

FAITS MARQUANTS 2016



INSTITUT
FRESNEL

*Institut Fresnel – UMR 7249 – Faculté des Sciences St-Jérôme
Avenue Escadrille Normandie-Niemen - 13013 Marseille - FRANCE*

www.fresnel.fr

Identifier les bonnes vibrations des molécules

Des chercheurs de l'Institut Fresnel à Marseille ont mis au point une technique d'imagerie permettant de déterminer directement l'organisation des molécules dans la matière, et ainsi de révéler sa structure à l'échelle moléculaire. Le signal mesuré est non seulement sensible à la présence de la molécule mais également spécifique à la façon dont elle vibre, fournissant des informations structurales jusque-là inexploitées.

Dans un article publié le 18 mai 2016 dans la revue Nature Communications, ils décrivent comment façonner la polarisation des champs électromagnétiques pour stimuler spécifiquement certains modes de vibration moléculaires. Cette méthode repose sur le processus non linéaire Raman cohérent CARS (coherent anti-Stokes Raman scattering) et sur les concepts de théorie des groupes. Très simple à mettre en œuvre, cette avancée technique est un pas supplémentaire dans la microscopie sans marquage. Elle offre de nouvelles perspectives en biologie, pour le diagnostic biomédical, domaines où le microscope optique est un instrument incontournable.

Références : Carsten Cleff, Alicja Gasecka, Patrick Ferrand, Hervé Rigneault, Sophie Brasselet et Julien Duboisset

Nature Communications 7, Article number 11562 (18 mai 2016)

[**"Direct imaging of molecular symmetry by coherent anti-Stokes Raman scattering"**](#)

Contact chercheur :

Julien Duboisset, équipe MOSAIC

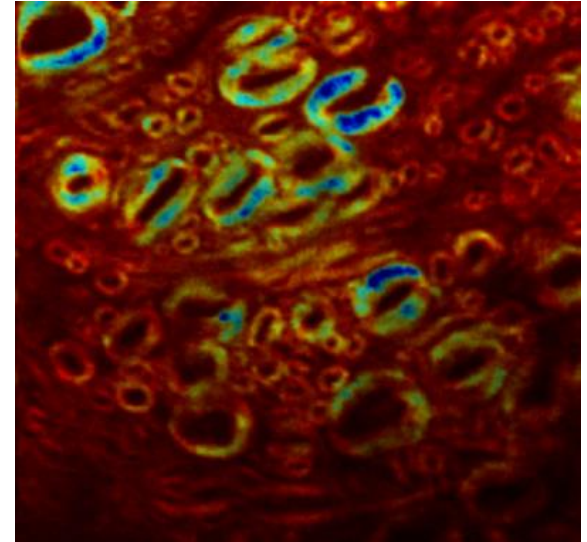


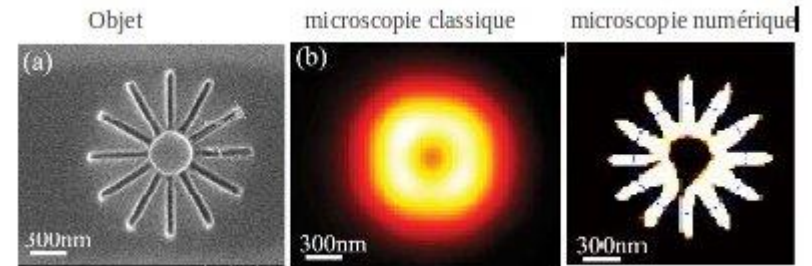
Figure : Imagerie des liaisons carbone-carbone de la myéline dans une coupe latérale de moelle épinière.

Les structures circulaires correspondent aux gaines de myéline entourant les dendrites. La brillance de l'image correspond à la densité de liaisons carbone-carbone, l'échelle de couleur correspond à l'organisation des liaisons : en rouge les liaisons vibrant de manière isotrope, en bleu les liaisons vibrant de manière unidirectionnelle.

Cette image est obtenue en une seule acquisition, sans marqueur fluorescent, et permet ainsi d'apporter une information structurale sur l'organisation des molécules de l'échantillon (image de 30 × 30 μm).

Far-field diffraction microscopy at $\lambda/10$ resolution

Des chercheurs de l'Institut Fresnel et du LPN ont montré que, grâce à des algorithmes de reconstruction sophistiqués, un microscope optique peut avoir une résolution proche de celle des microscopes à force atomique (inférieure à 50 nm).



Références : T. Zhang, C. Godavarthi, P. Chaumet, G. Maire, H. Giovannini, A. Talneau, M. Allain, K. Belkebir and A. Sentenac ;
« *Far-field diffraction microscopy at $\lambda/10$ resolution* »

Article publié dans OPTICA Vol 3, N°6 du 7 juin 2016

[Optica - June 2016](#)

Contact chercheur :

Anne Sentenac, équipe SEMO

Contrôler la diffusion et l'émission de lumière avec des nanoparticules de silicium

Les nanoparticules d'une taille inférieure à la longueur d'onde peuvent rentrer en résonance avec la lumière incidente, conduisant à des renforcements très intenses de la diffusion de la lumière ainsi que de l'intensité lumineuse au voisinage des particules. Les nanoparticules métalliques ont attiré d'intenses recherches depuis une vingtaine d'années car elles sont le siège d'une résonance plasmonique de surface, résonance électromagnétique liée à l'excitation collective des électrons libres du métal. Mais les particules constituées de matériaux isolants peuvent également exciter des résonances électromagnétiques, appelées résonances morphologiques ou résonances de Mie. Des travaux théoriques menés à l'Institut Fresnel ont récemment démontré que ces résonances morphologiques pouvaient conduire à des renforcements de champs identiques à ceux produits par les plasmons de surface avec des particules métalliques [1].

Un groupe de recherche incluant 2 laboratoires marseillais (Institut Fresnel & CINAM) a dernièrement exploité ces résonances dans des particules diélectriques en silicium. Les chercheurs ont en particulier exploité les renforcements de l'intensité lumineuse entre 2 particules pour détecter des molécules fluorescentes individuelles, et exploité la diffusion résonante de la lumière pour imprimer des images colorées sans pigment sur une surface. Les molécules fluorescentes individuelles ont été observées dans un interstice de 20 nm séparant 2 particules de silicium, zone où l'intensité lumineuse est fortement augmentée. Ces antennes ont été désignées numériquement à l'Institut Fresnel, puis fabriquées sur les plateformes technologiques de l'Institut Fresnel (Espace Photonique) pour le dépôt des couches minces de silicium et du CINAM (Planète, plateforme du site d'Aix-Marseille Université) pour la lithographie et la gravure des antennes dans le silicium. Le couplage de 2 particules de silicium permet de délimiter un volume de détection de fluorescence d'une centaine de zeptolitres ($1 \text{ zL} = 10^{-21} \text{ L}$) où le nombre moyen de molécules détectées est diminué d'un facteur 3600 pour devenir inférieur à l'unité. Cette détection de molécules individuelles s'accompagne d'une augmentation de plus de 2 ordres de grandeurs du signal de fluorescence [2]. Les résonances morphologiques dans les particules de silicium ont également été utilisées pour imprimer des images colorées sans pigment. La fréquence de résonance dépendant de la taille et de la forme de la particule, une palette de couleurs structurelles a pu être reproduite en modifiant le diamètre des particules. L'intérêt de cette technique de coloration a été mis en avant en reproduisant une toile de Mondrian à l'échelle 1:1200 à l'aide de particules de silicium sur un substrat transparent (image ci-dessous à droite) [3].

Ces avancées ont été réalisées sans exciter de plasmon de surface, et en utilisant uniquement des matériaux diélectriques, en particulier du silicium. Le silicium est un matériau abondant dont les propriétés semi-conductrices ont révolutionné la microélectronique. Ces résultats précurseurs dans le domaine de la nanophotonique constituent un pas important pour rapprocher les résonateurs photoniques des composants opto-électroniques basés sur la technologie silicium.

Références :

- [1] « Plasmonics » with dielectrics, Optics & Photonics News, February 2016.
- [2] Nano Lett. 16, 5143–5151 (2016). Doi : 10.1021/acs.nanolett.6b02076
- [3] ACS Nano 10, 7761–7767 (2016). Doi : 10.1021/acsnano.6b03207

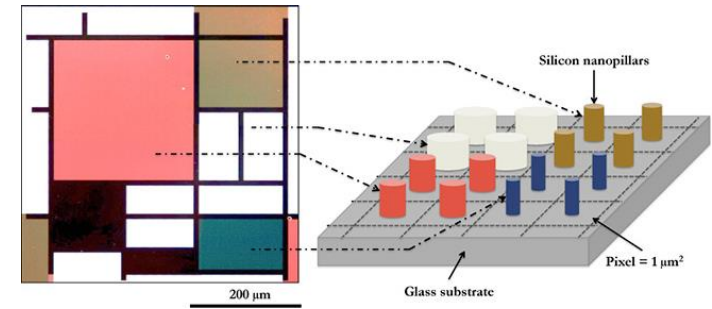


Figure 1 : Plateforme de détection moléculaire constituée de 2 particules de Si séparées par un interstice de 20 nm permettant d'exalter et de détecter le signal de fluorescence de molécules individuelles.

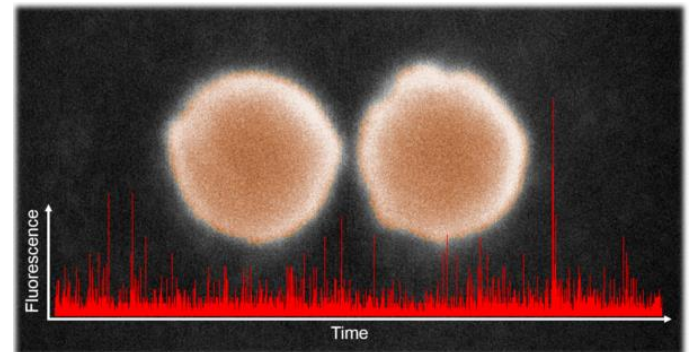


Figure 2 : Toile de Mondrian reproduite à l'aide de particules de Si. La coloration de ces particules résulte de l'interaction résonante avec la lumière. La couleur est contrôlée par la morphologie des particules

Contact chercheur :

Nicolas Bonod, équipe CLARTE

Des nanoparticules d'or pour maintenir de l'eau liquide à 200°C à pression ambiante

En chimie de synthèse, les méthodes dites hydrothermales consistent à utiliser de l'eau liquide entre 100°C et 200°C comme solvant. Afin de maintenir l'eau à l'état liquide à de telles températures, il est nécessaire d'introduire le milieu réactionnel dans un caisson fermé et pressurisé, appelé un autoclave. Cette approche, très répandue en chimie, notamment en synthèse inorganique, reste pourtant soumise à de nombreuses contraintes, notamment à cause de l'utilisation d'un milieu réactionnel fermé.

Nos chercheurs ont démontré qu'il était possible de réaliser des réactions hydrothermales en milieu ouvert, à pression ambiante, sans ébullition jusqu'à plus de 200°C. De telles conditions expérimentales ont été atteintes à l'échelle microscopique en illuminant des nanoparticules d'or déposées sur un substrat de verre et chauffées localement sous microscope par illumination laser. L'absence d'ébullition jusqu'à 230°C et la persistance d'un état métastable de l'eau proviennent de l'absence naturelle de centres de nucléation dans les échantillons utilisés.

La réaction chimique étudiée consiste en la formation de microcristaux d'hydroxyde d'indium à partir d'une solution de chlorure d'indium à 200°C en milieu aqueux, un cas d'école en synthèse hydrothermale. Mise à part l'absence d'ébullition de l'eau à 200°C même à pression ambiante, d'autres effets singuliers ont été mis en évidence et expliqués par les chercheurs, notamment des cinétiques de réaction 1 000 à 10 000 fois plus rapides que dans des autoclaves.

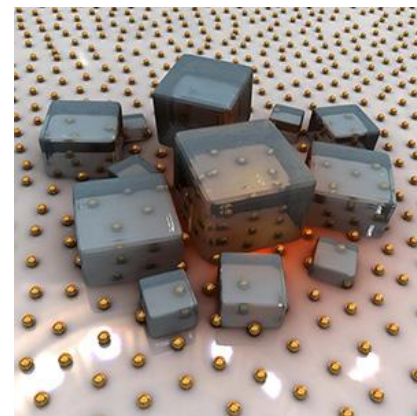
Cette nouvelle technique de synthèse chimique offre plusieurs avantages. Le milieu restant ouvert, il est possible d'introduire des réactifs pendant la réaction. Il est également possible de suivre la croissance de cristaux par microscopie. Cette technique offre également un moyen de structurer spatialement une croissance inorganique par faisceau laser focalisé sur une surface, ouvrant de nouvelles perspectives en micro et nano fabrication.

Références : H. M. L. Robert, F. Kundrat, E. Bermúdez-Ureña, H. Rigneault, S. Monneret, R. Quidant, J. Polleux et G. Baffou ; « *Light-Assisted Solvothermal Chemistry Using Plasmonic Nanoparticles* »

ACS Omega 1, 2 (juillet 2016)

DOI : 10.1021/acsomega.6b00019

[ACS Omega](#)



Contact chercheur :

Guillaume Baffou, équipe MOSAIC

Filtres optiques interférentiels : vers un design et une fabrication de filtres toujours plus complexes

Dans le but de démontrer ses capacités en termes de synthèse et de fabrication de filtres optiques interférentiels, l'équipe Couches Minces Optiques de l'Institut Fresnel a ainsi montré qu'il lui était possible de designer et fabriquer des filtres optiques interférentiels à très grande complexité. Le composant fabriqué avait pour but de simuler, avec les courbes de dispersion spectrales en réflexion et en transmission dans le domaine [400-1100] nm une tête d'élan. Diverses difficultés étaient associées à ce problème, notamment la non-unicité de la somme de la transmission et de la réflexion sur le domaine spectral, ce qui a conduit à introduire une fine couche métallique (en l'occurrence du chrome), très sensible aux erreurs de dépôt. De plus, les oscillations permettant de définir les cornes de la tête d'élan, ont également nécessité le dépôt d'un grand nombre de couches (une centaine). La combinaison parfaite de techniques de synthèse performantes et des méthodes de dépôt et de contrôle a ainsi permis de réaliser un composant permettant de reproduire assez finement la tête d'élan considérée.

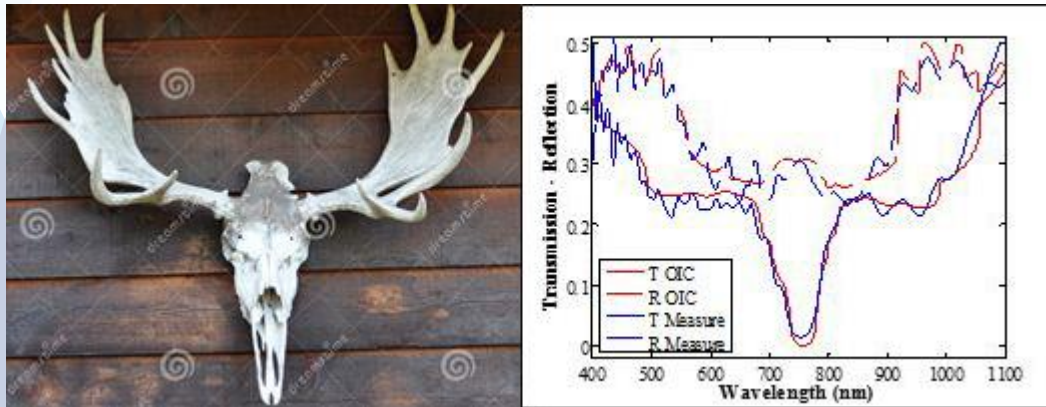


Figure 1 : Tête d'élan dont le contour a été reproduit à l'aide de la mesure en transmission et en réflexion du filtre fabriqué.

Figure 2 : Profil spectral extrait de cette image ainsi que le résultat expérimental obtenu.

La déviation entre le gabarit spectral et le composant réalisé est de l'ordre de 2% en moyenne sur tout le domaine spectral. Une si faible déviation n'a été possible que par une minimisation des erreurs de couches (inférieure ou égale à 1% pour chacune des couches). Cet exemple ouvre donc la porte à la réalisation de filtres toujours plus complexes avec des profils spectraux variés.

Contacts chercheurs :

Thomas Begou, Fabien Lemarchand et Julien Lumeau, équipe RCMO

Références : T. Begou, F. Lemarchand and J. Lumeau ; "Advanced optical interference filters based on metal and dielectric layers", *Optics Express* 24 (18), 20925–20937 (2016).

T. Begou, H. Krol, C. Hecquet, C. Bondet, J. Lumeau, C. Grezes-Besset, and M. Lequime ; "Optical filters for UV to near IR space applications", *Proc. of International Conference on Space Optics*, paper 66488 (2014).

T. Begou, H. Krol, D. Stojcevski, F. Lemarchand, M. Lequime, C. Grezes-Besset, J. Lumeau ; "Complex optical interference filter with stress compensation", *Optical Systems Design 2015, Proc. SPIE 9627*, paper 96270R (2015).

A new route for looking deeper and brighter in biological tissues

Biological tissues are strongly scattering media, and as such, imaging with high resolution is still remarkably shallow. In particular, multiphoton imaging is strongly based on ballistic light (non-scattered, direction preserved). Because ballistic light intensity decreases exponentially in scattering media, it poses considerable challenges for imaging. Nevertheless, researchers recently found new ways to perform ultradeep imaging, with sub-cellular resolution, by recycling scattered light itself. Building on these previous work, however exploiting an alternative strategy, we demonstrate record 4000-fold enhancement of nonlinear signal after scattering media, thus enabling highly contrasted nonlinear imaging of biological tissues (collagen fibers).

These remarkable results are possible because of the complex interference pattern arising from multiple scattering phenomena : the speckle. One can “reverse” the complex interference of the speckle into a deterministic shape, e.g., a bright focus. This focus is achieved by using various algorithms which are aided by a feedback mechanism. Traditionally, the feedback for nonlinear imaging is the nonlinear signal itself, which is dim and thus slow. In the new strategy proposed, we exploit the overwhelming linearly scattered light, in opposition to the traditional approach, as a feedback to achieve faster focusing capabilities.

Contact chercheur :

Sophie Brasselet, équipe MOSAIC

References: Hilton B. de Aguiar, Sylvain Gigan and Sophie Brasselet ;
"Enhanced nonlinear imaging through scattering media using transmission-matrix-based wave-front shaping"

Phys. Rev. A 94, 043830 – Published 18 October 2016

<http://journals.aps.org/prabstract/10.1103/PhysRevA.94.043830>

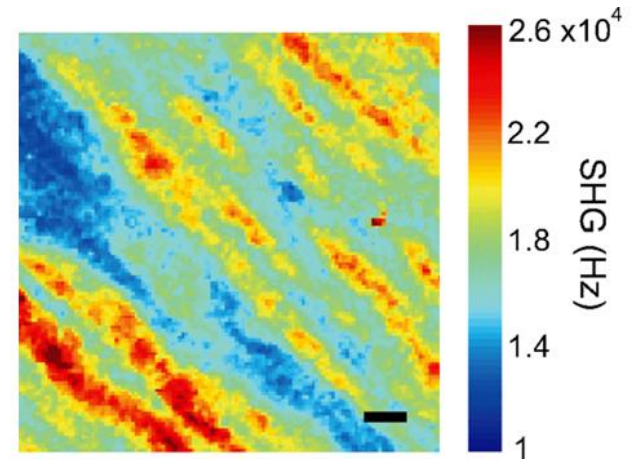


Figure: SHG imaging of rat tail tendon collagen. Scattering medium: diffuser. Number of controlled SLM segments: 2 10. Scale bar: 2.3 μm .

Matériaux cristallins : une imagerie à cadence accélérée

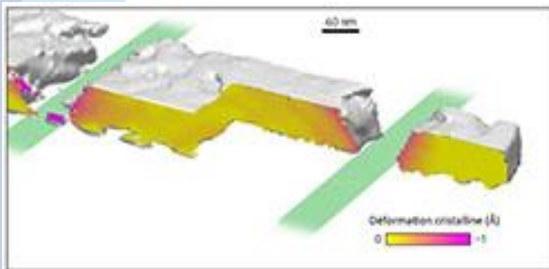
Une nouvelle microscopie aux rayons X, tridimensionnelle, quantitative et à haute résolution pour explorer les nanostructures cristallines

La compréhension de la croissance des coquillages, le contrôle des propriétés optiques des semi-conducteurs ou encore l'amélioration des performances électriques des métaux sont autant de problématiques nécessitant de connaître les propriétés fines des cristaux. Les rayons X permettent de sonder l'intérieur d'un cristal mais produire une image 3D, résolue à l'échelle nanométrique et porteuse d'une information quantitative (par exemple les déformations cristallines) reste extrêmement difficile, en raison de l'inefficacité des lentilles pour ces longueurs d'onde.

La nouvelle approche développée par une équipe franco-américaine et publiée dans la revue [Nature Materials](#) simplifie et accélère considérablement cette procédure.

Ces dernières années, une microscopie X dite sans lentille a émergé : dans cette approche, les lentilles qui sont habituellement utilisées dans un dispositif optique pour produire une image sont remplacées par des algorithmes informatiques. Jusqu'à récemment, ces méthodes impliquaient que la taille de l'échantillon soit inférieure à quelques micromètres. Ce verrou a été levé en 2011 par l'équipe de Virginie Chamard à l'Institut Fresnel en démontrant la possibilité d'étendre arbitrairement la taille de l'échantillon sans dégrader la résolution. Cette microscopie, appelée ptychographie de Bragg, restait néanmoins extrêmement difficile à généraliser, en raison du temps d'acquisition prohibitif qu'elle nécessitait et des contraintes mécaniques qu'elle imposait sur le dispositif de mesure.

Ce sont ces deux limites que des chercheurs de l'Institut Fresnel et de l'Argonne National Laboratory aux Etats-Unis viennent de lever. La nouvelle approche, appelée ptychographie de Bragg retro-projetée, est une méthode d'imagerie tridimensionnelle hybride : deux dimensions proviennent du signal diffracté et une dimension est obtenue à partir d'un balayage spatial. Cette microscopie marque un tournant conceptuel dans l'imagerie aux rayons X des matériaux cristallins. La diminution de la durée totale de la mesure, de l'ordre d'un facteur 100, et la simplification de la géométrie doivent permettre l'exploration, impossible jusqu'à récemment, de matériaux cristallins complexes, relevant de domaines aussi variés que les sciences du vivant ou la microélectronique.



Contact chercheur :

Virginie Chamard, équipe COMIX

Références : S. O. Hruszkewycz, M. Allain, M. V. Holt, C. E. Murray, J. R. Holt, P. H. Fuoss et V. Chamard

Nature Materials 15, Décembre 2016

[High-resolution three-dimensional structural microscopy by single-angle Bragg ptychography](#)