

Photoniques

LA LUMIÈRE ET SES APPLICATIONS

OSEZ L'OPTIQUE

Smartphonique
& Photonique

EXPÉRIENCE

Complémentarité
onde-particule

COMPRENDRE

Plasmons polaritons
de surface

ACHERER

Hexapodes
de positionnement

DOSSIER

PHOTONIQUE & MOBILITÉ

- Perception LiDAR 3D pour l'aide à la conduite autonome
- La nanophotonique : des solutions pour des systèmes de visualisation améliorés et compactés
- Les métasurfaces optiques pour les LiDARs à large champ et à haute cadence d'imagerie

Photoniques est éditée par la Société Française de Physique, association loi 1901 reconnue d'utilité publique par décret du 15 janvier 1881 et déclarée en préfecture de Paris.

<https://www.sfpnet.fr/>

Siège social : 33 rue Croulebarbe,
75013 Paris, France
Tél. : +33(0)1 44 08 67 10
CPPAP : 0124 W 93286
ISSN : 1629-4475, e-ISSN : 2269-8418

www.photoniques.com



Le contenu rédactionnel de Photoniques est élaboré sous la direction scientifique de la Société française d'optique
2 avenue Augustin Fresnel
91127 Palaiseau Cedex, France
Florence HADDOUCHE
Secrétaire Générale de la SFO
florence.haddouche@institutoptique.fr

Directeur de publication

Jean-Paul Duraud, secrétaire général de la Société Française de Physique

Rédaction

Rédacteur en chef
Nicolas Bonod
nicolas.bonod@edpsciences.org

Journal Manager
Florence Anglézio
florence.anglezio@edpsciences.org

Secrétariat de rédaction et mise en page
Agence de communication la Chamade
<https://agencelachamade.com/>

Comité de rédaction

Pierre Baudoz (Observatoire de Paris),
Marie-Begoña Lebrun - (Phasics),
Benoît Cluzel - (Université de Bourgogne),
Émilie Colin (Lumibird), Sara Ducci
(Université de Paris), Céline Fiorini-
Debuisschert (CEA), Riad Haidar (Onera),
Patrice Le Boudec (IDIL Fibres Optiques),
Christian Merry (Laser Components),
François Piuizzi (Société Française de
Physique), Marie-Claire Schanne-Klein
(École polytechnique), Christophe
Simon-Boisson (Thales LAS France),
Ivan Testart (Photonics France).

Advertising

Annie Keller
Cell phone: +33 (0)6 74 89 11 47
Phone/Fax: +33 (0)1 69 28 33 69
annie.keller@edpsciences.org

International Advertising

Bernadette Dufour
Cell phone + 33 7 87 57 07 59
bernadette.dufour@edpsciences.org

Photoniques est réalisé par
EDP Sciences,
17 avenue du Hoggar,
P.A. de Courtaboeuf,
91944 Les Ulis Cedex A, France
Tél. : +33 (0)1 69 18 75 75
RCS : EVRY B 308 392 687

Gestion des abonnements

abonnements@edpsciences.org

Impression

Fabrègue imprimeur
B.P. 10
87500 Saint-Yrieix la Perche
Dépôt légal : Août 2022
Route : STAMP (95)



Éditorial



NICOLAS BONOD

Rédacteur en chef

Mobilité et créativité

Durant les Années folles, dans une rue de New York baignée par les phares des véhicules et les enseignes lumineuses, un étudiant, Edwin Land, réfléchit au problème de l'éblouissement provoqué par les véhicules roulant en sens opposé. Cette question l'anime depuis ses 13 ans lorsque, durant un camp d'été, il découvrit l'effet d'un prisme de Nicol sur la réduction des reflets lumineux. E. Land pense que la solution se trouve dans la polarisation de la lumière et imagine un dispositif dédié. Le principe ? Recouvrir les phares et les pare-brises de films polarisants avec une orientation de 45° par rapport à l'horizontale. L'idée est simple mais terriblement efficace puisqu'elle permet de recevoir la lumière émise par son véhicule et qui est rétrodiffusée par l'environnement tout en bloquant celle émise par les véhicules roulant en sens opposé. Restait toutefois à concevoir ces films minces, ce qui ne fût pas une mince affaire, mais fût à l'origine d'un formidable développement technologique basé sur la synthèse de microcristaux d'héraphthite et, surtout, sur leur intégration dans un film plastique avec une orientation contrôlée. La méthode est un succès. Le brevet est déposé en 1929 et Land créa une entreprise pour commercialiser ces films. Son nom provient de la contraction de polarization et ovoid... Vous l'avez reconnue, l'entreprise qui allait révolutionner dans les décennies suivantes la photographie à

développement instantané était née. Un siècle plus tard, l'automobile est plus que jamais source d'innovation pour la photonique. Afficheur tête haute, réalité augmentée, écran holographique, phare adaptatif haute résolution, LIDAR sont parmi les innovations photoniques qui s'imposent dans les tout derniers véhicules. Ces innovations trouvent d'ailleurs des applications dans d'autres formes de mobilité et d'autres domaines applicatifs. C'est la raison pour laquelle le dossier thématique de ce numéro est consacré aux innovations photoniques développées dans le cadre de la mobilité. Les transports et déplacements connaissent des grandes évolutions qui seront sources de créativité et d'innovation pour la photonique. Sur le thème du déplacement, s'il est bien un instrument optique qui a fait preuve de mobilité, c'est le télescope spatial James Webb. Imaginez, 1.5 millions de kilomètres pour rejoindre depuis Kourou son orbite autour du point de Lagrange L2. La révélation les 11 et 12 juillet des premières images prises par ce télescope a été un événement scientifique majeur, offrant un regard nouveau sur l'univers lointain. Nous aurons l'occasion dans les prochains numéros de la revue de revenir sur ce projet colossal qu'est le JWST et plus généralement sur le rôle clé de l'instrumentation optique et des technologies photoniques dans l'observation spatiale. Je vous souhaite une bonne lecture.



Sommaire

www.photoniques.com

N° 115

13 LES PRIX SFO 2022

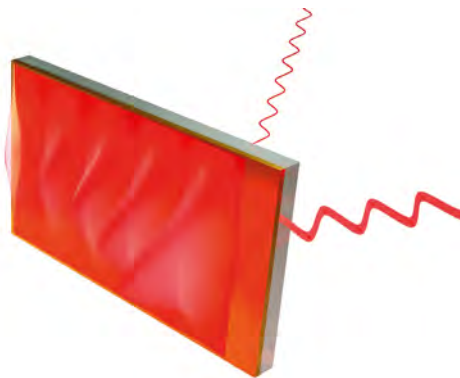


28

Perception LiDAR 3D pour l'aide à la conduite autonome

46

Plasmons polaritons de surface



ACTUALITÉS

- 03 Éditorial et actualité de la SFO
- 06 Informations partenaires
- 13 Les prix SFO 2022
- 15 Mots-croisés sur le thème du LIDAR

ENTRETIEN

- 18 Ariel Levenson, président de la SFO

OSEZ L'OPTIQUE

- 19 La smartphonique au service de la photonique

EXPÉRIENCE MARQUANTE

- 23 Expérience à choix retardé de Wheeler et complémentarité onde-particule

DOSSIER : PHOTONIQUE & MOBILITÉ

- 28 Perception LiDAR 3D pour l'aide à la conduite autonome
- 34 La nanophotonique : des solutions pour des systèmes de visualisation améliorés et compactés
- 41 Les métasurfaces optiques pour les LiDARs à large champ et à haute cadence d'imagerie

COMPRENDRE

- 46 Plasmons polaritons de surface

ACHERER

- 51 Hexapodes de positionnement de précision

PRODUITS

- 57 Nouveautés

Annonces

Aerotech	53
ARDOP	45
Comsol	21
ECOC	49

EDP Sciences	43, II° de cov.
EPIC	IV° de cov.
HTDS	27
Laser Components	33
MKS	31
Optatec	29

Opton Laser	15, 47
Phasics	25
Pro-Lite	39
Spectrogon	37
Spectros	13
SPIE	35

Symétrie	51
Trioptics	55

Crédit photo (couverture): © iStockPhoto

L'édito de la SFO



ARIEL LEVENSON

Président de la SFO

OPTIQUE Nice 2022, SFO la Bella, un succès et bien plus !

630 participants ! Ce sera mon seul indicateur chiffré. Nous aurons l'occasion de présenter un bilan complet. Pour le reste, voici un Edito aussi personnel et subjectif que sincère, en me cantonnant à mon ressenti, ... un plaisir immense.

Quelle effervescence permanente ! Quelle qualité d'échanges scientifiques ! Quelle ambiance amicale !

OPTIQUE Nice 2022 a encore passé un cap, avec une diversité élargie grâce à la présence de nouveaux participants, notamment des professeurs du secondaire, des inspecteurs d'académie, une augmentation du nombre des porteurs de start-up et d'exposants industriels et une place toute particulière donnée et surtout prise par nos jeunes. Sans oublier la venue du Scientibus de nos amis Limougeauds.

Que serait OPTIQUE, que serait la SFO, sans nos Clubs ? et que seraient nos Clubs sans la mobilisation et l'enthousiasme de leurs présidents et de la centaine de membres académiques et industriels de leurs comités scientifiques. Vous êtes le cœur qui bat de notre SFO. Le programme scientifique a été un succès grâce à vous ! Il a illustré d'une manière éloquentes la vitalité et l'excellence de notre communauté académique et industrielle de l'optique et la photonique, tant et si bien qu'à de nombreuses occasions l'on avait, j'ai eu, du mal à choisir entre deux sessions parallèles.

J'ai été ravi du protagonisme accru de nos commissions, Enseignement, Réussir la Parité en Optique et Optique-Physique Sans Frontière, pour la première fois présentes toutes les trois. Je remercie les collègues pour leur temps et leur passion communicative et me réjouis que nombre de ces actions soient réalisées en synergie avec la Société Française de Physique. Nos trois commissions se complètent efficacement pour qu'inclusion, diversité et diffusion des savoirs, soient des actions et des réalités, bien au-delà d'une devise.

OPTIQUE Nice 2022 rentre dans notre histoire également parce que l'Assemblée Générale exceptionnelle

a approuvé nos nouveaux statuts en conformité avec les exigences pour obtenir le label d' Association Reconnue d'Utilité Publique. Grâce à votre soutien une nouvelle étape essentielle a été franchie et les conditions sont désormais réunies pour officialiser la demande.

Je tiens à remercier nos différents soutiens, en commençant par l'Université Côte d'Azur, l'INPHYNI et l'ensemble de laboratoires et de structures azuréens d'optique, ainsi que tous les sponsors académiques et industriels avec une mention spéciale pour la fondation IXCORE.

Un remerciement chaleureux et sincère à notre grand chairman Sébastien Tanzilli et à l'ensemble des membres du comité local, dont la mobilisation, la bienveillance et l'efficacité ont été exemplaires ! Un remerciement bien mérité à notre secrétaire générale, Florence Haddouche, qui s'est démultipliée pour contribuer au succès du congrès.

Il me semble qu'il y a désormais une strophe manquante dans Nissa la Bella. Voici une modeste mais enthousiaste proposition,

Canterei la Ouptica
Li cristaux, lou non-linéaire
Lou vivant e la nanofotonica,
Lou guidé, lou laser
Canterei la imagerie, la tiéu diversita
Doun naisson li fotons,
Lou quantique, li ondes,
E sieu beu ourizon !

Viva Viva SFO la Bella !

Photoniquement vôtre
Ariel Levenson
Directeur de recherche CNRS
Président de la SFO



OPTIQUE Nice 2022 www.sfoptique.org

Les cérémonies des prix en l'honneur du Grand Prix Léon Brillouin, Fabry – de Gramont et le prix emblématique Jean Jerphagnon organisées à Nice en présence d'Hervé LEFEVRE, le représentant d'IXCORE et la famille Jean Jerphagnon.



Bravo Sophie pour ce parcours d'excellence !

Sophie BRASSELET, Grand Prix Léon Brillouin 2022

Le président du jury et président de la SFO, Ariel LEVENSON, a félicité Sophie pour ce parcours d'excellence. Voir l'article page (13)

• **Patrice GENEVET,**
lauréat du Prix Fabry –
de Gramont 2021

• **Rémy BRAIVE,**
lauréat du Prix Fabry –
de Gramont 2022

Le président du jury Arnaud BRIGNON, a félicité Patrice et Rémy pour leurs contributions amplement mérités. Voir l'article détaillé page (14).

Bravo Kate pour ce prix emblématique !

Prix Jean Jerphagnon 2022 :
pour améliorer l'imagerie de l'œil,
Kate GRIEVE prend les bonnes
résolutions !

Le président du jury Alain ASPECT, a félicité la lauréate Kate GRIEVE et nos chers finalistes Fabrice RAINERI, Niccolo SOMASCHI et Jérôme MICHON pour l'excellence de leurs travaux. Voir l'article détaillé page (15)

Deux écoles thématiques de la SFO en 2023 aux Houches

L'école de Physique des Houches accueille en 2023 deux écoles thématiques de la Société Française d'Optique. Ce lieu a contribué significativement au développement et à l'histoire de la physique.

<https://www.sfoptique.org/pages/sfo/ecoles-thematiques/>



L'École de Physique des Houches a été fondée en 1951 par la physicienne Cécile DeWitt-Morette. L'objectif de cette école est de proposer non seulement une formation de qualité sur la physique et l'optique contemporaine mais aussi de créer un cadre idyllique propice à la réflexion. En dehors des cours, les partages informels d'idées durant les repas ou les randonnées en montagne sont à l'origine de nouvelles pistes d'exploration, de collaborations fructueuses et d'importantes avancées scientifiques. On recense officiellement, une cinquantaine de prix Nobel et plusieurs médailles Fields parmi les enseignants et les étudiants qui ont contribué à la réputation internationale de l'École de Physique. Certains jeunes élèves de l'École sont devenus d'illustres scientifiques, comme Pierre Gilles De Gennes, Claude Cohen Tannoudji et Françoise Combe, et ont à leur tour fait bénéficier de leur savoir les étudiants et étudiantes de l'École de Physique

SFO 2023 - Optomécanique & Nanophotonique

École de Physique des Houches, du 17 au 28 Avril 2023

L'interaction photon-phonon est un champ de la physique en pleine expansion depuis près de 25 ans. Initialement ce domaine a émergé pour répondre à des questions fondamentales sur les mesures quantiques et étendre ces principes à des objets macroscopiques. Encore aujourd'hui, ces questionnements sont d'actualité mais sont également à la base de nouvelles études dans de nombreuses équipes en Europe et à l'international. Ainsi ces questionnements nourrissent de nombreuses challenges à la fois fondamentaux et technologiques.

PORTEURS DE PROJET :

Rémy BRAIVE (C2N / Université de Paris),
Daniel LANZILLOTTI-KIMURA (C2N / CNRS).

SFO 2023 - Waves in Complex Media

École de Physique des Houches, du 17 au 29 septembre 2023

Cette école s'inscrit dans le cadre de l'effervescence actuelle liée à la physique des ondes dans les milieux complexes.

Cette thématique couvre non seulement l'optique, les ondes radios, mais également l'acoustique (ondes sonores, ultrasonores, sismiques) et même les ondes de matière. En optique, elle est particulièrement importante pour de nombreuses applications : imagerie biomédicale, photonique, milieux bio-inspirés ou optique atomique pour ne citer que quelques exemples. L'essor récent de ces applications est néanmoins indissociable de très riches développements en physique fondamentale : le transport cohérent et la localisation d'Anderson, les effets coopératifs, la théorie des matrices aléatoires, sont des domaines où les progrès récents ont ouvert de nouveaux champs d'applications inimaginables il y a encore quelques années.

PORTEURS DE PROJET :

Sylvain GIGAN (Laboratoire Kastler-Brossel),
Nicolas CHERRRET (Laboratoire Kastler-Brossel),
Alexandre AUBRY (Institut Langevin Ondes et Images).

SOPHIE BRASSELET, LAURÉATE 2022 DU GRAND PRIX LÉON BRILLOUIN

Par Ariel Levenson, Président de la SFO



Le Grand Prix Léon Brillouin, prix majeur de la Société Française d'Optique récompense un parcours scientifique remarquable. Il est soutenu par la Fondation IXCORE.

Cette année le Grand Prix Léon Brillouin revêt une coloration toute particulière, car nous célébrons le centenaire de l'article, fameux, qui a introduit ce qui est désormais connu sous l'appellation d'effet Brillouin. Cet article qui a eu un impact considérable dans de nombreux domaines scientifiques et technologiques, a été publié par Léon Brillouin deux années seulement après sa thèse. Preuve s'il en fallait qu'« Aux âmes bien nées, la valeur n'attend point le nombre des années ». C'est justement le cas de notre lauréate 2022, Sophie Brasselet, Directrice de recherche CNRS au sein de l'Institut Fresnel, dont elle assure la direction depuis 2020.

Ingénieure diplômée en 1994 de l'Ecole Supérieurs d'Optique, Sophie Brasselet démarre une thèse au CNET Bagnex, sous la direction de Joseph Zyss. Sa thèse, essentiellement théorique, portait sur l'hyperpolarisabilité du second ordre de systèmes moléculaires et a établi un formalisme valable pour la réponse dipolaire et octupolaire.

Après cette thèse, Sophie Brasselet réalise un séjour post-doctoral auprès du Pr. William Moerner, pionnier de la microscopie et de la spectroscopie de molécule unique et co-lauréat du Prix Nobel de chimie en 2014. Cette étape à San Diego puis à Stanford, constituera le démarrage d'une reconversion thématique vers l'instrumentation et plus particulièrement vers la microscopie optique.

Reconversion, mais pas rupture car il est évident qu'en proposant des approches originales de microscopie et d'imagerie non-linéaire résolue en polarisation, elle combine les atouts théoriques acquis lors de son doctorat, avec ceux acquis pendant son post-doctorat pour la microscopie de molécules uniques et finalement avec sa solide formation de SupOpticienne. Depuis son retour en France, les nombreuses démonstrations pionnières réalisées par Sophie Brasselet, illustrent les atouts de l'approche de imagerie non-linéaire quelle a introduite et qui lui vaut aujourd'hui une reconnaissance internationale, non seulement dans la communauté des opticiens et physiciens, mais

également dans celle des biologistes voire du biomédical.

Ces réussites ont d'ores et déjà été reconnues par l'attribution en 2020 de la Médaille d'Argent du CNRS.

La Société Française d'Optique attribue donc sa récompense majeure, le Grand Prix Léon Brillouin, à Sophie Brasselet pour l'ensemble de son remarquable parcours et pour ses contributions pionnières aux techniques de microscopie et d'imagerie non-linéaire résolues en polarisation. Le jury du prix, le président de la SFO, ainsi que l'ensemble des membres du Conseil d'administration s'associent pour féliciter Sophie pour cette récompense ô combien méritée! ●

**Votre partenaire pour
l'optique de précision et
pour vos systèmes optiques.**

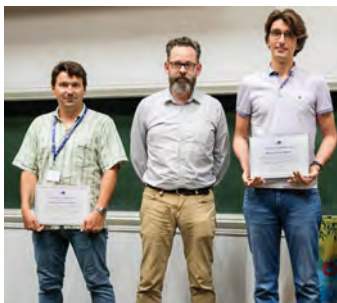
SPECTROS SA 4107 Ettingen Suisse Tel.+41 61 726 20 20

**HAAG-STREIT
SPECTROS**

Look closer. See further.

www.spectros.ch

Lauréats des prix Fabry – de Gramont 2021 et 2022



Le Prix Fabry-de Gramont de la SFO a été instauré à la mémoire du physicien Charles Fabry (1867-1945), premier directeur général de l'Institut d'Optique, célèbre pour ses travaux sur les interférences, et de M. Armand de Gramont (1879-1962), industriel opticien, fondateur de l'Institut d'Optique. Le prix récompense une jeune chercheuse ou un jeune chercheur (moins de 40 ans), reconnus internationalement, dont les travaux de recherche ont été remarquables pour leur qualité, leur originalité et leur impact potentiel.



Patrice GENEVET, lauréat 2021 du Prix Fabry – de Gramont pour ses travaux sur les métasurfaces optiques: de la physique des interactions lumière-matière à l'échelle nanométrique à la conception de systèmes photoniques innovants.

Patrice Genevet a soutenu une thèse

de Physique en 2009 à l'Université de Nice Sophia Antipolis, en France, sur la réalisation de solitons de cavité laser dans les semiconducteurs. Il a ensuite obtenu un postdoctorat de deux ans dans le groupe du Prof. F. Capasso à l'Université d'Harvard aux Etats Unis (2009-2011) en collaboration avec le Prof. Marlan Scully (Texas A&M University) suivi de trois ans d'associé de Recherche à l'Université d'Harvard (2011-2014). Ses travaux postdoctoraux, qui portaient initialement sur les métamatériaux non-linéaires, ont permis de lancer la thématique aujourd'hui intitulée « Métasurfaces ». Ses travaux sur la généralisation des lois de la réflexion et de la réfraction à l'aide de métasurfaces à gradient de phase ont eu une résonance particulière dans le domaine de l'optique. En 2014, il a obtenu un poste de chercheur au SIMTech –Singapore Institute for Manufacturing Technologies. En 2015, il rejoint le CNRS au « Centre de Recherche sur l'hétéro-épitaxie et ses applications » où il démarre une activité de recherche sur les métasurfaces optiques et leurs applications dans le visible. Ses activités de recherche couvrent l'étude fondamentale des processus de diffusion de la lumière à l'échelle nanométrique. Il a notamment étudié les problèmes liés à la dispersion chromatique des métasurfaces et a mis en évidence le rôle joué par les singularités topologiques dans les processus de diffusion. Ses travaux sur les métasurfaces passives et actives pour le contrôle des faisceaux lumineux et leurs intégrations dans des systèmes photoniques ont ouvert de multiples voies de valorisation pour les applications en imagerie, holographie et LiDARs. Patrice Genevet est récipiendaire de l'ERC Starting Grant 2015, du PoC ERC 2019 sur les LiDARs compacts et du prix Aimé-Cotton 2017 de la Société française de physique. Il est l'auteur de 95 articles scientifiques dans des revues à comité de lecture, de 6 brevets internationaux.



Rémy BRAIVE, lauréat 2022 du Prix Fabry – de Gramont pour ses travaux autour de l'optomécanique avec les cristaux photoniques, notamment l'utilisation des modes mécaniques pour la génération de signaux à haute pureté spectrale et la détection de faibles signaux assistée par bruit de phase.

Rémy BRAIVE est maître de conférences depuis 2009 à l'Université Paris-Cité et depuis Septembre 2021 membre junior de l'Institut Universitaire de France (Chaire Fondamentale). Durant son doctorat en « Optique et Nanophotonique » au Laboratoire de Photonique et Nanostructures (LPN), il a étudié les effets d'électrodynamique quantique en cavité, la réponse dynamique et la cohérence de nano-laser faible seuil à boîtes quantiques en utilisant des cavités à cristal photonique suspendue. Il a ensuite rejoint en 2018 le MPQ Garching (Allemagne) puis l'EPFL (Suisse) en tant que post-doctorant où il a commencé à s'impliquer dans les domaines de la nano-optomécanique. Rémy BRAIVE a ainsi démontré le fort couplage phonon-photon au sein de cavité à cristal photonique bidimensionnel. Depuis 2009, il mène ses activités de recherche au Centre de Nanosciences et Nanotechnologies (C2N) du CNRS et de l'Université Paris-Saclay. Tirant parti de son expertise en nanophotonique et en nanofabrication avec les semi-conducteurs III-V, ses thématiques de recherche sont tournées vers des concepts innovants profitant de la forte interaction entre optique et acoustique. Il a ainsi lancé de nouvelles lignes de recherche en nano-optomécanique dans les cristaux photoniques appliquées à l'étude d'effets de dynamique non-linéaire pour la détection de signaux faibles et au développement d'oscillateurs optomécaniques intégrés générant une modulation ultrapure aux fréquences micro-ondes sur une porteuse optique. Il est auteur et co-auteur de plus de 58 articles scientifiques dans des revues internationales à comité de lecture et 2 brevets. Ces résultats ont aussi été valorisés en tant que finaliste du prix Jean Jerphagnon en 2021.

PRIX JEAN JERPHAGNON 2022

pour améliorer l'imagerie de l'œil, Kate GRIEVE prend les bonnes résolutions !



Le Prix Jean Jerphagnon 2022 récompense Kate GRIEVE, Directrice de recherche INSERM au sein de

l'Institut de la Vision. Kate GRIEVE est une spécialiste reconnue internationalement pour ses apports au diagnostique et au suivi par imagerie des pathologies oculaires. Une des approches originales qu'elle a proposée pour améliorer les systèmes actuels est la tomographie par cohérence optique plein champ avec une ergonomie permettant l'utilisation en milieu hospitalier. Cette technique qui permet de résoudre les cellules individuelles au niveau de la cornée et de la rétine constitue le fer de lance de la start-up SharpEye qu'elle a créée et dirige. Son parcours d'une extrême richesse démarre par une thèse dirigée par Claude

BOCCARA et se poursuit par deux séjours postdoctoraux à l'Université de Californie (Berkeley) puis à l'Université d'Oxford. Elle entame alors une expérience de quatre années en tant qu'ingénieure en imagerie dans le privé. Ingénieure puis Directrice de recherche INSERM à l'Hôpital d'ophtalmologie des Quinze-vingts, Kate GRIEVE a créé et dirige la plateforme d'imagerie oculaire de l'Hôpital. Combinant son activité de recherche académique avec le développement d'applications jusqu'à l'industrialisation, Kate GRIEVE est une lauréate emblématique du prix Jean Jerphagnon. Félicitations Kate pour ce prix amplement mérité. Nous garderons nos yeux bien ouverts pour suivre les nouvelles réussites qui ne manqueront pas d'arriver. Félicitations aux finalistes du Prix Jean Jerphagnon 2022 ! ●

Journées LIBS France à Marseille : le bilan

Les journées LIBS France ont eu lieu les 1 et 2 juin à l'Hexagone sur le campus de Luminy de l'université Aix-Marseille, situé dans le parc national des Calanques. Elles ont réuni 75 chercheurs, enseignants-chercheurs et ingénieurs du monde académique et du secteur privé dans le but d'échanger leurs expériences, de présenter des nouveautés et de discuter les derniers résultats de recherche obtenus dans les laboratoires et sur le terrain. Traditionnellement francophones, ces journées ont été enrichies par la participation de multiples collègues étrangers originaires de quatre continents, présentant des résultats obtenus non seulement sur notre planète, mais également sur la planète Mars. Le programme scientifique, composé de 20 présentations orales et 16 présentations poster introduites par des présentations flashes, a concerné des domaines applicatifs très variés tels que le patrimoine, le biomédical, la géologie,

l'exploitation minière, le nucléaire, l'industrie, la surveillance de l'environnement et l'exploration extra-planétaire. Plusieurs présentations dédiées aux études fondamentales ont montré qu'il reste encore beaucoup à faire pour améliorer nos connaissances des plasmas produits par laser afin de mieux exploiter les spectres d'émission atomique et moléculaire et ainsi rendre l'analyse élémentaire des matériaux par la technique LIBS toujours plus performante. La participation de nombreux doctorants et jeunes chercheurs témoigne de la bonne dynamique de ces activités de recherche et des nouveaux développements dans le domaine. Les prochaines journées LIBS seront organisées en 2024 à Pau conjointement au congrès SPECTRATOM. Le programme et les supports des présentations orales et poster peuvent être téléchargés sur <http://libs-france.com/journees-libs-france-2022>. ●

Micropositionnement

par **OPTON LASER**
INTERNATIONAL

Positionnement manuel ou motorisé, de la recherche à l'industrie.



▲ Composants Optomécaniques



▲ Platines de translation et de rotation

▲ Platines pour microscope



▲ Actuateurs piezoélectriques



▲ Microplatines



▲ Tables Optiques

New Scale
Technologies

standa

piezosystemjena
incredibly precise



Votre contact :

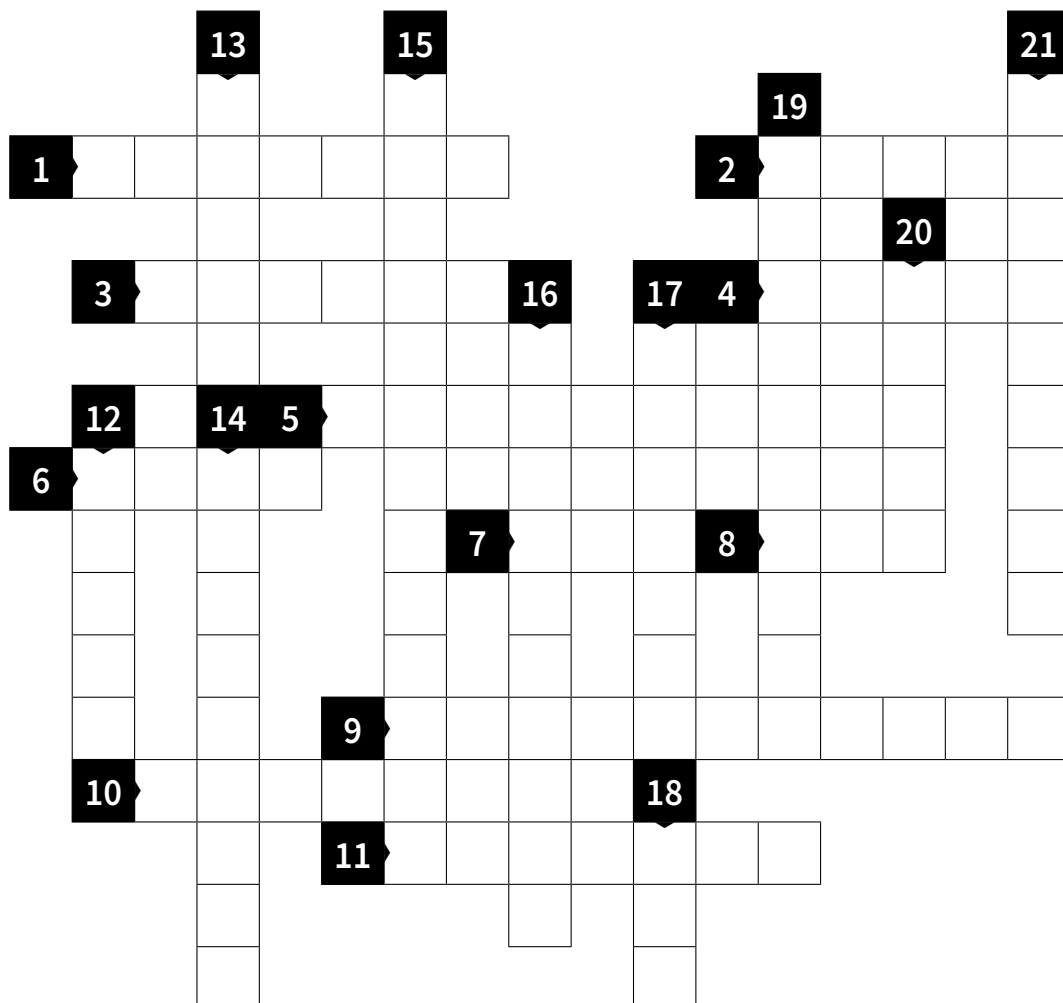
Christelle.Anceau@optonlaser.com



www.optonlaser.com

MOTS CROISÉS SUR LE THÈME DU LIDAR

Par Philippe ADAM



SOLUTION SUR
PHOTONIQUES.COM



- | | |
|---|---|
| 1 Numériseur laser 3D | 12 Pourrait être un LIDAR volant |
| 2 Bien adaptée, passante sans souci | 13 Excite les atomes de sodium de la haute atmosphère |
| 3 Allonge maximum | 14 Télémètre laser pour mesure d'altitude |
| 4 Saleté sur la cible | 15 Quelle que soit la portée, fonction générique d'un LIDAR |
| 5 Multiplication de fréquence | 16 En prendre une bonne, pour un LIDAR ou pour soi |
| 6 LIDAR à Absorption Différentielle | 17 Effet de la vitesse |
| 7 Station de mesure LIDAR | 18 Grenat ... visiblement transparent |
| 8 Avec « safe » c'est plus sûr | 19 Au seuil des profondeurs |
| 9 Perturbe les mesures LIDAR | 20 Puissance ... de coq |
| 10 Utilise les mesures LIDAR pour compréhension des dynamiques atmosphériques | 21 Collecteur de lumière d'un LIDAR |
| 11 Ampli laser très utilisé dans les LIDAR | |

Entretien avec Ariel Levenson

Photoniques s'entretient avec Ariel Levenson, directeur de recherche CNRS menant des recherches au laboratoire C2N et président de la SFO depuis décembre 2021.

VOUS AVEZ DÉMARRÉ VOTRE CARRIÈRE AU CNET ET Y AVEZ DÉCOUVERT UN ENVIRONNEMENT PROPICE À LA RECHERCHE ET À LA VALORISATION

J'ai été recruté au Laboratoire de Bagneux du Centre National d'Étude des Télécommunications, dès la fin de ma thèse en 1988. J'y ai vécu toute la transformation, depuis le questionnaire sur mes habilités en vélo - rappelons que lors de mon recrutement le CNET dépendait du ministère des Postes, Télégraphes et Télécommunications (PTT)-, jusqu'au passage à la société France Télécom puis à Orange. C'était un environnement privilégié, où recherche fondamentale et intérêt applicatif se côtoyaient. On disposait de moyens technologiques de haut niveau pour l'époque, de moyens financiers pour réaliser nos recherches et en plus la course effrénée aux publications n'était pas encore en vogue, un temps que les moins de 40 ans ne peuvent pas connaître.

VOUS AVEZ ALORS DÉCOUVERT L'OPTIQUE QUANTIQUE ET L'OPTIQUE NON-LINÉAIRE

L'optique non-linéaire est devenue une grande passion pour moi et sans aucun doute je le dois à la « culture CNET » et à son histoire qui a commencé juste après les premières publications internationales. Après ma thèse sur les réponses optiques non-linéaires d'origine électronique dans les puits quantiques en semiconducteur, j'ai bifurqué vers les effets quantiques dans les cristaux non-linéaires diélectriques. Époque passionnante, nous avons participé au tout premier projet européen en optique quantique et réalisé les premières démonstrations de mesures quantiques non destructives répétées, d'amplification

optique sans bruit, ... toujours en explorant aspects fondamentaux et appliqués. Ainsi les mesures quantiques non-destructives sont devenues un bus optique pour distribution d'information sans pertes... Trop tôt, à l'époque parler de contrôle de la phase dans les réseaux télécom était une hérésie. Je me rappelle aussi que l'on avait organisé en 1997 avec Izo Abram, qui a été mon directeur de thèse et mon mentor à plusieurs titres, un mini-workshop qui faisait dialoguer les spécialistes de la cryptographie quantique et ceux du cryptage classique de France Télécom, j'aurais dû dire plutôt qui essayait de faire dialoguer. Je suis ravi de constater l'évolution actuelle des technologies quantiques et des mentalités. Désormais recherche, industrie et start-up, font bon ménage. Quel que soit le sort de telle ou telle promesse, les réussites directes ou les retombées latérales seront là.

SUITE À LA FERMETURE DU CNET, VOUS AVEZ INTÉGRÉ LE CNRS

La fermeture du CNET a été à mon avis un grand gâchis scientifique et humain, provoqué par une vision courttermiste. Pour moi cela s'est transformé en une opportunité exceptionnelle car j'ai eu la chance d'intégrer le CNRS en 1998 après un concours de directeur de recherche dans la Section 04. C'était au Laboratoire de Photonique et de Nanostructures devenu Centre de Nanosciences et Nanotechnologies après la fusion avec l'Institut d'Électronique Fondamentale. Je suis donc passé d'un milieu privilégié à un autre milieu privilégié, avec entre autre la plus grande centrale académique française de nanotechnologies. Le virage de mes activités vers la nanophotonique non-linéaire s'est alors accentué et ma thématique principale est devenue l'étude des cristaux photoniques en régime non-linéaire. C'est étonnant à quel point on peut maîtriser la propagation de la lumière avec des structures organisées avec des trous d'airs distribués périodiquement, créant volontairement des défauts

de périodicité pour la piéger, la diriger... Finalement, le poinçonneur des Lilas ne devait pas s'ennuyer.

VOUS VOUS ÊTES ALORS FORTEMENT INVESTI DANS LES NANOSCIENCES

Le changement du centre de gravité de mes recherches a coïncidé avec une sollicitation conjointe du Ministère de la Recherche, du CNRS et du CEA, pour m'occuper de la création dans la région parisienne d'un Centre de compétences sans mur dans le domaine des nanosciences et des nanotechnologies. Nous sommes partis d'une feuille blanche - passionnant ! - pour construire le C'Nano IdF et aboutir à un réseau de plus de 3000 scientifiques. Un réseau pluridisciplinaire fédérant physiciens, chimistes, biologistes, ingénieurs, ... toxicologues sociologues, économistes, ... tous faisant des recherches sur les nanos. Grâce à un fort soutien financier de la Région Ile de France, ce sont quelques centaines de projets, thèses, animations, expositions qui ont pu être réalisés. Expérience extrêmement intéressante d'échange avec des collègues de disciplines très variées. On a également créé un programme de valorisation, pionnier, toujours actif et qui a accompagné la création de dizaines de start-ups. J'ai été par la suite nommé directeur du réseau national C'Nano, qui est désormais devenu l'Unité d'Appui et de Recherche CNRS C'Nano.

LA SYNERGIE ENTRE LA PHOTONIQUE ET LES NANOSCIENCES A ÉTÉ PARTICULIÈREMENT FORTE

Quel chemin parcouru par la nanophotonique ! Comme dans d'autres domaines scientifiques, peu importe les motivations initiales, qui peuvent se concrétiser ou non, lorsque le potentiel est là et que la communauté scientifique se met au travail, les résultats sont là. C'est le cas de la nanophotonique, la nanoplasmonique, les metamatériaux. Le degré de sophistication dans le contrôle de l'amplitude et la ●●●



phase du champ électromagnétique, dans l'augmentation et le contrôle de l'interaction lumière-matière, par la manipulation sub-longueur d'onde est vraiment impressionnant et les secteurs d'applications extrêmement variés : télécoms, datacom, imagerie, énergie, ... et on est très loin d'avoir exploité tout le potentiel.

VOUS AVEZ PRIS VOS FONCTIONS DE PRÉSIDENT DE LA SFO EN DÉCEMBRE 2021. QUELLES ONT ÉTÉ LES PREMIÈRES ACTIONS MENÉES ?

J'ai trouvé lors de ma prise de fonctions une SFO très active qui sortait consolidée de la grande réussite du congrès OPTIQUE Dijon 2021, malgré le ralentissement dû à la pandémie. En somme une SFO en bonne position pour lancer la transformation de statuts qui permettra, je l'espère, d'obtenir le statut d'association reconnue d'intérêt public (ARUP). L'intérêt est multiple. D'une part la reconnaissance de l'état de ce que nous sommes et d'autre part la possibilité de faire bénéficier à nos membres et nos donateurs d'avantages fiscaux. Ce dernier point devrait contribuer à consolider notre santé financière et surtout de lancer de nouvelles actions ambitieuses.

QUELS SONT LES GRANDS PROJETS EN COURS MENÉS PAR LA SFO ?

La richesse culturelle et le potentiel d'actions de notre SFO sont impressionnants. Cela repose sur le bénévolat et l'investissement de nombreux collègues que je remercie chaleureusement. La force créatrice de la SFO réside essentiellement, en effet, dans nos 15 Clubs thématiques et nos trois commissions.

Il y a tellement de dossiers qui me tiennent à cœur, que j'ai considéré que seule une augmentation de la collégialité pouvait les faire avancer en parallèle. Je ne suis pas en train de parler de la création de comités Théodule, mais d'une mobilisation de collègues motivés pour proposer et agir sur des points ciblés. Un bon exemple est à mon avis celui du renouvellement de nos offres et services vis à vis des jeunes. Nous avons beaucoup à leur offrir, nos atouts ne sont pas ceux des grandes sociétés internationales, il fallait tout d'abord mieux les identifier. Il faut également être à l'écoute des besoins de nos jeunes...

Sous la houlette de trois collègues membres du Bureau, Agnès Desfarges-Berthelemot, Inka Manek-Honninger et Marie-Claire Schanne-Klein, les choses avancent au-delà de mes espérances. Nous aurons une rencontre jeunes, animée par les jeunes, lors du congrès OPTIQUE Nice 2022. Par ailleurs, une plateforme « parcours après une thèse en optique » est bien avancée en collaboration avec REDOC SPI. De plus on est au deuxième webinaire d'analyse et mise en perspective critique d'articles en partenariat avec les GdR Ondes et COMPLEXE, ... Et ce n'est pas le seul dossier qui avance. C'est le cas également de nos relations avec nos membres et partenaires industriels, dossier piloté par notre président entrant François Salin, ou encore sur notre vision européenne en partenariat avec l'EOS et les sociétés nationales sœurs, dossier piloté par notre président sortant Philippe Adam. Sur ce dernier point je suis ravi du premier partenariat avec la société italienne SIOP, lors de l'organisation commune d'un workshop sur les métamatériaux.

LES SOCIÉTÉS SAVANTES ONT UN RÔLE IMPORTANT À JOUER DANS LA PROMOTION DES SCIENCES ET LA CULTURE SCIENTIFIQUE

Plus que jamais une société savante comme la SFO doit contribuer à éclairer l'échange science-société. La pandémie nous a donné des preuves supplémentaires, s'il en fallait, de l'impérieuse nécessité de ne pas délaisser ce terrain. Quelle confusion entre recherche et science ! Je pense sincèrement que cette confusion ne provient pas seulement de volontés manipulatoires, certes amplifiées par les réseaux sociaux, mais également d'une ignorance de ce que sont d'une part nos méthodes de recherche qui incluent esprit critique, controverses et remises en cause et d'autre part les avancées scientifiques qui, elles, constituent un corpus solide. Nous travaillons dans ce sens, diffusion de la culture scientifique à travers nos deux commissions Enseignement et Optique/physique sans frontière, engagement avec nos sociétés scientifiques sœurs...

LA FRANCOPHONIE EST UN THÈME QUI VOUS TIENT À CŒUR...

L'échange, le partage, la diffusion des savoirs et la communication sont au cœur de la démarche scientifique et du

développement des sciences et des technologies. L'anglais est désormais devenu une langue essentielle et communiquer en langue anglaise nous permet de transmettre des messages à un auditoire scientifique international élargi. Cependant, il ne fait aucun doute qu'il nous est bien plus aisé d'échanger en français, langue maternelle ou d'adoption, dans laquelle les nuances et les mots d'esprit nous viennent plus spontanément. Cela est encore plus flagrant pour les échanges science et société dont je viens de parler.

La SFO a des atouts incontestables. OPTIQUE Ville est le plus grand congrès francophone de l'optique et la photonique. Photoniques s'est imposé comme une référence de la diffusion des savoirs. Nos commissions ont déjà une portée internationale dans les pays francophones ou nous avons accompagné des démarches, co-organisé des événements et déployé des kits pédagogiques, ... Il me semble que nous pouvons aller bien plus loin en contribuant à la mutualisation des savoir-faire en collaboration avec d'autres sociétés savantes, des instituts et des collègues en Belgique, Suisse, Canada, Afrique, ... pour accompagner et faciliter le déploiement de l'éducation, la recherche et l'innovation dans les pays où les structures ou les moyens scientifiques et technologiques sont moins développés.

COMMENT ÉVALUEZ-VOUS LA POSITION DE LA PHOTONIQUE DANS LES PROGRAMMES ET ÉQUIPEMENTS PRIORITAIRES DE RECHERCHE (PEPR) EN COURS DE CRÉATION ET DÉPLOIEMENT ?

Bonne question aux accents... politiques. Je trouve que les PEPR vont incontestablement donner un coup d'accélérateur à de nombreuses disciplines et applications. Cependant, alors que la Commission Européenne considère désormais la photonique comme une thématique/filière à part entière, et non seulement comme une technologie diffusante, on peut regretter que ce ne soit pas encore le cas en France. Mais il n'est pas trop tard pour qu'un PEPR Photonique voie le jour, pour le plus grand bien de la filière photonique et de son impact scientifique et sociétal.

La smartphonique au service de la photonique

Ulysse DELABRE^{1,2}, Nicolas BRUNI¹, Nicolas-Alexandre GOY¹, Antoine GIROT¹

¹ Université de Bordeaux, CNRS, LOMA, UMR 5798, F-33400 Talence, France

² Université de Bordeaux, CeDS, UR 7440, F-33600 Pessac, France

*ulyse.delabre@u-bordeaux.fr



Les smartphones sont omniprésents et sont aujourd’hui dotés de multiples capteurs. Il devient possible de détourner ces capteurs pour faire des expériences scientifiques – un domaine né il y a quelques années que l’on peut désigner par le terme smartphonique. Nous détaillons ici quelques-unes de ces expériences réalisables avec smartphone initialement dédiées à l’enseignement mais nous montrons aussi quelques utilisations récentes du smartphone en recherche en nous focalisant principalement sur le domaine de l’optique.

<https://doi.org/10.1051/phys/202211519>

Article publié en accès libre sous les conditions définies par la licence Creative Commons Attribution License CC-BY (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), qui autorise sans restrictions l’utilisation, la diffusion, et la reproduction sur quelque support que ce soit, sous réserve de citation correcte de la publication originale.

Les smartphones sont des objets de notre quotidien. Nous nous en servons pour communiquer, prendre des photos, nous orienter, etc. Derrière ces fonctions se cachent de multiples capteurs très performants qui font que nos smartphones sont devenus de véritables mini laboratoires scientifiques mobiles. Quand nous tournons nos téléphones, l’écran pivote grâce aux accéléromètres qui mesurent le champ de pesanteur. La localisation dans l’espace s’effectue grâce au GPS mais également grâce à un capteur de pression disponible sur certains smartphones qui est plus précis pour estimer l’altitude. Quand nous approchons le smartphone de notre oreille pour téléphoner, l’écran se désactive pour éviter des

manipulations hasardeuses grâce au capteur infrarouge de proximité. La luminosité de l’écran s’adapte également en fonction de la lumière ambiante grâce au capteur de luminosité. Tous ces capteurs sont dans nos poches. Depuis quelques années, plusieurs applications ont été développées et permettent d’accéder aux données brutes de ces capteurs, ce qui permet de les détourner pour faire des expériences scientifiques. Parmi les applications les plus complètes, on peut citer *Phyphox* [1] conçue par l’Université de Aachen qui est entièrement gratuite et disponible sur iOS et Android. Tout aussi performante, l’application *Physics Toolbox Suite* a été développée aux États-Unis et permet également d’accéder à tous les

capteurs. Une dernière application est apparue récemment, l’application *Fizziq* développée en France en partenariat avec la Main à la Pâte. Avec son design plus simple d’utilisation et la possibilité de transférer les données dans un cahier expérimental, elle est davantage destinée aux collégiens et lycéens. Ces applications permettent d’accéder très facilement aux capteurs, d’enregistrer des mesures (jusqu’à 100 points/sec) et ensuite d’exporter ces mesures pour les analyser plus en détails. Le smartphone devient un véritable couteau suisse pour le physicien et peut avantageusement être détourné de ses fonctions initiales pour réaliser des expériences scientifiques simplement, n’importe où et à n’importe quel moment.

planaire raisonnablement accessible. Cela est possible en considérant des réseaux de chaînes plasmoniques dont la force de couplage est modulable par la résonance plasmonique et la distance au guide [5], et l'angle de diffraction par la période de la chaîne. Chaque chaîne se comportant à la résonance comme un guide d'onde, le taux de transfert de la puissance optique peut être ajusté entre 0 et presque 100 % [4] en contrôlant la position de la résonance, par exemple en modifiant la taille des nanoparticules de chaque chaîne. Typiquement deux séries de 8 chaînes, positionnées à côté d'un réseau de guides en SiN/SiO₂, et constituées chacune d'une dizaine de nanoparticules d'argent cylindriques à section elliptique de diamètres a_y et 80 nm, avec $80 \text{ nm} < a_y < 120 \text{ nm}$, peuvent réaliser la fonction d'émetteur de lumière cohérente sur une surface de 1 cm². Une surface de plaque éclairante plus grande peut être obtenue en juxtaposant ces répartiteurs élémentaires.

Nanoémetteurs synchronisés

Une autre solution pour réaliser une plaque émettrice à lumière cohérente consiste à contrôler la phase d'une assemblée de nanoémetteurs tels que des boîtes quantiques ou des molécules actives réparties sur un substrat. Le contrôle le plus simple consiste à forcer les émetteurs à rayonner dans une structure monomode (guide d'onde, plasmon de surface propagatif...), ce qui équivaut à réaliser une sélection en fréquences de Fourier qui augmente fortement le degré de cohérence spatiale de l'émission. Cette approche repose sur plusieurs axes de recherche fondamentale qui incluent l'étude de ces matériaux actifs, leur couplage faible ou fort à des modes guidés et les stratégies pour manipuler leur rayonnement dans l'espace libre et structurer des fronts d'onde complexes à la demande [6]. Sur le plus long terme, il serait également souhaitable d'exalter la cohérence temporelle des émetteurs, ce qui équivaut à les synchroniser. Des pistes prometteuses ont déjà été explorées dans le moyen-infrarouge, en tirant parti du comportement collectif (gaz 2D) de certains matériaux actifs fortement dopés [7]. L'intérêt majeur de cette solution est

de permettre la réalisation bas-coût d'une source grande surface, cohérente mais non lasante, pouvant servir aussi bien à l'éclairage directionnel qu'aux systèmes d'holographie planaire.

Hologramme numérique reconfigurable : adressage individuel de pixels sub-longueurs d'onde

Aujourd'hui, les hologrammes reconfigurables sont réalisés à l'aide d'un modulateur spatial de lumière (SLM) reposant sur la technologie LCOS ayant des tailles de pixels limités à quelques micromètres. Cependant, réaliser un hologramme reconfigurable de haute qualité et avec un angle de vue important demande d'avoir des pixels de quelques centaines de nanomètres. Pour s'affranchir de cette limite, nous nous penchons sur un nouveau principe d'adressage, tout-optique, et basé sur l'optique guidée sur silicium pour de potentiels futurs pixels. La structure est composée d'une matrice de guides d'onde monomodes rectangulaires en silicium. Cette matrice est encapsulée dans du SiO₂. Chaque intersection, de taille sub-micrométrique, est fonctionnalisée par des chaînes de nanoparticules d'or elliptiques perpendiculaires situées sur leur surface où chaque couple de chaînes perpendiculaires forme la base d'un pixel. Les modes TE propagés dans ces guides (de hauteur $h = 220 \text{ nm}$ et de largeur $l = 500 \text{ nm}$) peuvent se coupler aux chaînes plasmoniques et générer des points chauds sub-longueurs d'onde sur certaines nanoparticules. Un pixel est adressé uniquement si une des nanoparticules est excitée par deux signaux injectés par deux guides perpendiculaires. En variant la taille et la forme des nanoparticules de chaque intersection, les pixels peuvent être adressés indépendamment. Le concept a été validé numériquement pour différentes formes de nanostructures plasmoniques, comme illustré sur la Figure 3 dans le cas de structures en chevron. L'étape suivante consistera à exploiter cette concentration sub-microscopique de la lumière pour modifier localement les propriétés optiques de la surface (matériau à changement de phase, cristal liquide, piègeage optique, ...).

PRO-LITE
TECHNOLOGY

Vidéophotomètres & vidéocolorimètres Westboro Photonics – Pro-Lite Technology



Westboro Photonics développe des vidéophotomètres et vidéocolorimètres permettant la caractérisation de sources lumineuses, écrans, voyants... Ces systèmes sont des caméras étalonnées pour fournir les valeurs de luminosité et couleur pixel par pixel.

Les affichages tête haute sont aujourd'hui de plus en plus présents dans les industries de l'avionique, de la défense, de la réalité augmentée/virtuelle, de l'automobile... Leurs performances peuvent être évaluées grâce aux caméras Westboro. À partir des données de luminosité et couleur obtenues, pixel par pixel, il est possible de caractériser leur uniformité, leur contraste, leurs pixels défaillants... Les méthodes de calcul de ces paramètres peuvent être personnalisées et fournir des données de référence absolues (à la fois pour les applications de recherche & développement et la vérification sur ligne de production).

Westboro Photonics est impliquée dans la rédaction des normes préconisant les tests de performances à réaliser sur les affichages tête-haute. En particulier, leur logiciel intègre les tests décrits dans la norme SAE J1757-2 (performances optiques des affichages tête haute dans les conditions typiques d'éclairage ambiant dans l'automobile). ●

Pro-Lite Technology France

05 47 48 90 70

nicolas.marlet@pro-lite.fr

www.pro-lite.fr

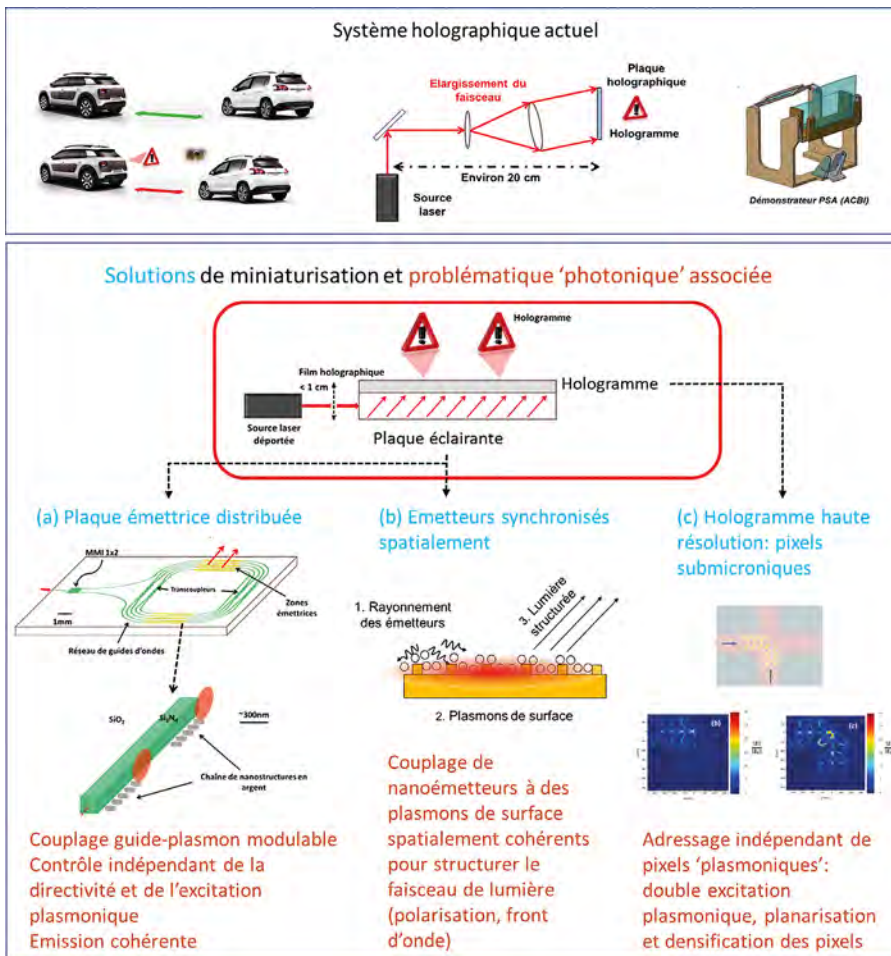


Figure 3. Haut : illustration de systèmes holographiques pour l'automobile à base d'optique réfractive. Bas : solutions de miniaturisation ou d'amélioration de ces systèmes, et problématique photonique associée : (a) plaque émettrice composée d'un répartiteur de lumière à guides d'onde couplés à des réseaux de chaînes plasmoniques en série pour diffracter uniformément la lumière cohérente dans une direction donnée ; (b) source de lumière à polarisation et/ou front d'onde contrôlé, basée sur le couplage préférentiel de nanoémetteurs à des plasmons de surface spatialement cohérents ; (c) génération et adressage de pixels submicroniques basés sur l'excitation de plasmons localisés à l'intersection de guides d'onde.

CONCLUSION

La nanophotonique, qui par définition utilise des quantités réduites de matière, est particulièrement bien positionnée pour offrir des solutions versatiles, compactes et légères aux systèmes de mobilité. Le caractère discrétisé des nanostructures photoniques ou plasmoniques permet la réalisation de fonctions optiques façonnées à la demande. Les technologies de fabrication évoluent simultanément pour permettre d'utiliser ces nouveaux nanoobjets à l'échelle macroscopique. La nanophotonique à grande échelle enrichit ainsi les fonctionnalités des systèmes de visualisation, pour des applications qui couvrent non seulement les transports mais aussi le secteur de la défense ou de la santé. Si les démonstrateurs actuels se basent sur des nanostructures plasmoniques, les concepts peuvent être généralisés ou

transposés à d'autres filières, comme les métasurfaces à base de nanorésonateurs diélectriques à haut indice et conduire ainsi à un panel encore plus large de fonctions optiques intégrées et planarisées.

Les travaux présentés dans cet article ont été en partie soutenus par le réseau national des centrales de technologie RENATECH, par l'agence française de l'innovation de la Défense, et par l'Open-Lab PhOVéA. ●

RÉFÉRENCES

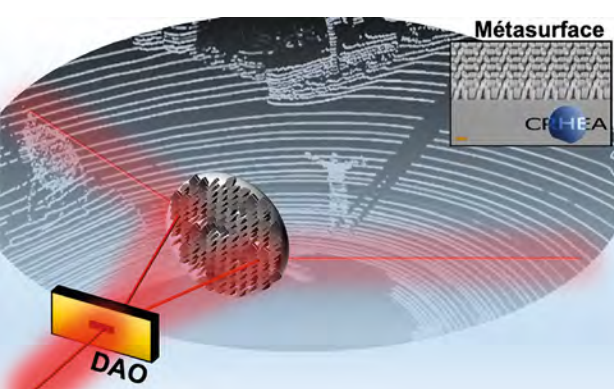
- [1] R. Carminati *et al.*, *Photoniques* **111**, 47-50 (2022)
- [2] H. Bertin *et al.*, *ACS Photonics* **5**, 2661-2668 (2018)
- [3] G. Cardoso *et al.*, *Microelectron. Eng.* **258**, 111755 (2022)
- [4] M. Février *et al.*, *Nano Lett.* **12**, 1032-1037 (2012)
- [5] G. Magno *et al.*, *Opt. Express* **30**, 5835-5847 (2022)
- [6] D. Schanne *et al.*, *Phys. Rev. Appl.* **14**, 064077 (2020)
- [7] T. Laurent *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **115**, 187492 (2015)

LES MÉTASURFACES OPTIQUES POUR LES LIDARS À LARGE CHAMP ET À HAUTE CADENCE D'IMAGERIE

Renato JULIANO MARTINS¹, Emil MARINOV¹, M. Aziz Ben YOUSSEF¹, Christina KYROU¹, Patrice GENEVET^{1,*}

¹ Université Côte d'Azur, CNRS, CRHEA, rue Bernard Gregory, Sophia Antipolis 06560 Valbonne, France

*pg@crhea.cnrs.fr



Le déploiement de solutions d'imageries avancées, susceptibles de fournir aux systèmes robotiques une vision équivalente à celle de l'homme, nécessite l'acquisition rapide et précise d'images avec un large champ de vision. Etant particulièrement adaptées pour les systèmes optiques à grand champ, les métasurfaces offrent de nouvelles perspectives d'intégration et d'optimisation pour réaliser des LiDARs compacts, à bas coûts de production et à hautes performances.

<https://doi.org/10.1051/photon/202211541>

Article publié en accès libre sous les conditions définies par la licence Creative Commons Attribution License CC-BY (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), qui autorise sans restrictions l'utilisation, la diffusion, et la reproduction sur quelque support que ce soit, sous réserve de citation correcte de la publication originale.

Les systèmes mobiles autonomes tels que les voitures, les robots ou les drones utilisent plusieurs capteurs pour acquérir de l'information sur leur environnement, leur permettant ainsi de définir leur position, leur vitesse et leur accélération en temps réel. Au centre de l'automatisation des dispositifs et processus industriels, ces systèmes de mesures tels que le RADAR, les scanners à lumière structurée et les télémètres laser ou LiDAR, permettent d'acquérir des images 3D. Les LiDARs conventionnels reposent sur la mesure du temps de vol (TdV). Le principe de cette mesure est d'envoyer des pulses lasers vers un objet

réfléchissant distant, afin de mesurer le temps que met l'impulsion lumineuse pour parcourir la distance aller-retour entre la source et l'objet. En connaissant ce temps de vol, on peut calculer la distance des objets environnants. Pour reconstruire une image, il est donc nécessaire de balayer le faisceau pulsé sur un champ de vue le plus large possible. Les travaux sur les métasurfaces (MS) [1] et plus particulièrement ceux sur l'imagerie menés au Centre de Recherche sur l'Hétéro-Epitaxie et ses Applications (CRHEA, France), s'inscrivent dans cette logique. Les MS sont des composants photoniques capables de manipuler toutes les propriétés de la lumière telles que l'amplitude, la

phase, fréquence et/ou la polarisation et qui n'ont cessé, au cours de la dernière décennie, de susciter l'intérêt de l'ensemble de la communauté photonique. Ce sont des composants optiques ultra fins, constitués à partir d'agencements d'objet diffusants (ou méta-atomes) ayant des tailles et des périodicités inférieures à la longueur d'onde. Les fonctionnalités nouvelles apportées par les MS peuvent permettre de développer de nouvelles technologies photoniques, aux services des applications d'imageries telles que le LiDAR [2]. Dans nos recherches, nous exploitons ces propriétés optiques pour développer un système d'imagerie LiDAR ultra rapide et à large champ de vue [3].

DÉFLECTION LIDAR À L'AIDE DE MÉTASURFACES

Plusieurs mécanismes permettent de contrôler le front d'onde d'un faisceau incident avec des métasurfaces. Les trois mécanismes connus actuellement utilisent i) la phase géométrique de Pancharatnam-Berry [4], ii) les nanostructures à indice de réfraction effectif [5], iii) la réponse résonnante des nanostructures conçues pour fonctionner dans un régime contraint par des propriétés dites de « photonique topologique » particulières [6]. De façon générale, les structures prennent la forme de piliers nanostructurés ayant des paramètres géométriques et des arrangements périodiques de taille sous-longueur d'onde. Le principe de modulation de phase, par indice effectif par exemple, se base sur le retard de phase induit par la propagation de l'onde incidente dans le méta-atome. Si l'on considère un pilier fait à partir d'un matériau d'indice optique élevé, plus son diamètre est grand, plus son indice de réfraction effectif est important et plus le retard de phase induit est élevé. En modifiant progressivement l'indice de réfraction des éléments adjacents, *i.e.* en modifiant le diamètre des nanostructures, on peut établir un retard de phase qui varie entre $0-2\pi$, permettant ainsi de façonner le front d'onde arbitrairement et localement. Pour définir la fonctionnalité réalisée par la métasurface, il suffit de choisir et de positionner les méta-atomes de sorte à former un profil de retard de phase adapté à la réponse optique voulue. Par exemple, pour focaliser la lumière à la façon d'une lentille classique, le profil de phase varie spatialement entraînant un retard hyperbolique. Ou encore, en distribuant les différents éléments pour induire un retard variant graduellement *-i.e.* linéairement- entre 0 et 2π , la modification locale du front d'onde permet de dévier un faisceau incident avec un angle proportionnel au gradient de retard de phase

local. Cette méthode permet d'obtenir un déflecteur de faisceau simple, qui dévie le faisceau à un seul angle fixe. Toutefois, en construisant un profil de phase présentant une variation linéaire du gradient de phase dans la direction radiale, l'angle de déviation du faisceau de sortie sera défini par le point d'impact du faisceau incident sur la métasurface (Fig 1a-c). En effet, en fonction du point d'impact du faisceau laser sur la métasurface, un gradient de retard différent sera appliqué au front d'onde. Le profil de phase correspondant est donc un profil parabolique, et l'effet induit sur le faisceau incident est une augmentation de la déviation du faisceau de sortie à mesure que le faisceau se rapproche des bords du composant MS, pour explorer des angles de déviation compris entre 0° au centre et $\pm 75^\circ$ sur les bords du composant. La fabrication d'une

telle métasurface se fait à l'aide de processus de nanofabrication, incluant une étape de gravure des nanostructures (Fig 1d) sur un substrat de nitrure de Gallium.

ARCHITECTURE LIDAR ET PERFORMANCES

La métasurface utilisée dans ce dispositif LiDAR est passive, c'est-à-dire qu'elle ne permet pas à elle seule de réaliser un balayage du champ de vue. De ce fait, nous avons placé en amont un dispositif actif de balayage de faisceau laser qui nous permet d'obtenir différents points d'impacts sur la MS. Le résultat, en sortie de la MS, offre un balayage du milieu environnant sur une très large plage angulaire ($\approx \pm 75^\circ$). Pour obtenir une image 3D, il est nécessaire de balayer le faisceau horizontalement et verticalement sur la MS, permettant ainsi de défléchir la lumière suivant les

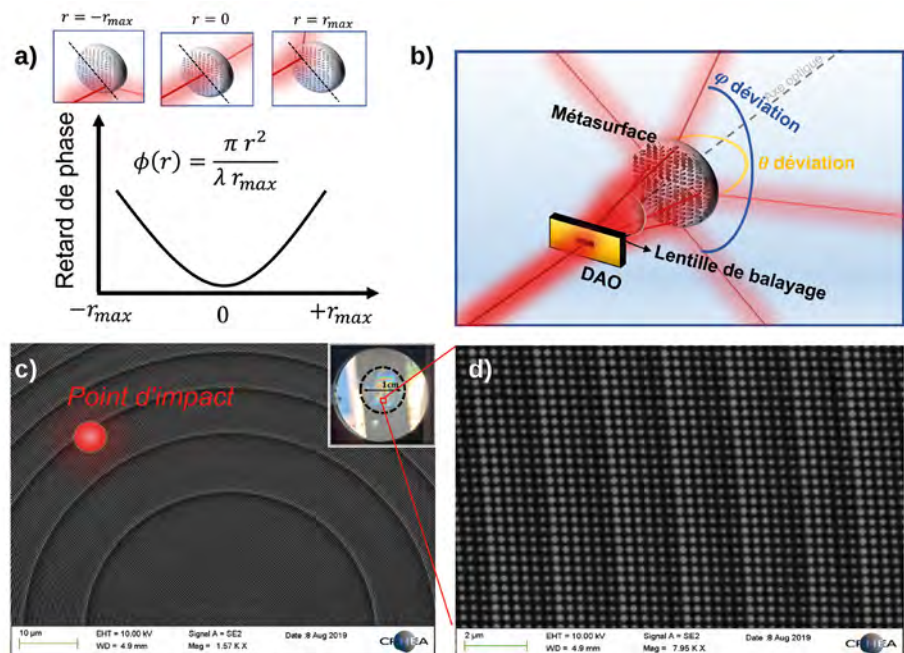


Figure 1. Déflecteur de faisceau de métasurface. a) Fonction de phase correspondant à une métasurface capable de défléchir la lumière à différents angles. Le profil de phase parabolique permet de dévier le faisceau à différents angles, en fonction du point d'impact sur le composant. b) Concept expérimental du système LiDAR utilisant un déflecteur de faisceau rapide (DAO) et une lentille de balayage pointant le faisceau incident sur une zone spécifique de la métasurface, déviant ainsi la lumière dans des angles radiaux et azimutaux. c) Imagerie MEB de l'échantillon - insert - Image de l'échantillon fabriqué. d) MEB détaillé montrant les piliers de taille variable de tailles variables dans chacune des zones de Fresnel.

angles d'azimut et d'élévation (θ et ϕ). Ce balayage 2D du faisceau est réalisé en cascade perpendiculairement deux DAO. La résolution angulaire de ce système est définie par un compromis entre la taille du spot laser incident et le diamètre de la metasurface. Le dispositif DAOs est construit autour d'un milieu solide transparent qui supporte la propagation d'ondes élastiques se propageant à des fréquences de quelques centaines de MHz, et que l'on ajuste à l'aide d'une valeur de tension appliquée au dispositif. Les ondes élastiques permettent de diffracter la lumière à différents angles et à très haute fréquence (de l'ordre du MHz). Ce type de composant offre des fréquences de balayage point-par-point de l'ordre de ~6 MHz, mais présente néanmoins un très faible champ de vue, de l'ordre de 2° par 2° et ne permet pas de satisfaire

les exigences de l'industrie LiDAR. La metasurface sert donc à élargir le champ de vue à 150° par 150° , tout en profitant de la haute fréquence de balayage du DAO. Cette combinaison de composants permet d'acquérir des images LiDAR 3D fortement résolues avec une vitesse d'imagerie de l'ordre de la centaine voire des milliers d'images par seconde, voir vidéos disponibles sur notre Youtube channel <https://www.youtube.com/channel/UCmezaBH-xOxMjqk3bvqnlAg>. Pour piloter électroniquement l'ensemble du système LiDAR, nous avons utilisé un système PXIe synchronisé qui se compose de différents contrôleurs intégrés dans un châssis. Les modules utilisés pour le développement du LiDAR présenté ici sont : (i) un contrôleur - contenant la partie logique (processeur, mémoire RAM, disque dur), (ii) deux cartes

de générateur de fréquence (FGEN) - une servant à contrôler le balayage, et l'autre pour contrôler le laser, et (iii) un oscilloscope (SCOPE) doté d'un convertisseur analogique-numérique (ADC) pour extraire les données de tension du photodétecteur. Un schéma d'architecture détaillé résumant les caractéristiques et les modèles de tous les éléments du LiDAR est fourni à la Fig 2a). Le prototype développé au laboratoire utilise comme source lumineuse une diode laser émettant dans le visible (633nm). Cette longueur d'onde n'est généralement pas utilisée dans les systèmes LiDAR commerciaux, du fait de la forte absorption atmosphérique et du bruit de fond important. Cependant, elle est très utile pour réaliser un démonstrateur car elle permet de directement visualiser la déviation du faisceau à la ●●●

Nobel-winning physics

from the *Journal de Physique* digital archives



Researchers seek the highest quality physics regardless of where or when it was published. The *Journal de Physique* archives are full of the biggest names in physics including Curie, Planck, Rutherford, Becquerel and, more recently, Giorgio Parisi. This bi-lingual e-resource spans 1872-1997 – undoubtedly, one of the most exciting and influential periods in physics research.

- More than 300,000 pages in over 49,500 articles digitised to the highest quality
- Unique English and French content
- Available for outright purchase or as a subscription
- Fairly priced with flexible solutions

The *Journal de Physique* was created in 1872 by Charles d'Almeida "to invigorate teaching, to stimulate the spirit of research and provoke new discoveries". Pioneering physicists Marie, Pierre and Irène Curie published several articles in the journal *Le Radium* and these remain preserved within the *Journal de Physique* archives.

Why are archives important?

- They provide historical context for current research
- They inspire researchers to explore new research ideas
- They broaden the resources available to library users
- They secure academic knowledge for future generations

"There is undoubtedly educational value to reading 'legacy papers', and this holds true for articles written in any language."

Gaia Donati, *Discovery through multi-lingual science archives*, Research Information

We believe that preserving legacy journal content and ensuring it remains discoverable for future generations is vital to the advancement of science. Visit *our archives* to read some original articles and modern commentaries.

“Nothing in life is to be feared, it is only to be understood.”



Marie Curie

Journal de Physique archives



For more information

Contact:

Anne Simoneau,
Director of Business Development
anne.simoneau@edpsciences.org

Browse: edpsciences.org/archives