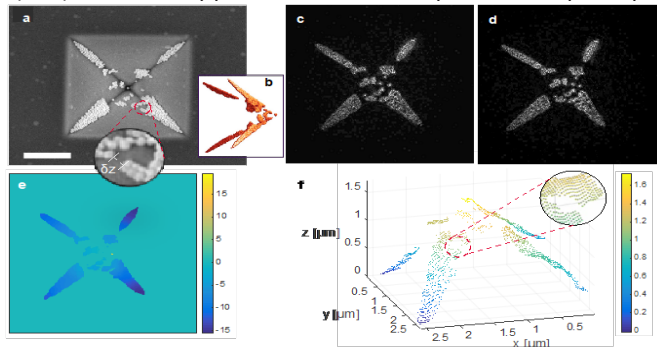




### Imagerie nanométrique 3D par vision assistée par ordinateur

Willem Boutu, Hamed Merdji : tél : 01.69.08/51.63, [willem.boutu@cea.fr](mailto:willem.boutu@cea.fr), [hamed.merdji@cea.fr](mailto:hamed.merdji@cea.fr)

L'imagerie sans lentille avec des rayons X, aussi appelée imagerie par diffraction cohérente (CDI), est une approche prometteuse en imagerie. La CDI est très efficace pour la formation d'images bidimensionnelles, mais l'imagerie tridimensionnelle reste toujours un challenge. Nous avons démontré récemment la validité d'une nouvelle technique d'imagerie qui permet d'obtenir une reconstruction 3D à partir d'une unique impulsion laser, en combinant les algorithmes de l'imagerie assistée par ordinateur et de l'imagerie sans lentille. A l'échelle du nanomètre, obtenir des informations sur les propriétés 3D d'un système artificiel ou biologique est souvent critique. Ces informations sont cependant difficiles à obtenir car la plupart des techniques ne fournissent que des projections 2D le long de l'axe optique. Aujourd'hui, les impulsions intenses ultrabrèves permettent déjà de réaliser des films 2D ultrarapides nanométriques. Cependant, ces méthodes ne peuvent pas être facilement étendues à l'imagerie 3D mono-acquisition. Généralement, l'image 3D d'un objet est générée mathématiquement à partir de centaines d'images individuelles. Cela implique un très long temps d'acquisition, un volume de données très important et une dose de radiation sur l'échantillon très élevée.



Nous avons réussi à accélérer significativement le processus en reprenant le principe de la vision humaine. La méthode repose sur l'acquisition simultanée de deux images d'un même objet à partir de deux impulsions X jumelles selon deux angles de vue différents. Cette technique d'imagerie assistée par ordinateur est déjà bien établie dans les champs de l'imagerie artificielle et de la robotique. Nous l'adaptions ici pour la première fois dans le cadre de l'imagerie avec des rayons X 3D à l'échelle nanométrique.

repose sur l'acquisition simultanée de deux images d'un même objet à partir de deux impulsions X jumelles selon deux angles de vue différents. Cette technique d'imagerie assistée par ordinateur est déjà bien établie dans les champs de l'imagerie artificielle et de la robotique. Nous l'adaptions ici pour la première fois dans le cadre de l'imagerie avec des rayons X 3D à l'échelle nanométrique.

Imagerie stéréo 3D d'un ensemble de nanoparticules (a-b) : Image MEB et iso-surface de l'échantillon test, composé de sphères d'or de 50 nm de diamètre déposées à l'intérieur d'une pyramide creusée dans une membrane de nitrure de silicium. La pyramide a une base de 2,5 µm et une hauteur de 1,8 µm. La barre d'échelle représente 1 µm. En insert, un zoom sur un détail de profondeur  $\delta z = 105$  nm. (c-d) : Reconstructions 2D par CDI, correspondant à deux projections de l'échantillon séparées de 7°. Chaque vue est obtenue avec une résolution spatiale de 42 nm. (e) : Carte des disparités des vues stéréo (c-d). (f) : Reconstruction 3D de la nano-pyramide, calculée directement à partir de la carte des disparités, sans interpolation 3D pour le rendu de la surface. L'échelle de couleurs représente la profondeur, en micromètres. Le cercle montre un zoom du détail figurant en insert en (a). L'image est inversée car observée suivant l'autre direction.



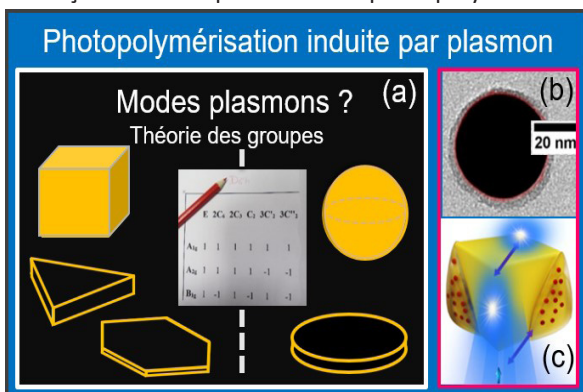
### Photopolymérisation plasmonique dans des nanohybrides à base d'or

NIMBE et SPEC : Sylvie Marguet : tél : 01.69.08/62.83, [sylvie.marguet@cea.fr](mailto:sylvie.marguet@cea.fr). Ludovic Douillard : tél : /36.26, [ludovic.douillard@cea.fr](mailto:ludovic.douillard@cea.fr). Céline Fiorini : tél : 01.69.08/62.38, [celine.fiorini@cea.fr](mailto:celine.fiorini@cea.fr). Fabrice Charra : tél : 01.69.08/97.22, [fabrice.charra@cea.fr](mailto:fabrice.charra@cea.fr)



L'interaction lumière-matière dans des nanoparticules (NPs) plasmoniques (Au, Ag, Cu, Al..) permet de concentrer la lumière incidente à leur surface, dans des endroits spécifiques, appelés points chauds. Des paires électrons-trous et de la chaleur peuvent également être générées selon la façon dont les plasmons se relaxent vers l'état initial. Cette relaxation dépend notamment de la morphologie de la NP. Les nanohybrides d'or du type (Au-NPs/molécules organiques) ou (Au-NPs/semi-conducteurs) offrent des applications dans un large éventail de domaines, allant de la chimie et de la physique à la nanomédecine. Une équipe du NIMBE-LEDNA développe depuis 2008, un savoir-faire dans la synthèse de Au-NPs de haute qualité pour de telles applications. L'équipe SPEC-LEPO, développe des microscopies de pointe (échelles nanométriques) et vient de proposer une méthode originale permettant de prédire la distribution spatiale des points chauds dans diverses géométries de NPs (fig. a). La synergie des compétences de ces deux équipes IRAMIS s'est révélée

dans le cadre d'un consortium plus large impliquant des photochimistes de l'Institut des Sciences des Matériaux de Mulhouse et des opticiens du Laboratoire Lumière, Nanomatériaux et Nanotechnologies de l'Université de Technologie de Troyes. La photopolymérisation en champ proche est une technique de fabrication (développée conjointement à Mulhouse et à Troyes) qui exploite les points chauds d'une NP métallique, pour y déposer localement du polymère. Des améliorations récentes de cette technique, obtenues grâce au consortium, ont permis de montrer : - (fig. b) la possibilité de faire des dépôts fins (~ 1nm) et successifs de polymère aux propriétés spécifiques (polymérisation dite "vivante") - (fig. c) de piéger avec une précision nanométrique des émetteurs quantiques sur des sites stratégiques de la NP pour fabriquer des commutateurs tout optique à photon unique, activables par la polarisation de la lumière. Cette collaboration pourrait se poursuivre par de nouvelles études, impliquant des mécanismes de photopolymérisation dus cette fois ci aux porteurs de charges ou à la chaleur.



a) Caractérisation des modes plasmons de NPs d'or de symétrie finie et infinie. (b) image de microscopie électronique en transmission comportant une première couche de polymère réactivable par la lumière (en fausse couleur), suivie d'une seconde couche de polymère, autour d'une sphère d'or. (c) polymère dopé par des émetteurs quantiques (Q-dots) autour d'un cube d'or.

