

Sujet thèse / PhD subject 2026

Titre Thèse	Métamatériaux portables pour la manipulation des ondes électromagnétiques	
PhD Title	Wearable metamaterials for electromagnetic wave manipulation	
(Co)-Directeur	Éric LHEURETTE	E-mail : eric.lheurette@univ-lille.fr
(Co)-Directeur	Ludovic BURGNIES	E-mail : ludovic.burgnies@univ-lille.fr
(Co)-Encadrant (s)		E-mail :
Laboratoire	IEMN	Web : www.iemn.fr
Groupe(s)	Sublambda	Web :
Projet phare principal	Telecom UHD	
Financement acquis Oui ☐ Non ☒ Partiel ☐	Si acquis (total ou partiel), préciser : (contrat, organisme, Université étrangère...) :	
Financement demandé	Contrat Doctoral Etablissement	ULille ☒ Centrale Lille ☐ JUNIA ☐
	Région ou Autre ☒ Préciser : ULille	Co-financement (Préciser l'origine, demande en cours, et si acquis ou pas) :-

A - Résumé

Les métamatériaux sont souvent considérés pour produire des matériaux artificiels présentant des propriétés non conventionnelles comme un indice de réfraction négatif ou proche de zéro. Les métasurfaces qui sont une version bidimensionnelle des métamatériaux ont permis par exemple de confirmer expérimentalement les lois généralisées de la réflexion et de la réfraction de Snell-Descartes avec des applications en focalisation, en redirection de faisceau ou pour réduire la surface équivalente radar (SER) d'objets. Les métamatériaux et métasurfaces peuvent être fabriqués par différents procédés notamment par gravure de circuit imprimé pour des applications microondes et millimétriques. Mais d'autres procédés de fabrication sont couramment envisagés pour obtenir des structures plus compliquées (par exemple par impression 3D) ou pour améliorer leur intégration. Pour des applications impliquant le corps humain, il est judicieux d'envisager la fabrication de métamatériaux par des procédés issus du domaine du textile afin d'obtenir une meilleure intégration dans les vêtements et les rendre invisibles aux yeux des usagers finaux. Une autre solution peu invasive est l'utilisation de substrats flexibles qui peuvent être fixés par la suite sur le textile. Différentes applications sont concernées par les métamatériaux sur textiles comme la furtivité des fantassins ou de véhicules militaires, ou encore la détection des usagers vulnérables de la route (piétons, cyclistes, ...) par les radars anticollisions disponibles de plus en plus dans les véhicules. Les métamatériaux sont généralement constitués de résonateurs diélectriques et/ou métalliques de taille inférieure à la longueur d'onde. En électromagnétisme, une résonance peut se produire lors de l'apparition d'une boucle de courant de déplacement dans un diélectrique (résonance de Mie), d'un courant de conduction dans une boucle métallique, ou par une combinaison des deux types de courant dans certaines structures hybrides Métal-Isolant-Métal (MIM). Le caractère résonnant des éléments constitutifs implique une bande de fonctionnement étroite qu'il est souvent nécessaire d'élargir pour développer des applications pratiques des métamatériaux. Avec cet objectif, deux solutions sont couramment envisagées dans la littérature : l'utilisation de motifs de tailles différentes résonnants à des fréquences proches, et l'utilisation d'un désordre ou d'une répartition hyperuniforme.

L'objectif de la thèse sera d'étudier par la simulation et expérimentalement le fonctionnement de métamatériaux intégrables sur les textiles pour des applications en détection ou furtivité des personnes (usagers vulnérables de la route ou fantassins) par les radars. Des techniques de conception de métasurfaces pour la redirection de faisceau ou la réduction de SER utilisent principalement le déphasage introduit par les cellules élémentaires qui sont ensuite réparties périodiquement, aléatoirement, ou de manière hyperuniforme. La phase de la réflexion des résonateurs sera donc particulièrement étudiée pour envisager ce type d'application. D'un autre côté, le module de la réflexion pourra aussi être étudié pour obtenir une absorption des ondes par les métasurfaces.

Dans un premier temps, un fonctionnement autour de 60 GHz (bande 57-71 GHz libre pour les dispositifs à courte portée, décision de l'arcep 2021-1589) sera visée notamment pour permettre la caractérisation électromagnétique des structures. Néanmoins, la bande pourra être adaptée selon les résultats de simulation et les dispositifs expérimentaux disponibles au laboratoire pour pouvoir aboutir à la caractérisation des échantillons fabriqués. Dans ce cadre, des échantillons avec un nombre réduit de résonateurs répartis périodiquement seront fabriqués puis caractérisés afin de valider les résultats de simulation. Ces résultats expérimentaux préliminaires auront pour vocation de prouver leur fonctionnement avant de poursuivre sur la conception, la fabrication, et la validation expérimentale des métasurfaces plus compliquées visant les applications de protection et de furtivité des personnes par des vêtements intelligents.

B - Abstract

Metamaterials are often considered for producing artificial materials with unconventional properties such as a negative or near-zero refractive index. Metasurfaces, which are a 2-dimensional version of metamaterials, have for example allowed an experimental validation of the generalized Snell's laws of reflection and refraction with applications in focusing, beam redirection or to reduce the radar cross section (RCS) of objects. Metamaterials and metasurfaces can be differently manufactured, in particular by Printed Circuit Board (PCB) for microwave and millimeter wave applications. But other fabrications are commonly considered to produce more complicate structures, for example by 3D printing, or to improve their integration. For applications involving the human body, it is particularly convenient to consider the production of metamaterials by means of traditional textile manufactures in order to obtain better integration into clothing and make them invisible for end-users. Another solution with low invasiveness is the use of a flexible substrate which can be then attached to textile. Various applications are concerned with metamaterials onto textiles such as the stealth of infantrymen or military vehicles, or even the detection of vulnerable road users (pedestrians, cyclists, etc.) by anti-collision radars more and more available in vehicles. Metamaterials are generally composed of dielectric and/or metallic resonators smaller than the wavelength. In electromagnetism, resonance can occur by means of a displacement current loop in a dielectric (Mie resonance), of conduction current in a metallic loop, or by a combination of both kinds of current in certain hybrid structures so-called Metal-Insulator-Metal (MIM). The resonant nature of the constituent elements yields a narrow band operation, which often needs to be broadened for practical applications of metamaterials. Two solutions are commonly discussed in the literature to achieve this: the use of patterns with different sizes and near resonance frequencies, and the use of a disorder or hyperuniform distribution.

The objective of the thesis is to study by means of simulation and experiments textile-integrated metamaterials for applications devoted to the detection or stealth of people (vulnerable road users or infantry) by radar. Design of metasurfaces for beam redirection or RCS reduction is supported by the reflection phase shift introduced by elementary cells, which are then distributed periodically, randomly, or hyperuniformly. Therefore, the reflection phase of the resonators will be first studied to consider this type of application. Furthermore, the reflection magnitude will be also investigated to achieve wave absorption by the metasurfaces.

At first, operation at 60 GHz will be targeted in order to be able to measure the electromagnetic performance of the structures. However, the band might be adjusted based on simulation results and the experimental equipment available in the laboratory to allow characterization of the fabricated samples. In this context, samples with a limited number of periodically distributed resonators will be fabricated and then characterized to validate the simulation results. These preliminary experimental results will serve to demonstrate functionality before proceeding with the design, fabrication, and experimental validation of more complex metasurfaces with applications in personal protection and stealth using smart clothing.