

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Antennes plasmoniques matricielles reconfigurables pour le contrôle de l'émission thermique

Référence : **PHY-DOTA-2025-13**

(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : A partir de Septembre 2025

Date limite de candidature : 01/07/2025

Mots clés :

Nano-optique, plasmonique, nano-antennes, graphène, rayonnement infrarouge, contrôle de la lumière, électroluminescence, émission thermique, champ proche optique

Profil et compétences recherchées :

Ecole d'Ingénieur et/ou Master Recherche 2, Optique, nanophotonique, goût pour l'expérimental

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif :

L'objectif de ce projet est de réaliser des antennes plasmoniques infrarouges nanostructurées formées de la répétition d'un même motif métallique de taille sub-longueur d'onde (sub- λ) formant la brique de base d'une structure matricielle NxN. Nous concevons des sources infrarouges reconfigurables en adressant un sous ensemble des motifs sub- λ constitutifs de l'antenne matricielle à l'aide d'un chauffage laser visible formant des patterns spécifiques, notamment pour contrôler la polarisation et la position spectrale des résonances en vue de créer des surfaces intelligentes reconfigurables pour l'infrarouge. Nous décrivons le couplage entre les motifs sub- λ à l'aide de simulations basées sur la méthode des modes quasi-normaux.

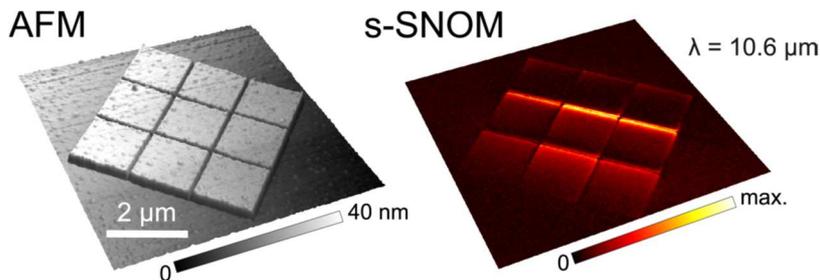


Figure 1 : Images AFM et SNOM d'une antenne matricielle 3x3.

L'équipe de l'Institut Langevin et l'équipe de l'ONERA qui proposent ce projet collaborent depuis plusieurs années sur le thème des antennes plasmoniques. Les motifs de bases de ces antennes sont des nanostructures métalliques de taille sub- λ qui possèdent une résonance dans l'infrarouge moyen, à une longueur d'onde dépendant à la fois de la taille de l'antenne et des matériaux qui la constituent. L'observation du spectre d'antennes plasmoniques individuelles est un tour de force expérimental tant les signaux à détecter sont faibles en raison de la taille très réduite des antennes. Dans les travaux précédents, nous avons été capables de mesurer la résonance spectrale dans le spectre du rayonnement thermique d'antennes métal-isolant-métal (MIM) individuelles consistant en un patch métallique carré placé sur une couche mince diélectrique au-dessus d'un film métallique continu [Li2018]. Puis nous avons combiné ce type d'antennes pour former des dimères de MIM, et mis en évidence par mesures spectroscopique l'hybridation de certains modes due au couplage de champ proche entre les MIMs [Abou_Hamdan2021]. Enfin, nous avons entamé l'étude de systèmes plus complexes formés d'une matrice de 3x3 antennes [Abou_Hamdan_these]. Jusqu'à présent, l'approche utilisée pour modéliser le comportement électromagnétique des antennes plasmoniques multi-éléments reposait uniquement sur l'emploi de logiciels commerciaux (COMSOL, LUMERCIAL).

Au cours de cette thèse, nous étudierons des antennes plasmoniques matricielles présentant des résonances dans l'infrarouge moyen, dont nous contrôlerons les propriétés radiatives à l'aide d'un chauffage laser visible reconfigurable. Les antennes consisteront en des nanostructures en or (Au) structurées en une matrice NxN sur substrat diélectrique que nous chaufferons par absorption d'un faisceau laser visible afin de stimuler leur émission thermique dans l'infrarouge ou de modifier le milieu diélectrique pour déplacer les fréquences de résonance. L'emploi d'un modulateur spatial de lumière permettra de modifier la configuration spatiale de ce chauffage par laser sur la matrice d'antennes. Nous disposerons ainsi d'un convertisseur de lumière reconfigurable du visible vers l'infrarouge.

Les antennes plasmoniques matricielles infrarouges formées de $N \times N$ éléments de taille sub- λ espacés d'une distance de 100-500 nm constitueront donc l'objet de nos études qui se déclineront en trois principaux axes :

- 1) Modélisation et conception des antennes matricielles à l'aide des modes quasi-normaux.
- 2) Sélection de modes résonants (spectralement, en polarisation) et contrôle de l'émission par chauffage laser visible et un SLM.
- 3) Contrôle actif de la position spectrale d'une résonance d'antenne plasmonique par l'utilisation des couplages champs proches et une illumination texturée ou par l'utilisation d'un matériau actif.

Les méthodes expérimentales qui seront exploitées durant la thèse sont des méthodes d'imagerie et de spectroscopie infrarouges ultrasensibles et/ou super-résolues dont nous sommes spécialistes, et qu'il faudra adapter et développer en fonction des besoins du projet : la spectroscopie infrarouge par modulation spatiale [Li2018, Abou_Hamdan2021] qu'il faudra adapter pour implémenter une illumination laser de chauffage, le microscope de champ proche à rayonnement thermique TRSTM [DeWilde2006, Babuty2013], et un microscope optique de champ proche à pointe diffusante (s-SNOM) infrarouge fonctionnant à l'ambient à l'aide de sources lasers accordables donnant accès à un spectre très étendu. **Aux expériences s'ajouteront des simulations numériques électromagnétiques.** Elles seront réalisées à l'aide de logiciels commerciaux (COMSOL, LUMERICAL) ou développés à l'aide du logiciel open source MAN (Modal Analysis of Nanoresonators) développé par Philippe Lalanne et ses collaborateurs.

Le stage et la thèse qui suivront s'effectueront en collaboration entre l'Institut Langevin et l'ONERA et se feront également en partenariat avec le C2N.

D'autres collaborations peuvent d'ores et déjà être envisagée, notamment avec le Laboratoire de Physique de l'Ecole Normale Supérieure (Emmanuel Baudin), le Laboratoire Charles Fabry – IOGS (Jean-Jacques Greffet), et le Laboratoire Photonique, Numérique et Nanosciences LP2N– IOGS (Philippe Lalanne). Elle sera dirigée par Yannick De Wilde (Institut Langevin) et Patrick Bouchon (ONERA).

Références :

- [Li2018] C. Li et al, *Phys. Rev. Lett.* **121**, 24, 243901 (2018).
- [Abou_Hamdan2021] L. Abou-Hamdan et al., *Opt. Lett.* **46**, 981 (2021).
- [Abou_Hamdan_these] L. Abou-Hamdan, *thèse de doctorat* (2023).
- [Makhsiyani2015] M. Makhsiyani, P. Bouchon, J. Jaeck, J.L. Pelouard, R. Haïdar, *Appl. Phys. Lett.* **107**, 251103 (2015)
- [Kaina2014] N. Kaina, M. Dupré, G. Lerosey, M. Fink, *Sci Rep* **4**, 6693 (2014). <https://doi.org/10.1038/srep06693>
- [Basar2019] E. Basar, M. Di Renzo, J. De Rosny, M. Debbah, M. -S. Alouini and R. Zhang, *IEEE Access*, **7**, 116753-116773, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2935192
- [Wu2023] T. Wu, D. Arrivault, W. Yan, P. Lalanne, *Computer Phys. Comm.*, **284**, 108627 (2023).
- [Abou-Hamdan2023] L. Abou-Hamdan et al., *arXiv preprint arXiv:2310.08351* (2023).
- [DeWilde2006] Y. De Wilde et al, *Nature* **444**, 740 (2006).
- [Babuty2013] A. Babuty et al, *Phys. Rev. Lett.* **110**, 146103 (2013).

Collaborations envisagées Thèse :

C2N, IOGS, LPENS

Laboratoire d'accueil à l'ONERA :

Département : Optique et Techniques Associées

Lieu (centre ONERA) : Palaiseau

Contacts :

Baptiste Fix

Tél. : 0180386400 Email : baptiste.fix@onera.fr

Patrick Bouchon Tél : 01 80 38 63 67

Email : patrick.Bouchon@onera.fr

Directeur de thèse :

Nom : Yannick de Wilde

Laboratoire : Institut Langevin / ESPCI

Tél. :

Email : yannick.dewilde@espci.fr

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>