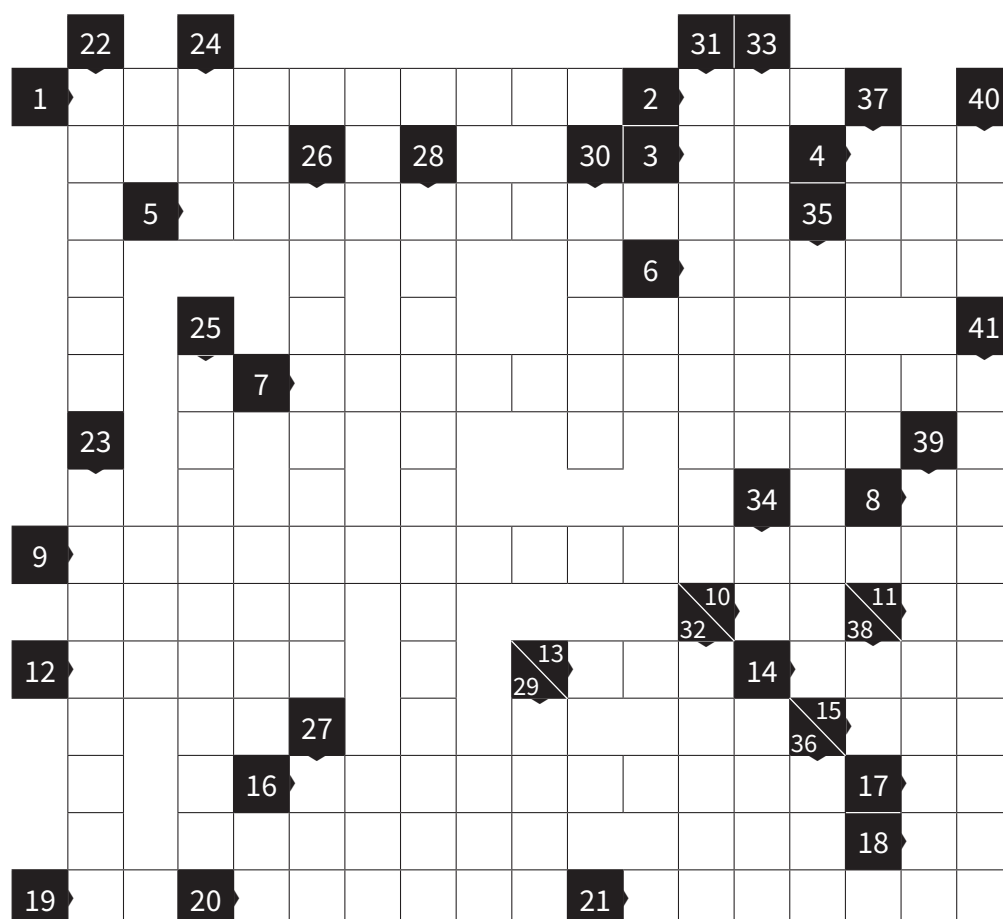


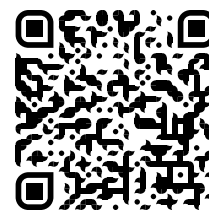
MOTS CROISÉS

SUR LE THÈME OPTIQUE ET SANTÉ

Par Philippe ADAM



SOLUTION SUR
PHOTONIQUES.COM



- | | | | |
|----|---|----|---|
| 1 | Lentille naturelle dans l'œil | 22 | Lentille antérieure de l'œil ; on traite ses aberrations par laser |
| 2 | Tomographie à Cohérence Optique | 23 | Petit nom du médecin qui gère la cataracte (entre autres) |
| 3 | Un dopant des lasers à utilisation clinique | 24 | Imagerie par Résonance Magnétique |
| 4 | Microscope à Force Atomique | 25 | Un tube dans le tube ! |
| 5 | Technique de grossissement, très utilisée en biologie... mais pas que | 26 | Affection épidermique de couleur rose violacée traitée par laser |
| 6 | Peuvent servir, entre autres, de bistouri optique | 27 | Photonique et Sciences du Vivant est un de ses clubs |
| 7 | Traitement de la peau par la lumière | 28 | Union entre microfluidique et optique |
| 8 | La radiographie permet de visualiser leurs atteintes | 29 | Prix Nobel de chimie 2014, inventeur de la microscopie STED |
| 9 | Émission de rayonnement sous excitation photonique | 30 | Affection auditive traitée par laser spécialement chez le chien |
| 10 | Provoque une soif particulièrement intense | 31 | Bonnes pour les chevaux, pas pour les hommes |
| 11 | Rayonnement germicide, mais ne pas en abuser à la plage | 32 | Production d'un cabinet de radiologie |
| 12 | Zone colorée brune sur la peau, traitée par laser | 33 | Centre de Recherche en Epistémologie Appliquée |
| 13 | Détecteur Automatique d'Incendie | 34 | Matériau pour verre utilisé comme filtre optique |
| 14 | Quand un verre de lunette l'est, on ne voit plus rien | 35 | Systèmes d'imagerie, existent en version 2D ou 3D |
| 15 | Ligne d'Intégration Laser, utilisable pour des études médicales | 36 | Extreme Light Infrastructure |
| 16 | Lecture du code génétique | 37 | Émission Spontanée Amplifiée, permet de concevoir des sources pour tomographie |
| 17 | Un des composants atomiques des verres de lunette | 38 | Métal pouvant entrer dans la composition des verres de lunette |
| 18 | Matériau chalcogénure pour l'optique IR | 39 | Il soigne les maladies et imperfections de l'œil |
| 19 | Ouverture numérique | 40 | Image numérique sur votre téléphone et qui peut vous remonter le moral |
| 20 | Relatif à la dépression centrale de la rétine | 41 | La photonique peut permettre de localiser des personnes dans cette fâcheuse situation |
| 21 | Membrane oculaire fragile ; un laser peut la blesser ou la soigner | | |

Source laser à peignes de fréquences triples entièrement fibrée

Une équipe de recherche du PhLAM (Univ. Lille, CNRS) et de l'ONERA Palaiseau vient de réaliser la première démonstration expérimentale d'une source lumineuse à trois peignes de fréquences, entièrement fibrée et agile en fréquence de répétition.

Cette avancée repose sur l'élargissement spectral non linéaire de trois peignes de fréquences produits par des modulateurs électro-optiques dans une fibre tri-cœurs. L'utilisation de la dimension transverse de ces fibres optiques avancées a permis de générer des peignes de fréquences mutuellement cohérents, et ce, automatiquement. Après avoir démontré la stabilité de la source en réalisant des mesures avec deux peignes, l'équipe de recherche a proposé une preuve de concept en spectroscopie multidimensionnelle cohérente à trois peignes, confirmant ainsi l'utilité de cette source pour de telles applications. Ces découvertes ouvrent des perspectives prometteuses en spectroscopie multidimensionnelle cohérente,

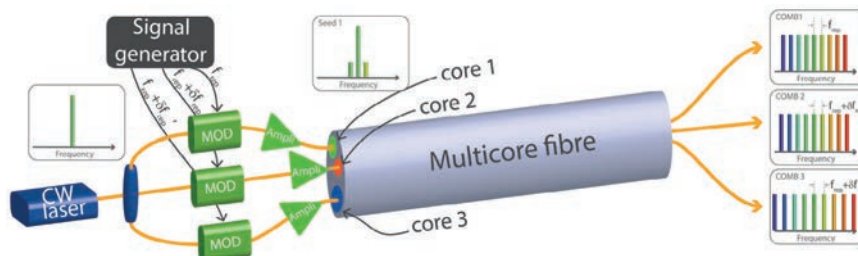


Schéma de la source à triple peignes toute fibrée.

offrant des avantages en termes de rapidité, de précision et de facilité de mise en œuvre. L'équipe envisage d'exploiter cette technologie pour étudier en détail les processus de décohérence dans différents matériaux, allant des quantum

dots aux vapeurs d'atomes chaudes et aux atomes froids. ●

RÉFÉRENCE

E.-L. Bancel, E. Genier, R. Santagata, M. Conforti, A. Kudlinski, G. Bouwmans, O. Vanvincq, D. Labat, A. Cassez et A. Mussot, All-fiber frequency agile triple-frequency comb light source. *Nat Commun* **14**, 7953 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43734-w>

Des nano-piliers qui émergent du saphir

La mise en forme des impulsions laser femtosecondes, au niveau spatial, temporel, et en polarisation a permis des progrès remarquables dans le domaine du traitement des matériaux, permettant une manipulation précise de la matière.

Cependant, jusqu'ici, la plupart des applications laser en termes de modification des matériaux était restreinte à de la nano-texturation en surface ou d'ablation.

Une équipe de l'institut FEMTO-ST (Université de Franche-Comté / CNRS) en collaboration avec le Laboratoire de Géologie de Lyon - Terre, Planètes, Environnement (Université Jean Monnet / CNRS) et le Laboratoire Georges Friedel (Université Jean Monnet, Mines Saint-Etienne) a développé une nouvelle méthode expérimentale pour produire des nano-piliers avec un large volume à la surface du saphir, en un seul tir laser.

Leur approche est basée sur l'utilisation de faisceaux tubulaires, ou faisceaux de Bessel d'ordre supérieur, qui créent une micro-explosion cylindrique au sein du matériau. Selon le régime d'intensité, cette



micro-explosion permet de faire translater un nano-pilier hors du matériau (illustration) voire de créer un nano-jet subissant les instabilités hydrodynamiques, qui se fige pour donner des structures à haut rapport de forme de morphologies variées. Leur diamètre est typiquement de 800 nm pour des hauteurs allant jusqu'à 15 µm.

De façon intéressante, pour le premier régime au moins, les structures sont cristallines. Ces nano-piliers pourront trouver des applications dans le domaine des métamatériaux, ou de la mécanique dans les secteurs de la santé, des capteurs, en photonique ou phononique. D'un point de vue fondamental, ces résultats démontrent également à quel point l'interaction laser-matière peut être confinée à des échelles d'une cinquantaine de nanomètres, même dans des régimes thermodynamiques extrêmes. ●

RÉFÉRENCE

V. V. Belloni, M. Hassan, L. Furfaro, R. Giust, A.-M. Seydoux-Guillaume, S. Sao-Joao, F. Courvoisier, "Single Shot Generation of High-Aspect-Ratio Nano-Rods from Sapphire by Ultrafast First Order Bessel Beam" *Laser & Photonics Reviews* 2300687 (2023). <https://doi.org/10.1002/lpor.202300687>



Entretien avec François Salin

Multi-entrepreneur, président fondateur d'Illasis et président entrant de la SFO.

COMMENT AVEZ-VOUS DÉCOUVERT L'OPTIQUE ET LA PHOTONIQUE ?

J'ai suivi un parcours scolaire classique, avec des classes préparatoire à Bordeaux qui m'ont permis de réussir le concours dans 3 écoles d'ingénieurs. Parmi ces 3 écoles, j'ai choisi l'IOGS, essentiellement pour des raisons géographiques et sentimentales à l'époque. Et ce fut à l'IOGS que je découvris le monde merveilleux de l'optique-photonique. A la sortie de Sup' Op', j'ai fait une thèse au laboratoire Charles Fabry sous la direction d'Alain Brun sur un sujet qui émergeait tout juste mais qui allait guider la suite ma carrière et profondément modifier le paysage de l'optique photonique, celui des lasers femtosecondes. Alain Brun était un électronicien mais il avait senti le potentiel de ces nouvelles impulsions lasers ultracourtes. Le groupe était petit puisque nous étions 2 thésards, le chef de groupe et un technicien, mais nous étions très bien soutenus par la DGA. Ma thèse portait plus précisément sur l'étude des solitons dans les cavités lasers. Mon voisin de bureau était Philippe Grangier qui réalisait sa thèse d'Etat sous la direction d'Alain Aspect. Pour l'anecdote, nous menions nos expériences respectives le soir car les vibrations engendrées par monte-charge du bâtiment du laboratoire Charles Fabry nous empêchaient de les mener en journée. Patrick Georges a également réalisé sa thèse dans ce groupe, il travaillait sur la conception de lasers femtosecondes à partir de sources picosecondes dans le cadre d'une thèse CIFRE avec Photonetics. Hervé Ardit, alors PDG de Photonetics, eut l'idée de nous demander de modifier un laser commercial pour en faire un laser femtoseconde que le fournisseur pourrait vendre. L'entreprise n'a pas cru en ce projet et c'est finalement Photonetics qui l'a mis sur le marché. C'est

Hervé qui m'a montré que, tout en faisant de la science de bon niveau, il était possible d'aller jusqu'à la commercialisation de ces produits de haute technologie.

VOUS ÊTES ENSUITE PARTI AUX ÉTATS-UNIS

Oui, 3 ans après être entré au CNRS, j'ai été contacté par Gérard Mourou qui avait monté son groupe de recherche à l'université du Michigan. Je l'ai rejoint en 1990 en détachement du CNRS. Cette époque correspond à l'émergence de la technologie Titane : Sapphire et les débuts de la technique CPA qui apportera le prix Nobel à Gérard. Je découvre alors dans ce groupe un monde différent et très stimulant, avec une grande mixité entre les académiques et les industriels tout à fait inconnue en France à l'époque.

ET À VOTRE RETOUR EN FRANCE, VOUS DÉCIDEZ RAPIDEMENT DE REJOINDRE BM INDUSTRIE

Je suis revenu à l'IOGS pour travailler en tant de chargé de recherche mais au bout d'un an, j'ai demandé à être, à nouveau, détaché du CNRS pour rejoindre BM Industrie à Evry. BM Industrie était une entreprise créée par Brassard et Michelet, avec une équipe transfuge de Quantel. Ce fut une époque très stimulante car nous avons alors créé les premiers lasers femtosecondes commerciaux. Et grâce au dynamisme de Gilles Riboulet qui a cru à cette technologie, le succès commercial a été au rendez-vous. Mais BMI a alors été revendue à Thales pour devenir Thales Laser. L'intégration a été compliquée pour l'équipe dirigeante de BMI et elle a décidé de quitter Thales pour créer Amplitude. Après 2 ans chez BMI et au moment de la cession à Thales, j'ai mis à profit mon statut de chargé de recherche

et je suis retourné travailler pour le CNRS au LOA. J'ai notamment beaucoup travaillé avec Jean-Paul Chambaret sur la réalisation de sources femtosecondes Sapphire :titane de forte énergie ou de haute cadence (1 kHz à l'époque).

L'IMPLANTATION DU LASER MEGAJOULE EN AQUITAINE MARQUERA UN TOURNANT DANS VOTRE PARCOURS

En effet, en 1996, André Ducasse, alors directeur du CPMOH, me contacte pour me présenter un vaste programme laser sur Bordeaux et ses environs. La décision venait d'être prise dans le cadre du programme de dissuasion nucléaire français, de créer le Laser MégaJoule au CESTA, centre CEA de la région Bordelaise. Un programme civil est lancé en parallèle par la Région et l'Université avec un budget conséquent. La région souhaite alors créer un écosystème régional axé sur les technologies lasers. Après avoir travaillé durant deux ans sur ce projet en étant hébergé par le LOA, j'ai demandé en 1998 au CNRS de me muter à Bordeaux pour y créer le laboratoire CELIA (Centre Lasers Intenses et Applications). Grâce au soutien très fort de la région et de l'université, nous avons pu développer le premier laser Térawatt kilohertz, construire un bâtiment et j'ai créé la PALA, la plate-forme d'applications laser en Aquitaine. Cette plateforme prendra plus tard le statut d'association loi 1901 sous le nom d'ALPHANOV avec le succès qu'on lui connaît aujourd'hui. L'objectif de cette plateforme était de réunir académiques et industriels autour d'une plateforme dédiée aux technologies et procédés lasers. Nous étions installés au démarrage dans la cave de la présidence de l'université. Les entreprises sont venues, les académiques moins. Sur une quinzaine de ●●●

personnes investies à la PALA, nous étions 2 de l'université, Laurent Sarger et moi même. Plusieurs entreprises ont été créées comme Novalase, etc.

C'EST À CETTE ÉPOQUE QUE VOUS CRÉEZ EOLITE

Avec Jens Limpert, alors post-doc avec moi, nous avons breveté une fibre optique rigide qui permet de concevoir des lasers à fibre notablement plus puissants que les lasers de l'époque. Avec Philippe Métivier, nous avons pris une licence de ce brevet et avons créé EOLITE Systems en 2005. Philippe était Président et moi Directeur Général. Nous nous sommes toujours concertés pour prendre en commun les décisions qui s'imposaient pour l'entreprise et je ne peux que conseiller à tous ceux qui veulent entreprendre de ne pas partir seul. La solitude du dirigeant est une réalité qui conduit trop souvent à la catastrophe. 9 ans après la création de notre entreprise et une belle aventure qui nous a permis de développer et commercialiser toute une gamme de lasers à fibre nanosecondes de très forte puissance pour des applications comme la micro-électronique ou les cellules solaires, un client, ESI Inc., nous a proposé de racheter EOLITE. Après le rachat, mon intégration dans le groupe ESI ne s'est pas très bien passée. Je ne me sentais pas à ma place au sein de cette entreprise et au bout de 18 mois, j'ai pu négocier mon licenciement. Nous sommes alors en 2015 et cette année correspond aussi à la fin de mes 10 ans de détachement au CNRS qui, sans réponse de ma part, me révoque de la fonction publique.

VOUS ALLEZ ALORS REBONDIR EN DÉCOUVRANT LES BESOINS FORTS EN LASERS POUR LA CATARACTE

Oui, tout a débuté lors d'une discussion avec le Pr. David Touboul, un ami de longue date et un de mes anciens étudiants, qui était devenu chirurgien en ophtalmologie et travaillait sur l'opération de la cataracte. Il m'expose les besoins des chirurgiens et en particulier le besoin en lasers simples d'utilisation. J'ai rejoint David et Florent Deloison qui travaillaient alors à Alphanov et nous avons commencé à réfléchir à l'innovation frugale. J'avais rencontré Navi Radjou qui avait écrit le livre remarquable "L'innovation Jugaad : redevenons

ingénieux". En partant de ce concept de frugalité et avec le renfort de Pierre Deslandes, nous avons cherché à concevoir un laser femtoseconde ultra-simple dédié à l'opération de la cataracte. Mais ayant peu d'expérience dans le marché médical, je me suis rapproché d'une vieille connaissance qui était patron de Moria, une entreprise qui développe depuis 1821 des instruments médicaux. Nous avons lancé une boîte qui s'appelle Moria Lase avec le soutien d'un fonds détenu par Edmond de Rothschild. Tout s'est bien passé jusqu'à ce que le fonds qui finançait le projet soit revendu à Bridgepoint, un fonds anglais. Dès son arrivée en 2017, ce fonds Anglo-saxon a modifié toute l'organisation de l'entreprise, renouvelé le management (c'est à dire mis à pieds brutalement le comité de direction dont je faisais partie), coupé les budgets et finalement mis à pieds ou licencié toute l'équipe Moria Lase.

C'EST LE DÉBUT DE L'AVENTURE ILASIS

Avec l'équipe mise à pieds, nous nous sommes retrouvés à Pôle Emploi et aux Prud'hommes, et avons décidé de reprendre en mains ce projet de laser pour la cataracte. Nous avons attendu que la clause de non-concurrence avec Moria expire pour créer en février 2019 l'entreprise Ilasis Laser. Après l'aventure Moria Lase, nous ne souhaitions plus faire affaire avec des fonds anglo-saxons et j'ai approché des business angels – des personnes physiques- qui ont cru dans notre projet et investi dans notre entreprise. Le premier fut l'ancien patron de l'entreprise Ceva Santé Animale qui a investi en plusieurs étapes 2.1 M€ dans Ilasis, suivi par 2 sup'opticiens, Yan Cornil (ami de promo)-LightTec et Gilles Riboulet (ami ex BMI)-Amplitude- et récemment Patrice Houmault –Fizeau. D'autres Business Angels qui nous apportent leur connaissance du monde des affaires même s'ils ne sont pas du domaine du laser ou des dispositifs médicaux, nous accompagnent depuis le début. Ils ont été rejoints par des fonds d'investissement régionaux pour environ 10% du capital. La difficulté du marché médical est qu'il faut obtenir une autorisation de mise sur le marché, ce qui prend plusieurs années et nous vivons donc depuis 2019 grâce aux sommes apportées par nos investisseurs

(et aussi grâce à des aides de la région et des prêts de BPI). Ilasis compte aujourd'hui 20 collaborateurs. Si tout se passe comme prévu, nous devrions doubler ce nombre dans les 24 prochains mois.

QUELLE EST LA TECHNOLOGIE DÉVELOPPÉE POUR CES LASERS ?

Nous avons créé Ilasis sur le concept de l'innovation frugale. Le challenge est le suivant : peut-on développer un laser capable d'effectuer des découpes de l'œil humain avec le minimum de composants et d'énergie ? Rappelons que la cataracte est l'opération la plus répandue dans le monde avec 30 millions d'opérations par an. Le geste chirurgical reste compliqué et les lasers sont d'une grande aide pour cette opération. Nous souhaitons partir du besoin pour développer un laser dédié. Il faut réaliser qu'une opération dure en tout 30 minutes, et que sur ces 30 minutes, le laser ne fonctionne que quelques secondes. L'utilisation de lasers industriels fonctionnant 24H/24H n'est pas adéquate car ces lasers chauffent et nécessitent un refroidissement et doivent être stabilisés. De même, toutes les opérations sont identiques et permettre des réglages d'une opération à l'autre est inutile. Notre objectif a donc été de développer un laser frugal dédié à l'opération de la cataracte. Ce dernier doit délivrer des impulsions courtes de 1 ps et ce, pendant 4 secondes, pour tirer dans un œil avec une liaison souple pour que le médecin puisse le manipuler facilement. Il nous fallait donc un laser à fibre picoseconde suffisamment performant pour réaliser la découpe du cristallin et aussi facile à utiliser qu'un bistouri. Nous sommes revenus à la génération de lasers précédant le CPA (1984) qui s'appelait le TCube, et où l'impulsion picoseconde est injectée dans une fibre pour être élargie spectralement et étirée. Notre laser est un laser picoseconde que l'on comprime et notre savoir-faire consiste à comprendre et à maîtriser les effets non-linéaires dans les fibres. C'est un laser qui ne fonctionne donc que 4 secondes. Après les 4 secondes, il s'arrête. Par contre il ne demande aucun délai de chauffe et il est opérationnel dès la première seconde. C'est la philosophie de l'innovation frugale : faire tout ce qui est nécessaire à l'application mais ne faire que cela. Les fibres sont des fibres monomodes

dopées Ytterbium et nous développons de nouvelles versions de fibres monomodes flexibles à grand mode en collaboration avec Philippe Roy de l'XLIM.

COMMENT S'ORGANISE L'ENTREPRISE ?

Nous sommes 4 cofondateurs. Je suis le plus ancien et avons des expertises variées. Nous avons recruté un expert en business, développement et commercialisation. Il ne faut jamais sous-estimer l'importance du commerce quand on monte des entreprises, c'est un défaut classique en France et il est en général mortel. Des plus jeunes ont depuis rejoint l'entreprise. 5 personnes font de la R&D pour concevoir nos lasers et nos dispositifs optiques, tester et prouver la fiabilité de chacun des composants. Nous accordons une grande importance à la fiabilité de chacun des composants. Nous testons nos produits sur des yeux de cochon qui sont le modèle le plus proche de l'œil humain. Comme nous sommes au début de l'activité commerciale, 5 personnes travaillent actuellement sur la production et nous embauchons des techniciens de production. La vie de l'entreprise est rythmée par les audits pour mettre ces produits sur le marché.

QUELLE EST LA STRATÉGIE DE CROISSANCE D'ILASIS ?

On s'attend à obtenir d'ici la fin de l'année 2023 l'autorisation de mise sur le marché du produit. Nos distributeurs seront nos premiers clients afin de montrer l'intérêt du produit aux médecins. Notre première vente devrait se dérouler en décembre. Nous avons fait des investigations cliniques à la clinique Sourdille-Atlantique de Nantes. Un de nos dispositifs a ainsi été utilisé avec succès par le Dr. Lignereux sur 78 patients. Nous espérons devenir rentables en 2025. Nous avons levé presque 7 M€ de capital en 3 levées successives y compris le financement des fondateurs. Nous sommes soutenus par la BPI (1 M€), la Région (500k€). Nous consommons entre 150k€ et 200k€ par mois pour financer les achats de production et tous les salaires. Comme il y a toujours un décalage entre les achats des composants pour construire nos systèmes et les premiers revenus provenant des ventes, nous programmons une 4^e levée de fond

en 2024 d'un montant compris entre 15 et 20M€. Ceci nous permettra d'amener notre premier produit, Rx, sur le marché américain et une partie de l'Asie. La difficulté est d'obtenir les autorisations zone par zone. Nous souhaitons aussi commercialiser nos lasers dans les pays en voie de développement car la cataracte est la première source de cécité (50% des cas) dans le monde avec près de 20 millions d'aveugles qui seraient immédiatement guéris s'ils pouvaient être opérés de la cataracte. C'est très motivant pour nous ; Nous ne le dirons jamais assez mais si le capital est fondamental pour une entreprise, la motivation des entrepreneurs et des investisseurs n'est pas uniquement financière. Nous avons un 2^e produit en cours de développement sur la myopie. On s'appuie sur un board d'experts scientifiques, dont le prix Nobel Gérard Mourou et 4 médecins, KOL, influenceurs dans le monde médical. Ils nous aident à identifier les besoins. Un exemple de besoin exprimé par nos KOL est d'installer nos lasers sur des roulettes et de les faire fonctionner sur batteries bien plus que d'augmenter leurs performances. Cela peut paraître peu ambitieux et pas très scientifique mais faire tourner un laser femtoseconde de puissance sur batterie demande beaucoup plus de réflexion qu'on ne pourrait croire.

UN MOT POUR LES PLUS JEUNES ?

Il ne faut pas hésiter à tenter des choses. Il n'y a qu'une seule décision que l'on regrette, c'est celle que l'on n'a pas prise. Je suis passé 2 fois par la case chômage. On ne le dit pas assez, mais on a la chance d'avoir en France Pôle Emploi qui nous rémunère pendant 2 ans, ce qui permet de développer des projets. Il faut accepter de sortir du cadre et de sa zone de confort, changer de labos, de domaines... J'aimerais également insister sur l'importance de la frugalité. La nouveauté ne vient pas toujours de ce que l'on rajoute "La perfection est atteinte, non pas lorsqu'il n'y a plus rien à ajouter, mais lorsqu'il n'y a plus rien à retirer. (Antoine de Saint Exupéry)" Intellectuellement, c'est très stimulant et pas forcément évident de retirer le maximum d'éléments tout en conservant les performances indispensables. Cette remarque s'applique dans tous les domaines ! Administratifs, techniques, scientifiques. ●



COATING OPTIQUE LASER

COATINGS LASER pour MIROIR

avec LIDT jusqu'à **50 J/cm²** pour pulse de 10 ns @1µm.

COATINGS ANTI-REFLETS

avec LIDT au delà de **100 J/cm²** & absorption inférieur à **1ppm**.

COATINGS ANTI-REFLETS ULTRA-BAS

Avec une réflectivité inférieur **0.01%** @ 1530-1570 nm ou 1 µm.

Vainqueur du
HiLASE LIDT
Challenge 2023



LIDT **0.6 J/cm²**, AR @ 343 nm
Conditions: 1 ps, 1 kHz, p-pol.

Contactez nous pour discuter de vos futurs projets.

Représentée en France par

ARDOP

INDUSTRIE

05.40.25.05.36

sales@ardop.com

www.ardop.com



Entretien avec Riad Haidar

Directeur scientifique de l'ONERA

COMMENT AVEZ-VOUS DÉCOUVERT L'OPTIQUE ?

C'est une histoire de rencontres, comme pour beaucoup de nos collègues. Au lycée français de Dakar au Sénégal, mon professeur de physique en 1^{ère}, Gabriel Lambert, était un passionné de micro-électronique, et il m'a fait découvrir les triodes, les diodes, les transistors etc., tout ceci par l'expérience. Nous avons même co-écrit un livre sur ce sujet. En classe de terminale, il m'a encouragé à m'inscrire au concours général en physique : cela a été ma première rencontre avec l'optique, puisque le sujet portait sur la notion d'indice de réfraction et l'effet mirage... un sujet inspirant, mais il faut dire que mon prof était fâché avec l'optique et que nous avons fait l'impasse en cours. On peut rêver meilleur contexte pour une rencontre, pourtant j'ai été frappé par la beauté des notions que je découvrais : moi qui m'étais déjà passionné pour l'électronique, j'ai voulu en découvrir plus sur l'optique. Toujours sous la férule de mon professeur, j'ai eu la chance de lire des articles à la frontière entre ces deux sciences, dans un domaine que l'on appelle aujourd'hui l'opto-électronique. J'ai poursuivi mon parcours en classes préparatoires à Paris où un autre professeur, Jean Cox, un féru d'optique m'encourage à intégrer SupOptique, et je découvre alors tout un univers dédié aux sciences de la lumière, avec un niveau scientifique impressionnant, une compétence expérimentale comme on en voit rarement, et des gens passionnés et passionnants.

VOUS DÉCIDEZ ALORS DE POURSUIVRE EN THÈSE DANS LE DOMAINE DE L'OPTIQUE

J'ai tout d'abord eu l'occasion de réaliser un long stage de 9 mois dans le groupe de

Jean-François Roch à l'ENS Cachan sur un sujet à l'interface entre optique et chimie. Et lors d'un séminaire hebdomadaire d'équipe, j'assiste à une présentation invitée d'Emmanuel Rosencher de l'ONERA ; je ne le réalisais pas encore à ce moment-là, mais j'avais en face de moi l'un des auteurs des articles que je lisais à Dakar sur l'opto-électronique... J'ai ensuite effectué mon stage de scientifique du contingent au CEA Saclay dans l'équipe atomes et molécules de Stanislas Pommeret. C'est à ce moment que je vois l'annonce d'une offre de thèse dans le groupe d'Emmanuel Rosencher, sur le développement de sources OPO pour des applications en énergétique et en combustion, et je me suis lancé pour 3 années que j'ai trouvées exceptionnelles...

Par ailleurs, l'enseignement m'intéressait beaucoup et je m'étais d'abord mis en relation avec l'institut d'Optique pour un poste d'ATER après ma thèse. Mais j'ai été contacté par Jérôme Primot pour un poste d'ingénieur-chercheur dans son équipe au département d'optique de l'ONERA : il m'a expliqué que je pourrai aussi assumer une charge d'enseignement, en parallèle d'une activité de recherche ; c'était inespéré !

COMMENT AVEZ-VOUS IDENTIFIÉ LA NANOPHOTONIQUE COMME UNE TECHNOLOGIE CLÉ POUR LES BESOINS DE L'ONERA ?

L'ONERA est un organisme public, en charge des activités de recherches en aérospatial civil et de défense. Pour les finalités du secteur, il était apparu un besoin fort pour des capteurs et des instruments optiques compacts, qui puissent intégrer et combiner plusieurs fonctionnalités, comme par exemple l'imagerie et la spectrométrie. La compacité permettait, outre de garantir l'embarquabilité sur porteur, de réduire le

coût et la consommation. Pour répondre à ce cahier des charges, nous avons identifié la nanophotonique comme une thématique et une technologie à fort potentiel. Bien qu'encore peu répandue au début des années 2000, cette science était en plein essor dans un certain nombre de laboratoires académiques en France.

Sous l'impulsion d'Emmanuel Rosencher (alors directeur scientifique de l'ONERA) et de Jean-Yves Marzin (directeur du laboratoire de photonique et des nanostructures, le LPN), je noue une collaboration avec l'équipe de Jean-Luc Pelouard, qui se cristallise au bout de quelques années en un laboratoire commun, MINAO. Dans la décennie qui a suivi, les projets se sont enchaînés, dans un contexte de rare effervescence scientifique : ils ont mené à de nombreuses réalisations de tout premier plan, attiré plusieurs jeunes collègues et étudiants brillants, et permis de former de nombreux docteurs... À tout point de vue, cela a été une aventure formidable, aussi bien humaine que scientifique et j'éprouve beaucoup de gratitude pour mes collègues du LPN et de l'ONERA qui l'ont rendue possible, et pour les étudiants qui nous ont fait confiance et qui nous ont rejoints.

QUELS SONT LES SUJETS QUE VOUS AVEZ EXPLORÉS ENSEMBLE ?

Dans le contexte d'une recherche fondamentale à finalités, nous avons identifié un certain nombre de dispositifs à développer, et donc de concepts : sources thermiques de lumière, ainsi que des capteurs et composants optiques, exploitant le rayonnement thermique, les effets d'optique non linéaire, ou encore les métasurfaces pour coder la polarisation, la phase et le spectre d'un front d'onde... Nous avons conçu, fabriqué

et caractérisé plusieurs familles de filtres spectraux, avec des assemblages métal-diélectrique-métal nanostructurés, verticaux et horizontaux, dont les fameux résonateurs de Helmholtz. En exploitant l'équivalence entre émission et absorption, nous avons développé des détecteurs et des sources de lumière. L'équipe a exploré les limites du spectre infra-rouge, notamment dans le THz où nous avons utilisé les concepts d'antennes optiques pour transformer des imageurs thermiques infrarouges en imageurs THz. Au final, je me suis pleinement investi sur ces domaines de recherche entre 2003 et 2016. Ces années furent très riches, et nous avons monté 2 laboratoires à l'ONERA sur ces sujets.

J'ai ensuite pris la responsabilité du domaine scientifique de la physique à l'ONERA, un poste que j'ai occupé pendant 5 années, avant d'être nommé en 2021 à la

direction scientifique générale de l'ONERA, dont les activités de recherche sont réparties sur tout le territoire, en PACA, Occitanie, Hauts de France et Ile de France.

EN PARALLÈLE À CES ACTIVITÉS DE RECHERCHE, VOUS VOUS ÊTES TOUJOURS BEAUCOUP INVESTI DANS L'ENSEIGNEMENT.

Un de mes moteurs personnels est d'être un passeur de savoir. Ceci d'abord pour la raison (évidente) que l'on participe ainsi à une sorte de relais planétaire et à travers le temps, un relais dont l'objectif est la transmission des connaissances – et qui sait les merveilles qu'inventeront demain ceux et celles que l'on forme aujourd'hui ? Et aussi parce qu'endosser ce rôle de « passeur » oblige à aller aux fondamentaux et à acquérir une compréhension profonde des concepts que l'on transmet. J'ai donc

toujours cherché à enseigner, déjà depuis l'école, puis durant ma thèse : j'ai effectué des vacances en DESS à l'université d'Evry. Puis, comme ingénieur-chercheur à l'ONERA, j'ai enseigné à l'IOGS et à l'Ecole Polytechnique. J'ai eu l'honneur d'être recruté en 2010 sur un poste de Professeur chargé de cours à l'École polytechnique, et j'y enseigne, toujours avec un grand plaisir, les beautés et la puissance de l'opto-électronique.

VOUS VOUS ÊTES ÉGALEMENT BEAUCOUP IMPLIQUÉ DANS LA SFO ET SA REVUE PHOTONIQUES.

Encore une fois, c'est une histoire de rencontres. La première est avec la revue : étudiant en thèse, j'ai été parrainé pour rejoindre la SFO, et j'ai commencé à recevoir (et à dévorer) Photoniques. Je me souviens en particulier du choc lorsque,

COMSOL

Améliorez la conception de vos optiques

avec COMSOL Multiphysics®

La simulation multiphysique est un vecteur d'innovation pour les technologies et produits en optique. La possibilité de construire des modèles complets et réalistes permet de simuler précisément les systèmes optiques et aide les ingénieurs à comprendre, prévoir et optimiser les performances des systèmes.



» comsol.fr/feature/optics-innovation

pour la première fois, j'ai reçu un exemplaire d'une autre revue, Photonik, la jumelle allemande de notre revue française, dont un numéro avait une ambition (j'allais dire une vocation) européenne : traduit en anglais, ce numéro était envoyé à tous les membres de l'EOS. C'était une initiative géniale... mais elle n'a duré que quelques années.

La seconde rencontre est avec Joël Deschamps, un collègue de l'ONERA, qui était membre du comité de rédaction de la revue, qui souhaitait passer le relais et qui cherchait un successeur. Il me parraine auprès de la rédactrice en chef, Françoise Métivier, qui accepte. Je suis passionné d'écriture depuis l'enfance, et je lui suggère presque immédiatement d'écrire une biographie sur Augustin Fresnel pour la revue. L'article est publié et les retours sont bons. Je suggère alors une seconde biographie et ainsi naquit la rubrique 'Les opticiens célèbres'. Après le départ de Françoise Métivier quelques années plus tard, qui a été remplacée un temps par Véronique Parasote, le comité de rédaction se cherche un nouveau rédacteur en chef. Costel Subran, membre historique du comité de rédaction, me propose le poste. C'était pour moi une occasion inespérée d'associer science et écriture ; et puis j'avais également l'envie de poursuivre l'aventure qu'avait entreprise Photonik : donner à la revue une dimension européenne, et offrir à l'Europe une revue comme Photoniques. La fabrication du premier numéro européen a été épique, à de nombreux égards, bien sûr... Mais je suis tellement fier des deux éditions que Photoniques diffuse au sein de l'EOS chaque année. Bravo à toute l'équipe !

EN 2019, VOUS ÊTES NOMMÉ DIRECTEUR GÉNÉRAL ADJOINT À L'ENSEIGNEMENT DE L'IOGS

Je l'ai dit, l'enseignement a toujours été une composante importante de mon activité et de mes motivations. Avoir la possibilité de m'investir pour l'Ecole qui m'avait formé, et de structurer la formation d'une institution comme l'IOGS était une opportunité enthousiasmante, et que je ne pouvais pas ne pas saisir. Après en avoir discuté avec Jean-Louis Martin, son Directeur Général, je n'ai pas hésité, en tout cas pas longtemps.

J'ai, là aussi, entre autres actions, voulu renforcer la dimension européenne de l'École par des partenariats avec des grands établissements européens, des doubles diplômes, des enseignements en anglais, une meilleure visibilité de l'offre de formation, la création d'une collection de monographies IOGS etc.

Je me suis investi dans cette mission pendant 3 années, avant de passer la main en 2022 à Raphaël Clerc : je venais en effet d'être nommé au poste de Directeur scientifique général de l'ONERA, avec une charge associée incompatible avec celle de Directeur d'Ecole. À l'ONERA, nos activités de recherche impliquent près de 1500 chercheuses et chercheurs sur tout le territoire, et recouvrent 5 domaines scientifiques : la physique, les matériaux et les structures, la mécanique des fluides et l'énergétique, le traitement de l'information et les systèmes, et la simulation numérique avancée. C'est très varié et très vaste, et j'aime à penser que, d'une certaine manière, ma culture, ma formation et mon parcours en optique à la frontière de la chimie, de l'électronique et des matériaux, m'avaient, au moins un peu, préparé à la transversalité de cette mission. Une chose est sûre : les interactions avec les collègues sont inspirantes, les travaux et les ambitions sont du meilleur niveau, et les défis ne manquent pas car on compte sur nous pour construire l'avenir de l'aérospatial : quel challenge et quelle motivation !

QUELS RÔLES JOUENT L'OPTIQUE ET LA PHOTONIQUE DANS LES ACTIVITÉS DE RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT DE L'ONERA ?

Les challenges et les enjeux de l'aéronautique et de l'aérospatial soulèvent un certain nombre de questions fondamentales ; pour plusieurs d'entre elles, les sciences de la lumière peuvent apporter des solutions concrètes ou conceptuelles, et proposer des pistes pour avancer. Il est remarquable, et je peux en témoigner, que dans chacun des domaines scientifiques de l'ONERA la lumière joue un rôle important, que ce soit comme objet d'étude en soi dans nos travaux en optique quantique, en optique adaptative ou en nanophotonique ; comme outil pour d'autres sciences, pour la métrologie

des écoulements, pour l'analyse d'une chambre de combustion, pour l'aide au pilotage, ou pour la connaissance de l'environnement ; comme vecteur de technologie, pour la fabrication additive, pour les télécommunications, pour le contrôle non destructif des matériaux et structures, ou demain pour le calcul hautes performances... Pour concevoir des avions plus « verts », plus communicants ou plus sûrs, la photonique a un rôle à jouer.

QUELLES SONT LES ACTIVITÉS À VENIR DANS LESQUELLES VOUS SOUHAITEZ VOUS IMPLIQUER ?

Sur un plan personnel, mes envies n'ont pas changé : enseigner, écrire et participer à l'effort scientifique ; même si, sur ce dernier point, mon activité propre de recherche s'est considérablement réduite, et que j'ai irrémédiablement basculé dans le management au service de la recherche, que ce soit des collègues qui me sont directement rattachés ou des scientifiques dont j'oriente les travaux. Je continue naturellement de suivre de près les activités de la SFO et de nos grandes institutions de l'optique (en particulier, l'IOGS, Photonics France ou l'EOS), en France et avec l'Europe, et je suis ravi d'apporter mon aide en tant que de besoin. Ce serait formidable que l'exemple de la revue Photoniques inspire d'autres revues nationales, et que chacune prenne à tour de rôle l'initiative d'un exemplaire « européen ». J'ai aussi un attachement et un intérêt particuliers pour les actions du club Optique sans frontières, qui cherche à élargir les horizons et à s'associer aux pays africains et d'Amérique du Sud : il me semble que nous pourrions en faire davantage, et qu'il y a encore une marge de progrès dans nos organisations collectives.

Enfin, si vous me permettez de sortir du cercle strict de l'optique et des sciences de la lumière, j'aimerais dire un mot sur l'intérêt du doctorat pour nos entreprises : le potentiel de cette formation reste largement sous-estimé en France, contrairement à plusieurs pays européens. Il y a sans doute matière à fédérer les énergies et les bonnes volontés pour faire progresser cette perception, et à l'ONERA nous sommes volontaires pour prendre notre part de l'effort collégial. ●