

## Proposition de stage de Master 2 pour l'année 2022-2023

### Mise en place d'un modèle simplifié et efficace pour simuler des métasurfaces périodiques

#### Contexte

Les métasurfaces sont des dispositifs artificiels planaires d'épaisseurs sub-longueur d'onde. Ils sont obtenus généralement par un arrangement métallo-diélectrique permettant d'obtenir des valeurs extrêmes (infinies, nulles, ou négatives) de permittivité, de perméabilité, et d'indice de réfraction qui ne se rencontrent pas dans les matériaux naturels. Ces structures sont capables, non seulement, de produire des effets de diffraction identiques à ceux de structures beaucoup plus épaisses (ouvrant la voie à la miniaturisation de dispositifs optiques, THz, microondes, etc) mais d'exhiber des comportements électromagnétiques inédits (comme les réflexion et réfraction négatives par exemple) [1]. L'étude de ces structures a littéralement explosé durant les dernières années non seulement dans le domaine des ondes électromagnétiques mais aussi dans celui des ondes acoustiques, avec des exploitations technologiques inédites.

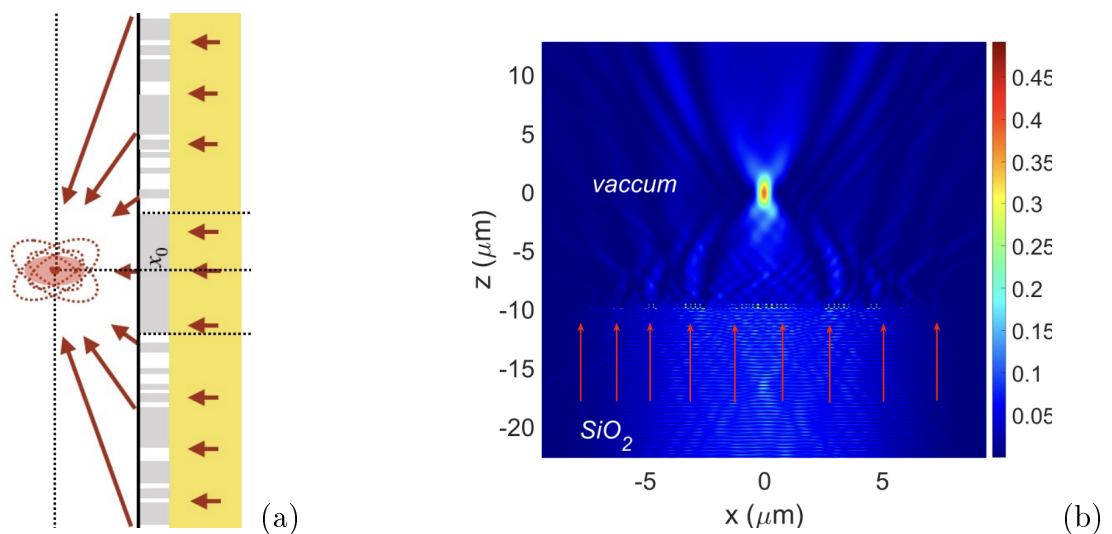


FIGURE 1 – Exemple d'un métasurface 1D : Métalentille unidimensionnelle plate (a) Représentation schématique de la lentille (b) Cartographie du champ magnétique normalisé au module du champ incident

Or pour optimiser des dispositifs à base de métasurfaces, il est indispensable de disposer d'outils numériques extrêmement performants dans la mesure où il est souvent nécessaire de procéder à des millions de simulations durant le processus de conception. Pour accomplir cette tâche, deux familles de codes numériques existent : (i) les codes à vocation généraliste (comme les codes -souvent commerciaux- à base de FDTD ou de FEM, par exemple ) capables de traiter des configurations de métasurfaces complexes tant au niveau de la géométrie que des matériaux

qui les composent (homogènes ou pas, isotropes ou pas, périodiques ou pas...) mais qui souffrent de grandes exigences en temps de calcul et de place mémoire ; (ii) les codes faits maison (comme la FMM [2, 3], la FMM-ASR [4], la PMM[5]...) basés sur des méthodes numériques astucieuses exploitant les particularités de la métasurface (tels que : homogénéité, isotropie, périodicité, symétries...) qui sont beaucoup plus efficaces, rapides et peu exigeantes en termes de mémoire de calcul. La FMM et la FMM-ASR sont parmi les méthodes les plus populaires, faciles à coder et efficaces. Elles ont rencontré beaucoup de succès auprès des chercheurs optimisant des métasurfaces. Dans ces méthodes, le temps de calcul est en majorité dépensé pour trouver les modes à l'intérieur de la structure (problème aux valeurs propres) ce qui peut être un problème pour les grandes (en termes de dimensions latérales) métasurfaces.

Par ailleurs, les métasurfaces sont essentiellement d'épaisseur sub-longueur d'onde ce qui ouvre la voie à une simplification de la FMM et de la FMM-ASR en exploitant un développement limité des matrices de phase par rapport au paramètre épaisseur. Ceci permettra de s'affranchir de la résolution du problème aux valeurs propres qui est la partie la plus consommatrice de temps de calcul dans ces approches.

## Objectifs et Prérequis

Dans ce stage, nous proposons la mise en place d'une telle simplification dans le cas de structures 1D puis éventuellement de structures 2D. Ce travail est essentiellement théorique et numérique. Une excellente connaissance des équations de Maxwell, de l'algèbre linéaire et des méthodes numériques est demandée ainsi que la connaissance du langage Matlab/Octave.

## Informations complémentaires

**Laboratoire d'accueil** : Laboratoire d'électronique, systèmes de communication et microsystèmes ESYCOM (UMR 9007 CNRS)<sup>1</sup> )

**Durée du contrat** : de 4 à 6 mois (Stage rémunéré )

**Encadrante** : Maha BEN RHOUMA

**Contact** : Maha BEN RHOUMA ([maha.ben-rhouma@univ-eiffel.fr](mailto:maha.ben-rhouma@univ-eiffel.fr))

## Candidature

Le dossier de candidature doit contenir

- le CV
- les relevés de notes des 2 dernières années (M1 et M2)
- la lettre de motivation
- Tout autres documents pouvant appuyer la candidature

---

1. <https://esycom.cnrs.fr/>

## Références

- [1] N. Yu and F. Capasso, "Optical Metasurfaces and Prospect of Their Applications Including Fiber Optics," in *Journal of Lightwave Technology*, vol. 33, no. 12, pp. 2344-2358, 15 June 15, 2015 [1](#)
- [2] | M. G. Moharam and T. K. Gaylord. "Rigorous coupled-wave analysis of planargrating diffraction". *J. Opt. Soc. Am.*, 71(7) :811–818, Jul 1981 [2](#)
- [3] G. Granet and B. Guizal." Efficient implementation of the coupled-wave method for metallic lamellar gratings in tm polarization". *J. Opt. Soc. Am. A*, 13(5) :1019–1023, May 1996 [2](#)
- [4] Gérard Granet. "Reformulation of the lamellar grating problem through the concept of adaptive spatial resolution". *J. Opt. Soc. Am. A*, 16(10) :2510–2516, Oct 1999 [2](#)
- [5] K. Edee, J.-P. Plumey, A. Moreau, and B. Guizal. Matched coordinates in the framework of polynomial modal methods for complex metasurface modeling. *J. Opt. Soc. Am. A*, 35(4) :608–615, Apr 2018 [2](#)