

**Sujet thèse / PhD subject 2025**

<b>Titre Thèse</b>	Métamatériaux textiles pour la manipulation des ondes électromagnétiques	
<b>PhD Title</b>	Textile metamaterials for electromagnetic wave manipulation	
<b>(Co)-Directeur</b>	Ludovic BURGNIES	E-mail : ludovic.burgnies@univ-lille.fr
<b>(Co)-Directeur</b>	Éric LHEURETTE	E-mail : eric.lheurette@univ-lille.fr
<b>(Co)-Encadrant (s)</b>		E-mail :
<b>Laboratoire</b>	IEMN	Web : www.iemn.fr
<b>Groupe(s)</b>	Sublamba	Web :
<b>Projet phare principal</b>	Telecom UHD	
<b>Demande de fléchage IEMN ?</b>	Non	
<b>Demande de labellisation Université de Lille (GREAL, labellisée)</b>	Non	
<b>Financement acquis</b> Oui <input type="checkbox"/> Non <input checked="" type="checkbox"/> Partiel <input type="checkbox"/>	Si acquis (total ou partiel), préciser : (contrat, organisme, Université étrangère, , ....) :	
<b>Financement demandé</b>	Contrat Doctoral Etablissement	ULille <input checked="" type="checkbox"/> Centrale Lille <input type="checkbox"/> JUNIA <input type="checkbox"/>
	Région	Co financement : ULille

**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 2D 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 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 (<https://projet-context.iemn.fr/index.php>). Différentes applications sont concernées par les métamatériaux textiles comme la furtivité des fantassins ou de véhicules militaires ou 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), de conduction dans une boucle métallique, ou par une combinaison des deux types de courant dans certaines structures hybrides Métal-Isolant-Métal (MIM). Les métamatériaux textiles fabriqués par le tissage de fils conducteurs et de fils isolants font parties des structures MIM et il a déjà été vérifié expérimentalement à l'IEMN qu'un tel tissage se comporte comme un matériau à indice de réfraction négatif. L'objectif de la thèse est d'envisager la production de métamatériaux textiles non pas à l'échelle du tissage mais à l'échelle du fil et de la fibre constituant le textile. Il s'agit de considérer la géométrie de certains fils dits fantaisies qui font apparaître naturellement des boucles qui peuvent être mises à profit pour obtenir des résonances électriques ou magnétiques dans le textile et produire un comportement métamatériau. Dans ce but, deux types de fils fantaisies seront étudiés : les fils Knop et Loop pour lesquels les boucles seront formés par un fil conducteur autour d'un fil de cœur diélectrique. Un métamatériau textile serait alors fabriqué par tissage ou tricotage de ces fils fantaisies pour produire un réseau de résonateurs métalliques. Le comportement électromagnétique des fils fantaisies sera étudié par la simulation en utilisant les logiciels de simulation commerciaux (CST, HFSS) pour des applications en redirection de faisceau, pour réduire la surface équivalente radar (SER) de la métasurface textile, ou pour absorber les ondes électromagnétiques.

Pour cela, les paramètres géométriques des fils permettant d'obtenir une résonance dans une bande de fréquence visée seront étudiés en prenant en compte les contraintes liées à la fabrication réelle de tels fils comme le diamètre ou la conductivité limitée des fils conducteurs utilisés usuellement pour les textiles. 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. La phase de la réflexion d'un réseau de boucles 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 un métamatériau textile. 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 d'échantillons fabriqués manuellement. Des échantillons avec un nombre réduit de résonateurs seront fabriqués puis caractérisés afin de valider les résultats de simulation. Ces résultats expérimentaux préliminaires auront pour vocation de prouver la pertinence d'utiliser des fils fantaisies pour développer une nouvelle technologie de fabrication de métamatériaux textiles pour des 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-Descartes laws of reflection and refraction with applications in focusing, beam redirection or to reduce the radar cross section 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 (<https://projet-context.iemn.fr/index.php>). Various applications are concerned with textile metamaterials such as the stealth of infantrymen or military vehicles, or the detection of vulnerable road users (pedestrians, cyclists, etc.) by anti-collision radars more and more available in vehicles. Textile metamaterials made by weaving conductive and insulating threads are a part of textile metamaterials. It has already been experimentally verified at IEMN that such a weaving behaves like a material with an unconventional negative refractive index.

The objective of the thesis is to consider the production of textile metamaterials not at the weaving scale but at the scale of the thread and fiber constituting the textile. It is a question of considering the geometry of some so-called fancy yarns with a loops production which can be used to achieve electric or magnetic resonances in the textile and metamaterial features. Two kinds of fancy yarns will be studied: Knop and Loop yarns for which the loops will be formed by a conductive yarn around a dielectric core wire. A textile metamaterial would then be manufactured by weaving or knitting the fancy yarns. The electromagnetic features of the fancy yarns will be studied by simulation for applications in beam redirection, radar cross section (RCS) reduction, or wave absorption. The geometric parameters of the yarns allowing to produce a resonance around 60 GHz will be considered by taking into account the constraints related to the real manufacturing of such yarns as the diameter or the limited conductivity of the conductive yarns usually used for textiles. Samples with a reduced number of resonators will be manufactured and then experimentally characterized in order to validate simulation results. These preliminary experimental results will aim to prove the relevance of using fancy yarns to develop a new technology for manufacturing textile metamaterials for applications in protection and stealth of people by new smart clothing.