

Offre de thèse :

Faisceaux de Bessel non-diffractant pour les liaisons RF sans fil en champ proche : Modélisation, synthèse, contrôle dynamique et autoréparation

Description du sujet : Notre société est de plus en plus connectée. Un nombre croissant d'activités de notre quotidien, professionnelles ou personnelles, passe par le numérique, avec une multitude de terminaux permettant de travailler et d'interagir à distance. Les technologies de communication sans fil, véritable clé de voûte de nos usages nomades, facilitent l'accès à ces terminaux.

Cette connectivité nomade s'accompagne d'une augmentation constante du trafic de données et de son débit. Ceci justifie notamment l'élargissement des bandes passantes à travers la mise à niveau récurrente des réseaux mobiles vers les fenêtres millimétriques et sub-millimétriques du spectre électromagnétique. Cette montée en fréquence s'accompagne cependant d'une augmentation des pertes « naturelles » à la propagation en espace libre (*Free-Space Path Loss*), très pénalisante pour les applications. En effet, dès lors que la distance de communication excède un faible multiple de la taille de l'émetteur, ces pertes FSPL deviennent la cause majeure d'atténuation du signal. Pour pallier cette difficulté, une voie de recherche actuelle consiste à développer des antennes à fort gain, mais des alternatives sont à l'étude, dont l'une constitue ce projet de doctorat.

Plutôt que de compenser ces pertes FSPL par un accroissement du gain, nous proposons de les réduire grâce à l'utilisation d'ondes *peu diffractives*. Les faisceaux de Bessel [1], solutions rigoureuses de l'équation de Helmholtz, font partie de ces ondes peu diffractives, c'est-à-dire dont le profil transversal en intensité est stable sur une grande distance de propagation, du moins eu égard aux applications de champ proche RF. Cette idée féconde d'onde non-diffractive a d'ores et déjà donné lieu en Optique [2] à de nombreuses applications comme la découpe laser, les pinces optiques... Dans le domaine des ondes radio, le rapport entre la taille de l'antenne et la longueur d'onde est nettement moins favorable, ce qui rend ces faisceaux encore plus stratégiques. Ces ondes constituent ainsi un élément essentiel pour le développement de la prochaine génération de réseaux sans fil en champ proche. Elles doivent permettre de réduire drastiquement les pertes à la propagation, voire d'étendre la distance d'utilisation pour une liaison sans fil en ondes millimétriques. Des premières réalisations ont été opérées notamment en France (IETR), et mettent en œuvre des antennes à méta-surfaces [3].

Le projet de thèse consistera à poursuivre et étendre ce travail, dans le cadre du projet ANR LinkALL (édition 2021) concrétisant une collaboration entre l'IETR (Institut d'Electronique et des Technologies du numéRique- UMR 6164), l'Institut Fresnel (UMR 7249) et Thales Recherche et Technologie. Le travail de doctorat sera en premier lieu de nature théorique et numérique, et se déroulera majoritairement à l'Institut Fresnel. Les aspects expérimentaux seront menés en partenariat au sein du consortium ANR.

L'étudiant travaillera tout d'abord sur la génération, la propagation et la réception d'un faisceau de Bessel. Ces travaux seront développés dans le cadre de l'optique électromagnétique [4] (équations de Maxwell). Des méta-surfaces seront introduites pour

procéder à la synthèse d'impédance permettant de générer les faisceaux à faible diffraction. On cherchera à optimiser un système spécifique de couplage à 60 GHz entre un émetteur et un récepteur coaxiaux. Les performances de couplage seront comparées aux pertes FSPL prévues par l'équation de transmission de Friis [5].

Le doctorant étudiera également les propriétés d'« autoréparation » en champ proche des faisceaux, c'est-à-dire leur capacité à se reformer partiellement après un obstacle. Dans ce but, le modèle de génération/propagation/réception sera couplé à un modèle surfacique [6] ou volumique [7] de diffraction électromagnétique. L'Institut Fresnel dispose de plusieurs de ces modèles de diffraction, et de l'expertise requise pour leur utilisation.

Ensuite, on cherchera à relaxer la contrainte sur l'alignement des antennes ; pour cela on déterminera dans quelle mesure le faisceau de Bessel peut être dépointé pour viser un récepteur hors-axe, et on examinera l'influence d'un tel dépointage sur le bilan de liaison. On s'intéressera au cas d'un récepteur mobile, et aux limites en termes de distance et d'efficacité induites par le mouvement. Ceci amènera à explorer le potentiel des composants dont les propriétés physiques varient à haute fréquence au cours du temps (time-varying metasurfaces).

Expertise requise : Niveau master ou école d'ingénieur, dans le domaine de la physique, l'électromagnétisme ou l'optique physique. Programmation en matlab, utilisation de programmes en fortran. Des connaissances en hyperfréquence et antennes sont bienvenues.

Laboratoire d'accueil : Institut Fresnel, UMR-CNRS 7249, équipe CONCEPT

Cadre : Projet ANR LinkALL (IETR/IF/Thales Research & Technology) – Financement acquis

Période: contrat doctoral de 3 ans débutant au dernier trimestre 2021

Superviseurs: G. Soriano, C. Amra, M. Zerrad

Candidature : Envoyer CV et relevés de notes à myriam.zerrad@fresnel.fr

Références bibliographiques:

- [1] J. Durnin *et al.*, Diffraction-free beams, *Phys. Rev. Lett.* 58, pp1499-1501 (1987)
- [2] D. McGloin *et al.*, Bessel beams: diffraction in a new light, *Contemporary Physics* 46, pp15-28 (2005)
- [3] M. Ettorre *et al.*, Generation of propagating Bessel beams using leaky-wave modes: Experimental validation, *IEEE Trans. Antennas Propag.* 60, pp2645-2653 (2012)
- [4] C. Amra, M. Lequime, and M. Zerrad, *Electromagnetic Optics of Thin-Film Coatings: Light Scattering, Giant Field Enhancement, and Planar Microcavities*, Cambridge University Press (2021)
- [5] C.A. Balanis, *Antenna theory : analysis and design*, John Wiley & sons (2015)
- [6] G. Soriano, M. Saillard, Scattering of electromagnetic waves from two-dimensional rough surfaces with impedance approximation, *J. Opt. Soc. Amer. A* 18, pp124-133 (2001)
- [7] P. C. Chaumet, A. Sentenac, and A. Rahmani, Coupled dipole method for scatterers with large permittivity. *Phys. Rev. E* 70, 036606 (2004)