



HAL
open science

Nanostructures, nanosources: contrôle de l'émission par le confinement

Agnès Maître

► **To cite this version:**

Agnès Maître. Nanostructures, nanosources: contrôle de l'émission par le confinement. Master. 2011. sfo-00659498

HAL Id: sfo-00659498

<https://hal-sfo.ccsd.cnrs.fr/sfo-00659498>

Submitted on 12 Jan 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Nanostructures, nanosources: contrôle de l'émission par le confinement



Institut des NanoSciences de Paris

Université Pierre et Marie Curie

Groupe « nanophotonique et optique quantique »

Membres permanents :

Paul Benalloul, Laurent Coolen, Willy Daney de Marcillac
Jean-Marc Frigerio, [Agnès Maître](#), Catherine Schwob

Etudiants en thèse:

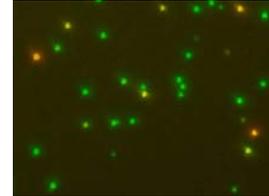
Amaury Avoine, [Cherif Belacel \(INSP/LPN\)](#), [Hugo Frederich](#), Phan Ngoc Hong,

Post-doc : Ikbel Mallek

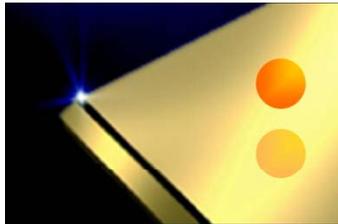
Anciens membres: Carlos Barthou, [Céline Vion](#), Julien Laverdant

Nanostructures, nanosources: contrôle de l'émission par le confinement

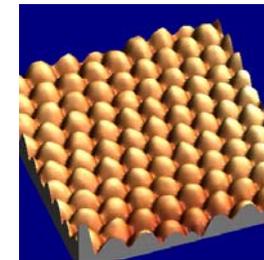
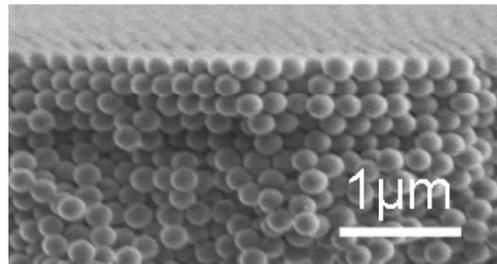
- Photons uniques et nanocristaux de CdSe/ZnS



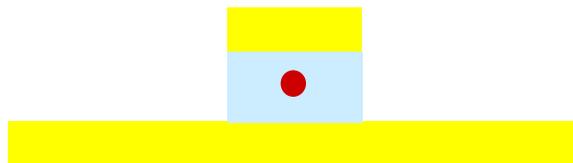
- Modification de l'émission au voisinage d'une surface d'or



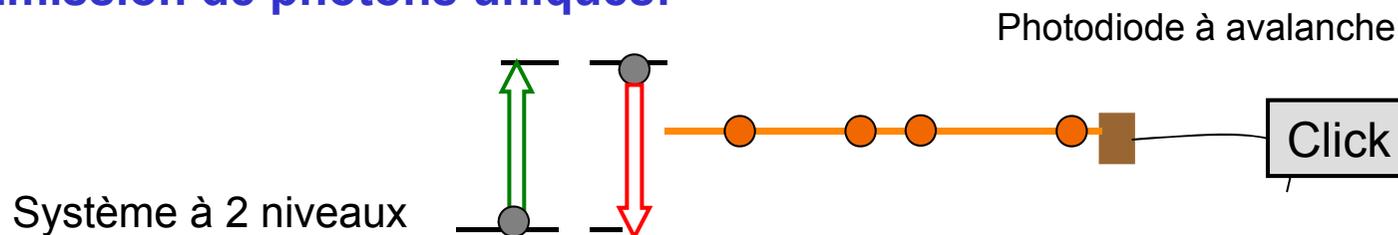
- Cristal plasmonique



- Antenne patch



✓ Émission de photons uniques:



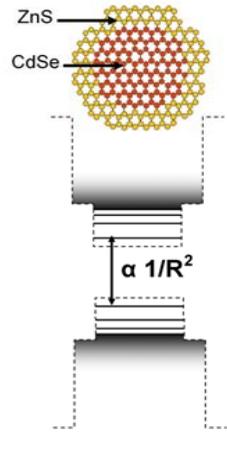
Nanocristaux de CdSe/ZnS
B. Lounis et al., Chem. Phys. Lett. 329, 399 (2000)
P. Michler et al., Nature 406, 968 (2000)

✓ Optimisation de sources de photons uniques pour l'information quantique

1 photon = 1 information quantique

- Flux d'information (temps de vie flux)
- Augmentation de la collection directivité de l'émission
- contrôle de la polarisation

Nanocristaux de CdSe/ZnS

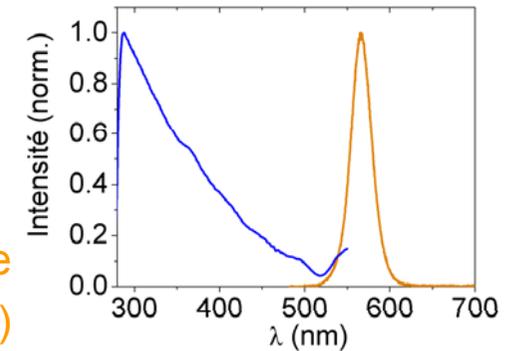


Cœur de CdSe, coquille de ZnS
(R:3,5nm 1000 atomes)

- ✓ synthèse chimique
- ✓ Température ambiante
- ✓ Faible photoblanchiment

- Emission dans le visible
- Largeur de raie (20nm)

Absorption, emission



✓ Caractérisation d'émetteurs à l'échelle collective et individuelle

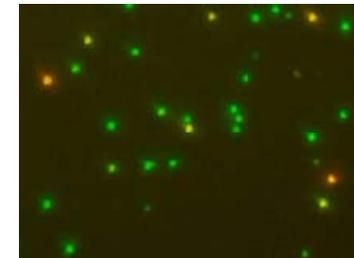
Solution: échelle collective



Qdots©

Propriétés moyennées
Rendement quantique

Forte dilution: échelle individuelle



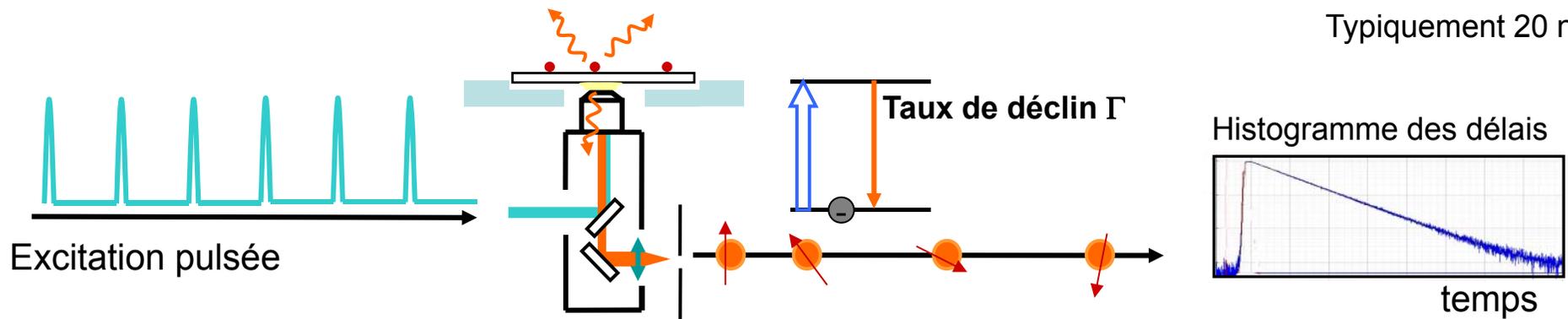
- scintillement
- Efficacité quantique
- Orientation des émetteurs: Analyse de la polarisation

Couplage avec une nanostructure

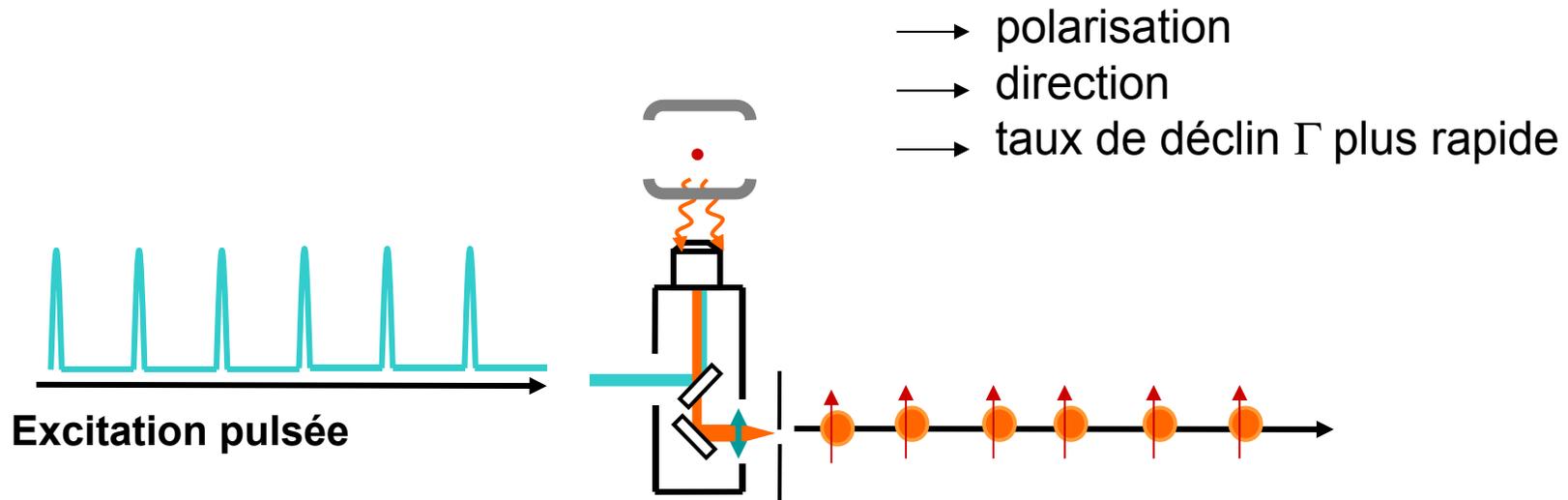
Contrôle de l'émission des photons uniques

Temps de vie ($\tau=1/\Gamma$) (1/taux de déclin)

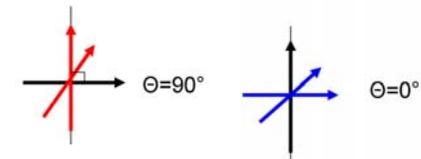
Typiquement 20 ns



Couplage à des structures photoniques

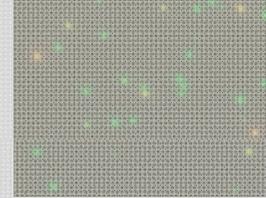


Équivalent à un double dipôle dégénéré rayonnant

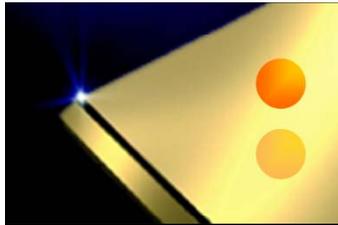


Nanostructures, nanosources: contrôle de l'émission par le confinement

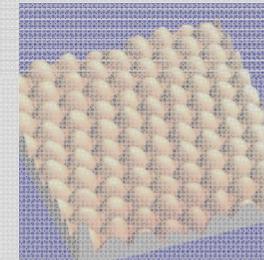
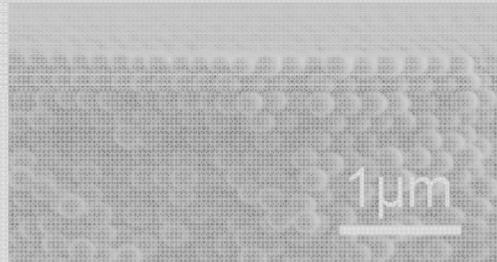
- Photons uniques et nanocristaux de CdSe/ZnS



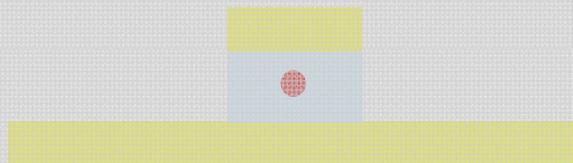
- Modification de l'émission au voisinage d'une surface d'or



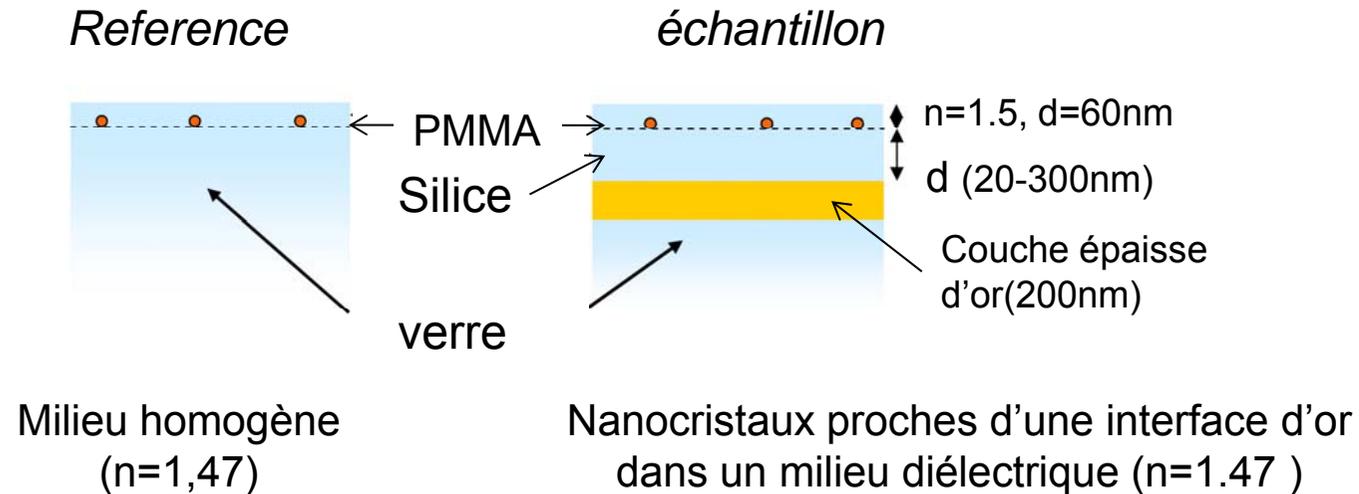
- Cristal plasmonique



- Antenne patch



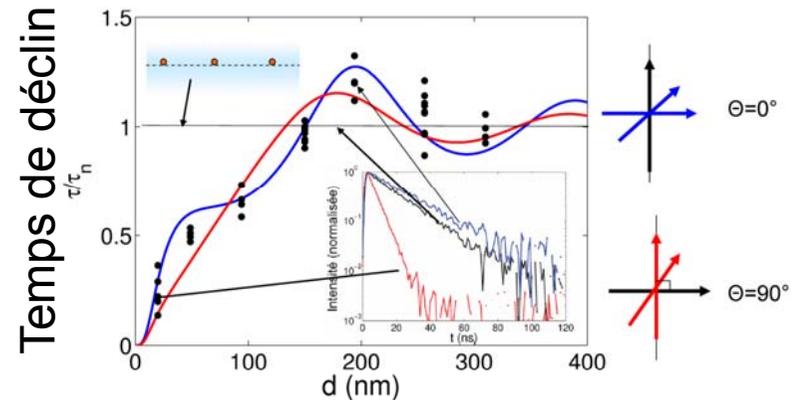
Maximisation du nombre de photons détectés



▪ L'émission est modifiée par l'environnement

- Dynamique
- Emission radiative
- Diagramme d'émission

...en excitation impulsionnelle :

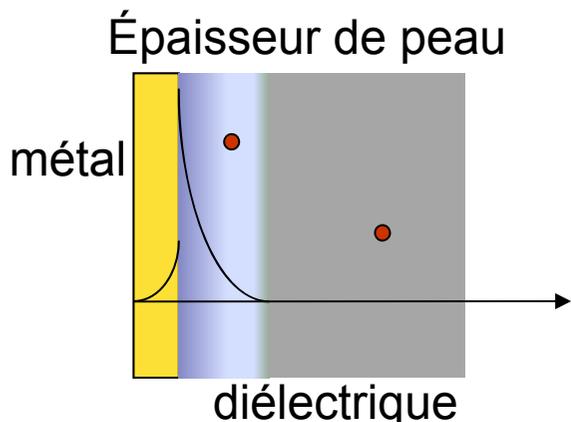
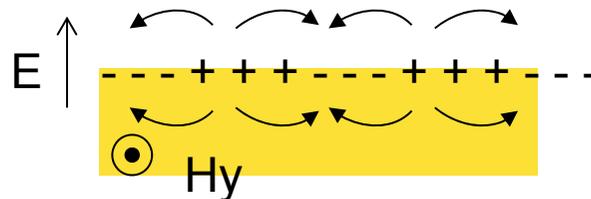


Le temps de vie diminue avec d ➔ la dynamique de l'émission est augmentée

La densité locale d'états (LDOS) est modifiée par l'environnement

Plasmons de surface (SPP)

Oscillation collective d'électrons à la surface du métal



$$k_{SPP} > k_0 = n \omega / c$$

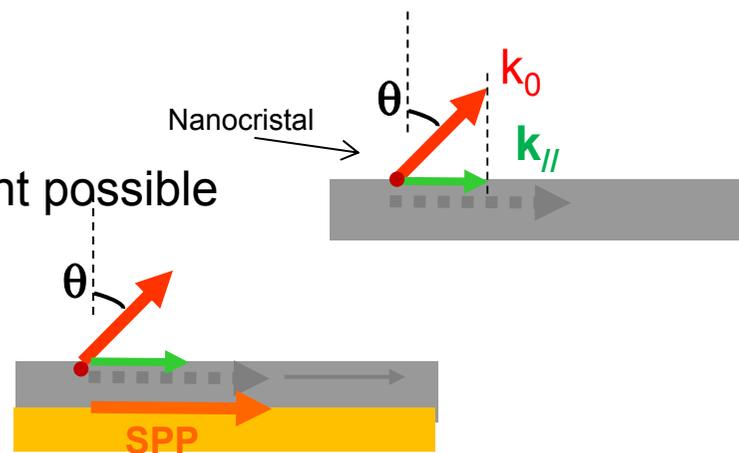
émission du dipôle

- En champ lointain $k_{//} = n \omega \sin \theta / c$
- En champ proche, $k > k_{\text{propagatif}}$ pas de rayonnement possible

Proche d'une interface d'or

Couplage du champ proche du nanocristal aux plasmons de surface

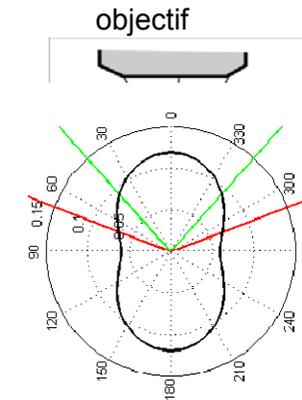
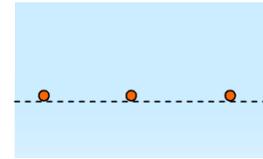
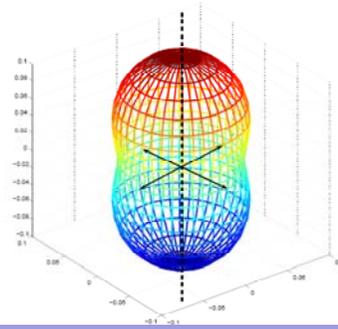
Polarisation P uniquement



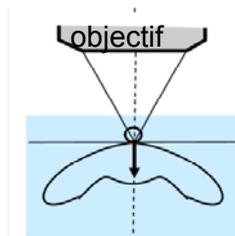
Modification de la LDOS

Diagramme de rayonnement

- En milieu diélectrique homogène **infini**

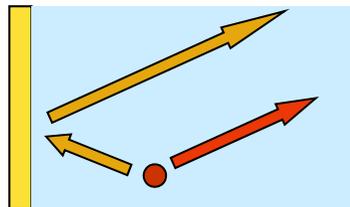


- En milieu diélectrique homogène **semi-infini**

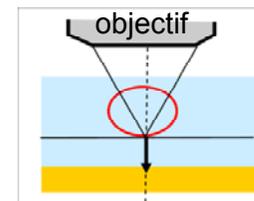


Collection faible

- A proximité d'une surface d'or



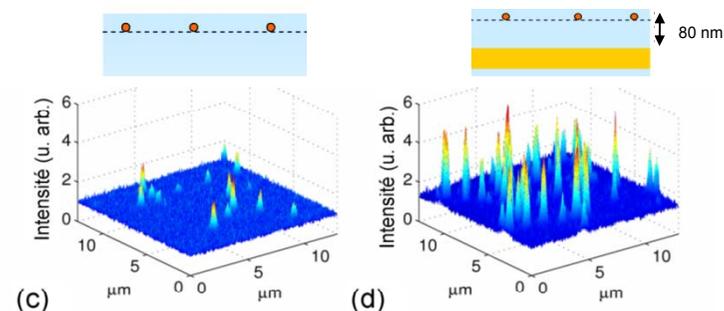
Interférences



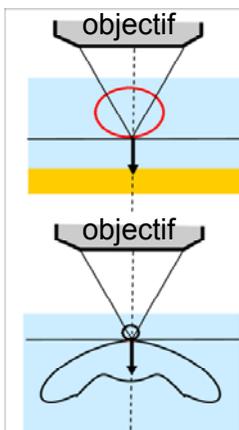
Collection importante

□ sous excitation continue (lampe UV)

Intensité mesurée **x3**



Redirection (effet miroir)



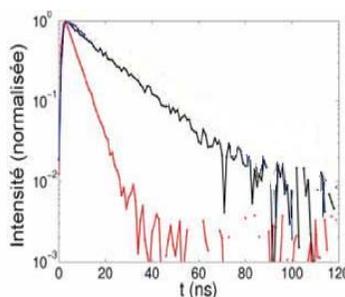
Meilleure collection de la lumière.

Meilleure excitation.

+ Gain

Accélération de l'émission

Déclin de fluorescence



Due au couplage SPP.
Plus de photon/sec.

~ Négligeable

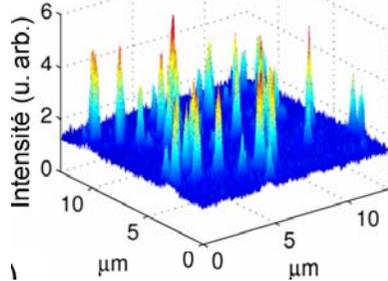
SPP non radiatifs

$$k_{SPP} > k_{photon}$$

SPP restent confinés sur l'or

- Pertes

Augmentation de l'émission détectéemais pertes vers les modes de plasmon :

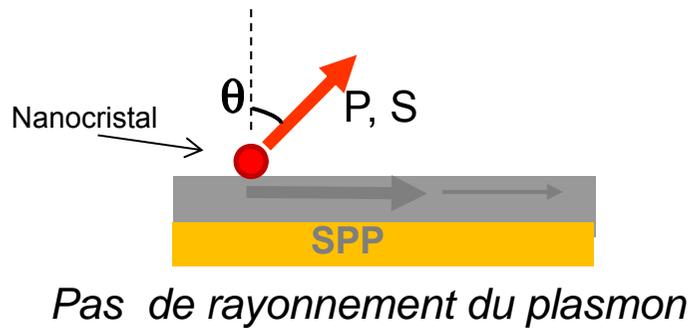


Source plus efficace?

Est-ce possible de récupérer les plasmons de surface qui ont été émis ?

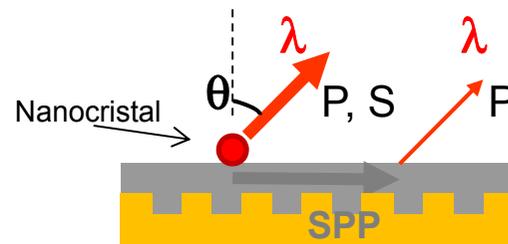
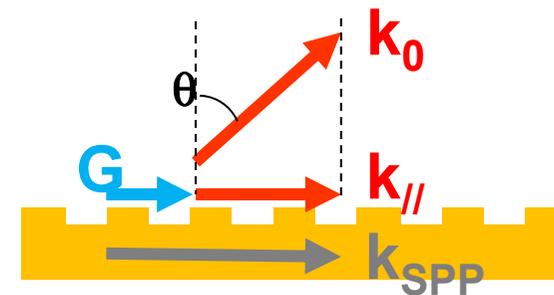
surface métallique nanostructurée

- Réémission possible du SPP par un réseau



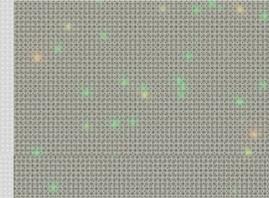
Condition de couplage

$$\vec{k}_{SPP} = \vec{k}_{//} + \vec{G}$$

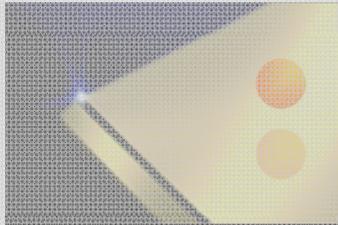


Nanostructures, nanosources: contrôle de l'émission par le confinement

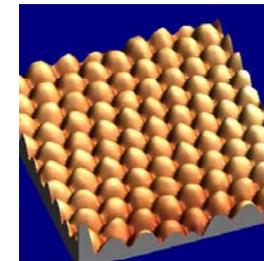
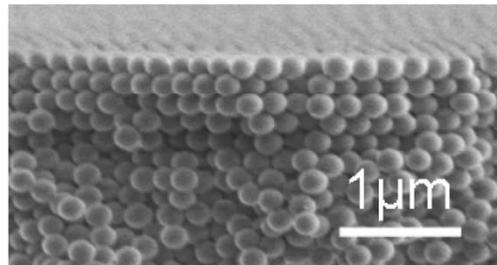
- Photons uniques et nanocristaux de CdSe/ZnS



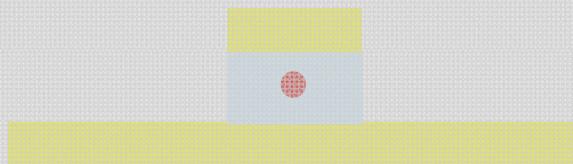
- Modification de l'émission au voisinage d'une surface d'or



- Cristal plasmonique



- Antenne patch



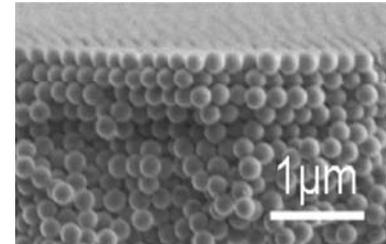
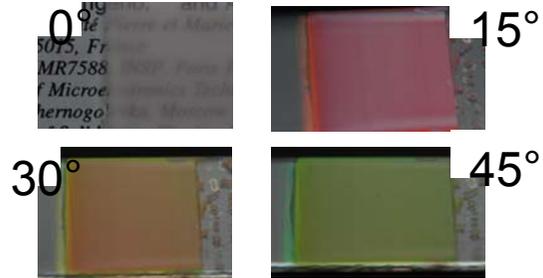
•Cristal photonique: Opales

•artificielle (billes de silice)



•Naturelle

macroscopique



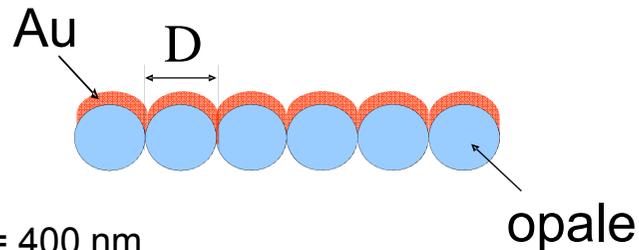
©INSP

microscopique

Frederich et al, optics express, 19, 24424 (11)

•Cristal plasmonique

▪Évaporation d'une couche d'or sur une opale (réseau 2D)



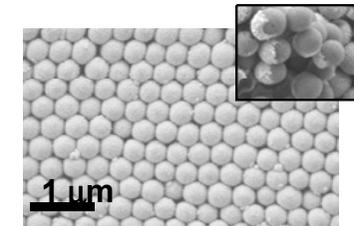
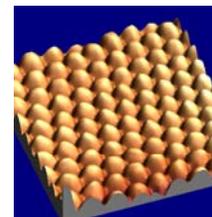
D = 400 nm

Épaisseur d'or : entre 150 et 500 nm

Bon ordre sur 100 μm environ

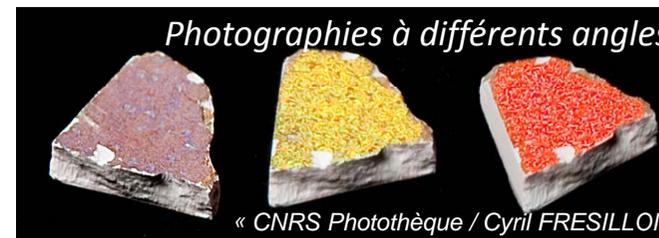
macroscopique

AFM



MEB

microscopique

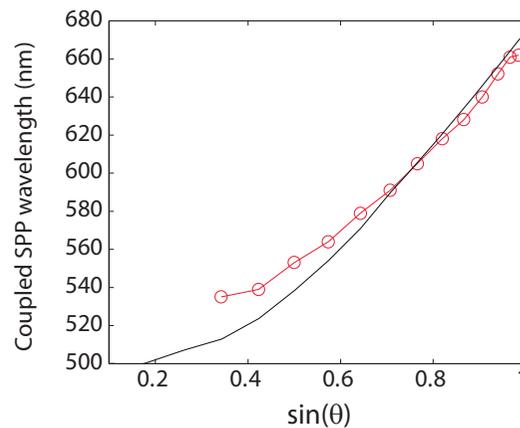
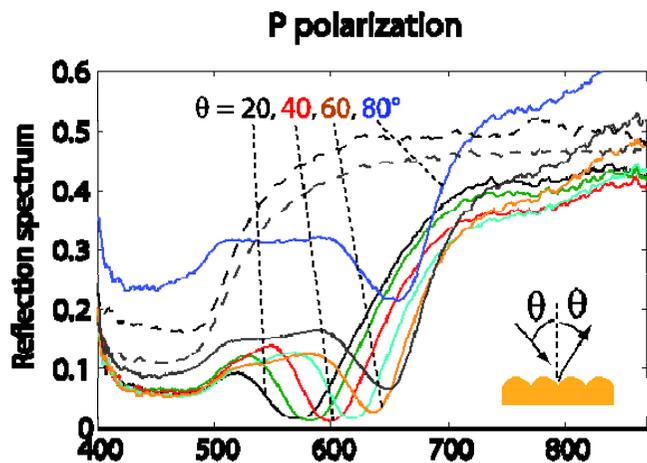
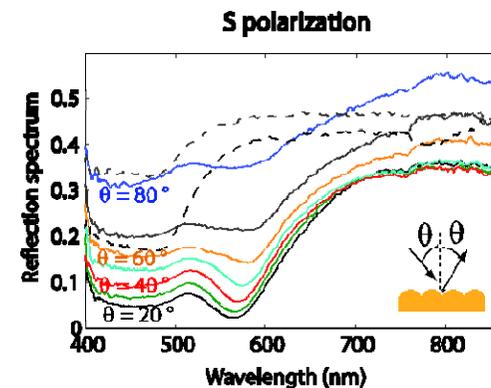
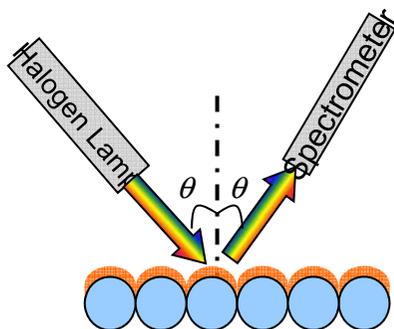


Photographies à différents angles

« CNRS Photothèque / Cyril FRESILLON

Excitation des plasmons de surface

Cluster de nanocristaux

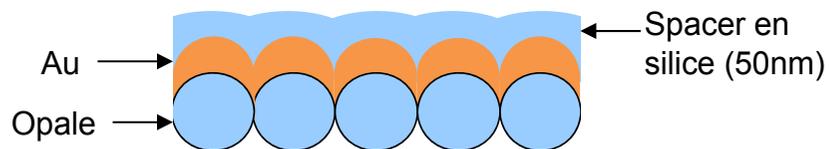


$$\vec{k}_{SPP} = \vec{k}_{//} + \vec{G}$$

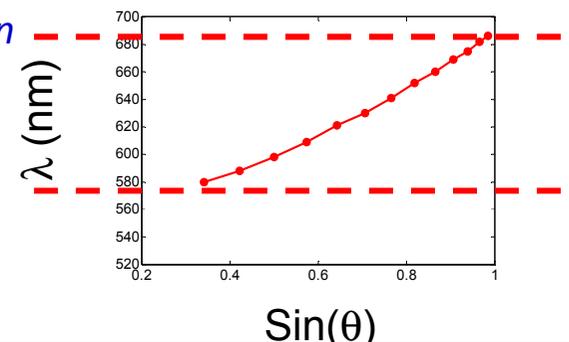
...couplage aux plasmons de surface

Couplage nanocristaux – plasmons de surface

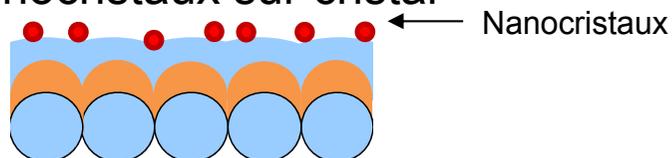
• Cristal « nu »



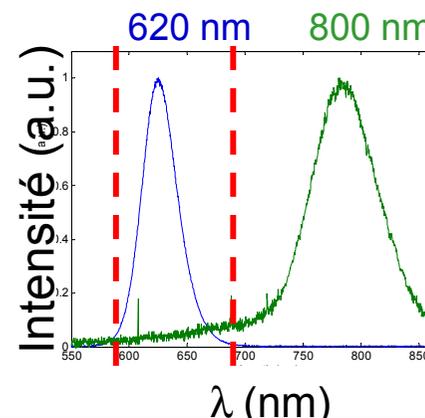
Relation de dispersion



• Nanocristaux sur cristal



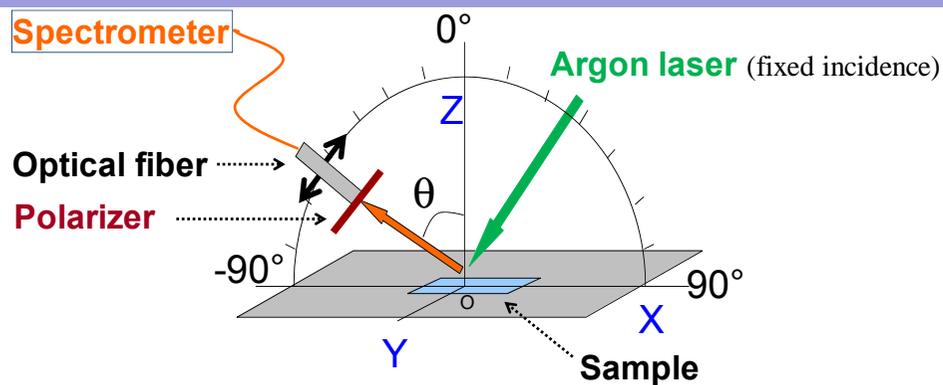
Spectres d'émission des nanocristaux



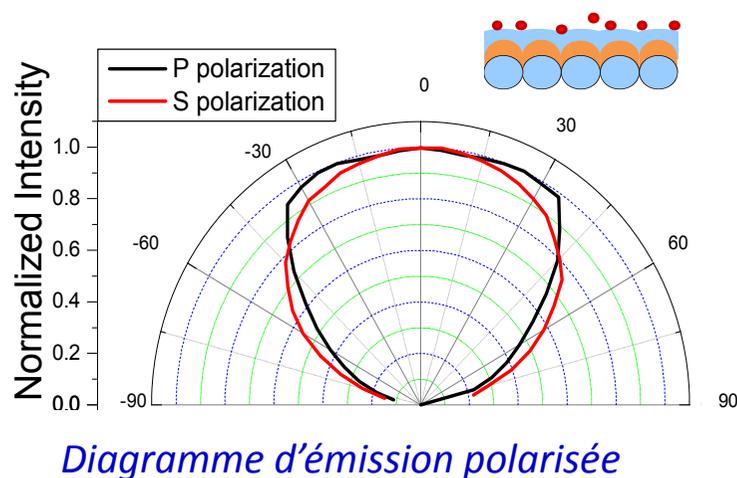
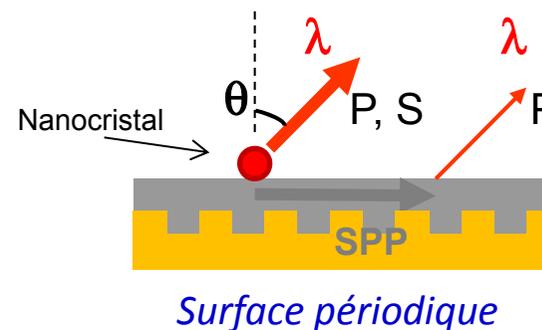
▪ Deux types de nanocristaux déposés:

- Emission à 620 nm, accordés aux SPP
- Emission à 800 nm, désaccordés

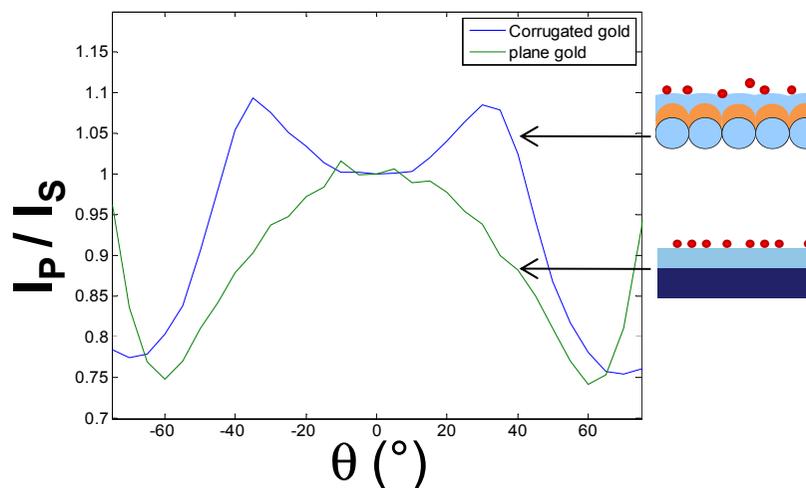
• Spectroscopie résolue en angle



Mesures pour $\lambda = 620$ nm

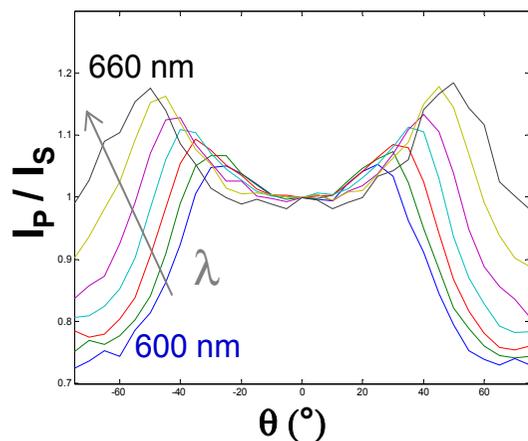


Rapport des émissions polarisées P et S

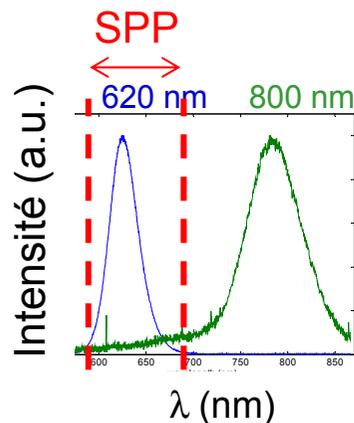


Surplus d'émission polarisée P pour la surface périodique / surface plane

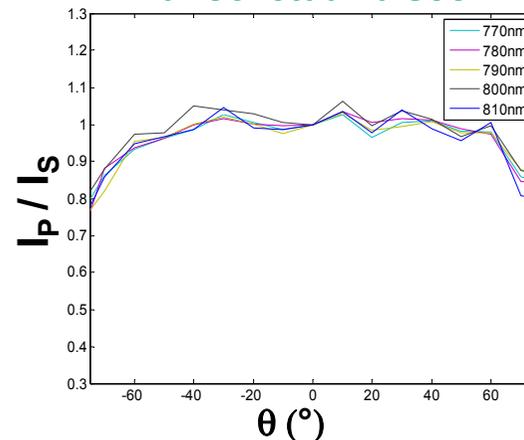
Nanocristaux à 620 nm



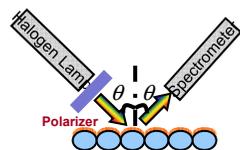
Couplage aux SPP



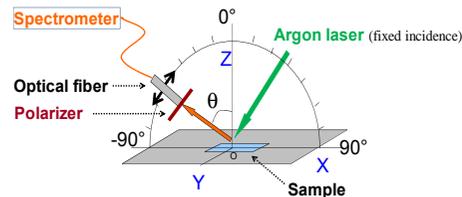
Nanocristaux à 800 nm



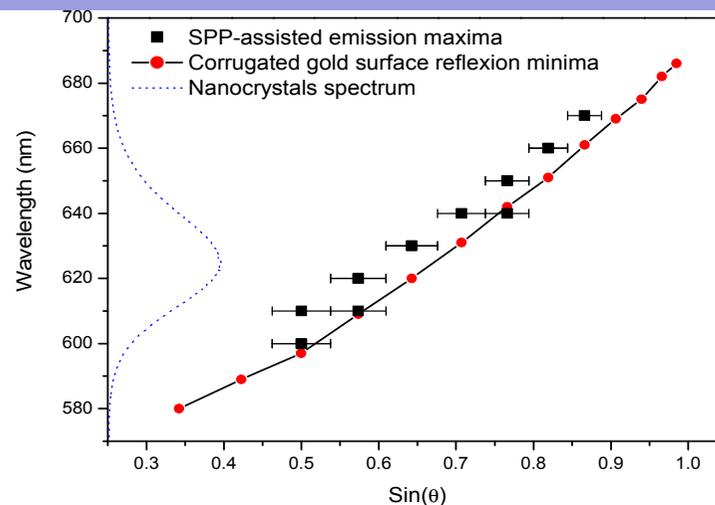
Pas de couplage aux SPP



En **rouge**, minima de réflectivité P



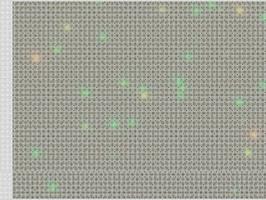
En **noir**, maxima du ratio de fluorescence P/S



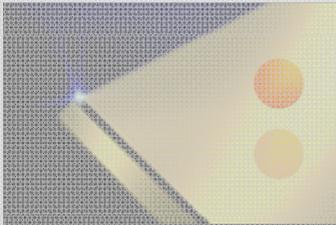
Réémission directionnelle et polarisée des SPP

Nanostructures, nanosources: contrôle de l'émission par le confinement

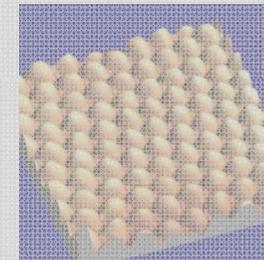
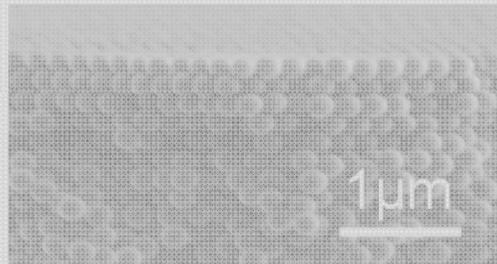
- Photons uniques et nanocristaux de CdSe/ZnS



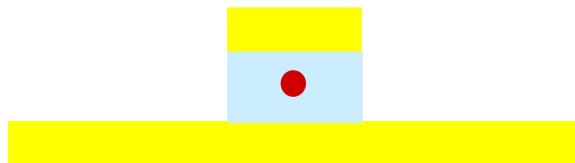
- Modification de l'émission au voisinage d'une surface d'or



- Cristal plasmonique



- Antenne patch

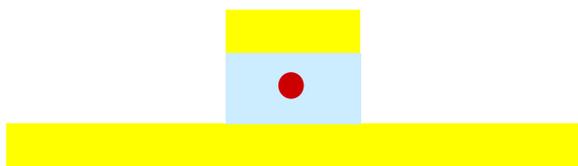


Nanocristaux dans une nano antenne

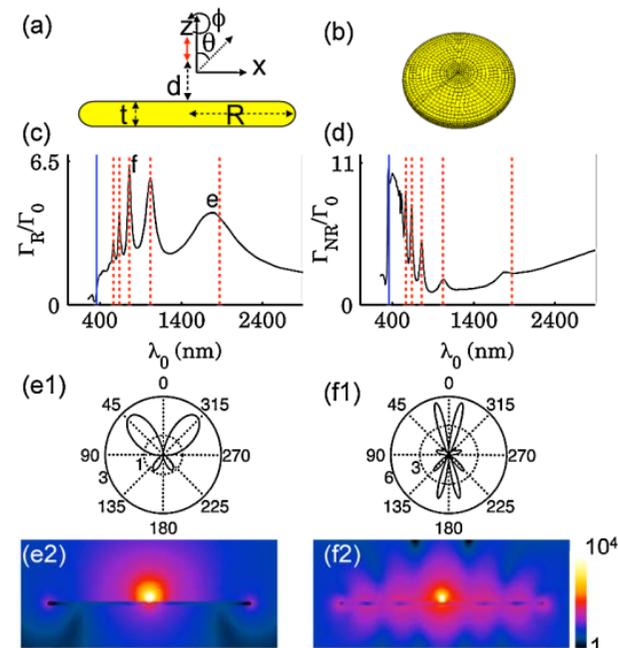
C. Belacel (INSP, LPN), A. Maître (INSP), **P. Senellart (LPN)**
J.J Greffet, F Marquier (LCFIO), B. Dubertret (ESPCI)

• Antenne patch

R. Esteban, T. Teperik, J.J. Greffet, PRL 104, 026802 (2010)



- Diagramme de rayonnement
- Accélération du rayonnement (« Effet Purcell »)



• **Positionnement déterministe** : la structure est gravée autour d'un nanocristal
 (technique développée au LPN : *A. Dousse, P. Senellart et al., Phys. Rev. Lett. 101, 267404*)

• **Nanocristaux de CdSe/CdS** très brillants (LPEM)

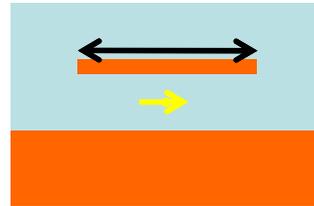
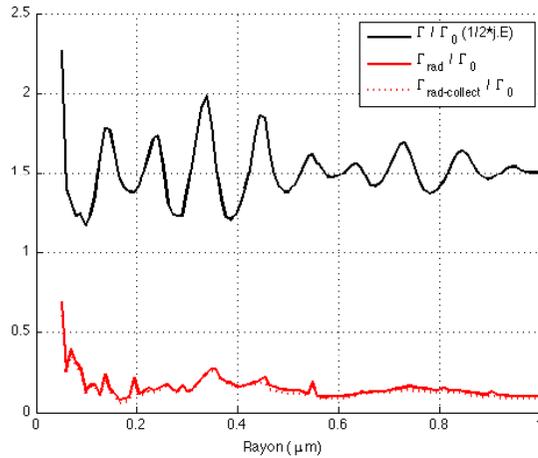
Temps de vie

$\langle \tau_{\text{air}} \rangle = 40 \text{ ns}$
 dispersion 30 %



Taux de déclin ($F_p = \Gamma / \Gamma_v$)

Taux de déclin radiatif ($P_{\text{rayonné}} / P_n$)

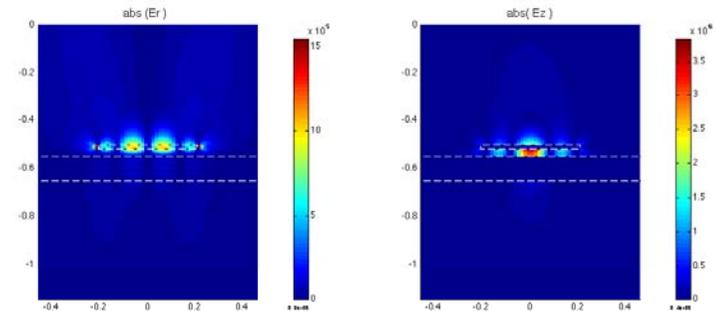
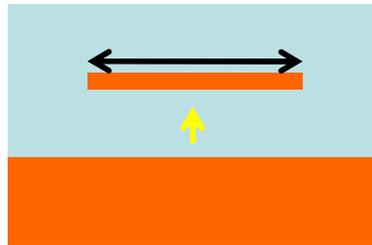
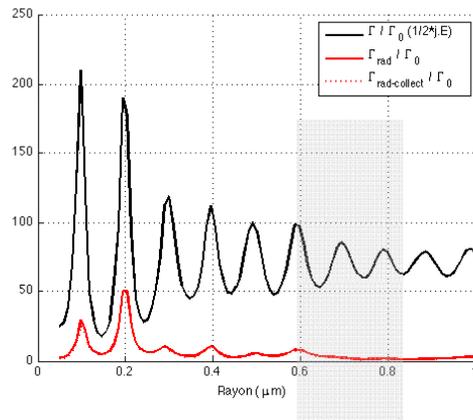


Couplage faible aux plasmons

Référence

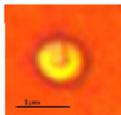
- milieu diélectrique infini (n)

Couplage fort aux plasmons

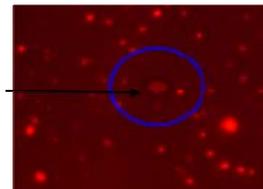
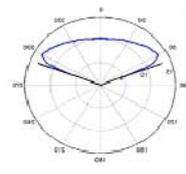
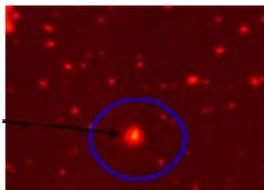
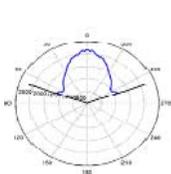


Accélération attendue $\approx 50-100$

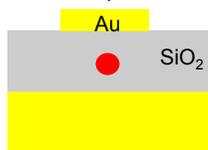
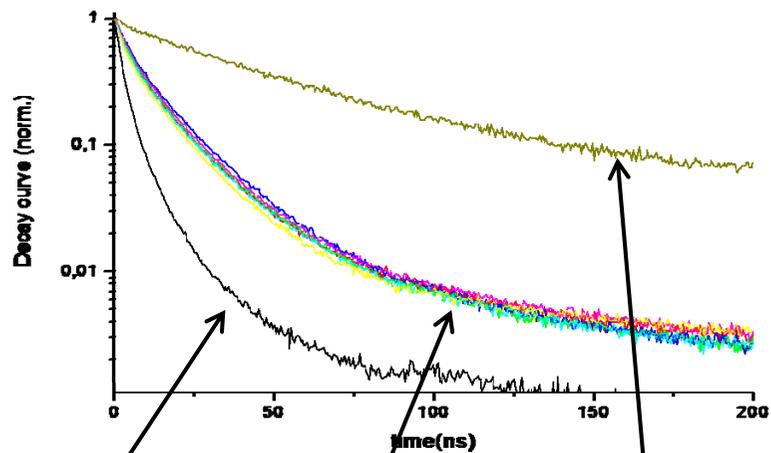
Clusters de nanocristaux



• Diagramme de rayonnement



• Temps de vie



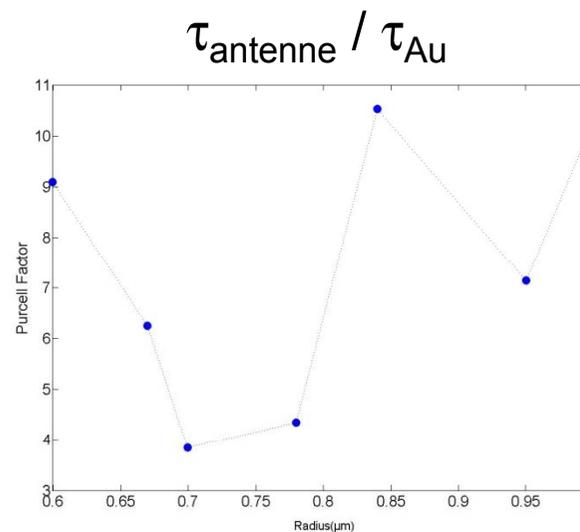
τ_{antenne}



$\langle \tau_{\text{Au}} \rangle = 4 \text{ ns}$
dispersion 10 %



$\langle \tau_n \rangle = 40 \text{ ns}$



$$\tau_{\text{Au}} / \tau_n \approx 10$$

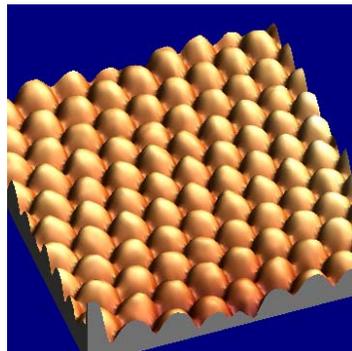
$$F_P = \tau_n / \tau_{\text{Antenne}} \approx 40-100$$

Contrôle de l'émission par l'environnement

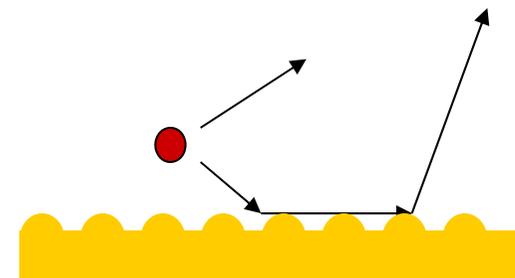
Modification de la densité locale d'états

- **Macroscopique**

Cristal plasmonique

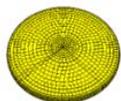


Couplage et réémission par les plasmons

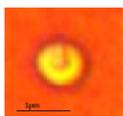


Optimisation de la source de photons uniques

- **Microscopique**



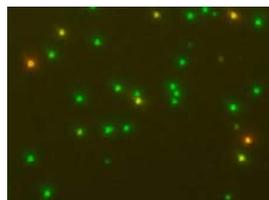
Facteur de Purcell: 40-100



Antenne avec un émetteur unique

Merci de votre attention

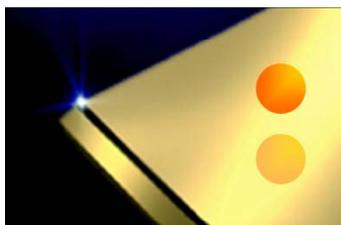
- Photons uniques et nanocristaux de CdSe/ZnS



Collaborations

LPEM, B. Dubertret, T. Pons, B. Malher

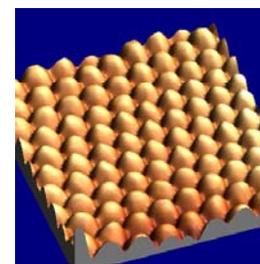
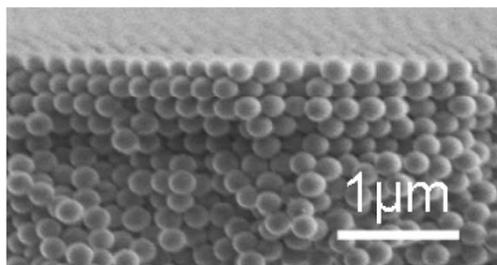
- Modification de l'émission au voisinage d'une surface d'or



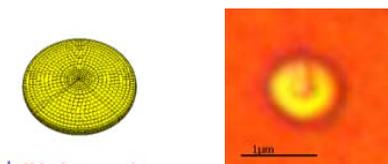
LKB, GEMAC; Jean-Pierre Hermier, Alberto Bramati

- Cristal plasmonique

*Hanoi, Pham Thu Nga
Moscou, A. Grusintsev*



- Antenne patch



LPN: Pascale Senellart

Institut d'optique: J.J. Greffet, F. Marquier, B. Habert