

04 - 07 JUILLET 2016

OPTIQUE



BORDEAUX 2016

COLOQ HORIZONS JNOG JRIOA CLUBS PAMO-JSM (SFP)

15° COLLOQUE SUR LES LASERS ET L'OPTIQUE QUANTIQUE 20° CONFÉRENCE HORIZONS DE L'OPTIQUE 36° JOURNÉES NATIONALES D'OPTIQUE GUIDÉE

8° JOURNÉES RECHERCHE INDUSTRIE DE L'OPTIQUE ADAPTATIVE CLUBS THÉMATIQUES DE LA SFO

3º journées du club Nanophotonique et 4º journées nationales du Club Photonique Organique **INVITÉ SPÉCIAL**

Colloque commun de la division de Physique Atomique, Moléculaire et Optique et les Journées de Spectroscopie Moléculaire de la

LA REMISE DES PRIX SFO | LA REMISE DU PRIX AIMÉ COTTON (SFP/PAMO)
L'EXPOSITION AU CŒUR DU CONGRÈS | LES RENCONTRES PÉDAGOGIQUES | LA SESSION
INDUSTRIELLE | LES STUDENT CLUBS ET CHAPTERS | LA VITRINE DE L'INNOVATION 2016

DATE LIMITE DE SOUMISSION : 1^{ER} AVRIL 2016 www.sfoptique.org



































TABLE DES MATIERES

Sessions communes

Lundi	4 juil	let 20)16
14:00 - Cér	émonie d'	ouvertu	re - S

Grand	Amphi	
14:00 14:05 14:15 14:25	Mot de bienvenue pour le comité scientifique commun et le comité d'organisation local, Philippe LALANNE Ouverture par le président de la SFO, Benoît BOULANGER Mot introductif par le président de l'Université de Bordeaux, Manuel TUNON de LARA Cluster d'excellence de l'université de Bordeaux LAPHIA, Lionel CANIONI	
14:35	Le pôle de compétitivité Route des lasers, Jean Pierre GIANNINI ou Hervé FLOCH	
14:45	L'effet Hong Ou et Mandel: au cœur de la seconde révolution quantique <u>A. Aspect</u>	1
Mar	di 5 juillet 2016	
16:00 - 1 Grand 2	Session plénière 2 Amphi	
16:00	Quantum optics in photonic nanostructures using high-energy electrons <u>A. Polman</u>	2
16:40	Confinement moléculaire : une nouvelle voie pour la nanophotonique? M. Blanchard-Desce	4
17:10	Lauréat du grand prix Léon Brillouin	•
	credi 6 juillet 2016 Session plénière 3 Amphi	
16:00	Des miroirs hors norme à l'écoute de l'espace-temps J. Degallaix, L. Balzarini, V. Dolique, R. Flaminio, D. Forest, M. Granata, B. Lagrange, L. Pinard, C. Michel, N. Straniero, J. Teillon et G. Cagnoli	7
16:30	Étude du trou noir super-massif au centre de la Galaxie avec l'instrument GRAVITY <u>G. Perrin</u>	10
17:00	Arrêter la lumière dans une fibre: la rencontre des atomes froids et de la nanophotonique <u>J. Laurat</u>	13
17:30	Art et astronomie. Impressions célestes Y. Nazé	16

Jeudi 7 juillet 2016

Grand Amphi 14:00 Générer et manipuler des photons uniques avec des atomes artificiels 14:35 Dynamiques ultrarapides paradoxales dans les lasers à fibre optique P. Grelu 15:10 Génération d'harmoniques, molécules chirales et dynamiques ultrarapides S. Beaulieu, A. Comby, R. Géneaux, V. Blanchet, D. Descamps, A. Ferré, G. Garcia, Y. Mairesse, E. Mével, L. Nahon, S. Petit, 21 B. Pons, T. Ruchon et B. Fabre 15:40 2015, Année de la Lumière en France est un immense succès! 24 C. Subran 16:00 Clôture et remerciements Mardi 5 juillet 2016 14:00 - Rencontres pédagogiques **Grand Amphi** 14:00 Quelques opticiennes (pas assez) célèbres 25 14:20 Le MOOC 'Physique des objets de quotidien' U. Delabre 14:35 Une approche expérimentale de l'optique en licence 27 14:55 Le plateau pédagogique laser de l'Université de Bordeaux au service de la formation initiale et continue 28 I. Manek-Hönninger 15:10 Mallette pédagogique pour l'holographie : comment faire des expériences pour l'enseignement supérieur en s'affranchissant simplement des vibrations parasites 29 14:00 - Session industrielle Amphi D 14:00 Photonique mondiale, stratégie et perspectives C. Subran 14:15 CNOP - Photonique française, actions et perspectives P. Brégi 14:30 ALPhANOV - Création d'entreprises autour des lasers à fibres: enjeu de l'intégration 32 B. Appert-Collin POIETIS, La start-up à l'interface photonique - bioimpression tissulaire 14:45 B. Viellerobe 33 Accélérateur innovants de particules et de rayonnement par laser ultra-intense 15:00 F. Sylla..... 34 Présentations flash de 5 minutes 15:15 17:30 - Assemblée Générale de la SFO **Grand Amphi** 17:30 Assemblée Générale

14:00 - Session plénière 4

18:30 - Session étudiante

Quiz

Amphi D 18:30

Sessions orales

Mercredi 6 juillet 2016

9:15 - JNPO - M	latériaux et	propriétés
-----------------	--------------	------------

Amphi	$\overline{\mathbf{G}}$	
9:15	Potentialités d'applications de matériaux hybrides pour l'optique et la photonique R. Mahiou, D. Boyer, A. Potdevin et G. Chadeyron	35
9:45	Influence de modifications structurales de composés diaziniques de type push-pull sur les propriétés d'émission et d'optique non linéaire S. Achelle, J. Rodriguez-Lopez et F. Robin-Le Guen	37
10:00	Fonctionnalisation de surfaces polarisées M. Bouriga, N. McClenaghan, M. Dussauze, L. Vellutini, T. Buffeteau et V. Rodriguez	39
	JNPO - Plasmonique Moléculaire	
Amphi	\mathbf{G}	
11:00	Nanostructures Plasmoniques et Réponses Optiques de Systèmes Hybrides : un Enjeu Scientifique pour Chimistes et Physiciens S. Parola.	41
11:30	Inducing Fano resonances through long-range interaction I. Ragheb, G. Lévi, J. Aubard, L. Lecaque-Boubekeur, S. Lau-Truong, J. Grand et N. Felidj	42
11:45	Effet plasmonique de réseau périodique de nanoparticules métalliques sur les propriétés optiques et électriques des OLEDs	
	S. Khadir, M. Chakaroun, A. Fischer, O. Lamrous et A. Boudrioua	43
9:15 - <u>J</u> Amphi	NPO - OLED et Composants optoélectroniques organiques B	
9:15	Vers des cellules solaires photovoltaïques organiques stables	4.5
9:45	$\underline{G.\ Wantz}$	45
10.00	M. Godfroy, D. Joly, C. Aumaitre, Y. Kervella, L. Pellejà, P. Maldivi, F. Oswald, S. Narbey, E. Palomares et R. Demadrille	47
10:00	Auto-organized photonic crystals for brightness enhancement of blue OLEDs M. Mruczkiewicz, F. Dumur, A. Bertrand, A. Bousquet, M. Perrin, S. Reculusa, C. Dagron-Lartigau, L. Vignau, L. Billon et S. Fasquel	49
10:15	Réponse Impulsionnelle de micro-OLEDs soumises à des impulsions électriques nanoseconde à haute densité de courant <i>A. Chime, A. Fischer, L. Zeng, M. Chakaroun, M.W. Lee, S. Bensmida, H. Nkwawo et A. Boudrioua</i>	51
	JNPO - Capteurs et Instrumentation	
Amphi	В	
11:00	Design and fabrication of polymer-on-glass gratign couplers for biosensing application M. Diez, S. Joly, V. Raimbault, L. Oyhenart, L. Bilbao, L. Bechou, I. Obieta et C. Dejous	53
11:15	Conception de nanoparticules organiques fluorescentes Ultra-brillantes pour la nanoscopie dans le proche IR <u>J. Daniel</u> , A. Godin, G. Clermont, B. Lounis, L. Cognet et M. Blanchard-Desce	55
11:30	Polarimetric Determination of The Orientation of A Single Nano-platelet L.T. Nguyen, F. Feng, M. Nasilowski, D. Dubertret, L. Coolen et A. Maître	57
11:45	Table ronde: Organisation du club, prochaines journées photonique organique	

Stands pédagogiques

S0	Mallette pédagogique pour l'holographie : comment faire des expériences pour l'enseignement supérieur en s'affranchissant simplement des vibrations parasites A. Escarguel et R. Baude	60
S1	HOBIT: Hybrid optical benches for innovative teaching B. Bousquet, L. Canioni, JP. Guillet, M. Hachet, S. Fleck, D. Furio, B. Coulais et J. Bergognat	61
S2	La tomographie par cohérence optique : un projet expérimental <u>G. Latour,</u> M. Godard, V. Guillet et M. Jacquey	62
S3	VP2L : Un Serious Game en réalité virtuelle 3D appliqué à la formation aux technologies optique et laser <u>L. Dutertre</u> , B. Fabre, E. D'Humières, S. Petit, D. Lyoen, J. Dronval, E. Boeri et E. Cormier	63
S4	Un ensemble polyvalent d'expériences optiques de démonstration R. Mathevet	64

Présentations posters

Posters de la session PAMO/JSM

P0	Symetries vibrationnelles par imagerie raman coherente C. Cleff, H. Rigneault, S. Brasselet et J. Duboisset	66
P1	Effet Stark dynamique dans le dysprosium et l'holmium H. Li, M. Lepers, JF. Wyart et O. Dulieu	67
P2	Effets De L'orientation Sur Les Sections Efficaces Multi-Différentielles de Double Ionisation De La Molécule De Chlorure D'hydrogène S. Mokrani, H. Aouchiche et C. Champion	C 9
D2		68
P3	Génération d'impulsions attosecondes portant du moment orbital angulaire R. Géneaux, C. Chappuis, A. Camper, O. Gobert, T. Auguste et T. Ruchon	69
P4	Refroidir des ions de terre rare par laser M. Lepers, Y. Hong, JF. Wyart et O. Dulieu	70
P5	Structure moléculaire de films de mouillage étudiés par des techniques de spectroscopie vibrationnelle <u>L. Dalstein</u> , J. Liljeblad et E. Tyrode	71
P6	Biréfringence magnétique linéaire du vide sous champ magnétique pulsé <u>A. Rivère</u> , A. Cadène, M. Hartman, M. Fouché, R. Battesti et C. Rizzo	72
P7	Amplification paramétrique infrarouge dans La3Ga5,5Ta0,5O14 <u>E. Boursier</u> , P. Segonds, B. Boulanger, J. Debray, G. Archipovaite, S. Petit, J.C. Delagnes et E. Cormier	74
P8	Bandes rouges de NiH et NiD détectées par CRDS G. Dobrev, J. Morville, D. Tokaryk, A. Ross et <u>P. Crozet</u>	75
P9	Scattering of light by small clouds of cold interacting atoms Y. Sortais, S. Jennewein, M. Besbes, S. Jenkins, N. Schilder, C. Sauvan, JJ. Greffet, J. Ruostekoski et A. Browaeys	76
P10	Creation of a strongly dipolar gas of ultracold ground-state \$^ {23}\$Na\$^ {87}\$Rb molecules <u>R. Vexiau</u>	77
P11	FROG monocoup achromatique du visible à l'infrarouge moyen A. Dubrouil, S. Beaulieu, F. Catoire, E. Constant, D. Descamps, J.C. Delagnes, E. Cormier et Y. Mairesse	78
P12	Décroissance Libre de l'Induction XUV de Paquet d'Ondes de Rydberg <u>E. Bloch</u> , S. Beaulieu, R. Géneaux, D. Descamps, S. Petit, V. Blanchet, F. Légaré et Y. Mairesse	80
P13	Optical Fields To Control Ultracold atomic/molecular collisions <u>A. Orbán</u> , R. Vexiau, A. Crubellier, E. Luc-Koenig, HC. Nägerl, G. Pupillo, O. Dulieu et N. Bouloufa-Maafa	81
P14	Spectrocopie de la molécule d'ammoniac dans le proche infrarouge P. Cacciani, J. Cosleou, M. Khelkhal, P. Cermak et J. El Romh	82
P15	Photoionization of CH4, H2O and NH3 within a Sturmian Approach C. Granados-Castro, G. Gasaneo, D. Mitnik et <u>L.U. Ancarani</u>	83
P16	Laser-induced fluorescence in NiD M. Abbasi, A. Ross et P. Crozet	84
P17	Electron Impact Ionization of CH4, H2O and NH3 within a Sturmian Approach C. Granados-Castro et L.U. Ancarani	85
P18	Sources moyen infrarouge largement accordables basées sur des lasers à cascade quantique développées pour la détection de gaz L. Bizet, R. Vallon, B. Parvitte, G. Maisons, M. Carras et V. Zéninari	86
P19	Coulomb Three-body Systems with Different Masses: Ground State Calculations using Adjustable Sturmian Functions J. Randazzo et L.U. Ancarani	87
P20	Développement d'un spectromètre à diode laser pour la mesure de CO2 dans les applications à l'œnologie AL. Moriaux, R. Vallon, C. Cilindre, G. Liger-Belair, B. Parvitte et V. Zéninari	88
P21	Scattering problems with nondecaying sources: two-photon ionization as a benchmark A.I. Gomez, G. Gasaneo, D. Mitnik, M. Ambrosio et <u>L.U. Ancarani</u>	89
P22	Conception et simulation de cuves photoacoustiques de type Helmholtz miniatures pour la détection de gaz atmosphériques <u>B. Parvitte</u> , R. Vallon et V. Zéninari	90

P23	Etude spectroscopique à haute résolution de méthane vers 1,65 µm pour la mission spatiale MERLIN R. Vallon, B. Parvitte, T. Delahaye, H. Tran et V. Zéninari	91
P24	Testing the velocity distribution of atoms flying nearly-parallel to a wall P. Todorov et D. Bloch	92
P25	Continuous cold-atom inertial sensor with 1 nrad.s-1 rotation stability B. Fang, I. Dutta, D. Savoie, B. Venon, C. Garrido Alzar, R. Geiger et A. Landragin	94
P26	Réponse optique d'agrégats d'argent libres et environnés R. Schira et F. Rabilloud	95
P27	Une nouvelle spectroscopie en couche interne: ionisation et excitation simultanée de deux électrons de cœur. <u>F. Penent.</u> P. Selles, P. Lablanquie, J. Palaudoux, L. Andric, M. Nakano, Y. Hikosaka, K. Ito, T. Marchenko, O. Travnikova, G. Goldsztejn, L. Journel, R. Guillemin, D. Céolin, M. Simon, M. Piancastelli et S. Carniato	96
P28	State selected sympathetically cooled H2+ ions for precision measurements J. Heinrich, N. Sillitoe, JP. Karr, A. Douillet, T. Louvradoux et L. Hilico	97
P29	Interaction plasmonique de Casimir-Polder hors équilibre R. Messina, N. Bartolo, D. Dalvit et F. Intravaia	98
P30	Développement de senseurs à atomes froids compacts pour la navigation inertielle L. Fouché, L. Chichet, B. Barrett, B. Battelier, H. Porte, F. Napolitano et P. Bouyer	99
P31	La spectroscopie Ramsey-Comb: une méthode originale de spectroscopie haute résolution dans l'ultra-violet lointain R. Altmann, <u>S. Galtier</u> , L. Dreissen et K. Eikema	100
P32	Le myrténal et ses hydrates : caractérisation par calculs de chimie quantique et spectroscopie micro-onde M. Chrayteh, P. Dréan et T. Huet	101
P33	Dual-Species Bose-Einstein Condensates for a Weak Equivalence Principle test in microgravity G. Condon, L. Antoni-Micollier, L. Chichet, B. Barrett, B. Battelier, A. Landragin et P. Bouyer	102
P34	Expérience de diffraction d'électrons ultrarapide et présentation de résultats obtenus sur un échantillon de silicium monocristallin. G. Gallé et J. Faure	103
P35	Photoionization du radical methylidène B. Gans, F. Holzmeier, J. Krüger, C. Falvo, A. Röder, A. Lopes, G. Garcia, C. Fittschen, JC. Loison et C. Alcaraz	104
P36	Structure électronique excitée du méthylcyanoacétylène étudiée par photoabsorption VUV N. Lamarre, B. Gans, S. Douin, L. Vieira Mendes, N. De Oliveira, C. Crépin, M. Chevalier, R. Kolos, JC. Guillemin et S. Boyé-Péronne	105
P37	Probing superfluidity in a quasi two-dimensional Bose gas through its local dynamics L. Longchambon	106
P38	Mesures Atmosphériques par SpEctromètre Ultra Léger (AMULSE) dédiés à des mesures de profils verticaux des gaz à effet de serre (CO2, CH4) sous ballons stratosphériques : développement instrumental et application sur le terrain. R. Maamary, L. Joly, T. Decarpenterie, J. Cousin, N. Dumelié, B. Grouiez, G. Albora, N. Chauvin, Z. Miftah-El-Khair, D. Legain, D. Tzanos, J. Barrié, E. Moulin, M. Ramonet, FM. Bréon et G. Durry	107
P39	Backward Raman Amplification in plasma R. Nuter et V. Tikhonchuk	108
P40	Photodétachement en cavité optique D. Bresteau, C. Drag et C. Blondel	109
P41	Réactions contrôlées de cations et d'anions A. Lopes, C. Romanzin, B. Cunha De Miranda et C. Alcaraz	110
P42	Instabilités spatiales dans un nuage d'atomes froids R. Romain, A. Jallageas, P. Verkerk et D. Hennequin	111
P43	Excitation, Recombination and Dissociation of Molecular Cations in Cold Ionised Media: Mechanisms and Cross Sections	
	F. Colboc, J.Z. Mezei, S. Niyonzima, S. Ilie, M.D. Epee Epee, D.A. Little, B. Peres, V. Morel, N. Pop, M. Leppers, K. Chakrabarti, O. Motapon, D. Benredjem, A. Bultel, O. Dulieu, K. Hassouni, J. Tennyson et I.F. Schneider	112
P44	Elementary Processes Involving H2: From Early Universe Towards Star Formation J.Z. Mezei, F. Colboc, C. Coppola, O. Motapon, C. Jungen et I.F. Schneider	113
P45	Couplage Vernier d'un peigne de fréquence optique à une cavité de haute finesse pour la spectroscopie d'hydrure métallique d'intérêt astrophysique <u>J. Morville</u> , P. Crozet, L. Rutkowski et A. Ross	114

P46	N. Kravets et E. Brasselet	115
P47	Towards measuring parity violation in cold chiral molécules using vibrational spectroscopy S. Tokunaga, M. Pierens, D.B.A. Tran, R. Santagata, A. Shelkovnikov, O. Lopez, C. Daussy, C. Chardonnet, A. Amy-Klein et B. Darquié	117
P48	Vers une nouvelle mise en pratique du kelvin par spectroscopie laser B. Darquié, O. Kozlova, S. Tokunaga, C. Chardonnet, S. Briaudeau et C. Daussy	118
P49	Single-atom imaging of fermions in a quantum-gas microscope B. Peaudecerf, E. Haller, J. Hudson, A. Kelly, D.A. Cotta, G.D. Bruce et S. Kuhr	119
P50	Formation and Destruction of Molecular Ions in Cold ion-Atom Hybrid Traps H. Da Silva Junior, M. Aymar, M. Raoult et O. Dulieu	120
P51	Rydberg atoms of Ytterbium H. Lehec, A. Zuliani, W. Maineult, P. Pillet et P. Cheinet	121
P52	Génération de potentiels versatiles sur un gaz de bose dégénéré à deux dimensions JL. Ville, R. Saint-Jalm, M. Aidelsburger, L. Corman, J. Beugnon, S. Nascimbène et J. Dalibard	122
P53	Application de l'intrication spatiale à l'imagerie fantôme temporelle S. Denis, PA. Moreau, F. Devaux et E. Lantz	123
P54	Caractérisation des phases non-linéaires et des couplages spatio-temporels des amplificateurs à dérive de fréquence par la méthode D-Scan A. Volte, J.C. Delagnes, S. Petit et E. Cormier	125
P55	Diffraction d'atomes d'Argon métastables lents sur nanoréseaux F. Correia, N. Fabre, F. Perales, J. Baudon, M. Ducloy et G. Dutier	127
P56	Discriminer une Variation de Me/Mp à 1.5 μ m <u>F.L. Constantin</u>	129
P57	Etude théorique des états de Rydberg de l'ion HeH+ en utilisant le modèle Halfium 1. Bouhali, S. Bezzaouia, M. Telmini et C. Jungen	130
P58	Un ralentisseur Zeeman à aimants permanents et autres outils. <u>D. Ben Ali</u> , C. De Rossi, M. De Goer, L. Longchambon, R. Dubessy, T. Badr, A. Perrin et H. Perrin	131
P59	Ecoulements optofluidiques pilotés par chauffage laser <u>D. Riviere</u> , H. Chraibi, U. Delabre et JP. Delville	133
Posters	s des Journées Nationales d'Optique Guidée	
P60	Laser à Fibre verrouillé en phase à base de graphène comme absorbant saturable déposé sur un taper G. Semaan, <u>P. Mouchel</u> , M. Salhi, M. Le Flohic et F. Sanchez	135
P61	Compression spectrale améliorée par une modulation de phase corrective sinusoïdale <u>C. Finot</u> et S. Boscolo	138
P62	Pré-distorsion numérique à très faible complexité pour la compensation d'effets non-linéaires au sein d'un transmetteur optique CO-OFDM	
P63	M. Younes, S. Azou, N. Tanguy, P. Morel, M. Telescu et C. Diouf PICS4ALL: Faciliter l'Accès à la Conception et à la Production de Circuits Intégrés Photoniques K. Schires, D. Erasme et F. Grillot	141 144
P64	Laser picoseconde à fibre Yb à taux de répétition continûment accordable entre 11 et 18 GHz A. Aubourg, J. Lhermite, S. Hocquet, E. Cormier et G. Santarelli	147
P65	Réalisation d'une source Yb accordable tout-fibrée accordable pour la conversion de fréquence vers le domaine visible par mélange à quatre ondes dans des fibres microstructurées R. Royon, J. Lhermite, J.C. Delagnes, E. Cormier, G. Santarelli, R. Jamier, P. Roy, D. Darwich et R. Dauliat	150
P66	Laser à Fibre Dopee Erbium Integrant un Interféromètre de Mach-Zehnder pour la Generation d'impulsions Ultra Courtes à Haute Cadence R. Si Fodil, F. Amrani, A. Kellou et P. Grelu	153
P67	Réalisation de guides d'onde enterrés avec un procédé quasi-planaire	133
-	S. Calvez, A. Arnoult, PF. Calmon, A. Lecestre, C. Fontaine, A. Monmayrant et G. Almuneau	156

P68	Interactions non linéaires basées sur un accord de phase modal dans des guides GaN à très faibles pertes. M. Gromovyi, F. Semond, J. Brault, A. Courville, P. Baldi, J.Y. Duboz et M. De Micheli	159
P69	GENERATION D'IMPULSIONS PICOSECONDES HAUTE ENERGIE DANS UN OSCILLATEUR PARAMETRIQUE OPTIQUE A FIBRE ACCORDABLE AUTOUR DE 1.7 μ m R. Becheker, M. Tang, PH. Hanzard, A. Tyashev, A. Mussot, A. Kudlinski, A. Kellou, JL. Oudar, T. Godin et A. Hideur	162
P70	Stabilisation d'un laser Brillouin fibré non résonant pour la pompe : application à la génération de porteuse opto-RF ultra-pure.	1.65
P71	G. Danion, L. Frein, D. Bacquet, G. Pillet, S. Molin, L. Morvan, G. Ducournau, M. Vallet, P. Szriftgiser et M. Alouini	165
- / -	PH. Hanzard, M. Tang, L. Fang, A. Haboucha, T. Godin, I. Sagnes, C. Bachelet, JL. Oudar et A. Hideur	168
P72	Mesure in situ de vitesses de détonation par réseaux de Bragg à périodes variables S. Magne, Y. Barbarin, A. Lefrançois, V. Chuzeville, J. Luc, K. Woirin, G. Laffont et P. Ferdinand	171
P73	Pre-compensation des effets thermiques pour la montée en puissance dans une fibre apériodique à large pitch <u>D. Darwich</u> , R. Dauliat, R. Jamier, A. Benoît, K. Schuster et P. Roy	174
P74	Performances de nouveaux codes hybrides à deux dimensions MPS/ZCC dans un système CDMA optique temps/longueur d'onde C. Kandouci	177
P75	Fibre monomode polarisante à mode fondamental aplati de diamètre 30μm P. Gouriou, F. Scol, C. Valentin, Y. Quiquempois, L. Bigot, O. Vanvincq, E. Hugonnot et G. Bouwmans	180
P76	Combinaison cohérente d'une barrette de diodes laser en cavité interférométrique <u>G. Schimmel</u> , I. Doyen, S. Janicot, M. Hanna, P. Georges, G. Lucas-Leclin, J. Decker, P. Crump, G. Erbert, U. Witte et M. Traub	183
P77	Modulation en bande latérale unique et translation de fréquence optique accordable C. Guyot, J.C. Tchahame Nougnihi, A. Mottet, N. Bourriot et J. Hauden	186
P78	Contrôle électrique et magnétique de l'effet Goos-Hänchen dans une hétérostructure électro-optique / magnéto- électrique F. Bentivegna, Y. Dadoenkova, N. Dadoenkova, I. Lyubchanskii, R. Petrov et M. Bichurin	189
P79	Source Laser accordable a base des cristaux photoniques non-linéaires (PPLT-2D) H. Chikh-Touami, R. Kremer, Z. Illas, M.W. Lee, L.M. Simohamed, LH. Peng et <u>A. Boudrioua</u>	192
P80	Developement d'un endoscope pour l'imagerie Raman cohérente V. Mytskaniuk, A. Lombardini, X. Chen, S. Sivankutty, J. Wenger, R. Habert, C. Fourcade-Dutin, E.R. Andresen, A. Kudlinski et H. Rigneault	195
P81	Design D'un Laser A Miroir En Boucle Non Linéaire Pour La Génération Contrôlée De Mono- Bi- Et Tri-solitons <u>C.B.L. Mback</u> , P. Tchofo Dinda, B. Igbonacho, P. Grelu et AB. Moubissi	198
P82	Single frequency high power and low intensity noise 1064nm laser G. Guiraud, G. Santarelli et N. Traynor	201
P83	Amplification paramètrique d'impulsions femtosecondes à dérive de fréquence à 1 μ m dans la gamme μ J <u>P. Morin</u> , J. Dubertrand, P. Beaure D'Augères, G. Bouwmans, A. Kudlinski, Y. Quiquempois, A. Mussot et E. Hugonnot	204
P84	Guides d'onde OP-GaAs enterrés à faibles pertes pour la conversion de fréquence vers le moyen-infrarouge <u>S. Roux, A. Evirgen, M. Lecomte, G. Lehoucq, O. Parillaud, B. Gérard, A. Grisard et E. Lallier</u>	207
P85	Réalisation d'une source de photons uniques fibrée P. Boucher, G. Labroille et N. Treps	210
P86	Effet des résonances parasites dans les réseaux optiques sur puce avec une topologie en anneau <u>A. Parini</u> et C. Peucheret	212
P87	Mesure des nonlinéarités effectives du 3ème ordre d'un guide optique par une technique D-scan bi-directionnelle <u>S. Serna</u> et N. Dubreuil	215
P88	Contrôle du confinement des photons à l'intérieur de membranes à cristaux photoniques: Application à des dispositifs spectralement et spatialement sélectifs	210
P89	C. Blanchard, P. Viktorovitch, C. Jamois, JL. Leclercq, JP. Hugonin, C. Sauvan et X. Letartre Simulations et mesures des pénalités de chirp d'un modulateur silicium en anneau résonant O. Dubray, G. Beninca De Farias, A. Myko, O. Lemmonier, P. Grosse, I. O'Connor et S. Menezo	218
P90	Impact de la diffusion Raman sur la dynamique multi-impulsionnelle dans un laser à fibre à gestion de la dispersion	∠∠1
1 70	M. Alsaleh, P. Tchofo Dinda, T. Uthayakumar, E. Tchomgo Felenou et P. Grelu	224

P91	Passage de Lumière entre Guides d'onde Photoinduits et Analogies avec des Systèmes Quantiques Hors Résonance H. Oukraou, V. Coda et G. Montemezzani	227
P92	Stabilisation et Réduction de la Largeur de Raie d'un Laser Accordable Autour de 1,55 μ m avec une Cavité en Anneau Fibrée et Référencée. P. Grüning, A. Chaouche-Ramdane, M.W. Lee, V. Roncin, F. Du-Burck, S. Trebaol et P. Besnard	230
P93	Analyse, par la METHODE S2 AVANCEE, du couplage de mode dans une FIBRE BI-MODE soumise à une contrainte localisée. C. Castineiras	234
P94	Conception d'un photorécepteur cohérent pré-amplifié réalisé en filière PIC INP pour les applications à 100- 400 Gbit/s <u>G. Santini</u> , C. Caillaud et M. Achouche	237
P95	Génération d'un supercontinuum visible et plat dans une fibre à cristaux photoniques fortement dopée en GeO2 D. Aydin, T. North, CS. Brès, A. Monteville, D. Landais, O. Legoffic et D. Méchin	240
P96	Étude Théorique de la Propagation Optique Simultanée de Données et d'une Pompe de Forte Puissance pour une Liaison Tout-Optique de 10 km Adaptée à des Observatoires de Fond de Mer R. Hamié, E. Dimitriadou, L. Ghisa, V. Quintard, M. Guegan, A. Perennou, M. Fadlallah et A. Hamié	243
P97	Génération et manipulation d'etats multi-photon sur puce hybride P. Vergyris, T. Meany, T. Lunghi, J. Downes, M. Steel, M. Withford, O. Alibart et S. Tanzilli	246
P98	Source à Régénération Cascadée en Régime Similariton <u>T. North</u> et CS. Brès	249
P99	Vers une source de paires de photons aux longueurs d'onde telecom en fibre à coeur liquide M. Cordier, A. Orieux, R. Gabet, E. Diamanti, I. Zaquine, T. Harlé, N. Dubreuil et P. Delaye	252
P100	Auto-référencement d'un peigne de Kerr par interférométrie f- 2f <u>A. Coillet</u> , P. Del'Haye, T. Fortier, K. Beha, D. Cole, K.Y. Yang, H. Lee, K. Vahala, S. Papp et S. Diddams	255
P101	Nouveaux 'front end' tout fibrés du LULI2000 L. Meignien	258
P102	Interférométrie Adaptative pour la Réalisation d'un Capteur à Fibre Optique Multimode de Grande Sensibilité <u>A. Peigné</u> , U. Bortolozzo, S. Residori, S. Molin, D. Dolfi et JP. Huignard	261
P103	Mesure de la Rétrodiffusion dans une Cavité Résonante en Fibre Creuse pour la Gyrométrie <u>A. Ravaille</u> , G. Feugnet, F. Bretenaker, F. Benabid et G. Humbert	264
P104	CONTROL OF LIGHT IN MULTIMODE FIBER AMPLIFIERS - A Theoretical Model For Evaluating The Gain- Dependent Transmission Matrix T. Sperber, S. Gigan, N. Treps et P. Sebbah	267
P105	Une méthode de compensation hétérodyne pour le transfert de pureté spectrale O. Sahni, A.J. Walsh, L. Barry, V. Panapakkam, S. Trebaol et P. Besnard	270
P106	Détermination de la distribution radiale des pertes dans une fibre optique C. Sabatier	273
P107	Microring SOI en cavité laser fibrée pour la génération de trains d'impulsion ultra-rapides <u>M. Meisterhans</u>	276
P108	Ridge électro-optique LiNbO3 réalisé par scie circulaire de précision A. Caspar, G. Ulliac, M. Suarez, M. Häyrinen, M. Roussey, C. Calero, W. Qiu, M. Kuittinen, MP. Bernal et N. Courjal	279
P109	Sélection modale par réseau de Bragg dans un amplificateur à fibre multimode dopée Nd3+ B. Leconte, B. Cadier, H. Gilles, T. Robin et M. Laroche	282
P110	Caracterisation en bruit d'un amplificateur Brillouin large bande <u>W. Wei</u> , S. Fresnel, O. Sahni, S. Trebaol, L. Yi, Y. Jaouën et P. Besnard	285
P111	Seed Laser diode in pulsed operation: limitations and reliability investigations G. Le Galès, G. Marcello, S. Joly, G. Pedroza, A. Morisset, F. Laruelle et L. Bechou	288
P112	High energy thulium chirped pulse amplifier in all-fiber format D. Gaponov, L. Lavoute, JT. Gomes, P. Cadroas, S. Février, A. Hideur et N. Ducros	291
P113	Ultrafast Amplifier Timing Jitter and Drift Characterization <u>A. Casanova</u> , Q. D'Acremont, G. Santarelli, S. Dilhaire et A. Courjaud	294
P114	Réseaux de guides couplés en Silicium JM. Moison, C. Minot, X. Leroux, L. Vivien et N. Belabas	297

P115	Segmentation dans des guides et reseaux de guides InP en arete C. Minot, JM. Moison, E. Cambril, S. Guilet et N. Belabas	300
P116	Modélisation et caractérisation d'un laser à modes verrouillés fibré pour la génération très haute fréquence <u>V. Auroux</u> , A. Fernandez et O. Llopis	303
P117	Highly efficient nonlinear waveguides in LiNbO3 fabricated by a combination of Soft Proton Exchange (SPE) and E-beam writing. M. Neradovskiy, D. Chezganov, L. Gimadeeva, E. Vlasov, V. Kvashnin, E. Kolchina, A. Akhmatkhanov, M. Chuvakova, D.	306
	Alikin, H. Tronche, F. Doutre, P. Baldi, V. Shur et M. De Micheli	300
P118	Stabilisation de doubleurs de fréquence à fibre optique périodiquement polée L. Lablonde, Y. Hernandez, S. Guillemet et C. Corbari	308
P119	Fibres optiques multimatériaux a coeur vitrocéramique par le procédé powder in tube <u>D. Pomarede</u> , J.L. Auguste, G. Humbert, S. Chenu, G. Delaizir, JR. Duclere, M. Allix, C. Genevois, E. Veron, P. Roy, P. Thomas et G. Matzen	311
P120	Plasmonique nonlinéaire intégrée: modes asymétriques et transitions spatiales dans les guides nonlinéaires à fente M. Elsawy et G. Renversez	314
P121	Etude de la largeur de raie d'un laser à boîte quantique InAs/InP soumis à une force de rappel optique H. Huang, K. Schires, P. Poole et F. Grillot	317
P122	Dispersion engineering on silicon-germanium-on-silicon ridge waveguides for mid-infrared supercontinuum generation M. Sinobad, D. Allioux, M. Calvo, R. Orobtchouk, JM. Fedeli, S. Boutami, C. Monat, A. Mitchell et C. Grillet	320
P123	Fibre optique à maintien de polarisation fonctionnalisée avec une matrice vitreuse par l'exploitation de la technologie 'Poudre' M. Kudinova, G. Humbert, JL. Auguste et G. Delaizir	323
Posters	des Journées Nationales Photonique Organique	323
1 osters	<u> </u>	
P124	Effet Thermique Dans Les μ-OLED En Régime Impulsionnel <u>L. Zeng</u> , A. Chime, M. Chakaroun, M.W. Lee, A. Fischer, H. Nkwawo et A. Boudrioua	326
P125	Amélioration et extinction de l'électroluminescence des OLEDs par des nanoparticules plasmoniques d'argent aléatoirement évaporées dans l'hétéro-structure organique A.T. Diallo, S. Khadir, M. Chakaroun, A. Fischer et A. Boudrioua	328
P126	Utilisation de la diffusion de seconde harmonique pour sonder l'organisation interne de nanoparticules organiques à base de chromophores dipolaires	220
	J. Daniel, F. Bondu, F. Adamietz, M. Blanchard-Desce et V. Rodriguez	330
Posters	des Rencontres pédagogiques	
P127	Avantage de l'Expérience de Polarisation dans l'Enseignement des Propriétés d'Onde de la Lumière K. Nguyen Hoang Dang	332
P128	Apprentissage par projet : réalisation d'un vibromètre laser à effet doppler C. Lapre, C. Eustache, M. Party, T. Daugey et F. Devaux	333
P129	L'Optique et la lumière dans l'enseignement des Télécommunications <u>JC. Pissondes</u>	334
P130	Dispositif Pédagogique d'Holographie Numérique avec un Modulateur Spatial de Phase M. Jacquot, M. Asmad Vergara, P. Sandoz, F. Courvoisier, R. Giust, L. Froelhy et J. Dudley	335
P131	Arc en Ciel Chaotique L. Larger, M. Jacquot, Y.K. Chembo et J. Dudley	336
P132	Lightbox: le kit pedagogique R. Dubessy, L. Longchambon et C. Daussy	337
P133	Le mooc : la physique, vivez l'expérience !! S. Chenais, S. Forget et C. Daussy	338

Posters du club Horizons de l'optique

P134	Nanogravure douce induite par la composante magnétique du champ lumineux T. Yatsui, T. Tsuboi, M. Yamagushi, K. Nobusada, S. Tojo, F. Stehlin, O. Soppera et <u>D. Bloch</u>	339
P135	Moment cinétique non conventionnel de la lumière dans un faisceau Gaussien convergeant <u>R. Mathevet</u> et G. Rikken	341
P136	Luminescence excitonique de nanoparticules de ZnO synthétisées par voies supercritiques: comparaison avec l'émission d'un cristal	2.42
P137	<u>V. Jubera</u> , E. Ilin, S. Marre, M. Dumergue, P. Martin et C. Aymonier	343
	F. Devaux, PA. Moreau, S. Denis et E. Lantz	345
P138	Transformée de Fourier fractionnaire optique en temps réel <u>C. Schnebelin</u> et H. Guillet De Chatelus	347
P139	Integration of High Coherence High Power Broadly Tunable Single Frequency Semiconductor Lasers for NIR & MIR Applications <u>B. Chomet</u> , L. Ferrières, V. Lecocq, M. Myara, G. Beaudoin, I. Sagnes, L. Cerutti, S. Denet et A. Garnache	349
P140	Génération d'impulsions attosecondes portant du moment orbital angulaire <u>R. Géneaux</u> , C. Chappuis, A. Camper, O. Gobert, T. Auguste et T. Ruchon	351
P141	Imagerie fantôme temporelle avec grandissement par projection d'ombre P. Ryczkowski, M. Barbier, A. Friberg, J. Dudley et G. Genty	353
P142	Experimental Evidence of Plasmonic Superradiance P. Fauché, M. Comesana-Hermo, S. Ravaine, R. Vallée, P. Tamarat et B. Lounis	355
P143	Super-résolution par imagerie de phase quantitative P. Bon, S. Leveque-Fort, J. Wenger, B. Lounis et L. Cognet	357
P144	Breaking the acoustic diffraction limit in photoacoustic imaging with multiple-speckle illumination T. Chaigne, J. Gateau, M. Allain, O. Katz, S. Gigan, A. Sentenac et E. Bossy	358
P145	Oscillateur Paramétrique Optique continu simplement résonant à 1.6 μ m à largeur de raie ultrafine F. Bretenaker, C. Siour et A. Ly.	360
P146	Développement d'un procédé de micro-usinage laser pour le recyclage des optiques en silice du Laser MegaJoule. <u>T. Doualle</u> , L. Gallais, S. Monneret, P. Cormont, S. Bouillet, A. Bourgeade, C. Ameil et L. Lamaignère	362
P147	Filtres optiques interférentiels complexes T. Begou, F. Lemarchand, M. Lequime et J. Lumeau	364
P148	Imagerie de phase quantitative appliquée à l'analyse de l'interaction laser matière dans les matériaux et composants optiques L. Gallais et S. Monneret	367
P149	Transparent bioceramics for bioactivity and medical applications M. Prakasam, J. Locs et A. Largeteau	369
P150	Etude comparative de vibromètres pour la détection de vibrations ultrasonores C.M. Goloni, O. Jacquin, V. Girardeau, E. Lacot, O. Hugon et G. Temporão	372
P151	Imagerie sans lentille appliquée au diagnostic anatomopathologique S. Morel, L. Hervé, T. Bordy, O. Cioni, A. Delon, C. Fromentin, JM. Dinten et C. Allier	374
P152	Optomagnets generation in metallic structures by spin-orbit coupling between photon and free electrons in structured fields.	
P153	Y. Lefier, U. Fischer et T. Grosjean	376 377
P154	Corrélations entre les figures de speckle transmise et réfléchie par un milieu fortement diffusant N. Fayard, A. Goetschy, P. Réfregier, R. Pierrat et R. Carminati	379
P155	Développement d'un microscope polarimetrique de Mueller a balayage laser utilisant une swept source A. Le Gratiet, M. Dubreuil, S. Rivet et Y. Le Grand	381
P156	Plasmonique de Nanocubes Au par Microscopie de Photoémission d'Electrons, Excitation Sélective par Action de la Polarisation S. Mitiche, S. Marguet et L. Douillard	383

P15/	W. Magrini, I. Veshchunov, S. Mironov, A. Godin, JB. Trebbia, A. Buzdin, P. Tamarat et B. Lounis					
P158	Inscription De Guides D'onde Par Irradiation Laser Femtoseconde dans des Verres de Phosphate de Zinc à l'Argent A. Abou Khalil. JP. Bérubé, JC. Desmoulin, T. Cardinal, Y. Petit, R. Vallée et L. Canioni					
P159	Imagerie pompe-sonde ultra rapide avec ligne à délai acousto-optique X. Audier, N. Balla et H. Rigneault					
P160	Réponse impulsionnelle et inférence bayésienne pour la calibration de pinces optiques via la lumière rétrodiffusée F. Gillant, K. Perronet, J. Moreau, M. Richly, A. Alexandrou et N. Westbrook					
P161	Nanoantennes plasmoniques nonlinéaires : de la génération de porteurs chauds au rôle de la cristallinité R. Méjard, S. Viarbitskaya, O. Demichel, A. Bouhelier et B. Cluzel					
P162	Modal expansions of Maxwell equations and their application to optics and opto-mechanics J. Burgin et M. Perrin					
P163	Matrice d'interféromètres de Mirau micro-fabriqués comme composant d'un système OCT plein-champ multicanaux N. Passilly, S. Perrin, L. Froehly, S. Bargiel, O. Gaiffe, J. Lullin, J. Albero et C. Gorecki					
P164	Généraliser les modèles de polarisabilité aux particules diélectriques <u>A. Devilez</u> , R. Colom, B. Stout et N. Bonod	398				
P165	Apport de l'optique non-linéaire à l'imagerie infrarouge pour la détection de cibles à longue distance <u>R. Demur</u> , A. Grisard, L. Morvan, E. Lallier, N. Treps et C. Fabre	400				
P166	Génération de second et de troisième harmonique d'oxydes nanométriques en suspension J. Riporto, Y. Mugnier, C. Galez, L. Bonacina et R. Le Dantec	402				
P167	Light Sheet Microscopy for live imaging of compartmented cell systems <u>G. Recher.</u> D. Strehle, K. Alessandri, M. Feyeux, B. Gurchenkov et P. Nassoy	404				
P168	Single-shot imaging through scattering layers via bispectrum analysis of speckle T. Wu, O. Katz et S. Gigan					
P169	Etude des propriétés optiques de nanoluminophores obtenus par différentes voies de synthèse. B. Mutelet, A. Garcia, Y. Petit et L. Canioni					
P170	Microscopie topographique diffractive temps-réel J. Bailleul, B. Simon, M. Debailleul et <u>O. Haeberlé</u>	410				
P171	Superfluid light flow in a photorefractive crystal M. Garsi, M. Bellec et C. Michel					
P172	Génération Multifréquence par Photomélange avec une Tension Alternative <u>F.L. Constantin</u>	414				
P173	Fluorescence of semiconductor nanocrystals coupled to optical Tamm cavities F. Feng, W. Daney De Marcillac, X. Lafosse, S. Portalupi, M. Nasilowski, D. Dubertret, JM. Frigerio, C. Schwob, A. Maître, P. Senellart et L. Coolen	416				
P174	Nouvelle méthode de détermination d'indice de matériaux en couches minces M. Lequime, D. Stojcevski, S. Nadji, C. Koc, C. Grèzes-Besset et J. Lumeau	418				
P175	Imagerie de modes de cristaux photoniques par génération de troisième harmonique X. Checoury, Y. Zeng, I. Roland, Z. Han, M. El Kurdi, S. Sauvage, B. Gayral, C. Brimont, T. Guillet, F. Semond et P. Boucaud.	420				
P176	Contrôle cohérent de l'absorption dans les milieux désordonnés <u>A. Goetschy</u> , S.M. Popoff, S.F. Liew, S.W. Sheehan, C. Schmuttenmaer, Y. Bromberg, A.D. Stone et H. Cao	422				
P177	Propriétés optiques des auto-assemblages moléculaires sur graphène S. Le Liepvre, L. Douillard, C. Fiorini, F. Charra, AJ. Attias et P. Du	424				
Posters	du Club Nanophotonique					
P178	Microlentilles Basées sur la Diffraction par des Nano Objets Métalliques et Organiques O. Ziane, S. Zaiba, A. Tellal et P. Baldeck	426				
P179	Quenching, Plasmonic, and Radiative Decays in Nanogap-based Antennas R. Faggiani, J. Yang et P. Lalanne	428				

P180	Coupling of quasi-normal modes K. Cognée, F. Koenderink et P. Lalanne	430					
P181	Photoémission stimulée par des Plasmons de surface de réseaux et de nanoparticules métalliques : Expérience et Modélisation. H. Jouin, M. Raynaud, G. Duchateau, G. Geoffroy, N. Fedorov et P. Martin						
P182							
P183	Vibrations Acoustiques de Nanoparticules Bipyramidales : Vers des Nano-balances Multicritères J. Burgin, B. Dacosta Fernandes, P. Langot, J. Oberlé, P. Massé, M. Tréguer-Delapierre, N. Vilar Vidal et S. Ravaine						
P184	Plasmon excitation of thin metallic films by a light emitted from an STM tip M. Achlan et G. Raseev						
P185	Investigation sur les Procédés d'Usinage par Jet-Photonique en Bout de Fibres Optiques Façonnées <u>G. Chabrol</u> , J. Zelgowski, P. Twardowski, Y. Takakura, P. Pfeiffer, J. Fontaine et S. Lecler	44					
P186	Optical response of arrays of Au hemispheres on transparent substrates M. Kildemo, A. Baron, J. Banon, T. Brakstad et I. Simonsen	44					
P187	Dynamique électronique et transfert d'électron photo-induit dans des nanoparticules hybrides Ag-ZnO <u>J. Oberlé</u> , J. Burgin, B. Dacosta Fernandes, P. Langot, JP. Delville, I. Shupyk et MH. Delville	44					
P188	Plasmonique de surface opalique : une approche combinée champ proche et champ lointain <u>A. Maître</u> , C. Lethiec, G. Binard, T. Popescu, H. Frederich, P. Ngoc Hong, E. Yraola, C. Schwob, F. Charra, L. Coolen et L. Douillard	44					
P189	Méthodes de type élément fini pour la nanophotonique computationnelle S. Lanteri, C. Scheid et J. Viquerat	44					
Posters	s du Colloque sur les Lasers et l'Optique Quantique (COLOQ'15)						
P190	Application de l'intrication spatiale à l'imagerie fantôme temporelle S. Denis, PA. Moreau, F. Devaux et E. Lantz	45					
P191	Générateur de fonctions optiques à 80 GHz J. Fatome, K. Hammani, B. Kibler et <u>C. Finot</u>	45					
P192	Façonnage optique intra-cavité dans un laser impulsionnel à fibre S. Boscolo, J. Peng et <u>C. Finot</u>	45					
P193	Oscillateur Paramétrique Optique continu simplement résonant à $1.6\mu m$ à largeur de raie ultrafine <u>F. Bretenaker</u> , C. Siour et A. Ly	45					
P194	Laser picoseconde à fibre Yb à taux de répétition continûment accordable entre 11 et 18 GHz A. Aubourg, J. Lhermite, S. Hocquet, E. Cormier et G. Santarelli	45					
P195	Vers une observation de l'absorption par un atome de l'emission thermique en champ proche J.C. De Aquino Carvalho, A. Laliotis, P. Chaves De Souza Segundo, I. Maurin, M. Ducloy et D. Bloch	46					
P196	Contribution sub-Doppler en rétrofluorescence pour une vapeur atomique optiquement épaisse J.C. De Aquino Carvalho, A. Laliotis, M. Chevrollier, M. Oria et D. Bloch	46					
P197	Generation and parametric amplification of broadband phase stabilized few cycle pulses at 2.9 μ m G. Archipovaite, S. Petit, J.C. Delagnes et E. Cormier	46					
P198	Métrologie et étude des processus d'endommagement laser en régime sub-picoseconde dans les couches minces optiques <u>L. Gallais</u>	46					
P199	Oscillateur opto-RF chaotique verrouillé en fréquence <u>A. Thorette</u> , M. Romanelli, M. Brunel et M. Vallet	46					
P200	Architectures de liens optiques pour les futurs réseaux métrologiques A. Bercy, N. Quintin, WK. Lee, F. Stefani, C. Chardonnet, G. Santarelli, O. Lopez, PE. Pottie et A. Amy-Klein	47					
P201	Caractérisation des phases non-linéaires et des couplages spatio-temporels des amplificateurs à dérive de fréquence par la méthode D-Scan.	47					
P202	A. Volte, J.C. Delagnes, S. Petit et E. Cormier	47					
	<u>B. Fedrici</u> , F. Kaiser, A. Zavatta, V. D'auria et S. Tanzilli	47					

P203	Double asservissement Pound-Drever-Hall sur un interféromètre de Michelson à fibre F. Audo, JP. Coulon et F. Kéfélian	478				
P204	Laser à état solide bi-fréquence autorégulé en bruit d'intensité <u>K. Audo</u> , A. El Amili et M. Alouini	480				
P205	Developpement d'un amplificateur à 946 nm à base de fibre cristalline Nd:YAG pompée directement dans le niveau émetteur R. Baudoin, JT. Gomes, X. Délen, I. Martial, F. Balembois et P. Georges	482				
P206	Démonstration du piégeage cohérent d'atomes de césium avec un VECSEL bifréquence et bipolarisé P. Dumont, S. Janicot, F. Tricot, D. Holleville, S. Guérandel, G. Baili, L. Morvan, D. Dolfi, G. Beaudoin, I. Sagnes, P. George et G. Lucas-Leclin					
P207	Un peigne de fréquences ultrastable et accordable pour la spectroscopie moyen-IR à très haute résolution R. Santagata, B. Argence, D.B.A. Tran, O. Lopez, A. Goncharov, S. Tokunaga, D. Nicolodi, M. Abgrall, R. Le Targat, PE. Pottie, C. Chardonnet, C. Daussy, Y. Le Coq, B. Darquié et A. Amy-Klein	486				
P208	Caractérisation des Pertes Optiques dans une Cavité Fabry-Perot Micrométrique de Grande Finesse R. Metzdorff, L. Neuhaus, S. Zerkani, S. Chua, T. Jacqmin, S. Deléglise, T. Briant, A. Heidmann et PF. Cohadon	488				
P209	Diffraction d'atomes d'Argon métastables lents sur nanoréseaux F. Correia, N. Fabre, F. Perales, J. Baudon, M. Ducloy et G. Dutier	490				
P210	Génération de paires de photons intriqués aux longueurs d'ondes des télécoms F. Mazeas, W. Zhang, M. Traetta, M. Bentivegna, F. Kaiser, D. Aktas, C.A. Ramos, L.A. Ngah, T. Lunghi, X. Le Roux, E. Cassan, D. Marris-Morini, L. Vivien, L. Labonté et S. Tanzilli	492				
P211	Direct optical interfacing of CVD diamond for deported NV- based sensing experiments. L. Mayer et T. Debuisschert	494				
P212	Inegalités generalisées de spin squeezing avec des observables collectives arbitraires et des fluctuations du nombre de particules I. Saideh, S. Felicetti, P. Milman, T. Coudreau et A. Keller	495				
P213	Fluctuations d'intensité de nanolasers à semi-conducteur couplés M. Marconi, P. Hamel, A. Levenson et A. Yacomotti	497				
P214	Transfer de stabilité au moyen d'une cavité A. Chaouche-Ramdane, P. Grüning, V. Roncin et F. Du-Burck	499				
P215	Caractérisation Spectrale de l'Émission de Paires de Photons dans une Fibre à Cœur Liquide <u>T. Harlé</u> , M. Barbier, I. Zaquine et P. Delaye	501				
P216	Electrical Conductivity Measurements For Failure Aanalysis Of Laser Crystals Under High Pump Power Density W. Bolanos, S. Joly, I. Manek-Hönninger, J.C. Delagnes, E. Cormier, L. Bechou et Y. Deshayes	503				
P217	distribution de clés quantiques multi-utilisateurs avec une source semi-conductrice <u>C. Autebert</u> , J. Trapateau, A. Orieux, A. Lemaître, C. Gomez-Carbonnel, E. Diamanti, I. Zaquine et S. Ducci	505				
P218	Interférométrie atomique en cavité pour l'étude de perturbation du champ gravitationnel à basse fréquence. G. Lefèvre, L. Amand, A. Bertoldi, B. Canuel, B. Fang, R. Geiger, D. Holleville, A. Landragin, N. Mielec, S. Pelisson, I. Riou et P. Bouyer.	508				
P219	Neodymium MOPA fiber laser for strontium atom cooling. S. Rota-Rodrigo, B. Canuel, A. Bertoldi, P. Bouyer, N. Traynor et G. Santarelli	510				
P220	Discriminer une Variation de Me/Mp à 1.5 μ m F.L. Constantin	512				
P221	Génération d'oscillations micro-ondes sur porteuse optique dans un système de cavités couplées A. Armaroli, P. Féron et Y. Dumeige	513				
P222	Etude et réalisation d'une chaine laser compacte adaptée à l'allumage d'une chambre de combustion G. Amiard-Hudebine, G. Tison et E. Freysz	515				
P223	Contrôle de la durée de vie des photons d'une microcavité par effet de lumière lente <u>V. Huet</u> , A. Rasoloniaina, P. Guillemé, P. Rochard, P. Féron, M. Mortier, A. Levenson, K. Bencheikh, A. Yacomotti et Y. Dumeige	517				
P224	Ecoulements optofluidiques pilotés par chauffage laser D. Riviere, H. Chraibi, U. Delabre et JP. Delville	519				
P225	Single-pass quantum source of multimode squeezed states L. La Volpe, S. De, V. Thiel, V. Parigi, C. Fabre et N. Treps	521				

P226 Trois lasers asservis en phase pour des processus multi-photoniques cohérents M. Collombon, R. Khayatzadeh, M.R. Kamsap, G. Hagel, O. Morizot, J. Pedregosa-Gutierrez, M. Houssin, C. Champe M. Knoop				
P227	Influence des effets thermiques sur l'efficacité de génération de seconde harmonique à 488 nm d'un laser Yb fibré monomode, monofréquence à bas bruit. R. Dubrasquet, J. Boullet, N. Traynor, J.C. Delagnes et E. Cormier	525		
P228	LG-2DMOT, jet d'atomes froids canalisés et ses applications A. Chopinaud, C. Cabrera-Gutierrez, J. Ruaudel, M. Jacquey, B. Viaris De Lesegno et L. Pruvost	527		
P229	Déformation conique induite par laser A. Girot, R. Pascalie, J. Petit, H. Chraibi, U. Delabre et JP. Delville	529		
P230	Etude d'un pointeur laser à photons jumeaux C. Autebert, Y. Halioua, <u>G. Maltese</u> , A. Lemaître, C. Gomez-Carbonnel, M. Amanti, C. Sirtori et S. Ducci	531		
P231	Sources laser à 626nm et 313nm pour le refroidissement d'ions Be+. A. Douillet, J. Heinrich, N. Sillitoe, T. Louvradoux, JP. Karr et L. Hilico	533		
P232	Polarization tomography of a resonantly-excited cavity-QED device. <u>P. Hilaire</u> , C. Anton, C. Kessler, J. Demory, N. Somaschi, C. Gomez-Carbonnel, A. Lemaître, I. Sagnes, O. Krebs, D. Lanzillotti Kimura, P. Senellart et L. Lanco	535		
P233	Seeding of modulation instability in a fiber ring cavity <u>A. Bendahmane</u> , J. Fatome, C. Finot, G. Millot et B. Kibler	537		
P234	Génération de trains de photons uniques de forte indiscernabilité à l'état solide. G. Coppola	539		
P235	Soustraction de photon à partir d'un état de vide comprimé multimode <u>A. Dufour</u> , C. Jacquard, YS. Ra, C. Fabre, V. Parigi et N. Treps	541		
P236	Protocole d'informatique quantique avec des atomes froids <u>R. Romain</u> , K. Krzyzanowska, M. Copley-May, C. Maccormick et S. Bergamini	543		
P237	Mesure de front d'onde d'impulsion terahertz M. Brossard, H. Cahyadi, S. Ben Khemis, J. Degert, E. Freysz, T. Yasui et E. Abraham	544		
P238	Etude théorique des états de Rydberg de l'ion HeH+ en utilisant le modèle Halfium <u>I. Bouhali</u> , S. Bezzaouia, M. Telmini et C. Jungen	546		
P239	Propagation et Transfert de biphotons dans des réseaux de guides couplés à 3 ou 4 guides C. Minot, T. Lunghi, O. Alibart, S. Tanzilli et N. Belabas	547		
P240	Un ralentisseur Zeeman à aimants permanents et autres outils. <u>D. Ben Ali</u> , C. De Rossi, M. De Goer, L. Longchambon, R. Dubessy, T. Badr, A. Perrin et H. Perrin	549		
P241	Route vers la cohérence de microlasers à semiconducteurs <u>D. Aktas</u> , T. Wang, O. Alibart, G.L. Lippi, E. Picholle et S. Tanzilli	551		
P242	Augmenter la brillance des LED avec des concentrateurs luminescents <u>T. Gallinelli</u> , A. Barbet, A. Paul, C. Blanchard, F. Balembois, JP. Blanchot, F. Druon, P. Georges, S. Chenais et S. Forget	553		

L'EFFET HONG OU ET MANDEL: AU CŒUR DE LA SECONDE REVOLUTION QUANTIQUE

Alain Aspect1

¹ Institut d'Optique Graduate School, 2 avenue augustin fresnel, 91127 Palaiseau, France alain.aspect@institutoptique.fr

RÉSUMÉ

On sait que la seconde révolution quantique repose sur l'intrication, découverte par Einstein et Schrödinger en 1935, et dont le caractère extraordinaire est mis directement en évidence par la violation expérimentale des inégalités de Bell. Bien que découvert après ces expériences, en 1986, l'effet Hong Ou et Mandel, lui aussi basé sur l'intrication, est conceptuellement plus simple. Dans notre programme visant à revisiter les grandes étapes de l'optique quantique en remplaçant les photons par des atomes, nous avons récemment réussi à observer l'effet Hong Ou et Mandel avec des atomes d'hélium métastable. Après avoir présenté l'effet Hong Ou et Mandel original et expliqué son importance dans le développement de l'optique quantique, je décrirai notre expérience récente, et évoquerai nos projets de tests des inégalités de Bell avec des atomes intriqués.

MOTS-CLEFS : effet hong ou et mandel ; optique quantique ; atome intriqué

QUANTUM OPTICS IN PHOTONIC NANOSTRUCTURES USING HIGH-ENERGY ELECTRONS: FEMTOSECOND PLASMONIC AND PHOTONIC WAVEPACKETS ON METASURFACES

Albert Polman

Center for Nanophotonics, FOM Institute AMOLF, Amsterdam, the Netherlands polman@amolf.nl

RÉSUMÉ

We use 30 keV electrons to create femtosecond plasmonic and photonic wave packets from metallic and dielectric metasurfaces, determining their polarization-and angle-resolved emission spectra, resonant modal field density of states and dispersion, and 3D tomographic field reconstructions.

MOTS-CLEFS: cathodoluminescence, metasurfaces, wavepackets

1. Introduction

A fast electron beam passing through the surface of a polarizable material generates a single-cycle electric field oscillation near the surface that couples strongly to the free or bound electrons in the material. This ultrafast field oscillation presents a spectrally broadband excitation from deep UV to near IR, and the nanoscale electron probe size results in deep-subwavelength spatial excitation resolution. Indeed, electron beam excitation is one of the purest forms of optical excitation, directly addressing the quantum nature of optical matter.

2. EXPERIMENTS AND RESULTS

We use a 30 keV electron beam to create femtosecond plasmonic and photonic wave packets from metallic and dielectric metasurfaces. The electron beam is raster-scanned over the sample while the emitted light is collected ("cathodoluminescence"). In this way an optical excitation map is made that reflects the local optical density of states, at a spatial resolution well below the optical diffraction limit.

From the images the dispersion and local modes of resonant plasmonic and dielectric nanostructure are directly determined. In angle-resolved mode, the azimuthal and zenithal CL emission distributions are measured, probing the angular radiation profile of optical nanoantennas and allowing for momentum spectroscopy to reconstruct the optical band structure in photonic and plasmonic crystals. In polarization-resolved mode, the full polarization state of the emitted light is determined, allowing distinction between linearly and circularly polarized light in a spatially and angle-resolved way. In tomographic mode, 2D CL images are taken under multiple angles of incidence, and a 3D image of the local field distributions is obtained from a tomographic construction. We perform analytical calculations of the time evolution of the plasmonic and photonic fields and show they correspond to wave packets composed of 5-10 optical cycles.



Figure 1. Cathodoluminescence microscope developed at AMOLF using a 30 keV electron beam and a parabolic mirror light collector.

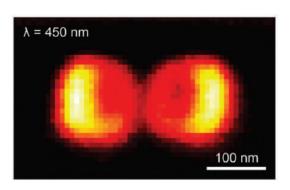


Figure 2. Cathodoluminescence image of p_x - p_x hybridized silicon Mie resonator bonding modal field at λ =450 nm.

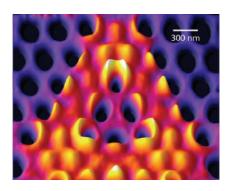


Figure 3. Cathodoluminescence microscopy image of photonic crystal cavity field distribution in SiN membrane, taken at λ =700 nm.

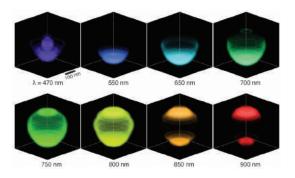


Figure 4. 3D Tomographic reconstruction of localized modes in PMMA/Au core-shell cusp cavity measured with cathodoluminescence.

- [1] For details: see: www.erbium.nl/arcis
- [2] Direct imaging of hybridized eigenmodes in coupled silicon nanoparticles, J. van de Groep, T. Coenen, S.A. Mann, and A. Polman, Optica 3, 93 (2016)
- [3] Nanoscale spatial coherent control over the modal excitation of a coupled plasmonic resonator system, T. Coenen, D.T. Schoen, S.A. Mann, S.R.K. Rodriguez, B.J.M. Brenny, A. Polman, and M.L. Brongersma, Nano Lett. **15**, 7666 (2015)
- [4] Nanoscale optical tomography with cathodoluminescence spectroscopy, A. Atre, B.J.M. Brenny, T. Coenen, A. Polman and J.A. Dionne, Nature Nanotech. 10, 429 (2015)
- [5] Experimental verification of n=0 structures for visible light, E.J.R. Vesseur, T. Coenen, H. Caglayan, N. Engheta, and A. Polman, Phys. Rev. Lett. **109**, 013902 (2013)
- [6] Deep-subwavelength imaging of the modal dispersion of light, R. Sapienza, T. Coenen, J. Renger, M. Kuttge, N.F. van Hulst, and A. Polman, Nature Mater. 11, 781 (2012)

CONFINEMENT MOLECULAIRE: UNE NOUVELLE VOIE POUR LA NANOPHOTONIQUE ?

Mireille Blanchard-Desce

Institut des Sciences Moléculaires UMR CNRS 5255, Université de Bordeaux, 33405 Talence, France

mireille.blanchard-desce@u-bordeaux.fr

RÉSUMÉ

Une approche « bottom-up » exploitant le confinement moléculaire permet d'accéder à des nanoparticules hyperbrillantes, accordables et présentant des réponses optiques exaltées, d'intérêt majeur pour l'imagerie.

MOTS-CLEFS: nanophotonique, fluorescence, absorption non-linéaire

1. Introduction

Le champ de la nanophotonique connaît actuellement un fort développement lié tant à la recherche de propriétés et comportements inédits qu'aux potentialités ouvertes dans différents domaines allant de l'énergie aux sciences du vivant. Les nanomatériaux qui ont suscité le plus d'intérêt dans ce domaine sont essentiellement inorganiques (i.e. métalliques, semi-conducteurs, oxydes...). Toutefois la voie « tout-organique » et plus particulièrement celle basée sur l'utilisation de petites molécules spécialement adaptées constitue une piste particulièrement prometteuse.^[1] Ainsi, si les quantums dots sont associés à des développements majeurs en imagerie (in vivo, superrésolution...) et leur succès lié à leurs remarquables propriétés optiques, ils présentent toutefois certaines limitations en termes de biodégradabilité et de toxicité. Par ailleurs, du fait du confinement quantique, la modulation de leur taille s'accompagne d'une modulation de leur fluorescence (i.e. déplacement vers les plus grandes longueurs d'onde avec l'augmentation de taille). Dans ce contexte nous avons mis en place une démarche « bottom-up » basée sur le confinement moléculaire de chromophores organiques originaux au sein de nanoparticules « tout-organiques ». Notre but était d'accéder à des nanoparticules luminescentes de taille et couleur indépendamment contrôlables, hyperbrillantes, stables en milieu biologique, biocompatibles et présentant une excellente photostabilité. La réalisation de tels nano-objets photoniques - à base exclusive de molécules- constituait toutefois un défi tant en termes de stabilité, qu'en termes de propriétés optiques dans la mesure où les fluorophores organiques sont connus pour leur plus faible brillance et leur moins bonne résistance au photoblanchiment, vis-à-vis notamment des quantum dots.

2. UNE STRATEGIE BOTTOM-UP BASEE SUR LE CONFINEMENT DE CHROMOPHORES MULTIPOLAIRES POLARISABLES

L'approche mise en œuvre s'appuie sur une classe de nanoparticules relativement récente et présentant néanmoins des potentialités majeures en optique: les nanoparticules fluorescentes à base de petites molécules (aussi désignées par l'acronyme FONs pour Fluorescent Organic Nanoparticles). [1] Ces nanoparticules peuvent être préparées dans l'eau, par simple auto-agrégation spontanée de molécules particulières (i.e. spécifiquement « conçues pour »). Cette approche repose sur une véritable « ingénierie » des sous-unités moléculaires (i.e. chromophores) constituant la nanoparticule et une maitrise des effets d'interactions entre ces sous-unités. Cette double contrainte est une des caractéristiques majeures des nanoparticules à base de molécules, à l'origine à la fois de leur spécificité, de leur richesse et de leur complexité. En effet, dans le cas des nanoparticules incorporant des colorants organiques classiquement utilisées (i.e. à base de silice, de polymères, de lipides, ou de tensioactifs), les molécules de colorants sont dispersées et n'interagissent pas (ou peu)

entre-elles. La situation est tout autre dans le cas des FONs car ce sont au contraire les forces intermoléculaires qui en assurent la cohésion, produisant des édifices organisés et stables dans l'eau. Au-delà, ces interactions peuvent être manipulées et exploitées pour *modifier* les caractéristiques optiques des nanoparticules. Le design des FONs relève donc d'un exercice subtil de « lego moléculaire interactif » dans lequel non seulement la nature des sous-unités moléculaires joue un rôle mais leur assemblage module leur couleur et leur brillance. Le choix des unités chromophoriques et de leur mode d'interaction est donc déterminant et la démarche d'ingénierie doit intégrer les deux niveaux. Dans ce contexte, la stratégie que nous avons mis en œuvre repose sur le design et l'utilisation de *chromophores multipolaires polarisables* (dipolaires, quadrupolaires, octupolaires) spécifiquement dédiés (Figure 1).

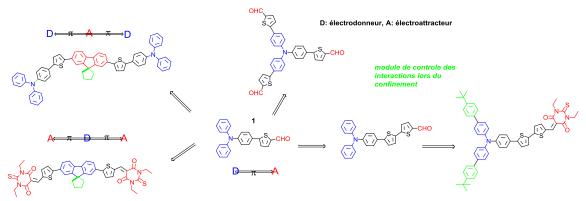


Fig. 1 : Exemples de chromophores multipolaires polarisables dédiés à l'élaboration de nanoparticules organiques ultra-brillantes et accordables.

La structure des chromophores (D, A, connecteur π conjugué) permet de moduler aisément leurs propriétés d'absorption et de fluorescence et leur confère des propriétés optiques non-linéaires marquées. De tels systèmes sont de plus destinés à engendrer de fortes *interactions électrostatiques* lors de leur confinement. La stratégie choisie consiste à la fois à *amplifier* (en jouant sur les distances et les dipôles locaux) et *à orienter* (en jouant sur la topologie de la molécule et sa géométrie) ces interactions pour moduler et exalter les réponses optiques lors du confinement moléculaire. Ceci concerne tant (i) la luminescence (via l'intervention de couplages excitoniques pouvant conduire à une amplification et décalage de l'émission) que (ii) les réponses optiques non-linéaires.

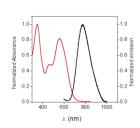
La nature même de ces chromophores (polarité *et* polarisabilité élevées) ouvrait des possibilités jusqu'alors inexplorées et nous a effectivement permis d'accéder à une palette de nanoparticules de tailles modulables (5-50 nm) et couleurs variées (balayant le visible jusqu'au proche infra-rouge), présentant de plus des brillances comparables, voire très supérieures à celles des quantum dots.^[2-6] Il est de plus possible d'exalter les réponses optiques non-linéaires et la luminescence de telles nanoparticules en pilotant en amont les interactions,^[6] mais également de développer des *nanoparticules tout-organiques cœur-écorce* qui présentent à la fois un confinement de la luminescence à l'interface entre le cœur et l'écorce et une exaltation des réponses optiques.^[7]

3. VERS DES NANOTRACEURS HYPERBRILLANTS POUR L'IMAGERIE DU VIVANT

L'ingénierie moléculaire des sous-unités chromophoriques constituant la nanoparticule permet également de moduler les propriétés de surface des nanoparticules. Ces dernières sont très importantes car elles déterminent la stabilité des nanoparticules et influent fortement sur leur devenir en milieu biologique, un paramètre crucial pour l'utilisation de ces nanoparticules comme traceurs ou marqueurs en imagerie du vivant. Ainsi des nanoparticules ultrabrillantes biocompatibles et extrêmement stables en milieu biologique ont pu être obtenues et utilisées en

imagerie *in vivo* (microscopie biphotonique) pour réaliser l'angiographie sur le petit animal^[2] et en démontrer l'innocuité Plus encore, il possible en jouant sur la nature des sous-unités chromophoriques, de produire des nanoparticules dotées d'une remarquable résistance au photoblanchiment. Cette propriété (inédite pour les composés organiques) permet de réaliser un suivi spatio-temporel de particules uniques, ouvrant la voie à une *imagerie dynamique multicolore* aussi bien en milieu aqueux qu'à l'intérieur les cellules (Figure 2).^[4,7]





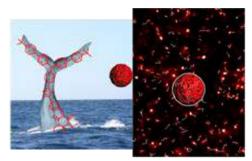


Fig. 2 : Imagerie de nanoparticules hyper-brillantes émettrices dans le proche IR (HIFONs) dans des cellules COS (gauche) et suivi dans l'eau (droit) [4]

CONCLUSION

Le confinement contrôlé de modules chromophoriques « interactifs » multipolaires et polarisables constitue une approche originale qui permet d'accéder à des nanoparticules hyperbrillantes et biocompatibles, combinant brillances exceptionnelles et (stabilité et) photostabilité remarquables, tout en s'affranchissant des problèmes de toxicité intrinsèque aux nanoparticules semi-conductrices. De ce fait, ces nano-objets ouvrent des perspectives très importantes en imagerie du vivant et nanoscopie. De plus des effets de confinement de luminescence et d'exaltation des propriétés optique non-linéaires inédits ouvrent un nouveau champ en nanophotonique moléculaire.

- [1] A. Patra, C. G. Chandaluri, and T. P. Radhakrishnan, "Optical materials based on molecular nanoparticles," Nanoscale, vol. 4, 343-359, 2012.
- [2] V. Parthasarathy, S. Fery-Forgues, E. Campioli, G. Recher, F. Terenziani, and M. Blanchard-Desce, "Dipolar versus Octupolar Triphenylamine-Based Fluorescent Organic Nanoparticles as Brillant One- and Two-Photon Emitters for (Bio)imaging", Small, vol. 7, pp. 3219-3229, 2011.
- [3] K. Amro, J. Daniel, G. Clermont, T. Bsaibess, M. Pucheault, E. Genin, M. Vaultier, and M. Blanchard-Desce, "A New Route towards Fluorescent Organic Nanoparticles with Red-shifted Emission and Increased Colloidal Stability," Tetrahedron, vol. 70, pp. 1903-1909, 2014.
- [4] E. Genin, Z. Gao, J. A. Varela, J. Daniel, T. Bsaibess, I. Gosse, L. Groc, L. Cognet, and M. Blanchard-Desce, "«Hyper-bright» Near-Infrared Emitting Fluorescent Organic Nanoparticles for Single Particle Tracking," Adv. Mater., vol. 26, pp. 2258–2261, 2014.
- [5] J. Daniel, A. G. Godin, M. Palayret, B. Lounis, L. Cognet, and M. Blanchard-Desce, "Innovative molecular-based fluorescent nanoparticles for multicolor single particle tracking in cells," J. Phys. D: Appl. Phys., vol. 49, pp. 084002-084012, 2016.
- [6] J.-B. Verlhac, J. Daniel, P. Pagano, G. Clermont, and M. Blanchard-Desce, "Enhanced two-photon brightness in molecular-based organic nanoparticles built from articulated-dipoles", C. R. Chimie, vol. 19, pp. 28-38, 2016.
- [7] E. Campioli, C. Rouxel, M. Campanini, L. Nasi, M. Blanchard-Desce, F. Terenziani, "Enforcing Luminescence at Organic Nanointerfaces: Luminescence Spatial Confinement and Amplification in Molecular-Based Core-Shell Nanoparticles," Small, vol.9, pp. 1982–1988, 2013; E. Campioli, D.-M. Nikolaidou, V. Hugues, M. Campanini, L. Nasi, M. Blanchard-Desce, F. Terenziani, "Amplified Two-Photon Brightness in Organic Multicomponent Nanoparticles," J. Mater. Chem. C, vol. 3, pp. 7483-7491, 2015.

DES MIROIRS HORS NORME À L'ÉCOUTE DE L'ESPACE-TEMPS

Jérôme Degallaix¹, Laurent Balzarini¹, Vincent Dolique¹, Raffaele Flaminio², Danièle Forest¹, Massimo Granata¹, Bertrand Lagrange¹, Laurent Pinard¹, Christophe Michel¹, Nicolas Straniero¹, Julien Teillon¹, Gianpetro Cagnoli¹

¹ Laboratoire des Matériaux Avancés (LMA), IN2P3/CNRS,69100 Villeurbanne, France
 ² National Astronomical Observatory of Japan, 2-2-1 Osawa, Mitaka, 181-8588 Tokyo, Japon j.degallaix@lma.in2p3.fr

RÉSUMÉ

Dans cette article les défis dans la réalisation des grandes optiques des détecteurs interférométriques d'ondes gravitationnelles sont présentés. Ces instruments, de plusieurs kilomètres de long, utilisent les optiques les plus précises jamais réalisées, et ce, tant au niveau du polissage que du dépôt.

MOTS-CLEFS: Miroirs; Ondes gravitationnelles; Dépôts;

1. A L'AUBE D'UNE NOUVELLE ASTRONOMIE

Le 11 Février 2016 e été marqué par l'annonce par la collaboration LIGO et Virgo de la première détection directe des ondes gravitationnelles sur Terre [1]. Cet évènement marque le début d'une révolution avec un moyen d'observation totalement inédit, sensible aux perturbations mêmes de l'espace temps. Outre que cette découverte confirme de manière éclatante la théorie de la Relativité Générale dans des régimes jamais testés auparavant, elle ouvre aussi une nouvelle fenêtre sur l'univers. Cette nouvelle astronomie va permettre de comprendre les mécanismes de formation des trous noirs massifs, de recenser les objets binaires comme les couples d'étoiles à neutron, de comprendre la nature des pulsars ou bien l'origine des sursauts de rayons gamma. Et ceci n'est possible qu'avec des détecteurs interférométriques qui repoussent les limites de la technologie.

2. DES INTERFÉROMÈTRES DE L'EXTRÊME

Le principe du détecteur d'onde gravitationnelle est basée sur un interféromètre de Michelson géant. En particulier, les deux bras perpendiculaires sont des cavités Fabry-Pérot longues de plusieurs kilomètres. Le schéma optique simplifié du détecteur est présenté sur la figure 1.

Le miroir de fond des cavités des bras est extrêmement réfléchissant (transmission de quelques ppm), ce qui a pour conséquence que toute la lumière incidente sur la cavité est aussi réfléchie par celle ci. Comme le détecteur opère sur la frange noire (peu de lumière arrive sur la détection), une grande majorité de la lumière du laser retourne vers celui ci. Afin qu'elle ne soit pas perdue, un miroir dit de recyclage de puissance est inséré entre le laser et le Michelson. De même, un miroir dit de recyclage de signal est inséré entre la séparatrice et le système de détection afin de changer la réponse optique du détecteur. Cette technique permet d'ajuster la gamme de fréquences où le détecteur est le plus sensible.

Le laser du détecteur est de 200 W, mais seulement 125 W atteignent l'entrée de l'interféromètre au niveau du miroir de recyclage de puissance. Typiquement 5 kW circulent dans partie centrale et jusqu'à 600 kW dans les bras pour le détecteur Virgo en Italie. Pour contrecarrer les effets thermiques dus à ces fortes puissances, les interféromètres ne peuvent fonctionner qu'avec un système de compensation thermique perfectioné, tant au niveau des senseurs que des actuacteurs.

Afin de limiter l'effet de lentille thermique et du bruit thermique Brownien des mirroirs, il est souhaitable d'avoir un faisceau laser le plus étendu possible. De ce fait, la taille du faisceau est de l'ordre de 5 cm de rayon sur les miroirs de l'interféromètre. Donc pour limiter les pertes, les optiques font 350 mm de diamètre de 35 mm d'épaisseur (lame compensatrice) jusqu'à 200 mm pour les miroirs des bras. La séparatrice de part son orientation est la plus grande optique avec 550 mm de diamètre.

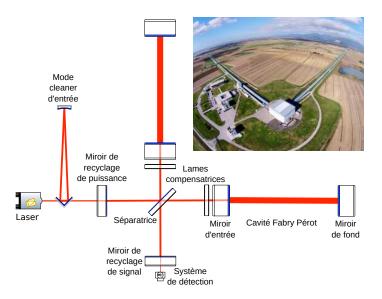


FIGURE 1 : Schéma optique typique d'un détecteur d'ondes gravitationnelles. Dans l'encart, une vue aérienne du détecteur Virgo en Italie avec ses bras perpendiculaires de 3 km de long.

3. LES SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES DES OPTIQUES

Dans cette partie, nous allons nous focaliser sur les miroirs d'entrée et de fond des bras, qui sont les optiques les plus critiques et donc celles avec les spécifications les plus contraignantes. Nous prendrons l'exemple des miroirs pour Advanced Virgo [2], sachant que les paramètres pour Advanced LIGO sont très similaires.

Les substrats des miroirs sont faits dans du verre ultra-pur et mesurent 350 mm en diamètre pour 200 mm d'épaisseur. Il fut décider de les tailler dans la dernière génération de verre Suprasil développée par Hereaus (Suprasil 3002) pour les miroirs d'entrée. Ce verre présente une très bonne homogénéité et une absorption en volume exceptionnellement basse de l'ordre de 0.2 ppm/cm à 1064 nm. Pour les miroirs de fond traversés par très peu de lumière, les contraintes sont moins strictes; du Suprasil 312 a été choisi.

Afin de limiter les pertes de lumière par aller retour dans les bras de 3 km (but : moins de 75 ppm de lumière doit être perdue par aller retour), des spécifications très strictes au niveau de la planéité et de la rugosité ont été demandées aux polisseurs. Ici nous résumons, les trois principales spécifications :

- Rayons de courbure de 1420 m et 1683 m (± 10 m) respectivement pour les miroirs d'entrée et de fond. Les 4 pièces pour chaque type de miroir, doivent avoir tous leurs rayons identiques à ± 3 m.
- Planéité inférieure à 0.5 nm RMS dans la partie centrale de 150 mm de diamètre (pour les fréquences spatiales inférieures à 1 mm²).
- Micro-rugosité inférieure à 1 Å RMS.

Les dépôts sur les substrats polis sont faits au LMA à Villeurbanne par la technique de pulvérisation par faisceau d'ions. Là aussi, les specifications sont à la limite de la technologie avec sur la partie centrale :

- Planéité inférieure à 0.5 nm RMS après dépôt.
- Absorption inférieure à 0.5 ppm à 1064 nm.
- Diffusion inférieure à 10 ppm.
- Transmission des miroirs d'entrée $T = 1.4 \pm 0.1\%$ avec $\Delta T < 0.01\%$ pour les deux miroirs d'entrée.
- Transmission des miroirs de fond $T = 4 \pm 1$ ppm.
- Dépôt anti-réfléchissant à 3 bandes (532, 800 et 1064 nm), avec R < 100 ppm à 1064 nm.

4. DES PERFORMANCES OPTIQUES INÉDITES

Malgré des spécifications de surface très contraignantes, le polissage de ces grandes pièces fut un succès. Il a fallu renouveler ce succès aussi pour le traitement de ces pièces.

Pour garantir la similitude des miroirs, deux substrats doivent être mis en même temps dans la machine de dépôt. De plus, pendant la déposition des couches minces les substrats de déplacent dans un mouvement planétaire afin d'atteindre les spécifications de planéité précisées aussi après dépôt. Après plusieurs années de recherche et développement au niveau de la technique de déposition et des matériaux utilisés [3], toutes les spécifications demandées ont pu être atteintes. Ici nous revenons sur quelques faits marquants.

La plus grande difficulté pour les dépôts venait des exigences de planéité. Un exemple de résultat est présenté en figure 2 avec une mesure de la surface du miroir avant et après dépôt avec la même échelle de couleur. Malgré l'ajout de 6 μ m pour rendre le substrat réfléchissant le RMS est seulement passé de 0.3 nm à 0.4 nm sur la partie centrale de 150 mm de diamètre.

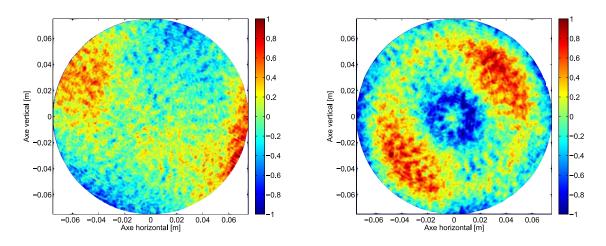


FIGURE 2 : Image de de la planéité d'un miroir de fond avant (gauche) et après dépot (droite). L'échelle de couleur est en nanometre et identique pour les deux images.

Une seconde difficulté importante était la qualité de l'anti-reflet. Un nouveau design d'empilement a été trouvé avec 16 couches et s'est avéré robuste par rapport aux erreurs de déposition. Ce qui a donné pour résultat, une réflection inférieure à 32 ± 10 ppm pour 1064 nm sur la partie centrale.

La similitude en transmission des miroirs d'entrée fut aussi un succès, avec une différence de transmission de 0.002%. La diffusion moyenne des miroirs a été mesurée sur la partie centrale à 4 ppm en moyenne.

5. Perspectives

De par leur tailles et leurs spécifications, les miroirs des détecteurs d'ondes gravitationnelles ont repoussé les limites de la technologie. L'aventure ne s'arrête pas là, puisque déjà une nouvelle génération de détecteurs est prévue avec des optiques plus grandes et plus performantes pour des détecteurs toujours plus sensibles à l'écoute des murmures gravitationnels de l'univers.

- [1] The LIGO and Virgo Collaborations, "Observation of gravitational waves from a binary black hole merger," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 116, pp. 061102, 2016.
- [2] Virgo Collaboration, "Advanced Virgo Technical Design Report," Virgo TDS link, 2012.
- [3] L. Pinard *et al.*, "Toward a new generation of low-loss mirrors for the advanced gravitational waves interferometers," *Opt. Lett.*, vol. 36, pp. 1407-1409, 2011.

L'EXPLORATION DU TROU NOIR AU CENTRE DE LA GALAXIE AVEC GRAVITY

Guy Perrin¹

¹ LESIA, Observatoire de Paris, PSL Research University, CNRS, Sorbonne Universités, UPMC Univ. Paris 06, Univ. Paris Diderot, Sorbonne Paris Cité

guy.perrin@obspm.fr

RÉSUMÉ

Le centre de notre galaxie abrite un objet de 4 millions de fois la masse du Soleil, Sagittarius A*, probablement un trou noir super-massif. L'interféromètre GRAVITY du VLTI a pour ambition de tester l'hypothèse du trou noir, d'en étudier la nature et d'explorer la grarvitation en champ fort. Lancé en 2005, le projet a connu sa première lumière à la fin de 2015. Des premiers résultats sur Sagittarius A* et son environnement sont attendus en 2017.

MOTS-CLEFS: Trou noir; centre galactique; interférométrie; infrarouge

1. LE CŒUR DE LA VOIE LACTÉE

La Voie Lactée abrite en son centre une source radio intense et compacte, la plus intense dans cette région du ciel, Sagittarius A* ou Sgr A* [1]. Le centre galactique est constellé de sources ponctuelles dont la grande majorité sont des étoiles. Les étoiles les plus au centre, l'amas des étoiles S, jouent un rôle particulier dans la détermination de la nature de Sgr A*.

2. LA NATURE DE SAGITTARIUS A*

L'étude de leur mouvement est devenue possible grâce à la montée en puissance des techniques de haute résolution angulaire dans l'infrarouge, avec l'interférométrie des tavelures d'abord, puis avec l'optique adaptative ensuite. Les étoiles ont ainsi été suivies individuellement depuis les années 90 et leurs orbites ont pu être reconstruites. L'application de la troisième loi de Kepler fournit une estimation de la masse de l'objet central : environ 4 millions de masses solaires [2,3,4]. La Figure 1 montre les orbites reconstruites des étoiles les plus proches aujourd'hui connues ainsi que les mesures des positions de l'étoile S2. Une masse importante contenue dans un volume restreint pointe vers l'hypothèse que Sgr A* serait un trou noir super-massif.

3. LES SURSAUTS DU CENTRE GALACTIQUE

Le flux provenant de Sgr A* connaît des fluctuations dont certaines peuvent être aussi soudaines que violentes causant une augmentation de luminosité de quelques à plusieurs dizaines d'unités dans l'infrarouge proche et dans le domaine des rayons X [5]. Une hypothèse est qu'il s'agit de gaz chauffé sur la dernière orbite circulaire stable autour du trou noir, de diamètre égal ou triple de celui du trou noir, dépendant de son taux de rotation, c'est-à-dire mille fois plus près que la plus proche des étoiles S connues, S2. Si c'est le cas, ces sursauts sont un outil fantastique pour l'exploration du trou noir. Ils pourraient ainsi apporter la première preuve que seul un trou noir peut expliquer l'extraordinaire densité de masse car circonscrite à son horizon. Les sursauts sont potentiellement d'excellentes particules-test près de l'horizon pour l'étude de la gravitation en champ fort. Leur trajectoire pourrait permettre l'exploration de l'espace-temps de façon directe autour du trou noir et une étude *in situ* des effets de relativité générale en champ fort [6].

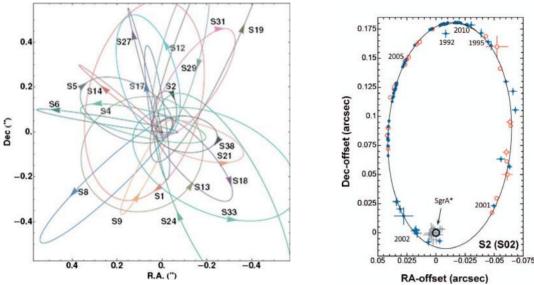


Fig. 1 : Gauche : la trajectoire des étoiles de l'amas S près atour du centre galactique [4]. Droite : les mesures obtenues sur l'étoile S2 et les mesures de position de Sgr A* [2].

4. LE CENTRE GALACTIQUE COMME LABORATOIRE DE LA GRAVITATION EN CHAMP FORT

Aucune mesure de la structure de l'espace-temps près d'un trou noir n'a pu être faite pour confronter la théorie de la relativité générale au cas le plus extrême. Les trous noirs sont des objets très compacts et ont de petites dimensions angulaires (des trous noirs stellaires comme Cygnus X-1 sont très proches mais de petite masse, des trous noirs au centre des galaxies sont super-massifs mais très distants). Sgr A* est celui dont la dimension angulaire est la plus importante et ne mesure que $53 \mu as (26x10^{-11} \text{ rad})$. Il est donc *a priori* notre meilleure chance de tester la théorie de la relativité générale de façon directe en champ fort. C'est l'un des objectifs majeurs de l'instrument GRAVITY.

5. L'INSTRUMENT GRAVITY SUR LE VLTI

GRAVITY est un ambitieux projet d'interféromètre [7]. Il utilise les quatre télescopes de 8,20 m (Unit Telescopes) du Very Large Telescope en mode interférométrique, c'est-à-dire qu'il fait interférer simultanément les quatre faisceaux qui en sont issus pour obtenir l'équivalent d'un télescope d'environ 140 m de diamètre du point de vue de la résolution angulaire atteinte, 4 mas dans l'infrarouge proche à 2,2 μ m. Il a en outre la capacité de recombiner les 4 télescopes de 1,80 m (Auxiliary Telescopes) pour l'observation des sources les plus brillantes (Figure 2). GRAVITY est construit, sous la responsabilité du Max Planck Institut für Extraterrestische physik de Munich, par un consortium européen comprenant des instituts allemands, portugais et français (Observatoire de Paris/LESIA, IPAG). Le projet a été lancé en 2005. GRAVITY a obtenu sa première lumière fin 2015 et est entré dans une période de tests intensifs pour environ un an.

Deux types de mesures seront faites avec GRAVITY. Grâce à l'utilisation simultanée des 4 grands télescopes, des images précises de l'environnement de Sgr A* seront régulièrement obtenues avec une résolution 16 fois meilleure qu'avec les plus grands télescopes actuels. Il sera ainsi possible de résoudre l'émission présente autour de Sagittarius A*. Quelques étoiles à découvrir sont potentiellement en orbite autour du trou noir à quelques unités astronomiques ou à une fraction d'unité astronomique de distance. À une si faible distance, leurs orbites sont fortement perturbées et l'écart à des orbites newtoniennes classiques permettra de mettre en évidence des effets relativistes et de mesurer une caractéristique importante du trou noir, son taux de rotation [8].

Le mode imagerie ne permettra cependant pas d'accéder à l'horizon du trou noir, ce qui nécessite une résolution 100 fois plus élévée. GRAVITY offrira une capacité toute nouvelle, un mode astrométrique avec une précision de $10~\mu$ as, soit le rayon physique de l'horizon de Sgr A*. Il permettra de détecter tout mouvement autour du trou noir avec une précision égale à sa dimension. Il sera utilisé pendant les sursauts pour mesurer la trajectoire de la zone émettrice.

GRAVITY est l'interféromètre infrarouge le plus complexe jamais construit. Deux champs distants d'au plus 6'' sont observables simultanément. L'un sert de référence de phase et permet de corriger les turbulences à l'échelle de l'interféromètre pour stabiliser les franges et d'atteindre des temps de pose de plusieurs minutes dans l'autre champ. La référence de phase est utilisée à la fois pour l'imagerie et pour l'astrométrie différentielle. Une métrologie précise à quelques nanomètres près permet de mesurer l'écart des paquets de franges dans les deux voies pour atteindre la précision astrométrique de plusieurs dizaines de micro-secondes d'angles. Enfin, les turbulences atmosphériques sont corrigées à l'échelle de chacune des pupilles de 8,20 m par optique adaptative pour maximiser la sensibilité et la précision de l'instrument.



Fig. 2 : le site du Very Large Telescope de l'ESO au mont Paranal au Chili. Deux des 4 AT déplaçables sur des rails sont visibles en plus des 4 UT.

CONCLUSION

Les premiers résultats techniques obtenus par GRAVITY depuis sa première lumière à l'automne 2015 sont très encourageants. L'exploitation scientifique de l'instrument démarrera dès juin 2016 par un programme de *science verification*, l'instrument étant ouvert à la communauté astronomique à partir d'octobre 2016.

- [1] B. Balick & R.L. Brown, 1974, ApJ 194, 265
- [2] R. Schödel et al., 2002, Nature 419, 694
- [3] F. Eisenhauer et al., 2005, *ApJ* 628, 246
- [4] S. Gillessen et al. 2009, *ApJ* 692, 1075
- [5] R. Genzel et al., 2003, Nature 425, 934
- [6] F.H. Vincent et al., 2014, MNRAS 441, 3477
- [7] F. Eisenhauer et al. 2011, Messenger 143, 16
- [8] T. Paumard et al. 2005, Astronomische Nachrichten 326, 568

ARRÊTER LA LUMIÈRE DANS UNE FIBRE: LA RENCONTRE DES ATOMES FROIDS ET DE LA NANOPHOTONIQUE

Julien Laurat

Laboratoire Kastler Brossel, UPMC-Sorbonne Universités, CNRS, ENS-PSL Research University, Collège de France, 4 Place Jussieu, 75005 Paris, France

julien.laurat@upmc.fr

RÉSUMÉ

La combinaison des atomes froids et de la nanophotonique permet de réaliser de nouvelles interfaces lumière-matière pour l'information quantique.

Mots-clefs: information quantique; mémoire; atomes froids; nanophotonique.

Les interfaces lumière-matière constituent des outils importants pour l'optique quantique et les réseaux quantiques de communication [1]. Dans ce contexte, mon équipe de recherche au Laboratoire Kastler Brossel s'intéresse au développement de telles interfaces reposant sur des ensembles d'atomes froids. Un exemple d'application est la réalisation de mémoires quantiques permettant à la lumière et à la matière d'échanger leurs états à la demande. En espace libre, nous avons ainsi créé une mémoire permettant le stockage de bits quantiques encodés dans le moment orbital angulaire de la lumière, c'est-à-dire dans l'hélicité du front d'onde [2]. En faisant fonctionner deux mémoires quantiques en parallèle, nous avons ensuite stocké des bits encodés par la structuration de la lumière dans le plan transverse, non seulement en phase mais aussi en polarisation, réalisant ainsi une mémoire quantique pour plusieurs degrés de liberté simultanément [3]. Dans cet exposé, je présenterai une nouvelle interface reposant sur une nanofibre optique au diamètre sub-longueur d'onde et couplée à un ensemble d'atomes froids piégés à proximité.

Combiner atomes froids et nanophotonique apparaît comme une alternative prometteuse pour réaliser de nouvelles interfaces lumière-matière. Le fort confinement de la lumière permet non seulement une interaction sur une distance qui n'est plus limitée par la diffraction, mais également une interaction atome-photon exaltée et la possibilité d'interaction non-linéaire à des puissances optiques très faibles.

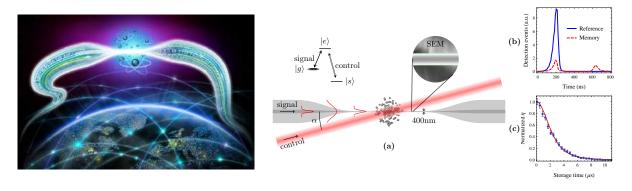


FIGURE 1 : **Arrêter la lumière dans une fibre optique.** Des atomes froids sont piégés au voisinage d'une fibre optique qui a été étirée dans une région de quelques centimètres. En arrivant dans cette zone, la lumière guidée est ralentie et l'information qu'elle porte est transférée aux atomes. Plus tard, à la demande, la lumière est réémise dans la fibre et peut se propager à nouveau. (a) Une fibre de 400 nm de diamètre est superposée à un large ensemble d'atomes froids. Un champ dit de contrôle permet de modifier la propagation de la lumière guidée. (b) Stockage et relecture. (c) Temps de vie de la mémoire.

Par exemple, un guide d'onde avec une dimension plus petite que la longueur d'onde fournit un large champ évanescent qui peut être utilisé pour interagir avec des atomes à proximité ou pour les piéger à l'aide d'un piège dipolaire. La surface effective du mode étant proche de la section efficace d'absorption, un atome unique peut absorber une fraction non négligeable de la lumière guidée et fournir ainsi un fort couplage lumière-matière en un seul passage.

En utilisant une telle approche, nous avons réussi à intégrer une mémoire quantique directement dans une fibre optique (figure 1) [4]. Pour cela, une fibre optique commerciale similaire à celles utilisées dans les réseaux de télécommunication a été chauffée et étirée jusqu'à moins de 400 nanomètres de diamètre et ce, sur quelques centimètres. Nous avons ensuite refroidi des atomes de césium disposés proches de cette zone étirée. Lorsque la lumière atteint cette région, une grande partie de l'énergie circule autour de la fibre et elle peut alors interagir avec les atomes environnants. En utilisant la technique dite de transparence induite électromagnétiquement qui permet de contrôler les propriétés du milieu atomique par un laser additionnel, la lumière a été ralentie par un facteur 3 000 puis totalement arrêtée. Cette impulsion lumineuse a été stoppée pendant plusieurs microsecondes puis émise de nouveau dans la fibre. Sans cet arrêt imposé, la lumière aurait parcouru dans le même temps plusieurs kilomètres! L'information portée par la lumière est transférée aux atomes sous la forme d'une excitation collective, une large superposition quantique. En raison du fort confinement de la lumière, quelques milliers d'atomes suffisent pour obtenir de fort ralentissement, alors que des millions étaient nécessaires dans les expériences en espace libre. Nous avons également montré que des impulsions lumineuses contenant un seul photon pouvaient être stockées et réémises avec un large rapport signal sur bruit. Au delà des mémoires quantiques, ce système peut aussi être utilisé comme source de photons uniques intrinsèquement fibrés.

Je montrerai également comment le piégeage d'atomes froids autour de la nanofibre permet de réaliser un miroir de Bragg efficace [5]. En réalisant un réseau optique dans le champ évanescent, avec une distance entre les atomes proches de la longueur d'onde de la transition atomique, nous avons pu démontrer des réflectivités supérieures à 75% avec seulement quelques milliers d'atomes (figure 2). La possibilité de contrôler le transport de photon unique dans ce type de système est à la base de nombreuses propositions dans ce domaine émergent dit de l'électrodynamique quantique en guide d'onde (waveguide quantum electrodynamics).

Je terminerai cet exposé en discutant les perspectives du domaine, en particulier l'apport possible des cristaux photoniques à cette nouvelle direction de recherche.

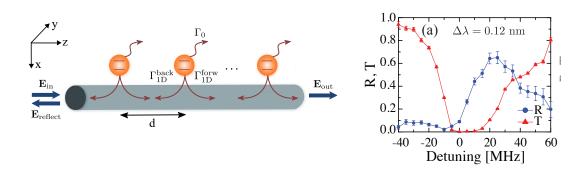


FIGURE 2 : **Miroir de Bragg atomique.** Les atomes piégés à proximité de la nanofibre peuvent émettre en espace libre ou dans le mode guidé. Chaque atome se comporte alors comme un miroir avec une faible réfléctivité pour la lumière se propageant dans la nanofibre. Lorsque la distance entre les atomes est très proche de la longueur d'onde de la transition atomique, l'interférence entre ces réflexions peut conduire à une forte réflexion de Bragg. Dans notre cas, 2000 atomes seulement permettent d'obtenir une réflexion *R* proche de 75%. Le tracé donne les spectres de réflexion et de transmission en fonction du désaccord à la résonance du champ sonde.

- [1] J. Laurat et T. Chanelière, "La mémoire, pilier du réseau quantique," in *La Recherche*, Les Révolutions quantiques, juillet 2015.
- [2] A. Nicolas et al., "A quantum memory for orbital angular momentum photonic qubits," *Nature Photon.* 8, 234 (2014).
- [3] V. Parigi et al., "Storage and retrieval of vector beams of light in a multiple-degree-of-freedom quantum memory," *Nature Commun.* 6, 7706 (2015).
- [4] B. Gouraud, D. Maxein, A. Nicolas, O. Morin, J. Laurat "Demonstration of a memory for tightly guided light in an optical nanofiber," *Phys. Rev. Lett* 115, 023602 (2015).
- [5] N.V. Corzo, B. Gouraud, A. Chandra, A. Goban, A.S. Sheremet, D.V. Kupriyanov, J. Laurat "Large Bragg reflection from one-dimensional chains of trapped atoms near a nanoscale waveguide," arXiv:1604.03129.

ART ET ASTRONOMIE

Yaël Nazé¹

¹ Groupe d'Astrophysique des Hautes Energies, Dept A.G.O. Université de Liège, B4000 Liège, Belgique

naze@astro.ulg.ac.be

RÉSUMÉ

Cette conférence plénière abordera les multiples facettes entre Art et Astronomie, entre inspiration, outil, réflexion, ou encore hommage.

PRÉSENTATION

Imaginez une soirée d'été, au moment où l'étouffante chaleur laisse enfin la place à une température parfaite ; allongé, vous vous laissez prendre par le spectacle des étoiles filantes... Imaginez un matin d'hiver, sur le pas de votre porte ; bien emmitouflé, vous ne pouvez résister et jetez un œil à ce ciel noir paré d'étoiles innombrables, dont la lueur cristalline marque déjà votre journée d'un sceau apaisant... Le ciel ne laisse pas indifférent : il peut provoquer une angoisse indicible, un bien-être mâtiné de rêverie, mais aussi une inspiration unique ou une curiosité inépuisable. Selon les époques et les caractères, cela conduit parfois à une vocation d'astronome... ou d'artiste!

En effet, on ne compte plus les œuvres dévoilant un bout de ciel... Bien sûr, celui-ci peut « juste » servir de décor d'arrière-plan, sans grand intérêt. Toutefois, il peut aussi imprégner les toiles d'une ambiance particulière, en ravivant les sentiments – tant positifs que négatifs – qui lui sont associés. La nuit, puisque qu'il faut la nommer, fait peur et sert de paravent à d'innombrables activés répréhensibles mais elle cache aussi le premier baiser des amoureux, apporte le repos, et est la complice de nos rêves. Parmi ces œuvres jouant sur l'ambiance, on peut citer en Orient la classique série des « 100 aspects de la Lune », et en Occident les toiles bleues de Chagall.

D'autres artistes décident de tirer le portrait, réaliste, de nos compagnons célestes –Soleil (Munch), Lune (Jin Nong), une étoile esseulée (Childe Hassam, Church), voire des nuits étoilées (Millet, Van Gogh ainsi que, plus récemment, l'hyperréaliste Celmins). Dans certains cas, ce ciel réaliste peut même offrir un éclairage inédit sur l'artiste, l'astronomie devenant alors un outil supplémentaire de l'archéométrie. Ainsi, les détails de la Nuit étoilée de Munch permettent d'affirmer où était le peintre à l'été 1893, la configuration céleste de Route avec Cyprès et ciel étoilé de van Gogh est identifiée comme la conjonction Lune-Vénus-Mercure du 19 avril 1890 tandis que la Comète de 1858 vue des abords de Dartmoor de Palmer montre la conjonction comète-Arcturus du 5 octobre 1858!

À l'opposé, certains préfèrent l'allégorie pure. Il faut dire que les astres étaient des dieux importants, partout dans le monde : les portraits divins (Râ, Hélios, Hamateratsu, Bouddha Tejaprabha) sont donc aussi des portraits célestes ! Mais ce courant personnifiant ne s'est pas arrêté à l'Antiquité ni ne s'est circonscrit au divin. On le retrouve au Moyen-Âge sous les traits plus profanes d'Astronomia, l'allégorie de l'un des enseignements du quadrivium, remplacée ensuite par Uranie, la muse céleste, au retour du classicisme. La tradition s'étend ensuite à la Lune, le Soleil, la Nuit, et même des étoiles (parfois filantes)... Parmi ce courant, particulièrement vivace au 19e siècle, se trouvent plusieurs œuvres célèbres, comme le Phaéton de Moreau, le « cycle de la Lune et des étoiles » de Mucha, ou Night with her train of stars de Hughes.

Il existe aussi la possibilité de viser la perfection céleste – sphère, cercle, ellipse restent en effet les bases de l'astronomie... Ce sont évidemment les peintres abstraits (comme Kandinsky, Kupka, Delaunay) qui ont le mieux joué avec ces formes pures dans des œuvres colorées, d'une pureté céleste évidente. Cela ne se restreint pas au sphérique : l'œil cubiste de Léger n'a pu résister à la beauté des isocontours cométaires... Dans ce cadre, si on pousse la chose à son paroxysme, on peut parfois se retrouver avec de « simples » archétypes : disque solaire, croissant lunaire, étoile à cinq branches, etc. Ces symboles

courants se retrouvent dans les œuvres d'artisans de par le monde, mais aussi sous les doigts d'artistes reconnus (comme Zorio et ses minimalistes Stelle).

Et puis, on peut aussi réfléchir à des concepts célestes, voire s'amuser un peu avec. Dans ce cadre, on retrouve de nombreux travaux sur les Constellations : Arp met en valeur leur côté de regroupement aléatoire, Radisic leur côté sensuel (souvenez-vous des histoires associées, emplies de demoiselles en détresse!), Miro leur côté foisonnant, Vasarely leur composante répétitive. Autre possibilité: le mouvement, associé au ciel par essence même car le Soleil et les étoiles se lèvent tous les jours - les humains, tout auréolés de leur sentiment de supériorité, ne peuvent en dire autant! Depuis le 20e siècle, le caractère mouvant du cosmos s'est d'ailleurs encore plus affirmé : migration de planètes, évasion stellaire, collisions de galaxies, expansion de l'Univers... Mais comment représenter ce mouvement ? Les réponses varient : Vasarely tente des effets d'optiques (Supernova, série Véga), Calder propose des sphères armillaires en mouvement, Balla et Pollock entremêlent les trajectoires. Enfin, il faut aussi représenter l'espace... De nombreuses expériences seront tentées : certains jouent avec la pesanteur, comme Takis et ses aimants ou Klein et son célèbre saut, d'autres avec la 3e dimension d'une toile qui n'en possède pourtant que deux (Fontana et ses bucchi), d'aucuns tentent même de représenter l'infini (Malevitch et ses carrés blancs ou noirs) ou notre lien direct avec le ciel (de nombreuses toiles de Remedios Varo).

Il est également possible de représenter, sinon le ciel, ceux qui l'étudient! Les œuvres s'insèrent ici dans deux courants principaux. Tout d'abord, la représentation d'un astronome connu, paré de ce qui fait sa renommée (lunette pour Galiléeⁱ). La ressemblance avec le modèle peut s'avérer assez lointaine, surtout si l'œuvre est produite bien après la mort du savant, comme pour l'Ecole d'Athènes de Raphaël. Ensuite, il existe aussi des portraits d'astronomes « génériques » - homme seul, rêveur et mélancolique, entouré des instruments de son art. Le cas le plus célèbre est celui de l'Astronome de Vermeer, mais il en existe bien d'autre, souvent de la même époque quoiqu'il existe quelques œuvres récentes (dont des toiles ironiques de Delvaux). Une œuvre défie cependant toute classification dans ce cadre : le livre Maximiliana ou l'exercice illégal de l'astronomie, par Max Ernst. En s'identifiant à l'astronome (son parcours, ses problèmes, ses conflits), Ernst propose une véritable démonstration du processus scientifique dans ce livre surréaliste.

Il ne faudrait pas oublier l'aide apportée aux astronomes. Si l'astronomie actuelle regorge d'images, les livres astronomiques proposaient au mieux quelques schémas (éclipses, modèle géocentrique, constellations peu réalistes) jusqu'au 17e siècle. C'est alors que Galilée utilisa l'image dans son Sidereus Nuncius pour convaincre, et le procédé fut largement adopté en quelques décennies seulement, avec au final une volonté de réalisme très forte. On voit alors surgir des dessins précis de nébuleuses pour voir si elles varient ou de constellations pour repérer les choses convenablement. Hélas, tous les astronomes n'étaient pas doués pour le dessin : les observatoires engagèrent donc des artistes, pour les aider. Rassurez-vous, ils ne se retrouvèrent pas au chômage au moment de l'invention de la photographie, ils adaptèrent simplement le métier! Ils produisirent désormais des vues d'artistes, qui sont aujourd'hui innombrables : elles illustrent les dernières découvertes, quand l'image n'existe pas – ainsi, les superbes vues exoplanétaires n'ont pas été enregistrées par un instrument, mais proviennent du pinceau et du cerveau des artistes astronomiques! Signalons au passage que les artistes n'ont pas été que de simples « aides » : avant même la révolution scientifique du 17e siècle, et durant celles-ci, ils participèrent à renverser les vues aristotéliciennes. Van Eyck présente ainsi dans sa Crucifixion une Lune imparfaite, avec des taches et un terminateur rugueux; da Vinci, Pacheco et Cigoli discutent, par toiles interposées, de la lumière cendrée et de la transparence de la Lune.

Pour terminer, signalons qu'il existe des œuvres... dans l'espace! Embarquées sur des satellites, déposées sur la Lune ou Mars, elles constituent les avant-postes de notre conquête spatiale, une trace indubitablement humaine...

- Nazé Y., 'Art et Astronomie Impressions célestes', Omnisciences, Octobre 2015
- Nazé Y., Tribute to an astronomer: the work of Max Ernst on Wilhelm Tempel', Journal for the History of Astronomy, in press, preliminary version available as arxiv:1512.05540

¹ Même si Galilée n'a ni inventé la lunette, ni été le premier à la tourner vers le ciel.

GENERER ET MANIPULER DES PHOTONS UNIQUES AVEC DES ATOMES ARTIFICIELS

Pascale Senellart

LPN-CNRS, Laboratoire de Photonique et de Nanostructures, Route de Nozay, 91460 Marcoussis, France

pascale.senellart@lpn.cnrs.fr

RÉSUMÉ

Les boîtes quantiques semi-conductrices sont des pièges de taille nanométrique pour les électrons. Ce sont de véritables atomes artificiels qui ouvrent la voie à la fabrication de composants efficaces pour les technologies quantiques dans les matériaux de l'optoélectronique. Toutefois, la recherche s'est longtemps heurtée à la variabilité de ces nano-objets : constituée d'un faible nombre d'atomes, chaque boîte quantique est différente de sa voisine et présente une position aléatoire.

Notre équipe a inventée une technologie qui permet de s'affranchir de ces problèmes de variabilité: nous positionnons avec une précision nanométrique une boîte quantique dans une cavité optique. Nous réalisons des expériences d'électrodynamique quantique en cavité et contrôlons à volonté l'émission spontanée d'une boîte quantique. Nous utilisons cette possibilité pour développer des composants très efficaces pour le traitement de l'information quantique. Nous fabriquons des sources de photons uniques indiscernables d'une brillance dix fois supérieure aux sources usuelles. Ces sources permettent d'ores et déjà de réaliser des expériences de Boson Sampling cent fois plus rapidement. Nous démontrons également des non-linéarités optiques à l'échelle du photon unique, qui permettront de réaliser des portes logiques quantiques déterministes, un autre verrou pour le développement des technologies quantiques optiques à grande échelle.

DYNAMIQUES ULTRARAPIDES PARADOXALES DANS LES LASERS À FIBRE OPTIQUE

Ph. Grelul¹

¹ Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR 6303 CNRS, Université Bourgogne Franche-Comté, BP 47870, F-21078 Dijon

philippe.grelu@u-bourgogne.fr

RÉSUMÉ

Au cours de cette présentation, nous mettons en lumière la richesse des comportements dynamiques ultrarapides accessibles au sein de cavités laser à fibre optique, dont certains constituent des paradoxes par rapport à une compréhension conventionnelle du blocage de modes, et présentons un cadre élargi permettant d'appréhender ces phénomènes.

MOTS-CLEFS: soliton dissipatif; laser à fibre; dynamique ultrarapide; ondes scélérates

1. Introduction

A l'instar d'un amplificateur optique à semi-conducteur, un amplificateur à fibre dopée aux terres rares préfigure un gain optique généralement important, apportant flexibilité au design de l'architecture de la cavité laser. L'analogie trouve cependant ses limites, compte tenu des ordres de grandeur qui séparent les dimensions et les temps caractéristiques des deux catégories de milieux laser. Cette différence, exacerbée en régime d'impulsions courtes ou ultracourtes, est également illustrée par la variété des approches fréquemment pratiquées en modélisation. Les descriptions modales ont la préférence pour traiter cavités courtes et micro-résonateurs, tandis que les cavités longues – lorsque le temps de parcours est grandement supérieur à la durée de l'impulsion générée - recourrent presque exclusivement à une approche temporelle propagative qui fait généralement disparaître la notion de mode de cavité [1]. Pour obtenir ces régimes ultrarapides de manière passive, on peut mettre en oeuvre plusieurs techniques de blocage, ou verrouillage, de modes particulièrement efficaces. Les impulsions optiques, qui, en circulant incessamment dans la cavité, parcourent l'équivalent de milliards de kilomètres sans que leur profil en soit significativement affecté, entrent ainsi à juste titre dans la catégorie des ondes solitaires optiques. Leur stabilité résulte d'un équilibre entre gain et pertes, doublé d'une compensation entre effets dispersifs et non-linéaires. L'existence de cet équilibre complexe est inhérent à la définition du soliton dissipatif, qui forme un récent cadre conceptuel permettant d'appréhender la dynamique d'impulsions subissant des échanges d'énergie significatifs avec leur environnement [2].

Après deux décennies, le développement de lasers à fibre à impulsions courtes est toujours en plein essor, avec des enjeux applicatifs importants notamment pour l'industrie, le domaine médical, et la métrologie [3, 4]. De nouvelles architectures laser à fibre ont été proposées afin d'améliorer les performances, et en général la compacité de ces dispositifs, produisant des impulsions plus énergétiques, ou bien plus courtes, dans de nouvelles gammes spectrales, à plus haute cadence, etc. Avec certains designs de cavité laser, des régimes de propagation initialement contre-intuitifs sont apparus, comme par exemple au sein de cavités fonctionnant en régime de dispersion chromatique fortement normale [5], à l'encontre du sens commun pour lequel les solitons optiques brillants nécessitent une dispersion anormale. De tels régimes de propagation sont simplement interprétés au moyen du concept de soliton dissipatif. La proche parenté existant entre soliton dissipatif et dynamique non-linéaire permet aussi d'appréhender ce qui se produit aux frontières du blocage de modes conventionnel, lorsque de nombreuses bifurcations du système dynamique peuvent se manifester tandis que les paramètres de la cavité sont modifiés [2].

2. DES LIQUIDES DE SOLITONS AUX ONDES SCÉLÉRATES

La formation d'impulsions multiples en cavité laser suit un type de bifurcation étudié de longue date, qui peut cependant employer plusieurs mécanismes [6]. Les régimes multi-impulsionnels sont, parfois recherchés, par exemple pour obtenir un fonctionnement harmonique démultipliant le taux de répétition relativement faible des cavités laser à fibre [7, 8], mais souvent considérés indésirables, puisqu'ils impliquent une limitation de la puissance crête pour l'application visée et compliquent la modélisation. Du point de vue fondamental, l'auto-organisation des régimes multi-impulsionnels a été très étudiée durant ces dernières années, avec la possibilté de former des états analogues à ceux de la matière : molécules, cristaux, et liquides de solitons [9, 10]. Au delà des structures stationnaires dans le référentiel propre, des structures mouvantes et chaotiques peuvent ainsi se propager tout en restant globalement confinées à l'échelle sub-nanoseconde, représentant un paradoxe par rapport aux concepts de blocage de modes et de soliton. On peut ainsi produire des impulsions courtes ou ultracourtes complexes en cavité laser, toujours au moyen du mécanisme d'absorption saturable, mais qui ne correspondent plus précisément à des régimes "modes bloqués". L'exposé developpera plus particulièrement ces solitons dissipatifs chaotiques, illustrant également la mise en évidence d'ondes scélérates optiques en cavité laser ultrarapide [11, 12, 13], et tentera d'unifier certaines descriptions et dénominations de dynamiques établies séparément.

- [1] Ph. Grelu (Ed.), Nonlinear optical cavity dynamics, Wiley-VCH, 2016.
- [2] Ph. Grelu and N. Akhmediev, "Dissipative solitons for mode locked lasers", *Nat. Photonics*, vol. 6, 84-92, 2012.
- [3] D. J. Richardson, J. Nilsson, and W. A. Clarkson, "High power fiber lasers: current status and future perspectives," *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 27, no. 11, B63 (2010).
- [4] J.M. Delavaux, Ph. Grelu, W. Pu, and F.O. Ilday (Eds.), "Special issue on short pulse fiber lasers," *Opt. Fib. Technol.*, vol. 20, 561, 2014.
- [5] A. Chong, W.H. Renninger, and F.W. Wise "All-normal dispersion femtosecond fiber laser with pulse energy above 20 nJ", *Opt. Lett.*, vol. 32, 2408-2410, 2007.
- [6] Voir en particulier les chapitres 4,9 et 10 de la Ref. [1].
- [7] A.B. Grudinin and S. Gray, "Passive harmonic mode locking in soliton fiber lasers", *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 14, no. 1, 144-154, 1997.
- [8] C. Lecaplain and Ph. Grelu, "Multi-gigahertz repetition-rate-selectable passive harmonic mode locking of a fiber laser", *Opt. Express*, vol. 21, 10897, 2013.
- [9] S. Chouli and Ph. Grelu, "Soliton rain in a fiber laser, an experimental study", *Phys. Rev. A*, vol. 81, 063829, 2010.
- [10] F. Sanchez et al. "Manipulating dissipative soliton ensembles in passively mode-locked fiber lasers", *Opt. Fib. Technol.*, vol. 20, 562-574, 2014.
- [11] C. Lecaplain, Ph. Grelu, J. M. Soto-Crespo, and N. Akhmediev, "Dissipative rogue waves generated by a mode locked fiber laser", *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 108, 233901, 2012.
- [12] C. Lecaplain and Ph. Grelu, "Rogue waves among noise-like-pulse laser emission: An experimental investigation," *Phys. Rev. A*, Vol. 90, 013805 (2014).
- [13] A. Runge, C. Aguergaray, N. G. R. Broderick and M. Erkintalo, "Raman rogue waves in a partially mode-locked fiber laser", *Opt. Lett.*, vol. 39, 319 (2014).

GÉNÉRATION D'HARMONIQUES, MOLÉCULES CHIRALES ET DYNAMIQUES ULTRARAPIDES

Samuel Beaulieu^{1,4}, Antoine Comby¹, Romain Géneaux³, Valérie Blanchet¹, Dominique Descamps¹, Amélie Ferré¹, Gustavo A. Garcia², Yann Mairesse¹, Éric Mével¹, Laurent Nahon², Stéphane Petit¹, Bernard Pons¹, Thierry Ruchon³, Baptiste Fabre¹,

Université de Bordeaux - CNRS - CEA, CELIA, UMR5107, F33405 Talence Cedex, France
 Synchrotron SOLEIL, l'Orme des Merisiers, Saint Aubin BP48, F91192, Gif-sur-Yvette, France
 CEA, IRAMIS, LIDyL, CEA-Saclay, F91191, Gif-sur-Yvette, France
 INRS, Centre ÉMT, Varennes, Québec, Canada

baptiste.fabre@u-bordeaux.fr

RÉSUMÉ

L'un des objectifs de notre équipe est d'initier puis de suivre des dynamiques ultrapides (femtosecondes et attosecondes) au sein de molécules chirales en phase gaseuse en utilisant le dichroïsme circulaire de photoélectrons. Nous nous intéresserons pour cela à la mesure de cette observable dans différents régimes d'ionisation afin de mettre en évidence l'intérêt et l'universalité du phénomène.

MOTS-CLEFS : Génération d'harmoniques d'ordre élevé; chiralité; dichroïsme de photoélectrons

1. Introduction

Depuis sa découverte en 1848 par Pasteur, de nombreuses études se sont intéressées à la chiralité du fait de son intérêt fondamental en physique, biologie, chimie et pharmacologie. En étudiant des sels d'acide tartrique, Pasteur émet l'hypothèse suivante : "certaines molécules peuvent exister sous deux formes, images l'un de l'autre dans un miroir, mais non superposables". Ces deux configurations, de même composition et partageant des propriétés physiques et chimiques identiques, sont appelées énantiomères et généralement notés R (rectus : droit) ou S (sinister : gauche). Ils ne peuvent donc être distingués à moins qu'ils n'intéragissent avec un autre système chiral, tel qu'une molécule ou de la lumière polarisée circulairement. Ainsi, la plupart des réactions biologiques sont basées sur le fait qu'une molécule chirale va être ou non reconnue par la molécule du récepteur en fonction de sa configuration. Cette reconnaissance chirale contrôle la manière avec laquelle nous percevons les odeurs ou le goût ainsi que l'efficacité d'action des médicaments. De nombreuses techniques, basées sur cette énantiosélectivité, ont été développées afin de sélectionner l'un ou l'autre de ces énantiomères. Toutefois ces techniques possèdent une sensibilité réduite et ne peuvent par conséquent être utilisées pour mesurer des dynamiques attosecondes ou femtosecondes en phase gaseuse, c'est à dire dans un milieu peu dense où il n'y a pas d'effets de solvatation.

2. DICHROISME CIRCULAIRE DE PHOTOÉLECTRONS

Dans un milieu gazeux, l'explosion Coulombienne initiée par un champ laser intense peut être utilisée pour accéder à la configuration absolue de la molécule cible en imageant directement la géométrie nucléaire. Il est ainsi possible de séparer deux énantiomères sans avoir recours à un support théorique. Toutefois, cette technique est limitée à des molécules chirales de petites tailles du fait de la dégradation du taux de détection en coïncidence avec l'augmentation du nombre de fragments. Ainsi, la mesure du dichroisme circulaire de photoélectrons, noté PECD (Photoelectron Circular Dischroism) est l'alternative la plus communément utilisée en phase gazeuse. Elle consiste à ioniser un échantillon énantiomériquement pur de molécules chirales non alignées à l'aide d'une onde électromagnétique polarisée circulairement [1].

La distribution angulaire des photoélectrons émis présente alors une grande disymétrie avant/arrière suivant l'axe de propagation du champ ionisant. Cet effet, initialement observé sur synchrotron, est un effet strictement dipolaire qui résultent des interférences entre les différentes ondes de diffusion ou, en d'autres termes, de la diffusion de l'electron par le potentiel chiral lors de la photoionisation [3]. Si l'on note R (respectivement L) la distribution angulaire de photoélectrons mesurée lors de l'interaction avec un champ polarisé circulairement droit (respectivement gauche), cette mesure différentielle peut être exprimée par :

$$PECD = 2\frac{L - R}{L + R} \tag{1}$$

Le signal, traduisant l'asymétrie de la distribution angulaire des photoélectrons en fonction de l'hélicité du champ ionisant, est macroscopique, peut atteindre plusieurs dizaines de pourcents et change de signe lorsque l'on passe d'un énantionère à l'autre ou que l'on inverse le sens de rotation du champ. De plus, ce signal est très sensible à la configuration électronique (orbitales) de la molécule, aux substitutions chimiques ainsi qu'à la conformation ou à l'excitation vibrationnelle [1]. Dans ces conditions, le PECD apparaît comme l'observable la plus adaptée à l'étude de dynamiques de systèmes chiraux en phase gaseuse.

3. GÉNÉRATION D'HARMONIQUES QUASI-CIRCULAIRES

Afin de se placer dans ce régime d'ionisation à un photon tout en conservant un résolution temporelle femtoseconde, nous utilisons le processus de génération d'harmoniques d'ordre élevé pour produire des photons dans l'utraviolet du vide (VUV) avec une polarisation circulaire.

Les harmoniques d'ordre élevé, de part leur méchanisme de génération basé sur la recombinaison d'un paquet d'onde électronique initialement éjecté dans le continuum avec la partie de la fonction d'onde non ionisée, sont généralement obtenues à partir d'un champ polarisée linéairement. Dans ces conditions, les harmoniques obtenues sont elles-même polarisées linéairement. Si l'on augmente l'ellipticité du champ générateur afin d'obtenir des harmoniques polarisées elliptiquement, le flux de ces dernières diminuent très rapidement, tandis que leur ellipticité reste toujours inférieure à celle du fondamental. Avec cette technique, il n'est alors pas possible d'obtenir un degré d'ellipticité supérieur à 0.4 [2].

Or, notre équipe a récemment découvert qu'il était possible d'obtenir un très fort dégré d'ellipticité des harmoniques tout en conservant un champ fondamental peu elliptique, assurant ainsi un excellent rendement de génération, lorsque ce processus était influencé par la présence de résonances électroniques [6]. Grâce à ce nouveau mécanisme nous avons été en mesure de générer des harmoniques quasiment circulaires dans la molécule de SF₆ qui présente autour de l'harmonique 15 du fondamental (800 nm) une résonance de forme [7].

A l'aide de cette nouvelle source de photons VUV quasi-circulaires, nous avons alors mesuré le signal de PECD après ionisation de la fenchone. Cette mesure, comparable qualitativement à celle obtenue sur synchrotron, va nous servir de référence lors de notre étude du PECD pour les différents régimes d'ionisation.

4. Universalité du PECD

En augmentant la longueur d'onde des photons ionisants, et donc le nombre de photons absorbés (harmonique 3 du 400 nm obtenue via la génération d'harmoniques résonnante dans SF₆, 3 photons à 400 nm, 6 photons à 800 nm ou 14 photons à 1850 nm), il est possible de modifier le régime d'ionisation tout en s'assurant que l'énergie cinétique des photoélectrons reste constante. Ainsi, plus le nombre de photons initiaux augmente, plus on s'approche du régime d'ionisation tunnel. Quelque soit le régime considéré, nous mesurons un fort PECD dont les structures reflètent la dynamique d'ionisation, indépendamment de la présence ou non d'une résonance. Cette étude permet donc de mettre en évidence l'intérêt des lasers femtosecondes pour l'étude de dynamiques au sein de systèmes chiraux en phase gaseuse via la mesure du PECD.

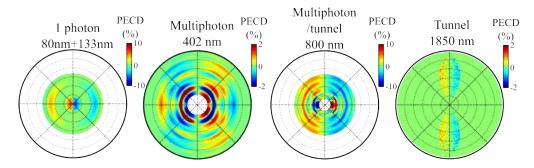


FIGURE 1 : PECD obtenus lors de l'ionisation de la fenchone par des impulsions femtosecondes dans différents régimes d'ionisation : ionisation à 1 photon VUV obtenu par la technique de génération d'harmoniques résonnantes dans SF₆ par des impulsions à 400 nm, ionisation multiphotonique à 400 nm, ionisation dans un régime intermédiaire à 800 nm et ionisation tunnel à 1850 nm. Dans chacun de ces cas, un signal de PECD conséquent est mesuré reflétant dans ses structures la dynamique d'ionisation. L'échelle radiale est comprise entre 0 et 12 eV.

5. DYNAMIQUE DE RELAXATION

En guise de première étude dynamique, nous nous sommes intéressés à la relaxation des états de Rydberg de la molécule de fenchone excitées via l'absorption d'un photon linéaire à 200 nm. Ces molécules excitées sont ensuite ionisées par un photon circulaire à 400 nm après un certain délai. En décomposant le signal de PECD obtenu sur la base des polynômes de Legendre, il est possible de suivre l'évolution des structures angulaires de la distribution de photoélectrons au cours du temps. Nous constatons ainsi que le signal de PECD encode une information plus riche et plus détaillée sur la dynamique que celle contenue dans le seul spectre de photoélectrons. Nous avons dès lors exploité cette sensibilité du PECD pour étudier les dynamiques initiées par différents schémas d'excitation que nous présenterons au cours de la conférence.

- [1] L. Nahon, G. A. Garcia, and I. Powis, "Valence shell one-photon photoelectron circular dichroism in chiral systems", *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, **204**, 322–334 (2015).
- [2] Ph. Antoine, B Carré, A L'Huillier, and M Lewenstein. "Polarization of high-order harmonics", *Phys. Rev. A*, **55**, 131–24 (1997)
- [3] B. Ritchie, "Theory of the angular distribution of photoelectrons ejected from optically active molecules and molecular negative ions", *Phys. Rev. A*, **13**, 1411–1415 (1976).
- [4] C. Lux, M. Wollenhaupt, T. Bolze, Q. Liang, J. Köhler, C. Sarpe, and T. Baumert, "Circular dichroism in the photoelectron angular distributions of camphor and fenchone from multiphoton ionization with femtosecond laser pulses", *Chem. Int. Ed.*, **51**, 5001–5005 (2012).
- [5] K. S. Budil, P. Salières, A. L'Huillier, T. Ditmire, and M. D. Perry, "Influence of ellipticity on harmonic generation", *Phys. Rev. A*, **48**, 3437(R) (1993).
- [6] A. Ferré, A. E. Boguslavskiy, M. Dagan, V. Blanchet, B. Brumer, F. Burgy, A. Camper, D. Descamps, B. Fabre, N. Fedorov, J. Gaudin, G. Geoffroy, J. Mikosch, S. Patchkovskii, S. Petit, T. Ruchon, H. Soifer, D. Staedter, I. Wilkinson, A. Stolow, N. Dudovich, and Y. Mairesse "Multi-Channel Electronic and Vibrational Dynamics in Polyatomic Resonant High-Order Harmonic Generation", *Nature Photonics*, 6, 5952 (2015).
- [7] A. Ferré, C. Handschin, M. Dumergue, F. Burgy, A. Comby, D. Descamps, B. Fabre, G. A. Garcia, R. Géneaux, L. Merceron, E. Mével, L. Nahon, S. Petit, D. Staedter, S. Weber, T. Ruchon, V. Blanchet and Y. Mairesse, "A table-top ultrashort light source in the extreme-ultraviolet for time-resolved circular dichroism experiments", *Nature Photonics*, 9, 93 (2015).

2015, Annee de la Lumiere en France est un immense succes!

Costel Subran¹

¹ « 2015, Année de la Lumière en France » Comité National d'Optique et de Photonique, 13, Rue Moreau, 75012 Paris, France

Ouverte le 8 janvier, lors d'une prestigieuse manifestation de lancement dans le grand amphithéâtre de la Sorbonne, « 2015, Année de la Lumière en France » a été un grand succès populaire. Nos commissions ont labellisé plus de 1.200 évènements. Des évènements dans tous les domaines : arts, culture, éducation, jeunesse, astronomie, éclairage, vision, recherche, industrie, santé.

La Cérémonie de clôture de « 2015, Année de la Lumière en France », à Paris, ville lumière, a eu lieu le 23 février 2016 dans les Salons de l'Hôtel de Ville. Devant le nombre important de demandes d'organisation d'évènements au-delà du 31 décembre 2015, et ce dans tous les domaines, le Comité national de l'Année de la Lumière en France a prolongé cette année exceptionnelle jusqu'au 30 juin 2016.

L'ensemble des régions se sont impliquées dans ces manifestations centrées sur la lumière, de Paris à toutes les métropoles régionales, de petites villes jusqu'aux villages, des salles de spectacles et amphithéâtres aux collèges, lycées et MJC, des festivals aux grandes conférences. On estime les montants investis par tous les acteurs pour assurer les succès de cette année - lumière à plus de 2M€ pour atteindre un public de plusieurs dizaines de milliers de participants.

Les manifestations sont et ont été majoritairement orientées vers les jeunes et le grand public. Enseigner librement la lumière aux jeunes à partir de 7 ans, faciliter la diffusion des connaissances dans les écoles à destination des élèves mais aussi des enseignants et des parents, est notre mission principale tout au long de cette année des lumières.

Une cérémonie de célébration sera organisée à Lyon au mois de novembre 2016. Cette cérémonie festive permettra aux acteurs régionaux et nationaux qui auront contribué au succès de l'« Année de la Lumière en France » de participer à un beau rassemblement à connotation artistique: spectacles de lumière, pièces de théâtre, animations visuelles.

QUELQUES OPTICIENNES (PAS ASSEZ) CÉLÈBRES

Caroline Champenois¹

¹ Aix Marseille Université, CNRS, PIIM UMR 7345, 13397, Marseille, France caroline.champenois@univ-amu.fr

RÉSUMÉ

Je présente ici les découvertes liées à l'optique de quelques femmes oubliées des livres de cours.

MOTS-CLEFS: Femmes et Physique, modèles féminins, optique

1. OBJECTIFS

La désaffection des filles pour les sciences dites "dures" a plusieurs causes que de nombreuses études récentes tentent d'expliciter. Une des causes avancées est le manque de modèles féminins que les élèves puis les étudiant.e.s croisent au cours de leurs études ¹. Dans mon exposé, je présenterai les portraits, travaux, et contributions majeures de quelques opticiennes (pas assez célèbres mais qui le mériteraient!) pour que vous puissiez à votre tour vous en emparer et briser ainsi un peu plus l'image d'une science faite uniquement par des hommes.

^{1.} voir par exemple le programme Européen GenPORT http://www.genderportal.eu/projects/pan-european-women-ambassadors-programme-bringing-role-models-schools-and-universities

LE MOOC « PHYSIQUE DES OBJETS DU QUOTIDIEN »

Ulysse Delabre¹

¹ Univ. Bordeaux, LOMA, UMR 5798, F-33400 Talence, France.

² Laboratoire Ondes et Matière d'Aquitaine, CNRS, UMR 5798, F-33400 Talence, France.

ulysse.delabre@u-bordeaux.fr

RÉSUMÉ

En 2016, un cours en ligne gratuit, ouvert à tous sur le thème de la « Physique des Objets du Quotidien » a été diffusé par l'Université de Bordeaux via la plateforme nationale France Université Numérique. Un des objectifs de ce cours était de présenter la physique associée à 5 objets de notre quotidien et proposer des expériences simples à refaire chez soi autour de ces objets. Cet exposé est l'occasion de revenir sur le déroulement de ce cours et sur les retours des apprenants.

MOTS-CLEFS: cours en ligne; expériences; MOOC

1. Introduction

En 2016, un cours en ligne gratuit, ouvert à tous sur le thème de la « Physique des Objets du Quotidien » a été diffusé par l'Université de Bordeaux via la plateforme nationale France Université Numérique. Un des objectifs de ce cours était de présenter la physique associée à 5 objets de notre quotidien et proposer des expériences simples à refaire chez soi autour de ces objets. Ce cours était divisé en 5 semaines de cours, chacune de ces semaines portant sur un objet de notre quotidien en particulier. La semaine 1 présentait le four à micro-ondes, la semaine 2 discutait du fonctionnement du liquide vaisselle, la semaine 3 s'intéressait aux écrans et afficheurs, la semaine 4 décrivait le fonctionnement des CD, DVD et Blu-ray et enfin la semaine 5 présentait les smartphones et l'utilisation des smartphones en science. A la fin de chaque semaine, des vidéos d'immersion en laboratoire présentaient également comment les mêmes concepts physiques étaient utilisés en recherche fondamentale. Les cours se basaient sur plusieurs vidéos de cours relativement courtes (10 minutes) durant lesquelles les enseignants du MOOC (équipe de 8 enseignants) commentaient et décrivaient les phénomènes physiques d'un point de vue théorique et expérimental.

Pour ce cours, plusieurs vidéos d'expériences ont été filmées pour décrire la physique à partir d'expériences simples. Une des singularités de ce cours était de demander aux apprenants de refaire certaines expériences chez eux pour valider ce MOOC ce qui a été très apprécié par les apprenants. Cet exposé est l'occasion de revenir sur les expériences demandées notamment en optique et de faire un bilan de cette expérience très enrichissante de cours en ligne à distance.



Fig. 1 : Gauche : Affiche du MOOC Physique des Objets du Quotidien. Droite : Carte des apprenants du MOOC. Plus la couleur est foncée plus il y a d'inscrits dans le pays. https://www.fun-mooc.fr/courses/ubordeaux/28003/session01/about

UNE APPROCHE EXPERIMENTALE DE L'OPTIQUE EN LICENCE

Gaël Latour¹, Marie Godard², Vincent Guillet³

¹ Laboratoire Imagerie et Modélisation en Neurobiologie et Cancérologie, Université Paris-Sud, CNRS, Université Paris-Saclay, Orsay, France

² Centre de Sciences Nucléaire et de Sciences de la Matière, Université Paris-Sud, CNRS, Université Paris-Saclay, Orsay, France

³ Institut d'Astrophysique Spatiale, Université Paris-Sud, CNRS, Université Paris-Saclay, Orsay, France

gael.latour@u-psud.fr

RÉSUMÉ

L'enseignement de l'optique (géométrique et ondulatoire) se fait sous forme de modules expérimentaux durant les deux premières années de licence à l'Université Paris-Sud.

MOTS-CLEFS : enseignement en licence, optique géométrique, optique ondulatoire, travaux pratiques

L'enseignement de l'optique en licence se fait sous forme de modules expérimentaux à l'université Paris-Sud. L'enseignement de l'optique géométrique en L1 (450 étudiants) est un module de 30h avec un alternance de cours-TP et de TD. Celui d'optique physique en L2 (100 étudiants) est un module de 25h qui se décline de la façon suivante : 5h de cours, 6h de TD et 4 TP de 3h30. L'objectif est d'identifier des compétences expérimentales que les étudiants doivent acquérir et que nous évaluons en fin de module à travers des examens de TP individuels. Nous souhaitons également rendre les étudiants plus autonomes et participatifs dans leur apprentissage avec des séances de TP qui s'apparentent à des projets expérimentaux et avec l'utilisation des clickers.

LE PLATEAU PEDAGOGIQUE LASER DE L'UNIVERSITE DE BORDEAUX AU SERVICE DE LA FORMATION INITIALE ET CONTINUE

Inka Manek-Hönninger

CELIA UMR 5107, Université de Bordeaux, 351 Cours de la Libération, 33405 Talence, France, et UF de Physique, Collège Sciences et Technologies, Université de Bordeaux

inka.manek-honninger@u-bordeaux.fr

RÉSUMÉ

Le plateau pédagogique laser de l'université de Bordeaux permet de concentrer un maximum d'équipements laser et optique en un lieu unique afin de former à une diversité de matériels, en général inaccessibles pour la formation, et cela de manière très approfondie.

MOTS-CLEFS: laser; formation initiale; formation continue; photonique

Le plateau pédagogique, plateforme mutualisée entre le CRPhy (Centre de Ressource en Physique de l'UF de Physique, Collège ST, Université de Bordeaux) et PYLA (Centre de formation continue du pole de compétitivité « Route des Lasers ») est un support pour les formations en optique, photonique et laser. Il a pour mission de recherche l'innovation pédagogique dans ces domaines ; assurant ainsi le lien entre les laboratoires de recherche et les acteurs socioéconomiques. Le plateau pédagogique est un lieu de transfert de compétences entre les experts scientifiques.

Cet outil d'excellence technologique et scientifique à caractère collaboratif permet de faire émerger de nouveaux modèles de formation pour accompagner l'évolution des métiers de la filière photonique et ainsi maintenir la formation des étudiants au niveau des attentes du marché présentes et futures. Par ailleurs, la capacité à proposer une formation toujours renouvelée, innovante, unique en France renforce l'attractivité auprès des étudiants de la formation initiale.

Le plateau pédagogique est également une ressource destinée aux industriels pour l'innovation en ingénierie pédagogique : optimiser les échanges entre la formation, la recherche et les industriels, diffuser les bonnes pratiques et proposer des formations adaptées aux situations de travail. Le plateau pédagogique, modulable s'adapte aux besoins spécifiques des industriels. Ainsi la modularité d'exploitation du plateau pédagogique permet de faire profiter aux apprentis et étudiants les échanges constants avec les industriels.

Le plateau pédagogique est installé dans le bâtiment Institut d'Optique d'Aquitaine sur une surface de 500m² entièrement dédiés à la formation en optique laser. Le plateau pédagogique est sous la responsabilité du Centre de Ressources de Physique de l'Université de Bordeaux. Un enseignant chercheur en assure la responsabilité. Il est épaulé par un technicien spécialisé en optique laser de l'équipe PYLA dont la mission est entièrement dédiée au maintien en condition opérationnelle des outils pédagogiques.

Du point de vue de la définition de l'offre de formation continue, un enseignant chercheur assure la responsabilité pédagogique.

MALLETTE PEDAGOGIQUE POUR L'HOLOGRAPHIE : COMMENT FAIRE DES EXPERIENCES POUR L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR EN S'AFFRANCHISSANT SIMPLEMENT DES VIBRATIONS PARASITES

A. Escarguel¹, R. Baude¹

¹ Laboratoire PIIM, UMR 7345 CNRS, case 322, Université d'Aix-Marseille, av. escadrille Normandie-Niemen, 13397 Marseille Cedex 20, France

alexandre.escarguel@univ-amu.fr

RÉSUMÉ

L'holographie fait partie des expériences de base indispensables à toutes les filières d'optique. Elle a beaucoup d'applications et permet d'illustrer de nombreuses propriétés physiques des rayonnements cohérents. D'autre part, il est très valorisant pour un étudiant de réussir un hologramme, objet de curiosité qui garde toujours une petite part de « magie ». Cependant, il est d'habitude nécessaire d'utiliser un dispositif anti-vibratoire très couteux pour réussir ce type d'expériences. Afin de pallier à ce problème, nous avons réalisé un outil pédagogique pour l'holographie monochrome en 2010 [1, 2, 3]. Très compact, tout le matériel nécessaire est contenu dans une petite mallette. Des expériences d'interférométrie double exposition, de réalisation de filtres « notch » ou de réseaux de diffraction peuvent être réalisé sur une simple table. Cet outil est actuellement utilisé dans plusieurs Masters/Licence de l'Université d'Aix-Marseille et est régulièrement prêté à des établissements du secondaire dans le cadre de leurs projets pédagogiques.

En 2015, nous avons développé une nouvelle version de cet outil, permettant de réaliser des hologrammes couleur plus grands et offrant la possibilité de faire plus d'expériences pour les enseignements en Licence ou Master et dans les écoles d'ingénieurs. L'outil permet aussi chaque année de réaliser des journées de formation continue des enseignants du secondaire et est très fréquemment utilisée pour des actions de diffusion de la culture scientifique.

Le stand permettra de réaliser des expériences d'holographie afin d'illustrer les possibilités de l'outil : multiplexage fréquentiel/angulaire, double hologramme par réflexion/transmission, filtre « notch », réseau de diffraction.

MOTS-CLEFS: holographie; interférence; pédagogie; travaux-pratiques

- [1] T. Voslion, A. Escarguel, « *An easy teaching tool for holography* », Eur. J. Phys. 33 1803–1811 (2012)
- [2] Th. Voslion, A. Escarguel, " *An easy physics outreach and teaching tool for holography* ", International Symposium on Display Holography, MIT Media Lab, Cambridge Massachusetts USA, J. Phys.: Conf. Ser. 415 012001 (2012).
- [3] A. Escarguel, «Upgrade of the pedagogic/popular science tool for holography: color holography », 10 International Symposium on Display Holography, St Pétersbourg (2015)

PHOTONIQUE MONDIALE, STRATEGIE ET PERSPECTIVES

Costel Subran¹

¹ Société Française d'Optique, 2 Avenue Augustin Fresnel, 91127 Palaiseau Cedex

La photonique mondiale enregistre, selon les dernières évaluations de l'OSA un chiffre d'affaires d'environ 4Md USD dont environ 10Md USD dans l'industrie du laser. Les principaux secteurs d'intégration verticale sont : énergie, éclairage, sciences de la vie, machine- outils, communications, sécurité. Le marché de la photonique est un marché global entre les ressources en matériaux, la fabrication, l'intégration en produits capacitants. Avec un leadership indéniable dans les écrans, le photovoltaïque et les LED's, l'Asie prends environ 64% du marché mondial, l'Europe arrive avec 17% du marché loin derrière. La photonique mondiale crée des continuellement des emplois chiffrés fin 2015 à plus de 125.000, dans plus de 900 sociétés.

CNOP - PHOTONIQUE FRANÇAISE, ACTIONS ET PERSPECTIVES

Philippe BREGI¹

¹CNOP, 13 rue Moreau, 75012 Paris

pbregi@egide.fr

RÉSUMÉ

Le Comité National d'Optique - Photonique a pour mission de fédérer et coordonner au niveau national les actions en faveur de la photonique tant en France qu'à l'international. Son président fera un point des actions menées depuis le dernier congrès de la SFO (juillet 2015) et des perspectives pour les années suivantes.

CREATION D'ENTREPRISES AUTOUR DES LASERS A FIBRES: ENJEU DE L'INTEGRATION

Benoît Apper-Collin¹

¹ Alphanov, Institut d'Optique d'Aquitaine, Rie François Mitterand, 33400 Talence, France benoit.appert-collin@alphanov.com

RÉSUMÉ

Les lasers à fibres représentent un marché mondial de plus de 1,5 milliards de dollars en croissance annuelle de l'ordre de 15%. L'enjeu économique est donc très important pour notre filière d'autant que le socle de recherche académique français est au meilleur niveau dans ce domaine. Les initiatives des chercheurs dans les laboratoires publics ou leur association avec des entrepreneurs sont d'ailleurs à l'origine de nombreux succès industriels et plusieurs leaders internationaux ont ainsi émergés sur les 15 dernières années. Illustration avec le centre technologique ALPhANOV de l'aide concrète à ces créations d'entreprises ainsi qu'à leur développement vers les marchés applicatifs : instrumentation, procédés lasers, médical...

MOTS-CLEFS: laser à fibre ; création d'entreprise ; entrepreunariat ; session industrielle

POIETIS, LA START-UP À L'INTERFACE PHOTONIQUE - BIOIMPRESSION TISSULAIRE

Bertrand VIELLEROBE¹

¹ Biparc Bordeaux Métropole, 27 allée Charles Darwin, 33600 Pessac, France bertrand.viellerobe@poietis.com

RÉSUMÉ

La bioimpression par laser est considérée aujourd'hui comme la technologie de rupture nécessaire pour atteindre le niveau de complexité et de précision requis pour imprimer des tissus biologiques similaires aux tissus natifs. POIETIS, première start-up au monde dans ce domaine, a pour ambition de développer cette technologie et ses applications pour de nombreux domaines biomédicaux. La génèse du projet, la structuration de l'entreprise et ses perspectives de développement technologique comme applicatif seront présentées lors de cette conférence.

MOTS-CLEFS: start-up; bio-impression; tissu biologique; session industrie

RÉSUMÉ

ACCELERATEURS INNOVANTS DE PARTICULES ET DE RAYONNEMENT PAR LASER ULTRA-INTENSE

François Sylla¹

¹SourceLAB SAS, 86 rue de Paris, 91400 Orsay

sylla@sourcelab-plasma.com

RÉSUMÉ

SourceLAB ambitionne de proposer au marché du Contrôle Non Destructif industriel une solution alternative complète de génération de source X, basée sur l'interaction d'un laser intense avec un plasma.

CETTE TECHNIQUE DE RUPTURE EST ABSOLUMENT INEDITE

- i. **en termes de résolution :** La génération de la source X induit des tailles de sources de 50μm, augmentant significativement la résolution de la mesure radiographique.
- ii. **en termes de débit de dose :** les valeurs sont de l'ordre de la dizaine de Gy/min à 1 m . Ces performances sont très intéressantes laissent envisager une augmentation de la productivité avec un laser haute-cadence (centaine de Hz à kHz).
- iii. **en termes d'énergie :** la technologie SourceLAB permet d'atteindre des énergies de rayons X très élevées, jusqu'à plusieurs centaines de MeV, pour l'analyse de pièces très épaisses et denses.
- iv. **en termes d'accordabilité :** cette technique de génération laser-plasma laisse présager la possibilité de choisir l'énergie du spectre X pour améliorer l'interprétation des images radiographique.
- v. **en termes de radioprotection :** la source envisagée est « ON-OFF », c'est-à-dire que le rayonnement n'est pas émis sans l'action de l'utilisateur.

POTENTIALITES D'APPLICATIONS DE MATERIAUX HYBRIDES POUR L'OPTIQUE ET LA PHOTONIQUE

Rachid Mahiou, Damien Boyer, Audrey Potdevin, Geneviève Chadeyron

Institut de Chimie de Clermont-Ferrand, UMR 6296 CNRS / UBP / SIGMA - Université Clermont Auvergne, 63178 Aubière, France

Rachid.Mahiou@univ-bpclermont.fr

RÉSUMÉ

Les matériaux hybrides ou nanocomposites sont une classe de matériaux aux caractéristiques exceptionnelles qui ouvrent des perspectives dans le domaine de la conception de dispositifs pour l'optique et la photonique.

MOTS-CLEFS: Hybrides, nanocomposites, luminescence, mise en forme

1. Introduction

Une recherche sur le web associée aux données bibliographiques sur les matériaux hybrides génère une importante quantité de références, articles, brevets, notes,... confirmant l'intérêt de ce champ d'étude et les potentialités d'applications auxquelles ce type de matériaux conduisent. En effet, des applications aussi diverses que l'éclairage, le photovoltaïque, les télécommunications, le marquage (routier, anti contrefaçon, biologique), les pigments, ou autres reposent en partie sur cette notion de composés hybrides ou nanocomposites [1]. Les matériaux hybrides font référence à une classe de matériaux dans lesquels des composantes organiques et inorganiques sont intimement mélangées à l'échelle nanométrique voire moléculaire. A cette échelle, les propriétés du matériau hybride ne sont pas simplement le résultat de la combinaison des propriétés individuelles de chacune des composantes, mais résultent de l'interaction entre les deux composantes qui contribuent à la synergie des propriétés du composé obtenu. Ces matériaux sont en effet une classe de matériaux aux caractéristiques exceptionnelles qui ouvrent des perspectives dans le domaine l'optique et la photonique. D'autre part, l'utilisation de techniques de chimie douce, permettant d'élaborer ou d'intégrer indépendamment ou in situ les composantes élaborées conduit à une grande variété de compositions et de forme Par exemple, les complexes organiques, de terres rares notamment, sont connus pour être le siège d'intenses fluorescences couvrant un large domaine du spectre électromagnétique. Leur champ d'application est resté cependant très longtemps limité en raison particulièrement de leur faible stabilité thermique et mécanique. Y remédier consiste à incorporer ces molécules dans un réseau minéral rigide ou dans une matrice polymère. Cette matrice hôte doit jouer le rôle d'ossature stable vis à vis des conditions d'utilisation envisagées, sans altérer de façon significative les caractéristiques intrinsèques des espèces insérées. La qualité optique de la silice ajoutée à la stabilité de ses caractéristiques thermique et mécanique fait d'elle une matrice privilégiée pour de nombreuses molécules et espèces optiquement actives. Bien que le terme hybride soit considéré comme impropre par les puristes aux "charges inorganiques" plongées dans des matrices polymères, ce type de matériaux rentre bien dans cette classe de matériaux et ouvre des perspectives d'applications énormes [2].

Ainsi l'association judicieuse de deux composantes, organique et inorganique, en proportions non négligeables, et leur degré d'interpénétration à l'échelle nanométrique ou moléculaire permet de combiner leurs caractéristiques respectives au sein d'un même composé et par la même de définir et d'appréhender un grand nombre de nouveaux matériaux multifonctionnels. L'utilisation de méthodes de chimie douce qui élargit l'éventail des composés accessibles et la facilité de mise en forme des matériaux dérivés, notamment sous forme de nanoparticules, de films ou de couches

minces ou de monolithes, est un autre avantage majeur de ces méthodes ; les applications visées peuvent alors concerner plusieurs secteurs de l'optique de la photonique, de la biologie, de la médecine.... Quelques exemples sont donnés dans la suite.

2. MATERIAU HYBRIDES LUMINESCENTS

Ces matériaux sont élaborés de façon originale par des méthodes de chimie en solution [3]. Ces méthodes permettent un contrôle précis de leurs compositions, de leurs formes et de leur homogénéité et une production aisée en grande quantité de façon reproductible. On dispose ainsi d'une versatilité de composés et de formes qui peuvent, être intégrés au sein d'une matrice (verre, polymère, papier, textile, ,...) dès son processus de fabrication ou être déposés de à la surface de la matrice (vernis, encre, peinture,...) sans altérer dans les deux cas, les propriétés de la matrice.



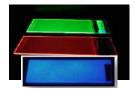






Fig. 1: Couches hybrides luminescentes







Fig.2 : Pots luminescents

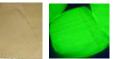


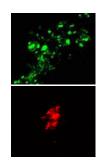


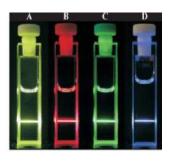


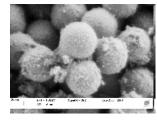
Fig. 3: Textiles et fils luminescents

Fig. 4: Nanocomposites luminescents

La possibilité de générer des signaux optiques anti-Stokes permet d'envisager l'utilisation de nanoparticules (NPs) hybrides pour faire de l'imagerie médicale.







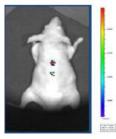


Fig. 5 : Poudres et solutions luminescentes éclairées sous IR

Fig. 6 : Clichés MEB de NPs hybrides et imagerie d'une souris Nude sous IR

- [1] C. Sanchez, B. Lebeau, F. Chaput and J-P. Boilot, "Optical properties of functional hybrids organic-inorganic nanocomposites", Adv. Mater. Vol. 15 (23), pp. 1969-1994, 2003.
- [2] Y. Yuan and M. Krüger, "Polymer-Nanocrystal Hybrid Materials for Light Conversion Applications", Polymers, vol. 4, pp. 1-19, 2012.
- [3] R. Mahiou, G. Chadeyron, D. Boyer, P. Boutinaud, A. Potdevin et D. Zambon, "Poudres et couches minces fluorescentes préparées par sol-gel: un exemple de luminophores nanostructurés fonctionnels", UVX 2008, 9th Conference of coherent and incoherent sources UV, VUV, and X, applications and recent developments, EDP Sciences, UVX 2008, pp. 101-106, 2009.
- [4] P. Adumeau, F. Leccia, D. Boyer, J-L. Canet, A. Gautier, L. Morel, T. Gefflaut et R. Mahiou "Nanoparticules hybrides pour le marquage de cellules cancéreuses : L'imagerie médicale entre dans l'ère des nanotechnologies", L'Actualité Chimique, N° 395, pp. 23-28, 2015.

INFLUENCE DE MODIFICATIONS STRUCTURALES DE COMPOSES DIAZINIQUES DE TYPE PUSH-PULL SUR LES PROPRIETES D'EMISSION ET D'OPTIQUE NON-LINEAIRE.

Sylvain Achelle, Julian Rodríguez-López², Françoise Robin-le Guen¹

¹ Institut des Sciences Chimiques de Rennes, UMR CNRS 6226, IUT de Lannion, Université de Rennes 1, 22300 Lannion, France

sylvain.achelle@univ-rennes1.fr

RÉSUMÉ

Cette contribution présentera l'intérêt de l'incorporation de fragments diaziniques dans la structure de chromophores de type push-pull. L'influence de modification structurales sur les propriétés optoélectroniques sera illustrée avec quelques exemples de sondes fluorescences (pH, cations métalliques...), de matériaux pour l'émission de lumière blanche et de chromophores pour l'optique non linéaire (ONL)

MOTS-CLEFS : diazine ; matériaux π -conjugués ; luminescence blanche ; optique non linéaire.

1. Introduction

Durant les deux dernières décennies, les matériaux organiques π -conjugués ont fait l'objet de nombreuses recherches du fait de leurs applications potentielles dans des domaines variés tels que la luminescence et les matériaux présentant des propriétés d'optique non-linéaire. L'introduction d'hétérocycles aromatiques dans le système π -conjugué est particulièrement utile lorsqu'un transfert électronique est nécessaire, et c'est un moyen de modifier, et parfois améliorer, les propriétés optoélectronique. Les diazines, telles que la pyrimidine, la pyrazine et la quinoxaline sont d'excellentes briques de construction pouvant être incorporées dans de telles structures. En effet ces hétérocycles possèdent un caractère fortement électro-attracteur, une aromaticité plus faible que le benzène favorisant le transfert de charge intramoléculaire et une sensibilité à la protonation, la complexation et à la formation de liaisons hydrogènes pouvant être utilisés pour moduler les propriétés optoélectroniques des molécules [1].

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Ces dernières années, nous avons synthétisé une large chimiothèque de chromophores diaziniques obtenu par réactions de couplage croisé pallado-catalysé et par des réactions de condensations [2]. Certaines de ces structures présentent une photoluminescence très importante et ont trouvé des applications en tant que sondes fluorescentes. Actuellement, notre intérêt se focalise sur des modifications structurelles de chromophores diaziniques de type push-pull afin de moduler leurs propriétés de luminescence (Fig. 1). Dans ce contexte, nous avons modifié les trois parties des structures push-pull, c'est-à-dire le cycle diazinique électro-attracteur, la nature du groupement électro-donneur et le lien π -conjugué. Nous avons également montré que la protonation ainsi que la complexation de divers cations métalliques peut-être un outil puissant pour obtenir une fluorescence multicolore à partir d'une seule molécule [2,3]. Ces structures moléculaires ont également des applications potentielles dans le domaine de l'émission de lumière blanche [4].

² Facultad de Ciencias y Tecnologías Químicas, Universidad de Castilla-La Mancha, 13071 Ciudad Real, Espagne

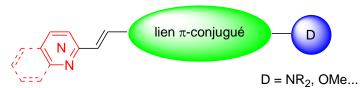


Fig. 1 : Structure des chromophores diaziniques de type push-pull.

Les matériaux organiques de type push-pull présentent également des propriétés ONL de $2^{\text{ème}}$ ordre. Récemment nous avons décrit une série de chromophores diaziniques présentant une forte hyperpolaribabilité de 1^{er} ordre. L'influence de la coordination et la méthylation du fragment diazinique et de la nature du lien π -conjugué sur la réponse ONL de $2^{\text{ème}}$ ordre a été soigneusement étudiée [5].

La dernière partie de cette présentation concernera les propriétés biphotoniques de dérivés diaziniques. En particulier, nous décrirons un copolymère conjugués alternant des fragments pyrimidiniques et des fragments triphénylamines qui présente une très forte absorption biphotonique, beaucoup plus importante que le monomère correspondant [7]. Un exemple de microfabrication par photolithographie bipohotonique en utilisant ce chromophore comme photoinitiateur sera décrit.

CONCLUSION

Cette contribution présentera l'intérêt de l'incorporation d'hétérocycles diaziniques dans la structure de chromophores aux propriétés optiques variées : luminescence, génération de seconde harmonique, absorption biphotonique....

- [1] a) S. Achelle and N. Plé, "Pyrimidine ring as building block fort he synthesis of functionalized π -conjugated materials" Curr. Org. Synth. vol. 9, pp 163-167, 2012. b) S. Achelle, C. Baudequin, and N. Plé, "Luminescent materials incorporating pyrazine or quinoxaline moities" Dyes Pigm. vol. 98, pp 575-600, 2013. c) S. Achelle, C. Baudequin, and N. Plé, "Recent advances in pyrimidine derivatives as luminescent, photovolcaic and non-linear optical materials" Targets Heterocycl. Syst. vol. 17, pp 1-37, 2013.
- [2] a) S. Achelle, I. Nouira, B. Pfaffinger, Y. Ramondenc, N. Plé and J. Rodriguez-Lopez, "V-shaped 4,6-bis(arylvinyl)pyrimidines oligomers; synthesis and optical properties" J. Org. Chem. vol. 74, pp 3711-3717, 2009. b) C. Hadad, S. Achelle, J. C. Garcia-Martinez and J. Rodriguez-Lopez, J. Org. Chem. Vol. 76, pp. 3837-3845, 2011. c) S. Achelle, J. Rodrigez-Lopez, and F. Robin-le Guen "2-arylvinylpyrimidines versus 4-arylvinylpyrimidines: synthesis and comparison of the optical properties" J. Org. Chem. vol. 79, pp 7564-7571, 2014.
- [3] a) C. Hadad, S. Achelle, I. Lopez-Solera, J. C. Garcia-Martinez, and J. Rodriguez-Lopez, "Metal cation complexation studies of 4-arylvinyl-2,6-di(pyridin-2-yl)pyrimidines: effect on the optical properties" Dyes Pigm. vol. 97, pp 230-237, 2013. b) S. Achelle, J. Rodriguez-Lopez, F. Bureš and F. Robin-le Guen, "Dipicolylamine styryldiazine derivatives: synthesis and photophysical studies" Dyes Pigm. vol. 121, pp 305-311, 2015.
- [4] S. Achelle, J. Rodriguez-López, N. Cabon, and F. Robin-le Guen "Protonable pyrimidine derivatives for white light emission" RSC Adv. vol. 5, pp 107396-107399, 2015.
- [5] a) S. Achelle, A. Barsella, C. Baudequin, B. Caro, and F. Robin-le Guen, "Synthesis and photophysical investigation of a sereis of push-pull arylvinyldiazine chromophores" J. Org. Chem. vol. 77, pp 4087-4096, 2012. b) S. Achelle, S. Kahlal, A. Barsella, J.-Y. Saillard, X. Che, J. Vallet, F. Bures, B. Caro and F. Robin-le Guen, "Improvement oft he quadratic non-linear optical properties of pyrimidine chromophores by N-methylation and tungsten pentacarbonyl complexation" Dyes Pigm. vol. 113, pp 562-570, 2015. c) S. Achelle, A. Barsella, B. Caro, F. Robin-le Guen "donor-linkjer-acceptor (D- π -A) diazine chromophores with extended π -conjugated cores: synthesis, photophysical and second order nonlinear optical properties" RSC Adv. vol. 5, pp 39218-39227, 2015.
- [6] J. P. Malval, S. Achelle, L. Bodiou, A. Spangenberg, L. Chia Gomez, O. Soppera, and F. Robin-le Guen, "Two-photon absorption in a conformationally twisted D- π -A oligomer: a synergic photosensitizing approach for multiphoton lithography" J. Mater. Chem. C vol. 2, pp 7869-7880, 2014.

Fonctionnalisation de surfaces polarisées

Meriem Bouriga, Nathan McClenaghan, Marc Dussauze, Luc Vellutini, Thierry Buffeteau, Vincent Rodriguez

Université de Bordeaux, Institut des Sciences Moléculaires (ISM), UMR 5255 CNRS 351 Cours de la Libération, F-33405 Talence Cedex, France Email: meriem.bouriga@u-bordeaux.fr

Nous préparons des substrats vitreux fortement polarisés, susceptibles de modifier les propriétés de monocouches de molécules fonctionnelles greffées, pour des applications en photonique ou en catalyse.

MOTS-CLEFS: chimie de surface, polarisation thermique; monocouche organique; greffage covalent

La chimie de surface par greffage covalent de molécules organiques sur des substrats massiques est largement utilisée pour de nombreuses applications. Interfacer des molécules fonctionnelles avec des surfaces hautement polaires peut être un moyen efficace pour modifier les propriétés et les processus moléculaires inhérents pour des applications en photonique et/ou en catalyse. Par exemple, récemment une équipe a montré le potentiel que représentent des domaines polarisés dans des oxydes ferroélectriques pour améliorer la physisorption des molécules et ainsi la réactivité des surfaces par domaine polarisé [1].

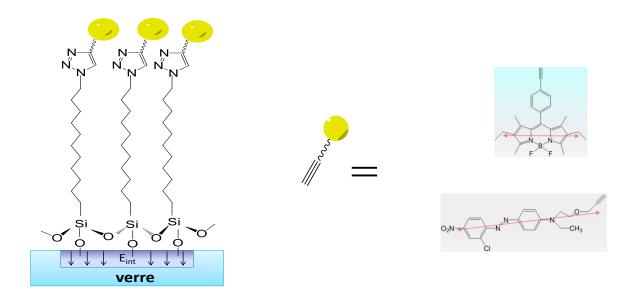
L'originalité de notre approche repose sur l'utilisation de substrats vitreux usuels, comme les verres borosilicates, que nous soumettons préalablement à un traitement de polarisation thermique [2]. Ce traitement combine l'action d'une haute tension (1,5 kV) appliquée au substrat vitreux et de la température (300°C) qui permet d'activer la migration des ions mobiles présents dans les verres, tels que le sodium. La polarisation thermique permet ainsi de créer une charge d'espace importante et stable sur de grandes surfaces côté anode, à l'interface de la lame de verre.

L'optimisation de l'atmosphère humide lors du traitement de polarisation thermique ainsi que du type d'électrodes utilisées permet de contrôler finement les propriétés physicochimiques de l'interface vitreuse par deux actions simultanées cumulées :

- a) l'activation chimique de la surface pour permettre la fonctionnalisation par l'adjonction de groupements hydroxyles; habituellement ceci est obtenu par un traitement UV/O_3 des lames,
- b) l'introduction d'un champ électrique statique intense à l'interface du substrat (de l'ordre de 10 à 100 MV/m) provenant des charges d'espace enterrées créées lors du traitement.

En parallèle, un protocole de greffage générique comportant une réaction "click" [3], a été établi pour lier d'une manière covalente des molécules fonctionnelles à un précurseur alcoxylane préalablement silanisé à la surface du verre. Dans un premier temps, des molécules photoactives avec des structures électroniques bien maîtrisées ont été étudiées. Ces substrats ont le potentiel d'avoir un impact dans le domaine de la détection, du «nanoswitching», de la photocatalyse / catalyse et de conduire à terme à des réseaux moléculaires pour le diagnostic médical.

Afin de suivre les étapes du greffage puis de caractériser les réponses spectrales, l'arrangement et l'orientation des assemblées moléculaires en contact avec le substrat, plusieurs techniques ont été mises au point et utilisées de façon complémentaire, telles que l'UV-Vis RAS, le PM-IRRAS, la génération de second harmonique et l'AFM.



Pour chaque série de molécules fonctionnelles greffées, nous présenterons les résultats obtenus à partir de quatre lames témoins. D'une part, l'utilisation d'un substrat SiO₂/Au a permis de suivre par PM-IRRAS les 3 étapes du greffage et d'obtenir également des informations sur le taux de greffage et l'orientation des molécules fonctionnelles greffées. D'autre part, l'utilisation de trois substrats borosilicates a permis de réaliser une étude comparative de la fonctionnalisation: le premier étant natif (sans traitement), le second est traité UV-O₃, et le troisième est polarisé thermiquement.

Cette étude a été réalisée avec le soutien financier de l'Etat français, géré par l'Agence Nationale de la Recherche française (ANR) dans le cadre des «Investissements d'avenir» Programme IdEx Bordeaux - LAPHIA (ANR-10-IDEX-03-02).

REFERENCES

- [1] Dongbo Li, Mosha H. Zhao, J. Garra, A. M. Kolpak, A. M. Rappe, D. A. Bonnell & J. M. Vohs, *Nature Materials*, **2008**, 7, 473.
- [2] T. Cremoux, M. Dussauze, E. Fargin, T. Cardinal, D. Talaga, F. Adamietz and V. Rodriguez. *J. Phys. Chem. C*, **2014**, 118 (7), 3716-3723.
- [3] S-Y. Ku, K-T. Wong and A.J. Bard. J. Am. Chem. Soc, 2008, 130, 2392-2393.

NANOSTRUCTURES PLASMONIQUES ET REPONSES OPTIQUES DE SYSTEMES HYBRIDES: UN ENJEU SCIENTIFIQUE POUR CHIMISTES ET PHYSICIENS

Stephane Parola

Laboratoire de Chimie, Ecole Normale Supérieure de Lyon, CNRS UMR 5182, 46 allée d'Italie, F69364. LYON. France.

stephane.parola@ens-lyon.fr

RÉSUMÉ

Cette présentation positionnera le contexte des matériaux hybrides appliqués à l'optique et décrira en particulier l'intérêt de coupler systèmes luminescents et nanostructures plasmoniques pour la modification des réponses optiques.

MOTS-CLEFS: *Matériaux hybrides, optique, plasmonique*

La recherche sur les matériaux hybrides inorganiques-organiques a connu une croissance exponentielle depuis les années 1980 avec le fort développement des procédés de chimie douce. En effet, les conditions de synthèse opérant à basses températures et le contrôle de l'état colloïdal permettent le mélange des composants organiques et inorganiques à l'échelle du nanomètre pour produire les matériaux dits hybrides. Aujourd'hui, un degré élevé de contrôle des architectures à l'échelle nanométrique de ces hybrides est possible permettant une optimisation fine des relations structure-propriété. Ceci permet d'adapter et d'affiner de nombreuses propriétés (mécaniques, optiques, électroniques, thermiques, chimiques ...), et de concevoir des systèmes multifonctionnels spécifiques. En particulier, le domaine des hybrides pour l'optique a été très productif non seulement sur les connaissances fondamentales, mais aussi en termes d'applications (capteurs, filtres, imagerie, ...). A travers cet exposé nous présenterons le contexte des matériaux hybrides à propriétés optiques. L'accent sera ensuite porté plus particulièrement sur la conception d'architectures combinant systèmes organiques luminescents et nanostructures plasmoniques. Les interactions entre les composants optiquement actifs et les systèmes plasmoniques ont suscité une attention particulière en raison de la possibilité d'accorder et d'améliorer les réponses optiques (émission, absorption) en utilisant le champ électromagnétique local ou les propriétés de diffusion du métal. Différentes stratégies ont été proposées pour contrôler les interactions entre les nanostructures plasmoniques et systèmes optiques (Colorants, QDs ..). Les concepts de base pour l'optimisation des architectures seront discutés. Cette approche de la conception de matériaux hybrides sera illustrée par des exemples d'applications dans les domaines de la bio-imagerie, la photothérapie, les filtres optiques.

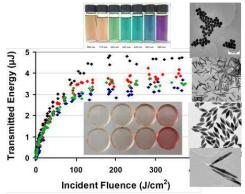


Fig. 1 : Exemples de matériaux hybrides incorporant des nanostructures d'or et leurs réponses en absorption nonlinéaire.

Inducing Fano resonances through long-range interaction

I. Ragheb, G. Lévi, J. Aubard, L. Lecaque-Boubekeur, S. Lau-Truong, J. Grand*, N. Félidj**
Interfaces, Traitements, Organisation et Dynamique des Systèmes, Université Paris Diderot, Sorbonne
Paris Cité, CNRS UMR 7086, 15 rue Jean de Baïf, 75205 Paris Cedex 13, France

*johan.grand@univ-paris-diderot.fr; **nordin.felidj@univ-paris-diderot.fr

In plasmonics, Fano resonances arise from constructive and destructive interferences between spectrally broad and narrow plasmon resonances in strongly coupled metal particles [1,2]. Up to now, this effect has been evidenced for nearly touching particles, due to the short range of the electromagnetic near field (in the order of some tens of nm). On the other hand, a strong long-range dipolar interaction may arise in a regular array of particles, provided that the light field, corresponding to a critical grating constant $\Lambda_C = \lambda_{LSP}/n$ (n is the refractive index of the substrate), changes from evanescent to radiative in character.

In this work, we investigate the emergence of Fano resonances arising from long-range dipolar coupling of gold nanoparticles arranged in a regular two-dimensional array. In order to evidence this optical effect, we fabricated gold nanoparticle arrays on a indium tin oxide (ITO) substrate, combining particles of two different sizes, presenting broad and narrow plasmon resonances alternatively. The grating constant was chosen to correspond to a strong long-range dipolar interaction (SEM image, figure 1, left). We show that, when the conditions for a long-range dipolar interaction are provided, the extinction spectrum of such array presents a Fano resonance (figure 1, right). This result is supported by calculations based on the discrete dipole approximation (DDA) method. In the context of surface enhanced Raman scattering, Fano resonances are expected to optimize the Raman gain seen by the adsorbed molecular probes, as long as the excitation wavelength matches the dip of the resonance and molecules vibrational fingerprints fit the radiative parts of the resonance.

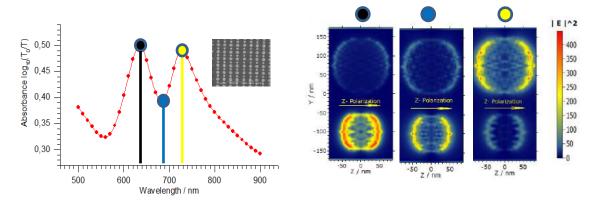


Figure 1 - (left): extinction spectrum of a lithographic gold grating combining particles of two different sizes. In inset: SEM image; (right) DDA calculations at different wavelengths.

[1] N. Verellen, Y. Sonnefraud, H. Sobhani, F. Hao, V. Moschchalkov, P. Van Dorpe, P. Nordlander, S. Maier, *NanoLetters*, 9 (4), 1663-1667, 2009.

[2] A. Lovera, B. Gallinet, P. Nordlander, O. Martin, ACS Nano, 7 (5), 4527-4536, 2013.

EFFET PLASMONIQUE DE RESEAU PERIODIQUE DE NANOPARTICULES METALLIQUES SUR LES PROPRIETES OPTIQUES ET ELECTRIQUES DES OLEDS

S. Khadir^{1,2}, M. Chakaroun¹, A. P. A. Fischer¹, O. Lamrous² et A. Boudrioua¹

¹LPL - CNRS UMR 7538, Université Paris 13, Paris-Sorbonne Cité, 93430 Villetaneuse, France ²LPCQ, University of Tizi-Ouzou, BP 17 RP, 15000 Tizi-Ouzou, Algeria samirakhadir@hotmail.fr

RÉSUMÉ

Nous rapportons dans ce travail l'utilisation de l'effet plasmonique généré par un réseau périodique de nanoparticules métalliques fabriqué par lithographie électronique pour améliorer le rendement des diodes électroluminescentes organiques. Des résultats numériques et expérimentaux seront présentés.

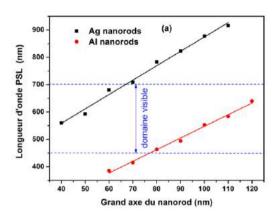
MOTS-CLEFS : Plasmon de surface localisé ; Diode électroluminescente organique ; exaltation de l'électroluminescence.

1. Introduction

Récemment, l'utilisation de plasmon de surface localisé (PSL) s'est avérée être une voix intéressante pour améliorer le rendement des diodes électroluminescentes organiques (OLED). La plupart des travaux se sont concentrés sur l'utilisation des nanoparticules métalliques aléatoires (RMN) du fait qu'elles sont technologiquement faciles à réaliser. Elles présentent l'avantage de pouvoir être positionnées dans n'importe quelle couche de l'hétéro-structure OLED [1]. Cependant, la maitrise des paramètres (géométrie et dimensions, notamment) des NPs ainsi que leur périodicité permettrait l'amélioration de la directivité de l'émission et le contrôle de la résonance PSL [2]. Dans ce contexte, nous présentons une nouvelle étude dont l'objectif est de montrer comment l'utilisation de NP métalliques périodiques (PMN) fabriquées par lithographie électronique sur un substrat d'ITO avec un contrôle précis de la forme et de la taille des NPs, permet d'améliorer le rendement des micro-OLED [2]. Les paramètres des NPs ainsi que la nature du métal ont été optimisés numériquement et expérimentalement afin d'ajuster la longueur d'onde de la résonance plasmon à la longueur d'onde d'émission des μ-OLED et obtenir le maximum d'exaltation.

2. RESULTATS ET DISCUSSIONS

La position de la résonance plasmon de la NP et le facteur d'exaltation de l'émetteur à son voisinage sont très sensibles aux caractéristiques des NPs. Pour cela, Pour cela, l'étude débute par des simulations numériques basées sur la méthode 3D-FDTD (3-Dimensions Finite-Difference Time-Domain) afin d'optimiser ces différents paramètres. L'or, l'argent et récemment l'aluminium sont les matériaux plasmoniques les plus utilisés et ils présentent des résonances plasmon dans le bleu, vert et rouge, respectivement, pour une NP de taille inférieur à 100 nm. Cette position de résonance est décalée vers les grandes langueurs d'onde lorsqu'on considère ces NPs dans une matrice organique due à son indice de réfraction élevé; ce qui exclut l'or de notre étude et incite à choisir des NPs d'aluminium pour les OLEDs émettant dans le vert et l'argent pour les OLEDs rouges. A titre d'exemple, la figure 1.a montre des résultats obtenus concernant la variation de la longueur d'onde de la résonance en fonction de la taille des NPs pour un réseau de nanorods d'Al et d'Ag recouvert par une couche organique.



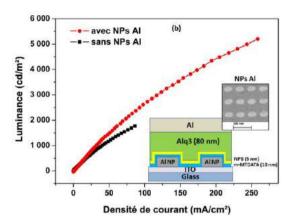


Fig. 1 : (a) Longueur d'onde de résonance plasmon en fonction de la taille des nanorods pour un réseau périodique de nanorods d'argent et d'aluminium. (b) Luminance en fonction de la densité de courant pour les mico-OLED avec et sans NPs d'aluminium. En insert : Image MEB des NPs fabriquées et un scema de la structure des micro-OLEDs réalisées

En se basant sur les résultats de simulation, nous avons fabriqué des réseaux périodiques de nanorods d'Al de taille comprise entre 90 et 100 nm sur des substrats de verre/ITO par lithographie électronique afin d'étudier leur effet sur une OLED émettant dans le vert. Etant donné que la lithographie électronique ne permet pas la fabrication de NPs sur de grandes surfaces, nous nous sommes concentrés sur l'étude des micro-OLED de taille de 100 x 100 µm². L'image MEB des NPs fabriquées et l'hétéro-structure OLED considérée sont montrés en insert de la figure 1.b. Nos résultats montrent une exaltation de l'efficacité lumineuse de l'OLED incorporant les NPs d'Al d'environ 20% en comparaison avec l'OLED de référence sans NPs (figure 1.b) [2]. Plus récemment, nous nous sommes intéressés à l'étude de NPs d'Ag avant différentes formes fabriquées également par lithographie électronique, sachant que l'argent présente le meilleur facteur de qualité plasmonique dans toute la gamme du visible en comparant à l'or et à l'aluminium. Nos résultats indiquent une nette amélioration des caractéristiques IVL des OLEDs incorporant le réseau de NPs d'Ag. Le travail se poursuit afin d'utiliser des structures plasmoniques contenant des amas de NPs de différentes dimensions qui pourrait conduire à un couplage efficace entre l'effet résonateur dominant pour les petites NPs à l'effet antenne dominant pour les grandes NPs [3]. Cela permettra d'obtenir une substantielle exaltation de l'émetteur avoisinant et donc une grande amélioration des propriétés optiques et électriques des OLEDS

CONCLUSION

Nous rapportons dans ce travail l'étude de l'effet du plasmon de surface localisé engendré par des NPs métalliques fabriquées par lithographie électronique sur les performances des OLEDs. Nous montrons essentiellement une amplification de l'efficacité de l'OLED incorporant les NPs d'environ 20%.

- [1] S. Khadir, M. Chakaroun, A. Belkhir, A. Fischer, O. Lamrous, and A.Boudrioua, "Localized surface plasmon enhanced emission of organic light emitting diode coupled to DBR-cathode microcavity by using silver nanoclusters," Opt. Express 23, 23647-23659 (2015)
- [2] R. F. Garcia, L. Zeng, S. Khadir, M. Chakaroun, A. P. A. Fischer and A. Boudrioua, "Enhanced electroluminescence of organic light emitting diode by localized surface plasmon using Al-periodic structure," JOSA B 33, 246 (2016)
- [3] G. Sun, and J. B. Khurgin, "Theory of optical emission enhancement by coupled metal nanoparticles: An analytical approach," Appl. Phys. Lett. 98, 113116 (2011).

VERS DES CELLULES SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES ORGANIQUES STABLES

Guillaume Wantz

Laboratoire IMS UMR CNRS 5218, Université de Bordeaux, Bordeaux INP, France guillaume.wantz@ims-bordeaux.fr

RÉSUMÉ

Les cellules solaires photovoltaïques polymère :fullerène sont instables thermiquement. Elles peuvent être stabilisées par réticulation chimique des molécules constituantes de la couche active semi-conductrice.

MOTS-CLEFS: OPV; photovoltaïque organique; réticulation

1. Introduction

Les cellules solaires photovoltaïques organiques, en particulier celles à base de polymères semiconducteurs sont sur le point d'être commercialisées. Cette technologie imprimable permet de produire des panneaux solaires à bas-coûts et flexibles. Des efforts sont actuellement maintenus pour améliorer les rendements de conversion photovoltaïque de l'ordre de 11-12 % à ce jour [1]. Si ces valeurs sont suffisantes pour envisager la commercialisation des premiers produits, il est important d'assurer la stabilité de ces modules solaires dans le temps. En particulier, les cellules à base de polymère : fullerène sont sensibles à la température. Il est important de noter qu'une cellule solaire, en été, au soleil, s'échauffe parfois à environ 85°C. Ainsi, nous nous sommes efforcés de développer des stratégies de stabilisation thermique de ces couches organiques semi-conductrices.

2. Instabilite morphologique et reticulation

Une cellule solaire organique est communément composée d'une couche mince centrale semi-conductrice en sandwich entre deux électrodes et d'éventuellement couches intermédiaires. Elle est composée d'un mélange de polymère donneur d'électrons et d'un dérivé du fullerène accepteur d'électron. Ce concept fondateur d'hétérojonction en masse introduit par Heeger et al. en 1995 [2] est couramment utilisé car il est très efficace pour séparer les charges photogénérées par l'absorption de photons solaires.

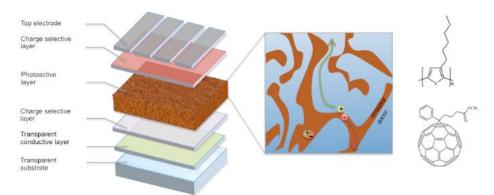


Fig. 1 : Représentation typique d'une cellule solaire à base d'héterojonction en volume polymère : fullerène. Exemples de matériaux communément utilisés : polymère donneur d'électron poly(3-hexylthiophene) (P3HT) et dérivé du fullerène (PC₆₁BM)

La morphologie de cette couche à l'échelle nanométrique est cruciale pour permettre des cellules efficaces. En effet, il faut qu'il y ait une séparation de phase formant des domaines de taille de l'ordre de 5-30 nm correspondant à la longueur de diffusion des excitons dans les matériaux

organiques [3]. Par ailleurs, ces domaines forment des chemins de percolations permettant aux charges de migrer jusqu'aux électrodes.

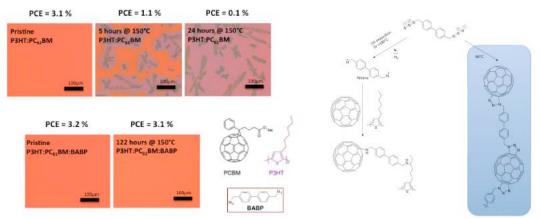


Fig. 2 : (a) Microscopie optique de couches de P3HT :PC₆₁BM ayant subit des recuit thermiques à 150°C et rendement de conversion énergétique (PCE) des cellules solaires correspondantes, en présence ou non de réticulant BABP. (b) Réactions chimiques de réticulation du BABP.

Cette morphologie spécifique est instable thermiquement. Même à 85°C, au bout de plusieurs jours, on voit apparaître des cristaux de fullerene microscopique annihilant l'effet photovoltaïque. Les matériaux tendent à ségréger. Par exemple, la figure 2 montre des couches P3HT:PC₆₁BM recuites à 150°C. On voit clairement les cristaux et la diminution des rendements de conversion. Après 24h à 150°C, les cellules solaires ne sont plus efficaces. Au cours des dernières années, notre équipe a développé des approches de réticulation chimique des couches actives afin de verrouiller la morphologie optimale. Plusieurs voies ont été explorées [4]. La plus performante à ce jour est l'usage de molécules réticulantes (BABP) dotées de fonctions azotures. Utilisées à faible concentration, une réticulation sélective des fullerenes à l'état solide est possible à basse température (70°C). Cette réticulation n'affecte pas les rendements initiaux et permet de stabiliser thermiquement les modules photovoltaïques. On voit sur la Fig. 2 qu'une couche de P3HT:PC₆₁BM:BABP est stable ne présentant aucun cristaux microscopique et conservant de propriétés photovoltaïques optimales, même après de longs traitements thermiques à haute température. Cet additif est utilisable sur toutes les couches actives composées de polymère et dérivé de fullerène. Ainsi, nous arrivons à stabiliser des cellules à haut rendement.

CONCLUSION

La morphologie des couches actives des cellules solaires organiques est primordiale et doit être stabilisée thermiquement. L'usage d'additifs réticulant est possible et efficace. Cette technologie est un des maillons qui ouvre la voie vers des modules imprimés stables. Il reste encore à s'assurer de la stabilité de ces couches face à l'irradiation solaire, travaux en cours dans notre équipe.

- [1] J. Zhao, Y. Li, G. Yang, K. Jiang, H. Lin, H. Ade, W. Ma, H. Yan *Nature Energy* 1 (2016) 15027
- [2] G Yu, J Gao, J.C. Hummelen, F Wudl, A.J. Heeger Science 270 (1995) 1789
- [3] M.T. Dang, L. Hirsch, G. Wantz, J.D. Wuest *Chemical Reviews* 113(2013) 3734-3765
- [4] G. Wantz, L. Derue, O. Dautel, A. Rivaton, P. Hudhomme, C. Dagron *Polym. Inter*. 63 (2014) 1346
- [5] L. Derue, O. Dautel, A. Tournebize, M. Drees, H. Pan, S. Berthumeyrie, B. Pavageau, E. Cloutet, S. Chambon, L. Hirsch, P. Hudhomme, A. Rivaton, A. Facchetti, G. Wantz *Advanced Materials* 26 (2014) 5831

MODIFICATIONS DE LA STRUCTURE D-II-A D'UN COLORANT ORGANIQUE ET EFFETS SUR L'EFFICACITE PHOTOVOLTAÏQUE DANS LES CELLULES SOLAIRES A COLORANTS

Maxime Godfroy¹, Damien Joly¹, Cyril Aumaitre¹, Yann Kervella¹, Laia Pellejà², Pascale Maldivi³, Frédéric Oswald⁴, Stéphanie Narbey⁴, Emilio Palomares^{2,5}, Renaud Demadrille¹

maxime.godfroy@cea.fr

RÉSUMÉ

Comment de simples modifications de la structure D- π -A d'un colorant organique peuvent influer sur les performances photovolta \ddot{a} ques et la stabilité des cellules solaires ?

MOTS-CLEFS: colorants; DSSC; organique

1. Introduction

L'intérêt des cellules solaires à colorants (« Dye-sensitized solar cells ») pour la production d'énergie dans le bâtiment n'est plus à démontrer depuis que la première façade a été inaugurée au SwissTech Convention Center en mai 2014 [1]. Ces cellules miment le phénomène de la photosynthèse des plantes. Un semi-conducteur inorganique à base de nanoparticules de TiO₂ est sensibilisé par un colorant qui va absorber un photon, ceci va exciter un électron de l'état fondamental vers un état excité dans le colorant (1). Ce dernier va être ensuite injecté dans la bande de conduction de l'oxyde (2) (Figure 1). Le colorant qui se retrouve dans un état oxydé est régénéré par le couple redox Γ/I_3 généralement utilisé dans un électrolyte (3). Le médiateur redox sera luimême régénéré à la contre-électrode de platine (4).

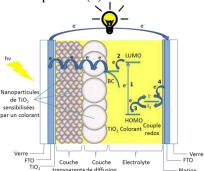


Fig. 1 : Schéma de principe de fonctionnement d'une cellule solaire à colorants

Pour améliorer l'efficacité de ces cellules, deux approches sont possibles : augmenter la tension en circuit ouvert ou la densité de courant en court-circuit, la densité de courant étant liée à la capacité de la cellule à capturer des photons. Notre stratégie a consisté à élargir le spectre

¹ Univ. Grenoble Alpes, INAC-SPRAM, F-38000 Grenoble, France. CNRS, Alpes, INAC-SPRAM, F-38000 Grenoble, France. CEA, INAC-SPRAM, F-38000 Grenoble, France.

² Institute of Chemical Research of Catalonia (ICIQ) Avenguda Països Catalans, 16, Tarragona 43007, Spain.

³ Univ. Grenoble Alpes, INAC-SCIB, F-38000 Grenoble, France. CEA, INAC-SCIB, F-38000 Grenoble, France.

⁴ Solaronix SA, Rue de l'Ouriette 129, 1170 Aubonne, Switzerland.

⁵ ICREA. Passeig Lluís Companys, 23. Barcelona. E-08010. Spain.

d'absorption des colorants pour permettre une plus grande absorption de photons et ainsi augmenter le courant généré par la cellule.

2. CONTEXTE, MOTIVATION ET STRATEGIES

A partir de **RK1** (Figure 2), colorant synthétisé au laboratoire qui a montré une efficacité de photo-conversion de 10,2 % [2], et une excellente stabilité sous éclairement continu, nous avons entrepris plusieurs modifications structurales [3].

Fig. 2 : Structure de RK1

Afin d'augmenter la stabilité thermique des cellules, nous avons développé de nouveaux colorants contenant une ou plusieurs fonctions d'ancrage pour améliorer l'accroche sur TiO₂. Plusieurs groupes fonctionnels ont été testés tels que l'acide phosphonique ou l'acide carboxylique [4].

Nous avons ensuite modifié les différentes unités chromophores de **RK1** afin de décaler le spectre d'absorption vers les plus grandes longueurs d'onde. Des unités telles que la thiénopyrazine, la quinoxaline ou le furane ont été employées dans ce travail.

Enfin, nous avons également cherché à comprendre l'influence des chaînes latérales solubilisantes sur les performances photovoltaïques. Nous avons au cours de ce travail mis en évidence que la nature et la position de ces chaînes pouvaient avoir un impact important sur les paramètres de fonctionnement des cellules.

3. CONCLUSION

Nous avons développé plusieurs familles de colorants basés sur une structure D- π -A pour tenter d'améliorer les performances et la stabilité des cellules à colorants. Nous présenterons quelques stratégies pour faire évoluer le domaine d'absorption dans la partie visible du spectre solaire afin d'intensifier la capture des photons. Nous montrerons des résultats prometteurs obtenus en faisant varier les chaînes latérales solubilisantes, ce qui nous a permis d'améliorer l'efficacité de photo-conversion des cellules de 6,5 à 9,0 % pour un système π -conjugué donné. Nous présenterons également des données de stabilité de certains colorants dont les performances sont proches de l'état de l'art.

- [1] http://actu.epfl.ch/news/un-vitrage-photovoltaique-premiere-mondiale-sur-le/
- [2] D. Joly, L. Pellejà, S. Narbey, F. Oswald, J. Chiron, J. N. Clifford, E. Palomares, R. Demadrille, *Sci. Rep.* **2014**, 4, 4033
- [3] D. Joly, L. Pellejà, S. Narbey, F. Oswald, T. Meyer, Y. Kervella, P. Maldivi, J. N. Clifford, E. Palomares, R. Demadrille, *Energy Environ. Sci.* **2015**, 8, 2010-2018
- [4] J. Idígoras, M. Godfroy, D. Joly, A. Todinova, P. Maldivi, G. Oskam, R. Demadrille, J. A. Anta, *RSC Adv.*, **2015**, 5, 68929-68938

AUTO-ORGANIZED PHOTONIC CRYSTALS FOR BRIGHTNESS ENHANCEMENT OF BLUE OLEDS

M. MRUCZKIEWICZ^{1,2}, F. DUMUR^{2,3}, A. BERTRAND⁴, A. BOUSQUET⁴, M. PERRIN¹, S. RECULUSA⁵, C. DAGRON-LARTIGAU⁴, L. VIGNAU², L. BILLON⁴, S. FASQUEL²

¹ LOMA, UMR CNRS 5798, Université Bordeaux, 33405 Talence, France.

² IMS, UMR CNRS 5218, Université Bordeaux, 33400, Talence, France

³ ICR, UMR CNRS 7273, Université Aix-Marseille, 13397 Marseille, France.

⁴ IPREM, UMR CNRS 5254, Université de Pau et des Pays de l'Adour, 64053 Pau, France

⁵ INP, ISM-NSysA,, CNRS UMR 5255, ENSCBP, F-33607 Pessac, France.

sophie.fasquel@ims-bordeaux.fr

ABSTRACT

We use bottom-up techniques to fabricate 3D photonic crystal films to improve OLED brightness. Both modeling and experimental results will be presented.

MOTS-CLEFS: OLED; Photonic crystal; Self-organization

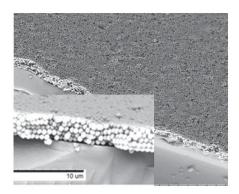
1. Introduction

The pioneer work of Tang and van Slyke in 1987 launched a revolution in photonics with organic materials, and eventually led to the production of OLED-based displays at the industrial level. Despite their impact on the development of full-color displays and lightings, these devices suffer from a major drawback. The light produced in emissive layer (EML) is strongly coupled to the optical modes of the metallo-dielectric stack waveguide, and tends to remain inside the medium of high optical index. Typically, only 20% of the electrogenerated photons are coupled to free space [1]. Therefore, much work has been devoted to light outcoupling, using external coatings (macroscopic lenses, random lattice), or internal gratings which are efficient, but more complex and expansive to fabricate.

In our contribution, we will discuss bottom-up techniques, that permits to fabricate auto-organized 3D photonic crystal films with low cost and large scale. These latter are used as extracting layers for blue OLEDs and lead to an increase up to 40% of their performance. At the conference, both modeling and experimental results will be presented.

2. FABRICATION AND CHARACTERIZATION

Using Langmuir-Blodgett (LB) method, or evaporation processes –, we are able to deposit a periodically arranged dielectric film on a glass substrate. Fig 1 shows two examples of film we have made, where several cm 2 can be covered in short times. Fig. 1a presents a 5-layer LB film, whose period can be adjusted at will by changing the beads diameter – this actually permits to control the number of photonic modes for a given wavelength and the optical properties of the films. The polymer film (Fig. 1b) is quite regular, and its period can be reduced down to 1 μ m.



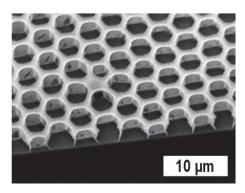


Fig. 1: Picture of the outcoupling films deposited on a thick glass substrate. Left-hand panel: 5-layer film made of glass beads of 600nm diameter arranged in a hexagonal compact array. Right-hand panel: Hexagonal photonic lattice made of polymer lace, realized by an evaporation process.

These films have been used to extract light out of OLEDs emitting at 476 nm, that were fabricated with a 130 nm Emissive Layer (EML) of BsB₄. We observed a good spectral stability of OLED light with both type of films, and, depending on the pattern size and shape, we obtained a gain in External Quantum Efficiency (EQE) between 20% and 40%.

3. NUMERICAL MODEL

We have modeled bottom-emitting OLEDs made of a complex stack of organic material deposited on a thick glass substrate that induce incoherent reflections [2]. Such devices are too thick (~1 mm glass substrate) to be modeled as a whole via standard computational methods. Our approach, based on a ray-tracing scheme, decouples the emission process in organic layers and the transmission/reflection at the PC interface. Eventually, we obtain a good agreement between experimental measurements and the model. Besides, once the reflection / transmission coefficients of the PC layer are known, one can vary (i.e. optimize) the organic layer thicknesses and obtain the corresponding outcoupled power without redoing all the calculations.

CONCLUSION

We present here a comprehensive study (both experimental and numerical) of 3D photonic crystal films used as dielectric extraction layers for blue OLEDs. Fabrication can be done easily, leads to ~40% gain, and the obtained results are in good agreement with the predictions of a simple model that uses ray-tracing techniques. At the conference, we will also discuss the influence of exciton distribution in the EML, and new perspectives [3] in extraction coatings for bottom and top emitting OLEDs.

REFERENCES

- [1] R. Meerheim, M. Furno, S. Hofmann, B. Lüssem, K. Leo, Appl. Phys. Lett. 97, 253305 (2010).
- [2] Organic Light-Emitting Diodes (OLEDs) Materials, Devices and Applications, Edited by Alastair Buckley, Elsevier (2013).
- [3] J.-J. Kim, J. Lee, S.-P. Yang, H. G. Kim, H.-S. Kweon, S. Yoo, K.-H. Jeong, Nano Letters Article ASAP DOI: 10.1021/acs.nanolett.5b05183

REPONSE IMPULSIONNELLE DE MICRO-OLEDS SOUMISES A DES IMPULSIONS ELECTRIQUES NANOSECONDE A HAUTE DENSITE DE COURANT

Alex Chime^{1,2}, A. P. A. Fischer¹, Lei Zeng¹, M. Chakaroun¹, M. Lee¹, S. Bensmida³, H. Nkwawo¹, et A. Boudrioua¹

¹ Université Paris 13, Sorbonne Paris Cité, Laboratoire de Physique des Lasers UMR CNRS 7538, 93430 Villetaneuse, France

alexchime@yahoo.com

RÉSUMÉ

Afin d'atteindre des densités d'excitation très élevées, une micro-OLED est soumise à des impulsions électriques de 2,5 ns de tension supérieure à 100 V. Les réponses impulsionnelles électriques et optiques de la micro-OLED en régime impulsionnelle sont mesurées et montrent des densités de courant qui peuvent atteindre 1,7 kA/cm². Une impulsion lumineuse de durée égale à celle de l'impulsion est observée à partir de 21 V d'amplitude.

MOTS-CLEFS: *OLED*, impulsions ultracourtes, excitation électrique nanoseconde

1. Introduction

L'un des enjeux actuels de l'optoélectronique organique est la réalisation de la diode laser organique. Celle-ci n'a pas encore été démontrée pour des raisons multiples. On peut citer entre autres la faible mobilité des porteurs dans les semi-conducteurs organiques qui se traduisent par de faibles densités de courant dans la plage de 100 mA à 1 A/cm² en régime continu. Pour atteindre un niveau d'excitation équivalent au seuil laser, c'est à dire quelques dizaines de kA/cm², l'excitation en régime impulsionnel d'OLED est indispensable [1, 2]. Cela suppose une bonne maîtrise du modèle électrique de l'OLED afin de concevoir des hétéro-structures organiques avec un faible temps de réponse, un circuit d'excitation adapté et une interprétation des mesures fiables.

Le but de ce travail est de concevoir une μ -OLED présentant un faible temps de réponse, qui lui permet de répondre avec une bonne efficacité à de très fortes impulsions de tensions pour des largeurs d'impulsions les plus courtes possibles, et d'en observer le comportement.

2. FABRICATION DES OLEDS ET BANC DE CARACTERISATION

Les $\mu\text{-}OLEDs$ présentent une surface d'émission de 100 μm x 412 μm . L'hétéro-structure organique est composé de l'empilement ITO (150 nm) / m–MTDATA (30 nm) / NPB (10 nm) / Alq3 : DCM (100 :1.5 – 30 nm) / Alq3 (25 nm) / Lif (1 nm) /Al (100 nm). La résistance de mesure est constituée de deux pistes gravées dans l'ITO placée entre la cathode et l'anode à 3 mm de l'hétéro-structure organique et dont les dimensions donnent 30.7 Ω .

Le circuit d'excitation et de mesure est présenté sur la figure 1.b qui comprend, outre l'OLED, un générateur d'impulsions de type AVTECH AVL-2A-B qui délivre des impulsions jusqu'à 160 V de durées comprises entre 2,5 ns et 100 ns, une résistance de mesure $R_{\rm m}$, des pointes d'excitation et de mesure GSG, un oscilloscope Tektronix TDS 7254 offrant 50 Ω d'impédance d'entrée, une photodiode à avalanche APD130A2/M. Cette dernière est couplée à l'OLED à l'aide d'une fibre optique d'ouverture numérique 0,39 et de diamètre 1000 μm directement en contact avec l'OLED.

² Institut Universitaire de Technologie FOTSO Victor, Université de DSCHANG, CAMEROUN

³ Communication Systems and Networks Group, Merchant Venturers School of Engineering University of Bristol, MVB Bld, Woodland Rd, Bristol, BS8 1UB, UK

3. MESURES ET DISCUSSIONS

Des mesures sont présentées sur la figure 2.a avec une impulsion d'excitation de 85 V de 2,5 ns (vert). La réponse électrique (en bleu) mesurée aux bornes de R_m présente 1,9 ns de temps de montées, 2,1 ns de temps de descente, 2,5 ns de durée à mi-hauteur et une amplitude crête de 21 V ; ce qui correspond à un courant de 700 mA et une densité de 1,7 kA/cm². Le signal lumineux (rouge) présente une durée de 2,5 ns. La figure 2.b représente, en unité arbitraire, l'intensité lumineuse en fonction de la tension d'excitation aux bornes de l'OLED. L'émission de la lumière existe à partir de 21 V pour les impulsions 2.5 ns de largeur. On observe, par ailleurs, que la tension aux bornes de l'OLED croît linéairement avec l'excitation, ce qu'on peut attribuer à une chute de tension résistive sur les pistes d'ITO en raison de leur petite taille.

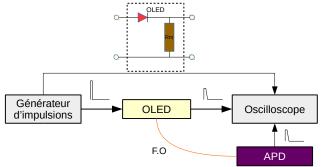


Figure 1 : OLED déposé sur substrat de verre (a) et principe de mesure (b)

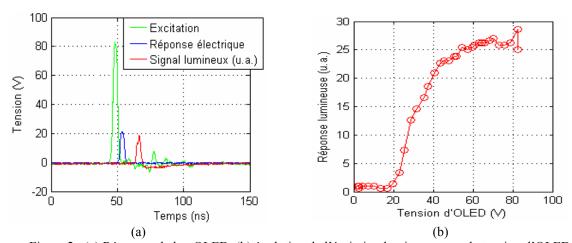


Figure 2 : (a) Réponses de la µOLED, (b) évolution de l'émission lumineuse avec la tension d'OLED

CONCLUSION

Dans de ce travail, nous avons démontré qu'il est possible de soumettre des OLEDs à des densités d'excitations électriques très intenses $(1,7~kA/cm^2)$ et très courte (2,5~ns) tout en obtenant une réponse impulsionnelle lumineuse tout aussi courte. En perspective, l'étape suivante consiste à estimer l'intensité lumineuse crête émise par l'OLED et à mener une étude spectrale résolue en temps. Une réduction supplémentaire des dimensions de la μ -OLED doit permettre des durées d'excitation plus courtes encore.

REFERENCES

- [1] Journal of Applied Physics, 98, 044506
- [2] Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 44, N° 6A, 2005, pp. 3659 3662.

DESIGN AND FABRICATION OF POLYMER-ON-GLASS GRATING COUPLERS FOR BIOSENSING APPLICATION

Miguel Diez¹, Simon Joly¹, Vincent Raimbault², Laurent Oyhenart¹, Leire Bilbao³, Laurent Bechou¹, Isabel Obieta³, Corinne Dejous¹

Laboratoire de l'Intégration du Matériau au Système UMR CNRS 5218, 33405 Talence, France
 Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes CNRS, 31031 Toulouse, France
 Tecnalia Research & Innovation, Mikeletegi Pasealekua 2, 20009, Gipuzkoa, Spain

miguel.diez-garcia@u-bordeaux.fr

ABSTRACT

Ultraviolet NanoImprint Lithography is a fast and reliable process to manufacture integrated optical components on polymers from a master stamp. On the other hand, spatial resolution at the nano-scale of the stamp is aimed and can be achieved by Electron Beam Lithography. In this work we show simulation and fabrication results of multilevel master stamp on silicon to manufacture polymer grating couplers operating at 505 nm. Application is oriented to imprint microring resonators with grating couplers in the same stamp, forming then optical sensing platforms in the visible range.

MOTS-CLEFS: grating coupler; biosensor; polymer; UV-Nanoimprint

1. Introduction

Polymer-on-glass is a suitable platform to develop biochemical photonic sensors. Indeed, low absorption of visible wavelength and low cost production of integrated photonic interconnects on polymer are important assets regarding biosensor industry. In parallel, integration trends also focus on the hybridization of digital microfluidic channels with optical microring resonators (MRR) forming complete sets of lab-on chip systems [1]. These systems would enable for example, reliable in-situ sensing of pollutants in water (e.g hexavalent chromium)[2]. In this frame, MRR are a suitable planar solution providing accurate results and ease of fabrication. Moreover, manufacturing multilevel integrated photonic structures is efficiently achieved by UV-NanoImprint Lithography (NIL) for optical communication wavelengths [3]. Either way, working in the visible range requires critical sub-micron features to perform efficient optical operations of the typical integrated devices. Indeed, grating couplers and polymer strip waveguides requires nano-scale fabrication process to perform efficient out-of plane light coupling and single mode operation of MRR, respectively.

In this work we present our advances on design and fabrication of grating couplers operating at λ =505 nm. The final device will be fabricated on transparent glass substrates where the selected materials are SU-8 2000.5 (Curable UV polymer, n=1.57) for the guiding layer and water and/or Cytop (Amorphous Fluoropolymer, n=1.335) for the cladding layers. First, finite difference time domain simulations support the design of polymer short period grating couplers (Δ <300 nm) and strip waveguides (300x400 nm), ensuring high efficient coupling and single mode operation of the future MRR. Then fabrication process is carried out with a partnership between Tecnalia, CiCNanogune and the IMSLab. Up to now, our research efforts have been focused in multilevel Si stamp fabrication of grating couplers and MRR with Electron Beam Lithography. These stamps will be used to imprint 3D patterns in one step onto the aimed polymers. We expect that the patterned devices will show high fabrication tolerance and repeatability to the imprint process, thus enabling fast and reliable mass production of optical interconnects.

2. METHODS AND RESULTS

A large number of grating coupler configurations were simulated using 2D-FDTD software, by varying various grating parameters. However Si stamps with too short period grating couplers and complex profiles may be very difficult to fabricate. Therefore, we focus here efforts on grating couplers with embedded rectangular profiles. Sweeping the grating parameters we set the optimal etch depth to 150nm with a period of Λ =290nm for TE polarization. Then we sweep input fiber angle with a output beam spot of 5 μm on the grating . Simulation results depicted in Fig1(a) demonstrate high input coupling efficiencies of $\eta \sim 20\%$. The optimal input angle off-vertical is 19° with angular acceptances of $\Delta \theta$ =4.58°. In the other hand, Si 3D stamps with the negative profiles are being manufactured to be used in thermal NIL processes. Results of the fabricated Si stamps are shown in Fig.1 (b). Gratings are etched 150nm on Si squares of $35\mu mx35\mu m$. The surrounding Si is etched 300nm forming two-depth Si master stamp with the negative pattern of the waveguide.

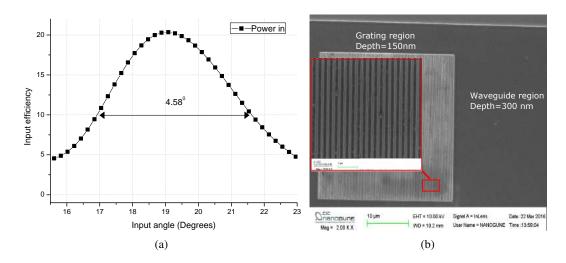


FIGURE 1 : (a) Simulated coupled power into the SU-8 polymer waveguide with a spot size of $5\mu m$. (b) SEM view of the Silicon stamp, a grating coupler is embedded in a mode size converter waveguide.

CONCLUSION

We have shown one part of the design and the fabrication process of short period grating couplers on polymer in order to realise optical biosensor sensitive in the visible range. The fabrication of a large scale multilevel master Si stamp with sub-micron resolution is demonstrated. Currently, more complex multilevel stamps are being manufactured with coupled optical resonators such as MRR and microdisk resonators. In parallel, NIL process is also being optimized showing hopeful results with the manufactured Si master stamps.

REFERENCES

- [1] D. Kim, P. Popescu, M. Harfouche, J. Sendowski, M.-E. Dimotsantou, R. Flagan, and A. Yariv, "On-chip integrated differential optical microring biosensing platform based on a dual laminar flow scheme," in *CLEO: Science and Innovations*. Optical Society of America, 2015, pp. STu4K–7.
- [2] F. Meziane, V. Raimbault, J.-L. Lachaud, H. Hallil, D. Rebière, and C. Dejous, "Integrating optical ring resonator in electrowetting on dielectric digital microfluidic chips," in *XII International Conference on Optical Chemical Sensors & Biosensors*, 2014, p. 2p.
- [3] R. Landgraf, A. Finn, R. Kirchner, T. Haugwitz, F. Deicke, W.-J. Fischer, and S. Arndt, "2.4. 2 polymer microring resonator directly patterned by multilevel-nanoimprint: Integration into biosensor system with a miniaturized microfluidic system," *Tagungsband*, pp. 259–267, 2012.

CONCEPTION DE NANOPARTICULES ORGANIQUES FLUORESCENTES ULTRA-BRILLANTES POUR LA NANOSCOPIE DANS LE PROCHE IR

<u>Jonathan Daniel</u>¹, Antoine G. Godin², Guillaume Clermont¹, Brahim Lounis², Laurent Cognet², Mireille Blanchard-Desce¹

¹ Institut des Sciences Moléculaires UMR CNRS 5255, Université de Bordeaux, 33405 Talence, France

² Institut d'Optique UMR CNRS 5298, Université de Bordeaux, 33405 Talence, France jonathan.daniel@u-bordeaux.fr

RÉSUMÉ

L'objectif de cette communication est de présenter la conception de nouvelles nanoparticules fluorescentes à base de molécules quadripolaires pour l'imagerie à haute résolution.

MOTS-CLEFS: nanoparticule; fluorescence; microscopie; optique non-linéaire

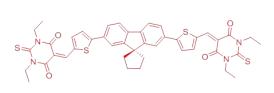
1. Introduction

Depuis une dizaine d'années, l'essor des nouvelles techniques d'imagerie optique de superrésolution a permis aux biologistes de franchir une nouvelle frontière dans la compréhension des systèmes biologiques complexes, tel que l'étude de processus dynamique au niveau synaptique. [1, 2] Le suivi dynamique de molécules uniques requiert l'emploi de sondes luminescentes performantes qui présentent à la fois des brillances élevées et une excellente photostabilité. Dans ce contexte, les nanoparticules inorganiques à base de semi-conducteurs (QDs) ont été intensivement utilisées en imagerie biologique. Pourtant depuis quelques années, l'utilisation des QDs est moins systématique et de nouveaux outils à base de molécules ont commencé à émerger tels que les protéines fluorescentes et les nanoparticules organiques. Cette volonté d'utiliser des systèmes organiques comme alternative aux nanoparticules inorganiques s'inscrit dans une démarche éco- et biocompatible plus difficilement réalisable avec les semi-conducteurs. Dans cette optique, nous développons de nouveaux nano-outils - à base moléculaire - fluorescents, stables en milieux aqueux et biologique, et qui de par leurs propriétés intrinsèques, peuvent être utilisé comme traceurs en imagerie confocale classique [3] ou biphotonique [4, 5] chez le petit animal.

2. CARACTERISTIQUES DES FONS A BASE DE FLUOROPHORES QUADRIPOLAIRES

Dans le but d'accéder à des nanoparticules organiques fluorescentes (FONs) combinant forte absorption à deux photons et luminescence dans le proche IR, nous avons mis en place une approche bottom-up basée sur l'utilisation d'un fluorophore organique original (structure quadripolaire à cœur spirofluorène JD193 présenté en Figure 1). Les FONs obtenus à partir de JD193 (via un protocole simple, robuste et « vert ») absorbent dans le visible et émettent dans le proche IR dans l'eau (Figure 1). Ces nanoparticules de taille réduite (Ø ~14 nm) combinent une excellente stabilité en milieu biologique, une remarquable photostabilité et des brillances à un et deux photons dans l'eau très importantes. De plus une approche supramoléculaire destinée à amplifier leur brillance a pu être mise en œuvre : [7] la décoration de la surface des nanoparticules par des copolymères amphiphiles présentant un motif terminal cationique permet à la fois d'augmenter leur luminescence (via la suppression de canaux de désactivation non-radiative) et leur section d'absorption à deux photons. Cette stratégie permet d'exalter fortement les brillances (sous

excitation normale dans le visible ou plus encore sous excitation à deux photons dans le proche IR). En conséquence ces nanoparticules organiques peuvent être détectées à l'état de particules uniques avec un excellent rapport signal/bruit et leur déplacement suivi aussi bien en milieu aqueux que cellulaire par microscopie.



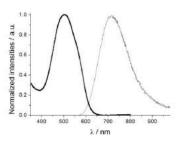


Fig. 1 : Représentation du fluorophore JD193 (gauche) et spectre d'absorption et d'émission des FONs JD193 dans l'eau (droit).

CONCLUSION

Par une approche originale, nous avons pu obtenir des nanoparticules à base de molécules émettrices proche IR et présentant une stabilité et photostabilité remarquable. Ces nanoparticules peuvent être excitées à la fois dans le visible (400-600 nm) par excitation classique ou dans le proche IR (800-1000 nm) par excitation bi-photonique. Grâce à une approche supramoléculaire (enrobage par des polymères amphiphiles piloté par interaction électrostatique), nous avons pu exalter leurs brillances sans modifier leurs spectres d'absorption et d'émission. Du fait de leur brillance et photostabilité remarquables, ces FONs peuvent être suivies par microscopie de particule unique.

- [1] D. Nair, E. Hosy, J. D. Petersen, A. Constals, G. Giannone, D. Choquet, and J.-B. Sibarita, "Super-Resolution Imaging Reveals That AMPA Receptors Inside Synapses Are Dynamically Organized in Nanodomains Regulated by PSD95," J. Neurosci., vol. 32, pp. 13204-13224, 2013.
- [2] J. A. Varela, J. P. Dupuis, L. Etchepare, A. Espana, L. Cognet, and L. Groc, "Targeting neurotansmitter receptors with nanoparticles in vivo allows single-molecule tracking in acute brain slices," Nat. commun., vol. 7, pp. 10947, 2016.
- [3] M. Bourdenx, J. Daniel, E. Genin, F. N. Soria, M. Blanchard-Desce, E. Bezard, and B. Dehay, "Nanoparticles restore lysosomal acidification defects: Implications for Parkinson and other lysosomal-related diseases," Autophagy, vol. 12, pp. 472-483, 2016.
- [4] V. Parthasarathy, S. Fery-Forgues, E. Campioli, G. Recher, F. Terenziani and M. Blanchard-Desce, "Dipolar versus Octupolar Triphenylamine-Based Fluorescent Organic Nanoparticles as Brillant One- and Two-Photon Emitters for (Bio)imaging," Small, vol. 7, pp. 3219-3229, 2011.
- [5] T. R. Krishna, M. Parent, M. H. V. Werts, L. Moreaux, S. Gmouh, S. Charpak, A.-M. Caminade, J.-P. Majoral and M. Blanchard-Desce, "Water-soluble dendrimeric two-photon tracers for in vivo imaging," Angew. Chem. Int. Ed., vol. 45, pp.4645-4648, 2006.
- [6] J. Daniel, A. G. Godin, M. Palayret, B. Lounis, L. Cognet, and M. Blanchard-Desce, "Innovative molecular-based fluorescent nanoparticles for multicolor single particle tracking in cells," J. Phys. D: Appl. Phys., vol. 49, pp. 084002-084012, 2016.
- [7] J. Daniel, A. G. Godin, M. Palayret, B. Lounis, L. Cognet, and M. Blanchard-Desce, "NIR-emitting molecular-based nanoparticles as new two-photon absorbing nanotools for single particle tracking," Proc. SPIE, vol. 9523, pp. 95230-95238, 2015.

POLARIMETRIC DETERMINATION OF THE ORIENTATION OF A SINGLE NANO-PLATELET

Thu-Loan Nguyen¹, Fu Feng¹, M. Nasilowski², B. Dubertret², L. Coolen¹, Agnes Maître¹

nguyen@insp.upmc.fr

RÉSUMÉ

The structure and orientation of colloidal CdSe/CdS nanoplatelets are investigated by analysis of their emission polarization and emission diagram.

MOTS-CLEFS: Optics; Polarimetry; Emission pattern; Fluorescence microscopy; Semiconductor core/shell nanoplatelets;

1. Introduction

An efficient coupling of nanoemitters to photonic structures requires that their emission frequency lies within the structure resonance, and requires a control of their position inside the structure, and the alignment of their emitting dipole and the mode field of the structure. The two first features, spectral and spatial matching have been addressed by several strategies. Although deterministic positioning of emitters can be now successfully achieved (Se for example the in-situ optical lithography [1]), deterministic orientation of an emitter remains a challenge. We propose a method for achieving this purpose by first determining the emitter orientation (Θ, Φ) in polar coordinates) and then, if well oriented, achieving the lithography process.

II. METHOD AND MATERIAL

We provide an analytical model [2,3] that can be utilized to interpret the data and extract (Θ, Φ) even in the case of a fluctuating emission. This model describes the emission of a dipole close to a plane interface in a wide range of realistic experimental conditions, including the case , very common in plasmonics, when the nano-emitter lie on a gold film, a situation for which the more standard defocused imaging method is not sufficiently sensitive to provide reliable quantitative information on the emitter orientation. With the same model, we compute as well the emission diagram corresponding to the dipolar emission in far field for all these experimental conditions.

Colloidal nanoplatelets (nPLs) are atomically-flat, few monolayers-thick nanostructures consisting of a thin crystalline slab of inorganic material [4, 5]. As the thickness of the nanoplatelets is much smaller than the exciton Bohr radius, while the lateral dimensions are much larger, they can be considered as a quantum well with high spatial confinement in a single dimension. Nanoplatelets have been grown from a wide variety of materials, but those made from semiconductors give very promising optical properties.

The crystallinity and shape of the nano emitters are crucial parameters as they affect strongly the electronic spectrum of charge carriers as well as the optical properties of the nanocrystals. In this article, we studied two types of high quality semiconductor nanoplatelets: square CdSe/CdS nanoplatelets (about $(15-20 \text{ nm}) \times (2-2.5 \text{ nm})$) and cubic one (about $(15-20 \text{ nm}) \times (15-20 \text{ nm}) \times (15-20 \text{ nm}) \times (10-15 \text{ nm})$) with an emission peak at 650 nm. These nanoemitters are schematized on Fig. 1.

¹ Institut des Nanosciences de Paris, Université Pierre et Marie Curie, 4 place Jussieu, 75252 Paris cedex 05, France

² Laboratoire de Physique et d'Etude des Matériaux, ESPCI, UPMC, CNRS, 10 rue Vauquelin, 75005 Paris, France

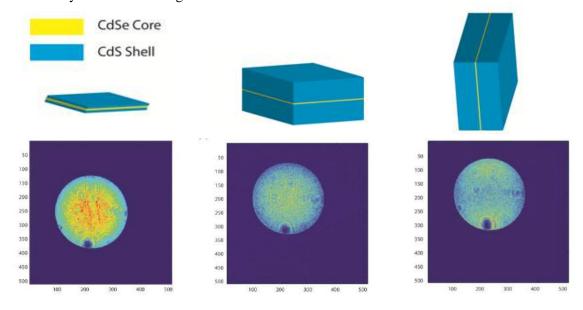
2. EXPERIMENTAL SETUP AND RESULTS

Our experimental setup consists of a pulsed diode laser (2.5 MHz, 450 nm) injected inside an inverted microscope and within an oil objective (numerical aperture of 1.4 and magnification of 100). The sample is a 50 nm SiO₂ covered gold substrate on which well separated emitters have been spin coated. It is mounted on a closed-loop nanometer precision piezoelectric scanner that translates the sample in the focal plane. The emitted fluorescence collected by the same objective, is spatially filtered by a 100 nm diameter pinhole, which assures single nanoplatelett emission collection. It is then selected in polarization by a rotating half wave plate combined with a polarizing beam-splitter cube, and finally recorded by avalanche photodiodes (APD). The half-wave plate is continuously rotated with an angle α , and the photoluminescence intensity is measured simultaneously on each photodiode. We plot in figure 1 the recorded intensity on one photodiode at the function of the angle of the half-wave platelet. We get a sinusoidal curve and according to our model, we can extract from the contrast the polar angle θ and from the phase the azimuthal angle φ of the emitting dipole.

On the side port output of the microscope, the emission diagram for each single nanoplatelett is obtained by placing a Bertrand lens and projecting the Fourier plane image onto an EM-CCD camera. Therefore, each point in the Fourier plane represents a unique set of polar and azimuthal angles of the emission (corresponding to one direction of emission). From the model, for each orientation of the emitting dipole we can calculate its emission diagram.

We perform the polarization measurement and the emission pattern measurement for several individual nanoplatelets. We obtain complementary informations: the polarization experiment provides quantitative information on the orientation of the emitter but cannot discriminate between 1D dipolar emission and 2D one (a 2D dipole corresponds for one emitter to its description as a sum of 2 orthogonal dipoles). This information can be obtained by emission diagram experiment, which confirm as well the orientation conclusions obtained in the former experiment.

Figure 1 presents the polarimetric curves and the corresponding emission patterns of some square (a) and cubic nanoplatelet (b,c). We extract from the curves the (θ,ϕ) information, which is confirmed by the emission diagrams.



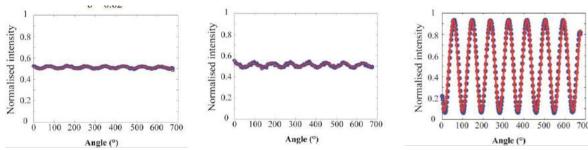


Fig. 1. Schematic representations of nanoplatelets; their detected intensity as a function of $\alpha/2$ (blue circles) with fitting of experimental curve(solid red line) and their corresponding emission patterns.

The square nanoplateletts have an emission pattern corresponding to 2D dipolar emission, with degenerate dipole having the same oscillator strength, and lying on the surface of the substrate. The polarimetric analysis gives similar conclusions. We can extract from both the polarimetric and the emission diagram analysis that the cubic nanplatelets correspond as well to 2D degenerate dipolar emission but they can either lie parallel to the substrate surface (low emission polarization) or perpendicular to it (maximum of emission polarization) with a 1D dipole lying in the surface plane and one 1D dipole lying orthogonally to it.

CONCLUSION

In this article, we report an investigation on the dipolar nature of core/shell CdSe/CdS square and cubic colloidal nanoplatelets by a combined emission polarization and emission pattern analysis. Both methods give insight of 1D-2D dipolar nature of the platelets and of the orientation: We establish a relationship between the geometry of the nanoemitters and the nature and orientation of their associated radiating dipole which are crucial for their efficient coupling to photonic or plasmonic nanostructures

- [1] A. Dousse, L. Lanco, J. Suffczynski, E. Semenova, A. Miard, A. Lemaitre, I. Sagnes, C. Roblin, J. Bloch, P. Senellart, **Phys. Rev. Lett. 101**, 267404 (2008)
- [2] C. Lethiec, J. Laverdant, H. Vallon, C. Javaux, B. Dubertret, J.-M. Frigerio, C. Schwob, L. Coolen, and A. Maître, Phys. Rev. X, 4, 021037, 2014.
- [3] C. Lethiec, F. Pisanello, L. Carbone, A. Bramati, L. Coolen, and A. Maître, New J. Phys., 16, 093014, 2014.
- [4] E.M. Hutter, E. Bladt, B. Goris, F. Pietra, F. C. van der Bok, M. P. Boneschanscher, C. Donega, S. Bals, and D. Vanmaekelbergh, Nano Letter, 14, 6257, 2014.
- [5] C. Bouet, M. D. Tessier, S. Ithurria, B. Mahler, B. Nadal, and B. Dubertret, Chemistry of Materials, 25, 1262, 2013.

MALLETTE PEDAGOGIQUE POUR L'HOLOGRAPHIE : COMMENT FAIRE DES EXPERIENCES POUR L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR EN S'AFFRANCHISSANT SIMPLEMENT DES VIBRATIONS PARASITES

A. Escarguel¹, R. Baude¹

¹ Laboratoire PIIM, UMR 7345 CNRS, case 322, Université d'Aix-Marseille, av. escadrille Normandie-Niemen, 13397 Marseille Cedex 20, France

alexandre.escarguel@univ-amu.fr

RÉSUMÉ

L'holographie fait partie des expériences de base indispensables à toutes les filières d'optique. Elle a beaucoup d'applications et permet d'illustrer de nombreuses propriétés physiques des rayonnements cohérents. D'autre part, il est très valorisant pour un étudiant de réussir un hologramme, objet de curiosité qui garde toujours une petite part de « magie ». Cependant, il est d'habitude nécessaire d'utiliser un dispositif anti-vibratoire très couteux pour réussir ce type d'expériences. Afin de pallier à ce problème, nous avons réalisé un outil pédagogique pour l'holographie monochrome en 2010 [1, 2, 3]. Très compact, tout le matériel nécessaire est contenu dans une petite mallette. Des expériences d'interférométrie double exposition, de réalisation de filtres « notch » ou de réseaux de diffraction peuvent être réalisé sur une simple table. Cet outil est actuellement utilisé dans plusieurs Masters/Licence de l'Université d'Aix-Marseille et est régulièrement prêté à des établissements du secondaire dans le cadre de leurs projets pédagogiques.

En 2015, nous avons développé une nouvelle version de cet outil, permettant de réaliser des hologrammes couleur plus grands et offrant la possibilité de faire plus d'expériences pour les enseignements en Licence ou Master et dans les écoles d'ingénieurs. L'outil permet aussi chaque année de réaliser des journées de formation continue des enseignants du secondaire et est très fréquemment utilisée pour des actions de diffusion de la culture scientifique.

Le stand permettra de réaliser des expériences d'holographie afin d'illustrer les possibilités de l'outil : multiplexage fréquentiel/angulaire, double hologramme par réflexion/transmission, filtre « notch », réseau de diffraction.

MOTS-CLEFS: holographie; interférence; pédagogie; travaux-pratiques

- [1] T. Voslion, A. Escarguel, « *An easy teaching tool for holography* », Eur. J. Phys. 33 1803–1811 (2012)
- [2] Th. Voslion, A. Escarguel, " *An easy physics outreach and teaching tool for holography* ", International Symposium on Display Holography, MIT Media Lab, Cambridge Massachusetts USA, J. Phys.: Conf. Ser. 415 012001 (2012).
- [3] A. Escarguel, «Upgrade of the pedagogic/popular science tool for holography: color holography », 10 International Symposium on Display Holography, St Pétersbourg (2015)

HOBIT: Hybrid optical benches for innovative teaching

Bruno Bousquet¹, Lionel Canioni¹, Jean-Paul Guillet¹, Martin Hachet¹, Stéphanie Fleck², David Furio¹, Benoit Coulais¹, Jeremy Bergognat³,

¹Université de Bordeaux, 351 cours de la Libération, 33405 Talence ²Université de Lorraine, Ecole Supérieure du Professorat et de l'Education - ESPE - Site de Metz/Mont, 57045Metz ³Cohabit, IUT de Bordeaux, 15 rue Naudet CS102017, 33175 Gradignan

bruno.bousquet@u-bordeaux.fr

RÉSUMÉ

HOBIT est un projet d'innovation pédagogique soutenu par le numérique pour l'enseignement de l'optique. La première déclinaison présentée ici est un simulateur d'un interféromètre de Michelson. Comparée à une approche purement numérique où l'interaction avec le système se fait au travers d'une interface clavier/souris, nous cherchons à mettre les apprenants en situation réelle d'expérimentation. Concrètement, l'opérateur manipule des répliques de composants optiques imprimés en 3D et équipées de capteurs électroniques. Ces composants sont reliés à la simulation numérique qui calcule en temps réel le résultat des interférences à afficher sur une surface de projection. Au delà de la simulation du phénomène observable dans la réalité, nous augmentons l'expérimentation par des soutiens pédagogiques projetés directement dans l'espace de travail (affichage du chemin de la lumière, état d'un composant, formule mathématique...). Cela a pour objectif de faciliter la mise en relation de notions théoriques avec l'expérimentation. Une expérimentation avec une centaine d'étudiants a été réalisé pendant 3 mois à l'IUT de Bordeaux et une évaluation très détaillée du dispositif a été conduite. Les premiers résultats mettent clairement en évidence les avantages du dispositif de réalité augmentée et ouvrent des perspectives en matière de transformation des pratiques d'enseignement par travaux pratiques en pédagogie du supérieur.

LA TOMOGRAPHIE PAR COHERENCE OPTIQUE: UN PROJET EXPERIMENTAL

Gaël Latour¹, Marie Godard², Vincent Guillet³, Marion Jacquev⁴

¹ IMNC, Université Paris-Sud, CNRS, Université Paris-Saclay, Orsay, France
 ² CSNSM, Université Paris-Sud, CNRS, Université Paris-Saclay, Orsay, France
 ³ IAS, Université Paris-Sud, CNRS, Université Paris-Saclay, Orsay, France
 ⁴ LAC, CNRS, Université Paris-Sud, ENS Cchan, Université Paris-Saclay, Orsay, France

gael.latour@u-psud.fr

RÉSUMÉ

Ce projet expérimental vise à monter, aligner et exploiter un dispositif de tomographie par cohérence optique afin d'obtenir des images tridimensionnelles avec une résolution micrométrique.

MOTS-CLEFS: interféromètre de Michelson, OCT, microscopie tridimensionnelle

Ce projet expérimental s'adresse à des étudiants de niveau master en physique (M1). L'objectif est de les familiariser expérimentalement avec les notions de cohérence temporelle en interférométrie et d'utiliser ensuite ces propriétés pour réaliser et caractériser un système d'imagerie tridimensionnelle possédant une résolution micrométrique : la tomographie par cohérence optique (OCT).

Les **objectifs pédagogiques** pour les étudiants sont :

- la maîtrise des concepts liés à l'interférométrie et en particulier la cohérence temporelle,
- l'apprentissage de la méthodologie liée aux réglages optiques et à l'imagerie : alignement, réglages, caractérisation.
- l'acquisition, le traitement des images et l'exploitation de données 3D.
- la prise d'autonomie face à un montage expérimental optique complexe.

L'originalité de ce projet expérimental réside dans :

- La réalisation d'un montage optique complet (alignement et réglages optiques) à partir de matériel optique utilisé en laboratoire. La finalité, concrète, nécessite d'avoir bien intégré les concepts liés à l'interférométrie en lumière blanche et à l'imagerie.
- Le format sur trois jours qui permet de confronter directement les étudiants aux problématiques expérimentales et de leur laisser du temps pour de la prise d'initiative.
- Le montage de 6 bancs optiques d'imagerie OCT afin d'accueillir un effectif de 12 étudiants simultanément, ce qui permet de bénéficier d'une dynamique de groupe.



Fig. 1 : Dispositif d'imagerie OCT monté, aligné, caractérisé et exploité par les étudiants.

Ce projet a bénéficié des soutiens du Labex PALM, de l'Université Paris-Sacly, de l'Université Paris-Sud et de la société Thorlabs.

VP2L: UN « SERIOUS GAME » EN REALITE VIRTUELLE 3D APPLIQUE A LA FORMATION AUX TECHNOLOGIES OPTIQUE ET LASER

L. Dutertre¹, B. Fabre², E. D'humière², S. Petit², D. Lyoen³, J. Dronval¹, E. Boeri⁴ and E. Cormier^{2,4}

¹ IDSC,

² CELIA Université de Bordeaux- CNRS-CEA-UMR 5107, 33405 Talence, France

² NOVO3D, ⁴ PYLA,

<u>laurent.dutertre@idsc-group.com</u>, <u>baptiste.fabre@u-bordeaux.fr</u>, <u>emmanuel.dhumieres@u-bordeaux.fr</u>, <u>stephane.petit@u-bordeaux.fr</u>, <u>dlyoen@novo3d.fr</u>, <u>julien.dronval@idsc-group.com</u>, <u>e.boeri@pyla-routedeslasers.com</u>, <u>e.cormier@pyla-routedeslasers.com</u>

RÉSUMÉ

Nous présentons un outil pédagogique pour l'enseignement de l'optique et du laser basé sur le concept de « serious game » dans un univers 3D virtuel.

MOTS-CLEFS : Réalité virtuelle et augmentée, serious game, laboratoire virtuel, immersion

Le développement récent de grandes infrastructures laser en Europe notamment associé à l'expansion du tissus économique local et national autour de l'optique, des lasers et de la photonique a déclenché une demande très forte en formation d'étudiant et de professionnels sur de très courtes durées. Dans ce contexte et pour répondre à cette demande, nous avons réfléchi à de nouvelles approches permettant de former des personnels à différents niveaux sur des connaissances et du savoir faire autour des lasers. De manière tout à fait indépendante, l'industrie du jeu investit fortement dans la technologie et le logiciel pour simuler des environnements 3D en temps réel avec un rendu et une fluidité extraordinaire. En partenariat avec des industriels du jeu et du graphisme, nous avons donc lancé le développement d'un outil de formation empruntant le concept de « serious game » ayant pour objectif d'immerger le stagiaire en formation dans un laboratoire d'optique totalement virtuel, grâce à un casque de réalité virtuelle. Dès lors il est présenté au stagiaire un ensemble de travaux pratiques lui permettant de s'entrainer à l'alignement de faisceaux, le réglage de télescope, la réalisation d'une cavité laser, la manipulation de la polarisation, ... De nombreuses informations sont à disposition dans l'univers virtuel sous forme de références, de mini tutoriaux filmés et de paramètres affichables en réalité augmentée.

Dans le Virtual Photonics Learning Lab (VP2L), l'utilisateur dispose d'éléments optiques qu'il doit assembler pour réaliser le système optique ou laser procurant les paramètres définis dans le cahier des charges de l'exercice. Le logiciel reproduit les véritables propriétés optiques de chaque élément afin de simuler un comportement virtuel aussi près de la réalité.

Cet outil de formation aux technologies optique et laser en réalité virtuelle représente :

- une solution économique qui permettra un accès facilité à la mise en pratique dans tout type d'établissement, y compris ceux non équipés d'installations laser et/ou de personnel compétent pour son fonctionnement
- une solution permettant de développer la formation à distance à tous les niveaux, notamment en formation continue pour les entreprises et les organismes de recherche français ou européens
- 3. une réelle innovation pédagogique, ouvrant sur des méthodes attractives pour les apprenants, plus intuitives pour aborder des concepts qui peuvent être complexes.



UN ENSEMBLE POLYVALENT D'EXPÉRIENCES OPTIQUES DE DÉMONSTRATION

Renaud Mathevet¹

¹ LNCMI, UPR 3228, CNRS-INSA-UJF-UPS, Grenoble et Toulouse, France renaud.mathevet@lncmi.cnrs.com

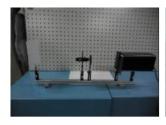
RÉSUMÉ

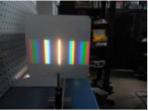
Nous présentons une quinzaine d'expériences de démonstration en optique facilement reproductible et transportable. Elles permettent d'animer plusieurs types d'interventions à différents niveau. Des manipulations sur les couleurs sont proposées au "jeune grand public", tandis que l'utilisation d'un spectromètre USB permet de démontrer aux plus grands les principes physiques des différentes sources lumineuses (incandescence, fluorescentes, LEDs, LASERs) et de les articuler avec les enjeux environnementaux. A destination des scolaires post-bac et des enseignants, cet ensemble est complété par des expériences plus fondamentales permettant d'aborder les principales propriétés de la lumière: interférences, diffraction et polarisation. Nous articulons le tout sous la forme originale d'une "conférencemanips" qui suit un fil historique pour montrer le rôle fondamental des progrès en optique expérimentale dans la construction de la physique moderne (relativité, mécanique quantique).

MOTS-CLEFS: démonstrations optiques ; histoire des sciences ; vulgarisation scientifique

1. COULEURS - SPECTROMÉTRIE

Nous présentons tout d'abord le principe des spectromètres à fente (Fig. 1 a et b) puis on montre que tout cet appareil tient désormais dans une petite boite, le spectromètre USB. On peut alors aborder de façon relativement quantitative, y compris avec un très jeune public, la synthèse additive et soustractive des couleurs au moyen de projecteurs à LED (Fig. 1 c et d).







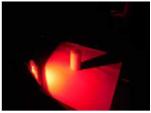


FIGURE 1 : de gauche à droite : a) montage d'un spectromètre à fente et prisme à vision directe (PVD), b) spectre obtenu en remplaçant le PVD par un réseau. c) 3 projecteurs à LED dont les ombres font apparaître les couleurs primaires et secondaires d) couleurs par réflexion.

Pour un niveau plus avancé, le spectromètre USB est ensuite utilisé avec une source à incandescence. On montre que l'essentiel de l'énergie est dissipée sous forme d'infrarouges et on sensibilise alors le public au économies d'énergie. On présente ensuite les lampes à décharge avec la lampe de Balmer. Au niveau post bac, ces deux expériences permettent d'introduire la mécanique quantique. Pour le grand public, elles servent d'introduction aux lampes "modernes" - fluocompactes. On revient alors au projecteur à LED (spectre de bandes) et le blanc obtenu par synthèse R+G+B. On poursuit par les LEDs blanches de dernière génération en expliquant la fluorescence jaune d'un composé de terre rares pompé par une LED bleue. On conclue par la démonstration des singularités de la lumière LASER : diode sous et au dessus du seuil (rétrécissement spectral), laser HeNe à cavité ouverte (directivité, modes spatiaux), speckle.

2. Interférences - diffraction

Nous nous appuyons tout d'abord sur des expériences avec des ultrasons pour introduire la notion de longueur d'onde. Ensuite, on présente à la fois les expériences de diffraction en lumière laser pour leur facilité d'obtention (Fig. 2 d : les longueurs d'ondes des deux lasers sont clairement différentes alors que quasiment du même rouge à l'oeil). mais aussi en lumière blanche (lorsque l'on peut faire le noir) pour aborder les aspects historiques et insister sur la difficulté de certaines expériences. Pour un public post-bac nous présentons de plus l'expérience du point de Poisson, capitale dans l'établissement de la théorie ondulatoire à la suite des travaux de Fresnel (1815-1818).





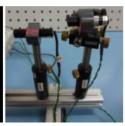




FIGURE 2 : de gauche à droite : a) montage pour diffraction/interférences en lumière blanche b) figure de diffraction d'une fente. c) montage à deux diodes laser 650 et 635nm d) diffraction par un réseau correspondante.

3. POLARISATION

C'est une propriété difficile à conceptualiser, à enseigner et, *a fortiori* à vulgariser. On utilise tout d'abord la corde de Melde pour visualiser une onde transverse (Fig. 3 a). Ensuite, on montre la polarisation par réflexion et les polariseurs dichroïques type polaroïd. Un interféromètre de polarisation est ensuite présenté avec selon le niveau, une interprétation quantitative du spectre cannelé avec le spectromètre USB (Fig. 3 b-d).









FIGURE 3 : de gauche à droite : a) corde de Melde b) interféromètre de polarisation avec lames de scotch "en croix". c) lames de scotch d'épaisseur croissante entre polariseur et analyseur croisé pour analyse quantitative et spectre cannelé d) idem entre polariseur et analyseur parallèles : complémentarité.

CONCLUSION

Cet ensemble d'expériences d'optique tient dans 4 ou 5 caisses et peut être facilement transporté dans des événements grand public (fête de la science, nuit des chercheurs...) ou dans des classes. Il permet d'aborder l'optique à différents niveaux, du plus élémentaire jusqu'à la licence de physique. Il rencontre un large succès à chaque présentation.