

Titre Thèse	Métasurfaces codées pour le contrôle de faisceau et l'absorption des ondes électromagnétiques	
Title	Coded metasurfaces for beam control and electromagnetic wave absorption	
(Co)-Directeur	Éric Lheurette	E-mail : eric.lheurette@univ-lille.fr
(Co)-Directeur	Ludovic Burgnies	E-mail : ludovic.burnies@univ-lille.fr
(Co)-Encadrant (s)		E-mail :
Laboratoire(s)	IEMN	Web : https://www.iemn.fr
Groupe(s)	SubLambda	Web : https://www.iemn.fr/la-recherche/les-groupes/dome
Financement acquis ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input checked="" type="checkbox"/>
	Origine :	
Financement demandé	Contrat Doctoral <input checked="" type="checkbox"/>	Etablissement porteur : Univ. Lille <input checked="" type="checkbox"/> Centrale Lille <input type="checkbox"/> JUNIA <input type="checkbox"/>
	Région <input type="checkbox"/>	Co-financement acquis : Oui <input type="checkbox"/> Non <input checked="" type="checkbox"/> Préciser son origine (qu'il soit acquis ou non) :
	Autre :	

Résumé :

Proposé au début du 21^{ème} siècle, le concept de métamatériau a introduit de nouvelles perspectives pour le contrôle de la propagation des ondes¹. Basés sur l'utilisation de motifs résonants sous longueur d'onde, les métamatériaux peuvent être appréhendés comme des milieux effectifs caractérisés par des paramètres constitutifs (permittivité et perméabilité) pouvant prendre des valeurs très supérieures ou très inférieures à l'unité, voire négatives. Cette propriété s'est avérée prometteuse pour plusieurs domaines d'application dont l'imagerie, le contrôle de la polarisation et du rayonnement d'antenne et l'absorption des ondes électromagnétiques. Plus récemment, l'intérêt s'est focalisé sur les métasurfaces pour lesquelles la structuration sous-longueur d'onde est agencée suivant un plan. À fonctionnalité équivalente, les métasurfaces offrent plusieurs avantages par rapport aux métamatériaux volumiques. Sur le plan physique, en limitant la pénétration de l'onde électromagnétique à de faibles épaisseurs, il est possible de diminuer l'influence des pertes inhérente à l'interaction avec des inclusions résonantes. Sur le plan pratique, les métasurfaces sont basées sur des arrangements planaires de motifs, ce qui est compatible avec les procédés de fabrication utilisés à la fois dans les technologies optiques (couches minces) et radiofréquences (circuits imprimés). Le contrôle de la réfraction d'une onde au moyen d'une métasurface exploite la loi de Snell-Descartes généralisée qui relie le chemin électromagnétique à une variation de phase dans le plan de la structure². De nombreux auteurs ont proposé des ingénieries de cette variation de phase sous forme de gradients pour les domaines de l'optique³ et des micro-ondes⁴.

Une autre alternative consiste à agencer la métasurface sous la forme d'une matrice de pixels à deux dimensions. Dans le contexte d'une logique binaire par exemple, les états logiques « 1 » et « 0 » se distinguent par deux valeurs de phase à la réflexion qui diffèrent de 180°. Les prémices de cette approche sont décrites dès 2007 avec une structuration sous forme d'échiquier⁵ qui a connu des améliorations récentes⁶. La notion de codage par métasurfaces a été généralisée par T. J Cui⁷ et constitue une concrétisation importante des métamatériaux numériques conceptualisés par N. Engheta⁸.

Deux domaines d'application seront considérés dans le cadre de cette thèse. Le premier est celui du contrôle de faisceaux pour les télécommunications de future génération. Notre groupe est engagé sur cette étude dans le cadre du contrat ANR MESANGES pilotée par Orange Lab pour la conception d'une métasurface accordable à la fréquence de 60 GHz.

La seconde application visée est la réduction de la Section Équivalente Radar (SER) pour les ondes décimétriques et centimétriques. Cette thématique a déjà été abordée dans le cadre de la thèse

d'Ali Mourad. Pour ce nouveau chapitre, il s'agira de combiner l'approche de métasurfaces codées à arrangements aléatoires avec celle de matériaux composites absorbants développés au Lab-STICC de l'Université de Bretagne Occidentale. Le mécanisme de diffusion multiple généré par l'arrangement aléatoire est complété de l'absorption dans une couche composite à pertes pour réduire la SER sur une large plage de fréquence.

Cette collaboration se concrétisera par le dépôt d'un projet ANR ASTRID Maturation. Il est à noter que ce cadre contractuel n'autorise pas le financement d'une thèse de doctorat.

¹ E. Lheurette, *Metamaterials and Wave Control*, ISTE-Wiley (2013).

² N. Yu, P. Genevet, M.A. Kats, F. Aieta, J.-P. Tetienne, F. Capasso, and Z. Gaburro, *Science* **334**, 333 (2011).

³ Z. Li, Z. Palacios, E. S. Butun, and K. Aydin, *Nano Lett.* **15**, 1615 (2015).

⁴ S. Maci, G. Minatti, M. Casaletti, and M. Bosiljevac, *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.* **10**, 1499 (2011).

⁵ M. Paquay, J.-C. Iriarte, I. Ederra, R. Gonzalo, and P. de Maagt, *IEEE Trans. Antennas Propag.* **55**, 3630 (2007).

⁶ A.Y. Modi, C.A. Balanis, C.R. Birtcher, and H.N. Shaman, *IEEE Trans. Antennas Propag.* **65**, 5406 (2017).

⁷ T.J. Cui, S. Liu, and L. Zhang, *J. Mater. Chem. C* **5**, 3644 (2017).

⁸ C. Della Giovampola and N. Engheta, *Nat. Mater.* **13**, 1115 (2014).

Abstract:

Proposed at the beginning of the 21st century, the concept of metamaterial introduced new perspectives for the control of wave propagation¹. Based on the use of resonant patterns under wavelength, metamaterials can be apprehended as effective media characterized by constitutive parameters (permittivity and permeability) that can take values much greater than or much less than unity, or even negative. This property has shown promise for several fields of application including imaging, control of antenna polarization and radiation, and absorption of electromagnetic waves. More recently, interest has focused on metasurfaces for which the sub-wavelength structuring is arranged along a plane. With equivalent functionality, metasurfaces offer several advantages over bulk metamaterials. On the physical level, by limiting the penetration of the electromagnetic wave to small thicknesses, it is possible to reduce the influence of the losses inherent in the interaction with resonant inclusions. On a practical level, metasurfaces are based on planar arrangements of patterns, which is compatible with the manufacturing processes used in both optical (thin film) and radio frequency (printed circuit) technologies. The control of the refraction of a wave by means of a metasurface exploits the generalized Snell-Descartes law which relates the electromagnetic path to a phase variation in the plane of the structure². Many authors have proposed engineering of this phase variation in the form of gradients for the fields of optics³ and microwaves⁴.

Another alternative is to arrange the metasurface as a two-dimensional pixel array. In the context of binary logic, for example, the logic states "1" and "0" are distinguished by two phase values on reflection which differ by 180°. The beginnings of this approach were described in 2007 with a structure in the form of a checkerboard⁵ which has undergone recent improvements⁶. The notion of coding by metasurfaces was generalized by T. J Cui⁷ and constitutes an important concretization of the digital metamaterials conceptualized by N. Engheta⁸.

Two fields of application will be considered within the framework of this thesis. The first is that of beam control for future generation telecommunications. Our group is engaged in this study as part of the ANR MESANGES contract led by Orange Lab for the design of a metasurface tunable at the frequency of 60 GHz.

The second targeted application is the reduction of the Radar Cross Section (RES) for decimetre and centimetre waves. This theme has already been addressed in the context of Ali Mourad's thesis. For this new chapter, the idea is to combine the approach of coded metasurfaces including random arrangements with that of absorbing composite materials developed at the Lab-STICC of the Université de Bretagne Occidentale. The multiple scattering mechanism generated by the random arrangement is completed by absorption in a lossy composite layer to reduce the RCS over a broad frequency range.

This collaboration will result in the submission of an ANR ASTRID Maturation project. It should be noted that this contractual framework does not authorize the financing of a doctoral thesis.