

Institut Langevin – Ondes et Images

UMR7587 – ESPCI
10 rue Vauquelin 75005 PARIS
sylvain.gigan@espci.fr

Imagerie et spectroscopie de nano-objets métalliques par holographie numérique hétérodyne.

L'holographie numérique hétérodyne permet d'obtenir une imagerie tridimensionnelle limitée par le seul bruit de photons. Associée à une modulation spatiale (mouvement des nano objets) ou photothermique (échauffement), cette technique permet d'imager des particules individuelles nanométriques, et de caractériser des Des applications au marquage et au suivi de déformation de parois cellulaires sont en cours d'investigation (ANR 3DNanoBioCell).

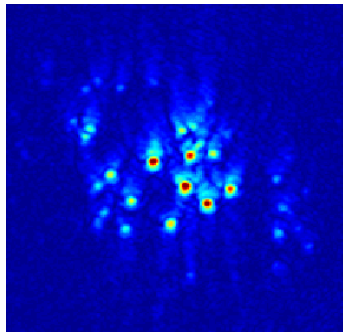
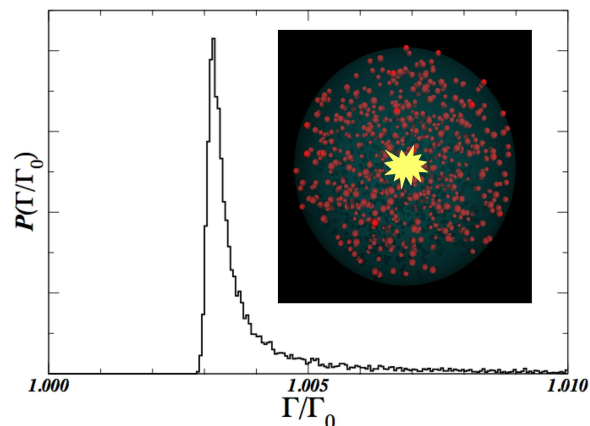


Image holographique photothermique de particules d'or de 50 nm piégées dans du PVA. Puissance de chauffage 405 mW, répartie sur une tache de 20 mm de diamètre environ (surface imagée totale 30 x 30 mm). Seules les particules chauffées apparaissent à l'image.

Statistique de fluorescence comme sonde locale de l'environnement

Les marqueurs fluorescents sont très utilisés en biologie et en imagerie moléculaire, à la fois *in vitro* et *in vivo*. L'imagerie dans ce cas repose sur des contrastes d'intensité ou de durée de vie de fluorescence. A l'interface entre la nano-optique et l'imagerie des milieux diffusants, nous étudions la fluorescence d'un émetteur unique dans un système nanoscopique désordonné. Le système modèle est un cluster de nanoparticules réparties aléatoirement, au centre duquel un émetteur fluorescent est placé dans son niveau excité. Pour chaque configuration de positions des particules, on calcule le taux de décroissance de la molécule G (inverse de la durée de vie). On peut construire ainsi numériquement la distribution statistique du taux de décroissance (normalisé par sa valeur dans le vide G). Un exemple de distribution est donné sur la figure ci-contre. La distribution présente de larges fluctuations. Ces fluctuations peuvent être induites par la diffusion en champ



proche (information structurale), ou par l'absorption qui peut provoquer des décroissances non radiatives (information spectroscopique). Cette étude ouvre la voie à une approche nouvelle devant permettre d'imager l'environnement local (aux échelles submicroniques) d'émetteurs fluorescents dans des milieux complexes, en utilisant comme signal les fluctuations de durée de vie de fluorescence induites par la diffusion et/ou par l'absorption. Un de nos projets vise à la mise en oeuvre expérimentale de cette idée.

Antennes plasmoniques auto-assemblées sur ADN :

Grâce à leur constante diélectrique effective négative dans le visible, les nanostructures métalliques agissent telles des antennes optiques : elles se couplent efficacement à un émetteur ou un récepteur de photons en champ proche et amplifient l'interaction de celui-ci avec le champ lointain. Ces antennes peuvent ainsi contrôler et amplifier la diffusion Raman ou la fluorescence de molécules ou nanoparticules uniques placées en leur voisinage. Nous avons récemment montré (S. Bidault et al, J. Am. Chem. Soc. 2008) que des antennes plasmoniques, dont l'environnement chimique est parfaitement maîtrisé, peuvent être synthétisées par l'assemblage programmé de nanoparticules d'or fonctionnalisées par des monobrins d'ADN. Cette méthode de chimie douce doit également permettre de placer des émetteurs uniques à une position donnée de l'échafaudage d'ADN. Par le contrôle de la vitesse et de la direction d'émission d'un fluorophore unique, il est alors possible d'optimiser une source de photons uniques. De plus, cette méthode d'assemblage ouvre deux voies originales de développement de capteurs chimiques de très haute sensibilité : 1) par positionnement contrôlé d'un analyte sur un pic d'intensité de l'antenne pour obtenir son signal Raman ; 2) par la conception de nanostructures métalliques se déformant en présence d'un analyte (par exemple un brin d'ADN de séquence définie), modifiant ainsi leurs propriétés optiques qui peuvent être analysées à l'œil nu à l'aide d'une simple lampe halogène sous microscope.

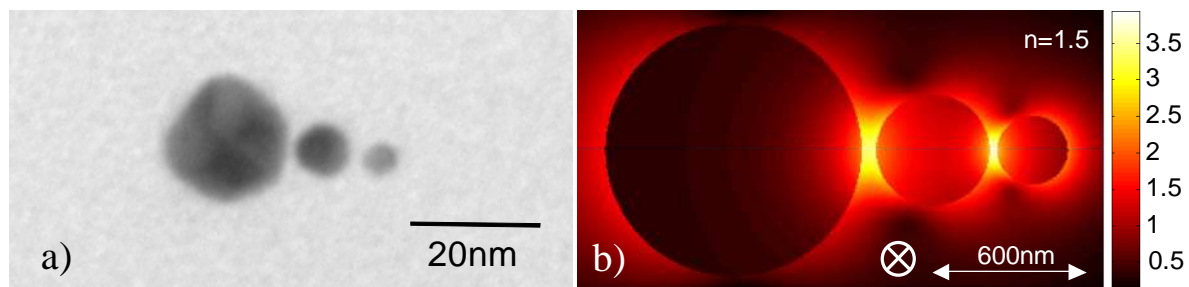


Figure : a) Image par microscopie électronique en transmission d'un assemblage de nanoparticules d'or de 18, 8 et 5 nm de diamètre reliées respectivement par des doubles brins d'ADN de 100 et 50 bases. b) Calcul par théorie de Mie Généralisée de l'exaltation de l'intensité du champ lumineux à la surface d'un tel assemblage après excitation à la résonance plasmon avec une polarisation longitudinale (échelle logarithmique).

Focalisation à travers les milieux diffusants:

À la traversée d'un milieu diffusant, que ce soit un système biologique ou un milieu aléatoire (comme le brouillard par exemple), une onde est soumise à un grand nombre de diffusions. Ce phénomène brouille rapidement toute information spatiale ou temporelle contenue dans l'onde initiale. En optique, si on illumine par une onde monochromatique cohérente spatialement un milieu diffusant, on récupère en sortie

du « speckle », c'est-à-dire une figure d'interférence spatiale où l'intensité en chaque point est la somme d'une multitude d'ondes avec des phases distribuées aléatoirement. Si ce « speckle » semble aléatoire, il est néanmoins déterministe et uniquement dû à la distribution de diffuseurs. Si le milieu est fixe, il est en particulier stable dans le temps. Au moyen d'un SLM (ou spatial light modulator est un outil polyvalent qui permet de contrôler à volonté la phase et l'amplitude d'une onde), nous tentons de contrôler l'onde incidente sur un milieu diffusant, afin de modifier la figure de speckle à travers celui-ci, par exemple en optimisant l'intensité d'un point du speckle.