

## Exaltation et contrôle de la directivité de la photoluminescence d'émetteurs quantiques par couplage à des nanoantennes diélectriques

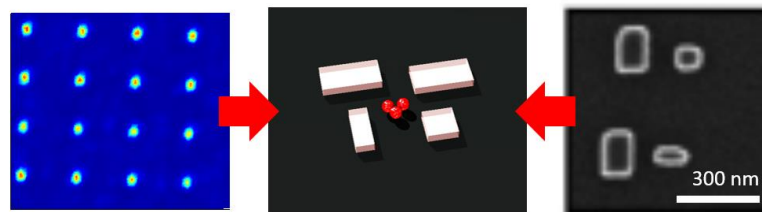
Laboratoire de Physique et Chimie des Nano-Objets (LPCNO-UMR 5215 INSA-CNRS-UPS) @ Toulouse  
Centre d'Elaboration de Matériaux et d'Etudes Structurales (CEMES-CNRS UPR8011) @ Toulouse

- Sujet multidisciplinaire s'appuyant sur l'expertise de deux laboratoires toulousains
- Financement par Université Paul Sabatier - Région Occitanie en cours d'obtention pour 3 ans 2018-2021

**MOTS CLES :** émetteurs de photons uniques, quantum dots, nanodiamants, nanostructures diélectriques à fort indice, assemblage dirigé, nanoxérographie, Microscopie à Force Atomique (AFM), microscopie optique résolue en temps, corrélation de photons, simulations numériques des propriétés optiques.

**Introduction et contexte** - Les nanostructures diélectriques à fort indice de réfraction supportent des modes de résonance optique de nature électrique ou magnétique dans le spectre visible. Ces résonances induisent une forte localisation et exaltation du champ électromagnétique au voisinage de la nanostructure, qui modifie fortement localement la densité locale d'états photoniques. En conséquence, l'émission de lumière par des émetteurs quantiques positionnés dans le champ proche de ces nanostructures peut alors être contrôlée (augmentation, annulation). En outre l'interférence entre des modes de résonance de nature ou d'ordres différents permet de manipuler certaines propriétés telles que la directivité de la lumière diffusée en champ lointain. C'est un sujet de nano-optique en pleine expansion qui commence à concurrencer le domaine de la plasmonique.

**Sujet** - L'objectif de la thèse est de fabriquer et étudier des systèmes photoniques hybrides, composés de nanoantennes de silicium et de nanoparticules fluorescentes, permettant de contrôler l'émission de ces émetteurs quantiques et de la focaliser dans une direction privilégiée de l'espace. Cette approche est essentielle pour le développement et le contrôle de sources de photons uniques à l'échelle nanométrique.



A gauche :  $20 \times 20 \mu\text{m}^2$  image confocale de la luminescence de clusters de quantum dots élaborés par nanoxérographie par AFM. Au centre : vue artistique d'un petit amas d'émetteurs quantiques placés au centre d'une nanoantenne en silicium. A droite : image SEM d'une nanoantenne cristalline en Si fabriquée par lithographie électronique (LAAS-CNRS).

Dans le cadre de cette thèse, les émetteurs utilisés seront des *quantum dots* semiconducteurs et/ou des nanodiamants contenant des centres colorés dispersés en solution, avec des diamètres de l'ordre de la dizaine de nanomètres.

Les nanoantennes diélectriques correspondront à des nanostructures obtenues sur substrats de type silicium sur isolant (SOI) fabriqués par lithographie électronique grâce à une collaboration avec le LAAS-CNRS de Toulouse. Par ailleurs, la géométrie de ces structures sera optimisée par des simulations électrodynamiques bien maîtrisées au CEMES : méthode dyadique de Green (GDM) couplée à un algorithme évolutionniste d'optimisation multi-objectifs.

Le positionnement fin à la fois spatialement et quantitativement des émetteurs au-dessus des nanoantennes sera réalisé grâce à la technique d'assemblage dirigé dite de nanoxérographie par AFM, technique développée dans l'équipe *Nanotech* du LPCNO. Elle consistera à injecter localement des points de charges électrostatiques via la pointe d'un microscope AFM polarisée sur les zones d'intérêt des nanoantennes. Ces points de charges serviront de pièges électrostatiques sélectifs pour les émetteurs.

Une fois le système émetteur antenne réalisé, la distribution de la densité d'états photoniques sera obtenue par cartographie de photoluminescence des émetteurs. La directivité sera mesurée par imagerie du plan de Fourier. Les caractérisations optiques seront réalisées au CEMES.

**Profil recherché** – Titulaire d'un Master ou équivalent en Physique du solide, Nanotechnologies, Colloïdes avec une solide formation en physique générale, notamment en optique et électromagnétisme de la matière.

Le/la doctorant(e) sera intégré(e) à la fois au sein de l'équipe *Nanotech* du LPCNO et au sein de l'équipe NeO du CEMES à Toulouse. Il/elle recevra également une formation multidisciplinaire à la fois théorique et expérimentale sur (i) l'utilisation des modes topographiques et électriques de microscopie à force atomique et caractérisations associées, (ii) les procédés de micro/nanostructuration liées à la méthode de nanoxérographie, (iii) les méthodes de simulations électrodynamiques, (iv) les caractérisations optiques résolues en temps à l'échelle du photon unique (quantique).

Le/la candidat(e) devra présenter un attrait pour le travail expérimental qui se déroulera en outre dans la salle blanche de l'équipe *Nanotech* du LPCNO. Dynamique, il/elle devra faire preuve de rigueur et curiosité scientifique pour mener à bien le sujet.

**Contact** - Intéressé(e)? N'hésitez pas à contacter Laurence Ressier (Professeur des Universités, LPCNO) et Aurélien Cuche (Chargé de Recherche, CEMES)

[laurence.ressier@insa-toulouse.fr](mailto:laurence.ressier@insa-toulouse.fr) - tél : 05.61.55.96.72

[aurelien.cuche@cemes.fr](mailto:aurelien.cuche@cemes.fr) - tél : 05.67.52.43.59

### Références bibliographiques liées au projet

- [1]- *Strongly directional scattering from dielectric nanowires*, P. R. Wiecha, A. Cuche, *et al.*, ACS Photonics **4**, 2036 (2017)
- [2]- *Evolutionary multi-objective optimization of colour pixels based on dielectric nanoantennas*, P. R. Wiecha, A. Arbouet, C. Girard, A. Lecestre, G. Larrieu, and V. Paillard, Nature Nano **12**, 163 (2017)
- [3]- *Near-field hyperspectral quantum probing of multimodal plasmonic resonators*, A. Cuche *et al.*, Phys. Rev. B **95** (12), 121402(R) (2017)
- [4]- *Surface-enhanced spectroscopy on plasmonic oligomers assembled by AFM nanoxerography*, P. Moutet, N. M. Sangeetha, L. Ressier, *et al.*, Nanoscale **7**, 2009-2022 (2015)
- [5]- *3D assembly of upconverting NaYF<sub>4</sub> nanocrystals by AFM nanoxerography: creation of anti-counterfeiting microtags*, N. M. Sangeetha, P. Moutet, D. Lagarde, G. Sallen, B. Urbaszek, G. Viau et L. Ressier, Nanoscale **5** (20), 9587-9592 (2013)