquerbe, R. Pascaud, A. Laffont, T. Callegari, L. Liard and O. Pascal, "Towards antenna miniaturization at radio frequencies using plasma discharges," Phys. Plasmas, vol. 26, no. 3, p. 033509, 2019

[2] V. Laquerbe, Etude théorique et expérimentale d'un nouveau concept d'antenne VHF miniature et accordable par décharge plasma. PhD thesis, ISAE-Supaéro, 2017

Keywords : Plasma-based antenna, Electrically small antenna, Plasmonic resonance