

Sujet thèse / PhD subject 2026

Titre Thèse	Métasurface pour la récupération d'énergie électromagnétique	
PhD Title	Electromagnetic energy scavenging by a rectified metasurface	
(Co)-Directeur	Ludovic BURGNIES	E-mail : ludovic.burgnies@univ-lille.fr
(Co)-Directeur	Éric LHEURETTE	E-mail : eric.lheurette@univ-lille.fr
(Co)-Encadrant (s)		
Laboratoire	IEMN	Web : www.iemn.fr
Groupe(s)	Sublambda	Web :
Projet phare principal	Energy	
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

Ces dernières années, les objets connectés se sont immiscés dans la vie quotidienne avec des applications dans le bâtiment, l'automobile, la santé, ou le loisir. Pour simplifier la connectivité, leur alimentation par batterie est couramment envisagée bien qu'une telle alimentation soit peu compatible avec le développement durable qui nécessite de limiter la production de déchets polluants. D'autres sources d'alimentation autonomes alternatives sont donc recherchées (thermique, solaire, cinétique, électromagnétique...). Chaque source est plus ou moins pertinente selon l'environnement d'utilisation de l'objet connecté. Les applications en milieu urbain peuvent bénéficier de la présence d'un nombre important de systèmes de télécommunications hertziennes (WiFi, GSM, TNT,...) et l'énergie électromagnétique ambiante peut être collectée pour alimenter un dispositif électronique autonome à faible consommation. Historiquement, l'énergie électromagnétique est collectée par une antenne rectifiée (rectenna) composée d'une antenne qui capte l'onde électromagnétique et la transforme en un signal électrique alternatif qui est ensuite transformé en un signal continu par des circuits de redressement et de filtrage. Pour augmenter l'énergie collectée, l'utilisation d'un réseau d'antennes a été envisagée dans la littérature mais le réseau présente l'inconvénient d'augmenter la taille de la source d'alimentation. Plus récemment, l'utilisation d'une métasurface ou d'une surface sélective en fréquence (FSS) rectifiée a été considérée. Contrairement à une rectenna à réseau d'antennes qui nécessite des circuits d'adaptation d'impédance entre les étages successifs, le redressement et le filtrage sont intégrés au sein même de la métasurface et de la FSS rectifiée, ce qui simplifie l'étape de conception du récupérateur d'énergie et améliore son rendement de conversion. Enfin, les techniques de miniaturisation habituellement développées dans les métamatériaux et les métasurfaces peuvent être mises à profit pour obtenir une source d'alimentation autonome efficace et de petite taille.

L'objectif de la thèse est de développer un système de récupération d'énergie électromagnétique dans les bandes ISM 2.4 et 5.8 GHz constitué par une métasurface rectifiée miniaturisée. La thèse comportera (i) une phase de simulation sur le logiciel commercial CST Studio Suite pour dimensionner les métasurfaces rectifiées, (ii) leurs fabrications par PCB sur substrat rigide, et (iii) enfin la caractérisation de leurs performances (spectre fréquentiel, plage de puissance de fonctionnement, rendement de conversion). Une métasurface est composée d'un réseau de motifs métalliques de taille inférieure à la longueur d'onde dont la géométrie et les dimensions modifient la réponse fréquentielle. Les simulations auront pour objectif d'une part de définir la géométrie des motifs des métasurfaces à fabriquer permettant de miniaturiser le dispositif de collecte d'énergie, et d'autre part de définir la position optimale des composants de redressement et de filtrage intégrés dans chaque cellule élémentaire afin d'obtenir un rendement de conversion maximal. Dans cette phase de conception, l'insensibilité de la réponse de la métasurface à la polarisation de l'onde sera aussi étudiée pour améliorer le rendement du dispositif de collecte d'énergie. Dans ce but, des structures multicouches seront particulièrement envisagées. Les métasurfaces seront fabriquées au pôle C2EM de l'IEMN par

gravure laser d'un PCB à faibles pertes. Les métasurfaces fabriquées seront caractérisées dans les pôles CHOP et C2EM de l'IEMN selon les mesures envisagées. Les principales caractérisations porteront notamment sur la réponse fréquentielle de la métasurface rectifiée, sur l'adaptation d'impédance de la métasurface rectifiée à une charge résistive, et sur sa réponse en fonction de la puissance de l'onde incidente. Un calibrage spécifique du banc de mesure placé dans une chambre anéchoïque sera utilisé afin d'obtenir des résultats expérimentaux pertinents et exploitables. Enfin, un circuit simple de gestion d'énergie pourra être introduit en fin de thèse afin de caractériser les performances des métasurfaces dans un environnement réel d'utilisation. Pour cela, l'énergie issue d'une borne WiFi et collectée par une métasurface sera évaluée en fonction du niveau d'utilisation de la borne (débit des communications établies via la borne).

B - Abstract

In recent years, connected objects have become part of everyday life with applications in building, automotive, health, or leisure. To simplify connectivity, their power supply by a battery is commonly considered, although such a power supply is not very compatible with sustainable development, which requires limiting the production of polluting waste. Other alternative autonomous power sources are therefore sought (thermal, solar, kinetic, electromagnetic, etc.). Each source is more or less relevant depending on the surrounding environment in which the connected object is located. Applications in urban areas can benefit from the presence of a large number of wireless telecommunications systems (WiFi, GSM, TNT, etc.) and ambient electromagnetic energy can be collected to supply a low-consumption autonomous electronic device. Historically, electromagnetic energy is collected by a rectified antenna (rectenna) composed of an antenna that captures the electromagnetic wave and transforms it into an alternating electrical signal which is then transformed into a continuous signal by rectification and filtering circuits. To increase the collected energy, the use of an antenna array has been considered in literature but with a drawback of increasing the size of the power source. More recently, the use of a metasurface or a rectified frequency selective surface (FSS) has been considered. Unlike an antenna array rectenna that requires impedance matching circuits between successive stages, the rectification and filtering is integrated within the rectified metasurface and FSS, which simplifies the design of the energy harvester and improves its conversion efficiency. Finally, the miniaturization techniques usually developed in metamaterials and metasurfaces can be used to achieve an efficient and small autonomous power source.

The objective of the thesis is to develop an electromagnetic energy harvesting system in the 2.4 and 5.8 GHz ISM bands consisting of a small-sized rectified metasurface. The thesis will include a simulation step on commercial software CST Studio Suite for designing rectified metasurfaces, their fabrication by PCB on rigid substrate, and finally the characterization of their performances (frequency spectrum, operating power range, conversion efficiency). A metasurface is composed of an array of metallic patterns smaller than the wavelength whose geometry and size modify the frequency response. On one hand, the simulations will aim to define the pattern geometry of the metasurfaces to be manufactured allowing miniaturization of the energy harvesting device. On the other hand, it will aim to define the optimal position of the rectification and filtering components integrated in each elementary cell in order to obtain the most efficient conversion. The response insensitivity of the metasurface to the wave polarization will also be studied to improve the harvester performance. For this purpose, multilayer structures will be particularly considered. Finally, the metasurfaces will be manufactured at the IEMN platform C2EM by laser etching of a low-loss PCB and characterized at both the CHOP and C2EM platforms according to the targeted characterizations.