

## Soutenance de thèse

Carlos David MORALES PEÑA soutiendra sa thèse de doctorat préparée au sein du laboratoire de recherche ENAC et intitulée «*Antennes compactes à base de technologie additive répondant à des contraintes en rayonnement pour drones et nanosatellites*»

**Le 7 décembre 2021 à 10h00,**

**Amphithéâtre Bréguet de l'École Nationale de l'Aviation Civile - 7, avenue Édouard Belin, 31400 Toulouse**

devant le jury composé de

M. Alexandre CHABORY	Professeur ENAC	Directeur de thèse
Mme Eva RAJO IGLESIAS	Professeure University Carlos III Madrid	Rapporteuse
M. Renaud LOISON	Professeur INSA Rennes	Rapporteur
M. Xavier BEGAUD	Professeur Télécom ParisTech	
M. Cyrille MENUJER	Maître de Conférences Université de Limoges	
M. Romain PASCAUD	Enseignant-chercheur ISAE-SUPAERO	Co-directeur de thèse
M. Christophe MORLAAS	Enseignant-chercheur ENAC	
Mme Marjorie GRZESKOWIAK	Maîtresse de Conférences INSA Toulouse	

**Résumé :** Des véhicules aériens sans pilote (UAV) et des nanosatellites sont déployés à grande échelle dans le but de servir pour des applications industrielles et de recherche. Dans la pratique, ces petites plateformes demandent l'intégration de plusieurs antennes compactes pour différents besoins en communication, navigation, ou encore surveillance. L'intégration de ces antennes sur de telles plateformes est donc plus difficile en raison de ses petits plans de masse. L'une des solutions originales permettant de fournir des propriétés de rayonnement directives sans utiliser des grands plans de masse, repose sur la conception des sources d'Huygens. Un diagramme de rayonnement cardioïde peut, de ce fait, être réalisé en combinant deux dipôles orthogonaux électriques et magnétiques rayonnant le même champ, respectivement dans leurs plans E et H. Dans ce travail, plusieurs antennes à résonateur diélectrique (DRA) avec propriétés d'une source d'Huygens sont étudiées. Afin de générer des dipôles électriques et magnétiques équivalents, plusieurs TE modes peuvent être excités dans un résonateur diélectrique rectangulaire. De ce fait, en utilisant les nombreux degrés de liberté de leur conception, il est possible de concevoir des DRAs de tailles réduites avec des propriétés d'efficacité de rayonnement élevées et de larges bandes passantes. En d'autres termes, la fabrication additive, ou l'impression 3D, a ici été utilisée pour fabriquer les DRAs proposés. L'impression 3D ouvre la voie à de nouvelles antennes utilisant des formes complexes et des matériaux hétérogènes/anisotropes afin de contrôler, par exemple, sa bande passante et ses caractéristiques de rayonnement. Au cours de cette thèse, deux sources d'Huygens en polarisation linéaire et circulaire, et utilisant des résonateurs diélectriques empilés, ont d'abord été étudiées. La configuration empilée est ici formée par deux résonateurs avec des permittivités diélectriques isotropes différentes afin de générer une paire de dipôles électriques et magnétiques équivalents, nécessaires à l'obtention d'un rayonnement dans un demi-espace. Il est par la suite démontré qu'utiliser un diélectrique anisotrope uniaxial est une solution originale permettant de réduire le volume de ces sources d'Huygens empilées. Le diélectrique anisotrope a ainsi été conçu en structurant le matériau 3D imprimé en plusieurs cellules unitaires de sous-longueur d'onde pour obtenir un matériau dont la permittivité diélectrique effective est contrôlée par le taux de remplissage de volume de ses cellules unitaires. Afin de démontrer les possibilités offertes par l'impression 3D de céramiques anisotropes, une antenne DRA à alimentation unique et à polarisation circulaire dans la bande ISM 2.45 GHz a d'abord été conçue, imprimée et mesurée. L'anisotropie a ici été utilisée pour exciter deux modes orthogonaux avec certaines conditions de amplitude et phase, afin d'obtenir une polarisation circulaire. Enfin, une source d'Huygens compacte est conçue, utilisant un diélectrique céramique anisotrope dans la bande ISM 2.45 GHz

**Mots-clés :** Antenne à résonateur diélectrique (DRA), Source d'Huygens, Impression tridimensionnelle (3D), Matériau anisotrope

**Summary:** Unmanned aerial vehicle (UAV) and nanosatellites are being deployed on a massive scale for industrial and research applications. In practice, these small platforms require the integration of several compact antennas to cover the different needs in communication, navigation, or surveillance. The integration of these antennas is even more difficult as these platforms often offer small ground planes. An original solution to provide directive radiation properties without a ground plane relies on the design of Huygens sources. Cardioid radiation pattern can thus be achieved by combining two orthogonal electric and magnetic dipoles radiating the same field in their E- and H- planes, respectively. In this work, several dielectric resonator antennas (DRAs) exhibiting Huygens source properties are studied. In order to generate both equivalent electric and magnetic dipoles, numerous TE modes can be excited in a rectangular DRA. Thus, by using the numerous degrees of freedom in their design, it is possible to take advantage of their reduced size, ease of excitation, high radiation efficiency, and wide bandwidth. More specifically, additive manufacturing, or 3-D-printing, has here been used to realize the proposed DRAs. 3-D-printing paves the way for new antennas using complex shapes and heterogeneous/anisotropic materials to control, for instance, its impedance bandwidth and radiation characteristics. During this Ph.D. thesis, two Huygens source antennas in linear and circular polarization using stacked dielectric resonators have first been studied. The stacked configuration is here formed by two resonators with different isotropic dielectric permittivities in order to generate a pair of equivalent electric and magnetic dipoles, required to achieve a cardioid radiation pattern. Then, it is shown that an original solution to reduce the volume of the stacked Huygens consists in using a uniaxial anisotropic dielectric. Anisotropic dielectric has thus been designed by structuring the 3-D-printed material in several sub-wavelength unit cells to obtain a material whose effective dielectric permittivity is controlled by the volume fill rate of its unit cells. In order to demonstrate the possibilities offered by 3-D-printing of anisotropic ceramics, a single-fed circularly polarized DRA in the 2.45 GHz ISM band has first been designed, 3-D-printed, and measured. The anisotropy has here been used to excite two orthogonal modes with certain conditions in magnitude and phase to achieve circular polarization. Finally, the design of a compact Huygens source antenna using engineered dielectric anisotropy within 3-D-printed ceramics in the 2.45 GHz ISM is presented.

**Keywords:** Dielectric resonator antenna (DRA), Huygens source, Three-dimensional (3-D) printing, Anisotropic media