



# GEMaC

Groupe d'Étude  
de la Matière Condensée

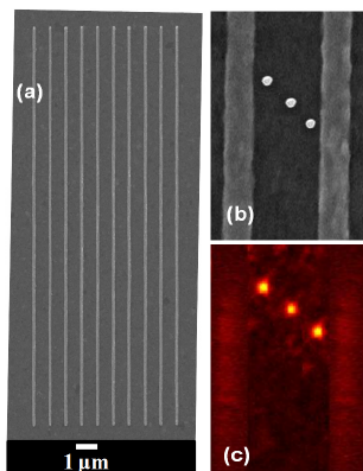
## CONTRÔLE DE L'ÉMISSION DE NANOCRISTAUX COLLOÏDAUX DE CDSE /CDS PAR DES NANOSTRUCTURES PHOTONIQUES

### 1. Propriétés de fluorescence de NCx individuels couplés à des structures métalliques

En collaboration avec le LICB (Université de Bourgogne) et le LPEM, nous avons obtenu plusieurs résultats importants concernant le couplage entre les NCx et des structures métalliques en or :

- Sur des structures associant micro-réseaux et NCx (figure 1), nous avons montré l'émission de photons uniques ou l'émission de cascades radiatives suivant l'importance du couplage NCx/structure métallique [1,2]. Le taux de polarisation peut aussi atteindre 90 % et le facteur de Purcell est de l'ordre de 3. Des simulations permettent de modéliser

les résultats expérimentaux. Ces études ont aussi permis de comprendre que le réseau induisait un double effet de découplage et d'accélération de l'émission. Cette structure métallique peut aussi être optimisée pour réduire drastiquement l'influence de la position du NC.



*Fig 1. Image en microscopie électronique de structure réseau (a) et de NCx (b). Image en fluorescence correspondante (c). [2]*

- Nous avons examiné en détail le comportement d'un guide agissant comme une microlentille, permettant de coupler très efficacement le plasmon de surface excité par les NCx dans un guide TiO<sub>2</sub>. Nous avons mesuré une multiplication par un facteur 2 de l'émission collectée grâce à cette approche [3].
- Nous avons développé une mesure de post-traitement des données qui permet d'analyser en détail la fonction d'autocorrélation en intensité d'un émetteur alternant entre deux états d'émission de même intensité. Le taux de dégroupement de chaque état est déterminé en s'appuyant sur la différence entre leur taux de déclin respectif. Cette méthode a été appliquée à un NC individuel couplé à un résonateur plasmonique et a permis de déterminer les efficacités quantiques relatives des biexcitons neutre et chargé [4].
- Nous avons aussi examiné les modifications de l'émission des NCx lorsqu'ils sont déposés sur un film d'or plan à 4K [5]. Nous avons montré une diminution importante des pertes optiques par effet Joule dans le métal. L'efficacité quantique radiative est multipliée par 3 à température cryogénique, le résultat étant en accord avec les prévisions théoriques s'appuyant sur la variation de la permittivité diélectrique du métal. Nous avons enfin montré que l'efficacité quantique pouvait encore être multipliée par un facteur de l'ordre de 2 en utilisant des microplaquettes d'or cristallin [6].

## 2. Couplage d'un NC individuel avec une structure photonique 3D en polymère

Dans le cadre du Labex Nanosacly, en collaboration avec Ngoc Diep Lai du laboratoire LuMIn, nous travaillons à l'intégration de NCx dans des structures photoniques réalisées dans une résine (SU8) par une technique originale dite LOPA pour Low One Photon Absorption. En exposant la résine à l'aide d'un laser à 532 nm focalisé, l'équipe de LuMIn peut définir des architectures 3D avec une résolution bien inférieure à 200 nm.

La technique LOPA a été utilisée pour fabriquer différentes structures 2D contenant des NCx. Après avoir montré que les NCx insérés dans une matrice de SU8 et excités à 532 nm étaient photostables et ne présentaient aucun scintillement [7,8], nous avons optimisé l'émission de nanocristaux intégrés dans des nano-antennes. Nous avons obtenu une efficacité de collection des photons supérieure à 90 % [9].

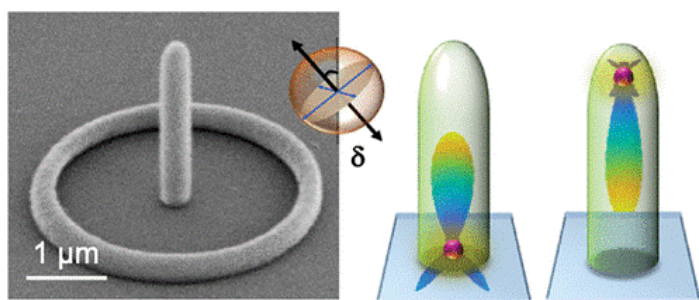


Fig 2. Image en microscopie électronique d'une nanoantenne et deux exemples de diagramme de rayonnement d'un NC intégré dans la nanoantenne.

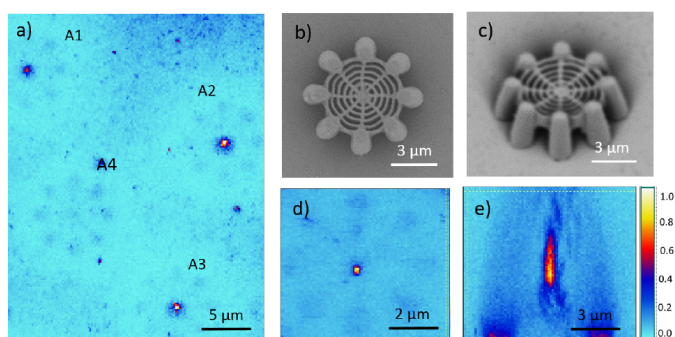


Fig 3. Nanocristaux intégrés dans des cavités de type « bull-eye ». (a, d) Images de fluorescence. (b, c) Images en microscopie électronique. (e) Diagramme de rayonnement.

[1] F. Eloi, H. Frederich, F. Mazéas, A. Kumar, S. Buil, X. Quélin, A. Bouhelier, J.C. Weeber, M. Nasilowski, B. Dubertret, G. Colas des Francs, and J.-P. Hermier,

**"Enhanced and polarized emission from single colloidal CdSe/CdS nanocrystals coupled to a 1D gold grating"**,  
Phys. Rev. B **94**, 085301 (2016)

[2] A. Kumar, J-C. Weeber, A. Bouhelier, F. Eloi, S. Buil, X. Quélin, M. Nasilowski, B. Dubertret, J.-P. Hermier, and G. Colas des Francs,  
**"Spatially uniform enhancement of single quantum dot emission using plasmonic grating decoupler"**,  
Scientific Reports **5**, 16976 (2015)

[3] J.-C. Weeber, K. Hammani, G. Colas Des Francs, A. Bouhelier, J. Arocas, A. Kumar, F. Eloi, S. Buil, X. Quélin, J.-P. Hermier, M. Nasilowski, B. Dubertret,  
**"Colloidal quantum dot integrated light sources for plasmon mediated photonic waveguide excitation"**,  
ACS Photonics **3**, 844 (2016)

[4] F. Eloi, H. Frederich, A. Leray, S. Buil, X. Quélin, B. Ji, E. Giovanelli, N. Lequeux, B. Dubertret, and J.-P. Hermier,  
**"Unraveling the time cross correlations of an emitter switching between two states with the same fluorescence intensity"**,  
Optics Express **23**, 29921 (2015)

[5] A. Coste, F. Eloi, G. Colas des Francs, X. Quélin, S. Buil, A. Bouhelier, J-C. Weeber, M. Nasilowski, B. Dubertret, J-P. Hermier,  
**"Significant decrease of the optical losses in the coupling between colloidal CdSe /CdS nanocrystals and a flat gold film at cryogenic temperature"**,  
Phys. Rev. B **96**, 195416 (2017)

[6] A. Coste, L. Moreaud, G. Colas des Francs, S. Buil, X. Quélin, E. Dujardin, J.-P. Hermier,  
**"Dramatic decrease of the Joule losses in the coupling between a crystalline gold and single colloidal CdSe/CdS nanocrystals at 4K"**,  
Phys. Rev. B **101**, 075406 (2020)

[7] T. H. Au, S. Buil, X. Quélin, J-P. Hermier, N. D. Lai,  
**"Suppression of grey state and optimization of the single photon emission of a colloidal semiconductor at room temperature"**,  
Appl. Phys. Lett. **113**, 111105 (2018)

[8] T. H. Au, S. Buil, X. Quélin, J-P. Hermier, N. D. Lai,  
**"Photostability and long-term preservation of colloidal semiconductor-based single photon emitter in polymeric photonic structures"**,  
Nanoscale Adv. **1**, 3225 (2019)

[9] T. H. Au, S. Buil, X. Quélin, J-P. Hermier, N. D. Lai,  
**"High directional radiation of single photon emission in dielectric antenna"**,  
ACS Photonics **6**, 11 (2019)

## Contact

Jean-Pierre Hermier