

FAITS MARQUANTS 2020



INSTITUT
FRESNEL

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

www.fresnel.fr

Cartographier des métasurfaces holographiques

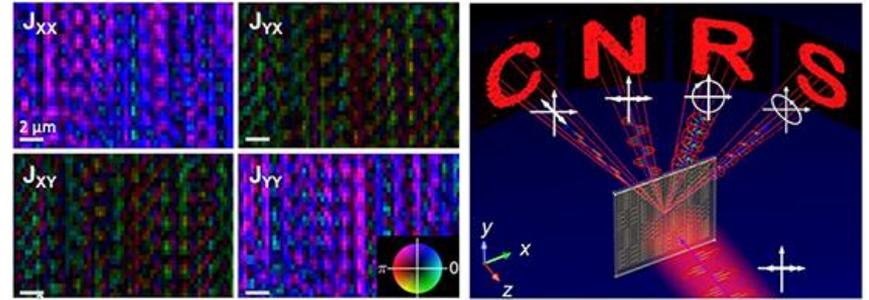
Les métasurfaces sont des composants photoniques obtenus en structurant des surfaces à une échelle inférieure à la longueur d'onde de la lumière. Par leur conception « sur mesure », ces composants permettent d'envisager de nouvelles fonctions optiques inédites. En générant de façon pixellisée des propriétés de phase géométrique et/ou de contrôle de polarisation, ils pourraient notamment révolutionner la conception de systèmes d'affichage 3D ultracompacts de réalité virtuelle ou augmentée. Pour contrôler leur fabrication, il est cependant nécessaire d'en cartographier l'ensemble des propriétés optiques sur des étendues de plusieurs centaines de micromètres avec une résolution microscopique de leurs métapixels. Des physiciens du Centre de recherche sur l'Hétéro-épitaxie et ses applications – CRHEA (Univ. Côte d'Azur, CNRS) et de l'institut Fresnel (Univ. Aix-Marseille, CNRS, Centrale Marseille) viennent de franchir ce pas, en produisant des images quantitatives d'un méta-hologramme à contrôle de polarisation. Ces travaux sont publiés dans la revue Nature Communications.

Leur approche exploite une nouvelle méthode d'imagerie développée à l'institut Fresnel sous le nom de ptychographie vectorielle. À partir de mesures de figures de diffraction et de leur analyse par des algorithmes de reconstruction de phase, les chercheurs ont ainsi pu reconstituer une cartographie complète des propriétés optiques d'un méta-hologramme. Ce dernier, conçu et élaboré au CRHEA, démontre la possibilité de projeter un motif arbitraire (ici le sigle CNRS) avec des polarisations lumineuses prédéterminées.

Références : Q. Song, A. Baroni, R. Sawant, P. Ni, V. Brandli, S. Chenot, S. Vézian, B. Damilano, P. de Mierry, S. Khadir, P. Ferrand et P. Genevet ; *"Ptychography retrieval of fully polarized holograms from geometric-Phase Metasurfaces"*

Nature Communications (2020)

<https://doi.org/10.1038/s41467-020-16437-9>



Figures : À gauche - cartographie optique du méta-hologramme (extrait), obtenue par ptychographie. À droite - fonction optique du méta-hologramme : éclairé par un faisceau laser, le composant projette le sigle CNRS, chaque lettre portant une polarisation différente.

Contact chercheur :

Patrick Ferrand, équipe COMiX

Première mise en évidence des ondes non-linéaires auto-confinées au sein de structures plasmoniques

Prédites depuis plus de quarante ans par des études théoriques russes et américaines, ces ondes ont enfin été mises en évidence et étudiées. Ces ondes, dont les plasmons-solitons sont le cas particulier se propageant de manière auto-cohérente, ont connu un fort regain d'intérêt durant les deux dernières décennies avec le développement de la plasmonique. Ainsi de très nombreux travaux théoriques et numériques notamment ceux réalisées à l'Institut Fresnel les ont exploré mais ces ondes non-linéaires n'avaient jusqu'à maintenant jamais été observées expérimentalement.

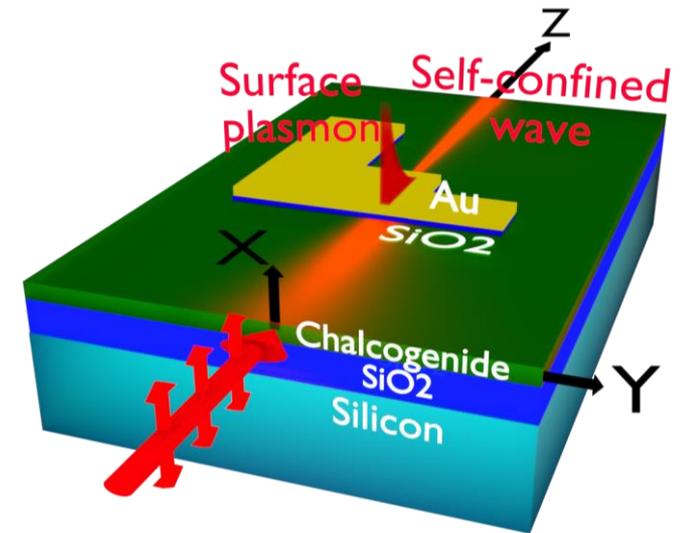
Ces ondes non-linéaires de surface se propagent dans une structure plasmonique plane où la non-linéarité est assurée par un verre présentant à la fois une forte non-linéarité Kerr optique (plusieurs centaines de fois celle de la silice) et une faible photo-sensibilité. Les observations n'ont été rendues possible que par les remarquables caractéristiques de ce verre de chalcogénure, par la conception d'une structure optimisée par des simulations numériques préalables utilisant une nouvelle méthode de détermination des solutions non-linéaires, et par la longue expertise expérimentale acquise précédemment dans l'étude des solitons spatiaux.

Afin de rendre compte des résultats expérimentaux, une version améliorée de l'équation de Schrödinger non-linéaire spatiale a notamment été développée afin de prendre en compte correctement les propriétés des ondes se propageant sous la partie métallique de la structure. Des comparaisons expériences/simulations ont ainsi pu être réalisées avec un accord qualitatif et quantitatif.

Cette mise en évidence de ces ondes non-linéaires auto-confinées au sein de structures plasmoniques ouvre la voie à leur utilisation dans des applications en plasmonique non-linéaire intégrée en effet de très fortes focalisations peuvent être générées sur des distances de quelques dizaines de micromètres et à des puissances raisonnables.

Contact chercheur :

Gilles Renversez, équipe ATHENA



Figures : Schéma de principe de l'expérience avec un motif en or situé sur la partie supérieure de la structure plane contenant la couche de verre hautement non-linéaire.

Références : Tintu Kuriakose, Gilles Renversez, Virginie Nazabal, Mahmoud M. R. Elsayy, Nathalie Coulon, Petr Němec et Mathieu Chauvet ;
"Nonlinear Self-Confined Plasmonic Beams : Experimental Proof"

ACS Photonics (2020)

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsp Photonics.0c00906>

Etude d'un analogue de l'astéroïde Itokawa dans le domaine des ondes électromagnétiques micro-ondes

Les petits corps du système solaire (comètes, astéroïdes), et surtout leurs structures internes, sont encore mal connus. La connaissance de l'intérieur des comètes et des astéroïdes pourrait fournir des informations importantes sur leur processus de formation, mais aussi, sur le système solaire primitif. Dans cet article, nous avons étudié la possibilité d'obtenir ce type d'informations à partir de leur réponse à une onde électromagnétique incidente. Cette étude s'est focalisée sur un analogue de l'astéroïde 25143 Itokawa, qui est un petit astéroïde, "visité" par la mission Hayabusa de l'agence spatiale japonaise (JAXA) en 2005.

Des mesures en chambre anéchoïque, dans la gamme des micro-ondes, ont été réalisées pour simuler en milieu contrôlé une mission spatiale embarquant un radar. Deux modélisations "full wave", l'une dans le domaine de la fréquentiel et l'autre dans le domaine temporel, ont été appliquées pour décrire l'interaction de l'onde incidente avec cet analogue.

Les comparaisons entre les modélisations et les mesures de laboratoire permettent de distinguer la signature de la structure interne de l'analogue et démontrent l'intérêt d'une inspection radar de tels corps célestes. Les résultats montrent aussi qu'une modélisation de type « full wave », prenant en compte non seulement le premier ordre, mais aussi la diffraction multiple, est ici nécessaire.

Cette étude a été effectuée dans le cadre d'une collaboration entre des chercheurs du département Mathematics and Statistics de l'Université de Tampere (TUNI) et des chercheurs de l'Institut Fresnel.

Contact chercheur :

Christelle Eyraud, équipe HIPE

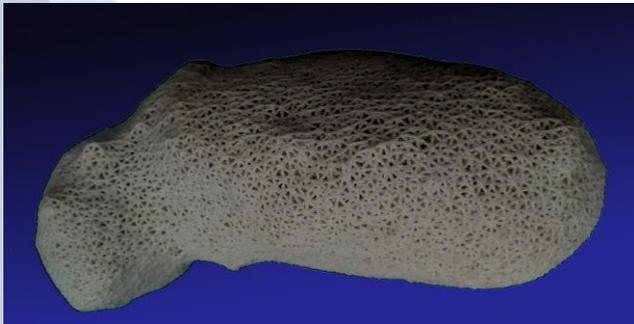


Figure 1 : Analogue de l'astéroïde Itokawa

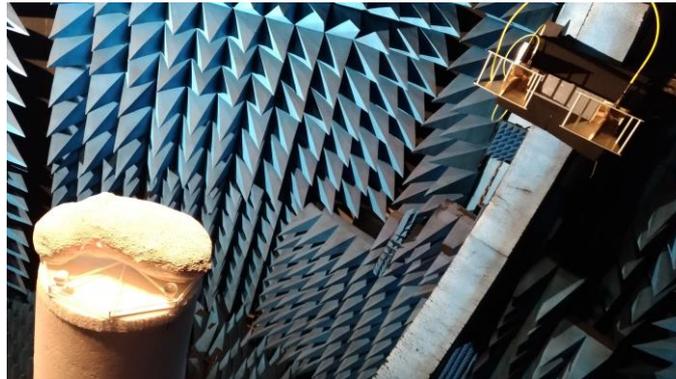


Figure 2 : Configuration de mesures de la signature radar d'un analogue d'astéroïde

Références : C. Eyraud, L.-I. Sorsa, J.-M. Geffrin, M. Takala, G. Henry, S. Pursiainen ; *"Full Wavefield Simulation versus Measurement of Microwave Scattering by a Complex 3D-Printed Asteroid Analogue"*

Astronomy & Astrophysics

[Lien vers le téléchargement gratuit](#)

Le machine learning permet une percée dans les études sur le lieu de naissance des étoiles

Programme ORION-B pour "Outstanding Radio-Imaging of Orion B"

Les nuages de gaz où naissent et grandissent les étoiles sont de vastes régions de l'Univers très riches en matière, et donc en processus physiques. Entremêlés à différentes échelles, de temps et de tailles, tous ces processus rendent presque impossible la compréhension complète des pouponnières d'étoiles. Mais les scientifiques du programme ORION-B viennent de prouver que les statistiques et l'intelligence artificielle peuvent lever les barrières se dressant encore devant les astrophysiciens et astrophysiciennes.

Ayant pour objectif de livrer l'analyse la plus détaillée à ce jour du nuage d'Orion, une des régions où se forment les étoiles les plus proches de la Terre, l'équipe d'ORION-B a intégré dans ses rangs des scientifiques spécialistes du traitement massif de données. Ils ont ainsi développé de nouvelles méthodes basées sur l'apprentissage statistique et le machine learning pour étudier les observations du nuage réalisées pour 240 000 fréquences de la lumière².

A partir d'algorithmes d'intelligence artificielle, ces outils permettent de découvrir de nouvelles informations dans une grande masse de données comme celle du projet ORION-B. Ils ont ainsi permis de dévoiler certaines « lois » régissant le nuage d'Orion.

Les scientifiques ont pu mettre au jour des relations entre la lumière émise par certaines molécules et des informations jusqu'ici inaccessibles : leurs calculs permettent d'estimer la quantité d'hydrogène ou la quantité d'électrons libres dans le nuage, sans les observer directement. En analysant toutes les données à sa disposition, l'équipe de recherche a également pu déterminer comment améliorer encore ses observations en éliminant certaines informations « parasites ».

Les équipes d'ORION-B souhaitent maintenant tester ces travaux théoriques en pratique, en mettant en application les estimations et préconisations établies pour les vérifier en conditions réelles. Un autre défi théorique de taille sera d'arriver à extraire l'information sur la vitesse de déplacement des molécules et ainsi visualiser les mouvements de la matière pour voir comment celle-ci se déplace au sein du nuage.

Références : Antoine Roueff, Maryvonne Gerin, Pierre Gratier, François Levrier, Jérôme Pety, Mathilde Gaudel, Javier R.Goicoechea, Jan H. Orkisz, Victor de Souza Magalhaes, Maxime Vono, Sébastien Bardeau, Emeric Bron, Jocelyn Chanussot, Pierre Chainais, Viviana V. Guzman, Annie Hughes, Jouni Kainulainen, David Languignon, Jacques Le Bourlot, Franck Le Petit, Harvey S. Liszt, Antoine Marchal Marc-Antoine Miville-Deschênes, Nicolas Peretto, Evelyne Roueff et Albrecht Sievers ; *"C18O, 13CO, and 12CO abundances and excitation temperatures in the Orion B molecular cloud : An analysis of the precision achievable when modeling spectral line within the Local Thermodynamic Equilibrium approximation"* A&A, le 19 novembre 2020

<https://www.cnrs.fr/fr/presse/machine-learning-une-percee-pour-letude-des-pouponnieres-detoiles>

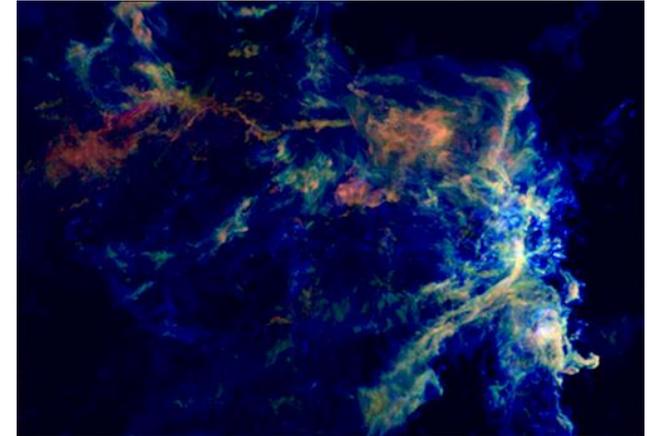


Figure : Emission du monoxyde de carbone dans le nuage Orion B.

Contact chercheur :

Antoine Roueff, équipe PHYTI