COLLEGE DOCTORAL BRETAGNE | MATHSTIC BRETAGNE OCEANE

Fiche sujet pour le recrutement d'un contrat doctoral 2023

Il est impératif que cette fiche ne dépasse pas 5 PAGES

Titre du sujet : Systèmes antennaires Full-Duplex multifonctions à dépointage de faisceau indépendant en émission et réception

Financement demandé :1/2 CDE (Acquis)
Indiquer l'origine du cofinancement (s'il y a lieu) : ½ ARED (Acquis en 2022)
et en fournir une preuve avant le 24 mai 2023 : michele.kerleroux@univ-brest.fr (UBO), noluenn.chauvin@univ-ubs.fr (UBS)

	Directeur de thèse HdR obligatoire	**Co-directeur** (s'il y a lieu) HdR obligatoire	**Co-encadrant** (s'il y a lieu) HdR non-obligatoire
NOM, Prénom	LE ROY Marc	PERENNEC André	LABABIDI Raafat GAUTIER Roland
Email	Marc.LeRoy@univ-brest.fr	andre.perennec@univ-brest.fr	raafat.lababidi@ensta-bretagne.fr roland.gautier@univ-brest.fr
Tél.	02 98 01 65 82	02 98 01 65 05	02 98 34 89 50 02 98 01 82 40
Titre	MCF HDR	MCF HDR	Enseignant-Chercheur Professeur
Laboratoire Equipe interne	Lab-STICC, Equipe DH (Dispositifs Hyperfréquences)	Lab-STICC, Equipe DH (Dispositifs Hyperfréquences)	Lab-STICC, Equipe DH (Dispositifs Hyperfréquences) et SI3
Section CNU/CNRS	63	63	63 ,61
HDR[1]	Oui	Oui	Non, Oui
Noms des doctorants actuellement encadrés (date de 1ère inscription et date estimée de soutenance). Préciser le % de direction[2].	C. Demeslay (Co-encadrement 30%)		C. Demeslay (Directeur R. Gautier 45%)

[1] L'HdR doit être effective à la date d'audition.
[2] Soit 50% ou 100%.

Titre	**Systèmes antennaires Full-Duplex multifonctions à dépointage de faisceau indépendant en émission et réception**
Contexte	La technique Full-Duplex (FD) ou In-Band Full-Duplex (IBFD) consiste à émettre et recevoir en même temps et dans la même bande de fréquences, cette technique est considérée comme une des voies les plus prometteuses (e.g. axes de réflexion prioritaires pour la 5G-Advanced et 6G) pour tenter de doubler les débits dans le cadre de communications, terrestres et spatiales, ou d'optimiser les ressources spectrales. Cette technique présente d'autres avantages potentiels, tels que l'introduction d'un premier niveau de sécurisation sur la couche physique (brouillage), la capacité d'écouter et de transmettre simultanément dans la même bande de fréquences (radio-cognitive), … La communauté scientifique hyperfréquence internationale (antennes, RF, Micro/millimeter wave) s'intéresse très fortement à cette thématique du "In-Band-Full-Duplex" depuis 2010 avec un très grand nombre (> 8000) de papiers et conférences, avec des sessions spéciales sur cette thématique dans lesquelles les membres de SITAR sont fortement impliqués (papiers invités, chairman, TPC, ...). De plus, nous (équipe DH) avons déjà obtenus des résultats prometteurs [1]-[4] sur cette technique de l'IBFD au niveau antennaire, et tout particulièrement dans des contextes aussi exigeants que le spatial (CubeSat [1]) et l'Ultra-Large-Bande [2]-[4] et pour différentes polarisations. En parallèle, la montée en fréquences (5G-Advanced, 6G, …) et le développement de constellations de satellites (LEO) a fortement accentué le niveau d'exigence et les contraintes sur l'étage antennaire avec de très nombreuses études et innovations pour obtenir des antennes compactes reconfigurables à fort gain et proposant un balayage du faisceau principal de l'antenne, voire du multifaisceaux. Cependant, à ce jour, aucune des techniques proposées dans la littérature ne permet de réaliser un tel dépointage de faisceau tout en maintenant un fort niveau d'isolation entre Tx et Rx requis pour permettre une communication ou un fonctionnement en mode In-Band Full-Duplex. Des techniques MIMO entièrement numériques ou à faible hybridation ont été récemment proposées, mais les travaux les plus significatifs dans ce domaine d'IBFD et nos propres réalisations, montrent qu'un premier niveau conséquent de SIC (entre 40 minimum et 60 dB) doit être nécessairement obtenu par l'étage antennaire ou analogique pour i) éviter la saturation de l'étage de réception (ADC), voire même pour le protéger d'éventuelles dégradations et ii) pour espérer atteindre un niveau total d'annulation de l'auto-interférence d'au moins 110 dB. De premiers travaux viennent d'être publiés sur un système antennaire IBFD à dépointage mais le nombre d'éléments rayonnants y est forcément très faible (4) et les capacités de dépointage limitées.
Objectifs identifiés	Ce projet cible la réalisation d'un système antennaire IBFD à balayage et à reconfiguration indépendante des faisceaux TX et RX, et dont le niveau d'isolation ou SIC (Self Interference Cancellation) soit d'en moyenne 50 dB sur toute la bande considérée, en conservant un niveau supérieur à 40 dB pour l'ensemble des angles de dépointage du faisceau (typiquement ±35°). Le choix des architectures de SIC antennaire et des techniques de balayage de faisceaux est primordial pour en permettre une combinaison optimale et faire en sorte que cette association ne dégrade pas fortement leurs caractéristiques individuelles. Le choix des topologies retenues devra donc s'appuyer sur une étude comparative et conjointe de l'état de l'art. Pour maintenir l'isolation nécessaire à l'IBFD en fonction du dépointage, nous avons

	d'ores et déjà identifié, sur la base de nos travaux récents une architecture compatible basée sur une technique d'annulation de la SI en champ proche et qui semble a priori compatible avec cet objectif et qui reste à confirmer par des simulations. Plusieurs étapes intermédiaires seront nécessaires : ainsi un 1er démonstrateur IBFD à balayage 1D et à faible complexité (i.e. faible nombre d'éléments rayonnants en TX et RX) en bande ISM ou C sera conçus et fabriqués pour évaluer en simulation et expérimentalement les limites de l'approche choisie (gain, SIC, SLL en fonction de l'angle de dépointage). Un ou plusieurs démonstrateurs en bande X ou Ka seront ensuite développés et caractérisés pour mettre en œuvre un dépointage indépendant en TX et RX en 2D (Azimut, élévation) avant d'aboutir à la réalisation d'un système complet (antennaire, puis digital dans un 2nd temps) à dépointage de faisceaux TX et RX dissociés et dédiés aux différents scénarios envisagés. Des points de vigilance a priori ont été identifiés : • Les imperfections et dispersions multiples des composants du front-end RF (e.g. en fonction de la fréquence, des tolérances de fabrication, non-linéarités des PA) peuvent dégrader le niveau d'isolation attendu. La topologie retenue devra reposer sur une structuration la plus symétrique possible et minimisant d'éventuelles disparités entre les alimentations d'antennes ou de bloc. • Dans le cadre de l'application visée (typiquement une petite plateforme embarquée), la compacité du système sera également un critère déterminant.
Caractère novateur	Un système antennaire Full-Duplex (TX et RX simultanées sur la même bande de fréquences) présentant une capacité de dépointage de faisceaux dissociée des parties émission et réception, constitueraient une innovation majeure pour concevoir un système multifonctions FD : surveillance-transmission simultanées, brouillage-écoute simultanées, et autres couples d'émission-réception. A notre connaissance, ces fonctionnalités n'ont jamais été réalisés à ce jour, sur la base d'un système unique et compact.
3 publications du (des) porteur(s) de projet dans le domaine sur les 5 dernières années	[1] H. Hijazi, A. Pen, M. Le Roy, R. Lababidi, D. Le Jeune, A. Pérennec, J.L. Issler, K. Elis, J.H. Corre," Circularly Polarized In-Band Full-Duplex Antenna Array for Ka-Band Inter-CubeSat Links," IEEE NEWCAS, Québec, Canada, June 19-22, 2022 [2] H. Hijazi, M. Le Roy, R. Lababidi, D. Le Jeune, A. Pérennec, "Ultra-Wideband Antenna System for In-Band Full-Duplex Applications," IET Microwaves, Antennas & Propagation, 2021, vol. 15, no 15, p. 1853-1865 [3] H. Hijazi, M. Le Roy, R. Lababidi, D. Le Jeune and A. Pérennec, "3D-Printed Ultra-Wideband In-Band Full-Duplex Antenna System With Grating Lobes Reduction," 2022 International Conference on Microelectronics (ICM), 2022 **(2nd Best Student Paper, selected for publication in a Journal Special Issue).** [4] H. Hijazi, M. Le Roy, R. Lababidi, D. Le Jeune, A. Pérennec, "Wideband Dual-Polarized Full-Duplex Antenna Array." 2021 IEEE International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC), **invited paper in Full-Duplex special session.**
Collaborations nationales et internationales	**Aucune** car projet en lien indirect avec la DGA (AID) permettant de fusionner deux concepts innovants et les savoir-faire correspondants acquis par l'équipe (thèses IBFD et projet AID APCUSKA-antenne compacte à dépointage de faisceau hybride en bande Ka - → brevet en cours) pour se projeter vers la conception d'un système IBFD innovant et multifonctions pour applications civiles.

Retombées	Dans un premier temps, les applications de télécommunications civiles (spatial, potentiellement 5G-Advanced et 6G) seront ciblées. A plus long terme, la conception d'un 2nd démonstrateur pourrait être menée pour répondre aux spécificités des front-ends RF « défenses » (i.e. largeur de bande instantanée, agilité en fréquences, tenue en puissance, …).

Title	**Multi-function In-Band Full-duplex System with Independent Transmit and Receive Steerable Antennas**
Context	The Full-Duplex (FD or In-Band Full-Duplex (IBFD)) technique that consists of transmitting and receiving at the same time and in the same frequency band, is considered to be one of the most promising ways (e.g. for 5G-Advanced and 6G) in order to double the data rate in terrestrial and space communications, or to optimize the spectral resources. This technique has other potential advantages, such as introducing a first level of security on the physical layer (self-scrambling), the ability to track and transmit simultaneously in the same frequency band (Cognitive Radio), ... Since 2010, a continuous growing number of papers and conference articles (> 8000) on "In-Band-Full-Duplex" or "STAR: Simultaneous Transmit And Receive" has been published among the international microwave scientific community (antennas, RF, Micro/millimeter wave). Special sessions on this topic are regularly organized, in which SITAR members are strongly involved (guest papers, session chairman, TPC, etc.). Moreover, our team has obtained some internationally-recognized relevant results on IBFD techniques at the antenna level, moreover for LEO (CubeSat [1]) and UWB domains [2]-[4] where requirements are particularly stringent. Currently, none of the techniques described in the literature enables to achieve efficient beam steering while keeping the high level of isolation between Tx and Rx required for In-Band Full-Duplex communication mode. Fully digital or hybrid MIMO techniques have recently been put forward, but the most significant contributions in this area together with our own observations from measurements show that a substantial first level of SIC (between 40 minimum and 60 dB) must be obtained at the antenna or analog level in order to i) avoid saturation at the reception level (ADC), or even to protect it from possible degradation and ii) to strive for a total level of self-interference cancellation of at least 110 dB. Some initial work has just been published on an IBFD antenna system with beam-steering capabilities, but the number of radiating elements is restricted to a very low value (4) and the beam-steering functionality is strongly limited.
Objectives	This project targets the realization of an IBFD antenna system with independent TX and RX beam-steering capabilities and whose level of isolation or SIC (Self Interference Cancellation) is at a medium level of 50 dB on the whole band considered and at least better than 40 dB for every steering angle (±35°). Choosing the most suitable SIC topology for a given beam-steering technique will be essential to maintain the targeted SIC level. A combined state-of-the-art study will be conducted and some initial simulations should be done to assess that the SIC technique that we have already identified from our recent works is suitable with this

	objective. Several milestones are forecast to converge toward a final proof-of-concept system: a 1st IBFD demonstrator with 1D scanning capabilities and a low complexity level (i.e. 1D beam steering and a low number of radiating elements both in TX and TX) will be designed in ISM or C band and experimentally characterized in order to identify the limitation of the proposed approach and the improvements to be done (gain, IC, SLL versus steering angle). Then, one or several 2D beam steering prototypes will be designed and validated experimentally in X- or Ka-Band before achieving a complete system (antenna + digital in a 2nd time) dedicated to the targeted scenarios. Some a priori challenges have already been identified: • Impairments and dispersions in RF front-end component characteristics (e.g. frequency dependence, manufacturing tolerances, PA linearities) can degrade the expected isolation level. So, the selected topology should rely on a symmetrical architecture in order to reduce imbalances in the antenna emitting elements and in the feeding network. For the same reason, we should also minimise the use of commercial components (COTS). • In the context of the targeted application (typically a small embedded platform), the compactness of the system will also be a major criterion.
Novelty of the project	Designing a Full-Duplex antenna system (simultaneous TX and RX on the same frequency band) with independent TX and RX beam-steering/beamforming capabilities is the key feature toward implementing a multifunction FD system. Among the numerous possible configurations, such a multi-function FD front-end could perform simultaneous monitoring-transmission, jamming-simultaneous tracking, and other transmit-receive pairs. To our knowledge, these functionalities have not yet been realized, and furthermore in a single compact packaging.
International collaboration	**None** because this project is indirectly linked to the DGA (AID) and it relies on merging two innovative concepts and the corresponding know-how acquired by the team (from IBFD PhD and AID project APCUSKA-compact and high gain antenna with hybrid beamsteering in Ka band → patent pending) in order to introduce the design of an innovative and multifunctional IBFD system for civil applications.
Expectations	The first proof-of-concept demonstrators will target civilian wireless communication applications (Spatial, drone, 5G-advanced, 6G, …). In the long-term, the design of more advanced demonstrators could be carried out to meet the specifications of military RF front-ends (i.e. instantaneous bandwidth, frequency tunability, power handling, etc.).