

Programme et publications Horizons

Date: Mardi, 03.07.2018	
11:00 - 12:30	O1-E: Session Orale Horizons #1
Amphi Le Chatelier	
Date: Mercredi, 04.07.2018	
8:30 - 10:30	O3-E: Session Orale Horizons #2
Amphi Le Chatelier	
17:30 - 19:00	PO-01 C: Session posters Horizons #1
Salle A16	
Date: Jeudi, 05.07.2018	
8:30 - 10:30	O5-E: Session Orale Horizons #3
Amphi Le Chatelier	
11:00 - 12:30	O6-E: Session Orale Horizons #4
Amphi Le Chatelier	
16:45 - 18:45	PO-02 C: Session posters Horizons #2
Salle A16	
Date: Vendredi, 06.07.2018	
11:00 - 12:30	O8-E: Session Orale Horizons #5
Amphi Le Chatelier	

Présentations

O1-E: Session Orale Horizons #1

Heure: Mardi, 03.07.2018: 11:00 - 12:30 · Salle: Amphi Le Chatelier 11:00 - 12:00

Tutoriel

PHYSIQUE ATTOSECONDE AVEC DES FAISCEAUX XUV PORTANT UN MOMENT ANGULAIRE ORBITAL

T. Ruchon¹, D. Bresteau¹, C. Spezzani^{1,2}, C. Chappuis¹, R. Géneaux¹, B. Carré¹, O. Tcherbakoff¹, J.-F. Hergott¹, P. D'oliveira¹, M. Delhinger³, F. Delmotte³, D. Dennetiere⁴, S. De Rossi³, J. Lenfant¹, F. Pollack⁴ ¹LIDYL, CEA, CNRS, Université Paris-Saclay, CEA Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette, France; ²Elettra-Sincrotrone Trieste, Area Science Park, 34149 Trieste, Italy; ³Univ Paris Saclay, CNRS, Inst Opt, Lab Charles Fabry,Grad Sch, F-91127 Palaiseau, France; ⁴Synchrotron SOLEIL, BP 48, F-91192 Gif Sur Yvette, France; <u>thierry.ruchon@cea.fr</u>

Nous présenterons tout d'abord les performances d'une nouvelle plateforme ouverte, Attolab, destinée à la physique attoseconde en phase condensée et diluée. La deuxième partie de cet exposé sera consacrée à la physique hautement non linéaire de la génération d'harmoniques d'ordre élevé avec des faisceaux portant un moment angulaire orbital.

12:00 - 12:30

Invitée

Impulsions ultra-brèves infrarouges pour des solutions 3D dans les microtechnologies silicium

M. Chanal, M. Chambonneau, A. Mouskeftaras, R. Clady, O. Utéza, D. Grojo

Aix-Marseille University, CNRS, LP3 UMR 7341, 13009 Marseille, France; david.grojo@univ-amu.fr

Une solution inspirée de la microscopie en immersion solide permet de dépasser le seuil de modification dans le volume du silicium avec des lasers femtosecondes. Cette nouvelle capacité pourrait changer la façon dont les dispositifs de photonique sur silicium sont fabriqués.

O3-E: Session Orale Horizons #2

Heure: Mercredi, 04.07.2018: 8:30 - 10:30 · Salle: Amphi Le Chatelier

8:30 - 9:30 Tutoriel

La Microscopie Multiphoton pour l'Imagerie des Tissus Biologiques

M.-C. Schanne-Klein

Laboratoire d'Optique et Biosciences - CNRS - Ecole polytechnique - Inserm, France; <u>marie-claire.schanne-klein@polytechnique.edu</u>

La microscopie multiphoton est désormais la technique de référence pour l'imagerie 3D des tissus biologiques. Cette technique doit son succès à sa résolution 3D intrinsèque, très robuste en milieu diffusant, et à la variété des signaux optiques nonlinéaires qu'elle peut combiner pour visualiser les différentes composantes d'un tissu.

9:30 - 10:00

Invitée

IMAGERIE CONFOCALE DE FLUORESCENCE A HAUTE CADENCE CHEZ LA SOURIS EN COMPORTEMENT LIBRE

C. Dussaux¹, V. Szabo², Y. Chastagnier², J. Fodor¹, J.-F. Léger¹, L. Bourdieu¹, J. Perroy², <u>C. Ventalon¹</u> ¹Institut de biologie de l'Ecole normale supérieure (IBENS), Ecole Normale Supérieure, CNRS, INSERM, Université de Recherche PSL, 46 rue d'Ulm, Paris, 75005, France; ²Institut de Génomique Fonctionnelle, CNRS, INSERM, Université de Montpellier, 141 rue de la Cardonille, Montpellier, 34094, France; <u>cathie.ventalon@ens.fr</u>

Nous avons développé un nouveau fibroscope permettant l'imagerie confocale à balayage ligne-à-ligne et à balayage multipoint au moyen d'une matrice de micro-miroirs. Le dispositif permet l'imagerie de fluorescence du flux sanguin et de l'activité neuronale à des cadences supérieures à 100 Hz chez la souris en comportement libre.

10:00 - 10:30 Invitée

Invitee

Imagerie super-résolue sub-diffractive par figures de moirée

M. Pascucci¹, J. Gateau², O. Katz³, S. Ganesan¹, H. Rigneault⁴, G. Tessier¹, V. Emiliani¹, M. Guillon¹

¹Université Paris Descartes, France; ²Université Pierre et Marie Curie, France; ³Hebrew University of Jerusalem, Israël; ⁴Université Aix-Marseille, France; <u>marc.guillon@parisdescartes.fr</u>

Les figures lumineuses aléatoires apparaissant dans les milieux diffusant contiennent une forte densité de vortex optiques tels que ceux usilisés en microscopie à super-resolution STED. Ici, nous démontrons la possibilité d'obtenir des images superresolues en trois dimensions par l'exploitation de figures de moirées.

PO-01 C: Session posters Horizons #1

Heure: Mercredi, 04.07.2018: 17:30 - 19:00 · Salle: Salle A16

IMAGERIE PHOTOACOUSTIQUE SUPER-RESOLUE PAR LES FLUCTUATIONS D'ABSORPTION D'UN FLUX DE PARTICULES

<u>B. Arnal¹</u>, T. Chaigne², S. Vilov¹, O. Katz³, E. Bossy¹

¹LiPhy, UGA, CNRS, France; ²Charité Berlin, Humboldt University; ³Hebrew University of Jerusalem; <u>bastien.arnal@univ-grenoble-alpes.fr</u>

La limite de résolution en imagerie photoacoustique est ici repoussée en exploitant les fluctuations d'absorption dues à la circulation de particules absorbantes dans un circuit microfluidique. Les fluctuations sont analysées grâce à la notion de cumulant d'ordre n, méthode empruntée à une technique de microscopie de fluctuations.

Localization-based super-resolution photoacoustic imaging

S. Vilov, B. Arnal, E. Bossy

Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Laboratoire Interdisciplinaire de Physique (Liphy), 38000 Grenoble, France; <u>sergey.vilov@univ-grenoble-alpes.fr</u>

We demonstrate that localization-based super-resolution techniques initially introduced in optics can be adapted to achieve super-resolution in photoacoustic imaging. We envision the possibility of super-localization photoacoustic in-vivo imaging based on medical contrast agents.

Microscopie tomographique diffractive simplifiée pour l'observation de specimen a géometrie axisymetrique

L. Foucault¹, N. Verrier¹, M. Debailleul¹, B. Simon², <u>O. Haeberlé¹</u>

¹Institut de Recherche en Informatique Modélisation Automatique et Systèmes (EA7499 IRIMAS), Haute Alsace University, 61 rue Albert Camus, 68093 Mulhouse Cedex, France; ²Laboratoire Photonique Numérique et Nanoscience (LP2N), CNRS UMR5298, Bordeaux University, Institut d'Optique Graduate School, Talence 33405, France; <u>olivier.haeberle@uha.fr</u>

Nous avons étudié une approche de microscopie tomographique diffractive simplifiée, adaptée aux échantillons axisymétriques, qui permet de meilleures reconstructions qu'en microscopie holographique classique, tout en simplifiant les acquisitions par rapport à la microscopie tomographique diffractive par balayage de l'illumination

Reconstruction Aveugle De Phase En Microscopie

R. de Guiran¹, <u>F. Perraut</u>¹, J.-P. Fayol²

¹Leida Technologies, France; ²Laboratoire de Contrôle des Pollens, France; <u>francois.perraut@leida.fr</u>

Il est possible d'obtenir une image de phase quantitative en microscopie par traitement numérique d'une image de contraste de phase différentiel mais les procédures connues imposent une connaissance précise de nombreux paramètres expérimentaux. Dans cette communication, nous montrons qu'il est possible de reconstruire l'image de phase en aveugle.

Mise Au Point Par Coïncidence d'Images En Microscopie

F. Perraut

Leida Technologies, France; francois.perraut@leida.fr

Pour réaliser la mise au point d'une image avec un microscope, nous avons développé une méthode d'illumination à deux ondes qui permet de dédoubler l'image d'un objet en présence d'un défocus. La distance entre les deux images permet de mesurer la valeur de la correction et le focus est correct lorsque les images sont superposées.

Microscope A Contraste de Phase Anomal

F. Perraut¹, R. de Guiran¹, D. Bernard²

¹Leida Technologies, France; ²COFEMO, France; <u>francois.perraut@leida.fr</u>

Nous présentons une nouvelle méthode de microscopie à contraste de phase baptisée Contraste de Phase Anomal (CPA). Possible avec des objectifs standard, cette méthode simplifie l'usage du contraste de phase et permet son utilisation conjointement à des techniques comme la micro-spectrométrie Raman, l'épifluorescence, l'illumination structurée.

Excitations topologiques et murs de domaine dans un superfluide de polaritons bistable

A. Maître, G. Lerario, S. Pigeon, Q. Glorieux, E. Giacobino, A. Bramati

Laboratoire Kastler Brossel, France; <u>anne.maitre@lkb.upmc.fr</u>

Les polaritons excitoniques sont des quasi-particules créées par un couplage fort entre photons et excitons. Nous démontrons expérimentalement la nucléation hydrodynamique et la propagation sur de longues distances de vortex et de solitons, facilement contrôlés avec un superfluide de polaritons bistable.

Filtrage Spectral Pour l'Imagerie Acousto-Optique En Milieu Diffusant

<u>A. Louchet-Chauvet</u>¹, C. Venet^{1,2}, M. Bocoum², T. Chanelière¹, F. Ramaz²

¹Laboratoire Aimé Cotton, France; ²Institut Langevin, France; <u>anne.chauvet@u-psud.fr</u>

Nous présentons une méthode de détection pour l'imagerie acousto-optique compatible avec des mesures in-vivo, basée sur le creusement d'un trou spectral persistant dans un cristal dopé terre rare. Une démonstration expérimentale est réalisée sur un gel diffusant calibré.

Modes Quasi-Normaux d'un Réflecteur de Bragg non dissipatif : une formulation universelle en termes de couplage de modes

Y. Boucher¹, L. Al Sheikh²

¹Institut Foton (CNRS UMR 6082), France; ²Institut de Mathématiques de Bourgogne (UMR CNRS 5584), France; boucher@enib.fr

Les Modes Quasi-Normaux d'un Réflecteur de Bragg (DBR) non dissipatif sont décrits en termes de couplage de modes : constante de couplage et désaccord de phase normalisés. La fréquence complexe est ici remplacée par le désaccord de phase complexe, opérant ainsi la jonction avec les conditions d'oscillation d'un laser à rétroaction distribuée (DFB).

PT-Symétrie dans un système de guides d'onde périodiques couplés

Y. Boucher, P. Féron

Institut Foton (CNRS UMR 6082), France; boucher@enib.fr

Le puissant formalisme du couplage de modes permet de décrire un système constitué de deux guides d'ondes périodiques couplés en configuration PT-symétrique. Les paramètres de répartition sont obtenus sous forme analytique, le système à quatre ondes se découplant naturellement en deux sous-systèmes à deux ondes.

Concentrateurs luminescents pour l'amplification de la brillance des diodes électroluminescentes

<u>S. Forget</u>, T. Gallinelli, S. Chenais

LPL, université paris 13, France; sebastien.forget@univ-paris13.fr

Nous proposons l'étude expérimentale et la modélisation de concentrateurs luminescents permettant d'augmenter la brillance des diodes électroluminescentes. Nous démontrons un gain à la fois en densité de puissance et en angle d'émission

Fabrication collective de micro-filtres optiques accordables à cristaux liquides grâce à un réseau nanostructuré

B. Sadani¹, B. Boisnard¹, X. Lafosse², T. Camps¹, J.-B. Doucet¹, E. Daran¹, C. Paranthoen³, C. Levallois³, L. Dupont⁴, S. Bouchoule², <u>V. Bardinal¹</u>

¹LAAS, France; ²C2N; ³FOTON; ⁴IMT; <u>bardinal@laas.fr</u>

Nous présentons une nouvelle technologie pour la fabrication collective de micro-filtres optiques à cristaux liquides fonctionnant à 1.55µm, accordables sur plus de 100nm et compatibles avec une insertion dans une cavité laser de type VCSEL.

Oscillateur optoelectronique couplé pour la génération d'ondes millimétriques à haute pureté spectrale

<u>A. Ly</u>¹, R. Khayatzadeh², V. Auroux³, N. Gutierrez¹, A. Fernandez¹, O. Llopis¹

¹LAAS CNRS, France; ²Huawei France; ³Assystem Touloouse; <u>aly@laas.fr</u>

Un oscillateur optoélectronique couplé à 30 GHz fait l'objet d'une étude expérimentale et théorique. Le bruit de phase du signal à 30 GHz est particulièrement optimisé. La capacité du système à délivrer des signaux à plus haute fréquence en exploitant la non-linéarité du peigne optique est présenté, avec un exemple de génération de signal à 90 GHz.

MICROSCOPIE POLARIMETRIQUE LINEAIRE ET NON LINEAIRE

M. Dubreuil, S. Rivet, Y. Le Grand

Université de Bretagne Occidentale, France; matthieu.dubreuil@univ-brest.fr

Nous présentons deux concepts récents, basés sur le codage spectral de la polarisation développé dans notre laboratoire, permettant de réaliser de l'imagerie polarimétrique linéaire (polarimétrie de Mueller) et non linéaire (génération de second harmonique) en temps réel sur un microscope optique à balayage.

Étude du temps de propagation de la lumière dans les mileux diffusants

M. Durand, R. Carminati, S. Popoff, A. Goetschy

ESPCI Paris, France; <u>mathieu.durand@espci.fr</u>

Nous présentons une étude statistique du temps de propagation de la lumière dans les milieux diffusants basée sur la caractérisation de l'opérateur Wigner-Smith. Ce dernier permet de définir des familles de temps de propagation. La distribution des temps propres est obtenue à partir de simulations numériques et comparée à des résultats analytiques

SYSTEME D'IMAGERIE PHASE-FLUORESCENCE GRAND CHAMP

<u>I. de Kernier</u>^{1,2}, N. Rongeat³, A. Ali-Chérif³, S. Morales¹, S. Monneret², P. Blandin¹ ¹Univ. Grenoble Alpes, CEA, LETI, MINATEC Campus, Technologies for Health and Biology Division, F-38054 Grenoble, France; ²Aix Marseille Univ, CNRS, Centrale Marseille, Institut Fresnel, Marseille, France; ³HORIBA ABX SAS, Montpellier, France; isaure.dekernier@cea.fr

En imagerie, la complémentarité des contrastes de phase et de fluorescence permet de caractériser des objets et phénomènes biologiques. Nous présentons ici un système optique couplant les deux modalités un grand champ de vue. Des objets calibrés et des objets biologiques sont imagés afin de démontrer les performances du montage.

Etude de la stabilité temporelle de la qualité image de détecteurs infrarouge

M. Guénin^{1,2}, S. Derelle¹, I. Ribet-Mohamed¹, M. Caes¹, S. Bernhardt¹, L. Rubaldo³

¹ONERA, France; ²Université Paris-Sud, Orsay, France; ³Sofradir, Palaiseau, France; <u>maxence.guenin@onera.fr</u>

Avec l'augmentation de la température de fonctionnement des détecteurs infrarouge, l'étude de la stabilité temporelle de la qualité image, et notamment l'étude des pixels dits clignotants (ou RTS pour random telegraph signal) est devenue primordiale. Cet article présente notre démarche, appliquée aux détecteurs HgCdTe.

MODELES DE CAVITES LASERS "STABILISEES" GEOMETRIQUEMENT

A. Aissani, S. Leghmizi

USTHB, Algérie; ah.aissani@yahoo.com

Le but est de, montrer que les modèles de cavités lasers, dites « stabilisés », proposés dans la littérature, ne permettent pas d'obtenir une forme de raie symétrique quel que soit les paramètres de contrôle. Nous proposons alors une structure géométrique de cavité pour laquelle la raie est systématiquement symétrique, et utilisable en métrologie.

Diffuse correlation tomography sensitivity to Brownian motion in the transport regime

<u>U. Tricoli^{1,2}, C. MacDonald², T. Durduran³, A. Da Silva², V. Markel²</u>

¹Institut Langevin, France; ²Institut Fresnel, France; ³ICFO, Spain; <u>ugo.tricoli@espci.fr</u>

We apply first order perturbation theory to the scalar radiative transport equation for the temporal field autocorrelation function to study diffuse correlation tomography (DCT) and speckle contrast optical tomography (SCOT) sensitivity to changes in the Brownian motion of the constituent scattering particles.

GENERATEUR ET ANALYSEUR DE POLARISATION RAPIDE

O. Jacquin, E. Lacot, O. Hugon

Université Grenoble Alpes, France; olivier.jacquin@univ-grenoble-alpes.fr

Nous présentons un système optique qui permet de générer ou d'analyser rapidement un état de polarisation quelconque. Des mesures expérimentales valident la possibilité de générer une polarisation rectiligne tournant à plusieurs mégahertz, ainsi que la possibilité de changer d'état de polarisation en quelques centaines de nanosecondes.

O5-E: Session Orale Horizons #3

Heure: Jeudi, 05.07.2018: 8:30 - 10:30 · Salle: Amphi Le Chatelier

8:30 - 9:30

Tutoriel

Des fluides de lumière dans des réseaux de cavités en semiconducteur

J. Bloch

CNRS, France; jacqueline.bloch@c2n.upsaclay.fr

Les microcavités en semi-conducteur sont une plateforme versatile pour l'émulation de différents systèmes physiques et l'exploration des systèmes ouverts en interaction. Après une introduction sur les propriétés générales des microcavités, j'illustrerai par des exemples, les potentialités de ce système photonique non-linéaire.

9:30 - 10:00

Invitée

Les pérovskites hybrides halogénées: un nouveau semiconducteur pour le photovoltaïque et l'émission de lumière

E. Deleporte

ENS Cachan, France; emmanuelle.deleporte@ens-cachan.fr

Nous étudierons les propriétés excitoniques des pérovskites hybrides halogénées. Ces propriétés excitoniques peuvent être ajustées en jouant sur la composition des molécules et la mise en forme des cristaux (couches minces, monocristaux).

10:00 - 10:30

Invitée

NANOCRISTAUX COLLOIDAUX INFRAROUGES

E. Lhuillier

Sorbonne université, CNRS; el@insp.upmc.fr

Après uneintroduction aux nanocristaux colloïdaux et leurs applications, je me focaliserais sur les nanocristaux infrarouges et leur intégration pour la photodétection. Pour finir, je discuterais de l'émergence des transitions intrabande dans les nanocristaux comme nouvelle stratégie pour explorer les longueurs d'onde infrarouge.

O6-E: Session Orale Horizons #4

Heure: Jeudi, 05.07.2018: 11:00 - 12:30 · Salle: Amphi Le Chatelier

11:00 - 12:00

Tutoriel

Surprises dans la diffusion multiple de la lumière

R. Carminati

ESPCI Paris, France; remi.carminati@espci.fr

Après une introduction générale à la problématique de la diffusion multiple de la lumière dans des milieux désordonnés, nous montrerons que dans ce sujet pourtant largement étudié des surprises peuvent émerger, permettant d'envisager de nouvelles approches pour l'imagerie, la détection ou la communication en milieux complexes.

12:00 - 12:30 Invitée

Wavefront shaping - Every photon counts

I. Vellekoop

Biomedical Photonic Imaging group, University of Twente, The Netherlands; i.m.vellekoop@utwente.nl

Fast wavefront shaping is today used in biomedical applications to achieve imaging inside scattering media such as the brain. In our presentation, we show that a remarkably low number of scattered photons has to be collected in order to shape a wavefront that counteracts the effect of the scattering medium.

O8-E: Session Orale Horizons #5

Heure: Vendredi, 06.07.2018: 11:00 - 12:30 · *Salle:* Amphi Le Chatelier 11:00 - 11:45

Tutoriel

Mille milliards de mille planètes !

P. Baudoz

LESIA - Observatoire de Paris, France; Pierre.Baudoz@obspm.fr

Alors que le nombre de planètes extrasolaires augmente rapidement, il est indispensable de mieux comprendre leur physique, les mécanismes de leur formation et de leur évolution. Après un tour d'horizon des connaissances sur ces nouveaux objets, la présentation se focalisera sur les missions spatiales qui permettront de mieux comprendre leur nature.

11:45 - 12:30

Tutoriel

LE SYSTEME INTERNATIONAL D'UNITES : ENFIN UN SYSTEME ENTIEREMENT BASE SUR LES CONSTANTES DE LA PHYSIQUE

<u>T. Quinn</u>

BIPM, France; tjqfrs@gmail.com

Fin 2018, une nouvelle définition du Système international d'unité sera adoptée, et pour la 1ère fois sera basée sur les constantes fondamentales de la physique. Cet exposé décrira pourquoi nous avons besoin d'un système de mesure uniforme, accessible dans le monde entier et stable à long terme et comment nous sommes arrivés à la réforme actuelle.

IMAGERIE CONFOCALE DE FLUORESCENCE A HAUTE CADENCE CHEZ LA SOURIS EN COMPORTEMENT LIBRE

Clara Dussaux¹, Vivien Szabo², Yan Chastagnier², Jozsua Fodor¹, Jean-François Léger¹,

Laurent Bourdieu¹, Julie Perroy² and Cathie Ventalon¹

¹ Institut de biologie de l'Ecole normale supérieure (IBENS), Ecole Normale Supérieure, CNRS, INSERM, Université de Recherche PSL, 46 rue d'Ulm, Paris, 75005, France

² Institut de Génomique Fonctionnelle, CNRS, INSERM, Université de Montpellier, 141 rue de la Cardonille, Montpellier, 34094, France

cathie.ventalon@ens.fr

Résumé

Nous avons développé un nouveau fibroscope permettant l'imagerie confocale à balayage ligne-à-ligne et à balayage multipoint au moyen d'une matrice de micromiroirs. Le dispositif permet l'imagerie de fluorescence du flux sanguin et de l'activité neuronale à des cadences supérieures à 100 Hz chez la souris en comportement libre.

MOTS-CLEFS : *microscopie confocale ; imagerie de fluorescence ; imagerie de l'activité neuronale ; souris en comportement libre*

1. INTRODUCTION

L'un des objectifs du domaine des neurosciences intégratives est d'étudier la base neurale de la perception, de la formation de la mémoire et des comportements. Pour atteindre cet objectif, il peut s'avérer utile de manipuler et d'enregistrer l'activité neuronale à l'échelle cellulaire pendant que l'animal (par exemple, une souris) exécute des tâches comportementales spécifiques. La manipulation et l'enregistrement de l'activité neuronale peuvent être effectués par microscopie optique, par photoactivation d'actionneurs optogénétiques et imagerie de rapporteurs d'activité calciques. Toutefois, l'application de ces méthodes de microscopie à des souris se comportant librement est loin d'être triviale. En effet, elle impose des contraintes de miniaturisation drastiques, puisqu'il faut disposer une partie ou la totalité du système optique sur la tête de la souris. Deux approches ont été suivies: le microscope optique peut être entièrement miniaturisé [1-4], ou un guide d'image peut être utilisé comme relais entre un système optique disposé sur une table optique et l'animal [5]. Cette seconde stratégie permet de s'affranchir partiellement des contraintes de miniaturisation et d'implémenter des méthodes plus sophistiquées. En suivant cette approche, nous avons développé un fibroscope confocal à haute cadence permettant l'imagerie de fluorescence du flux sanguin et de l'activité neuronale à des cadences supérieures à 100 Hz chez la souris en comportement libre.

2. CONCEPTION DU SYSTEME OPTIQUE

Le fibroscope est composé d'un microscope confocal développé spécifiquement et offrant deux modalités d'imagerie : l'imagerie confocale à balayage ligne-à-ligne et à balayage multipoint. Il est couplé à l'animal par un guide d'image (faisceau de fibres optiques) de 2,5 m de long.

L'imagerie confocale multipoint est une variation de la microscopie confocale conventionnelle qui consiste à éclairer l'échantillon avec un réseau de points lumineux créé avec une matrice de pinholes (trous de filtrage), et à détecter la fluorescence à travers la même matrice. La matrice est scannée rapidement pour éclairer complètement le champ de vue pendant l'acquisition d'une seule image avec une caméra. Ce système permet une amélioration significative de la vitesse d'imagerie par rapport à la microscopie confocale conventionnelle (atteignant des cadences supérieures à 100 Hz) tout en conservant une capacité de sectionnement optique et une résolution similaires. Dans la mise en œuvre classique, la matrice de pinholes est imprimée sur un disque tournant à grande vitesse (microscopie à disque rotatif). Dans notre cas, comme dans [6], cette matrice est créée à l'aide d'une matrice de micro-miroirs (DMD). Le taux de rafraîchissement rapide de notre DMD (16 kHz) permet de déplacer la matrice à grande vitesse, sans pièce mobile. De plus, la taille et la densité des pinholes peuvent être facilement adaptées aux paramètres de l'échantillon imagé.

Nous avons également mis en place un mode de balayage ligne-à-ligne, pour lequel une ligne entière de l'échantillon est illuminée simultanément, au moyen du DMD. Contrairement à la modalité précédente, la fluorescence collectée par le guide d'image est directement imagée sur la caméra sans être réfléchie sur le DMD, ce qui permet d'augmenter le signal mesuré. Le masque de détection - une ligne horizontale - est créé directement sur la caméra fonctionnant en mode "feuille de lumière", comme dans [7]. Les lignes d'illumination et de détection sont balayées simultanément pour obtenir une image à 2D.

3. EXPERIENCES CHEZ LA SOURIS EN COMPORTEMENT LIBRE

A l'aide de notre fibroscope, nous avons réalisé l'imagerie confocale rapide de la microvascularisation dans le cortex de souris anesthésiées et éveillées, après l'injection intraveineuse d'une protéine dextran fluorescente rouge (Fig. 1). Les images peuvent être enregistrées à haute cadence (jusqu'à 300 Hz) et à des profondeurs allant jusqu'à 120 μ m. Nous avons mesuré la vitesse des globules rouges et montré une augmentation significative de cette vitesse chez les souris éveillées par rapport aux souris anesthésiées ($\Delta v / v = 1.2$, n = 40 vaisseaux chez 4 souris). Ensuite, nous avons démontré l'imagerie de l'activité neuronale à des cadences >100 Hz dans le cortex et l'hippocampe de souris se comportant librement. Dans le deux cas (imagerie de la vascularisation et de l'activité), le contraste des images confocales est bien supérieur à celui des images enregistrées par microscopie plein champ, avec un gain d'un facteur 100 pour la microvascularisation (Fig. 1).



Fig. 1 : A. Image d'une souris se comportant librement avec la sonde du fibroscope fixée sur le crâne. B-C. Images par microscopie confocale à balayage multipoint (B) et à par microscopie plein champ (C) de microvaisseaux dans le cortex d'une souris éveillée en comportement libre. Cadence d'imagerie: 150 Hz.

Références

- [1] K. K Ghosh et al. Nat Methods 8, 871, (2011).
- [2] J. Sawinski, et al. PNAS 106, 19557, (2009).
- [3] W. Zong, et al, Nature Methods, (2017)
- [4] Ziv, Y. et al. Nature Neuroscience 16, 264, (2013).
- [5] Szabo, V. et al. Neuron 84, 1157, (2014).
- [6] F. P. Martial, et al. Plos One 7, e43942 (2012).
- [7] M. Hughes et al, Biomed Opt Express. 6,1241–1252 (2015).

IMAGERIE SUPER-RÉSOLUE SUB-DIFFRACTIVE PAR FIGURES DE MOIRÉE

Marco Pascucci¹, Jérôme Gateau², Ori Katz³, Sivaramakirshnan Ganesan¹, Hervé Rigneault⁴, Gilles Tessier¹, Valentina Emiliani¹, Marc Guillon¹

¹ Laboratoire de Neurophotonique, CNRS UMR 8250, Université Paris Descartes, 75006 Paris, France ² Laboratoire d'Imagerie Biomédicale, CNRS UMR S1146, UMR 7371, Université Pierre et Marie Curie, 75006 Paris, France

³ Advanced Imaging Laboratory, The Hebrew University of Jerusalem, Jerusalem, Israel ⁴ Institut Fresnel, CNRS UMR 7249, Université d'Aix-Marseille, 13013 Marseille, France

marc.guillon@parisdescartes.fr

Résumé

La microscopie à illumation structurée non-linéaire permet d'imager en dessous de la limite de diffraction. Ce résultat est obtenu en saturant une transition optique avec un patron d'illumination fortement contrasté. La limite de résolution atteignable n'est alors plus limitée par les lois de la diffraction mais dépend du taux de saturation de la transition. Cependant, en milieu complexe tel que pour des tissus biologiques, la maitrise du patron d'illumination est difficile. De la propagation de faisceaux lasers à travers de tels milieux diffusant résultent des figures de moirées aléatoires (*speckle*). De manière intéressante, ces figures lumineuses aléatoires contiennent une forte densité de vortex optiques tels que ceux usilisés en microscopie à super-resolution STED (*STimulated Emission Depletion*). Ici, nous démontrons la possibilité d'obtenir des images super-resolues en trois dimensions par l'exploitation de figures de moirées.

MOTS-CLEFS : Microscopie à super-résolution ; moirées ; vortex optiques

La microscopie de fluorescence à super-resolution s'est imposée comme un outil majeur en biologie pour dévoiler des processus ayant lieux à l'échelle nanométrique. Imager en dessous de la limite de diffraction est possible en excitant les sondes fluorescentes dans un régime non-linéaire, soit par un processus stochastic binaire (à basse intensité) [1], soit dans des conditions de saturation (à forte intensité) [2, 3]. Dans ce dernier cas, le processus optique saturé peut être, par exemple, l'absorption ou l'émission stimulée. L'illumination par des patrons d'intensité particuliers et fortement contrastés apparait dans ces conditions fondamentale.

Dans des régimes d'excitation linéaire (non-saturés), la microscopie à illumination structurée par des franges [4] ou des moirées [5] a permis d'améliorer la résolution d'un facteur deux par rapport à de l'imagerie traditionelle, cette amélioration étant également possible le long de l'axe de propagation [6]. Imager l'échantillon en trois dimensions requiert traditionellement d'imager chacun des plans transverses, ce qui, dans des conditions de saturation, n'est pas possible du fait de la fragilité des sondes fluorescentes qui ont tendance à se dégrader sous forte intensité. Pour cette raison, l'imagerie tridimensionelle super-résolue par illumination structurée n'a pas permis, jusqu'à présent, d'imager avec un facteur d'amélioration plus grand que deux.

Outre que les milieux complexes tels que les tissus biologiques génèrent spontanément des patrons d'intensité de moirée, nous remarquons ici, et contrairement aux apparences, que la lumière aléatoire présente deux atouts remarquables pour la microscopie à super-résolution : premièrement que la lumière aléatoire contient une forte densité de vortex optiques tels que ceux utilisés en microscopie super-résolue par émission stimulée (STED) [2] et deuxièmement, que la structure tri-dimensionelle de la lumière aléatoire fait que les moirées apparaissant dans deux plans transverses differents sont statistiquement non-corrélées.

De ces deux propriétés, nous avons tiré : i) qu'il est possible de confiner la lumière dans des dimensions sub-diffractives grâce aux vortex optiques présents dans les champs optiques aléatoires [7] et ii) qu'une imagerie tri-dimentionelle est possible par l'acquisition d'une unique image bi-dimensionelle [8] (Fig. 1), en exploitant les propriétés de quasi-orthogonalité des moirés apparaissant dans des plans distincts. Enfin, dans la perspective de réaliser de la microscopie par émission stimulée par moirées, requérant la superposition de deux faisceaux (excitation et des-excitation) de profiles inversés, nous avons montré qu'il est possible d'échanger les vortex optiques et les maxima d'intensité de manière déterministe et ce, à travers des milieux fortement diffusants [9] et sans aucune caractérisation préalable du diffuseur.



FIGURE 1 : Imagerie super-résolue tri-dimentionelle (3D) par excitation saturée. L'acquisition d'une unique image (b) est réalisé par simple balayage bi-dimentionelle de l'objet par la figure de moirée (a). La déconvolution par la réponse impulsionelle 3D préalablement caractérisée (c) permet de retrouver la distribution 3D de fluorophores.

Références

- E. Betzig, G. H. Patterson, R. Sougrat, O. W. Lindwasser, S. Olenych, J. S. Bonifacino, M. W. Davidson, J. Lippincott-Schwartz, and H. F. Hess, "Imaging intracellular fluorescent proteins at nanometer resolution," *Science*, vol. 313, no. 5793, pp. 1642–1645, Sep 2006.
- [2] S. W. Hell and J. Wichmann, "Breaking the diffraction resolution limit by stimulated emission : stimulatedemission-depletion fluorescence microscopy," *Opt. Lett.*, vol. 19, no. 11, pp. 780–782, 1994.
- [3] M. Gustafsson, "Nonlinear structured-illumination microscopy : Wide-field fluorescence imaging with theoretically unlimited resolution," *Proc. Nat. Ac. Sci.*, vol. 102, no. 37, pp. 13 081–13 086, Sep 2005.
- [4] ——, "Surpassing the lateral resolution limit by a factor of two using structured illumination microscopy," *J. Microsc.*, vol. 198, no. 2, pp. 82–87, May 2000.
- [5] E. Mudry, K. Belkebir, J. Girard, J. Savatier, E. L. Moal, C. Nicoletti, M. Allain, and A. Sentenac, "Structured illumination microscopy using unknown speckle patterns," *Nat. Photonics*, vol. 6, no. 5, pp. 312–315, May 2012. [Online]. Available : http://dx.doi.org/10.1038/nphoton.2012.83
- [6] M. G. Gustafsson, L. Shao, P. M. Carlton, C. J. R. Wang, I. N. Golubovskaya, W. Z. Cande, D. A. Agard, and J. W. Sedat, "Three-dimensional resolution doubling in wide-field fluorescence microscopy by structured illumination," *Biophysical Journal*, vol. 94, no. 12, pp. 4957 4970, 2008. [Online]. Available : http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006349508703606
- [7] M. Pascucci, G. Tessier, V. Emiliani, and M. Guillon, "Superresolution Imaging of Optical Vortices in a Speckle Pattern," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 116, no. 9, p. 093904, Mar 2016. [Online]. Available : https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.116.093904
- [8] M. Pascucci, S. Ganesan, O. Katz, V. Emiliani, and M. Guillon, "Three-dimensional super-resolution microscopy with speckle-saturated fluorescence excitation," *ArXiv*, vol. abs/1710.05056, 2017. [Online]. Available : http://arxiv.org/abs/1710.05056
- [9] J. Gateau, H. Rigneault, and M. Guillon, "Complementary speckle patterns : Deterministic interchange of intrinsic vortices and maxima through scattering media," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 118, p. 043903, Jan 2017. [Online]. Available : https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.118.043903

IMPULSIONS ULTRA-BREVES INFRAROUGES POUR DES SOLUTIONS 3D DANS LES MICROTECHNOLOGIES SILICIUM

Margaux Chanal¹, Maxime Chambonneau¹, Alexandros Mouskeftaras¹, Raphaël Clady¹, Olivier Utéza¹, David Grojo¹

¹ Aix-Marseille University, CNRS, LP3 UMR 7341, 13009 Marseille, France <u>david.grojo@univ-amu.fr</u>

Résumé

Les propriétés du silicium empêchent sa modification dans le volume avec des impulsions lasers femtosecondes focalisées de manière conventionnelle. L'ionisation non-linéaire induit néanmoins des microplasmas offrant de nouvelles modalités pour l'analyse à l'intérieur des dispositifs de microélectronique. L'étude des microplasmas est également à l'origine d'une solution inspirée de la microscopie en immersion solide pour augmenter la densité d'énergie déposée et obtenir des modifications d'indice de réfraction. Cette nouvelle capacité pourrait changer la façon dont les dispositifs de photonique sur silicium sont fabriqués.

MOTS-CLEFS : procédé laser, ionisation multiphotonique, microscopie ultra-rapide

1. INTRODUCTION

Un défi important dans le domaine des procédés par laser femtoseconde consiste à réaliser des modifications permanentes dans le volume du silicium (Si) et des autres matériaux à *gap* étroits. Les différentes tentatives expérimentales consistant à travailler avec des impulsions ultra-brèves infrarouges toujours plus énergétiques ont échoué dans les configurations d'usinage laser conventionnelles [1-3]. Nous concentrons nos travaux sur la compréhension des limitations rencontrées dans les interactions femtosecondes à une longueur d'onde de 1300 nm dans Si pour identifier complètement leurs origines, les exploiter et les contourner.

2. DES MICROPLASMAS SOUS-CRITIQUES DANS LE SILICIUM

Pour étudier la propagation non-linéaire et l'ionisation dans Si, nos développements portent sur la microcopie infrarouge. Nous concentrons en particulier nos efforts sur la reconstruction tridimensionnelle (3D) de l'intensité délivrée et des observations résolues en temps des microplasmas formés dans le matériau. Ces dernières révèlent une saturation de la densité de porteurs libres créée à $\approx 5 \times 10^{19}$ cm⁻³ [2] soit un ordre de grandeur en dessous de la densité critique du plasma et confirmant des conditions inférieures au seuil de modification permanente du matériau. L'approche permet néanmoins d'injecter sans contact et de manière non invasive des charges avec un contrôle 3D dans les dispositifs de microélectronique pour adresser des problématiques d'analyse et de sécurité [4,5]. Par comparaison avec des simulations [6], nous quantifions les forts effets non-linéaires à l'origine de la limitation de l'excitation [7]. En extrapolant la densité d'énergie qui pourrait être fournie avec des ouvertures numériques extrêmes (NA jusqu'à 3,5 dans Si), nous montrons que la technique de focalisation par immersion solide est susceptible de fournir une solution pratique pour dépasser le seuil de modification permanente dans Si [7].

2. LA MODIFICATION PERMANENTE PAR FOCALISATION EN IMMERSION SOLIDE

Par focalisation au centre d'une sphère de Si avec une ouverture effective NA \approx 3, nous dépassons le seuil de modification permanente pour des impulsions de durées inférieures à 100 fs. Comme illustré avec la figure 1, nous mesurons avec un microscope de phase infrarouge un changement d'indice de réfraction négatif localisé dans une région micrométrique. Ce contrôle permet d'envisager la fabrication de micro-dispositifs photoniques.



Fig. 1 : Modification d'indice dans une sphère de silicium avec des impulsions de 60 fs à 1300 nm. (a) dispositif pour la l'irradiation et l'observation des modifications (pointillés). BS sont des séparatrices, PBS des cubes polariseurs, DL une ligne à retard, QWP et HWP, des lames d'onde, GM des miroirs, OBJ des objectifs de microscope et TL une lentille. (a) Image en amplitude (référence bloquée) d'une modification permanente (pompe bloquée) obtenue par 1000 impulsions de 20 nJ focalisées avec NA \approx 3. (b) Image de phase correspondante reconstruite avec l'acquisition de 4 images interférentielles (*phase shifting*) et révélant une variation d'indice négative.

Au-delà de cette preuve de concept, nous développons aujourd'hui l'expérience avec la configuration en lentille astigmatique à immersion solide (ASIL) consistant à focaliser le rayonnement laser à travers un échantillon de Si hémisphérique tout en assurant un contact optique approprié avec le wafer dans lequel l'inscription laser est effectuée. Cela nous permet de réaliser des modifications similaires avec un objectif de focalisation à longue distance de travail et NA modeste (<0,3). Ceci représente une étape critique vers les développements technologiques.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La photonique sur silicium est un domaine en rapide expansion reposant sur des systèmes 2D qui sont aujourd'hui fabriqués par lithographie (SOI). L'ingénierie d'indice de réfraction par l'écriture laser ultra-rapide ouvre la voie à de nouvelles possibilités avec des architectures 3D et des plateformes monolithiques. Elle offre également la perspective d'un outil de prototypage rapide pouvant changer la façon dont les microsystèmes sont conçus et fabriqués.

REMERCIEMENTS

Ces travaux ont reçu le soutien financier du Conseil Européen de la Recherche (ERC) dans le cadre du programme Horizon 2020 (grant agreement No 724480).

Références

[1] V. V Kononenko, et al., "Delocalization of femtosecond radiation in silicon", Opt. Lett. 37, 3369 (2012).

[2] A. Mouskeftaras, et al., "Self-limited underdense microplasmas in bulk silicon induced by ultrashort laser pulses", Appl. Phys. Lett. **105**, 191103 (2014)

[3] D. Grojo, et al., "Limitations to laser machining of silicon using femtosecond micro-Bessel beams in the infrared", J. Appl. Phys. **117**, 153105 (2015).

[4] A. Mouskeftaras, et al., "Direct measurement of ambipolar diffusion in bulk silicon by ultrafast infrared imaging of laser-induced microplasmas" Appl. Phys. Lett. **108**, 41107 (2016).

[5] M. Chambonneau, et al., "Suppressing the memory state of floating gate transistors with repeated femtosecond laser backside irradiations" Appl. Phys. Lett. **110**, 161112 (2017).

[6] V.Y. Fedorov, et al., "Accessing Extreme Spatiotemporal Localization of High-Power Laser Radiation through Transformation Optics and Scalar Wave Equations", Phys. Rev. Lett. **117**, 43902 (2016).

[7] M. Chanal, et al., "Crossing the threshold of ultrafast laser writing in bulk silicon", Nature Communucitations 8, 773 (2017).

Les pérovskites hybrides halogénées: un nouveau semiconducteur pour le photovoltaïque et l'émission de lumière

<u>E. Deleporte</u> ^(a), H. Diab ^(a), F. Lédée ^(a) ^(b), G. Allard-Trippé ^(a), G. Delport ^(a), K. Jemli ^(a), F. Bretenaker ^(a), C. Arnold ^(c), C. Vilar ^(c), J. Barjon ^(c), G. Bouchez ^(c), V.L.R Jacques ^(d), A. Tejeda ^(d), J. Even ^(e), P. Audebert ^(b), J.-S. Lauret ^(a), D. Garrot ^(c)

^(a) LAC, CNRS, ENS Paris-Saclay, UPSud, Univ. Paris-Saclay, Orsay, 91405, France.

PPSM, CNRS, ENS Paris-Saclay, Univ. Paris-Saclay, 94235 Cachan, France

^(c) GEMaC, CNRS, UVSQ, Versailles, 78035, France.

^(d) LPS, CNRS, UPSud, Orsay, 91405, France ^(e) FOTON, CNRS, INSA Rennes, 35708 Rennes, France

Les cristaux moléculaires de pérovskites hybrides de formule générale ($R-NH_3$)_pPbX_n (R groupement organique, X: halogène) représentent une nouvelle classe de semiconducteurs qui a effectué une percée spectaculaire dans le monde du photovoltaïque depuis 5 ans. En effet, le développement des cellules solaires contenant les pérovskites hybrides comme matériau absorbeur de lumière a connu un développement extrèmement rapide qui a permis d'atteindre des rendements records aussi élevés que 22,7% en 2017, rentrant en compétition avec les records des cellules solaires à base de silicium. En plus des applications photovoltaïques, ces cristaux moléculaires se révélent tout à fait pertinents dans le domaine de l'émission de lumière: diodes électroluminescentes et lasers.

Ce succès fulgurant est dû au fait que les pérovskites hybrides possèdent des propriétés optiques et électroniques remarquables, combinant les avantages des semiconducteurs organiques et inorganiques. Ces propriétés excitoniques peuvent être ajustées en jouant sur la composition des molécules et la mise en forme des cristaux (couches minces, monocristaux). En particulier, nous étudierons par des expériences d'absorption, de photoluminescence et de micro-photoluminescence résolue en temps et en fonction de la temperature, les propriétés intrinsèques des excitons dans des monocristaux de pérovksites hybrides (figure 1).



Fig. 1a : Image par Microscopie Electronique à Balayage d'un monocristal de CH₃NH₃PbI₃



Fig. 1b : Photographie d'un cristal de CH₃NH₃PbBr₃



Fig. 1c : Image optique d'une couche mince de (C₆H₅C₂H₄NH₃)₂PbI₄ de 4 mm d'épaisseur

Acknowledgements

The project leading to this application has received funding from the European Union's Horizon 2020 programme, through a FET Open research and innovation action under grant agreement No 687008

NANOCRISTAUX COLLOIDAUX INFRAROUGES

Emmanuel Lhuillier¹

¹ Sorbonne Universités, UPMC Univ. Paris 06, CNRS-UMR 7588, Institut des NanoSciences de Paris, 4 place Jussieu, 75005 Paris, France

el@insp.upmc.fr

Résumé

Cet exposé se décompose en trois parties. La première partie est une introduction aux nanocristaux colloïdaux et leurs applications. La seconde partie se focalise sur les nanocristaux infrarouges et leur intégration pour la photodétection. Pour finir, je discuterais de l'émergence des transitions intrabande dans les nanocristaux comme nouvelle stratégie pour explorer les longueurs d'onde infrarouge.

MOTS-CLEFS : nanocristaux, infrarouge, photoconduction

1. INTRODUCTION

Les nanocristaux colloïdaux sont des nanoparticules de semiconducteur aux propriétés optiques ajustables via la taille. Ces particules offrent une façon alternative d'explorer le confinement quantique. Ces nanoparticules peuvent être produites à faible cout et en grande quantité par rapport aux semiconducteurs épitaxiés. Depuis leur introduction au début des années 90, la synthèse colloïdale de ces matériaux a atteint une très grande maturité. Il est ainsi possible de contrôler la composition, la taille, la dimensionnalité de ces objets et même de faire croître en solution des hétérostructures complexes. Leur utilisation comme source de lumière pour les derniers écrans LCD constitue un premier marché de près d'un milliard de dollars par an. Ces matériaux sont également très prometteurs dans l'infrarouge ou les composants optoélectroniques restent couteux et ou l'électronique organique n'est pas une alternative possible. Mon exposé va se diviser en trois parties. La première partie sera une introduction aux nanocristaux colloïdaux et sur ce qu'il est possible de faire croître en solution. La seconde partie va se focaliser sur les systèmes à faible bande interdite et leur intégration dans des composants photoconducteurs. Enfin, la dernière partie portera sur l'émergence des transitions intrabandes comme nouvelle voie de design du spectre optique des nanocristaux dans le moyen infrarouge.

La synthèse colloïdale de nanocristaux a acquis en 25 ans une maturité qui rentre à présent en compétition avec les méthodes physiques de croissance des semiconducteurs. Une large partie des éléments du tableau périodique peuvent être obtenus sous forme de nanoparticules colloïdales, même si ce sont les matériaux semiconducteurs II-VI et IV-VI qui ont atteint la plus grande maturité. Ainsi en jouant à la fois sur le matériau et el confinement quantique il est à présent possible d'ajuster la longueur d'onde du gap optique de l'UV jusqu'au THz [1]. Le contrôle de taille et de forme et donc de la dimensionnalité est également bien maitrisé, ce qui permet d'aller vers des systèmes plus complexes telles que des hétérostructures ou des structures auto-assemblées. Cette maturité a permis de faire émerger une première application grand publics pour les nanocristaux colloïdaux qui est leur utilisation comme fluorophores dans la dernière génération d'écran LCD. L'étroite largeur spectrale des nanocristaux leur permet de reproduire une plus large palette de couleur.

Dans cette première application l'excitation des nanocristaux se fait par voie optique. Un défi important pour la communauté est d'aller vers un pompage électrique. Toute la difficulté est donc d'obtenir un transport électronique efficace dans ces réseaux de nanocristaux. Dans la seconde partie de mon exposé je vais exposer cette problématique en l'illustrant avec une autre application qu'est la détection de lumière dans la gamme infrarouge [2]. Les nanocristaux colloïdaux sont assez prometteurs pour construire des dispositifs optoélectroniques dans le moyen infrarouge. Je discuterais l'importance du contrôle de la chimie de surface pour obtenir un fort couplage entre les boites quantiques qui se traduit par une mobilité augmentées pour les porteurs de charge. Par ailleurs, je discuterais de la stabilité de ces matériaux dans le temps [3].

Récemment il est devenu possible de synthétiser des nanocristaux dont la forme stable est dopé, c'est typiquement le cas de HgS ou HgSe. En plus de l'absorption interbande une transition intrabande dans le moyen infrarouge apparait [1]. Ce type de transition était jusqu'ici réservé aux hétérostructures de semiconducteur III-V, leur obtention dans les nanocristaux colloïdaux est donc très intéressante pour envisager de nouveaux design de matériaux actifs dans le moyen infrarouge. Dans cette partie je vais discuter l'origine du dopage et comment il est possible d'en contrôler le niveau [4,6] via le contrôle de la chimie de surface. Pour finir je montrerais des résultats récents qui nous ont permis de synthétiser les premiers nanocristaux optiquement actifs dans la gamme THz [6].

Références

[1] Infrared photo-detection based on colloidal quantum-dot films with high mobility and optical absorption up to the THz, E. Lhuillier, M. Scarafagio, P. Hease, B. Nadal, H. Aubin, X. Z. Xu, N. Lequeux, G. Patriache, S. Ithurria, B. Dubertret, Nano Lett 16, 1282 (2016)

[2] *Mid-infrared HgTe colloidal quantum dot photodetectors*, S. Keuleyan, E. Lhuillier, V. Brajuskovic and P. Guyot-Sionnest, Nat Photon 5, 489-493. (2011).

[3] Short wave infrared devices based on HgTe nanocrystals with air stable performances, A. Jagtap, Nicolas Goubet, C. Livache, A. Chu, B. Martinez, C. Gréboval, J. Qu, E. Dandeu, L. Becerra, S. Ithurria, F. Mathevet, M. Silly, B. Dubertret, E. Lhuillier, soumis (2018)

[4] *Surface Control of Doping in self-doped Nanocrystals*, A. Robin, C. Livache, S. Ithurria, E. Lacaze, B. Dubertret, E. Lhuillier, ACS Appl. Mat. Interface 8, 27122–27128 (2016).

[5] *HgSe self-doped nanocrystals as a platform to investigate the effects of vanishing confinement*, B. Martinez, C. Livache, L. Donald Notemgnou Mouafo, N. Goubet, S. Keuleyan, H. Cruguel, S. Ithurria, H. Aubin, A. Ouerghi, B. Doudin, E. Lacaze, Benoit Dubertret, M. G. Silly, R. P.S.M. Lobo, J. F. Dayen, E. Lhuillier, ACS Appl. Mater. Interfaces 9, 36173 (2017)

[6] *HgTe nanocrystals: beyond confinement*, N. Goubet, A. Jagtap, C. Livache, B. Martinez, H. Portales, X. Zhen Xu, R.P.S.M. Lobo, B. Dubertret, E. Lhuillier, soumis (2018).

WAVEFRONT SHAPING - EVERY PHOTON COUNTS

Ivo M. Vellekoop

Biomedical Photonic Imaging group, Department of Science and Technology, University of Twente PO Box 217, 7500 AE Enschede, The Netherlands.

i.m.vellekoop@utwente.nl

Résumé

Fast wavefront shaping is today used in biomedical applications to achieve imaging inside scattering media such as the brain. In our presentation, we show that a remarkably low number of scattered photons has to be collected in order to shape a wavefront that counteracts the effect of the scattering medium.

MOTS-CLEFS : scattering ; wavefront shaping ; diffuse media ; biomedical

Skin, paint, paper and clouds are examples of common materials that scatter light. Any reflected or transmitted light will be completely diffuse, making it impossible to look through these materials by conventional means. For long, it was believed that this limitation is a fundamental one that cannot be overcome.

In the last decade, it was shown in a series of exciting experiments that scattering is not a fundamental limitation for imaging. Indeed, it is quite well possible to focus light through layers of paint [1], or even inside it [2] by carefully shaping the wavefront of the incident light to match the exact scattering matrix of the sample. The development of wavefront shaping techniques has made it possible to image through opaque objects[3] and perform microscopy at unprecedented depths inside scattering media [4], and additionally allows one to study the fundamental aspects of wave scattering [5, 6].

Especially in biomedical applications the scattering medium (such as skin, bone or brain) is not completely static. As a result, the wavefront shaping process needs to be performed faster than the decorrelation rate of the medium. Since current state-of-the-art systems perform wavefront shaping in just a few milliseconds [7, 8], this problem could be considered solved. However, in such a short time only a limited amount of light can be collected. This raises the following question : how many scattered photons do we need to collect before we have enough information to shape a wavefront that counteracts the scattering ?

In the presentation, I will show that a remarkably low number of collected photons is needed : even collecting fewer than 0.01 scattered photon per camera pixel has proven sufficient for creating a focus [9]. This number can even be reduced further if a recently discovered type of wave correlations is used [10]. Not only are these findings good news for the deep-tissue imaging community, they also may make us re-calibrate our intuition about how photons carry information.

REFERENCES

- I. M. Vellekoop and A. P. Mosk, "Focusing coherent light through opaque strongly scattering media," Opt. Lett. 32, 2309-2311 (2007).
- [2] I. M. Vellekoop, E. G. van Putten, A. Lagendijk, and A. P. Mosk, "Demixing light paths inside disordered metamaterials," Opt. Express 16, 67-80 (2008).
- [3] S. M. Popoff, G. Lerosey, R. Carminati, M. Fink, A. C. Boccara, and S. Gigan, "Measuring the Transmission Matrix in Optics : An Approach to the Study and Control of Light Propagation in Disordered Media," Phys. Rev. Lett. 104, 100601 (2010).
- [4] R. Horstmeyer, H. Ruan, and C. Yang, "Guidestar-assisted wavefront-shaping methods for focusing light into biological tissue," Nature Photon. 9, 563-571 (2015).

- [5] A. P. Mosk, A. Lagendijk, G. Lerosey, and M. Fink, "Controlling waves in space and time for imaging and focusing in complex media," Nature Photon. **6**, 283-292 (2012).
- [6] S. Rotter and S. Gigan, "Light fields in complex media : Mesoscopic scattering meets wave control," Rev. Mod. Phys. 89, 015005 (2017).
- [7] Y. Liu, C. Ma, Y. Shen, J. Shi, and L. V. Wang, "Focusing light inside dynamic scattering media with millisecond digital optical phase conjugation," Optica 4, 280-288 (2017).
- [8] D. Wang, E. H. Zhou, J. Brake, H. Ruan, M. Jang, and C. Yang, "Focusing through dynamic tissue with millisecond digital optical phase conjugation," Optica 2, 728-735 (2015).
- [9] M. Jang, C. Yang, and I. M. Vellekoop, "Optical Phase Conjugation with Less Than a Photon per Degree of Freedom," Phys. Rev. Lett. **118**, 093902 (2017).
- [10] G. Osnabrugge, R. Horstmeyer, I. N. Papadopoulos, B. Judkewitz, and I. M. Vellekoop, "Generalized optical memory effect," Optica 4, 886-892 (2017).

DES FLUIDES DE LUMIERE DANS DES RESEAUX DE CAVITES EN SEMICONDUCTEUR

Jacqueline Bloch¹

¹ Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies, C2N - CNRS / Universités Paris Sud et Paris Saclay, Route de Nozay, 91460 Marcoussis, France

jacqueline.bloch@c2n.upsaclay.fr

Résumé

Les microcavités en semi-conducteur sont apparues récemment comme une plateforme versatile et très prometteuse pour l'émulation de différents systèmes physiques, la réalisation de systèmes synthétiques aux propriétés nouvelles et l'exploration de la physique de systèmes en interaction. Après une introduction sur les propriétés optiques générales des microcavités, j'illustrerai par quelques exemples, les potentialités de ce système photonique fortement non-linéaire.

MOTS-CLEFS : *polaritons, fluides quantiques, topologie, couplage fort lumièrematière*

1. INTRODUCTION : LES POLARITONS DE CAVITES

S'inspirer de la physique du solide pour imprimer à un système analogue des propriétés intéressantes telles que la superfluidité, ou encore l'existence d'états de bord topologiques, est un domaine de recherche particulièrement actif aujourd'hui. Des plateformes diverses sont développées allant des atomes froids, des ions piégés dans des réseaux optiques à des systèmes photoniques tels que des micro-résonateurs ou des guides d'ondes couplés. Dans ce contexte, les réseaux de microcavités en semi-conducteurs, opérant en régime de couplage fort, sont une plateforme prometteuse [1]. Dans ces microcavités, les propriétés optiques sont gouvernées par des excitations lumière-matière, appelées polaritons de cavité, qui résultent du couplage fort entre des excitons confinés dans des puits quantiques et le mode optique d'une microcavité optique. La nature mixte des polaritons se reflète dans les propriétés physiques de ces quasi-particules. Leur partie lumière leur confère une masse effective très faible, ce qui permet de les confiner latéralement dans des structures dont les dimensions typiques sont de l'ordre du micron, donc facilement contrôlables. De plus en détectant les photons qui s'échappent de la cavité, il est possible de mesurer toutes les caractéristiques physiques des états de polaritons : on peut visualiser directement les dispersions des états de polaritons (voir fig. 1a), leur fonction d'onde en amplitude et en phase, leur cohérence etc... Enfin grâce à leur partie excitonique (la partie matière), les polaritons présentent i) des nonlinéarités Kerr géantes (qui peuvent être traitées comme des interactions entre polaritons), ii) du gain ce qui permet de réaliser des lasers sur certains modes intéressants, ii) ou encore un dédoublement de Zeeman lorsqu'ils sont placés sous champ magnétique. Combinés à la possibilité de réaliser des réseaux de cavités couplées [2], toutes ces propriétés rendent le système très attractif pour la simulation de systèmes complexes [3].

2. DES RESEAUX DE MICROPILIERS COUPLES

Comme il est bien connu en physique du solide, une méthode pour générer la structure de bandes, à partir des atomes qui constituent un cristal, est la méthode des liaisons fortes. Elle consiste à placer les atomes avec leurs orbitales électroniques sur un réseau, puis à coupler ces orbitales pour générer des états collectifs qui s'organisent en bandes d'énergie. Pour réaliser des réseaux à

polaritons en suivant cette approche, la brique de base élémentaire est un pilier de taille micrométrique dans lequel les états de polaritons sont discrets et confinés dans toutes les directions. Le mode de plus basse énergie a la symétrie d'une orbitale s, le deuxième a la symétrie d'une orbitale p et est deux fois dégénéré, et ainsi de suite. On peut ensuite coupler ces chaines de micropiliers pour former des réseaux en anneaux, des réseaux linéaires 1D ou 2D.

Dans le cadre de cette présentation tutorial, je décrirai des expériences récentes qui illustrent la versatilité de cette plateforme photonique pour la réalisation de dispositifs photoniques originaux et la mise en évidence de nouveaux effets physiques :

- Une chaine de 6 piliers couplés permet d'émuler un analogue d'une molécule de Benzène (cf fig. 1b) avec des modes propres délocalisés présentant une structure fine liée à un couplage spinorbite [4]. L'émission laser de cette structure peut s'effectuer sur des modes présentant un moment orbital fini, et dont la chiralité est simplement contrôlée par la polarisation de l'excitation.
- Une chaine zigzag 1D de micropiliers (cf fig. 1c) permet d'émuler un réseau topologique de type « SSH » et de déclencher l'émission laser **sur un état de bord topologique** [5]. Le mode laser présente une robustesse particulière liée à son origine topologique.
- Il est possible d'émuler la physique de Dirac grâce à des réseaux en nid d'abeille de micropiliers couplés. Les cônes de Dirac sont visualisés directement, ainsi que les états de bords. Les bandes issues des orbitales *p* présentent une physique originale que nous aborderons dans la dernière partie de la présentation [6].



Fig. 1 : a) Intensité de photoluminescence résolue en angle et en énergie mesurée sur une microcavité planaire et montrant les branches hautes et basses de polaritons; b) et c) Images en microscopie électronique à balayage montrant b) une molécule de Benzène photonique et c) une chaine zigzag de micropiliers et schématiquement l'émission laser provenant d'un état de bord topologique.

CONCLUSION

En conclusion, nous décrirons les perspectives de ces travaux en particulier en lien avec le régime quantique. En effet, l'essentiel des expériences réalisées jusqu'à présent sur des réseaux de polaritons peuvent être décrites dans le cadre du champ moyen, c'est-à-dire en négligeant toute corrélation quantique. Pour aller au-delà de ce régime, il faut que l'interaction sur site U soit supérieure à la largeur de raie γ des polaritons. Nous discuterons les différentes approches proposées dans la littérature pour augmenter le rapport U/ γ et ouvrir la voie vers l'exploration de nouvelles phases quantiques de photons corrélés.

Références

- [1] Iacopo Carusotto and Cristiano Ciuti, Rev. Mod. Phys. 85, 299 (2013)
- [2] C Schneider et al, Rep. Prog. Phys. 80 016503 (2017)
- [3] A. Amo and J. Bloch, Comptes Rendus de l'Académie des Sciences 8, 805 (2016)
- [4] V. Sala et al., Phys. Rev. X 5, 011034 (2015)
- [5] P. St-Jean et al., Nature Photonics 11, 651 (2017)
- [6] M. Milicevic, et al., Physical Review Letters 118, 107403 (2017)

LA MICROSCOPIE MULTIPHOTON POUR L'IMAGERIE DES TISSUS BIOLOGIQUES

Marie-Claire Schanne-Klein

Laboratoire d'optique et biosciences (LOB), Ecole polytechnique, CNRS, Inserm, 91128 Palaiseau cedex, France

marie-claire.schanne-klein@polytechnique.edu

Résumé

La microscopie multiphoton est désormais la technique de référence pour l'imagerie 3D des tissus biologiques. Cette technique doit son succès à sa résolution 3D intrinsèque, très robuste en milieu diffusant, et à la variété des signaux optiques non-linéaires qu'elle peut combiner pour visualiser les différentes composantes d'un tissu.

MOTS-CLEFS : *optique non-linéaire ; biophotonique ; tissus biologiques.*

1. INTRODUCTION

Depuis l'article fondateur de W. Webb en 1990 [1], la microscopie multiphoton s'est imposée comme la technique de référence pour l'imagerie tridimensionnelle (3D) des tissus biologiques. Nous allons présenter tout d'abord ses diverses caractéristiques techniques, puis nous expliquerons l'origine physique des différentes sources de signal intrinsèques dans les tissus biologiques, avant de donner quelques exemples de développements récents.

2. LES CARACTERISTIQUES DE LA MICROSCOPIE MULTIPHOTON

La microscopie multiphoton a été développée comme une alternative à la microscopie confocale permettant d'améliorer l'imagerie en profondeur des tissus biologiques. En effet, la microscopie multiphoton est basée sur des processus optiques non-linéaires qui ne se produisent qu'au niveau du volume focal du microscope, là où l'intensité de la lumière est la plus forte. Cette localisation tridimensionnelle (3D) intrinsèque présente l'avantage d'être peu sensible à la diffusion et donc de faciliter la pénétration dans les tissus : d'une part, la lumière diffusée lors de l'excitation n'est pas assez intense pour créer un signal non-linéaire (contrairement à ce qui se passe en microscopie confocale où ces signaux parasites doivent être éliminés par un diaphragme) ; d'autre part, l'absence de diaphragme sur les voies de détection, alliée à une forte ouverture numérique de ces voies de détection, permet de détecter correctement les signaux diffusés. L'utilisation d'une excitation dans le rouge-proche infrarouge, typiquement 700-1200 nm, moins diffusée et absorbée que les excitations bleues utilisées en microscopie classique, contribue aussi à améliorer la profondeur de pénétration dans les tissus biologiques.

Au final, la microscopie multiphoton permet d'imager les tissus biologiques jusqu'à des profondeurs de quelques centaines de microns avec une résolution sub-micrométrique (environ 300 nm en latéral et 1,0-2,0 μ m en axial pour des ouvertures numériques proches de 1,0). Cette profondeur d'imagerie peut varier très fortement en fonction de la nature du tissu et des signaux observés. Par ailleurs, c'est une technique globalement peu invasive car basée sur une excitation laser femtoseconde de forte puissance crête, mais de puissance moyenne modérée (en général un laser Titane-saphir). Ce point doit cependant être vérifié soigneusement en fonction des conditions expérimentales, notamment en imagerie *in vivo*.

Un deuxième avantage décisif de la microscopie multiphoton est son caractère multimodal : il est possible de détecter l'ensemble des signaux optiques non-linéaires connus des physiciens et pas uniquement la fluorescence excitée à 2 photons. De plus, ces différents signaux peuvent être émis

par des éléments constitutifs des tissus (imagerie endogène) et non par des colorants ou des protéines fluorescentes ajoutés artificiellement [2]. Il est alors possible d'imager en profondeur un tissu intact, sans coloration, en visualisant de manière spécifique ses diverses composantes. Cette forte spécificité est un avantage décisif de la microscopie multiphoton par rapport aux autres techniques optiques d'imagerie 3D sans marquage. Ces dernières, telles que la microscopie confocale de réflectance ou la tomographie optique cohérente, sont moins complexes et coûteuses et très peu invasives, mais néanmoins pas ou peu spécifiques.

3. LES SIGNAUX ENDOGENES EN MICROSCOPIE MULTIPHOTON

Les signaux endogènes de fluorescence excitée à 2 photons (2PEF) sont liés essentiellement à des chromophores cellulaires, notamment des molécules impliquées dans les échanges énergétiques intra-cellulaires. La microscopie 2PEF, éventuellement combinée à des mesures de durée de vie, permet donc de visualiser les cellules et leur métabolisme. Certains signaux 2PEF proviennent aussi de la kératine et de l'élastine qui sont des composantes extra-cellulaires.

Les signaux de génération de second harmonique (SHG) proviennent exclusivement de systèmes denses et non-centrosymétriques de par les propriétés de symétrie de ce signal cohérent. En pratique, les signaux SHG sont spécifiques du collagène fibrillaire (peau, cornée, tendons, os, artères...), des filaments de myosine dans les muscles et des micro-tubules. L'origine physique de ce signal à l'échelle moléculaire est la liaison peptidique elle-même [3]. Des informations complémentaires sur l'architecture 3D de ces composantes extra-cellulaires peuvent être obtenues par des mesures résolues en polarisation (direction principale, degré de désordre, ...).

Les signaux de génération de troisième harmonique (THG) ne sont soumis à aucune règle de symétrie à la différence des signaux SHG, mais ils s'annulent à cause de la phase de Gouy dans tout milieu homogène. On ne peut donc observer de signal THG que si le milieu est hétérogène optiquement à l'échelle du volume focal. En pratique, on observe les interfaces cellulaires si cellesci sont relativement épaisses (quelques centaines de nm), et les gouttelettes lipidiques ou autres organelles d'un diamètre du même ordre de grandeur [4]. Comme en SHG, des mesures résolues en polarisation permettent d'accéder à divers paramètres sur la distribution spatiale.

Les microscopies CARS (Coherent anti-Stokes raman spectroscopy) et SRS (Stimulated raman spectroscopy) se caractérisent par leur spécificité chimique puisqu'elles sondent spécifiquement un type de vibration moléculaire [5]. Elles représentent ainsi l'analogue non-linéaire de la microscopie confocale Raman. Elles requièrent un dispositif expérimental plus complexe que les autres processus multiphoton car il faut synchroniser les impulsions Laser et Stokes. En pratique, ces microscopies sont essentiellement utilisées pour imager les lipides via la vibration d'élongation à 2845 cm⁻¹ de CH₂. Là encore, une résolution en polarisation permet de sonder l'organisation de ces lipides.

Références

- W. Denk, J. H. Strickler, and W. W. Webb, "Two-photon laser scanning microscopy," Science 248, 73-76 (1990).
- [2] W. R. Zipfel, R. M. Williams, R. Christie, A. Y. Nikitin, B. T. Hyman, and W. W. Webb, "Live tissue intrinsic emission microscopy using multiphoton-excited native fluorescence and second harmonic generation.," Proc. Natl. Acad. Sci. USA 100, 7075-7080 (2003).
- [3] A. Deniset-Besseau, J. Duboisset, E. Benichou, F. Hache, P.-F. Brevet, and M.-C. Schanne-Klein, "Measurement of the second order hyperpolarizability of the collagen triple helix and determination of its physical origin.," J. Phys. Chem. B **113**, 13437-13445 (2009).
- [4] D. Débarre, W. Suppato, A. M. Pena, A. Fabre, T. Tordjmann, L. Combettes, M. C. Schanne-Klein, and E. Beaurepaire, "Imaging lipid bodies in cells and tissues using third-harmonic generation microscopy," Nat. Methods 3 47 - 53 (2006).
- [5] C. L. Evans and X. S. Xie, "Coherent Anti-Stokes Raman Scattering Microscopy: Chemical Imaging for Biology and Medicine," Annu. Rev. Anal. Chem. 1, 883-909 (2008).

LE SYSTEME INTERNATIONAL D'UNITES : ENFIN UN SYSTEME ENTIEREMENT BASE SUR LES CONSTANTES DE LA PHYSIQUE

Terry QUINN

Directeur Honoraire du Bureau International des Poids et Mesures (BIPM)

Résumé

At the 26th General Conference on Weights and Measures (CGPM) due to take place in Paris in November 2018, it is planned to adopt **a new definition of the International System of Units**, SI, based on the fixed numerical values of a set of seven defining constants, **broadly the fundamental constants of physics**. This will be the culmination of more than two hundred years of metrology and will bring into being, for the first time, the original ideas of those who created the metric system. The key is the new possibility of replacing the present definition of the unit of mass, the kilogram artefact of platinum-iridium kept at the International Bureau of Weights and Measures at Sèvres, by one based on a fixed numerical value of a fundamental constant, the Planck constant.

In my talk I shall outline how this has come about, how it will work, why we need a system of measurement that is uniform, accessible world-wide and stable in the long term and the international structures that now exist to achieve it.

POF Pro

MILLE MILLIARDS DE MILLE PLANETES !

Pierre Baudoz¹

¹ Laboratoire d'Etudes Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique (LESIA), Observatoire de Paris, Université PSL, CNRS, Sorbonne Université, Univ. Paris Diderot, Sorbonne Paris Cité, 5 place Jules Janssen, 92195 Meudon, France

Pierre.Baudoz@obspm.fr

Résumé

Alors que le nombre de planètes extrasolaires détectées augmente exponentiellement, il est maintenant indispensable de mieux comprendre leur physique, les mécanismes de leur formation et de leur évolution. Après un rapide tour d'horizon des connaissances actuelles sur ces nouveaux objets, la présentation se focalisera sur les missions spatiales planifiées qui permettront de mieux comprendre la nature des différentes classes de planètes extrasolaires.

MOTS-CLEFS : astronomie ; planètes extrasolaires ; projets spatiaux

1. INTRODUCTION

Depuis leur découverte au début des années 1990, des planètes extrasolaires ont été trouvées autour de tous les types d'étoiles, des plus simples aux étoiles à neutrons en passant par des étoiles multiples. Les planètes étant un résidu du processus de formation stellaire, elles semblent omniprésentes dans l'univers. Les estimations statistiques actuelles indiquent qu'en moyenne, chaque étoile de notre galaxie héberge au moins un compagnon planétaire (Cassan et al., 2012 [1]., Batalha, 2014 [2]). L'étude des quelques 10¹¹ planètes qui devraient exister uniquement dans notre galaxie est devenu en quelques années un thème majeur de l'astronomie moderne.

2. VERS LA CLASSIFICATION DES EXOPLANETES

Les planètes extrasolaires connues (~ 4000) nous ont apporté une nouvelle vision des sciences planétaires en général. La surprenante diversité des planètes découvertes a déjà amené la communauté scientifique à réviser les mécanismes de formation planétaires et nous a donné une vision plus claire de la place que le Système Solaire et la Terre occupent dans le contexte galactique. Les nouveaux types de planètes observées uniquement en dehors du système solaire (planètes de lave, planètes océan, Jupiters chauds, mini-Neptune, planètes jeunes, etc) conduisent naturellement à un besoin de classification.

Les informations fournies par les instruments actuels sont principalement des données orbitales et des paramètres physiques de base (la masse, le diamètre et la densité moyenne) pur certaines planètes découvertes. Cependant pour des densités très semblables (par exemple la Terre et Vénus), les planètes peuvent être très différentes en fonction de leur température d'équilibre et de la composition de leur atmosphère. L'un des enjeux des années futures est de peupler un diagramme comme celui présenté dans la figure 1 ou l'on différentie les classes de planètes en fonction de leur température d'équilibre et de leur masse. Un autre enjeu, qui est lié au premier, est de mieux comprendre l'évolution de ces différentes planètes depuis leur formation jusqu'à leur mort. Un troisième point souvent mis en avant concerne les conditions d'apparition de la vie qui ne peut être vraiment être résolu qu'en s'assurant de bien comprendre les deux points précédents.



Equilibrium Temperature

Fig. 1 : Diagramme des différentes classes d'atmosphères prédit par Leconte et al. (2014) [3]. Seules les espèces chimiques dominantes sont indiquées. Chaque ligne représente une transition d'un régime à un autre. La position et l'allure de ces «transitions» nécessitent des étalonnages à partir des observations. Les planètes du système solaire sont indiquées sur le diagramme ainsi que la position de quelques planètes plus exotiques.

3. DES INSTRUMENTS SPATIAUX POUR LES EXOPLANETES

Des grands projets d'observation sont en cours et ont été lancés pour répondre à ces questions sur les différentes classes de planètes, leur formation, leur évolution et les conditions d'apparition de la vie. Ci-dessous, un petit échantillon des missions spatiales d'observation en cours ou prévues qui sont en partie dédiées aux exoplanètes. Chaque mission sera décrite plus en détail dans la présentation orale.

- GAIA de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) a été lancée en 2013 et devrait découvrir plusieurs milliers de nouvelles planètes d'ici 2022 en déterminant leur masse avec précision.
- JWST est le futur télescope spatial de la NASA prévu pour un lancement en 2019 et qui devrait permettre d'étudier plus précisément les planètes déjà connues.
- PLATO (ESA), prévue pour un lancement en 2026, devrait fournir un catalogue de planètes autour d'étoiles brillantes et proches avec une estimation de leur densité et de leur âge.
- ARIEL (ESA), prévue pour un lancement en 2028, vise à mesurer des spectres d'une centaine de planètes en transit et en déduire la composition chimique de leur atmosphère.
- WFIRST (NASA), prévue pour un lancement entre 2020 et 2030, intègre un coronographe qui permettra l'analyse spectrale d'une dizaine de planètes avec des orbites plus éloignées que les planètes observées par ARIEL.

CONCLUSION

Dans les 20 dernières années, la communauté astronomique s'est organisée pour mettre en place une succession d'instruments permettant de mieux caractériser les différentes classes de planètes extrasolaires. Ces instruments aussi bien spatiaux que basés au sol permettent et/ou permettront de déterminer pour ces planètes : les informations orbitales, des caractéristiques physiques simples (masse, diamètre) et les composants chimiques principaux de l'atmosphère.

Références

[1] A. Cassan, D. Kubas, J.-P. Beaulieu et al., "One or more bound planets per Milky Way star from microlensing observations", Nature, vol. 481, pp. 167-169, 2012

[2] N. M. Batalha, "Exploring exoplanet populations with NASA's Kepler Mission", Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 111, pp. 12647-12654, 2014

[3] J. Leconte, F. Forget, H. Lammer, "On the (anticipated) diversity of terrestrial planet atmospheres", Exp. Astronomy, vol. 40, pp. 449-467, 2015

PHYSIQUE ATTOSECONDE AVEC DES FAISCEAUX XUV PORTANT UN MOMENT ANGULAIRE ORBITAL

David Bresteau¹, Carlo Spezzani^{1,2}, Céline Chappuis¹, Romain Géneaux¹, Bertrand Carré¹, Olivier Tchebakoff¹, Jean-François Hergott¹, Pascal D'Oliveira¹, Maël Delhinger³, Franck Delmotte³, David Dennetiere⁴, Sébastien Derossi³, Julien Lenfant¹, François Polack⁴ and Thierry Ruchon¹

¹LIDYL, CEA, CNRS, Université Paris-Saclay, CEA Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette, France
²Elettra-Sincrotrone Trieste, Area Science Park, 34149 Trieste, Italy
³Univ Paris Saclay, CNRS, Inst Opt, Lab Charles Fabry,Grad Sch, F-91127 Palaiseau, France.
⁴Synchrotron SOLEIL, BP 48, F-91192 Gif Sur Yvette, France

thierry.ruchon@cea.fr

Résumé

Dans cette communication en deux parties, nous présenterons tout d'abord les performances d'une nouvelle installation, Attolab, destinée à la physique attoseconde en phase condensée et diluée. Elle est maintenant ouverte aux utilisateurs extérieurs. La deuxième partie de cet exposé sera consacrée à la physique hautement non linéaire de la génération d'harmoniques d'ordre élevé avec des faisceaux portant un moment angulaire orbital.

MOTS-CLEFS : *Physique Attoseconde, Spectroscopie d'électrons, Moment Angulaire de la lumière.*

1. ATTOLAB – UNE NOUVELLE INFRASTRUCTURE OUVERTE

Ces dernières années, l'augmentation de la fiabilité et de la stabilité des lasers énergétiques ultrarapides basés sur la technologie Ti: Sapphire a suscité l'intérêt d'une large communauté d'utilisateurs attirés par les sources Ultra brèves dans l'ultra violet lointain (VUV). En particulier, en focalisant ces lasers sur des cibles gazeuses, le procédé de Génération Harmonique d'ordre élevé (HHG) fournit un spectre XUV qui présente des spécificités uniques quant à son haut degré de cohérence, sa faible durée, comprise entre l'attoseconde et la femtoseconde, et son excellente synchronisation avec un laser Visible-IR pouvant être utilisé pour des expériences pompe-sonde. À partir d'une longueur d'onde $\lambda = 800$ nm, les spectres HHG typiques se situent dans la gamme 10



Fig. 1 : Sélecteur spectral et temporel de la ligne Attolab- Fab 10. Trois modes de fonctionnement sont offerts, de la dizaine de femtoseconde à une centaine d'attosecondes.

eV-120 eV, ce qui peut répondre à de nombreuses applications de la physique des solides (dynamique des spins, dynamique des fermions de Dirac, les matériaux multi-ferroïques, par exemple, les oxydes) et la physique chimique en phase gazeuse (par exemple la photoionisation

résolue en temps dans la couche de cœur et de valence des atomes / molécules, la spectroscopie harmonique hautement non linéaire ...).

Sur la base de ce paysage scientifique, nous avons conçu une installation XUV ultrarapide, nommée Attolab, qui offre des ports libres aux physiciens de l'état solide et aux physico-chimistes. Dans cette communication, nous présenterons d'abord les performances et les choix technologiques pour cette ligne de lumière.

2. FAISCEAUX ATTOSECONDES PORTANT UN MOMENT ANGULAIRE

La génération de faisceaux portant un moment angulaire orbital (OAM) a récemment été étendue à l'ultraviolet extrême (XUV) grâce à cette même HHG. En pratique, un faisceau infrarouge femtoseconde intense transportant l'OAM est focalisé dans une cible de gaz pour réaliser la conversion vers l'XUV par génération d'harmonique élevée (HHG). Nous montrerons les résultats obtenus avec un faisceau de 800 nm portant 1 à 3 unités d'OAM dans différentes cibles (Argon, Neon). En champ lointain, nous observons que le profil du faisceau harmonique est en forme d'anneau et que le rayon de l'anneau ne dépend pas de l'ordre harmonique. Nous montrons que ceci est cohérent avec une augmentation linéaire de l'OAM avec l'ordre harmonique, en utilisant d'une part une analyse analytique et d'autre part, une expérience numérique complète en 4 dimensions simulant la HHG.

Par ailleurs, nous avons également mesuré la synchronisation attoseconde du peigne HHG en mettant en œuvre la technique RABBITT pour la première fois avec des faisceaux XUV transportant un OAM. En faisant correspondre les fronts de phase des harmoniques et du champ d'habillage, nous démontrons de façon originale qu'il y a une différence de deux unités dans l'OAM portés par deux ordres d'harmoniques impaires consécutives. Ceci confirme l'augmentation linéaire de l'OAM avec ordre harmonique, la pente étant déterminée par l'OAM du laser générateur. Cette mesure nous permet en outre de reconstruire la forme attoseconde de l'émission (figure 2).



Fig. 2 : (à gauche) Reconstruction expérimentale de la structure attoseconde résultant de la superposition cohérente d'ordres harmoniques élevés portant une charge topologique augmentant linéairement avec l'ordre harmonique. (à droite) Profil spatial de la 11ème harmonique pour différents poids des première et seconde trajectoires.

Références

Géneaux, R. *et al.*, 2016. *Nature Communications*, **7**, 12583. Gauthier, D. *et al.*, 2017. *Nature Communications*, **8**, 14971. Gruson, V. *et al.*, 2016. *Science*, **354**(6313), 734. Beaulieu, S. *et al.*, 2017. *Science*, **358**(6368), 1288. Ferré, A. *et al.*, 2015. *Nature Photonics*, **9**, 93. (more at http://iramis.cea.fr/LIDYL/Pisp/thierry.ruchon/Publications.html)

SURPRISES DANS LA DIFFUSION MULTIPLE DE LA LUMIERE

Rémi Carminati

Institut Langevin, ESPCI Paris, CNRS, PSL University, Paris, France

remi.carminati@espci.fr

Résumé

Après une introduction générale à la problématique de la diffusion multiple de la lumière dans des milieux désordonnés, nous montrerons que dans ce sujet pourtant largement étudié des surprises peuvent émerger, permettant d'envisager de nouvelles approches pour l'imagerie, la détection ou la communication en milieux complexes.

MOTS-CLEFS : milieux désordonnés, diffusion multiple, speckle, information

1. INTRODUCTION

L'étude de la diffusion multiple de la lumière en milieux désordonnés est stimulée d'une part par des questions fondamentales en physique mésoscopique (par exemple le rôle des corrélations à longue portée dans les figures de speckle, ou la compréhension de la localisation d'Anderson) [1,2], et par de nombreuses applications en détection, imagerie et communication (par exemple l'imagerie *in vivo* des tissus biologiques, ou la caractérisation de la matière molle) [3,4]. Après une introduction générale à la thématique, l'exposé sera articulé autour de résultats récents qui prédisent ou démontrent des comportements surprenants, parfois contre-intuitifs.

2. UN INVARIANT EN DIFFUSION DE LA LUMIERE

La longueur moyenne des trajectoires de diffusion suivies par les ondes lumineuses dans un milieu désordonné est indépendante de la microstructure (elle ne dépend que de la géométrie globale du milieu). Cette propriété d'invariance, connue pour la diffusion de particules, se généralise pour les ondes [5]. Sa vérification expérimentale a été faite récemment en optique [6]. Nous discuterons de la portée de ce résultat surprenant.

3. SPECKLES REFLECHIS ET TRANSMIS

La possibilité maintenant offerte de contrôler un front d'onde optique en régime de diffusion multiple [7,8] a permis d'aborder la détection et l'imagerie dans ou à travers des milieux fortement diffusants avec des approches nouvelles. Dans ce contexte, la question du contrôle d'un front d'onde transmis à partir d'une mesure limitée au front d'onde réfléchi se pose. Nous montrerons qu'une corrélation spatiale entre les images de speckle réfléchies et transmises subsiste, même à forte épaisseur optique [9,10]. L'information mutuelle qui persiste entre les deux images de speckle permet d'entrevoir la possibilité de contrôler en partie le speckle transmis à partir d'une mesure limitée à la réflexion [11].

4. DESORDRE CORRELE

Finalement, nous discuterons de l'influence de l'ordre partiel dans les milieux diffusants (par exemple les corrélations spatiales de position des diffuseurs) sur les propriétés photoniques. En structurant localement le désordre, il est possible de changer grandement le libre parcours moyen ou même la longueur de localisation [12-14]. Nous montrerons que dans le cas particulier de matériaux

dits hyperuniformes [15], il est possible en principe de rendre un matériau diffusant transparent, ou au contraire très absorbant sur une large bande spectrale et angulaire. L'ingénierie du désordre est une piste pour la conception de matériaux ayant des propriétés spécifiques, tout en étant fabricables à grande échelle par des procédés d'auto-assemblage.

La construction de cet exposé repose sur des travaux menés avec un grand nombre de personnes que je tiens à remercier, en particulier Jacopo Bertolotti et son équipe, Florian Bigourdan, Alexandre Cazé, Nikos Fayard, Sylvain Gigan, Arthur Goetschy, Olivier Leseur, Romain Pierrat, Stefan Rotter, Romolo Savo.

Références

[1] P. Sheng, Introduction to Wave Scattering, Localization, and Mesoscopic Phenomena (Academic Press, San Diego, 1995).

[2] E. Akkermans and G. Montambeaux, *Mesoscopic Physics of Electrons and Photons* (Cambridge University Press, Cambridge, England, 2007).

[3] A. Ishimaru, Wave propagation and scattering in random media (IEEE Press, 1997).

[4] L.V. Wang and H. Hu, *Biomedical Optics* (Wiley, 2007).

[5] R. Pierrat, P. Ambichl, S. Gigan, A. Haber, R. Carminati and S. Rotter, "Invariance property of wave scattering through disordered media", PNAS **111**, 17765 (2014).

[6] R. Savo, R. Pierrat, U. Najar, R. Carminati, S. Rotter and S. Gigan, "Observation of mean path length invariance in light-scattering media", Science **358**, 7865 (2017).

[7] I. M. Vellekoop and A. P. Mosk, "Focusing coherent light through opaque strongly scattering media", Opt. Lett. **32**, 2309 (2007).

[8] S. M. Popoff, G. Lerosey, R. Carminati, M. Fink, A. C. Boccara, and S. Gigan, "Measuring the transmission matrix in optics: An approach to the study and control of light propagation in disordered media", Phys. Rev. Lett. **104**, 100601 (2010).

[9] N. Fayard, A. Cazé, R. Pierrat and R. Carminati, "Intensity correlations between reflected and transmitted speckle patterns", Phys. Rev. A **92**, 033827 (2015).

[10] I. Starshynov, A. M. Paniagua-Diaz, N. Fayard, A. Goetschy, R. Pierrat, R. Carminati and J. Bertolotti, "Correlations between reflected and transmitted intensity patterns emerging from opaque disordered media", submitted (2018) – arXiv:1707.03622

[11] N. Fayard, A. Goetschy, R. Pierrat and R. Carminati, "Mutual information between reflected and transmitted speckle images", Phys. Rev. Lett. **120**, 073901 (2018).

[12] L. F. Rojas-Ochoa, J. M. Mendez-Alcaraz, J. J. Sáenz, P. Schurtenberger, and F. Scheffold, "Photonic properties of strongly correlated colloidal liquids," Phys. Rev. Lett. **93**, 073903 (2004).

[13] P. D. García, R. Sapienza, and C. López, "Photonic glasses: a step beyond white paint," Adv. Mater. 22, 12–19 (2010).

[14] G. M. Conley, M. Burresi, F. Pratesi, K. Vynck, and D. S. Wiersma, "Light transport and localization in two-dimensional correlated disorder," Phys. Rev. Lett. **112**, 143901 (2014).

[15] S. Torquato and F. H. Stillinger, "Local density fluctuations, hyperuniformity, and order metrics," Phys. Rev. E **68**, 041113 (2003).

[16] O. Leseur, R. Pierrat and R. Carminati, "High density hyperuniform materials can be transparent", Optica **3**, 763 (2016).

[17] F. Bigourdan, R. Pierrat and R. Carminati, "Robust enhancement of light absorption in hyperuniform scattering media", submitted (2018).