

Photoniques

LA LUMIÈRE ET SES APPLICATIONS

40 ANS DE LA SFO

Histoire
de la SFO

ENTRETIENS

Sophie Brasselet
Denis Barbier

OSEZ L'OPTIQUE

Des défilés de modes...
dans un bus

ACHETER

Une prestation
de procédés laser

DOSSIER

LASERS DE PUISSANCE

- **LASERIX** : une plate-forme pour le développement large spectre d'applications de la lumière intense
- Le laser XCAN : façonner la lumière en mode digital
- De l'ultra-rapide à l'ultra-intense : de nouveaux champs d'études



L'endommagement laser
sur les lasers de puissance

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

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

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

www.photoniques.com



Le contenu rédactionnel de Photoniques est élaboré sous

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

Directeur de publication

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

Rédaction

Rédacteur en chef
Nicolas Bonod
nicolas.bonod@edpsciences.org
Journal Manager
Florence Anglézio
florence.anglezio@edpsciences.org
Secrétariat de rédaction et mise en page
Agence de communication la Chamade
<https://agencelachamade.com/>

Comité de rédaction

Pierre Baudoz (Observatoire de Paris),
Marie-Begoña Lebrun (Phasics),
Adeline Bonvalet (CNRS),
Benoît Cluzel (Université de Bourgogne),
Sara Ducci (Université de Paris),
Céline Fiorini-Debuisschert (CEA),
Patrice Le Boudec (IDIL Fibres Optiques),
Christophe Simon-Boisson
(Thales LAS France).

Advertising

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

International Advertising

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

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

Gestion des abonnements

abonnements@edpsciences.org

Impression

Fabrègue imprimeur
B.P. 10
87500 Saint-Yrieix la Perche
Dépôt légal : Mars 2023
Route : STAMP (95)



Éditorial



NICOLAS BONOD

Rédacteur en chef

En route !

Le 5 décembre 2022, les équipes du National Ignition Facility à Livermore sont parvenues à générer pour la première fois de l'histoire une fusion nucléaire produisant plus d'énergie que les faisceaux lasers n'en ont fourni à la cible. Cette étape cruciale ouvre la voie vers un nouvel horizon, celui d'une fusion nucléaire contrôlée, source d'énergie à partir d'éléments légers et abondants. La route sera longue et difficile pour développer une installation laser capable de produire de l'énergie à partir d'une fusion nucléaire contrôlée. Mais cet horizon, par son enjeu colossal, motivera de nouvelles approches, de nouvelles installations et de nouveaux investissements autour des technologies lasers.

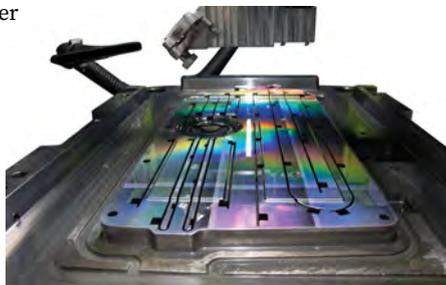
La France possède une forte expertise dans le domaine des installations lasers de haute puissance et de haute énergie. Elle peut s'appuyer sur un tissu dense de laboratoires et d'entreprises à la pointe de ce domaine pour développer de nouveaux projets ambitieux et repousser les limites de l'interaction entre la lumière et la matière. Avec XCAN, LASERIX, ATTOLab, UHI100, ce numéro met à l'honneur quelques-unes des installations lasers de puissance les plus performantes du territoire. Le contenu d'un numéro consacré aux lasers ne pouvant manquer de cohérence, les rubriques Comprendre et Acheter sont en lien avec ce dossier. Tout d'abord, l'article Comprendre l'endommagement laser sur les lasers de puissance vous

expliquera tout sur ce phénomène qui limite la montée en puissance des chaînes lasers ainsi que la durée de vie de leurs optiques. Quant à l'article Acheter une prestation laser, il met en lumière la richesse de l'offre et la diversité des domaines visés par les plateformes de procédés laser. Je vous invite aussi à aller en page 14 pour vous confronter à la grille de mots-croisés, grille qui vous surprendra par la richesse de son contenu lui aussi dédié au thème de ce numéro! Prenons la route encore avec le Scientibus et émerveillons-nous devant les expériences d'optique décrites dans l'article Des défilés de modes... dans un bus. Le Scientibus, c'est un formidable collectif à l'origine de l'une des plus belles initiatives de promotion des sciences pour les plus jeunes. Ce collectif a réussi la prouesse de proposer dans un cadre mobile et original de magnifiques expériences dévoilant les fabuleuses propriétés de la lumière à un public large. Nous ne remercions d'ailleurs jamais assez la Société Française d'Optique et le collectif du Scientibus d'avoir permis aux participants du congrès Optique Nice 2022 de découvrir ces expériences tout aussi belles qu'intrigantes. De nombreuses routes s'ouvrent pour l'optique et photonique. Sachons les emprunter et transmettre notre passion à la nouvelle génération pour aller relever les défis à venir en développant des projets ambitieux et novateurs. Je vous souhaite une bonne lecture.

20 LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE D'OPTIQUE A QUARANTE ANS



53 Acheter une prestation de procédés laser



ACTUALITÉS

- 03 Éditorial et actualité de la SFO
- 06 Informations partenaires
- 14 Mots croisés
- 15 Entretien : Sophie Brasselet, Institut Fresnel
- 18 Entretien : Denis Barbier, Microlight 3D
- 20 Préserver l'intrication quantique de la diffusion
- 21 Dévier la foudre à l'aide d'un laser intense

40 ANS DE LA SFO

- 22 Histoire de la SFO

OSEZ L'OPTIQUE

- 25 Des défilés de modes... dans un bus

DOSSIER : LASERS DE PUISSANCE

- 30 LASERIX : une plate-forme pour le développement large spectre d'applications de la lumière intense
- 35 Le laser XCAN : façonner la lumière en mode digital
- 40 De l'ultra-rapide à l'ultra-intense : de nouveaux champs d'études

COMPRENDRE

- 46 L'endommagement laser sur les lasers de puissance

ACHERER

- 53 Une prestation de procédés laser

PRODUITS

- 57 Nouveautés

Annonces

2B Lighting 19	Edmund optics 41	OBS fiber 43	Spectrogon 17
Alphanov 55	EDP sciences 31, 52	Ophir 49	Spectros 21
Ardop 37	EPIC IV° de cov.	Opton laser IV° de cov.	Trioptics 47
Comsol 51	HTDS 35	Oxxius 45	
	Imagine optic 33	SFO 04	
	ISP system 39	Scientec 23	

Crédit photo (couverture) : © iStockPhoto

L'édito de la SFO



ARIEL LEVENSON

Président de la SFO

40 années d'histoire nous contemplent et nous n'allons pas nous arrêter en si bon chemin

40 ans de SFO, 40 ans d'efforts de bénévoles qui se succèdent, 40 ans pour bâtir une société savante dont nous pouvons être fiers. Cette épopée en continuelle évolution nous sera racontée tout au long de l'année en commençant dans ce numéro par un article écrit par deux de nos illustres membres, Pierre Chavel et Benoît Boulanger. Des focus suivront, qui mettront en lumière divers aspects de notre SFO, la richesse de notre communauté, ainsi que quelques actions à venir. Ce sera en particulier le cas du programme PÉPITES de l'optique française, qui vise à préserver notre riche patrimoine immatériel. A titre personnel, avant tout autre chose, SFO rime avec communauté et avec amitié et ce depuis mon tout premier COLOQ en 1990 qui a changé à la fois ma vie scientifique et bien plus que cela, et je sais ne pas être le seul...

Les 40^e JNOG, du 5 au 7 juillet à l'Institut de Nanotechnologies de Lyon, résonnent avec l'anniversaire SFO, et JNOG se refait une jeunesse. En plus des habituels conférences, posters et salon industriel, les journées seront prises d'assaut par notre Club Jeunes, récemment créée, qui organisera un échange avec Alain Aspect, Prix Nobel de Physique 2022. Autre nouveauté, JNOG accueillera la cérémonie de remise du Prix Jean Jerphagnon, avec comme orateur invité un précédent lauréat, Nicolas Treps (LKB, Paris).

Pour continuer avec les événements attendus en 2023, c'est un honneur et un grand plaisir pour la SFO de co-organiser avec l'EOS (European Optical Society) le congrès EOSAM 2023, du 11 au 15 septembre, au Palais des Congrès de Dijon. Ce sera sûrement un grand moment pour les communautés académique et industrielle de la photonique

européenne et nous vous attendons très nombreux. Deux excellentes présentations plénières sont déjà connues, celles d'Ursula Keller (ETH, Zurich) et de Thomas Ebbesen (ISIS, Strasbourg), et d'autres bonnes nouvelles se préparent.

Comme le dit l'adage, « la prédiction est un art difficile, surtout lorsqu'elle concerne l'avenir », mais une étude récente* donne froid dans le dos. Dans cette étude les publications parues entre 2008 et 2020 sont classées selon les prénoms des auteurs. Puis ces données sont extrapolées pour chercher l'année où le nombre des publications rédigées par des femmes égalerait celui des publications rédigées par des hommes. En physique ce croisement se passerait en... 2158 ! Quelles que soient les précautions que l'on prenne et les erreurs, inévitables, associées à une telle extrapolation, la probabilité est faible que ce croisement se produise durant ce siècle, à moins que l'on agisse plus vite, plus fort. Du point de vue des prospectivistes, on pourrait dire en effet qu'on est en présence d'une tendance lourde, mais non inéluctable, et l'action garde donc tout son sens. Je suis ravi et très reconnaissant des efforts conduits par les collègues Caroline Champenois et Nathalie Westbrook, co-présidentes de notre commission « Réussir la parité en optique », pour élargir d'une manière conséquente le comité afin d'accélérer le déploiement d'actions qui sans constituer l'alpha et l'oméga contribueront, à n'en pas douter, à faire avancer une noble cause et un engagement fort de la SFO.

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

* « Equity for woman in science », Cassidy R. Sugimoto and Vincent Larivière, Harvard University Press (2023)

AGENDA

■ **CLUB JI0NC de la SFO**
18^e édition des JOURNÉES
IMAGERIE OPTIQUE
NON CONVENTIONNELLE,
Institut Langevin à Paris 5^e
Mars 30 - 31, 2023

■ **Optomecanique
& nanophononique**
SFO International Thematic
School Houches Physics
School, Chamonix Mont
Blanc Valley, France
April 17- 28, 2023

■ **Lidar summer school**
SFO International Thematic
School Summer school at
the observatoire of Haute
Provence, OHP, France
June 11- 16, 2023

■ **JNOG Lyon 2023**
SFO Colloque - JNOG Club
40^e édition des Journées
Nationales d'Optique
Guidée, l'Institut
des Nanotechnologies
de Lyon
5 au 7 juillet 2023

■ **EOSAM 2023 in Dijon**
SFO and EOS
shared organization
Palais des congrès
de Dijon, France
September 2023 11- 15, 2023

■ **Waves in complex media**
SFO International
Thematic School
Houches Physics School,
Chamonix Mont Blanc
Valley, France
September 17- 29, 2023

PARRAINAGES SFO

■ **C'Nano 2023 : The
nanoscience meeting**
Du 15/03 au 17/03
à Poitiers

■ **9^e Congrès de la Société
Française de Physique**
Du 3 au 7/07/2023, Paris

■ **20th International
Conference on
Luminescence - ICL 2023**
Du 27/08 au 1/09/2023 Paris

Retrouvez tous les
événements de la SFO sur
<https://www.sfoptique.org/>

EOSAM Dijon 2023 Coorganisé par la Société Française d'Optique & l'European Optical Society au Palais des Congrès de Dijon

Du lundi 11 au vendredi 15 septembre 2023, le palais des congrès de Dijon accueillera la communauté européenne de l'Optique et de la Photonique dans une ambiance conviviale propice à l'échange autour des très divers domaines de la photonique. Vous pouvez dès à présent déposer votre article sur la plateforme EOSAM Dijon 2023 et vous inscrire dans un des 9 TOMs :

- TOM1- Silicon Photonics and integrated optics
- TOM2- Adaptive and Freeform Optics
- TOM3- BioPhotonics
- TOM4- Nanophotonics
- TOM5- Optical Materials
- TOM6- Nonlinear and Quantum Optics
- TOM7- Optical frequency combs
- TOM8- Ultrafast Optics
- TOM9- Applications of Optics and Photonics

Suivez-nous sur www.sfoptique.org
& www.europeanoptics.org

L'exposition industrielle est ravie de vous accueillir

Cette 11^e édition de ce grand congrès européen annuel a également pour vocation d'accueillir une grande exposition

industrielle. Un espace d'expositions industrielles constituera ainsi un terrain propice aux échanges entre industriels et académiques venus de toute l'Europe. La présence de start-ups est fortement encouragée à EOSAM Dijon 2023.

Réservez dès maintenant et profitez des Tarifs EarlyBird

L'appel à communications est ouvert

Le Comité scientifique d'Organisation sous la présidence de Bertrand KIBLER (ICB, SFO), Guy MILLOT (ICB, SFO), Patricia SEGONDS (Présidente EOS), et Emiliano DESCROVI (EOS) mettent tout en œuvre pour que EOSAM Dijon 2023 rime avec excellence scientifique, convivialité et inclusion et soit un événement mémorable pour notre recherche française et européenne.

40^e Journées Nationales d'Optique Guidée



INL, l'Institut des Nanotechnologies de Lyon

Du mercredi 5 au vendredi 7 juillet 2023, Lyon ville des lumières accueille la communauté francophone de l'optique guidée dans une ambiance conviviale autour des télécommunications optiques, de l'optique intégrée, des lasers fibrés ou intégrés, des capteurs et de l'instrumentation optique.

La plateforme des soumissions est ouverte

Rejoignez les orateurs invités, Stéphane BLIN, Nadège COURJAL, Guillaume LAFFONT, Delphine MORINI, Fabienne SALIOU et Benjamin WETZEL.

Session du Prix Jean Jerphagnon

Orateur invité Nicolas TREPS du LKB

Session exceptionnelle avec Alain ASPECT, Prix Nobel de Physique 2022 une table ronde organisée par le club Jeunes de la SFO.

L'exposition industrielle est ouverte à la réservation

Rejoignez WAVETEL, LUMBIRD, 2 B LIGHTING TECHNOLOGIES, EXAIL (IXBLUE) et FC EQUIPMENTS.

CONGRÈS
DE LA



Société Française d'Optique

01/05 juillet 2024

OPTIQUE

NORMANDIE

VENEZ À ROUEN

2024

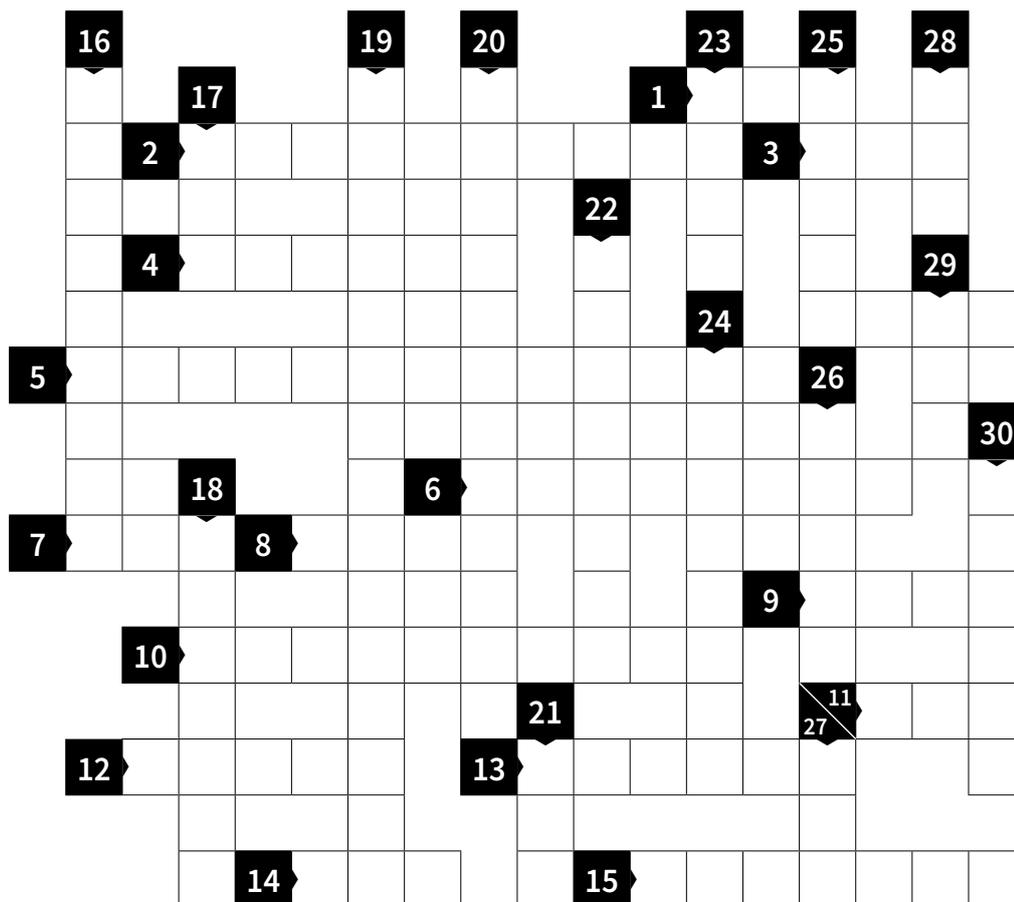


www.sfoptique.org
rubrique congrès OPTIQUE

MOTS CROISÉS

SUR LE THÈME DES LASERS DE PUISSANCE

Par Philippe ADAM



SOLUTION SUR
PHOTONIQUES.COM



- | | | | |
|----|---|----|---|
| 1 | Phosphure de germanium du zinc | 16 | Ville de Californie abritant une infrastructure majeure |
| 2 | Régime d'éclairage sans échauffement | 17 | Une mission pour l'arme laser |
| 3 | Infrastructure européenne d'envergure dans le domaine des lasers de puissance | 18 | Déclenche la puissance |
| 4 | Prix Nobel de Physique 2018, a lancé le projet XCAN, ELI... | 19 | Milieu actif, recalé au contrôle antidopage |
| 5 | Découpe, gravure, perçage... par laser | 20 | Régime pas continu |
| 6 | On protège nos yeux pour ne pas en avoir besoin après un tir de puissance | 21 | En matière d'énergie, il fait Le Meilleur Job ! |
| 7 | Un effet à atténuer dans les lasers de puissance | 22 | Se doivent d'être d'une très grande précision pour un multi-faisceaux |
| 8 | Précurseurs d'ELI Beamlines en République Tchèque | 23 | Éclair le plus puissant ... de l'Olympe |
| 9 | Curiosity en est équipé | 24 | Pour la lutte anti-contrefaçon, fabriquées par laser |
| 10 | Pour une impulsion, après l'avoir étirée | 25 | Laser Petawatt en Aquitaine |
| 11 | Composant qui transforme "1 tiens" en "2 tu l'auras" | 26 | Attention, il faut éviter ses chaleurs ! |
| 12 | Centre d'Etudes Scientifiques et Techniques d'Aquitaine | 27 | Étudie les excimers pour la fusion avancée |
| 13 | Critère en fusion, à respecter | 28 | Installation laser du Lawrence Livermore National Lab |
| 14 | Habille la DAM ! | 29 | Unité mixte dans le domaine des lasers de puissance qui fait ... loi |
| 15 | Encore un laser descendu de l'Olympe | 30 | Énergie propre du futur ou bombe H ? |

Entretien avec Sophie Brasselet

Sophie Brasselet est directrice de Recherche CNRS à l'Institut Fresnel et lauréate 2022 du grand prix Léon Brillouin de la SFO.

POUVEZ-VOUS NOUS DÉCRIRE VOTRE PARCOURS ?

À la suite de ma formation d'ingénieure à l'IOGS, j'ai effectué une thèse au CNET Bagneux (Centre national d'études des télécommunications) sous la direction de Jozeph Zyss sur les propriétés non-linéaires de molécules en solution et polymères. Dans cette thèse, je travaillais sur la diffusion harmonique non-linéaire et je cherchais à comprendre comment les structures moléculaires influent sur leurs propriétés non-linéaires du second ordre. L'environnement scientifique était très riche et permettait la rencontre d'autres domaines ; j'ai notamment travaillé avec des chimistes de synthèse qui m'ont beaucoup appris et avec qui je travaille encore. Le groupe de Joseph Zyss déménageant à l'ENS Cachan, j'y ai ensuite poursuivi mes recherches en tant qu'ATER. J'ai ensuite effectué mon post doctorat aux Etats Unis dans le groupe de William Moerner (prix Nobel de chimie 2014), tout d'abord à l'UCSD puis à Sanford, pour travailler sur l'imagerie de molécules uniques dans les cellules. J'y ai découvert le monde de la microscopie et de la biologie cellulaire, avec des questions stimulantes sur comment le comportement diffusif de protéines rapporteurs membranaires est relié à leur fonction biologique.

VOUS AVEZ TOUT D'ABORD ÉTÉ RECRUTÉE SUR UN POSTE UNIVERSITAIRE

Ayant toujours été attirée par la recherche, j'ai tout d'abord candidaté au CNRS. À ma troisième tentative, j'ai postulé en parallèle sur un poste de Maître de Conférences et j'ai eu la chance d'être recrutée à l'ENS Cachan. Même si je m'orientais au départ vers la recherche, je me suis rapidement rendue compte de la richesse du métier d'enseignant-chercheur et de son intérêt majeur pour penser les problèmes en recherche..



J'ai travaillé sur le façonnage de la matière par réorientation de molécules sous champ optique. L'objectif était de contrôler l'orientation de molécules organiques par des interactions non linéaires avec la lumière. L'ordre de la non-linéarité nous permettait de contrôler la symétrie de la distribution de molécules dans des matrices polymère. Ce sujet était très porteur pour envisager l'inscription, par la lumière, de propriétés optiques de matériaux polymères. Ce domaine, intéressant pour les composants optoélectroniques, souffrait cependant des problèmes de stabilité et de robustesse de ces matériaux qui les rendaient limités pour des applications telecoms. Ces travaux ont cependant motivé le développement d'une technique de microscopie non-linéaire qui permettait d'observer l'orientation des molécules à des échelles sub-micrométriques,

outils qui me serviront beaucoup dans la suite de mes recherches en imagerie pour le vivant. Cet intérêt pour l'imagerie pour le vivant, né pendant mon séjour postdoctoral, m'a poussée à rejoindre une équipe dédiée à ce sujet de l'imagerie pour la biologie : l'équipe MOSAIC à l'Institut Fresnel. Suite à une demande de mobilité j'ai pu être recrutée sur un autre poste MCF à Marseille où j'ai rejoint l'Institut Fresnel en 2007, enseignant à l'université Paul Cezanne (aujourd'hui Aix Marseille Université, AMU).

PUIS VOUS AVEZ RAPIDEMENT POSTULÉ SUR UN POSTE CNRS

Après 7 années en enseignement et recherche, je souhaitais me lancer pleinement dans un nouveau projet qui portait sur le façonnage en polarisation d'impulsions femtosecondes. L'idée était d'encoder des états de polarisations variés dans le spectre complexe d'une impulsion femtoseconde, par mise en forme d'impulsions en phase et en polarisation *via* des modulateurs spatiaux de lumière. Etudier, dans le domaine vectoriel, comment une telle impulsion interagit avec la matière était nouveau et a été décliné en parallèle, par d'autres groupes, dans les milieux plasmoniques : par le jeu de mélange de fréquences non-linéaires en interaction avec les résonances moléculaires, j'ai pu utiliser cette méthode pour analyser *via* une seule impulsion, les réponses de polarisation de génération de second harmonique de milieux organisés comme le collagène dans les tissus biologiques.

Ces travaux ont cependant motivé le développement d'une technique de microscopie non-linéaire qui permettait d'observer l'orientation des molécules à des échelles sub-micrométriques, outils qui me serviront beaucoup dans la suite de mes recherches en imagerie pour le vivant. Cet intérêt pour l'imagerie pour le vivant, né pendant mon séjour postdoctoral, m'a poussée à rejoindre une équipe dédiée à ce sujet de l'imagerie pour la biologie : l'équipe MOSAIC à l'Institut Fresnel.

Deux axes de recherche se dégagent. Le premier axe, pour la biologie, vise à imager l'orientation et l'organisation des molécules et à l'associer à une fonction biologique, comme le changement conformationnel de protéines qui est très difficilement mesurable en cellule vivante et à haute dynamique spatio-temporelle. Le second axe, plus physique, vise à mesurer expérimentalement des champs optiques en 3D en super-résolution.

COMMENT AVEZ-VOUS RÉALISÉ QUE CES APPROCHES POUVAIENT ÊTRE IMPORTANTES POUR IMAGER LE VIVANT ?

Pendant mon séjour post-doctoral chez W. Moerner, j'ai pu apprécier les défis et questions importantes dans ce domaine. J'avais notamment participé aux premières expériences de suivi de la diffusion latérale de molécules uniques dans des membranes cellulaires pour analyser les propriétés des environnements lipidiques sur le confinement de protéines réceptrices. Ces protéines peuvent former des organisations bien précises qui régissent les fonctions biologiques : je souhaitais donc associer les thèmes sur lesquels j'avais eu l'opportunité de travailler - microscopie, optique non-linéaire, sensibilité à la polarisation - pour développer une approche novatrice pour imager l'organisation du vivant. Il fallait tout développer, à la fois les outils d'instrumentation optique et les formalismes qui permettaient d'interpréter les données. Progressivement, je suis revenue aux molécules uniques pour répondre à la question de l'échelle moléculaire de ces organisations. J'avais acquis le savoir-faire de l'imagerie des molécules uniques par fluorescence lors de mon post-doc à Stanford, et se développait en parallèle un axe innovant pour gagner en résolution spatiale à partir de la localisation spatiale de ces molécules uniques : l'imagerie par localisation d'émetteurs isolés (qui a également été l'objet du prix Nobel 2014 à Eric Betzig) J'ai donc commencé les premières expériences d'imagerie de localisation et d'orientation de molécules uniques par microscopie polarisée vers 2010. Les progrès très rapides développés en imagerie super résolue, notamment les

progrès computationnels pour traiter ces images, m'ont permis de développer, par le contrôle de la polarisation, une imagerie super résolue d'organisation des de molécules uniques. Ce domaine se développe rapidement au laboratoire, et ouvre même à l'ingénierie de nouvelles sondes fluorescentes, grâce à une collaboration très riche avec Manos Mavrikis, biologiste à l'institut Fresnel intéressé par l'organisation des filaments du cytosquelette. En parallèle, nous avons travaillé avec Hervé Rigneault, Patrick Ferrand et Julien Duboisset sur le déploiement de l'imagerie polarisée pour la fluorescence multi-photonique et le Raman cohérent, méthodes qui sont aujourd'hui déployées comme des diagnostics possibles de pathologies dans les tissus biologiques.

QUELS SONT VOS AXES DE RECHERCHE ACTUELLEMENT ?

Je cherche à étudier et contrôler la polarisation dans des conditions non paraxiales, conditions pour lesquelles la composante axiale (ou longitudinale) de la polarisation est importante. Je collabore sur ces questions avec un spécialiste de la polarisation, Miguel Alonso, qui a rejoint il y a quelques années le laboratoire. Nous travaillons ensemble sur la mise en forme en phase et en polarisation de faisceaux focalisés pour répondre à aux questions de la métrologie d'un état de polarisation 3D pour un faisceau focalisé et des formalismes appropriés pour les états de polarisation 3D partiellement polarisés. Les outils expérimentaux que nous développons sont importants pour les physiciens qui travaillent sur ces questions dans des domaines très larges, qui peuvent toucher la théorie, les applications en nanophotonique,

l'imagerie... Ce qui m'intéresse c'est de tirer profit de ces expériences pour mesurer des orientations moléculaires 3D (ce qui n'est pas vraiment accessible aujourd'hui) et diagnostiquer des champs optiques 3D structurés sous la taille de la résolution optique.

Deux axes de recherche se dégagent. Le premier axe, pour la biologie, vise à imager l'orientation et l'organisation des molécules et à l'associer à une fonction biologique, comme le changement conformationnel de protéines qui est très difficilement mesurable en cellule vivante et à haute dynamique spatio-temporelle.

Le second axe, plus physique, vise à mesurer expérimentalement des champs optiques en 3D en super-résolution. Miguel Alonso développe par exemple un concept de skyrmions optiques, structures du champ périodiques parcourant spatialement toute la sphère de Poincaré 3D. Pour sonder ces skyrmions, des nanosondes de champs 3D sont nécessaires : ce sont des nanoparticules métalliques qui se comportent comme des dipôles diffusants et nous informent en champ lointain, *via* des méthodes proches de celles développées en molécules uniques, de l'état de polarisation 3D localisé.

CES TRAVAUX VOUS AMÈNENT À COLLABORER AVEC D'AUTRES DISCIPLINES

Mes champs de recherches sont très riches en collaborations, notamment avec les chimistes et biologistes qui s'intéressent à la manière dont les molécules s'orientent et s'organisent. Les domaines touchés en biologie sont nombreux, en biologie du développement, neuroscience, immunologie.... Les liens avec les physiciens sont nombreux : j'ai mentionné le domaine de l'optique mathématique avec Miguel Alonso mais j'ai également pu collaborer sur un beau sujet avec Sylvain Gigan, où se posait la question du maintien de polarisation lorsque les fronts ondes sont remis en forme pour focaliser un faisceau derrière un milieu diffusant. Ce domaine est d'intérêt pour l'imagerie non-linéaire polarisée dans les tissus, qui à grande profondeur perturbent les champs de manière aléatoire pour former un speckle. La polarisation est une signature importante de cette

perturbation, et de la nature du contrôle cohérent des champs dans un milieu diffusant. Aujourd'hui nous cherchons à maîtriser les fronts d'onde, non seulement en phase, mais aussi en polarisation, pour corriger les distorsions subies par le front d'onde dans des tissus biologiques. Nous cherchons notamment à appliquer le formalisme matriciel développé pour l'optimisation de front d'ondes en transmission, en imagerie non-linéaire polarisée.

VOUS AVEZ MONTÉ L'UNE DES PREMIÈRES FORMATIONS ERASMUS MUNDUS EN FRANCE EN PHOTONIQUE

Oui, lorsque je suis rentrée au CNRS, j'avais gardé une sensibilité à l'enseignement et aux programmes internationaux, et je venais d'un laboratoire qui avait obtenu à l'initiative de Joseph Zyss et Isabelle Ledoux un Erasmus Mundus (MONABIPHOT) autour de l'optique moléculaire, regroupant des compétences en chimie, la biologie et la photonique. Avec des collègues de Marseille, notamment Hugues Giovannini, nous avons senti le besoin de structurer la photonique du site de Marseille autour d'une formation s'appuyant sur les laboratoires concernés comme le PIIM, le LAM et le LP3. Nous avons ainsi monté la formation Erasmus Mundus EUROPHOTONICS

en 2011, en partenariat avec trois autres villes, Karlsruhe, Barcelone et Florence. Nous avons obtenu en parallèle du projet de master, le financement du programme doctoral Erasmus Mundus du même nom. Une petite équipe dévouée s'est formée et a permis de faire tourner cette formation originale qui a pris par la suite de l'ampleur. Le programme doctoral a duré 5 ans, et le programme master s'est élargi avec des partenaires supplémentaires comme Tampere, Vilnius, Rochester, Sydney, Mexico... Nous avons été chanceux d'obtenir ces deux financements européens puis les suivants pour le Master, je suis fière de la réussite de ce programme.

VOUS AVEZ ÉGALEMENT OBTENU UN EQUIPEX SUR L'IMAGERIE ET LA DÉTECTION COMPUTATIONNELLE

C'est une action que j'ai souhaité mener lors de mon démarrage en tant que directrice de l'Institut Fresnel. Ce projet obtenu en 2021, qui finance des équipements d'imagerie et de détection dans lesquels les aspects computationnels (optimisation, inversion, compression de données,...) sont intégrés à part entière, est un bel exemple de l'identité du laboratoire. Les personnes impliquées sont des physiciens des ondes, mais également des théoriciens et informaticiens. Cette

hybridation, propre à ce laboratoire mais qui se retrouve aussi dans quelques autres en France, est une grande richesse pour inventer les concepts et outils de demain dans de nombreux domaines. Ce qui me motive aujourd'hui dans la fonction de direction d'unité est d'accompagner la création de ces projets horizontaux, liant les savoir-faire des personnels du laboratoire, et structurant la recherche autour de thèmes dans lesquels la diversité des domaines est importante.

QUELLES SONT LES CLÉS POUR QUE LA PHOTONIQUE POURSUIVE SON DÉVELOPPEMENT ?

L'avenir de la photonique sera lié à notre capacité à maintenir des actions de structuration entre les personnes impliquées. En ce sens, la SFO a un rôle majeur à jouer, c'est un substrat essentiel. On le constate dans les congrès de la SFO : il existe une vraie communauté scientifique en France autour de l'optique, qui évolue avec des personnes inventives, dynamiques et un réel enthousiasme. Cette communauté doit également rester à l'affût des développements divers et dans la curiosité des communautés qui l'entourent : non seulement en physique mais dans les disciplines voisines proches (chimie, biologie) et éloignées (écologie, sciences humaines). ●

SPECTROGON

State of the art products

Filtres Interférentiels

De 200 à 15000 nm

- Passe-bande
- Passe-haut
- Passe-bas
- Large bande
- Densité neutre
- Disponible en stock



Réseaux Holographiques

De 150 à 2000 nm

- Compression d'impulsion
- Télécom
- Accordabilité spectrale
- Monochromateurs
- Spectroscopie
- Disponible en stock



UK (parle français): sales.uk@spectrogon.com • Tel +44 1592770000
 Sweden (headquarters): sales.se@spectrogon.com • Tel +46 86382800
 US: sales.us@spectrogon.com • Tel +1 9733311191

www.spectrogon.com

La SFO a quarante ans

Pierre CHAVEL^{1,*}, Benoît BOULANGER²

¹ Université Jean-Monnet de Saint-Etienne, CNRS, Laboratoire Hubert Curien, Institut d'Optique, Saint-Etienne, France

² Université Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, Institut Néel, Grenoble, France

*pierre.chavel@institutoptique.fr



La SFO est entrée dans sa quarantième année. Après une évocation des circonstances de sa fondation, nous mettons en évidence les caractéristiques et les activités qui permettent d'affirmer que notre société a réussi à créer une communauté scientifique vivante et en bonne interaction avec ses environnements tant scientifique que géographique.

<https://doi.org/10.1051/photon/202311822>

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

Les statuts de la Société française d'optique ont été déposés fin 1983 à la sous-préfecture de Palaiseau, officialisant la volonté de ses fondateurs de constituer en France une communauté de la recherche en optique. Une « société savante » telle que la SFO doit donner à ses membres l'occasion de dialogues et de partenariats nouveaux, leur permettre de rayonner en tant que communauté, et cependant éviter le morcellement aussi bien que l'isolement : considérons ces quarante ans d'histoire sous ces angles.

Fondation et mise en place

À l'occasion du 25^e anniversaire de la SFO, son fondateur et premier président, Jean Bulabois, a expliqué dans ces colonnes [1] qu'en 1983 la situation était mûre pour créer une nouvelle société savante au profit de la communauté de l'optique en France et contribuer ainsi à son épanouissement : le laser et la fibre optique révolutionnaient le domaine, apportant à de nombreux chercheurs

dans des secteurs scientifiques variés des outils à prendre en main puis à mettre en œuvre, alors que le secteur économique voyait s'ouvrir, entre autres, l'usinage par laser, de nouvelles méthodes de métrologie, sans oublier le champ immense des télécommunications optiques. Le congrès « Horizons de l'optique » venait de naître comme spontanément, en même temps que les Journées nationales d'optique guidée (JNOG) et l'exposition « Opto ».

Le Comité français d'optique, groupe de travail coopté chargé depuis 1947 de représenter la France auprès de la Commission internationale d'optique (CIO), a bien constaté qu'il n'avait ni l'envergure ni la représentativité voulues pour animer et coordonner une communauté nouvelle : cette tâche revenait à une société à laquelle pourrait adhérer toute personne active en optique dans la recherche et ses applications : la Société française d'optique, dont les statuts ont englobé les liens avec la CIO mais permettaient d'emblée d'aller bien plus loin.

En moins de dix ans, l'effectif de la SFO avait dépassé 500 membres et présentait une caractéristique remarquable, appropriée au domaine de l'optique : le secteur industriel représentait 40% de l'effectif, à parité avec les laboratoires universitaires (CNRS inclus), les autres 20% correspondant aux autres organismes publics (CEA, CNES, ONERA, DGA, ...). Horizons de l'optique et les JNOG étaient devenus des rendez-vous traditionnels, auxquels s'ajoutait COLOQ, le Colloque sur les lasers et l'optique quantique ; la SFO avait organisé une demi-douzaine de conférences internationales, initié sa série d'écoles thématiques et créé ses premiers « clubs » qui offraient à de petites communautés dynamiques le cadre souple propice à leur déploiement. Peu après est né Optique et photonique, le premier magazine de la SFO, auquel devait succéder en 2001 la revue Photoniques, publication fort prisée dont vous êtes en train de lire la 118^e livraison bimestrielle.



Figure 1 : (En haut à gauche) Premier logo de la SFO ; (En bas à gauche) Photographie du fondateur et premier président de la SFO, Jean Bulabois ; (A droite) Couverture du recueil du colloque Horizons de 1985 à Besançon.

organisée pour laisser aux sociétés nationales d'optique toute leur place. Pour mettre en évidence la pérennité de leur lien à l'EOS, depuis 2003, la SFO et huit autres sociétés sœurs en ont le statut de « branche » nationale.

Ces frontières sont également thématiques. L'optique, en tant que science, étant sans contestation possible une branche de la physique, avait sa place au sein de la Société française de physique (SFP) depuis la création de cette dernière, 110 ans avant celle de la SFO. En 1983, c'est surtout au sein de la division de physique atomique et moléculaire de la SFP qu'elle trouvait sa place ; il s'est alors établi une certaine complémentarité entre les thèmes traités au sein de cette division et la SFO. Rapidement, de nombreux chercheurs membres de la SFP le sont restés tout en adhérant à la ●●●

Les partenariats de la SFO

Créer une communauté, lui donner corps et visibilité, ne peut se faire sans établir des frontières tout autour. Tout l'art d'une opération bien menée consiste à les ouvrir au moment même de leur création. S'insérant d'emblée dans la famille des sociétés savantes d'optique par son appartenance à la CIO, la SFO a dès le début tissé des liens avec ses voisines : le premier « Horizons de l'optique » après sa fondation s'est tenu à Besançon au printemps 1985 en conjonction avec la réunion annuelle de la Deutsche Gesellschaft für angewandte Optik. En mars 1992, elle faisait partie des membres fondateurs de l'European Optical Society (EOS), acteur légitime sur le terrain des colloques internationaux sur le sol européen, en dialogue et en partenariat avec les autres sociétés savantes d'optique au champ d'action international : tout en admettant des membres individuels, l'EOS est

 The advertisement features a photograph of a precision optical instrument, possibly a spectrometer or interferometer, with a lens and internal components visible. The instrument is mounted on a stand.

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

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

HS HAAG-STREIT SPECTROS

Look closer. See further.

www.spectros.ch

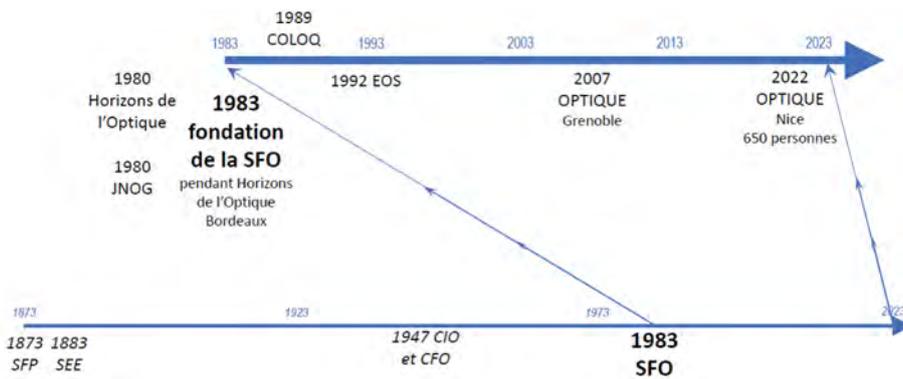


Figure 2 : Flèche chronologique avec les dates clés de l'histoire de la SFO, notamment les premières conférences Horizons de l'Optique et JNOG organisées en 1980, puis la fondation de la SFO en 1983 à l'occasion de la conférence Horizons à Bordeaux et quelques initiatives marquantes qui ont fait suite.

SFO, puis la possibilité de cotisations jumelées leur a été proposée. La Société des électriciens et électroniciens (SEE), datant de 1883, est dans le même cas de société savante dédiée à une branche de la physique tout en affirmant sa personnalité propre. Les premiers clubs communs entre SFO et SEE remontent aux origines de la SFO. Avec la Société française du vide, SFO, SFP et SEE ont constitué la « Fédération française des sociétés scientifiques ». On peut enfin parler de relations entre organisations professionnelles. Le dialogue entre la SFO et la fédération industrielle Photonics France (construite sur la base d'organisations antérieures, dont le Syndicat général de l'Optique et des Instruments de Précision, SGOIP, qui était actif en 1983) a toujours existé, et des industriels actifs dans cette fédération ont fréquemment siégé au conseil de la SFO.

La SFO à quarante ans

Notre SFO souffle ses 40 bougies cette année ! Elle est en pleine forme, avec près de 900 adhérents académiques et industriels et une palette d'outils performants qui lui permettent d'animer la très active communauté française de l'optique dans toutes ses tonalités qui vont du fondamental aux applications.

Il y a tout d'abord ses 16 clubs, qui couvrent tous les grands domaines de la photonique, et ses 3 commissions (enseignement, réussir la parité en optique, optique sans frontière) qui sont autant de racines pour notre société savante. Ces entités avaient, et ont toujours, pour tradition d'organiser des événements spécifiques, mais en 2007, il nous a semblé important de créer un événement commun permettant à toutes ces composantes de se retrouver, d'échanger, de faire véritablement corps. Le challenge était de taille, mais le succès le fut tout autant, avec plus de 500 participants à OPTIQUE Grenoble 2007. Ce fut le premier congrès OPTIQUE de la SFO, qui s'est ensuite tenu avec une audience aussi soutenue à Lille, Marseille, Paris, Rennes, Bordeaux, Toulouse, Dijon, Nice, la prochaine ville étant Rouen en 2024. Là aussi, le rôle de « go between » entre fondamental et applications joue à plein, avec la tenue d'expositions industrielles de plus de 40 stands. Lors de ces événements nationaux sont également remis le Grand Prix Léon Brillouin, le Prix Fabry – de Gramont et le Prix Arnulf – Françon qui, à chaque fois, nous montrent combien notre communauté est talentueuse. Les écoles thématiques organisées par la SFO, aujourd'hui en plein essor, sont d'efficaces vecteurs de rayonnement de

notre société savante à l'adresse des doctorants et jeunes chercheurs. Quand il s'agit de rayonnement de la SFO, comment ne pas parler aussi de la revue Photoniques, qui est à la hauteur des meilleurs magazines mondiaux dans sa catégorie, alliant une forte pédagogie à une grande acuité en matière d'actualités scientifiques et industrielles, agrémentées d'une très bonne couverture régionale. Ajoutons aussi que la SFO est toujours active au sein de la communauté internationale, avec l'organisation du congrès EOSAM de l'EOS à Dijon cette année et la co-organisation avec la représentation territoriale de l'Afrique de l'Ouest du congrès triennal de la CIO au Sénégal en 2024.

Conclusion

Les connaissances humaines croissent et ont dépassé depuis longtemps ce que peut embrasser l'esprit d'un seul être humain, les technologies se perfectionnent et se diversifient, les effectifs qui s'y consacrent sont en augmentation constante : les sociétés savantes, qui ont vocation à promouvoir le dialogue au sein de communautés scientifiques et entre ces communautés, sont tout naturellement appelées à se multiplier. La création de la SFO s'imposait : son succès en témoigne. Par sa vitalité et par son tissu de relations en France et à l'étranger, elle a su s'imposer comme une belle et forte composante dans le champ de la science française et de l'optique dans le monde. Animée, après Jean Bulaboïs, par des dizaines de personnes, c'est par ses membres et pour ses membres qu'elle est ce qu'elle est. ●

RÉFÉRENCE

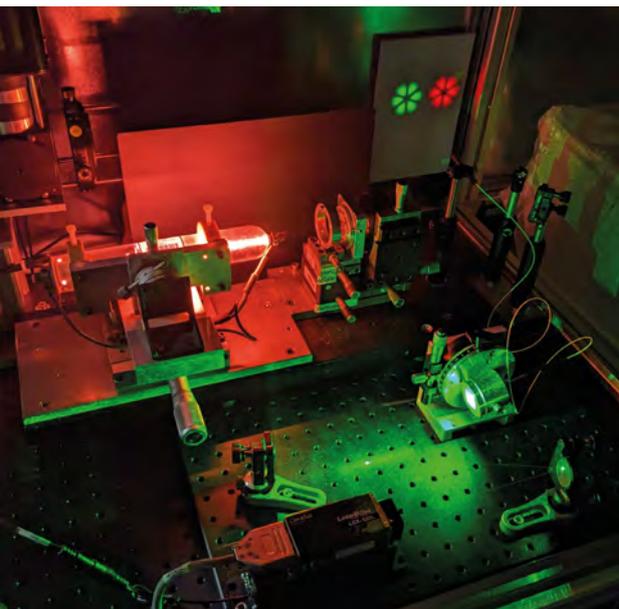
[1] J. Bulaboïs, Photoniques 37, 10 (2008)

Des défilés de modes... dans un bus

Collectif Scientibus

Université de Limoges, Faculté des Sciences et Techniques, 123 avenue A. Thomas, Limoges, F 87060

*dominique.pagnoux@xlim.fr



Le « Scientibus » est un autobus transformé en un véritable laboratoire itinérant dans lequel le public peut participer à une grande quantité d'expériences scientifiques dont beaucoup relèvent de la photonique. Dans cet article, nous donnons l'exemple d'un enchaînement de démonstrations sur le thème de la propagation guidée dans les fibres optiques, en allant du phénomène de réflexion totale jusqu'à l'excitation modale sélective d'une fibre faiblement multimodale.

<https://doi.org/10.1051/phys/202311825>

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

En France comme dans beaucoup d'autres pays, on déplore depuis de nombreuses années une désaffection notoire du public, des jeunes en particulier, pour les sciences et les carrières scientifiques. Pour remédier à cette situation, il est nécessaire de revaloriser l'image des disciplines scientifiques, souvent jugées difficiles d'accès. Dans cette optique, un groupe de chercheurs et d'enseignants-chercheurs de l'université de Limoges et du CNRS s'est donné pour objectif de faire découvrir les aspects fascinants des sciences et de leurs applications à travers une collection d'expériences participatives, modernes et étonnantes, embarquées dans un bus transformé en une sorte de « mini Palais de la Découverte » itinérant (Fig. 1). Cet outil unique permet de transporter les expériences au plus près du public, dans les établissements scolaires ou

à l'occasion de manifestations de diffusion de la culture scientifique. Ainsi est né le Scientibus dont la devise pourrait être inspirée par Lagardère : « si tu ne viens pas à la Science, la Science ira à toi » !

Depuis son inauguration par Claude Cohen-Tannoudji il y a bientôt 20 ans, le Scientibus parcourt les routes dans un rayon de 100 km autour de son port d'attache à la Faculté des Sciences et Techniques de Limoges. Il lui arrive même de s'aventurer beaucoup plus loin (festival « I love Science » à Bruxelles, congrès « Optique 2022 » à Nice) ! Animé par un collectif composé d'une trentaine de chercheurs, enseignants-chercheurs, techniciens, ingénieurs et doctorants, le projet Scientibus assure chaque année une trentaine de journées d'animations scientifiques, et accueille environ 3500 visiteurs dont 2500 scolaires.

Concrètement, le Scientibus est divisé en deux ateliers auxquels s'ajoute un atelier extérieur déployé dans une salle voisine ou sous un barnum. Avec cette organisation, trois groupes de 7 à 10 visiteurs chacun peuvent être accueillis simultanément par trois animateurs, en compagnie desquels ils vont pouvoir découvrir quelques-unes des 80 expériences ou démonstrations proposées au catalogue du Scientibus. Celles-ci couvrent les principaux domaines des sciences dites « dures », en particulier la physique avec, dans cette discipline, un large éventail de démonstrations relatives à l'optique-photonique, parmi lesquelles : effets stroboscopiques, polarisation et photoélasticimétrie, UV et fluorescence, imagerie IR, synthèse de prothèses céramiques par prototypage laser, interférométrie à décalage, transmissions par fibres optiques...



Évidemment, pour fonctionner correctement au sein du Scientibus, toutes ces démonstrations doivent satisfaire des conditions techniques drastiques : compacité, rapidité et simplicité de mise en œuvre, robustesse des réglages pour résister aux vibrations lors des déplacements du bus ou en présence du public, fiabilité. De plus, parce que le Scientibus veut pouvoir s'adresser à tous les publics - des plus jeunes aux plus anciens, des néophytes aux spécialistes- les concepteurs doivent veiller à proposer des expériences de niveaux scientifiques variés, idéalement avec une certaine progressivité. Pour cet article, nous avons choisi de présenter les démonstrations relatives à la transmission de la lumière par fibre optique qui illustrent bien cette gradation.

De l'initiation au phénomène de guidage...

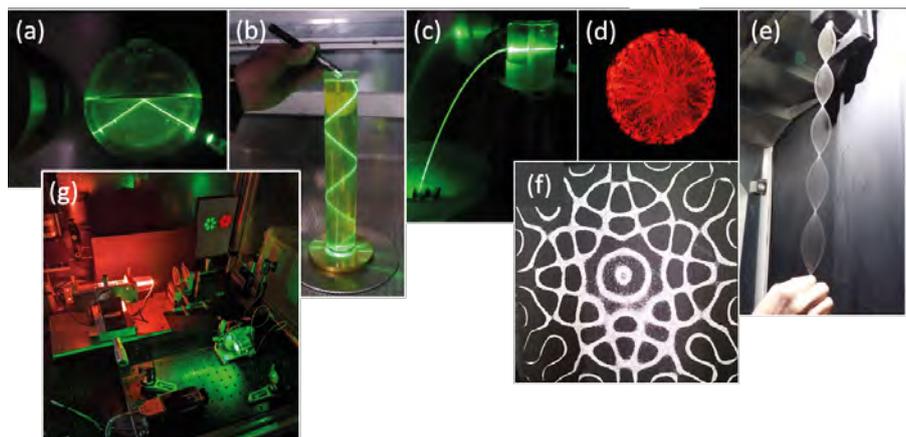
Pour les scolaires et le public non initié, on commence par l'observation de la réfraction et de la réflexion totale du faisceau d'un pointeur laser plus ou moins incliné, traversant une fiole de verre sphérique à moitié remplie d'eau colorée avec de la fluorescéine (Fig. 2a). Puis, en injectant le faisceau du pointeur dans un tube de verre rempli du même liquide, on réalise une première démonstration de guidage

Figure 1 : Arrivée du Scientibus au campus Saint Jean d'Angely à Nice, à l'occasion de la conférence « Optique Nice 2022 » en juillet 2022

de ce faisceau grâce aux réflexions totales successives aux interfaces tube air (Fig. 2b). Pour expliquer le phénomène, le public soupçonne souvent le tube de verre de jouer un rôle important. Aussi, pour prouver qu'il n'en est rien, on réalise la même démonstration dans un filet d'eau s'écoulant d'un réservoir (fontaine de Colladon) (Fig. 2c). À la suite de cette expérience, on montre une première exploitation pratique du phénomène de guidage avec le transport de lumière dans des fibres

plastiques à gros cœur pour application à l'éclairage déporté. On évoque aussi les guides d'images en mettant entre les mains des visiteurs de véritables laparoscopes, coloscopes et bronchoscopes. On revient ensuite sur les fibres élémentaires avec l'observation de la propagation de la lumière d'un laser HeNe injectée dans une longue fibre multimode 50/125µm en silice. Celle-ci est déployée depuis le système d'injection jusqu'à un tambour autour duquel elle fait quelques centaines de tours avant de réaliser un parcours sinueux au plafond du bus (observation des pertes aux courbures) jusqu'à un écran sur lequel le visiteur peut observer le speckle rouge émergent (Fig. 2d). À ce moment, il est facile de simuler la transmission à longue distance d'un signal numérique en hachant le faisceau du laser en entrée et en produisant des clignotements du speckle à la sortie. Et pour prouver que de l'information intelligible peut être transportée par un signal lumineux modulé, nous avons mis en place une démonstration de transmission de musique en espace libre entre une diode laser rouge modulée par la sortie analogique d'une tablette et un photodétecteur couplé à un haut-parleur. En interposant un obstacle sur le trajet

Figure 2 : Enchaînement des démonstrations sur le guidage des modes dans les fibres optiques présentées dans le Scientibus: (a) réflexion totale ; (b) réflexions multiples ; (c) fontaine de Colladon ; (d) speckle à la sortie d'une fibre 50/125 ; (e) corde de Melde ; (f) mode de la plaque de Chladni ; (g) les deux dispositifs de sélection modale permettant d'afficher sur un écran les modes du laser HeNe (mode rouge à droite) et de la fibre (mode vert à gauche).



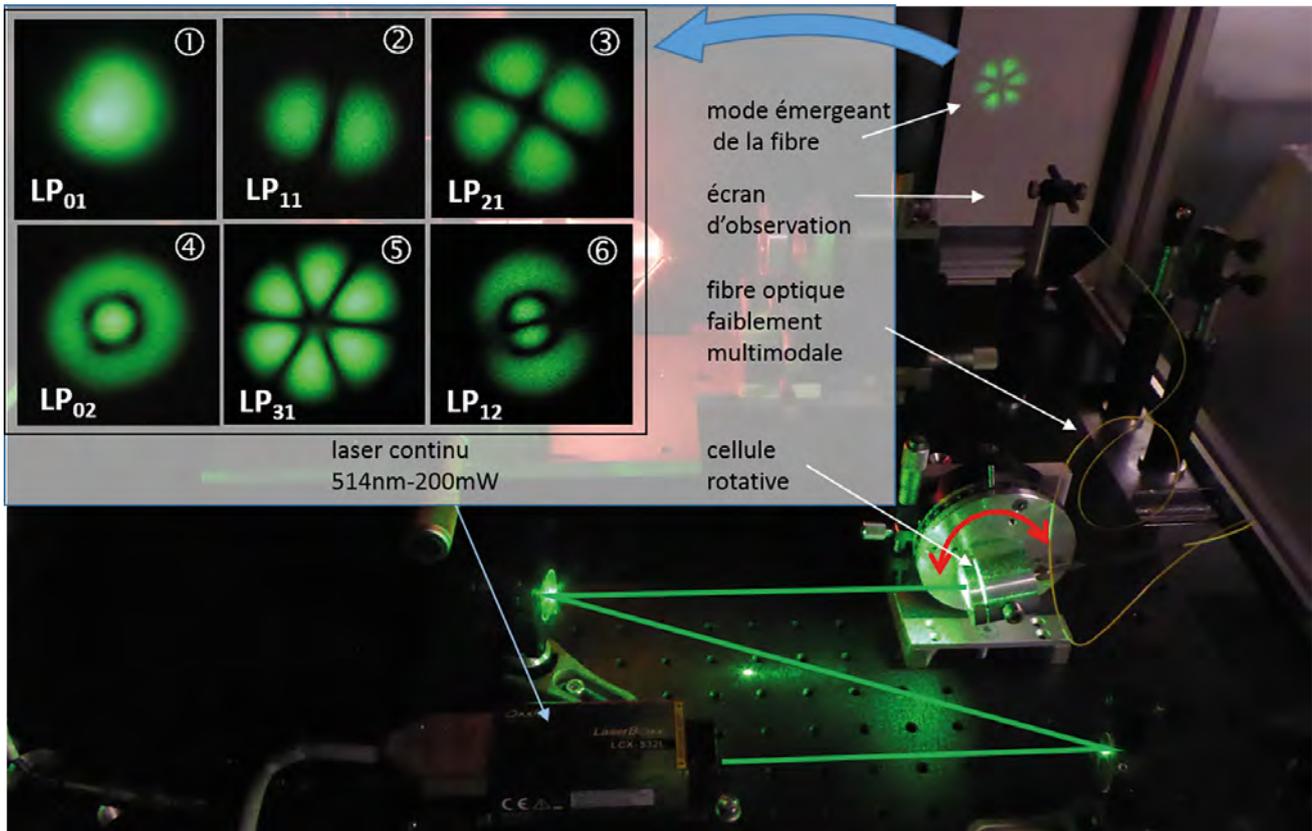


Figure 3 : Dispositif d'excitation modale sélective d'une fibre optique ; Encart : les modes excités, photographiés sur l'écran placé en sortie de fibre. Les nombres 1 à 6 indiquent l'ordre d'apparition des modes à mesure que l'angle entre le faisceau incident et la fibre est augmenté.

de la lumière, la main d'un visiteur par exemple, on interrompt la musique. Pour contourner ce problème, l'entrée et la sortie d'une longue fibre plastique à gros cœur sont basculées respectivement devant la diode laser et devant le détecteur pour rétablir la liaison. On peut alors dissenter à volonté sur les systèmes de transmissions par fibres optiques longues distances et haut débit.

... à la découverte des modes des fibres et des lasers

Pour un public plus averti, la séquence précédente peut être survolée voire complètement esquivée pour en venir directement à une série d'expériences un peu plus pointues concernant les modes de propagation dans les fibres multimodes. Le début de cette partie est naturellement l'observation sur l'écran du speckle émergent de la fibre multimode 50/125µm (Fig. 2d), avec son aspect tavelé changeant quand la fibre est

perturbée ou quand les conditions d'injection sont modifiées. Avant d'aller plus loin, il peut être utile de rappeler la notion de « mode de vibration », que l'on peut illustrer avec une corde de Melde qui est une ficelle tenue à une extrémité par un visiteur, plus ou moins tendue, et attachée à un vibreur à son autre extrémité. Avec une tension adéquate de la corde, un mode 1D s'établit, dont on observe facilement les nœuds et les ventres (Fig. 2e). En modifiant la tension, l'expérimentateur change le mode de vibration de la corde. Dans un deuxième temps, on produit une onde stationnaire 2D en excitant une plaque métallique horizontale avec un vibreur (plaque de Chladni). Dans ce cas, c'est en

modifiant la fréquence du vibreur que l'on change la nature des modes de vibration, ceux-ci étant visualisés en saupoudrant la plaque de sable fin (accumulation le long des nœuds) (Fig. 2f). Les notions indispensables étant maintenant introduites, on peut revenir au cas de la fibre optique cylindrique dans le cœur de laquelle l'onde lumineuse résonne spatialement pour produire des modes transverses de Laguerre-Gauss 2D. Des exemples de ces modes calculés par résolution des équations de Maxwell sont présentés sur une affiche, et le public comprend que le speckle observé résulte de la superposition de ces modes plus ou moins déphasés entre eux.

À ce stade, la découverte du phénomène de guidage a déjà bien progressé depuis la simple observation du phénomène de réflexion totale d'un rayon lumineux... mais il est possible d'aller encore plus loin ! Pour cela, deux nouvelles démonstrations installées dans le bus permettent de sélectionner, soit ●●●

dans une fibre optique soit dans un laser HeNe, des modes transverses purs et de les projeter sur un écran pour les observer à loisir. Le premier dispositif, inspiré par les travaux de S. Shaklan en 1991, permet de réaliser une excitation modale sélective

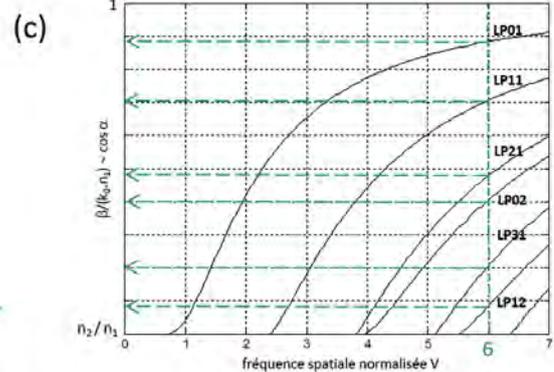
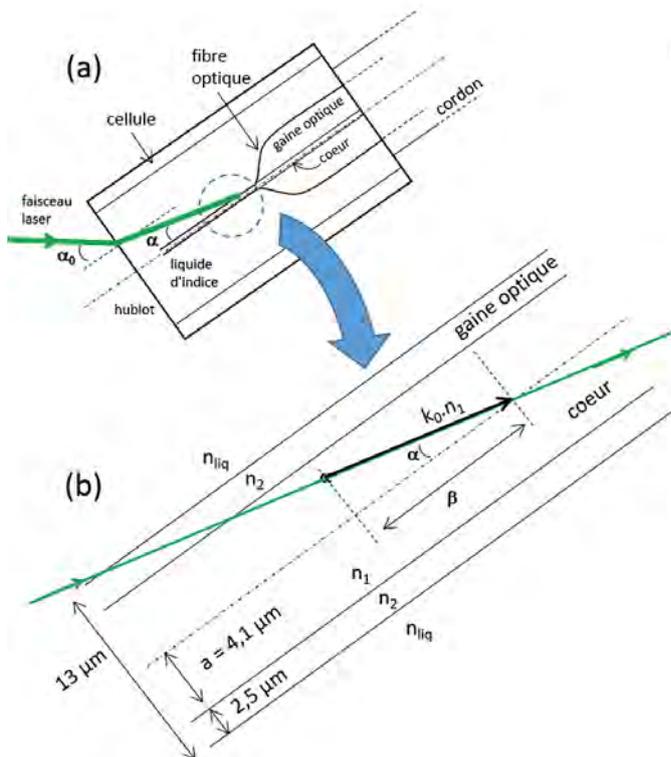
dans une fibre faiblement multimode dans le visible [1]. La fibre est préalablement amincie à une extrémité par attaque à l'acide fluorhydrique de sorte que l'épaisseur de gaine optique résiduelle ne soit plus que d'environ 2,5 μm (voir encart). La pointe

est ensuite insérée dans une cellule remplie de liquide d'indice et munie à l'avant d'un hublot perpendiculaire à l'axe de cette fibre. À l'arrière, la fibre est hermétiquement scellée à la cellule pour éviter toute fuite de liquide d'indice. À travers le hublot,

PRINCIPE DE L'EXCITATION MODALE SÉLECTIVE D'UNE FIBRE OPTIQUE PAR AJUSTEMENT DE L'INCLINAISON D'UN FAISCEAU INCIDENT LATÉRAL

Les paramètres optogéométriques de la fibre sont les indices du cœur et de la gaine optique, ainsi que le rayon du cœur, notés respectivement n_1 , n_2 et a . La Figure (a) montre le faisceau du laser adressé sur la fibre amincie à travers le hublot de la cellule remplie de liquide d'indice ($n = n_{liq} \sim n_2$). Le faisceau incident fait un angle α_0 avec la normale au hublot, et le faisceau réfracté fait un angle α avec l'axe de la fibre. La figure (b) est un zoom sur la pointe de la fibre où les réfractions du faisceau laser aux interfaces ne sont pas représentées du fait de la très grande proximité entre les indices n_1 , n_2 et n_{liq} . Le module du vecteur d'onde associé au faisceau dans le cœur est $k_0 \cdot n_1$ et la constante de propagation associée vaut $\beta \sim k_0 \cdot n_1 \cdot \cos \alpha$ (si on néglige

les déphasages de Goos-Hänchen). D'un autre côté, par résolution de l'équation de dispersion dans les fibres cylindriques, on peut tracer les courbes de dispersion associées aux différents modes transverses (Figure (c)). Pour la fibre que nous utilisons ($a = 4,1 \mu\text{m}$, ouverture numérique $ON = 0,12$), la fréquence spatiale normalisée est $V = k_0 \cdot a \cdot ON \sim 6$ à la longueur d'onde du laser (532nm). Pour chaque mode LP $_{mn}$, on peut lire sur la courbe correspondante sa constante de propagation réduite $\beta_{mn} / (k_0 \cdot n_1) \sim \cos \alpha_{mn}$ et en déduire la valeur de l'angle α_{mn} associé. Ainsi, lorsque l'angle α du faisceau adressé dans le cœur de la fibre correspond à l'angle α_{mn} , le mode LP $_{mn}$ pur est excité dans la fibre. L'angle α_0 est relié à α_{mn} par la relation de la réfraction de Snell-Descartes.



le faisceau d'un laser vert (Oxxius LCX-532-L, 532 nm, 200 mW) faisant un petit angle α avec l'axe de la fibre est adressé sur le côté de la pointe, pour induire un couplage frustré de la lumière dans le cœur. L'angle d'incidence est ajusté en modifiant l'inclinaison de la cellule. Lorsque l'inclinaison du rayon dans le cœur correspond à celle du vecteur d'onde associé à un mode transverse, on excite sélectivement ce mode (voir l'encart). En l'absence de couplage, celui-ci émerge, pur, à la sortie de la fibre et s'affiche sur un écran. En modifiant petit à petit l'angle de la cellule, on obtient donc un véritable défilé de modes sur l'écran. Avec notre fibre (fibre SMF28, diamètre de cœur = 8,2 μm , ON = 0,12, longueur = 1 m, diamètre de la pointe = 13 μm), nous pouvons observer une succession de 6 modes transverses linéairement polarisés (LP) à 532 nm, du mode fondamental au mode LP_{1,2} en faisant varier l'inclinaison de la cellule sur une plage de 4° (Fig. 3).

Le deuxième dispositif est fondé sur un filtrage spatial intracavité dans un laser He-Ne spécialement conçu. Celui-ci est constitué d'un tube de large diamètre intérieur, fermé d'un côté par un miroir scellé et de l'autre par une fenêtre de Brewster (fabricant Melles Griot), la cavité étant elle-même fermée par un miroir de sortie éloigné d'une dizaine de centimètres de la fenêtre de Brewster. Le faisceau émis est étendu à l'aide d'une lentille de courte focale ($f = 8 \text{ mm}$) placée en sortie du laser, avant d'être adressé sur un écran pour son observation (diamètre du spot sur l'écran = 8 cm). Du fait de son grand diamètre intérieur, ce laser est fortement multimode transverse. L'intervalle entre la fenêtre de Brewster et le miroir de sortie permet d'insérer des obstacles diffractants qui agissent sur la forme du faisceau. Dans notre cas, ces obstacles sont deux fils métalliques fins ($\phi = 50 \mu\text{m}$), placés l'un devant l'autre dans des plans P et P' perpendiculaires au faisceau, et pouvant être

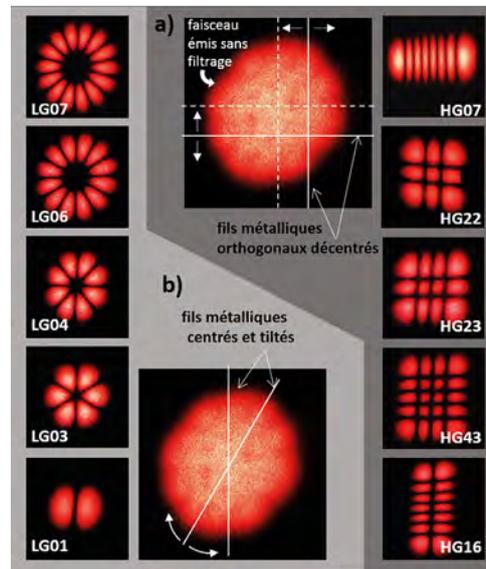


Figure 5 : Modes sélectionnés par filtrage intra-cavité dans un laser HeNe effectué à l'aide de deux fils métalliques fins. a) Modes de Hermite-Gauss (HG) sélectionnés par décalage vertical ou horizontal des fils maintenus orthogonaux; b) Modes de Laguerre-Gauss (LG) sélectionnés par ajustement de l'angle entre les fils se croisant sur l'axe.

translatés ou pivotés dans leurs plans respectifs, indépendamment l'un de l'autre. Leur rôle est d'imposer des lignes de zéros (= lieux d'annulation) dans le champ transverse oscillant dans la cavité. De ce fait, ils sélectionnent, dans la collection des modes Hermite-Gaussiens (HG) ou Laguerre-Gaussiens (LG) susceptibles d'osciller (modes transverses auto-transformés de Fourier), le mode d'ordre le plus bas présentant ces lignes de zéros. Ainsi, avec les deux fils perpendiculaires entre eux et hors d'axe, on sélectionnera un mode HG TEM_{p,q} (motif rectangulaire à p lignes noires dans une direction et q lignes noires dans la direction perpendiculaire) [2] (Fig. 4a). Et avec les deux fils positionnés sur l'axe du faisceau avec un angle de π/m entre eux, on sélectionnera le mode LG TEM_{0,m} (rosace de lumière à 2m lobes)[3,4] (Fig. 4b). Dans la famille des modes HG, ce laser peut émettre n'importe quel mode TEM_{p,q} pur, avec $(p+q) \leq 7$.

Dans la famille des modes LG, le mode d'ordre le plus élevé accessible est le mode TEM_{0,7} (14 lobes). L'ordre des modes accessibles est borné essentiellement par la dimension transverse du tube.

Les deux dispositifs décrits ci-dessus, sont installés côte à côte dans le bus (Fig. 2g) et les modes qu'ils produisent sont adressés sur le même écran, ce qui permet, entre autre, de mettre en évidence la parfaite ressemblance entre les modes LG TEM_{0q} du laser et les modes LP_{q1} de la fibre ($1 \leq q \leq 3$).

Ces deux dernières démonstrations sont particulièrement intéressantes pour des étudiant(e)s de licence ou de master en photonique pour lesquelles elles présentent un caractère pédagogique évident. Mais elles fascinent également le grand public du fait de leur fort impact visuel et de leur rendu esthétique.

Conclusion

Cet article met en lumière le Scientibus, un laboratoire itinérant conçu par des chercheurs et enseignants-chercheurs de l'Université de Limoges pour diffuser la culture scientifique en direction d'un très large public. À travers l'exemple du guidage de la lumière dans les fibres optiques, nous montrons comment une sélection d'expériences et de démonstrations appropriées permet une compréhension graduelle des concepts mis en jeu.

L'opération Scientibus bénéficie du soutien de nombreux partenaires cités en page d'accueil de son site internet (<https://scientibus.unilim.fr/>). ●

RÉFÉRENCES

- [1] S. Shaklan, *Opt. Lett.* **30**, 4379 (1991)
- [2] S.-C. Chu et al., *Opt. Express* **7**, 7128 (2012)
- [3] P. Facq, F. de Fornel and F. Jean, *Elect. Lett.* **20**, 613 (1984)
- [4] P. Faugeras et al., *Opt. Commun.* **90**, 35 (1992)