



La Spectroscopie par Modulation Spatiale

un outil précieux pour observer des nanoparticules individuelles

Paolo Maioli, Aurélien Crut, Natalia Del Fatti, Fabrice Vallée
Equipe FemtoNanoOptics - LASIM – CNRS et Université Lyon 1
contact : pmaioli@lasim.univ-lyon1.fr

Pourquoi étudier les nanoparticules ?

On appelle *nanoparticules* des objets composés par des matériaux courants (or, argent, silicium, verre) mais avec une taille très petite, de l'ordre du nanomètre (un nanomètre est un milliardième de mètre, mille fois plus petit qu'un micromètre). Les nanoparticules qui sont étudiées couramment par les scientifiques ont des tailles allant de 1 à 100 nanomètres. Les plus petites nanoparticules (1 nm) ne sont formées que par quelques dizaines d'atomes.

La réduction en taille modifie de manière spectaculaire certaines propriétés des matériaux. L'or, par exemple, devient rouge lorsqu'il est sous forme de nanoparticules, alors que nous sommes habitués à le voir d'une couleur jaune métallique, l'argent devient jaune.

Les nanoparticules sont alors des systèmes très intéressants pour des études de physique fondamentale (la question étant comment les propriétés optiques, électroniques, mécaniques et thermiques d'un matériaux varient avec sa taille) et avec beaucoup d'applications en biologie, chimie et ingénierie.



Lingots en or massif et solution contenant des nanoparticules d'or dans l'eau

Pourquoi étudier des nanoparticules individuelles ?

Lors de leur synthèse par voie chimique ou de leur dépôt par voie physique, les nanoparticules ne sont pas toutes pareilles. Des différences plus ou moins importantes de taille, de forme, de structure cristalline ou de contact avec l'environnement sont inévitables. En étudiant des ensembles de nanoparticules, nous ne pouvons donc qu'obtenir des informations sur leurs propriétés moyennes, en perdant beaucoup de détails. Pour s'affranchir de ces inhomogénéités il est alors important de pouvoir étudier une nanoparticule unique, ou *individuelle*.

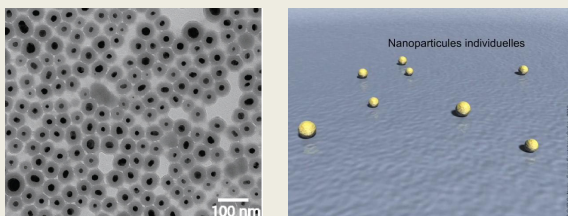
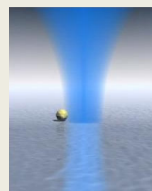


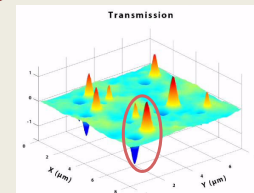
Image au microscope électronique à très fort grossissement d'un échantillon de nanoparticules d'or entourées d'un matériau isolant (à gauche) et schéma de nanoparticules déposées sur un verre utilisé dans l'animation (à droite) : les tailles et les formes des nanoparticules sont toutes différentes

Une technique originale pour observer des nanoparticules uniques

Dans notre montage expérimental nous avons choisi de mesurer l'absorption optique des nanoparticules. Pour cela (voir l'animation) nous éclairons une nanoparticule individuelle, déposée sur un verre, avec un faisceau laser visible très fortement focalisé (concentré sur environ 500 nm) et nous mesurons la lumière transmise après la particule par un détecteur de lumière (photodiode) relié à un instrument électronique très sensible (amplificateur à détection synchrone). Puisque la quantité de lumière absorbée par une particule unique est très faible (typiquement 1/10000 de la lumière laser incidente), nous avons développé une technique très sensible, la *Spectroscopie par Modulation Spatiale*.



La nanoparticule est éclairée par un faisceau laser très focalisé

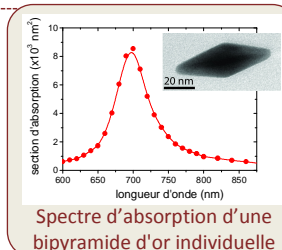


Cartographie d'un échantillon de nanoparticules d'or

Une oscillation uni-axiale (fréquence de 1 kHz) est appliquée au porte-échantillon, pour qu'une nanoparticule isolée rentre et sorte périodiquement du profil du laser. L'amplificateur à détection synchrone (fréquence f) mesure la variation de l'intensité détectée entre les deux positions extrêmes de la nanoparticule. Cette variation est maximale lorsque la particule est sur le bord du profil gaussien du laser et nulle pour la particule au centre. En balayant lentement l'échantillon, nous pouvons ainsi réaliser une *cartographie*, chaque nanoparticule étant repérée par une paire de pics.

Résultat : le spectre d'absorption d'une nanoparticule individuelle

Puisque la hauteur des pics est proportionnelle à la lumière absorbée par la nanoparticule, en balayant la longueur d'onde (couleur) du laser, nous mesurons le *spectre d'absorption* d'une nanoparticule individuelle.



Spectre d'absorption d'une bipyramide d'or individuelle

Nous avons pu ainsi mesurer des spectres d'absorption de divers nano-objets individuels tels que sphères, bâtonnets, bipyramides, dimères or-semiconducteur et or-argent. La mesure du spectre d'absorption permet une comparaison directe avec les prédictions théoriques et la mise en évidence d'effets originaux liés à la miniaturisation des matériaux.

