



INSTITUT
FRESNEL

M A R S E I L L E

FAITS MARQUANTS 2013

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

www.fresnel.fr

Contrôler la direction d'émission à l'aide d'une antenne hybride électrique/magnétique

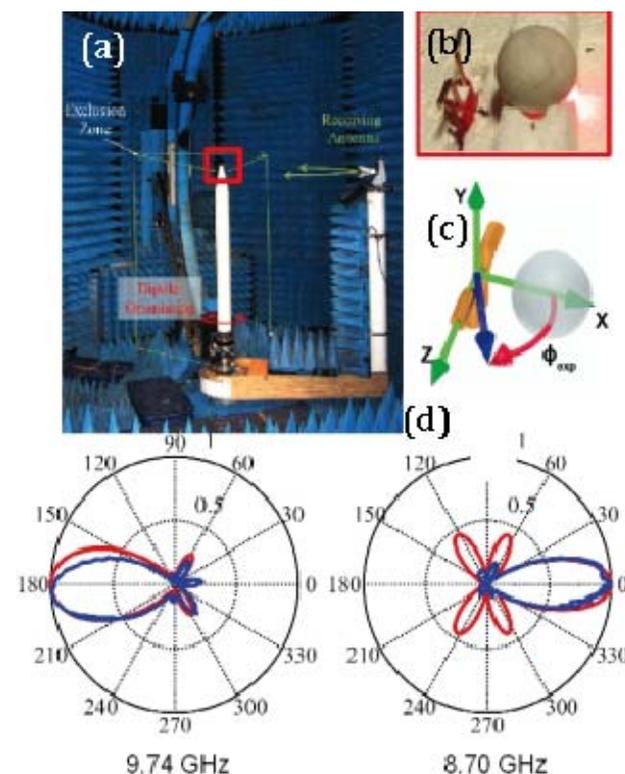
Un article paru dans la revue Scientific Report du 29 octobre 2013 sur des travaux menés par deux équipes de l'Institut Fresnel démontre théoriquement et expérimentalement que l'émission d'une source dipolaire électrique peut être dirigée, suivant sa fréquence d'émission et avec un fort gain de directivité, vers l'avant ou vers l'arrière d'une sphère diélectrique. L'originalité de l'approche suivie par ces 2 équipes a consisté à utiliser des concepts issus de la photonique moderne pour concevoir un nouveau type d'antenne diélectrique hybride électrique/magnétique de taille sub-longueur d'onde fonctionnant en régime radio-fréquences.

Ce contrôle de la direction d'émission via la fréquence résulte du couplage entre l'émetteur dipolaire électrique et des modes dipolaires et quadripolaires de natures électriques et magnétiques dans le résonateur diélectrique. Les diagrammes d'émission mesurés en chambre anéchoïque (CCRM Marseille) sont en très bon accord avec les prédictions théoriques.

Le résonateur diélectrique utilisé dans cette expérience a un indice de réfraction de 2.45 pouvant être obtenu avec de nombreux matériaux dans une large gamme de fréquences, ce qui ouvre des perspectives d'applications variées de ce nouveau type d'antenne, allant du contrôle de l'émission d'émetteurs quantiques dans les fréquences optiques aux télécommunications dans le régime des radio-fréquences.

Référence bibliographique : B. Rolly, R. Abdeddaim, J. M. Geffrin, B. Stout, N. Bonod, "Controllable emission of a dipolar source coupled with a magneto-dielectric resonant subwavelength scatterer" Sci. Rep. **3**, 3063 (2013)
<http://www.nature.com/srep/2013/131029/srep03063/full/srep03063.html>

Contacts chercheurs : Nicolas BONOD nicolas.bonod@fresnel.fr – Brian STOUT brian.stout@fresnel.fr
Jean-Michel GEFFRIN jean-michel.geffrin@fresnel.fr – Redha ABDEDDAIM redha.abdeddaim@fresnel.fr

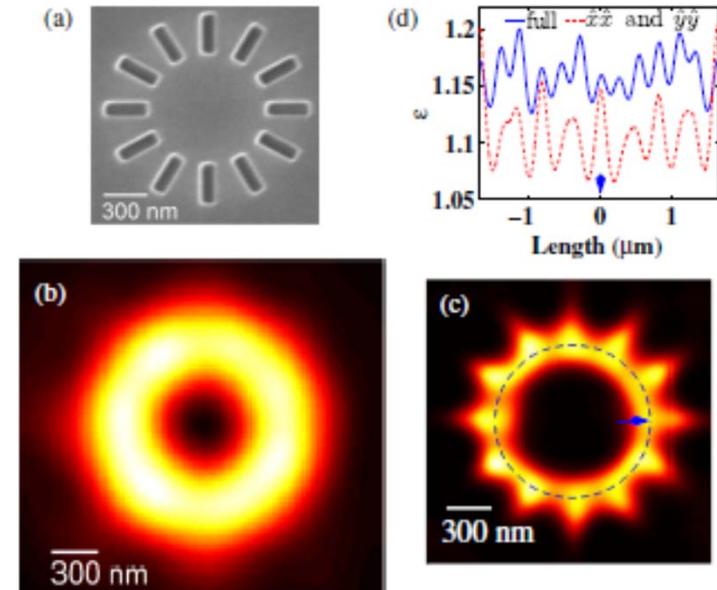


Figures : (a) Dispositif expérimental en chambre anéchoïque : l'antenne réceptrice est montée sur un bras circulaire de 2m de diamètre. (b) Photo du résonateur diélectrique ($\epsilon=6$, diamètre de 16mm), schématisée en (c). (d) Diagrammes d'émission théoriques (rouge) et expérimentaux (bleu) dans le plan Oxz en fonction de l'angle ϕ_{exp} : l'émission est dirigée vers l'arrière (à gauche, à 9.74GHz) ou vers l'avant (à droite, à 8.70 GHz).

La microscopie tomographique diffractive atteint une résolution d'un quart de la longueur d'onde

Des chercheurs de l'équipe SEMOX ont développé un microscope tomographique diffractif capable d'exploiter toute l'information contenue dans la lumière diffractée par l'objet sondé : intensité, phase et état de polarisation. La résolution s'en trouve améliorée de manière significative par rapport à toutes les autres techniques diffractives de microscopie en champ lointain. Ces travaux sont décrits dans un article paru le 13 décembre 2013 dans Physical Review Letters. Une résolution transverse isotrope d'un quart de la longueur d'onde est démontrée sur des échantillons nanométriques sur substrat silicium (figures ci-contre). Les objets sont en outre reconstruits en trois dimensions et leur épaisseur de 140 nm est restituée avec succès.

Ces résultats mettent en avant l'importance de la polarisation en super-résolution et ouvrent la voie à une caractérisation optique non invasive de composants structurés à une échelle largement sub-longueur d'onde.



Figures : (a) Microscopie électronique.
(b) Microscopie de champ sombre.
(c) Reconstruction tomographique.
(d) Coupe de la reconstruction en tomographie vectorielle (bleu) et scalaire (rouge).

Référence bibliographique : T. Zhang et al., “Full-polarized tomographic diffraction microscopy achieves a resolution about one fourth of the wavelength”, Phys. Rev. Lett. **111**, 243904 (2013)

Contacts chercheurs : Guillaume MAIRE guillaume.maire@fresnel.fr – Kamal BELKEBIR kamal.belkebir@fresnel.fr
Patrick CHAUMET patrick.chaumet@fresnel.fr – Anne SENTENAC anne.sentenac@fresnel.fr

Une nouvelle technique de profilométrie optique à très haute résolution

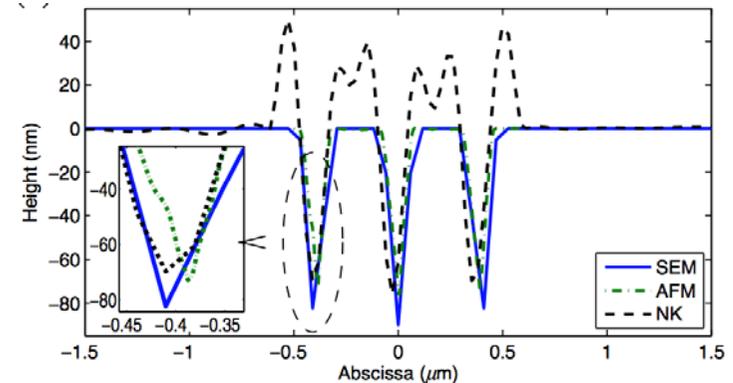
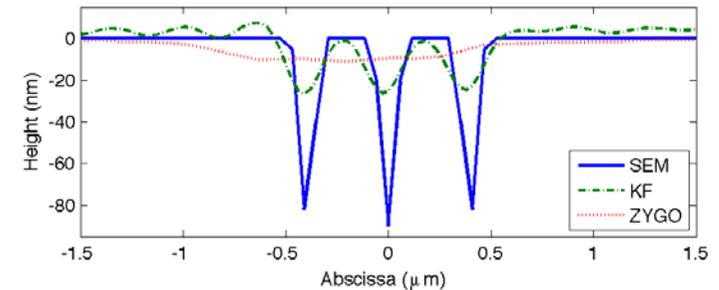
Un nouveau type de profilomètre optique a été mis au point par des chercheurs de l'Institut Fresnel, en collaboration avec le LPN-Marcoussis et l'European Gravitational Observatory de Pise. La résolution obtenue avec cette technique est bien supérieure à celle des profilomètres optiques classiques et peut être comparée à celle des Microscopes à Force Atomique. L'article, qui a été publié dans la revue Physical Review Letters en août 2013, décrit la méthode qui est basée sur des mesures en champ lointain des champs diffusés obtenus par des éclairagements successifs de la surface sous différentes incidences et sur l'utilisation d'algorithmes d'inversion prenant en compte les phénomènes de diffusion multiple.

La technique permet de caractériser des surfaces présentant des profils avec de fortes pentes et des dimensions caractéristiques nanométriques, très fortement inférieures à la limite de diffraction.

Les applications potentielles de la méthode concernent la profilométrie et la caractérisation de nano-composants.

Référence bibliographique : S. Arhab, G. Soriano, G. Maire, A. Talneau, D. Sentenac, P.C. Chaumet, K. Belkebir, H. Giovannini, "Nanometric resolution with far-field optical profilometry", Phys. Rev. Lett. **111**, 053902 (2013)

<http://prl.aps.org/abstract/PRL/v111/i5/e053902>



Comparaison des profils mesurés avec : un microscope électronique à balayage (SEM), un microscope à force atomique (AFM), avec le profilomètre utilisant des éclairagements successifs de la surface et un algorithme de reconstruction (NK). Les profilomètres classiques (ZYGO) ou l'utilisation d'algorithmes d'inversion ne prenant pas en compte la diffusion multiple (KF) ne permettent pas de reconstruire le profil de la surface.

Contacts chercheurs : Hugues GIOVANNINI hugues.giovannini@fresnel.fr

Gabriel SORIANO gabriel.soriano@fresnel.fr - Guillaume MAIRE guillaume.maire@fresnel.fr

Kamal BELKEBIR kamal.belkebir@fresnel.fr Patrick CHAUMET patrick.chaumet@fresnel.fr

Thermo-plasmonique

Imager et contrôler la température aux petites échelles à l'aide de nanoparticules d'or

L'équipe Mosaic a récemment développé une technique d'imagerie thermique (appelée TIQSI) qui a permis de mesurer pour la première fois la température de nanoparticules d'or (plasmoniques) sous illumination, sans sonde locale de température. En 2013, grâce à cette technique, le groupe a étudié la physique de la génération de chaleur créée par des réseaux de nanoparticules d'or sous illumination. Les mesures ont montré que des effets coopératifs peuvent conduire à des températures bien plus élevées que celles communément admises dans la littérature [1].

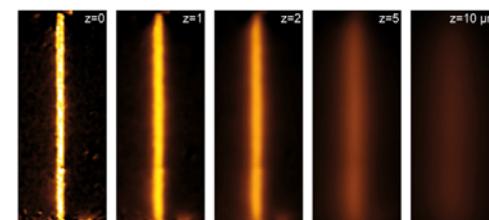
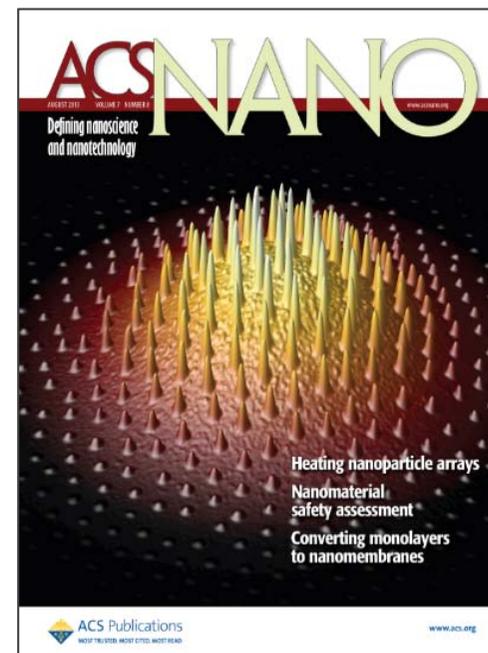
En parallèle à ces recherches sur la génération de chaleur par des nanoparticules plasmoniques, le group Mosaic a également montré que la technique d'imagerie thermique TIQSI était capable de cartographier un champ de température à l'échelle sub-micrométrique *en trois dimensions*. Ceci a été mis en évidence autour d'un micro-fil d'or chauffé résistivement [2].

Ces recherches s'inscrivent dans une thématique en plein essor aujourd'hui, la *thermo-plasmonique*. Sous illumination à leur résonance plasmonique, des nanoparticules d'or peuvent absorber efficacement la lumière incidente et se comporter comme des nanosources de chaleur idéales. Les applications d'une telle approche sont nombreuses : la thérapie photothermale du cancer, l'imagerie photo-acoustique et photothermale, l'étude de phénomènes thermo-induits aux petites échelles en chimie ou en mécanique des fluides, etc.

Références bibliographiques :

- [1] G. Baffou et al. *ACS Nano* **7**, 6478 (2013)
- [2] P. Bon et al. *Appl. Phys. Lett.* **102**, 244103 (2013)

Contact chercheurs : Guillaume BAFFOU, guillaume.baffou@fresnel.fr,
Serge MONNERET, serge.monneret@fresnel.fr



Figures : (haut) Image de synthèse représentant le profil de température créé autour d'un réseau de nano-particules d'or sous illumination [1]. (bas) Profil de température tridimensionnel autour d'un microfil d'or [2].

Imager l'ordre orientationnel des lipides sans marquage par microscopie de non-linéaire polarisée

L'équipe Mosaic de l'Institut Fresnel a montré que la microscopie non-linéaire polarisée est capable d'imager l'orientation de molécules lipidiques sans marquage fluorescent, grâce à un mélange à quatre onde utilisant des lasers impulsions dans le proche infra-rouge.

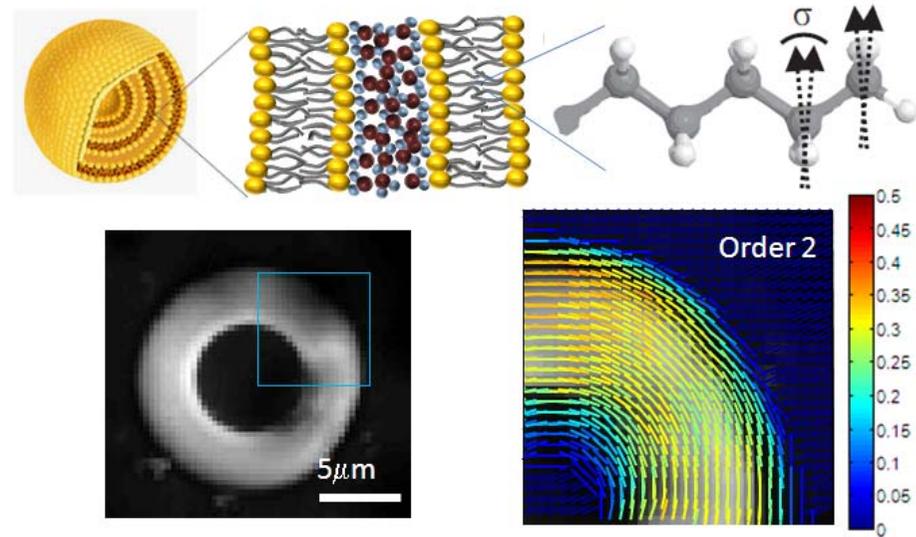
En régime résonnant avec un mode de vibration moléculaire des lipides (Coherent Anti Stokes Raman Scattering, CARS), les lipides d'un système modèle multi-couches (figure) sont visualisés avec une résolution latérale de l'ordre de 300nm.

En résolvant en polarisation ces signaux par un contrôle des polarisations incidentes linéaires, il a été possible de remonter à une information d'orientation moyenne de ces résonances lipidiques, et à leur désordre orientationnel.

Grâce à ce contraste complémentaire d'une imagerie traditionnelle, il est donc possible d'apporter une information par pixel de la manière dont les molécules sont organisées. Cette information, obtenue à l'échelle moléculaire, permet d'identifier par exemple la force et la nature des interactions inter-moléculaires dans des systèmes complexes avec une spécificité chimique unique. Ces études sont aujourd'hui étendues à une imagerie structurale sans marquage dans les tissus biologiques.

Référence bibliographique : F.-Z. Bioud, P. Gasecka, P. Ferrand, H. Rigneault, J. Duboisset, and S. Brasselet, Structure of molecular packing probed by polarization-resolved nonlinear four-wave mixing and coherent anti-Stokes Raman scattering microscopy, *Phys Rev A* **89**, 013836 (2014)

Contacts chercheurs : Sophie BRASSELET sophie.brasselet@fresnel.fr – Julien DUBOISSET julien.duboisset@fresnel.fr - Patrick FERRAND patrick.ferrand@fresnel.fr



Figures : Représentation schématique d'une multicouche lipidique, utilisée comme modèle d'assemblage moléculaire pour la compréhension de l'architecture de la membrane cellulaire. Chaque lipide est constitué de vibrations moléculaires qui peuvent être imagées par microscopie vibrationnelle. L'image de gauche représente une image d'une multicouche lipidique par mélange à quatre onde CARS en résonance avec le mode vibrationnel CH₂ des lipides. L'image de droite est issue de son analyse en polarisation et révèle à la fois l'ordre moléculaire (ici ordre 2 de symétrie de la distribution orientationnelle en code couleur) et son orientation moyenne.

Observer une molécule unique parmi un million d'autres avec une antenne optique

Les molécules passent à l'antenne

Détecter une biomolécule individuelle parmi des millions d'autres molécules voisines s'est révélé techniquement impossible jusqu'à présent. Les scientifiques de l'Institut Fresnel et de l'ICFO (Institut des Sciences Photoniques) ont mis au point le plus petit dispositif optique capable de détecter des biomolécules individuelles à des concentrations semblables à celles trouvées dans le contexte de cellules vivantes.

Le dispositif appelé "Antenna in Box" est composé d'une antenne constituée de deux hémisphères en or de dimensions nanométriques, séparés l'un de l'autre par un espace de 12 nm. La lumière envoyée sur cette antenne est considérablement amplifiée dans la région entre les hémisphères où la détection de la biomolécule d'intérêt est effectuée. La seconde idée utilisée par les chercheurs pour faire fonctionner ce dispositif a été d'intégrer les antennes à l'intérieur de boîtes, elles aussi de dimensions nanométriques. Ce nouveau dispositif a permis l'amélioration de la luminosité de fluorescence 1 100 fois avec des volumes de détection jusqu'à 58 zeptolitres (1 zL = 10⁻²¹L), soit le plus petit volume d'observation dans le monde.

Référence bibliographique :

D. Punj, M. Mivelle, S. B. Moparthi, T. van Zanten, H. Rigneault, N. F. van Hulst, M. F. Garcia-Parajo, J. Wenger, *A plasmonic 'antenna-in-box' platform for enhanced single-molecule analysis at micromolar concentrations*, Nature Nanotech. **8**, 512-516 (2013).

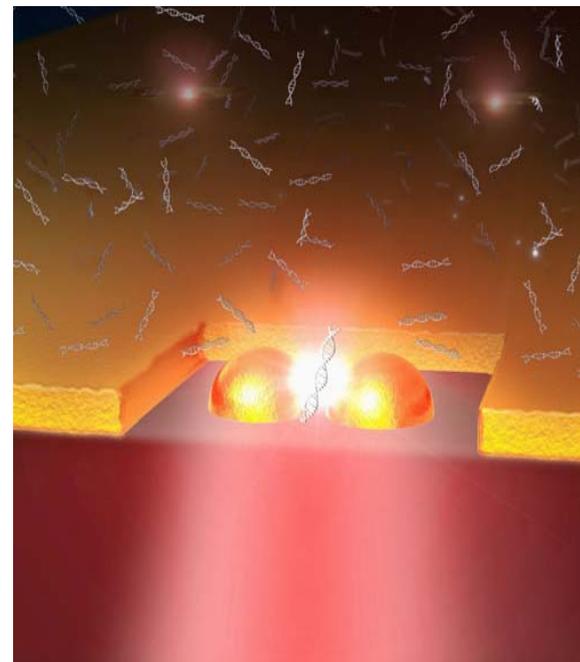


Figure : antenne optique dans une nano-boîte pour l'analyse de biomolécules individuelles dans des solutions de fortes concentrations.

Contacts chercheurs : Jérôme WENGER jerome.wenger@fresnel.fr – Hervé RIGNEAULT herve.rigneault@fresnel.fr

Le plus petit des endoscopes

Contrôler un faisceau laser en bout de fibre optique pour imager les tissus.

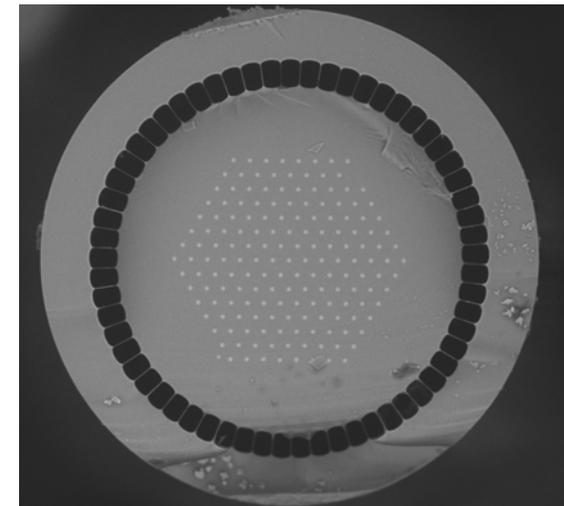
Disposer d'un endoscope présentant un diamètre minimal est très important pour les applications demandant une invasion minimale des tissus explorés. C'est le cas par exemple en neurobiologie où toute dégradation peut entraîner des altérations irréversibles.

Les chercheurs de l'Institut Fresnel, en collaboration avec des chercheurs de l'IRCICA (USR CNRS) spécialisés dans la conception et la réalisation de fibres optiques innovantes, ont mis au point un endoscope présentant un diamètre de seulement 360 micromètres (épaisseur de 3 cheveux!). En utilisant des techniques de façonnage de front d'onde optique, ils ont pu contrôler la phase dans chacune des 169 fibres monomodes constituant le bundle de fibres. Il a été alors possible de focaliser un faisceau laser en bout de bundle et le faire balayer l'échantillon pour en former une image. Une cadence de 10 images/seconde a ainsi pu être démontrée. Le bundle présente également une couronne de trous d'air qui permet à la fluorescence générée d'être rétro-collectée par la structure fibrée. Il a été ainsi possible de réaliser des images en fluorescence à 2-photon d'un échantillon test en envoyant des impulsions infra-rouges des quelques centaines de femtosecondes dans les fibres du bundle.

Références bibliographique :

E. R. Andresen, G. Bouwmans, S. Monneret, and H. Rigneault, 'Toward endoscopes with no distal optics: video-rate scanning microscopy through a fiber bundle', *Optics Letters* **38**, 609-611 (2013)

E. Andresen, G. Bouwmans, S. Monneret, H. Rigneault, "Two-photon lensless endoscope", *Opt. Expr.* **21**, 20713-20721 (2013)



ircica
Institut Fresnel CNRS

Figure : Bundle de fibre optique permettant de contrôler le front d'onde en bout de bundle pour réaliser une imagerie endoscopique sans aucune lentille. Le bundle ne fait que 360 microns de diamètre.

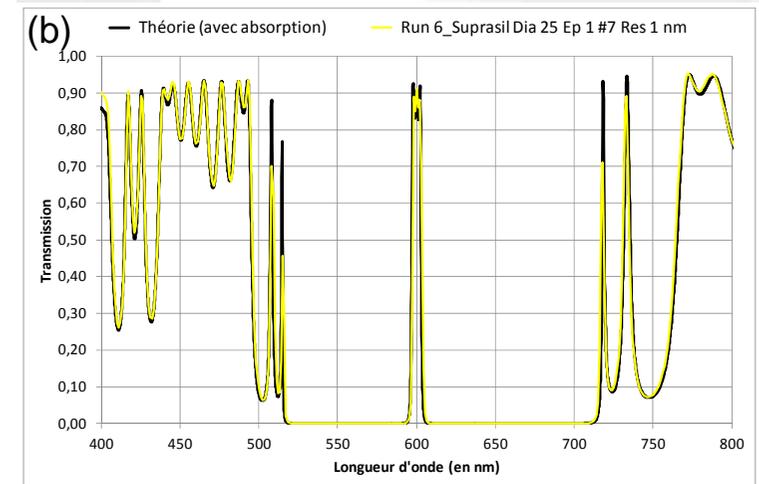
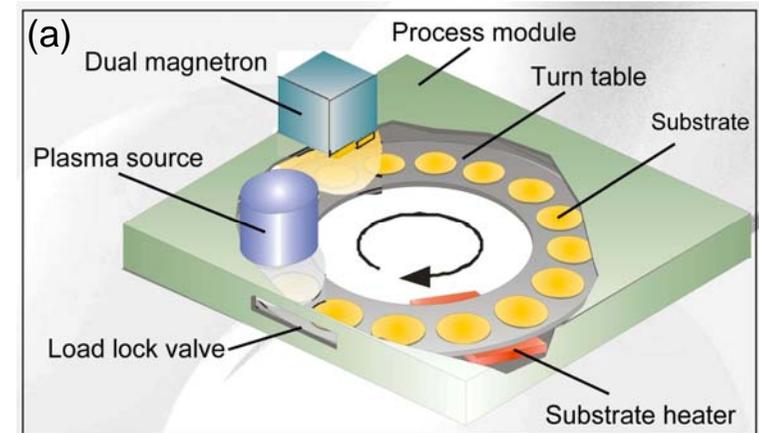
Contacts chercheurs : Hervé RIGNEAULT herve.rigneault@fresnel.fr, Serge MONNERET serge.monnet@fresnel.fr

Filtres optiques interférentiels multicouches complexes

L'équipe de Recherche en Couches Minces Optiques de l'Institut Fresnel a fait l'acquisition d'une nouvelle machine de dépôt de couches minces optiques de type Leybold Helios 4" permettant la fabrication de filtres optiques interférentiels multicouches complexes. Le processus de dépôt repose sur la technologie de dépôt PARMS (Plasma Assisted Reactive Magnetron Sputtering), qui permet d'obtenir de couches denses, avec une très faible absorption, une très grande répétabilité sur l'indice ainsi qu'une excellente uniformité. Cette machine est également équipée d'un contrôle optique, ce qui la rend compatible avec le dépôt de fonctions de filtrages nécessitant le dépôt d'empilements à très grand nombre de couches et dont l'épaisseur totale excède les 30 microns. Au cours de l'année de 2013, les processus de dépôts ont été développés, ce qui a permis la réalisation de nombreuses fonctions de filtrage optiques avancées tels qu'un filtre Fabry-Perot à 3 cavités dans le visible, un filtre Fabry-Perot à 5 cavités avec blocage à 780 nm (93 couches), un filtre passe-bande H (148 couches sur 2 faces) ou un filtre passe-bande K ($e = 33,6 \mu\text{m}$ sur 2 faces).

Référence bibliographique :

T. C. Begou, C. Hecquet, F. Lemarchand, and M. Lequime, "All dielectric broadband mirror for Fabry-Perot interferometer," in Optical Interference Coatings Postdeadline, M. Tilsch and D. Ristau, eds., OSA Technical Digest (online) (Optical Society of America, 2013), paper PTE.6.



Figures : (a) Schéma de principe de la technologie PARMS – (b) exemple de la réponse spectrale théorique en transmission (noir) et de la réponse spectrale expérimentale (jaune) d'un filtre Fabry-Perot 3 cavités à 600 nm fabriqué à l'aide de la machine Helios.

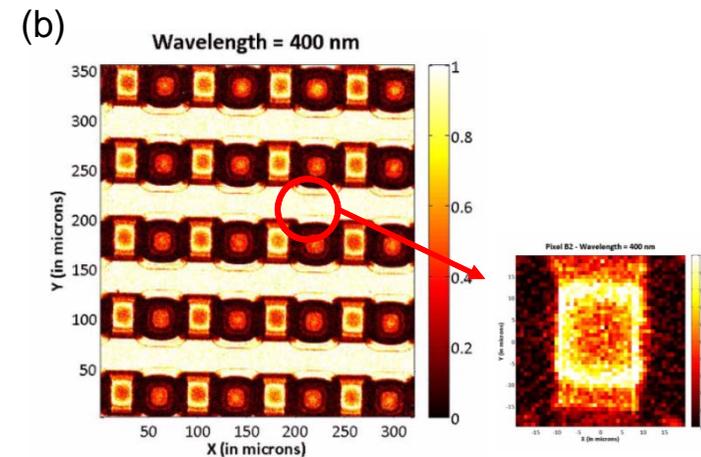
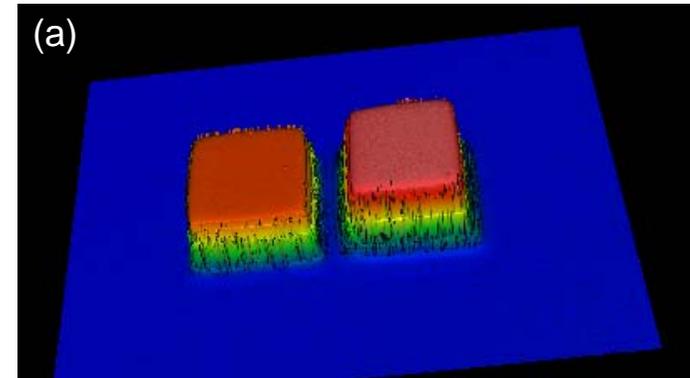
Contacts chercheurs : Thomas BEGOU thomas.begou@fresnel.fr – Christophe HECQUET christophe.hecquet@fresnel.fr
Julien LUMEAU julien.lumeau@fresnel.fr – Michel LEQUIME michel.lequime@fresnel.fr

Filtres optiques interférentiels multicouches pixélisés

L'imagerie multi-spectrale est un procédé permettant d'obtenir, à partir d'une image unique, un grand nombre d'images chacune associée à une bande spectrale. Pour ce faire, il est nécessaire de pouvoir réaliser un filtre ayant une répartition spatialement structurée d'un ensemble de fonctions de filtrage optique à bande étroite. Cette structuration spatiale doit être massivement parallèle (100 000 à 200 000 MacroPixels), à haute densité (entre $7 \times 7 \mu\text{m}^2$ et $50 \times 50 \text{mm}^2$) et à grand rapport de forme (épaisseur typique des filtres de 10 à 15 μm). L'équipe RCMO de l'Institut FRESNEL a développé l'ensemble des techniques permettant la fabrication des premiers filtres pixélisés. Le processus requiert l'emploi d'un procédé de Lift-off à 2 résines et le dépôt par procédé IAD (ion Assisted Deposition) de fonctions de filtres optiques complexes. Un banc de caractérisation (banc SPHERE) a également été développé afin de caractériser les performances spectrales de chacun des pixels fabriqués. Ce banc permet de mesurer le spectre local en transmission dans le visible et le proche infrarouge de chacun des pixels avec une haute résolution spatiale (2 μm) et spectrale (0,5 nm). De premiers prototypes ont été fabriqués et caractérisés.

Référence bibliographique : S. Sorce, L. Abel-Tiberini, M. Lequime, "Spectrophotometric bench dedicated to the characterization of micro-patterned optical coatings," in Optical Fabrication, Testing, and Metrology IV, A. Duparré, R. Geyl, eds., Proc. SPIE **8169**, 81690N (2011)

Contacts chercheurs : Laetitia ABEL-TIBERINI laetitia.abel@fresnel.fr
Julien LUMEAU julien.lumeau@fresnel.fr
Michel LEQUIME michel.lequime@fresnel.fr



Figures : (a) Image par profilomètre optique de deux pixels adjacents présentant une fonction optique différente – (b) exemple de la réponse spectrale mesurée à l'aide du banc SPHERE sur un filtre présentant deux fonctions de filtrage optique pixélisées.

Exaltations optiques géantes

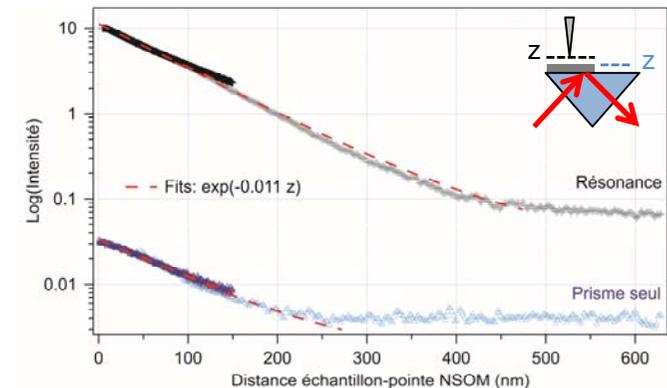
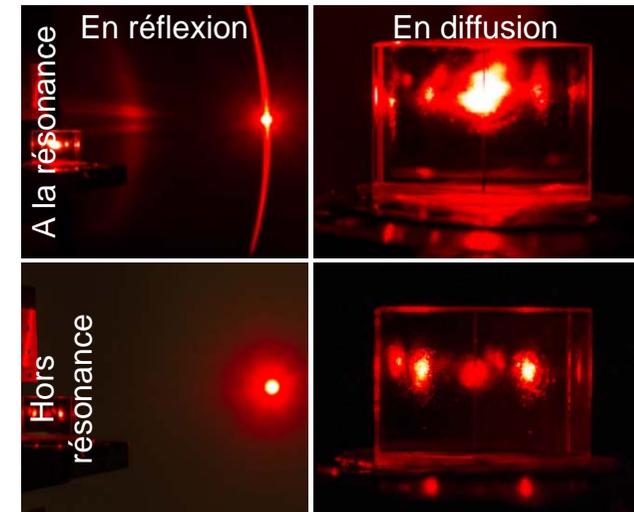
La solution multi-diélectrique

Deux articles, parus dans les revues Applied Physics Letters du 25 Septembre 2013 et Applied Optics du 28 Janvier 2014 sur des travaux menés par l'équipe CONCEPT de l'Institut Fresnel, montrent l'importance des empilements multi-diélectriques comme support à l'exaltation optique géante. Cette dernière reste au cœur de nombreux sujets de recherche comme les couches minces, les cristaux photoniques ou encore la plasmonique. En effet, des nombreuses retombées sont attendues notamment dans le développement de capteurs chimiques ou biologiques ultra-sensibles ou encore de sources lumineuses intégrées ultra-performantes.

L'un des intérêts majeurs des empilements multi-diélectriques réside dans la possibilité de les concevoir pour un point de fonctionnement arbitraire: choix de la longueur d'onde, de l'incidence, de la polarisation, et/ou de l'amplitude de l'exaltation. Les études théoriques et expérimentales, menées en collaboration avec l'équipe RCMO de l'Institut, ont déjà démontré le potentiel indiscutable de tels empilements vers l'obtention d'exaltations du champ optique géantes (3 décades). En effet, l'exaltation est en première approximation inversement proportionnelle à l'indice imaginaire dans les matériaux diélectriques, qui peut facilement atteindre 10^{-5} avec les matériaux et technologies usuels. Des exaltations optiques, que l'on qualifie alors de géantes ($\geq 10^5$) peuvent ainsi être obtenues. Les performances sont alors imposées par les bandes passantes du système optique (largeur spectrale de raie, divergence), et par la précision dans la réalisation des composants (épaisseurs, indices).

- Références bibliographiques :**
- 1- C. Ndiaye, M. Zerrad, A. L. Lereu, et al, "Giant optical field enhancement in multi-dielectric stacks by photon scanning tunneling microscopy", Appl. Phys. Lett. 103, 131102 (2013).
 - 2- A. L. Lereu, M. Zerrad, C. Ndiaye, et al, "Scattering losses in multi-dielectric structures designed for giant optical field enhancement", Appl. Opt. 53, A412 (2014).

Contacts chercheurs : Aude L. LEREU aude.lereu@fresnel.fr - Myriam ZERRAD myriam.zerrad@fresnel.fr - Claude AMRA claud.amra@fresnel.fr



Figures : (Haut) Photos de la réponse optique d'un composant optimisé pour une exaltation TE à 45° et 633nm, à la résonance (ligne 1- avec cône brillant) et hors résonance (ligne 2). (Bas) Mesure en champ proche de l'exaltation, d'une amplitude de 300 en accord avec les bandes passantes d'éclairement (1pm, 3mrd).

Projet soutenu par la Région PACA (projet EXOG 2013-2014) et par l'ANR (projet SEEC 2008-2012 en partenariat avec l'équipe DIMABIO)

Vers un Fabry-Perot « blanc » ?

*Apport des matériaux à indice négatif
à la réalisation de composants planaires multicouches*

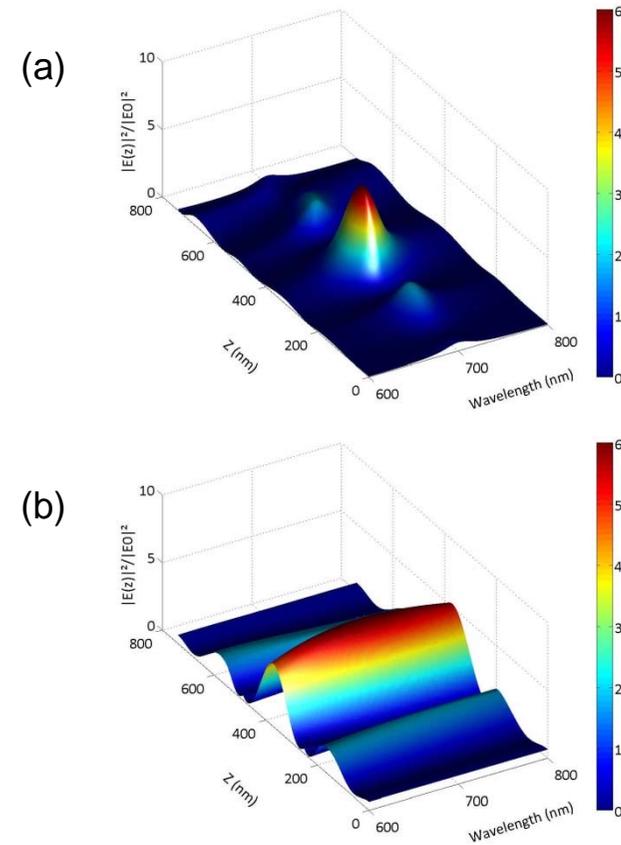
La prise en compte, depuis une quinzaine d'années, des matériaux à indice négatif dans la conception de composants optiques a rendu possible l'émergence de concepts entièrement nouveaux, comme la *lentille parfaite* ou les *capas d'invisibilité*.

Des travaux théoriques réalisés en 2013 dans l'équipe CONCEPT de l'Institut Fresnel ont permis d'adapter le formalisme des admittances complexes à ces nouveaux matériaux et de prédire les propriétés optiques de structures planaires complexes dans lesquelles une ou plusieurs des couches constitutives seraient réalisées à l'aide de matériaux à indice négatif.

Ces travaux ont notamment montré que l'emploi de tels matériaux permettait de piloter la dépendance spectrale du déphasage à la réflexion de structures multicouches interférentielles et rendait ainsi possible le design de **cavités planaires présentant un comportement résonant sur un très large domaine de longueurs d'onde**, des Fabry-Perot « blancs » en quelque sorte.

Références bibliographiques :

- M. Lequime, B. Gralak, S. Guenneau, M. Zerrad, and C. Amra, "Negative indices and the admittance formalism in multilayer optics," in Optical Interference Coatings Conference (Optical Society of America, 2013), paper TB9
- M. Lequime, B. Gralak, S. Guenneau, M. Zerrad, and C. Amra, "Negative Index Materials: A key toward white multilayer Fabry-Perot," accepted for publication in Optics Letters (2014)

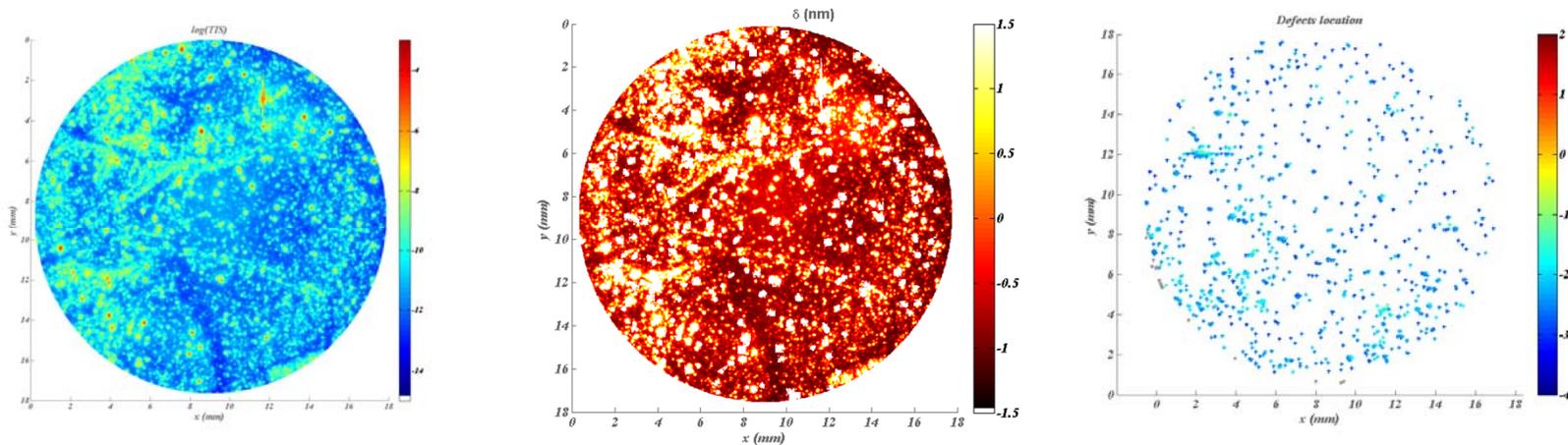


Figures : Dépendance spectrale du module au carré du champ électrique dans l'épaisseur d'une cavité planaire multicouche de type HBH 2B HBH
(a) Fabry-Perot standard – (b) Fabry-Perot « blanc » dont les miroirs sont réalisés à l'aide de matériaux à indice négatif

Reconstruction en champ lointain de la topographie de surface

Les techniques de diffusion lumineuse en champ lointain sont utilisées depuis des décennies pour caractériser les états de surface. Toutefois, ces techniques ont toujours été limitées à une description "globale" de la topographie de surface, réduite à l'extraction, dans la fenêtre fréquentielle optique, d'un écart quadratique ou de spectres de rugosités moyens (analyse spectrale des moments d'ordre 2). Un autre verrou concerne par ailleurs la contribution des défauts isolés (piqûres, rayures, contaminants) dans la valeur obtenue pour la rugosité intrinsèque de l'échantillon, information clé dès que l'on s'intéresse aux phénomènes d'endommagement laser, aux procédés de polissage ou aux très faibles pertes ($< 10^{-5}$).

Dans ce contexte, l'équipe CONCEPT a développé un nouvel instrument et de nouvelles procédures pour lever ces 2 verrous. Il est désormais possible d'extraire la topographie (le profil) des états de surface par une mesure directe en champ lointain, tout en extrayant de cette topographie la contribution des défauts isolés. Il s'agit là d'une étape majeure pour les techniques de diffusion lumineuse. De grands groupes ont déjà manifesté leur intérêt pour acquérir cet instrument.



Figures : Visualisation du phénomène de repolarisation par ddans le cas d'un milieu fortement diffusant éclairé par une lumière diffusion

Référence bibliographique : M. Zerrad, M. Lequime, and C. Amra, "Spatially resolved surface topography retrieved from far-field intensity scattering measurements," *Appl. Opt.* **53**, A297-A304 (2014)

Contacts chercheurs : myriam.zerrad@fresnel.fr
michel.lequime@fresnel.fr

Partenariat et soutien :
Région PACA, CNRS MI, DGA, CNES

Son et lumière dans une plaque de graphène

Une nouvelle technique de génération de plasmons de surface

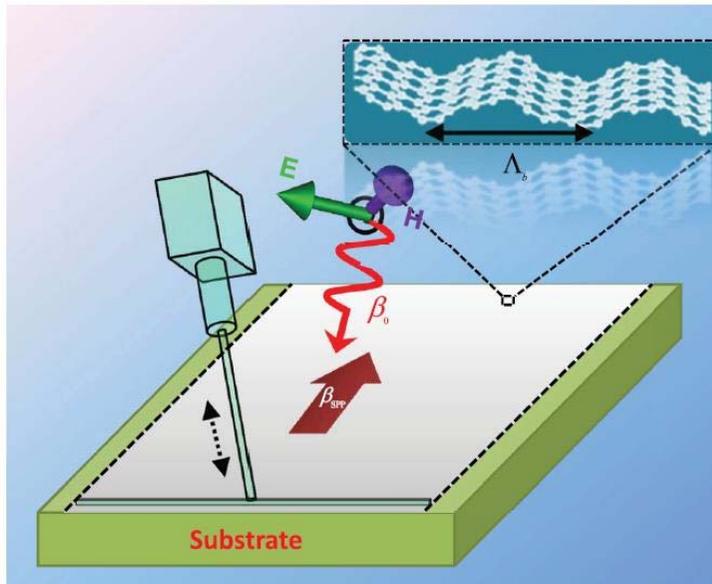


Figure : La lumière incidente sur une plaque de graphène qui vibre sur un substrat est couplée jusqu'à 50% aux plasmons de surface.

Laboratoires Partenaires : CEML (KAUST)

Référence bibliographique : Farhat et al., Exciting Graphene Surface Plasmon Polaritons through Light and Sound Interplay Physical Review Letters. 111, 237404 (2013)

Contexte et défis scientifiques

M. Farhat et H. Bagci (Université KAUST, Arabie Saoudite) proposent aujourd'hui en collaboration avec S. Guenneau, un nouveau mécanisme pour la génération des plasmons de surface sur des plaques mono-atomiques de graphène en les faisant vibrer. Ces vibrations font onduler le graphène comme indiqué dans la figure de gauche, et les fréquences de vibration très différentes entre une lumière incidente (THz) et les ondes de flexion dans la plaque (MHz) font que cette dernière apparaît comme figée, et avec une certaine corrugation, à la lumière incidente, laquelle se couple in fine aux plasmons de surface.

Résultats obtenus

Les simulations numériques de M. Farhat avec le modèle des plaques minces de Kirchhoff, qui ont démontré récemment leur pouvoir prédictif pour la focalisation et l'invisibilité des ondes de flexion, permettent d'envisager des applications dans la détection de molécules uniques ou dans une nouvelle ère de la plasmonique, les méta-surfaces vibrantes.

Lien: <http://prl.aps.org/abstract/PRL/v111/i23/e237404>

Contacts chercheurs :

mohamed.farhat@kaust.edu.sa
hakan.bagci@kaust.edu.sa
sebastien.gueneau@fresnel.fr

Tapis d'invisibilité pour les télécommunications

Contexte et défis scientifiques

Les techniques de transformation d'espace introduites en optique en 2006 ont été étendues à d'autres ondes en mécanique, hydrodynamique, diffusion de la chaleur et des espèces chimiques. Les verrous technologiques vont de la nanotechnologie (structuration des diélectriques et métaux pour la plasmonique sur quelques centaines de nanomètres) au génie civil (structuration de sols à l'échelle métrique).

Résultats obtenus

En couplant les techniques d'homogénéisation de cristaux photoniques et de transformation d'espace, un tapis d'invisibilité a été conçu à l'Institut Fresnel, puis réalisé à l'IEMN de Lille et caractérisé à l'ICB de Dijon. Ce tapis fonctionne autour de la longueur d'onde 1.5 micromètre dans la bande interdite d'un cristal photonique (PC) avec une bosse: à cette longueur d'onde des télécommunications, le PC apparaît sans bosse.

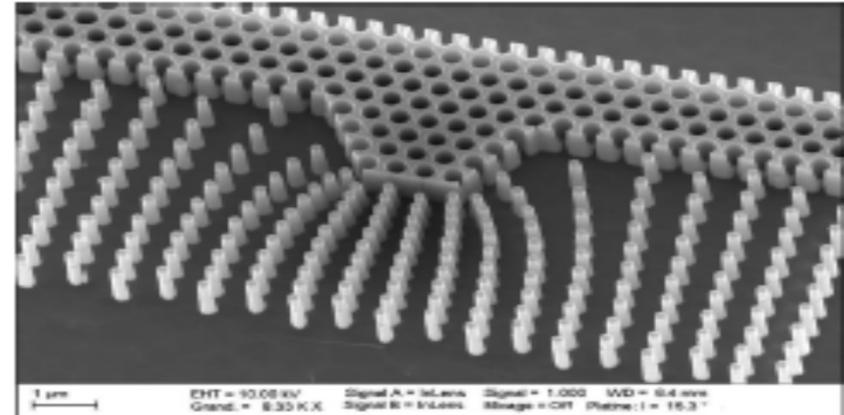
Impact scientifique et applicatif

Protection électromagnétique

Secteurs : télécommunications optiques, environnement, santé.

Laboratoires Partenaires :

IEMN (Lille), ICB (Dijon)



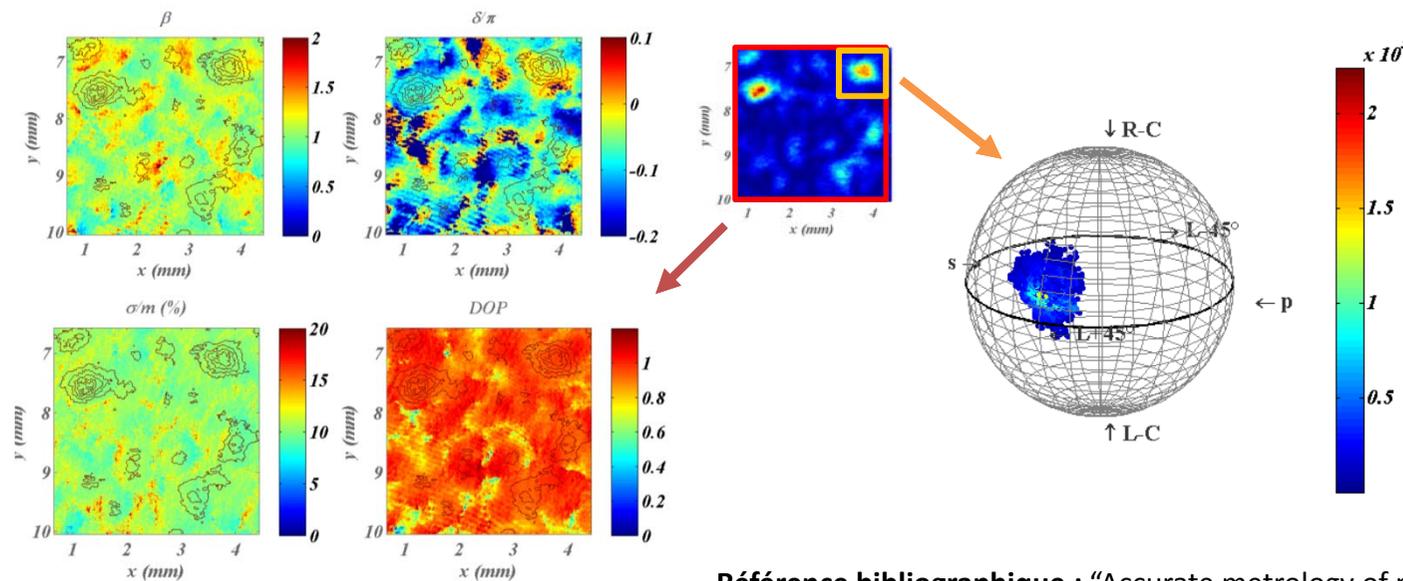
Cristal photonique à bosse habillé d'un tapis d'invisibilité
© IEMN/ICB/Institut Fresnel/INSIS/CNRS

Référence bibliographique : Scherrer et al., Photonic crystal carpet: Manipulating wave fronts in the near field at 1.55 μ m, Physical Review B 88, 115110, 2013

Contacts chercheurs : Boris GRALAK boris.gralak@fresnel.fr –
Sébastien GUENNEAU sebastien.guenneau@fresnel.fr
Equipe CONCEPT

Métrologie de la polarisation de speckle en milieu désordonné

Mesurer la polarisation d'un grain de speckle émis par un milieu désordonné soulève nombre de difficultés : faibles signaux, dérive temporelle, mécanique ou thermique... Par ailleurs, une grande rigueur est requise dans l'acquisition des données, de façon à garantir l'origine des phénomènes observés (repolarisation temporelle, dépolarisation spatiale, spectralité des phénomènes...). Dans ce contexte, l'équipe CONCEPT de l'Institut a mis en œuvre une métrologie originale et dédiée, réalisant sur chaque pixel d'une caméra CCD une analyse polarimétrique complète, haute précision. Les résultats sont présentés ci-dessous pour une surface fortement diffusante, sous forme de cartographies de DOP et paramètres polarimétriques locaux, avec histogrammes associés.



Figures : texte

Référence bibliographique : "Accurate metrology of polarization curves measured at the speckle size of visible light scattering: surface signatures", A. Ghabbach, M. Zerrad, G. Soriano, and C. Amra , under review

Contacts chercheurs : myriam.zerrad@fresnel.fr - claud.amra@fresnel.fr
Thèse A. Ghabbach : ayman.ghabbach@fresnel.fr

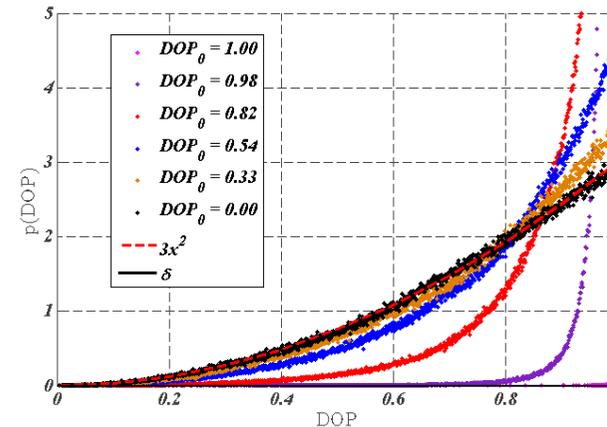
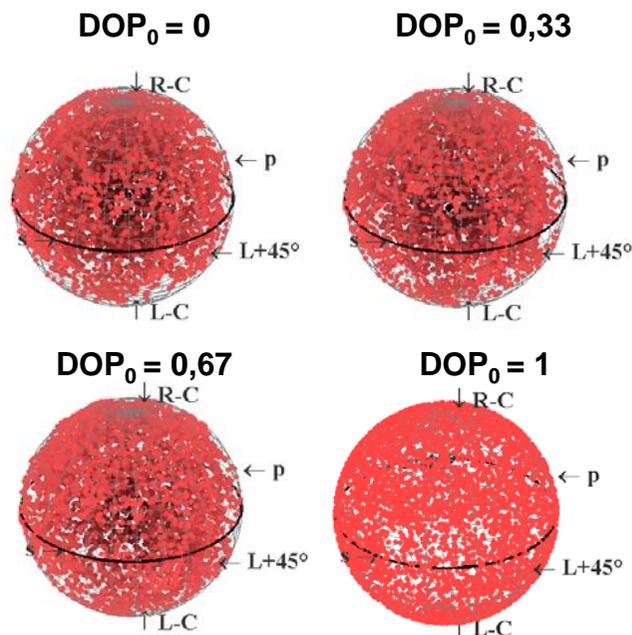
Projet ANR TraMEL

Partenaires impliqués:

Equipes CONCEPT / HIPE / RCMO
SEMOX/ONERA DOTA

La «repolarisation temporelle» : un phénomène inattendu, incontournable en milieu désordonné

Les milieux très désordonnés sont connus pour dépolariser la lumière, un phénomène de nature spatiale (globale) ou temporelle (locale). On peut donc s'attendre en retour à ce qu'une lumière dépolarisée reste dépolarisée après traversée de milieux désordonnés. Les récents travaux de l'équipe CONCEPT de l'Institut montrent que cette intuition est erronée, et que la traversée de milieux diffusants s'accompagne d'une forte repolarisation de la lumière incidente, jusqu'à des taux de 75% dans certains cas usuels. Ce phénomène est intrinsèquement lié à la présence de coefficients croisés de diffusion traduisant les effets de diffusions multiples



Figures : Visualisation du phénomène de repolarisation par diffusion dans le cas d'un milieu fortement diffusant éclairé par une lumière partiellement polarisée, et histogramme de la répartition associée des degrés de polarisation.

Contacts chercheurs : myriam.zerrad@fresnel.fr - claud.amra@fresnel.fr
- gabriel.soriano@fresnel.fr

Référence bibliographique : M. Zerrad, G. Soriano, A. Ghabbach, and C. Amra, "Light enpolarization by disordered media under partial polarized illumination: The role of cross-scattering coefficients," Opt. Express **21**, 2787-2794 (2013)

Projet ANR TraMEL
Partenaires impliqués :
Equipes CONCEPT / HIPE / RCMO /
SEMOX/ONERA DOTA

DEPOT DE BREVETS

- ❖ Dispositif et méthode de détection Raman stimulée. Berto P, Andresen E, Rigneault H (26 Mars 2013) Brevet SATT Sud-Est – Numéro de dépôt 1300694 – Dépôt le 26 Mars 2013
- ❖ Dispositif et méthode de mise au point tridimensionnelle pour microscope. Bon P., Wenger J., Monneret S.(13/11/2013) FR1361065

PARUTION D'OUVRAGES SCIENTIFIQUES

- ❖ **Nanobeam X-ray Scattering**, J. Stangl, C. Mocuta, V. Chamard and D. Carbone, Wiley (Weinheim, Allemagne), 2013.
- ❖ **De l'Optique Électromagnétique à l'Interférométrie. Concepts et Illustrations.** Michel Lequime et Claude Amra, [EDP Sciences](#), Collection QuinteSciences, , ISBN 2759810224 (20/09/2013)
- ❖ **Acoustic metamaterials: Negative refraction, imaging, lensing and cloaking.** Richard Craster et Sébastien Guenneau, [Springer Verlag](#), Collection Materials Sciences, ISBN 978-9400748125(05/12/2012)

ORGANISATION D'ÉVÉNEMENTS SCIENTIFIQUES

18 séminaires

A. Cappy, J.J Saenz, E. Brainis ...

11 cafés scientifiques

2 workshops

15 et 16 octobre 2013 – **Workshop Microscopie et Imagerie du Vivant** à l'IF

19 novembre 2013 - **Workshop EPOS 2** à l'IF

1 école d'été thématique

SSOP3 du 29 juillet au 3 août 2013, Cargèse (Corse)

1 conférence internationale

26 novembre 2013 – **Journée autour de l'Invisibilité et des Métamatériaux** suite à la remise du Docteur Honoris Causa AMU au Prof. Sir **John PENDRY**, site du Pharo

Séminaire interne

20 et 21 juin 2013 - **Journées des Doctorants** de l'IF, Presqu'île du Ponant

Participation à des événements récurrents : **Journée Recherche ECM** (Marseille), **Forum de l'Optique** (Palaiseau)...