

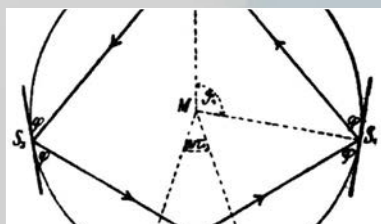
Photoniques

LA LUMIÈRE ET SES APPLICATIONS

N° 84 · Novembre - Décembre 2016

■ COMPRENDRE

Le gyrofibre



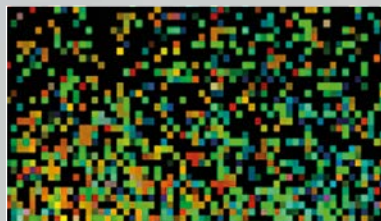
■ FOCUS

La photonique
en région Bordelaise



■ ACHETER

Un logiciel
de conception optique



■ STRATÉGIE

Le marketing photonique



LA LUMIÈRE

dans l'industrie aéronautique



Détection synchrone

À partir de
EUR 5.400,-

... et bien plus, de DC à 600MHz

Quelques exemples d'applications

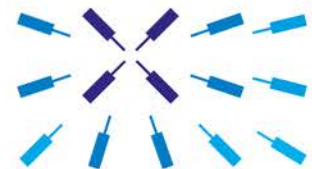
- Spectroscopie: laser pulsé, THz, détection optique asynchrone, choppers, laser à verrouillage de phase (PLL)
- Imagerie: AFM, Kelvin-probe, CARS, SRS, SNOM
- Phénomène Quantique: piège à ions, cQED, boîtes quantiques
- Capteurs: MEMS, NEMS, gyros, capteur photo-acoustique

Chaque instrument inclus
les outils d'analyse de LabOne®

-  Analyseur de spectre
-  Balayage paramétrique
-  Oscilloscope avec FFT
-  Acquisition en mode Image
-  Interface MATLAB®, LabVIEW®, C, et Python

Extensions possibles

-  AWG (Fonction Arbitraire)
-  Analyseur d'Impédance
-  Boxcar PWA
-  Numériseur
-  PID, PLL, Asservissements



Parlons de vos applications
www.zhinst.com
info@zhinst.com
+41 44 515 0410

Zurich
Instruments

Your Application. Measured.

Trois milliards d'Icare ! ...

... dans 80 000 vols opérés par 1 600 compagnies partout dans le monde, transportés dans 24 000 avions desservant 4 000 aéroports – et ceci chaque année. Ces chiffres donnent le vertige. Mais malgré des efforts importants, le transport aéronautique, qui utilise toujours des combustibles fossiles, représente 2 % des émissions totales de CO₂. En effet, la consommation des magnifiques turboréacteurs ne descend pas en-dessous des 30 litres de kérosène par passager, pour chaque millier de kilomètres. C'est encore trop. Et c'est, outre ceux de la sécurité et du confort, l'un des principaux chantiers de la filière.



Riad HAIDAR
Rédacteur en chef

Dans ce numéro, nous vous proposons d'explorer cette industrie aéronautique, innovante par essence, qui fait appel au meilleur de ce qu'offrent aujourd'hui les différents domaines de l'ingénierie, en science des matériaux, en fluide, en énergétique et, bien sûr, en outils photoniques.

Il me reste à vous souhaiter un excellent vol en notre compagnie. Alors : PNC à vos postes, attachez vos ceintures, préparez-vous pour le décollage, et...

Bonne lecture !

SOMMAIRE 84 Novembre - Décembre 2016

■ ÉDITORIAL ET ACTUALITÉS DE LA SFO	2
■ ACTUALITÉS DES PÔLES ET ASSOCIATIONS	4
■ ACTUALITÉS DE LA PROFESSION	9
■ FOCUS La Nouvelle Aquitaine	18
■ PORTRAIT Opticien Célèbre. Hans Lippershey	22
■ R&D Le marketing au service de la photonique	24
■ OPTIQUE ET AERONAUTIQUE	
Détection et caractérisation des tourbillons de sillage des avions par Lidar Doppler	28
Nouveaux procédés de préparation de surface par laser	31
Métrologie optique pour l'optimisation de la combustion aéronautique... Quel avenir ? ...	33
■ CAHIER TECHNIQUE	
Le développement de la cristallographie en Afrique : l'initiative de l'IUCr	37
Comprendre. Le gyrofibre : le gyro aux performances ultimes ?	40
■ PRODUITS	
Acheter. Un logiciel de conception optique	44
Nouveautés	3^e de couverture



Crédit photo (couverture) : © iStockPhoto / Reimphoto

ANNONCEURS

Acal Bfi	13	IDS Imaging	5, 23	Photonics Bretagne	IV ^e de couverture	Trioptics	11
Alphanov	20	Imagine Optic	17	Pro-Lite Technology	21	Wavetel	9
CEA Cesta	20	Laser Components	37	ScienTec	41	Yenista Optics	47
i2S	21	New Imaging Technologies	45	Spectrogon	19	Zurich Instruments	II ^e de couverture
Idil Fibres Optiques / Ocean Optics	15, 31	Optifair	39	Spectros Optical Systems	43		

Photoniques est éditée par EDP Sciences,
17 avenue du Hoggar,
P.A. de Courtabœuf,
91944 Les Ulis Cedex A, France
Tél.: +33 (0)1 69 18 75 75
Fax: +33 (0)1 69 07 45 17
RCS: 308 392 687 – ISSN: 1629-4475
www.photoniques.com
www.edpsciences.org

 Photoniques est la revue de
la Société française d'optique
2 avenue Augustin Fresnel
91127 Palaiseau Cedex, France
mariam.mello@institutoptique.fr
Tél.: +33 (0)1 64 53 31 82
Fax: +33 (0)1 64 53 31 84

Directeur de publication Jean-Marc Quilbé
Tél.: +33 (0)1 69 18 75 75

Rédaction

Rédacteur en chef Riad Haidar,
Mobile: +33 (0)6 85 04 78 52,
riad.haidar@edpsciences.org

Journaliste et secrétaire de rédaction Vincent Colpin
vincent.colpin@edpsciences.org

Mise en page Studio wake up!
www.studiowakeup.com

Comité de rédaction

Pierre Baudoz (Observatoire de Paris),
Nicolas Bonod (Institut Fresnel, Marseille),
Azzedine Boudrioua (Institut Galilée, Paris 13),
Didier-Luc Brunet (Horiba Jobin-Yvon),
Émilie Colin (Quantel),
Céline Fiorini-Debuisschert (CEA),
Wolfgang Knapp (Club laser et procédés),
Patrice Le Boudec (IDIL Fibres Optiques),
François Piuze (CEA),
Marie-Claire Schanne-Klein (École polytechnique),
Christophe Simon-Boisson (Thales Optronique),
Costel Subran (Opton Laser International),
Ivan Testart (AFOP).

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

Gestion des abonnements

Photoniques
EDP Sciences
17 avenue du Hoggar
PA de Courtabœuf
BP 112 – 91944 Les Ulis cedex A

Impression Fabrègue imprimeur
B.P. 10
87500 Saint-Yrieix la Perche

Dépôt légal Décembre 2016

Routage Routage 93 (93)



LE MOT DU PRÉSIDENT



Benoît BOULANGER
Président de la SFO

Chers adhérentes et adhérents à la Société Française d'Optique,
J'ai plusieurs fois mentionné à cette même tribune nos liens privilégiés avec la Société Française de Physique (SFP). Après la signature en 2015 d'un accord-cadre de partenariat SFP-SFO, la participation du club PAMO et des JSM à OPTIQUE Bordeaux 2016, nous avons décidé avec Michel Spiro, Président de la SFP, de mettre en place rapidement un certain nombre d'actions communes très concrètes mettant à profit nos synergies et nos complémentarités.

C'est désormais chose faite, avec tout d'abord la SFO qui rejoint la commission « Femmes et Physique » créée à la SFP et qui a pour objectif d'attirer, encourager et promouvoir les femmes dans les métiers de la physique, dont l'optique bien évidemment. Caroline Champenois et Marie Geleoc seront nos deux représentantes à cette commission, je les en remercie vivement. Une information à ce sujet sera bientôt relayée par notre site web (www.sfoptique.org), allant également vous inviter à participer activement à ce grand enjeu d'avenir.

Et puis c'est le « match retour » concernant nos grands congrès, puisqu'il y aura participation des clubs SFO « Nanophotonique » et « Photonique et Sciences du Vivant » au congrès général de la SFP qui se tiendra à Orsay en juillet 2017. Les deux Présidents de club, respectivement Riad Haidar et Gilles Tessier, se sont mis au travail dans le cadre du comité scientifique mis en place par Sylvie Vauclair. Olivier Dulieu sera le Président du comité d'organisation. À noter qu'Olivier est aussi représentant de la SFP au Conseil d'Administration de la SFO.

Autre ouverture vers une société savante, avec la mise en place d'un partenariat avec la Société Algérienne d'Optique et de Photonique (OPALS) créée en 2015. Jean-Jacques Aubert, alors qu'il était Président exécutif de la SFO, avait commencé à tisser des liens avec la dynamique communauté algérienne de l'optique. J'avais moi-même participé à son premier congrès, Optics and Photonics Algeria (OPAL) 2015, à l'Université Houari Boumediene du 13 au 15 décembre 2015. J'y avais rencontré son Président, Omar Lamrous, avec qui nous avons décidé de travailler ensemble à des actions de rapprochement très concrètes. Il y aura en particulier fin 2017 les premières Journées Franco-Algérienne de la Photonique (JFAP) dont Azzedine Boudrioua sera co-organisateur. Azzedine sera l'acteur principal du partenariat entre SFO et OPALS, Azzedine étant d'ailleurs vice-Président de cette dernière.

L'année 2016 touche à sa fin, et c'est avec grand plaisir que je vous souhaite des fêtes de Noël et de Nouvel An les plus apaisantes qui soient.

Bien amicalement,
Benoît BOULANGER

Retenez la date: JNOG et OMW 2017

Du 3 au 6 juillet 2017 l'Optique sera mise à l'honneur dans la ville de Limoges ! En effet, la capitale des Arts du feu accueillera successivement la journée du Club Optique et Microonde (le 3 juillet) puis les 37^e Journées Nationales d'Optique Guidée (du 4 au 6 juillet). Ces deux événements seront organisés à proximité de l'Hôtel de Ville, dans les locaux de la Faculté de Droit et des Sciences Économiques.

Les membres de la communauté photonique pourront ainsi participer à l'une ou l'autre de ces manifestations, mais également profiter d'une opportunité unique d'élargir leur horizon en assistant aux deux conférences avec des conditions d'inscription privilégiées. Gardez un œil sur les actualités de cet événement commun sur le site www.jnog-omw2017.fr. À cette

occasion, les partenaires industriels sont invités à présenter leurs nouveautés et à venir échanger avec les conférenciers dans le cadre de l'exposition qui se tiendra dans le grand hall, au cœur de l'évènement.

Cette annonce est d'ores et déjà un appel aux communications pour les deux rendez-vous. La plateforme de soumission sera ouverte le 24 janvier 2017.

À bientôt sur les bords de Vienne !

CONTACTS

JNOG : Dominique Pagnoux,
dominique.pagnoux@xlim.fr

OMW : Anne-Laure Billabert,
anne-laure.billabert@lecnam.net

SFO : Rania Hajjar Haidar,
rania.haidar@institutoptique.fr

24^e congrès général de la SFP : un partenariat renforcé avec la SFO

Dans le cadre de l'accord-cadre signé en 2015 entre la SFP et la SFO, notre société s'associe au programme scientifique du congrès général de la SFP du 3 au 7 juillet 2017, en parrainant des conférences plénières et en organisant des sessions parallèles centrées sur la nanophotonique et la biophotonique.

Organisé tous les deux ans dans une grande ville universitaire française, le Congrès Général de la SFP s'installe en 2017 sur le campus de l'université Paris-Sud à Orsay (91), avec notamment le soutien de l'Université Paris-Saclay, le CNRS et le CEA. Il s'agit d'un événement scientifique majeur proposant un large éventail des recherches menées en physique, tout en contribuant au développement des relations professionnelles et institutionnelles au niveau français, européen et international.

Les thématiques sont abordées dans une optique générale et interdisciplinaire, visant à favoriser les liens professionnels au-delà du cadre spécifique propre à chaque communauté scientifique. Le Congrès Général de la SFP fournit aussi un cadre naturel pour discuter des problématiques d'intérêt sociétal, où la physique joue un rôle déterminant grâce à sa capacité à apporter des réponses scientifiques et techniques innovantes. Le congrès fournit aussi un cadre prestigieux pour la remise de prix scientifiques (prix Friedel-Volterra, Gentner-Kastler, Holweck...). Outre le programme scientifique organisé autour de conférences plénières, de sessions parallèles et de séances de posters, le congrès général accueillera une exposition industrielle dans un espace d'exposition professionnel et localisé au cœur du site.

Le Congrès Général de la SFP attire en moyenne 700 participants. La participation des jeunes chercheurs est particulièrement encouragée notamment au travers de droits d'inscription attractifs. Nous espérons que de nombreux membres de la SFO s'associeront à cet événement en soumettant leurs contributions scientifiques les plus récentes.

POUR EN SAVOIR PLUS :

Olivier Dulieu (olivier.dulieu@u-psud.fr), président du comité local d'organisation
Sylvie Vaclair (sylvie.vaclair@irap.omp.eu), présidente du comité scientifique
Mayline Gautié (contact@sfpnet.fr), chargée de communication de la SFP

AGENDA

PHOTOPTICS 2017 EOS

du 27 février au 1^{er} mars 2017
Porto, Portugal

5^e édition de la Conférence Internationale des Technologies Optiques, Photoniques et Laser

CMOI FLUVISU 2017 Clubs SFO

du 20 mars au 24 mars 2017
École Nationale Supérieure d'Ingénieurs du Mans - Le Mans

CMOI-FLUVISU couvre un large champ transdisciplinaire où l'optique se marie avec les sciences des matériaux, l'acoustique, la mécanique des solides et la mécanique des fluides, la biologie, la chimie, l'électronique et l'informatique.

JNOG OMW 2017 Clubs SFO

du 3 juillet au 6 juillet 2017, Limoges

La journée du Club Optique et Microonde (le 03/07) puis les 37^e Journées Nationales d'Optique Guidée (du 4 au 6 juillet).

Congrès Général de la SFP Parrainage SFO

du 3 juillet au 7 juillet 2017
Campus d'Orsay

La SFO sera partenaire de cet événement scientifique majeur proposant un large éventail des recherches menées en physique, tout en contribuant au développement des relations professionnelles et institutionnelles au niveau français, européen et international. Les thématiques sont abordées dans une optique générale et interdisciplinaire.

Succès du workshop EPIC à Lannion

Un workshop autour du thème « Optical Fiber Sensors for Structural Health Monitoring », organisé par EPIC, en partenariat avec iXBlue et Photonics Bretagne se déroulait à Lannion, dans les locaux d'iXBlue, les 20 et 21 octobre 2016.

L'évènement a réuni une trentaine d'experts de la Photonique, venus de toute l'Europe, et a donné lieu à des perspectives de collaborations, grâce aux conférences et aux nombreux échanges entre les participants, qui ont également rencontré une partie de l'écosystème lannionnais de la photonique.

Présentation de Combo Microtech

La société Combo Microtech, qui a été créée à l'automne 2016 et est issue d'un laboratoire de recherche rennais, propose une solution intelligente de pilotage des microscopes utilisés en sciences du vivant. Combo Microtech a ainsi développé une technologie d'imagerie des échantillons vivants permettant de réduire jusqu'à trois fois le temps d'acquisition des images, par rapport aux approches classiques basées sur des logiciels. Son ambition est de permettre aux chercheurs académiques et industriels de détecter et de suivre automatiquement les évènements biologiques qui les intéressent afin de mieux les étudier.

Contact: olivier.chanteux@combo-microtech.com

UNE ARME LASER BRETONNE

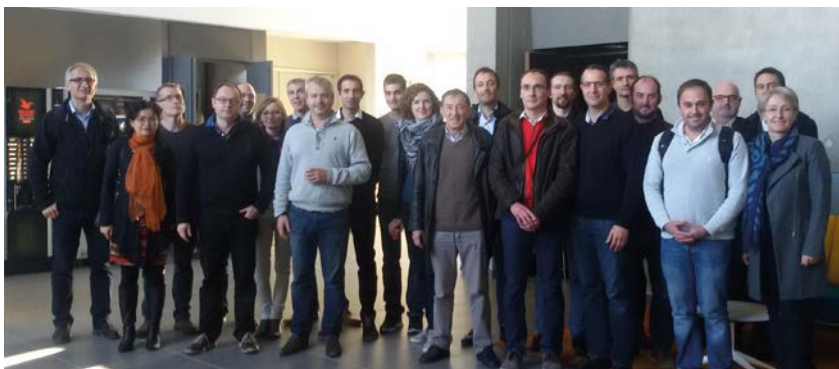
La société GEIM a présenté son laser de dissuasion et d'interception (LDI), lors du dernier salon Euronaval, à Paris. Ce laser breton est le fruit de la collaboration de GEIM avec Evosens et Laser Conseil (deux entreprises membres de Photonics Bretagne). L'émergence du projet résulte notamment de la mise en relation effectuée par Photonics Bretagne, qui avait étudié le cahier des charges du système dès 2014, alors que GEIM recherchait des technologies et des compétences photoniques, sur le territoire breton.

Feichter Electronics lance la marque « Feichter Audio »

Le bureau d'études lannionnais, expert en ingénierie électronique, Feichter Electronics, a récemment créé la marque « Feichter Audio ». Cette nouvelle marque repose sur un système innovant de diffusion de son 3D binaural et permet d'équiper des salles accueillant de plusieurs dizaines jusqu'à quelques centaines de personnes, ce qui constitue une avancée inédite dans ce domaine.

Contact: direction@feichter-electronics.com

Rencontre autour de l'Infrarouge à Rennes



Photonics Bretagne et le laboratoire Verres et Céramiques (Rennes 1) organisaient, le 3 novembre 2016, au Pôle Numérique de Beaulieu, à Rennes, une rencontre sur le thème du moyen infrarouge. Cet évènement a réuni les acteurs de la filière (les sociétés Diafir, Kerdry, Leukos, Le Verre Fluoré, mirSense, Novae, SelenOptics, Umicore et les laboratoires EVC et Foton), tous membres de Photonics Bretagne, en présence de la plateforme d'innovation technologique de Photonics Bretagne. Les participants ont ainsi échangé ensemble, de façon inédite, autour de leurs activités, de leurs nouveaux développements et de l'avenir de la filière.

Keopsys acquiert une participation indirecte au sein de Quantel

Le 18 octobre 2016, Esira, holding du groupe Keopsys, a acquis 93,8% du capital de la société Eurodyne, holding détenant de son côté 14,6% du capital de Quantel S.A. Le groupe Quantel est l'un des plus grands spécialistes mondiaux de la technologie laser à usages scientifiques, industriels et médicaux. Basé à Lannion, le groupe Keopsys est, quant à lui, spécialisé dans la conception et la commercialisation de lasers à fibre et de systèmes intégrant des lasers à fibre destinés aux applications scientifiques, industrielles et militaires. Cette prise de participation devrait faire naître des synergies permettant de proposer des solutions laser toujours plus innovantes.

La société mirSense doublement primée

La rentrée 2016 s'est révélée riche en récompenses pour la société mirSense, spécialiste des solutions laser moyen infrarouge (QCL). Son module d'analyse multiGaz, intégrant des technologies brevetées de lasers à cascade quantique (QCL) et de photoacoustique, a ainsi été primé en septembre, lors de la sixième édition des Trophées de l'Innovation du salon Enova Paris. Un mois plus tard, lors du défi « European Photonics Start-up challenge » de Berlin, mirSense s'illustrait auprès d'un jury d'industriels, d'investisseurs et de scientifiques, en occupant la troisième place du concours, grâce à une vision nouvelle et une promesse de valeur forte pour le secteur industriel.

Contact : nicolas.baroan@mirsense.com



Rencontres Recherche & Industrie : la Suisse à l'honneur!

Les 6 et 7 décembre 2016, l'AFOP a invité ses adhérents à partir à la rencontre d'acteurs emblématiques de l'optique photonique en Suisse. La délégation, composée d'une quinzaine d'industriels, a eu la chance de visiter le CERN - Centre européen pour la recherche nucléaire, l'entreprise Schott, l'Observatoire de Neuchâtel, le CSEM ainsi que la société EM Microelectronic-Marin. L'industrie horlogère Suisse était, elle aussi, à l'honneur durant ces deux jours de rencontres.

Exclusivement réservées aux adhérents, ces rencontres sont une occasion unique de découvrir et de visiter les entreprises et laboratoires de l'optique photonique dans un contexte privilégié, propice aux échanges.

ANIMATIONS ET OFFRES 2017

Intéressé pour participer à un salon ou une animation ? Certaines offres sont réservées aux adhérents de l'AFOP, d'autres sont ouvertes à tous. N'hésitez pas à nous contacter pour toute demande d'information.

1 ^{er} février	Convention d'affaires MICROTECH, Lyon
2 février	Convention d'affaires AEROTECH, Lyon
23 février	Convention d'affaires TechInnov, Orly
8 et 9 mars	Délégation AFOP - Convention d'affaires Paris Space Week, Orly
15 et 16 mars	Salon ENOVA Strasbourg
Avril	Assemblée Générale
7 et 8 juin	Délégation AFOP - Convention d'affaires Smart Manufacturing Summit, Orly
Octobre	Convention d'affaires Rendez-vous Carnot, Paris

18 et 19 octobre Pavillon AFOP - Salon Cosmetic 360, Paris
Cet agenda est un agenda préliminaire des événements et animations AFOP 2017. D'autres partenariats sont susceptibles d'être négociés selon les intérêts remontés par nos adhérents. Pour cela, manifestez-vous !

Services AFOP : salle de réunion dans le 12^e à Paris !

Soutenir les entreprises de la photonique, c'est aussi des services très pragmatiques pour ses adhérents. L'AFOP met donc à disposition de ses membres sa salle de réunion dans ses locaux à l'Institut de la Vision, entre Bastille et Gare de Lyon.

L'AFOP adhère à la FIM

À l'occasion de l'adhésion de l'AFOP à la FIM - Fédération des Industries Mécaniques - l'AFOP réunira ses adhérents à la rentrée 2017 afin de leur présenter les services de la FIM, l'alliance du futur et l'UNM : le fonctionnement de la normalisation et la commission UNM 20.

POUR CONTACTER L'AFOP

AFOP

Tél. : 01 53 46 27 09

contact@afoptique.org - www.afoptique.org

LE CONNECTEUR USB TYPE-C A DÉBARQUÉ

La nouvelle caméra uEye LE
USB 3.1 Gen 1



iDS

www.ids-imaging.fr/usb3.1

PHAROS EVENT: une première édition réussie !



Hervé Floch remet un prix à Sylvain Danto de l'ICMCB.

Le pôle de compétitivité Route des Lasers et son partenaire le pôle de compétitivité Aerospace Valley, avec le soutien du Comité national d'optique et photonique (CNOP), organisaient conjointement la première édition du colloque international PHAROS EVENT les 24, 25 et 26 octobre à l'Institut d'Optique d'Aquitaine de Talence (France).

« Pour cette première édition PHAROS EVENT, nous avons eu plus d'une centaine de participants,

une vingtaine d'exposés et des intervenants de haut niveau, et parmi eux, des décideurs de grands noms de l'aéronautique et du spatial et une dizaine de représentants étrangers: anglais, italiens, allemands, américains et Coréens » se félicite Hervé Floch, Directeur général du pôle de compétitivité Route des Lasers.

Ce colloque a pour ambition de rapprocher les acteurs de la recherche technologique et de l'industrie ainsi que des analystes marchés afin de faire émerger des opportunités d'innovation et d'affaires et de faciliter ainsi le passage de l'innovation dans

l'industrie, en rassemblant PME et grands donneurs d'ordre de l'aéronautique et du spatial européens tels que Airbus Group, Dassault Aviation, Safran Group, Thalès Group, CNES, CEA, ONERA ou encore le géant de la communication internet Facebook.

Deux projets récompensés lors du PHAROS EVENT 2016

Pour clôturer cette première édition de PHAROS EVENT, deux projets ont été récompensés: le projet de Sylvain Danto de l'ICMCB (Institut de Chimie de la Matière Condensée de l'université de Bordeaux) qui permet de mesurer avec des fibres spéciales les doses de particules ionisantes que le personnel navigant reçoit et accumule lors des vols, et le projet de Jean-Baptiste Paris de Cementys, qui a pour finalité l'installation de fibres optiques et de capteurs sur les appareils pour contrôler les points de rupture entre les structures métalliques composites.

« PHAROS EVENT est un événement très important pour les membres de l'écosystème, qui permet à la fois de se rencontrer, d'échanger et de développer la filière » indique Alain Fontaine, consultant aéronautique chez Cementys et ancien directeur des technologies émergentes chez Airbus (Toulouse).

Forts du succès de cette première édition de l'événement, les pôles de compétitivité Route des Lasers et Aerospace Valley ont annoncé la tenue du prochain forum PHAROS EVENT en 2018.

Le transfert de technologie à l'honneur lors du salon Micronora 2016

Jean-Paul Dufour, animateur du DAS Laser et procédés, représentait le pôle de compétitivité Route des Lasers lors du salon Micronora, qui ouvrait ses portes le 27 septembre à Besançon pour une durée de 4 jours dédiés aux domaines des nano et micro-technologies.

Cette année, c'est Emmanuel Macron, ancien ministre de l'économie, qui assurait l'ouverture du salon, dont l'édition 2016 était consacrée aux transferts de technologie entre la recherche publique et les entreprises et notamment les solutions industrielles d'avenir largement représentées dans le ZOOM.

Dans le cadre de sa politique d'ouverture sur les marchés applicatifs et d'un partenariat avec le Club Laser et Procédés (CLP), le pôle de compétitivité Route des Lasers participait au stand collectif « Laser et procédés », sur lequel les adhérents du pôle Amplitude

Systèmes, Celia, ALPhANOV, Qiova et Moria Lase ont pu montrer leur savoir-faire dans le domaine du micro-usinage et présenter leurs technologies d'exception:

- les lasers femto-secondes développés par Amplitude Systèmes, Celia et Alphanov, le centre technologique du pôle de compétitivité Route des Lasers;
- un dispositif laser pulsé utilisé en ophtalmologie mis au point par Moria Lase avec le CHU de Bordeaux et ALPhANOV;
- une machine de gravure laser (permettant une écriture d'une grande précision dans le domaine de l'identification) réalisée par Laser Cheval et Qiova.

Cette édition 2016 de Micronora a été ponctuée de conférences et de congrès de très haut niveau dont « Le laser dans le médical » organisé par le CLP avec la

participation de Wilfried Vogel et Baptiste Toulet d'ALPhANOV, de Romain Royon d'Irisiome, de Pierre Laygue de Lasea et de Julie Guer d'Amplitude Systèmes. Cette participation a permis au pôle Route des Lasers de nouer des contacts utiles et prometteurs, notamment avec le cabinet Guiu-Jurispatent et l'agence de promotion économique de Suisse occidentale Greater Geneva Berne Area (GGBA), qui ont récemment décidé de devenir adhérents du pôle.

La prochaine édition du salon Micronora se tiendra du 25 au 28 septembre 2018 à Besançon.

AGENDA

Le design et la photonique
11 janvier - 5 à 7 - Talence

Salons BIOS et Photonics West
28 janvier au 2 février - San Francisco

Inpho Venture Summit: l'Europe déborde d'innovation; l'écosystème arrive à maturité mais requiert le soutien des investisseurs et des industriels



De gauche à droite : Virginie Calmels, première adjointe au maire de Bordeaux et vice-présidente de Bordeaux Métropole, Pierre Lurton, Dirigeant du château d'Yquem, Kyung H. Yoon, CEO et fondatrice de Talent Age Associates, Pierre Goguet, Président de la CCI Régionale d'Aquitaine et Jean-Pierre Giannini, président du pôle de compétitivité Route des Lasers.

Les 6 et 7 octobre a eu lieu la convention d'affaires Inpho Venture Summit, Photonics and Beyond, organisée tous les deux ans pour les investisseurs et les entrepreneurs. Co-organisé par la Chambre de Commerce et d'Industrie de Bordeaux, le pôle de compétitivité Route des Lasers et le CEA, l'INPHO Venture Summit est dédié aux marchés en croissance et à l'investissement dans les technologies du futur.

L'événement offre à la communauté financière et aux industriels une vision claire des meilleures opportunités d'investissement des secteurs de la photonique et des

technologies intelligentes avec un accent sur l'innovation, la crédibilité et la rentabilité des projets présentés.

Ce qu'il faut retenir de l'événement :

- c'est en augmentant les collaborations industrielles en Europe qu'on pourra aider les start-ups de la photonique et des smart technologies à décoller;
- les rachats de start-ups et la création de licornes en Europe attireront les capitaux-risqueurs;
- Chronocam, spécialiste des capteurs de vision, remporte le prix InPho 2016 sponsorisé par le pôle de compétitivité Route des Lasers.

L'Europe s'intéresse de plus en plus à l'innovation technologique et encourage l'entrepreneuriat. C'est ce qui ressort des interventions lors du INPHO Venture Summit. Cependant, des problèmes structurels persistent, il faudrait accroître l'investissement en provenance des banques et augmenter le nombre d'accords commerciaux entre start-ups et grandes entreprises européennes pour permettre à ces jeunes pousses de décoller.

Sponsorisée par Thales, la conférence a rassemblé 155 participants représentant un vaste panel de secteurs industriels et d'institutions financières, comme UBS Investment Bank, les groupes Suez et Trumpf ou encore Hamamatsu Photonics France. L'événement a permis aux investisseurs et aux représentants de l'industrie d'évoquer les opportunités d'investissement dans quatre marchés en pleine croissance: l'Internet des objets et le smart grid, la mobilité, la e-santé et les télécoms/daticoms.

Vingt-trois entreprises, de la start-up à la société plus mature, la plupart basées en Europe, ont réalisé une série de pitches devant les investisseurs pour lever un total de 75 millions d'euros. Les investisseurs présents ont indiqué qu'ils souhaitaient poursuivre leurs discussions avec plus des deux tiers des sociétés ayant pitché.

Chronocam, qui développe des capteurs de vision et dont la technologie est déjà déployée dans un système de vision bionique, a remporté le titre de « société la plus prometteuse », ainsi qu'un prix de 5000 euros, sponsorisé par le pôle de compétitivité Route des Lasers.

ALPhANOV, Photonis et Groupe Fauche ont présenté leurs dernières innovations lors du salon ADS-Show

Les 28 et 29 septembre 2016, la base Aérienne 106 de Bordeaux-Mérignac accueillait la 3^e édition d'ADS Show, salon international du maintien en conditions opérationnelles (MCO) de l'aéronautique de Défense.

Durant le salon, les sociétés Photonis, le centre technologique ALPhANOV et le groupe Fauche ont pu exposer leurs dernières technologies et solutions industrielles d'avenir couvrant de nombreux domaines applicatifs aux côtés du pôle de compétitivité Route des Lasers. Le centre de formation PYLA a également présenté son offre de formation dédiée à la formation continue en optique – laser.

Au cours de cette troisième édition du salon ADS SHOW, les donneurs d'ordres des armées françaises et étrangères, les experts

internationaux, l'ensemble des grands groupes mais aussi de nombreuses PME innovantes étaient réunis autour de l'unique salon international du MCO Défense, placé cette année sous le signe de l'innovation. Les exposants présents sur le salon ont pu nouer des contacts qualifiés et prometteurs.

La Nouvelle-Aquitaine est la 1^{re} région aéronautique de défense globale, Mérignac était donc le lieu idéal pour l'organisation d'un tel salon. « La région Nouvelle-Aquitaine est désormais et incontestablement dans la zone de radar de la maintenance aéronautique », souligne Alain Rousset, Président de la Région, à l'initiative de la création du salon en 2012.

Cette 3^e édition du salon ADS Show a été marquée par la présentation de dizaines de solutions techniques innovantes telles que



Le stand du pôle « Route des Lasers » sur le salon ADS Show 2016.

la photonique aéronautique et spatiale et notamment les solutions technologiques de rupture pour le MCO, avec la participation à un débat de Célestin Sedogbo, pilote du DAS PHAROS (Photonique, Aéronautique et Spatial) du pôle de compétitivité Route des Lasers et de Hervé Floch, Directeur du pôle Route des Lasers.

Minalogic prend la Présidence de l'Alliance Silicon Europe

Le 26 octobre, Isabelle Guillaume, déléguée générale de Minalogic, a pris la présidence de l'Alliance Silicon Europe. Elle succède à Peter Simkens, directeur du cluster belge DSP Valley.

Lancée en octobre 2015, l'Alliance Silicon Europe rassemble 12 clusters européens autour d'un objectif commun : renforcer l'industrie européenne du numérique et de la micro-électronique en favorisant les fertilisations croisées entre les 2000 membres de leurs écosystèmes d'excellence.

De nombreuses actions menées depuis octobre 2015

Depuis un an, les partenaires de l'Alliance n'ont pas ménagé leurs efforts pour renforcer les liens entre leurs membres et contribuer ainsi à générer des collaborations R&D et business.

- Des mises en relation ciblées entre entreprises membres pour des projets de R&D communs.
- Des rencontres d'affaires, avec la participation d'entreprises membres : Minalogic Business Meetings en avril 2016 à Grenoble, DSP Valley B2B Forum en juin 2016 à Louvain (Belgique), Silicon Saxony Day en juin 2016 à Dresde (Allemagne).
- Des missions de prospection avec des entreprises membres favorisant les échanges avec d'autres écosystèmes internationaux :
 - à Taïwan en juin 2016, à l'occasion de l'European Innovation Week, afin de promouvoir les atouts de l'Europe dans le numérique et la micro-électronique devant de nombreux représentants institutionnels, industriels et académiques taïwanais ;



Isabelle Guillaume

- en Finlande en octobre 2016, à l'initiative du cluster BCS (Pays-Bas).
- Une réponse coordonnée de l'Alliance en mai 2016 à la consultation publique lancée par Carlos Moedas, Commissaire européen à la recherche, à l'innovation et à la science, au sujet du projet de construction de l'European Innovation Council (EIC), qui vise à soutenir les start-ups et PME européennes et innovantes. L'Alliance a soutenu ce projet, en rappelant le rôle majeur des clusters dans ce domaine et en encourageant le futur EIC à collaborer étroitement avec les clusters européens.
- Des candidatures communes à des projets européens structurants, à la croisée entre plusieurs secteurs technologiques mêlant le numérique à des marchés applicatifs tels que la médecine personnalisée, l'Internet des objets, l'usine du futur.

Des perspectives ambitieuses

En 2017, les partenaires poursuivront leurs actions, avec pour ambition d'aller encore plus loin dans la facilitation des échanges entre leurs membres.

- Organisation d'événements de mise en relation R&D et business :
 - L'Alliance souhaite organiser une rencontre de partenariats de R&D européens dans le domaine des TIC ;
 - Minalogic ambitionne de transposer son modèle de journée Open Innovation à l'échelle de l'Alliance, en mettant en relation un grand compte privé ou public et des start-ups/PME membres des clusters, afin de générer des collaborations business et/ou R&D.
- Élaboration d'outils pour simplifier la recherche de partenaires.
- Amplification des liens avec d'autres écosystèmes à l'international, notamment en Asie et en Amérique du Nord.

« En lien avec la stratégie de la Commission européenne pour le marché unique numérique, l'ambition de l'Alliance Silicon Europe est de favoriser la coopération et l'innovation dans toute l'Europe, afin d'accélérer les collaborations R&D et business entre nos membres, grâce à la fertilisation croisée de nos écosystèmes. Le but ultime est de rendre l'Europe aussi simple et accessible que les marchés intérieurs pour nos membres », explique Isabelle Guillaume, Déléguée Générale de Minalogic et nouvelle Présidente de l'Alliance.

CONTACT

MINALOGIC
www.minalogic.com

Retrouvez Minalogic et ses adhérents sur Photonics West 2017

Minalogic et ses adhérents seront présents pour la seconde fois sur la prochaine édition de Photonics West, le rendez-vous mondial de l'industrie optique-photonique, qui se déroulera du 28 janvier au 2 février 2017 à San Francisco. Accompagnés par David Vitale, Directeur de l'activité Photonique de Minalogic, une dizaine d'adhérents du pôle exposeront sur le salon : Alpao, CEA-Leti,

Cedrat Technologies, e2v, Isorg, Precitec, Resolution Spectra System, Sofradir, Teem photonics, Thales Optronics, Trioptics.

Lors de l'édition 2016, Minalogic avait conduit pour la première fois une délégation de 7 adhérents, dans le cadre de son Plan de Développement International, soutenu par la Région Auvergne-Rhône-Alpes.

EOSAM 2016 à Berlin : retour aux sources

La réunion EOS annuelle (EOSAM), un événement européen majeur pour la communauté de l'optique et de la photonique européenne, a eu lieu dans le centre des congrès d'Adlershof à Berlin, du 26 au 30 septembre 2016.

Avec une semaine complète de travaux en photonique exposés au travers de 8 sessions thématiques, une session « Grands Défis de la Photonique », des ateliers, des tutoriels etc., EOSAM a réuni plus de 360 participants venus de toute l'Europe.

La conférence a commencé avec des tutoriels sur plusieurs sujets d'actualité, une école d'été sur la métrologie des matériaux à couches minces, des visites de l'institut de physique pour les étudiants, ainsi que les réunions internes de l'EOS. Notons que la session sur les Grands Défis de la Photonique incluait trois orateurs estimés, parmi lesquels Peter Fritschel du MIT (USA). Il a présenté ses travaux sur la détection optique des ondes de gravité, également considérée comme la plus importante découverte du siècle.

Mardi, au cours d'une session honorifique, les participants ont eu le privilège d'entendre un discours du Dr Eric Betzig, lauréat du prix Nobel 2014, ainsi qu'une présentation d'Anna Consortini qui a retracé l'histoire de l'EOS - l'EOS fête en effet ses 25 ans cette année. Puis, l'EOS a présenté ses nouveaux *fellows* et distribué ses récompenses emblématiques.

Nouveaux EOS Fellows (promotion 2015/2016)

Roel Baets, université de Ghent

Wolfgang Osten, université de Stuttgart

Carlos Ferreira, université de Valencia

Jürgen Czarske, Technische Universität Dresden

Anne Débarre, université Paris Sud et université Paris-Saclay (voir en page 10)

EOS Early Career Women In Photonics Award

Dans la lignée de l'Année de la Lumière 2015, l'EOS a décidé de récompenser de jeunes femmes, issues des mondes de la recherche ou de l'entrepreneuriat, pour leurs contributions à la photonique. Cette année, le prix a été attribué à Camille-Sophie Brès, de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL, Suisse) pour *her outstanding research and work on Fiber and Waveguide Optics*.

Des mentions spéciales ont été données à Ripalta (Patty), Stabile de la Technische Universiteit Eindhoven (Pays-Bas) et à Isabelle Staude, de la Friedrich-Schiller-Universität Jena (Allemagne).

Enfin, notons que lors de son Assemblée générale annuelle, l'EOS a accueilli chaleureusement son nouveau président entrant, le Prof. Dr. Humberto Michinel (université de Vigo, Espagne), qui succédera dans deux ans à l'actuel président exécutif, le Prof. Dr. Jürgen Jahns (Fern Universität de Hagen, Allemagne).

L'EOS tient à remercier tous les présidents et les comités de programme. En outre, un grand merci aux organisations locales, Gestion WISTA, Berlin Partner et OpTecBB pour leur excellent travail et leur attention à ce que tout se déroule bien. Merci aux sponsors et aux participants, nous espérons vous revoir tous en EOSAM 2018 !



wavetel

Audit et Expertise | Métrologie & Instrumentation | Bureau d'études

BOSA

ANALYSEURS DE SPECTRE OPTIQUE
ULTRA HAUTE RÉOLUTION

Bande C + L : 1525 - 1610 nm
Bande O : 1265 - 1355 nm

ARAGON PHOTONICS



BOSA 400



- Résolution optique : < 0.1 pm
- Dynamique range : 80 dB
- Précision : +/- 0.5 pm
- Sortie laser accordable



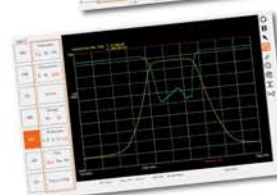
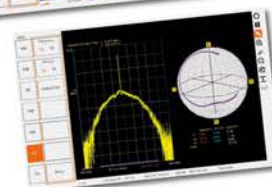
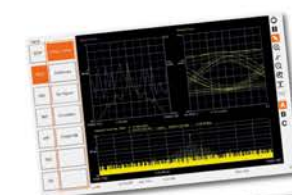
Mesure de phase



Analyse de polarisation



Analyse de composants passifs



Contactez-nous pour plus informations
ou pour une démonstration
Email : about@wavetel.fr
Phone : +33 2 99 14 69 65

Vous avez dit hologramme ?

La première exposition d'hologrammes en Chine a déplacé les foules : plus de 4000 visiteurs par jour se sont rendus au Palais des Expositions de Pékin en 1983. Depuis, les collections du musée ont fait le tour du monde avec près de 400 expositions sur les 5 continents.

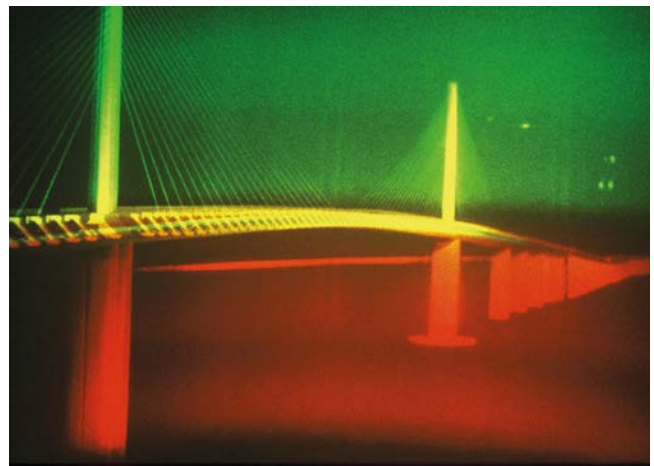
Après 36 ans d'activité le musée de l'Holographie cessera son activité d'ici deux ans et cherche un repreneur pour tout ou partie de la collection.

Vous êtes attachés à l'image, à l'art, au patrimoine scientifique et technique, ne laissez pas cette collection unique au monde vous échapper.

S'adresser à info@museeholographie.com

Pour en savoir plus le musée de l'Holographie :

www.museeholographie.com



Le pont Tampa, hologramme de transmission géant qui avance en avant et arrière dans l'espace sur 8 m de profondeur à l'échelle du vrai pont de 8 km construit par l'architecte français Jean Muller à Tampa en Floride.

Conférence LIBS : un zoom sur les applications

La 9^e conférence internationale LIBS s'est tenue à Chamonix du 12 au 16 septembre. Elle a rassemblé 294 participants venant de 38 pays différents : 69% Europe-Afrique, 29% Asie-Australie, 12% Amérique du Nord et du Sud. « *De plasmas laser à analyses* » fut le fil conducteur de la conférence, avec des thématiques portant sur la recherche fondamentale jusqu'à l'émergence de

nouvelles applications : de l'analyse des molécules organiques, liquides, poudres et particules, aux minéraux en passant par la détection des cellules cancéreuses ou l'analyse criminologique. La LIBS s'avère également prometteuse pour des applications scientifiques comme le tri des métaux avec l'apparition de nombreux instruments portables.

Accord de collaboration entre GDI Simulation et CentraleSupélec

L'école CentraleSupélec et GDI Simulation (Airbus Group), qui ont développé depuis 2011 une coopération dans le cadre de contrats de recherche et de conventions d'études industrielles, ont signé un accord de collaboration industrielle et scientifique dans le domaine de la photonique, le 14 octobre à Metz.

GDI Simulation est une filiale d'Airbus Group dédiée à la conception, la production et le soutien de systèmes de simulation en vue de la préparation opérationnelle des Forces.

Au-delà de l'impact attendu dans le développement de systèmes de simulation de haute performance, cet accord s'inscrit dans la perspective de la création d'une Chaire

en Photonique portée par CentraleSupélec, dans le cadre du laboratoire LMOPS (Laboratoire Matériaux Optiques, Photonique et Systèmes - unité de recherche commune entre CentraleSupélec et l'Université de Lorraine).

La Chaire Photonique prévoit une action sur 4 ans avec une mission d'excellence scientifique, d'innovation et valorisation des résultats de la recherche et de communication sur l'importance de la lumière auprès du grand public.

CentraleSupélec et Airbus Group GDI Simulation, affichent ainsi leur objectif de promouvoir en France et à l'international, l'importance des applications industrielles de la lumière et des technologies optiques.

ANNE DÉBARRE, FELLOW DE L'EOS

Paul Urbach, au nom de la European Optical Society, a décerné à Anne Débarre, le titre de *Fellow of the European Optical Society*, pour ses travaux pionniers en nanospectroscopie et son implication dans les sociétés d'optique française et européenne (SFO et EOS). La cérémonie s'est déroulée le 27 septembre 2016 lors du European Optical Society Annual Meeting (EOSAM).

Les travaux de Anne Débarre sur la combinaison entre le champ proche optique et la spectroscopie sur des objets individuels, ont permis de comprendre les concepts clés d'exaltation ou d'annihilation de la fluorescence.

« *Aujourd'hui, j'étudie les transferts d'énergie multiples entre des nanoparticules métalliques et une concentration de*

molécules, précise Anne Débarre. *Les applications envisagées seraient de nouvelles sondes brillantes ou de nouvelles sources lumineuses, essentiellement pour de l'imagerie* ».

Le laboratoire Aimé Cotton, sous tutelle CNRS, Université Paris-Sud et l'École normale supérieure Paris-Saclay, conduit le projet du Centre de Physique Matière et Rayonnement.



ECOC 2016: un succès confirmé

À travers les conférences ou les produits exposés, que ce soit pour les réseaux d'opérateurs ou dans les centres de données, le succès était au rendez-vous d'ECOC 2016.

C'est à Düsseldorf (Allemagne) que s'est déroulée la 42^e édition d'ECOC (European conference and exhibition on optical communications), du 18 au 22 septembre 2016. Elle a accueilli plus de 5200 participants, venus de 78 pays, qui ont visité les stands de plus de 300 exposants (figure 1). Leur choix pour assister aux conférences a été guidé par la répartition en sept grands domaines distincts.

Sept domaines de conférences

Les présentations sur **les fibres optiques**, ainsi que les amplificateurs à fibres et les lasers à fibres ont permis de faire le point sur les lasers de puissance, les fibres optiques multi cœurs (*multi core fiber – MCF*), de 5 à 32 cœurs de 8 μm chacun et contenus dans une gaine de taille classique de 125 μm ou 250 μm (cf. figure 2), et leurs variantes dopées à l'erbium, les fibres optiques à quelques modes (*few mode fiber – FMF*), les fibres fortement non-linéaires (*highly nonlinear fiber – HNLF*), ainsi que sur les fibres multi cœurs adaptées aux applications de capteurs.

Les conférences sur les guides d'onde et **les équipements optoélectroniques** ont insisté sur la conception, la fabrication et les tests de performances de ces produits générant, amplifiant, détectant, routant, interconnectant... les signaux optiques afin d'assurer le transport de l'information. Exemples présentés : technologies planaires, guides d'onde en 3D, émetteurs accordables en longueurs d'onde, lasers intégrés sur silicium, divers matériaux comme des membranes en phosphore d'indium pour des diodes lasers et autres modulateurs hybrides.

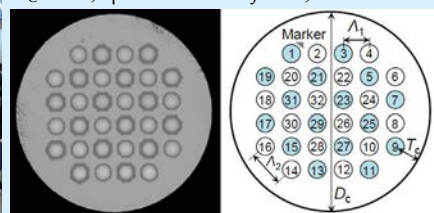
Dans le domaine du **calcul du signal numérique** (*digital signal processing – DSP*), les interventions ont porté sur les techniques optiques numériques employées dans les réseaux longues distances et métropolitains en insistant sur les parties concernant les algorithmes pour les émetteurs et récepteurs cohérents, la correction d'erreurs de transmission (*forward error correction – FEC*), la régénération des signaux optiques, sans oublier de couvrir les interfaces entre réseaux en fibres optiques et réseaux sans fil dans la transmission du large bande.

Le domaine des *sous-systèmes pour les réseaux optiques* et transmissions de données a permis de traiter de l'installation dans les réseaux des équipements de type multiplexeurs d'insertion-extraction de longueurs d'onde et leurs variantes reconfigurables



◀ **Figure 1.** ECOC 2016 – vue générale.
Source : JM. Mur

▽ **Figure 2.** Coupe d'une fibre à 32 cœurs.
 $\Lambda_1 = 28,8 \mu\text{m}$, $\Lambda_2 = 40,7 \mu\text{m}$, $T_C = 37,2 \mu\text{m}$,
 $D_c = 242,5 \mu\text{m}$. Source : Fujikura, ECOC 2016



UN UNIVERS DE PRÉCISION

- Solutions multiaxes pour applications exigeantes
- Utilisation en Micro et Nano-usinage laser, MEMS, semi-conducteurs, optique-photonique, Synchrotrons, métrologie, biosciences...
- Moteurs linéaires, servomoteurs, paliers à air. Contrôle et asservissements avancés
- Large gamme d'hexapodes et de tripodes haute précision



Micro et nano-usinage
laser XYR



Platine standard
XY - Répét. +30 nm



Tripodes et Hexapodes
hybrides® à moteurs linéaires



Montage de métrologie -
Platines LM-XYZ



Hexapode sous vide
et ultra-vide



Portique à moteurs
linéaires

* Hybrid Hexapod® est un dispositif breveté et une marque déposée.

Trioptics France

76 rue d'Alsace
69100 Villeurbanne
Téll. 07 72 44 02 03
Fax : 04 72 44 05 06
www.trioptics.fr

Distributeur
Officiel

(reconfigurable optical add-drop multiplexer – ROADM), des commutateurs optiques, des routeurs de paquets, des appareils de mesures associés et, tout cela, avec un focus particulier sur les différents formats de modulation des signaux optiques. Les conférenciers se sont répartis entre les réseaux d'opérateurs, les transmissions de données et les communications entre serveurs.

Les contributions du domaine des systèmes de **transmission en point-à-point** ont concerné divers aspects des transmissions tels que les capacités, les distances, la flexibilité... ainsi que la recherche de dépassement des limitations habituelles. À ce sujet, il faut noter les présentations sur de nouvelles fibres optiques et des techniques de multiplexage, sans oublier les communications sur les liaisons optiques en espace libre. À retenir dans cette session, la démonstration, par Nokia Bell Labs Allemagne, de la transmission d'un débit à 1 Tbit/s sur un réseau réel, avec pour objectif commercial les liaisons en point-à-point de centres de données, de supercalculateurs ou de nœuds de réseaux métropolitains (figure 3).

Les **réseaux à longues distances, métropolitains et centres de données** ont donné lieu à de nombreuses prises de parole pour chacun de ces types de réseaux, y compris les réseaux inter-satellitaires, et cela que ce soit en

commutation de circuits ou en commutation de paquets et en diversité d'architectures. Il a été question des interconnexions pour les centres de données que ce soit à l'intérieur du centre lui-même (*intra-data center* – IDC) ou entre centres (*data centers interconnect* – DCI), via des fibres unimodales ou multimodales. À signaler l'application ARON (*application driven reconfigurable optical networking for HPC data centers*) qui a été présentée par l'Académie des sciences chinoise et qui est dédiée aux centres de données dotés de supercalculateurs (*high performance computing* – HPC) pour lesquels la topologie du réseau sera reconfigurée par le routage de longueurs d'onde piloté par logiciel (*software defined network* – SDN).

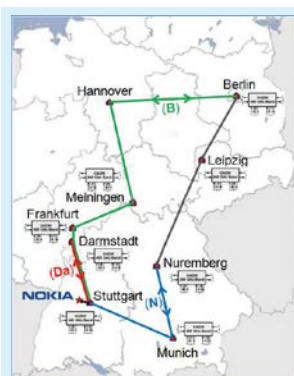
Dans le domaine des **réseaux d'accès, réseaux locaux et réseaux domestiques**, on trouvait un véritable catalogue à la Prévert : réseaux optiques à large bande, réseaux locaux d'entreprise (*local area network* – LAN), réseaux locaux domestiques optiques (RLDO et HAN – *home area network*), applications FTTX (*fiber to the ...*), réseaux optiques passifs (*passive optical network* – PON), systèmes de radio-diffusion par fibre optique (*radio-over-fiber* – ROF), solutions hybrides optique-sans fil pour les réseaux d'immeubles ou de centres commerciaux, réseaux optiques pour le transport de la 5G, etc.

Partie exposition

Une belle surface était réservée à la partie exposition où étaient présents plus de 300 exposants venus du monde entier. Comme de coutume, les entreprises chinoises étaient les plus nombreuses.

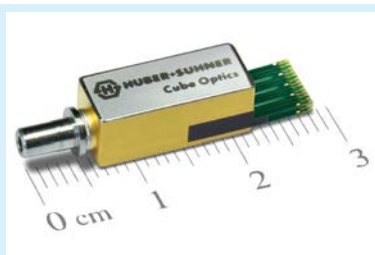
La France était représentée par une dizaine d'entreprises dont la jeune poussée rennaise CAllabs, le spécialiste des circuits intégrés CMP, Data-Pixel et ses interféromètres et microscopes, Egide et ses boîtiers hermétiques, le fournisseur de solutions pour conception de produits optiques Light Tec, les spécialistes de fibres spéciales iXblue-iXfiber et SEDI-ATI, ainsi qu'Apex Technologies et Yenista Optics avec leurs gammes respectives d'analyseurs de spectres optiques et autres solutions de mesures.

ECOC était l'occasion de présenter des nouveautés. En voici quelques exemples : **APEX Technologies** annonçait un nouvel analyseur de spectre optique, le modèle AP2070A, qui peut aussi servir de source laser accordable ; **Euromicron** a développé une nouvelle technologie de lentilles permettant la création d'un connecteur optique à faisceau expansé pour huit canaux, utilisable en environnements sévères ; **Finisar** a suivi l'évolution des émetteurs-récepteurs pour le multiplexage de quatre longueurs d'onde espacées CWDM4 utilisés sur la distance normalisée de 2 kilomètres, en commercialisant un nouvel émetteur-récepteur QSFP28 appelé eCWDM4 pour 10 km et eLR4 pour 20 km, la lettre e pour *extended reach* (distance allongée) ; chez **Huber+Suhner**, un composant optique ultra-compact pour l'application du multiplexage en longueur d'onde en réseau local, conforme à la norme IEEE 802.3bs 400GBase-LR8/FR8 (figure 4) ; en préannonce, **Inphi** pense produire dès la fin 2016 des nouvelles puces photoniques pour des transmissions en parallèle de 8 × 50 Gbit/s en modulation PAM4 pour l'application 400 Gigabit Ethernet ; pour **NeoPhotonics**, un récepteur cohérent intégré à 64 Gbauds pouvant supporter un débit de réception jusqu'à 600 Gbit/s, débit maximum théorique en modulation 64QAM ;



◀ **Figure 3.** Réseau expérimental à 1 Tbit/s. Source : Nokia Bell Labs, ECOC 2016

▽ **Figure 5.** Nouvelle connectique optique MTP-16. Source : US Conec, ECOC 2016



△ **Figure 4.** Émetteur-récepteur ultra-compact pour réseau local à 400 Gbit/s via multiplexage de l. Source : Huber+Suhner, ECOC 2016

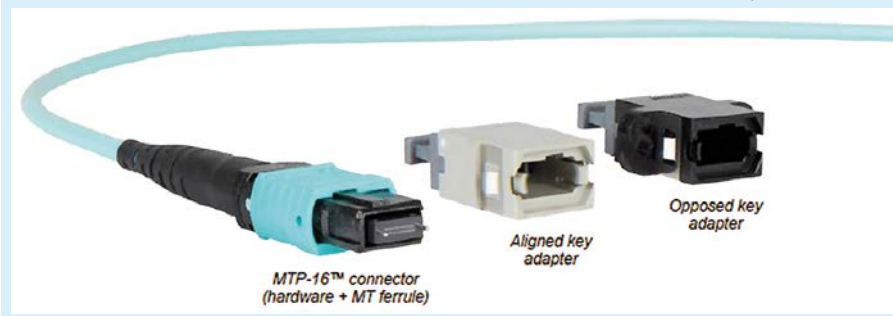




Figure 6. ECOC 2016 – la zone FTTx. Source : JM. Mur

Senko montrait une évolution des connecteurs LC et MPO à baïonnette, afin de gagner en encombrement, pour fibres unimodales et multimodales ; chez Skylane Optics, c'était un nouvel émetteur-récepteur QSFP28, conforme aux normes de l'IEEE et de DC Alliance, dédié aux réseaux d'accès et aux centres de données ; pour US Conec, le nouveau connecteur MTP-16 était annoncé comme conforme à la récente norme FOCIS18 de novembre 2015 sur la nouvelle connectique 1 × 16 et 2 × 16 pour les applications Ethernet à 400 Gbit/s via la transmission en parallèle de 16 × 25 Gbit/s des centres de données (figure 5). Les informations ci-dessus ne reflètent qu'une présentation partielle et partielle des produits exposés.

En complément aux conférences payantes, signalons que, dans l'exposition gratuite, les visiteurs ont pu retrouver les trois zones d'activités habituelles : le centre de formation CTTS,

qui permettait de réaliser des connectiques, des soudures optiques et des mesures ; la partie démonstration FTTx, pour se familiariser avec de nombreux équipements passifs et matériels nécessaires au déploiement des réseaux (figure 6) ; ainsi que la salle ouverte de conférences Market Focus, dans laquelle près d'une trentaine d'interventions ont mis l'accent sur les composants photoniques intégrés et sur le 400 Gbit/s. Exemples : *New generation of long haul fibers for 400G*, par OFS ; *400G data centers interconnect*, par Lumentum ; *Scaling interconnect to 400G and beyond*, par Inphi ; *Optical engines for 400/800G*, par Mellanox ; etc. (figure 7).

Pensez à noter votre prochain rendez-vous – ECOC 2017 – qui se tiendra en Suède, à Göteborg, du 17 au 21 septembre 2017, en attendant Rome, du 23 au 27 septembre 2018.

Jean-Michel MUR
Jm.mur@orange.fr



Figure 7. ECOC 2016 – la salle Market Focus. Source : JM. Mur

acal^{bfi}

Le Photon pour Vocation

Emettre

Filtrer

Mettre en forme

Moduler

Détecter

Analyser

Visualiser

Sécurité

Composants standards
 ou
 sur cahiers des charges

- Lasers
- Composants optiques
- Instrumentation
- Imagerie

www.acalbfi.fr

Prix d'instrumentation en Chimie Physique 2016

Créé en 2007 par la division de Chimie Physique commune à la Société Chimique de France et la Société Française de Physique, ce prix récompense la personne ou l'équipe ayant réalisé une instrumentation innovante en Chimie Physique. L'innovation peut porter sur un nouveau concept, une astuce technique, une nouvelle application... Les retombées de l'innovation pour la communauté scientifique et économique de la physicochimie sont un des critères d'évaluation. Le jury, composé de professionnels de l'industrie et de la recherche, a retenu deux candidatures, classées ex-aequo.

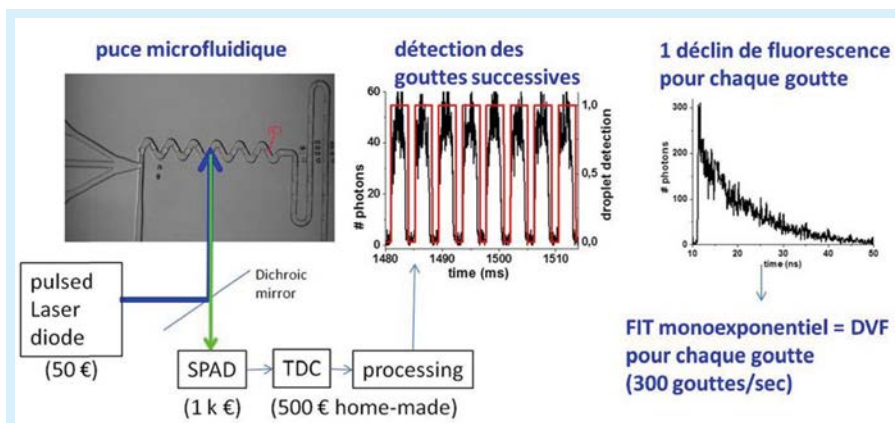
Fluorescence résolue en temps pour les biotechnologies à haut débit

Jérémie Léonard, Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg (IPCMS).

La mesure d'intensité de fluorescence est abondamment utilisée dans les biotechnologies pour tester avec rapidité et sensibilité les interactions (bio) moléculaires, en particulier par l'industrie pharmaceutique, ou pour le diagnostic. Par exemple, le processus de découverte de nouveaux médicaments utilise souvent le criblage à haut débit, qui consiste à tester systématiquement l'interaction d'un grand nombre de petites molécules (chimiothèque), avec une biomolécule cible. De nombreux protocoles biochimiques pertinents pour ce type d'applications reposent sur une mesure d'intensité de fluorescence grâce à l'utilisation de biomolécules marquées en fluorescence.

Nous proposons ici de remplacer la mesure d'intensité de fluorescence par une mesure de durée de vie de fluorescence (DVF) dans les biotechnologies à haut débit. La motivation est qu'une mesure de DVF est une mesure intrinsèque de l'interaction entre biomolécules, alors que la mesure d'intensité est affectée par d'autres paramètres, comme par exemple la concentration (parfois mal contrôlée). Cet avantage de la DVF sur la mesure d'intensité a déjà été exploité avec succès pour la biologie cellulaire, grâce à la microscopie « FLIM » (*fluorescence lifetime imaging microscopy*).

Parmi les nouveaux champs d'application possibles, nous développons en particulier la mesure de DVF dans des gouttes microfluidiques.



À gauche: la microfluidique de gouttes est utilisée comme plateforme de manipulation rapide d'échantillons (gouttes d'eau) de volume très petit (250 pL). Un microscope de fluorescence est mis en œuvre, utilisant une diode laser pulsée et un système de comptage de photons uniques (SPAD - *single photon avalanche diode*; TDC - *time-to-digital converter*, qui sert à dater la détection de chaque photon unique par rapport au tir laser précédent). Le test est réalisé sur des gouttes contenant de la fluorescéine en concentration $<1 \mu\text{M}$ (i.e. ~ 50 attomoles de fluorophore par goutte). Au centre: le passage des gouttes individuelles dans le foyer du faisceau laser peut être détecté (trace rouge) en mesurant le taux instantané de comptage de photons (signal noir). À droite: pour chaque goutte individuelle, un histogramme de déclin de fluorescence peut être reconstruit à partir du temps de détection des photons uniques « corrélés en temps », et une DVF peut être extraite pour chaque goutte. Collaboration avec W. Uhring, ICUBE, Strasbourg.

La technologie microfluidique est une innovation prometteuse en direction des biotechnologies et en particulier la microfluidique de gouttes (gouttes d'eau dans l'huile) qui permet la manipulation très précise de volumes très petits de réactifs (1-100 pL) et à des débits très élevés (1000 gouttes par seconde dans notre cas). Un exemple d'application innovante possible de cette technologie est le tri de cellules uniques encapsulées dans des microgouttelettes: le niveau d'expression de biomolécules (par exemple, anticorps pour la découverte d'anticorps thérapeutiques), fluctuant d'une cellule à l'autre, peut induire des fluctuations d'intensité

de fluorescence, indépendantes de l'interaction à tester et perturbant donc le tri.

La mesure la plus sensible de DVF est établie, depuis plus de 50 ans, comme étant la mesure de photons uniques corrélés en temps (*time correlated single photon counting* - TCSPC). Elle nécessite cependant de compter les photons un par un, et est donc réputée trop lente pour être mise en œuvre dans des applications de haut-débit. Nous avons montré qu'il s'agit en réalité d'un préjugé technologique et que le comptage de photons uniques pour une mesure de DVF peut être mis en œuvre, en temps réel, pour des applications à haut débit (voir figure)¹.

¹ Léonard, J., N. Dumas, J.-P. Causse, S. Maillot, N. Giannakopoulou, *et al.*, *High-throughput time-correlated single photon counting. Lab on a Chip* 14, 4338-4343 (2014).

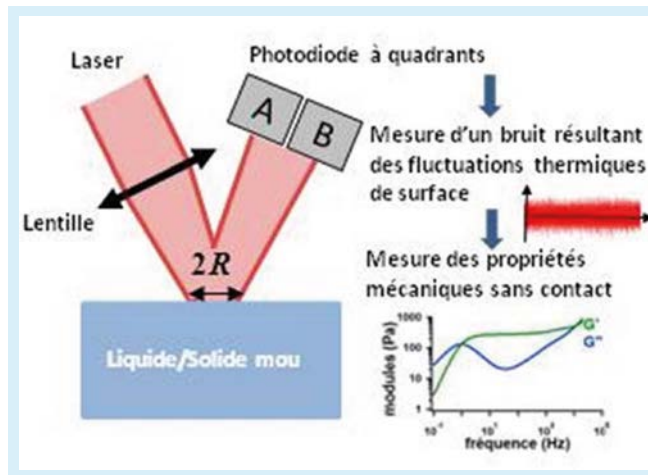
Plus récemment, nous avons démontré, avec la même approche, la faisabilité d'un criblage d'activité enzymatique reposant sur une mesure de DVF et un protocole biochimique mis au point par la société Novartis, et dans des conditions de débit 2 ordres de grandeurs plus élevés qu'actuellement possible chez Novartis.

Suite à ces développements préliminaires, le CNRS a financé un projet de prématuration (2016-2017) pour explorer plusieurs perspectives de valorisation de cette technologie, en collaboration avec les Prof. Wilfried Uhring (ICUBE, Strasbourg) et Andrew Griffiths (ESPCI, Paris).

Fluctuations de surfaces libres ou comment mesurer les propriétés mécaniques et dynamiques des systèmes de la matière molle... sans les toucher !

Laurence Talini, Christian Frégnigny, François Lequeux, Laboratoire Sciences et Ingénierie de la Matière Molle (UMR 7615 CNRS/ESPCI/UPMC).

En fluctuant sous l'effet de l'agitation thermique, liquides et solides révèlent spontanément certaines de leurs propriétés. La mesure des



Principe de mesure sans contact des propriétés mécaniques: les fluctuations thermiques d'un liquide ou solide mou au repos sont mesurées grâce à un faisceau laser qui se réfléchit à la surface. Les propriétés mécaniques peuvent être déduites du bruit mesuré dans une très large gamme de fréquences.

fluctuations thermiques fournit donc un moyen de déterminer des grandeurs caractéristiques, par exemple mécaniques, sans avoir à appliquer de sollicitation. Nous avons utilisé cette idée pour mettre au point une mesure des propriétés mécaniques de liquides et de solides mous, sans aucune sollicitation mais aussi sans aucun contact. Pour cela, un faisceau laser est réfléchi à la surface libre du matériau sondé, qui se comporte comme un miroir dont l'orientation fluctue. Les fluctuations de position du faisceau réfléchi qui en résultent sont mesurées et analysées afin d'en déduire les propriétés du matériau. Il est ainsi possible de mesurer la viscosité d'un liquide à distance et sans le mettre

en écoulement, ce qui ouvre un très large champ d'applications. À un niveau plus fondamental, la mesure des fluctuations de surface donne accès aux propriétés à l'échelle de quelques molécules de films liquides fortement confinés, et permet également d'étudier la dynamique particulière des fluctuations de systèmes proches de leur transition vitreuse.



Laurence Talini et son équipe

SPÉCIALISTE DES TECHNOLOGIES FIBRES OPTIQUES ET LASER

Nouvelles solutions DE CONNECTEURS OPTIQUES

02 96 05 40 20
 21 RUE DE BROGLIE
 22300 LANNION
www.idil.fr

IDIL élargit son offre et lance 2 nouveaux types de connecteurs :

- Connecteur à maintien de polarisation **PER>25dB**
- Connecteur à **faisceau étendu** pour environnements sévères - haute puissance - hybride (électrique/optique)

Fiber optics & Components

Fiber sensors

Education systems

Lasers & Amplifiers

Optoelectronic systems

Spectroscopy & Microscopy

20 IDIL
 YEARS OLD
FIBRES OPTIQUES
 System & components for science & industry

Convertir des électrons en plasmons à l'aide d'une seule molécule

Une première étape importante visant à utiliser une molécule unique comme convertisseur entre circuits électroniques et plasmoniques vient d'être franchie.

Unissant onde électromagnétique et excitation électronique à la surface d'un métal, les plasmons de surface peuvent être guidés et confinés à l'échelle du nanomètre, et potentiellement permettre le développement d'une électronique ultra miniaturisée et ultra rapide. À cette échelle de taille, une solution idéale pour produire et détecter des plasmons est d'utiliser une unique molécule. Toutefois, le contact direct entre une molécule et les électrodes censées l'exciter est fatal pour les propriétés optiques et électroniques de cette dernière. Il reste possible d'utiliser des molécules en solution excitées optiquement, ou bien une molécule isolée du métal par une fine couche d'isolant et excitée par un microscope à effet tunnel. Déjà mises en pratique, ces solutions ne s'avèrent toutefois pas exploitables pour des applications et notamment pas propices à la réalisation de composants hybrides couplant circuits électriques et plasmoniques. Pour la première fois, des équipes de physiciens et de chimistes de l'Institut de physique et chimie des matériaux de Strasbourg (CNRS/Univ. Strasbourg) et de l'Institut Parisien de Chimie Moléculaire (CNRS/UPMC) viennent d'intégrer une molécule de porphyrine dans un circuit électronique à l'aide de fils moléculaires. Ils sont alors parvenus à faire émettre à cette dernière des plasmons en faisant circuler un courant électrique dans le circuit ainsi créé. Ce travail, qui permet d'envisager

la réalisation de transducteurs couplant des circuits électroniques traditionnels à des circuits plasmoniques ultra miniatures et ultra rapides, est publié dans la revue *Physical Review Letters*.

Pour commencer, les chercheurs ont synthétisé chimiquement leur dispositif à la surface d'un substrat d'or (Au111). Ils ont déposé par évaporations successives deux sous-parties de la structure organique finale. La première est une molécule de porphyrine capable d'émettre de la lumière, la seconde, un fil organique (ici du polythiophène) capable de conduire efficacement le courant électrique. Un chauffage de l'échantillon a permis la réalisation de chaînes composées d'une succession de molécules émettrices et de fils conducteurs, via un processus de polymérisation. Ensuite, en travaillant dans des conditions de vide et de très basses températures, l'extrémité de l'un des fils de polythiophène a été saisie avec la pointe d'un microscope à effet tunnel (par simple contact physique) et soulevée (de 2 nanomètres), afin d'éloigner la molécule émettrice la plus distante dans la chaîne du substrat. Le fil de thiophène permet ainsi le passage des électrons qui génèrent l'excitation (le circuit), mais également l'éloignement de la partie émettrice des électrodes, ce qui évite de fait l'hybridation avec les orbitales du substrat. Une fois la molécule suspendue dans la jonction, les chercheurs ont appliqué une différence de tension entre les électrodes.

Le courant qui traverse la jonction moléculaire provoque l'excitation de la molécule. La lumière émise lors du retour à l'état non excité a été collectée par une lentille qui redirige le signal vers une caméra CCD munie d'un spectromètre. Ce système permet de résoudre en énergie la lumière émise. La « désexcitation » de cet émetteur conduit à l'observation d'une raie d'émission lumineuse intense, à une longueur d'onde caractéristique de la fluorescence de la molécule. Les physiciens ont alors comparé cette longueur d'onde au spectre des plasmons qu'ils ont mesuré par ailleurs. Ils ont constaté que l'émission de la molécule était réduite aux fréquences pour lesquelles les plasmons étaient intenses. Cela signifie qu'au lieu d'être émise sous forme de lumière, une partie de l'énergie cédée à la molécule a été convertie en plasmons. Autrement dit, nous avons ici la preuve d'une émission efficace de plasmons lorsque les conditions de résonance sont vérifiées.

Source : Institut de Physique du CNRS, www.cnrs.fr/inp

RÉFÉRENCE

Michael C. Chong, Gaël Reecht, Hervé Bulou, Alex Boeglin, Fabrice Scheurer, Fabrice Mathevet, Guillaume Schull, *Narrow-line single-molecule transducer between electronic circuits and surface plasmons*, *Physical Review Letters*, <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.036802>

SOCIÉTÉS : MARC LE FLOHIC, PDG DE QUANTEL



Le conseil d'administration de Quantel, réuni le 18 novembre 2016, a nommé en tant que Président du Conseil d'administration et Directeur général, en remplacement d'Alain de Salaberry, Marc Le Flohic, nouvel actionnaire de référence de Quantel à travers la société Eurodyne,

qu'il contrôle indirectement. Dans le cadre de ses nouvelles fonctions, Marc Le Flohic s'appuiera sur Laurent Schneider-Maunoury, Directeur Général Délégué, et bénéficiera de l'assistance d'Alain de Salaberry en tant que conseil. Après un doctorat de physique

à l'université de Rennes, Marc Le Flohic a démarré sa carrière en tant que chercheur, à l'université de Toronto au Canada, avant de rejoindre la société américaine Pritel en tant qu'ingénieur R&D, puis de créer en 1997 la société Keopsys à Lannion.

Amplitude Systèmes



Questions à **Éric Mottay**,
PDG d'Amplitude Systèmes

Photoniques (PH): Pouvez-vous décrire votre produit en 3 mots-clés?

Amplitude réalise des lasers ultrabrefs, pour des applications scientifiques, médicales et industrielles. L'entreprise maîtrise deux technologies majeures: les lasers titane:saphir de forte puissance, principalement dédiés au secteur de la recherche; et les lasers ytterbium, optimisés pour les applications industrielles.

PH: Pouvez-vous décrire la genèse du concept-phare?

Durant les années 1990, l'accès à la technologie femtoseconde a permis des percées scientifiques importantes. Simultanément, une communauté plus appliquée a démontré la capacité des impulsions brèves à réaliser une ablation de la matière de façon quasi athermique, ouvrant ainsi la voie au micro-usinage de précision. À cette époque cependant, la taille et la fiabilité des sources titane:saphir ne permettaient pas d'espérer les voir sortir du laboratoire.

Aux alentours de l'an 2000, l'apparition de matériaux lasers dopés ytterbium, ainsi que la disponibilité de composants fiables issus du développement des télécommunications optiques, a changé la donne. Les travaux menés sur le sujet par le laboratoire CELIA, dirigé à l'époque par François Salin, sont directement à l'origine de la création d'Amplitude Systèmes à Bordeaux.

PH: Pouvez-vous dire un mot sur la genèse de l'entreprise (comment passer de l'idée au produit)?

Une rupture technologique réelle crée par nature une activité ou des marchés nouveaux, et ne se prête pas spontanément à une analyse exhaustive du marché ou une planification du développement. Elle est plutôt portée par une conviction très souvent mise à rude épreuve.

Nous avons la chance en Europe, et plus particulièrement en France, d'évoluer dans un environnement favorable aux ruptures technologiques. La qualité de la recherche fondamentale, les mécanismes de soutien à l'innovation (Crédit-impôt Recherche, SATT et incubateurs, pôles de compétitivité), font qu'il est possible dans notre pays de créer et développer une entreprise technologique sans une mise de fonds initiale considérable. La difficulté peut surgir au bout de quelques années. Si la technologie n'a pas encore trouvé son marché, des financements complémentaires sont nécessaires. Si au contraire les marchés s'ouvrent, des financements encore plus importants s'imposent.

PH: Quel est le marché identifié (taille, lieu géographique, public ciblé, marché existant et/ou à construire)?

Le marché des lasers ultrabrefs tourne vraisemblablement autour de 400 à 500 M\$, et connaît depuis plusieurs années une croissance soutenue. Il s'agit par nature d'un marché mondial, dans lequel l'Asie prend une part de plus en plus importante, tant au niveau industriel que scientifique.

PH: Quel est le paysage concurrentiel (France et étranger)?

On compte aujourd'hui quatre acteurs majeurs, maîtrisant à la fois les technologies industrielles et scientifiques. **Coherent** et **Newport**, par l'acquisition respective de Lumera et High-Q, ont acquis la technologie ytterbium qui manquait à leur portefeuille. **Trumpf** en Allemagne a initialement développé une source laser picoseconde, puis, avec l'aide du Max Planck Institute à Garching, s'est doté d'une compétence scientifique. Une levée de fonds significative a permis en 2012 à **Amplitude** d'asseoir sa croissance et de devenir aujourd'hui le seul acteur maîtrisant l'ensemble des technologies laser femtoseconde.

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



Crédit photo : Fotolia

Un nouveau pôle de compétitivité d'envergure pour la Nouvelle-Aquitaine

Le sud-ouest de la France figure en tête de peloton des régions d'implantation de la photonique française. Les pôles de compétitivité respectifs des deux ex-régions Aquitaine et Limousin, s'appêtent aujourd'hui à fusionner pour donner naissance à une structure de premier plan.

Né en 2005 sous l'impulsion du CEA et des pouvoirs publics pour appuyer la dynamique initiée par le lancement du laser mégajoule (LMJ), le pôle de compétitivité Route des Lasers a pour vocation de stimuler l'innovation, et de l'accompagner dans sa transposition en activité économique.

« Route des Lasers a un rôle de facilitateur, que ce soit pour faire naître l'idée, puis pour choisir les partenaires et les financements, précise Hervé Floch, Directeur général du pôle Route des Lasers. Le modèle public-privé de labellisation et de financement des projets, donne lieu à un partenariat en mode collaboratif. Notre rôle est de stimuler l'innovation, et de la faire passer du laboratoire à l'industrie, pour qu'elle contribue à la croissance du secteur, crée des emplois, et rende les PME compétitives. »

De nombreux projets sont labellisés (41 en 2015, 431 depuis la création du pôle), dont une partie

est également financée (61 M€ dont 28 M€ d'aide publique en 2015); depuis le début des années 2000, une trentaine de start up ont été créées, dont la moitié dans le cadre du centre de transfert technologique Alphanov.

Le pôle est également tourné vers le développement à l'international, avec des implantations aux États-Unis et en Chine, mises à la disposition des adhérents.

La région de Bordeaux, un creuset pour l'innovation

En plus de moyens technologiques importants, avec ses grandes installations (LMJ, PETawatt Aquitaine Laser - PETAL), la région concentre des talents de très haut niveau. Route des Lasers a contribué à faire émerger de nombreux produits innovants, à l'image des lasers femtoseconde compacts d'Amplitude Systèmes, qui trouvent

des applications dans le médical ou le contrôle non destructif pour le bâtiment ou l'aéronautique.

Autres « pépites » nées avec l'aide du pôle : Nethis, qui propose des caméras térahertz ; Sunna Design positionné sur l'éclairage Led et le photovoltaïque en solution autonome, et présent en Afrique dans le cadre de projets d'économie solidaire ; μ Quans et son gravimètre à atomes froids ouvrant des perspectives dans l'exploration du sous-sol ; ou encore Poetis et son imprimante laser 3D de tissus vivants.

« L'offre technologique autour des lasers est de plus en plus forte, souligne Hervé Floch, avec par exemple les lasers à impulsion permettant la nano-texturation des surfaces, ou les avancées importantes de la fabrication additive. »

Pour le développement d'applications biomédicales, le pôle Route des Lasers compte aussi des partenaires solides tels que l'Institut Bergonié

(nouveaux protocoles de radiologie et radiothérapie, voire protonthérapie) ou des services hospitaliers de cardiologie, d'ophtalmologie et de neurochirurgie pour des applications de nanochirurgie et d'imagerie hyper-résolue.

Le pôle compte aussi parmi ses adhérents plusieurs groupes industriels majeurs – Thales, Airbus, Safran, Dassault, Agfa Healthcare...

Elophys, pôle pluridisciplinaire

Tout comme son homologue bordelais, Elophys, également labellisé pôle de compétitivité national, a pour principale mission de soutenir les projets collaboratifs R&D, et favoriser la création d'entreprises. Le pôle limousin s'appuie sur des partenariats avec les laboratoires XLIM (composants photoniques et micro-ondes, mathématiques, systèmes de communications sécurisées, synthèse d'images), le CEA / Gramat, et le CeReS (Centre de Recherches Sémiotiques de l'Université de Limoges).

Mais contrairement au pôle Route des Lasers centré sur l'optique photonique, Elophys est pluri-disciplinaire, avec une forte représentation de l'électronique/hyperfréquences (la moitié de ses adhérents), ainsi que des compétences sur les produits domotiques. Parmi les adhérents du domaine photonique figurent les sociétés Cilas (systèmes laser, optronique), Horus Laser (sources micro lasers pulsés - conversion de fréquence dans le visible, l'UV et l'IR), Leukos (sources laser large bande, composants fibrés), Micro Contrôle Spectra Physics (systèmes de positionnement), Novae (lasers ultra-brefs de forte énergie), Photonis (photo-détection)...

Un pôle redimensionné pour son nouveau territoire

Dans le cadre de la réforme territoriale, les pôles de compétitivité des régions Aquitaine et Limousin ont ouvert des discussions dès 2015 sur de possibles

synergies. Les deux pôles ont rapidement envisagé un rapprochement, aujourd'hui acté. « *La fusion donnera naissance à un pôle de compétitivité au socle technologique élargi : photonique/lasers et électronique/hyperfréquences*, explique Hervé Floch. *Les domaines d'applications de l'optique photonique seront conservés – santé et dispositifs médicaux, bâtiment intelligent, aéronautique, spatial, défense... et associés à ceux de l'électronique – communications, sécurité. Avec, en transverse, la dimension logicielle des produits.* »

Le nouveau pôle sera baptisé ALPHA – Route des Lasers & des Hyperfréquences ; sa direction générale sera basée à Bordeaux, tandis que le site de Limoges sera conservé. La création d'une antenne en Poitou-Charentes, désormais rattachée administrativement à la Nouvelle-Aquitaine, est également à l'étude : ce nouveau site permettrait à la structure de toucher de nouveaux domaines d'activité stratégiques – avec un fort potentiel dans le naval et le nautique, de par les technologies qu'ils embarquent.

Avec un territoire étendu, la nouvelle structure comptera 270 adhérents ; elle ambitionne de passer la barre des 300 d'ici à fin 2018, pour devenir un pôle de référence au plan national. Elle recherchera les synergies avec des pôles représentatifs d'autres secteurs permettant une combinaison de technologies à même de toucher les marchés, à l'image du partenariat noué en 2014 avec Aerospace Valley.

« *La collaboration avec le CNOP – dont Route des Lasers et Elophys sont déjà membres – sera également renforcée, pour faire rayonner la photonique française à l'international, et faire en sorte qu'elle soit entendue des pouvoirs publics, au niveau français comme européen* », conclut Hervé Floch. Officiellement créé le 8 décembre 2016, le pôle de compétitivité ALPHA – Route des Lasers et des Hyperfréquences affiche donc une feuille de route ambitieuse, avec toujours pour objectif premier, le développement économique territorial par l'innovation.

Vincent COLPIN

imagine  optic™



1 9 9 6

20
A N S

2 0 1 6



**ANALYSEUR DE
FRONT D'ONDE
MIROIR DÉFORMABLE
OPTIQUE ADAPTATIVE**

*Métrie optique et optique adaptative
pour lasers et microscopie*

www.imagine-optic.com



10 ans au service de l'innovation

Depuis 2007, ALPhANOV, le centre technologique du pôle de compétitivité Route des Lasers, met son expertise au service de l'industrie photonique et contribue ainsi au développement de solutions et de produits innovants. Petit tour d'horizon de ce que nous pouvons faire pour vous en lasers, fibres optiques, procédés laser industriels et systèmes et procédés médicaux...



Des modes d'intervention variés, s'adaptant aux besoins des industriels

Études de faisabilité, développement de procédés ou de prototypes, prise en charge de petites séries, mise au point et fabrication de systèmes complets et de machines spéciales : nous intervenons tout au long du cycle de maturation d'un produit ou d'un procédé. Mais certains de nos modes d'intervention sont plus originaux : prise en charge de tout ou partie de votre R&D, R&D collaborative afin de développer des briques technologiques communes, montage et participation à des projets collaboratifs au niveau national ou international.

Une originalité : l'accompagnement technologique des start-ups

Notre plateforme technologique industrielle est dédiée à l'accueil des start-ups que nous accompagnons dans leur développement technologique : mise à disposition de personnel, prise en charge de la R&D, transfert de technologie, ... , nous nous adaptons à vos besoins. Depuis 10 ans, nous avons ainsi accompagné 19 entreprises* et avons été récompensé par plus de 10 trophées nationaux et internationaux.

* Argolight, Azur Light Systems, Cordouan Technologies, Elements Metrology, FemtoEasy, Femtoprint, Innoptics, Iriosome, Kwele, Lasea France, Laser 3S, Morialase, Muquans, Nanopulse, Nethis, Novae, Poietis, Pulscan, Spark Lasers.



Le Centre d'études scientifiques et techniques d'Aquitaine (Cesta), implanté au sud de la Gironde, est un des 5 centres de la Direction des applications militaires du CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives).



Le Cesta accueille et exploite le très grand instrument de physique qu'est le Laser Mégajoule (LMJ), unique en Europe, qui permet, en focalisant des impulsions laser de fortes énergies pour chauffer de petites cibles, la réalisation des expériences scientifiques pour ses programmes au service de la Défense. Afin de répondre aux besoins de la communauté académique, la Région Nouvelle-Aquitaine, l'Etat et l'Europe ont financé le laser PETAL (Petawatt Aquitaine laser), un faisceau supplémentaire de haute puissance développé et construit par le CEA. Le CEA met ainsi l'infrastructure LMJ/PETAL à la disposition de la recherche civile pour 20 à 30% du temps disponible sur l'installation pour des expériences dans les domaines de l'astrophysique, la planétologie, la création de faisceaux de particules ou la production d'énergie.

Ce sont les laséristes et les opticiens du Cesta, avec l'appui de l'industrie « photonique » française, qui ont conçu, développé et fabriqué ces grands lasers et qui travaillent déjà à leurs évolutions. Les compétences reconnues des équipes sont :

- Conception et modélisation des lasers de puissance impulsions dans les gammes fs à ns.
- Conception et fabrication de :
 - sources laser fibrées aux fonctionnalités complexes,
 - dispositifs de mise en forme spatiale temporelle et spectrale,
 - amplificateurs laser ou paramétriques d'impulsions modulées en phase ou à dérive de fréquence,
 - dispositifs d'alignement et de correction de surface d'onde,
 - diagnostics laser spécifiques.
- Conception, fabrication et contrôle de composants optiques (jusqu'à de grandes tailles).

CONTACT

ALPhANOV
 Arnaud ZOUBIR
 Tél : +33 (0)5 24 54 52 00
info@alphanov.com - www.alphanov.com

CONTACT

CEA Cesta
 Jean LAJZEROWICZ
 15 avenue des Sablières - CS 60001 - 33116 Le Barp Cedex
 Tél : +33 (0)5 56 49 24 92
Jean.lajzerowicz@cea.fr



Innovative Imaging Solutions

i2S, est une PMI spécialisée dans la capture et le traitement de l'image depuis 37 ans. Pour des professionnels qui ont des besoins de capture et d'analyse d'images spécifiques à leurs métiers, i2S accompagne ses clients avec des solutions innovantes et créatives qui permettent de révéler ce que l'œil ne saurait voir. A la différence de nos principaux concurrents, **i2S** apporte des réponses optimisées aux usages clés de nos clients.

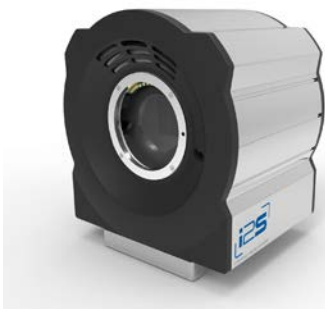
i2S est présente partout où l'image est incontournable, de la capture, à l'analyse et la visualisation. **i2S fabrique des caméras hautement technologiques, ergonomiques et accessibles**, capables de produire des qualités d'images touchant l'excellence.

Nos clients

La relation client/fournisseur évolue. Nos clients attendent de nous du conseil, de l'accompagnement, du suivi ou de l'innovation dans nos produits. Ils s'approprient cette exigence de qualité qui est la nôtre. Au-delà d'être toujours plus proches, nous nous « ré-inventons » pour initier une nouvelle relation de proximité, de confiance mutuelle et de partage.

Une offre produit et service toujours plus créative

i2S distribue des composants de vision et propose des services associés. Experte depuis plus de trente-cinq ans dans les domaines de la vision industrielle, de l'imagerie et du traitement d'image, elle commercialise une large gamme de produits allant de composants standard de grande marque à une personnalisation des solutions. Depuis plus de 30 ans i2S conçoit et fabrique des caméras OEM et des systèmes optroniques innovants. Nos solutions de captation d'images sont présentes dans de nombreux domaines d'activités : le médical et la santé, l'inspection industrielle, l'aérospatiale, la numérisation documentaire. Chez i2S, nos clients sont nos partenaires, nous co-crédons, chaque jour, avec eux, **pour tendre à l'excellence de nos produits avec toujours plus d'innovation et de créativité.**



CONTACT

i2S
Corinne BARBOT
c.barbot@i2s.fr - www.i2s.fr - www.i2s-vision.fr



Pro-Lite Technology, un acteur majeur de la Photométrie/Radiométrie



La filiale française du groupe anglais Pro-Lite Technology offre aux industriels situés dans l'hexagone un savoir-faire unique en matière de photométrie. « Notre valeur ajoutée, c'est d'être capable de mesurer la lumière pour tous les types d'éclairage » explique Jérôme Castay, directeur commercial de Pro-Lite Technology France. La société travaille ainsi avec les producteurs de LED comme d'enseignes lumineuses, et propose des solutions complètes de mesure en fonction des besoins spécifiques de chaque client. Pro-Lite se différencie également par sa maîtrise des instruments haut de gamme, développées grâce à sa collaboration avec les leaders des fabricants d'instrument de mesure photométrique Labsphere (sphère intégrante) et Radiant Vision Systems (vidéophotomètre).

Un savoir-faire d'excellence indispensable

Pro-Lite a aussi développé un savoir faire unique dans l'étalonnage de capteurs, comme les caméras CCD ou CMOS ou encore les systèmes d'imagerie hyperspectrale. « L'uniformité des capteurs est essentiel pour avoir une bonne lecture de l'environnement » rappelle Jérôme Castay.

Grace à la diversité de ses technologies et à ses solutions innovantes, Pro-Lite est aujourd'hui un partenaire indispensable dans plusieurs secteurs de pointe.

- Pro-Lite travaille avec les acteurs majeurs dans le domaine de la télédétection qui est de plus en plus utilisées dans l'agriculture et le spatial.
- Pro-Lite est également présent dans le secteur automobile avec l'essor du véhicule autonome qui nécessite une batterie de capteurs étalonnées et de grande précision. Son savoir-faire et ses solutions innovantes lui permettent de répondre à tout type de besoin.
- Et enfin dans le secteur des drones où le marché demande des caméras de plus en plus compactes tout en gardant les mêmes performances voir même en les améliorants. C'est là où intervient Pro-Lite en proposant des solutions d'étalonnage de plus en plus poussées.

CONTACT

Pro-Lite Technology France - Site Montesquieu
Jérôme CASTAY
2 allée Ulysse Gayon - 33650 Martillac, France
Tél. : +33 (0)5 56 49 24 92
jerome.castay@pro-lite.fr - www.pro-lite.fr

Hans Lippershey (ou Lipperhey)

Opticien-verrier et fabricant de lentilles hollandais d'origine allemande, Hans Lippershey est généralement reconnu comme le premier à avoir décrit (à défaut d'avoir inventé) le concept de la longue-vue, dont dérivent ceux de la lunette astronomique et du télescope.

Riad HAIDAR, haidar@onera.fr



PRINCIPALES DATES

1570	Naissance à Wesel (Rhénanie-du-Nord - Westphalie, Allemagne)
1594	Apprenti-verrier
1608	Demande de brevet pour la longue-vue
1619	Décès à Middelbourg (Zélande, Pays-Bas)

Portrait de Hans Lippershey

Hans Lippershey (parfois orthographié Lipperhey), également appelé Jan Lippersheim, naît aux alentours de 1570 à Wesel, une ville membre de la puissante Hanse germanique (association de villes marchandes d'Europe du Nord, très influente entre le 12^e et le 17^e siècles), et à ce titre particulièrement prospère. Notons que Wesel, située au bord du cours inférieur du Rhin, à la limite nord-ouest de la région de la Ruhr en actuelle Rhénanie-du-Nord - Westphalie, se trouve à 45 km à peine de la frontière néerlandaise.

On en sait peu sur l'enfance de Lippershey, mais on retrouve sa trace en 1594. À cette époque, il se marie et s'installe justement aux Pays-Bas, dans la ville de Middelbourg (Middelburg en néerlandais), située dans l'ancienne île de Walcheren sur le canal éponyme, dans la province de

Zélande. Middelbourg est alors une ville florissante, surtout depuis que la puissante Anvers est tombée aux mains des espagnols en 1585 et qu'elle s'est vidée de ses protestants, qui constituaient une très large part de son élite commerciale et intellectuelle.

Lippershey apprend le métier de polisseur de lentilles, et devient un maître-verrier réputé. L'usinage du verre est alors une technique délicate venue de Venise et Florence, où elle est née au 13^e siècle, qui s'est enrichie de nouveaux procédés dans les années 1590 (parmi lesquels probablement quelques idées sur la combinaison de lentilles) et s'est étendue aux Pays-Bas et en Allemagne.

À l'issue de son apprentissage, Lippershey ouvre une échoppe d'opticien lunetier et, en 1602, il est naturalisé citoyen de Zélande.

Le saviez-vous ?

Hans Lippershey n'a probablement pas été le premier à expérimenter la combinaison de lentilles pour créer des instruments optiques grossissants, et on ne saura probablement jamais qui est l'inventeur de la longue-vue (et donc du télescope). Qu'on en juge : certaines histoires parlent d'un dispositif télescopique « magique » au 16^e siècle (donc antérieur à celui de Lippershey) ; quelques historiens attribuent à Giambattista della Porta de Naples la découverte des propriétés télescopiques des combinaisons de lentilles dès 1589 ; et puis, trois semaines à peine après la demande de brevet de Lippershey, Jacob Metius, maître-verrier renommé, installé à Alkmaar, une ville du nord des Pays-Bas, déclare être également l'inventeur de la longue-vue ; plus tard encore, c'est au tour de Zacharias Janssen, opticien-lunetier à Middelbourg comme Lippershey, de réclamer la paternité de la longue-vue... Néanmoins, si la genèse de l'instrument reste inconnue, Lippershey est généralement considéré comme le premier à avoir décrit la longue-vue dans un document. Dans la version originale, Lippershey considère un système fait soit de deux lentilles convexes (donnant une image inversée), soit d'un objectif convexe et d'un oculaire concave (donnant une image bien orientée). Par ces combinaisons, sa longue-vue présente un grossissement $\times 3$.

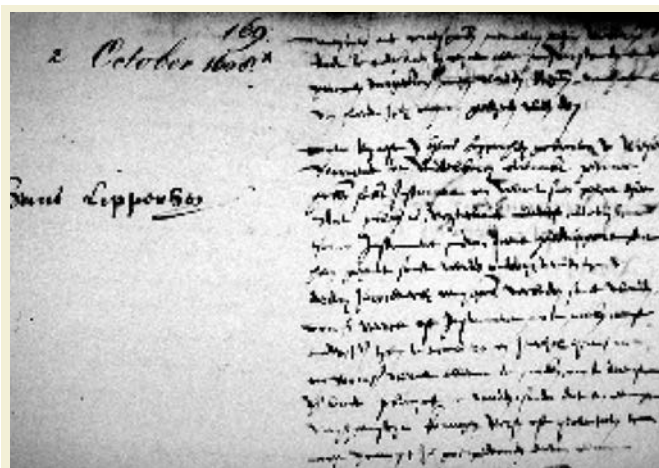
Invention de la longue-vue ?

Pour les historiens, Hans Lippershey est le premier à avoir décrit, à défaut de l'avoir *inventé*, le concept de la longue-vue (*i.e.*, un instrument d'optique monoculaire destiné à obtenir une vision rapprochée des objets éloignés), dont dérivent ceux de la lunette astronomique et du télescope.

Il est certes possible que Lippershey ait fait cette découverte par lui-même, mais il est plus probable qu'il l'ait reprise de son entourage. Selon une des légendes qui circulent, l'idée lui en serait venue en observant deux enfants qui jouaient avec des lentilles dans son échoppe, et qui remarquèrent qu'en la regardant à travers deux lentilles, une girouette sur une église voisine leur paraissait plus grande et plus lumineuse. Lippershey aurait alors refait lui-même l'expérience et réalisé tout le potentiel de l'instrument... Quoiqu'il en soit, plaçant un tube entre les lentilles, Lippershey rend le système plus maniable, le baptise « kijker », ce qui signifie littéralement « viseur » en néerlandais, et dépose une demande de brevet.

Demande de brevet

Le 25 septembre 1608, le gouverneur de Zélande adresse, à la demande de Lippershey, une lettre au *stathouder* Maurice de Nassau, gouverneur général des Provinces-Unies des



Demande de brevet de Lippershey, datant de septembre 1608.

Pays-Bas, où il est fait mention d'un « certain dispositif au moyen duquel toutes les choses à une très grande distance peuvent être vues comme si elles étaient à proximité » et qui semble être une nouvelle invention. Le 2 octobre 1608, Lippershey introduit une demande de brevet pour cet instrument – ou sollicite, à défaut, une pension annuelle, en échange de quoi il s'engage à ne pas vendre ses longues-vues aux rois étrangers. Sa demande de brevet n'aboutira finalement pas, car l'invention est jugée difficile à tenir secrète, mais le *stathouder* lui accorde une compensation financière conséquente.

Dissémination de l'idée

Comme pour confirmer l'intuition du *stathouder* sur la difficulté de garder le secret, la demande de brevet de Lippershey est mentionnée à la fin du rapport de la mission diplomatique du Royaume de Siam envoyée aux Pays-Bas par le roi Ekathotsarot. Ce rapport, rendu public à la fin de 1608, donne naissance à une rumeur persistante sur le *kijker* de Lippershey, une rumeur qui se propage irrésistiblement et suscite immédiatement des initiatives un peu partout en Europe. Citons Paolo Sarpi en Italie; Jacques Badovere en France; Thomas Harriot en Angleterre; et puis, enfin, Galilée... Galilée, dont le génie améliore l'instrument, le transforme en une lunette astronomique avec un grossissement $\times 20$. Avec sa lunette, il repère des montagnes et des cratères sur la lune, il comprend que la Voie Lactée est composée d'étoiles, et il découvre les quatre grandes lunes de Jupiter.

Étranger à cette formidable agitation scientifique, qu'il a involontairement initiée et à laquelle il ne participe pas, Hans Lippershey décède aux Pays-Bas en 1619. Il est enterré à Middelbourg le 29 septembre.

RÉFÉRENCES

- [1] Robert Halleux, *La science classique*, Flammarion (1998)
- [2] Albert Van Helden, *The Invention of the Telescope*, Philadelphia (1977)

Caméra 3D ultra-flexible

IDS présente des modèles des séries Ensenso X

Aujourd'hui, la vision 3D est encore plus simple, plus précise et plus souple: les nouvelles séries Ensenso X constituent un système caméra 3D ultra-flexible, comprenant un projecteur d'une puissance LED 100 W et un switch GigE intégré, qui permet des réglages parfaitement sur mesure pour coller à vos besoins.

Les supports de fixation de la caméra sont disponibles dans une gamme de largeurs permettant l'implémentation des longueurs de base de différente taille. Vous pouvez aussi configurer l'angle de vue de la caméra et choisir entre des montures d'objectif variées C pour la caméra et le projecteur. Cette souplesse autorise un large éventail de distances de travail jusqu'à peu près 7,5 mètres, vous permettant de capter des objets d'un volume de plusieurs mètres carrés, par exemple des palettes ou des salles entières.

La technologie FlexView2 utilisée dans les séries Ensenso X améliore la précision Z jusqu'à un facteur



4, comparé à la précédente mode FlexView des modèles des séries N35. Par ailleurs, la résolution effectif spatiale en X et Y est doublée. Et elle est même bien plus fiable quand elle est utilisée pour des surfaces sombres ou réfléchissantes. Vous pouvez utiliser le SDK Ensenso pour le paramétrage et démarrer en vous servant des modèles Ensenso X, et en suivant les mêmes étapes usuelles que pour

les précédents modèles. L'assistant de configuration est une nouvelle fonction qui vous permet de régler la focale de votre caméra 3D et de la calibrer.

C'est si simple! Vous pouvez utiliser le sélecteur de caméra Ensenso pour choisir les composants. Entrez tout simplement vos paramètres dans l'outil de configuration en ligne et celui-ci listera les meilleures combinaisons possibles pour votre application.

CONTACT

IDS Imaging Development Systems
<https://fr.ids-imaging.com/>
 Tél. : +33 1 42 21 47 04

LE MARKETING

au service de la photonique

Partie 1. Le marketing pour transformer un concept en réalité

Benoît d'HUMIÈRES
Associé TEMATYS
bdhumieres@tematys.com

Vous créez une start-up, vous engagez une diversification de l'activité de votre PME, vous étoffez votre gamme de produits ; toute nouvelle activité, tout nouveau business commence par un concept. Vous, vos associés, votre équipe, avez une idée de produit. Le produit auquel vous rêvez sera plus performant, moins cher, ou alors il n'existe pas encore, mais répondra à une attente du marché. Vous allez transformer ce concept en réalité.

Un long processus s'engage, une aventure presque. Car si l'idée vous appartient, si vous pouvez forger vos concepts à l'image de vos désirs, la réalité dont on parle n'est pas la vôtre. C'est celle de vos clients, de leurs besoins et de leurs attentes. Dans notre secteur de la photonique, la réalité est aussi cadrée par les limites de la physique et de la technologie. Un composant ou produit physique est toujours un compromis. Il peut accomplir certaines fonctions mais pas toutes. Il atteint certaines performances, jusqu'à une certaine limite. Il a un coût qui doit être justifié par une valeur ajoutée perçue par le client.

Autrement dit, le concept est dans votre tête, la réalité commerciale appartient à tous les protagonistes de la chaîne de valeur, les partenaires, les sous-traitants et surtout les clients. Même dans les hautes technologies comme la photonique, un produit à succès est une rencontre réussie entre un rêve et cette réalité commerciale. Faire du marketing, c'est construire cette rencontre, c'est écouter les attentes du marché et les traduire pour définir les futurs produits. C'est aussi construire le discours pour que les futurs clients découvrent la valeur de vos produits et soient convaincus de les acheter. Mais nous fournirons une définition détaillée du marketing plus loin.

Comme toute activité de haute technologie, l'industrie photonique c'est d'abord du commerce !

La photonique produit du *hardware*, c'est-à-dire des composants et des systèmes manufacturés. C'est une activité de haute technologie et elle reste très proche de la recherche. Nombre d'entrepreneurs ont commencé leur carrière comme chercheur. Pourtant, comme tout secteur économique, la vocation de l'industrie photonique, c'est le commerce, l'échange de biens et de services contre de l'argent ! Lapalissade direz-vous ? Chacun jugera pour lui-même et pour son entourage.

Cette caractéristique n'est pas la seule partagée par toutes les industries de haute technologie. Il y en a une autre tout aussi fondamentale : les utilisateurs n'achètent jamais une technologie. Ils achètent une fonction accomplie grâce à une technologie intégrée dans un équipement. Ce qui leur importe ce sont les fonctionnalités du produit, à quoi il sert, dans quelles conditions l'utiliser, quelles sont ses limites, sa robustesse, et surtout, s'il répond au besoin qui les préoccupe. Cette caractéristique influencera particulièrement l'action marketing appliquée à la photonique.

Ce constat nous remplit d'humilité. Autant d'efforts pour maîtriser une technologie ! La mettre en œuvre dans un équipement ! Faire en sorte que le produit fonctionne ! Et votre prospect vous met en concurrence avec une veille technologie obsolète, bien plus limitée mais qu'il utilise depuis 20 ans !

Les spécificités de l'industrie photonique

Au-delà de ces caractéristiques générales, la photonique présente aussi des spécificités dont il faudra tenir compte dans l'action marketing. La première est sa transversalité. En effet, n'oublions pas que la Commission européenne l'a reconnue comme une *key enabling technology*. La *figure 1* présente toutes les fonctions que l'on peut accomplir grâce aux photons.

Ainsi, on utilisera des lasers aussi bien pour communiquer que pour éclairer, mesurer, découper etc. Ou encore, le même microspectromètre sera intégré dans un analyseur de produits allergènes ou un dispositif de surveillance de pollution des rivières. À Tematys, nous abordons souvent une nouvelle technologie développée par un chercheur comme une « solution qui cherche son problème ». Et un « bon » problème, du point de vue commercial, est celui pour lequel un client est prêt à payer suffisamment pour le voir résolu.

Seconde spécificité: la photonique est un marché à maturation lente. Il faut en moyenne dix ans pour qu'une start-up photonique décolle véritablement. Plusieurs raisons expliquent ce phénomène. Comme pour toute industrie *hardware*, développer un produit nécessite des capitaux et un investissement initial plus lourd que dans l'activité logicielle. Il faut d'abord rassembler des photoniciens, mais aussi des électroniciens, des développeurs logiciels, des mécaniciens de précision, et bien sûr des experts du domaine d'application visé: médical, environnement, industrie etc. Faire communiquer toutes ces compétences n'est pas toujours facile, d'autant plus que la physique et la matière ne se laissent pas faire facilement. La phase de mise au point et de « déverminage » d'un prototype industriel n'est jamais une sinécure.

Le deuxième facteur de maturation lente est lié à la transversalité de la photonique. Le secteur n'est pas un marché en soi comme l'automobile. Il s'adresse à des secteurs d'application. Mais encore faut-il convaincre les médecins, les chimistes, les ingénieurs matériaux, les ingénieurs télécom, voire le grand public, des performances et de la valeur ajoutée de la photonique.

Et même lorsqu'ils découvrent les bienfaits de la photonique, ils ne sont pas toujours prêts à investir des sommes astronomiques pour expérimenter des techniques nouvelles et vérifier comment elle peut leur servir. D'autant plus que la concurrence est rude. Combien de technologies face au photovoltaïque? Éolien, énergies fossiles, hydroélectrique, nucléaire, géothermique, hydrolien, biogaz et bien d'autres.

Les photoniciens font face à un questionnement difficile. La photonique a plein d'atouts pour les marchés d'application, mais qui est prêt à payer pour l'expérimenter jusqu'à ce que le marché devienne suffisamment grand pour s'auto-alimenter? Beaucoup de stratégies de développement de produits photoniques découlent de cette problématique comme par exemple l'utilisation du CMOS pour bénéficier des lignes de production déjà rentabilisées pour l'électronique, ou le détournement de composants à 1,5 μm dont le développement a déjà été financé par les télécoms.

Dépendre d'autres secteurs pour progresser soi-même est indéniablement un frein puissant.

Démystifier le marketing

La photonique, avec ses spécificités, est donc un marché plein d'opportunités, mais aussi parsemé d'incertitudes et de pièges à éviter. C'est le rôle du marketing de proposer, et surtout de sécuriser un parcours propice à la croissance et la prospérité de l'entreprise. La vocation du marketing, c'est de comprendre les attentes présentes et futures du marché et de donner aux dirigeants les moyens de choisir une stratégie, basée sur des informations aussi rationnelles et fiables que possible.

Une fois la stratégie choisie, une fois les produits développés en dialogue avec les futurs utilisateurs, l'équipe marketing traduit la valeur ajoutée du produit en argumentaire commercial et élabore les supports de ventes. Voici un résumé des 4 missions du marketing.

1. Étudier les marchés et ses tendances.

C'est souvent ce que l'on entend par l'« étude de marché ».

Cette mission comprend :

- l'étude de la demande (celle qui existe ou celle potentielle) et sa quantification,
- la prospective sur les futures évolutions,
- l'analyse de la concurrence.

Types of Photonic Systems	Sensing & imaging systems	Communication systems	Screens, displays, projectors, ...	LED, OLED, lamp systems	Photovoltaic systems	Laser & production systems
Photonic Functions	Acquiring information	Transmitting information	Delivering information	Light providing	Energy providing	Manufacturing
Examples	  	 	 	 	 	 

Figure 1. Toutes les fonctions que l'on peut accomplir grâce aux photons.

2. Définir et spécifier les futurs produits et les modèles d'affaires associés.

L'étude de marché est une « photographie ». Mais ce n'est qu'un document descriptif et prospectif. La deuxième mission de marketing est de l'exploiter pour définir de futurs produits et les modèles d'affaires associés. Nous verrons à quel point cette étape est cruciale, complexe et pleine de tâtonnements. C'est le lieu de rencontre entre le concept et la réalité commerciale. Nous verrons aussi qu'il existe des méthodes pour aller plus vite et sécuriser cette phase d'incertitude.

3. Élaborer des stratégies d'accès au marché et promouvoir les produits.

Avoir un produit « bien positionné », c'est-à-dire qui répond bien aux attentes des utilisateurs, ne suffit pas ! Combien d'entrepreneurs ingénieurs se sont posé la question ; « j'ai des produits plus performants que la concurrence, mais mes ventes ne décollent pas ! Pourquoi ? » Parce que le marché fonctionne déjà sans votre produit, parce que les clients ne vous connaissent pas, parce que votre entreprise est une TPE qui ne rassure pas les grands groupes... Il existe plein d'explications possibles. Et c'est le rôle du marketing d'élaborer des « stratégies d'accès au marché », c'est-à-dire des plans d'actions et des outils de promotion pour « atteindre » les clients quels que soient les freins, les barrières, les habitudes et les préjugés. Les stratégies d'accès au marché manquent le plus souvent dans les business plans.

4. Élaborer des stratégies de croissance.

La dernière mission du marketing est plus orientée vers le long terme. Elle consiste à construire la stratégie de croissance de l'entreprise ou de l'activité. Pour cela, la connaissance du marché et de la concurrence est primordiale car un plan de croissance s'appuie non seulement sur la R&D interne mais aussi sur

des opportunités d'acquisitions externes. Cet aspect est particulièrement vrai dans la photonique, qui est constituée d'une myriade de TPE spécialisées.

Que peut-on attendre du marketing appliqué à l'industrie photonique ? Nous l'avons vu, dans ce secteur, les technologies peuvent souvent servir et viser de nombreuses applications, alors que seulement quelques-unes seront de bons marchés, capables de soutenir la croissance d'une activité. Et dans le cas des start-ups, le choix des applications visées devra être encore plus drastique car elles n'ont pas les moyens de suivre plusieurs lièvres à la fois.

Une action marketing structurée permet de rationaliser ses choix grâce à l'écoute des clients avant même de développer le produit, de baser les décisions sur une analyse de faits et une délimitation des risques. Le marketing ne produit pas de certitude puisque sa vocation est de comprendre les attentes futures des clients et celles-ci sont très rarement définies précisément.

En revanche, il délimite des possibles en orientant les développements vers les zones de probabilités de succès les plus élevées. Autrement dit, il sécurise un parcours de croissance.

Prenons un exemple volontairement théorique. Une start-up française a développé un capteur utilisable sur les navires, sur les machines agricoles dédiées à la culture de la papaye et dans l'automobile. Le marché le plus attractif, le « jackpot », c'est l'automobile avec ses très gros volumes et une forte industrie nationale pour servir de tremplin. Mais chacun sait à quel point cette industrie est difficile à pénétrer, tant il faut apporter de garanties sur la fiabilité du produit, la pérennité financière, les coûts de production, mais aussi les infrastructures industrielles de production et la logistique à flux tendu. Pour la papaye, on peut s'interroger sur les capacités d'investissement de cette filière agricole, en particulier en France. Enfin le marché maritime, n'offre pas de perspectives de très gros volumes mais la valeur ajoutée du produit est suffisamment bien perçue pour convaincre des *early*

Définitions utiles

Étude de marché : étude et quantification de la demande commerciale d'un produit, analyse des usages associés, la prospective sur les futures évolutions, l'analyse de la concurrence.

Étude de positionnement : étude de définition du meilleur produit commercial concevable à partir d'une technologie donnée sur un secteur applicatif donné. Une étude de positionnement élabore un ou plusieurs concepts de couples produit/marché et analyse et compare leur potentiel commercial respectifs. Concevoir un couple produit/marché consiste à décrire une fonctionnalité et une valeur ajoutée (l'offre), une cible de clients, un business model associé et une situation dans une chaîne de valeurs. Les critères de comparaisons des couples produit/marchés dépendent du secteur visé, des clients cibles mais aussi de l'entreprise qui porte le nouveau produit, et de sa capacité d'investissement. Stratégie d'accès au marché : plans d'actions et des outils de promotion pour « atteindre » les clients quels que soient les freins, les barrières, les habitudes et les préjugés. Les stratégies d'accès au marché manquent le plus souvent dans les business plans. La stratégie d'accès au marché répond aux impératifs du processus de vente :

- comment faire reconnaître un besoin et identifier notre produit comme une solution potentielle,
- comment permettre au client d'évaluer le produit et l'offre associée,
- comment contourner ou réduire les freins à l'achat du nouveau produit,
- comment organiser la vente proprement dite,
- comment fournir le produit et ses services associés,
- comment assurer un service après-vente performant.

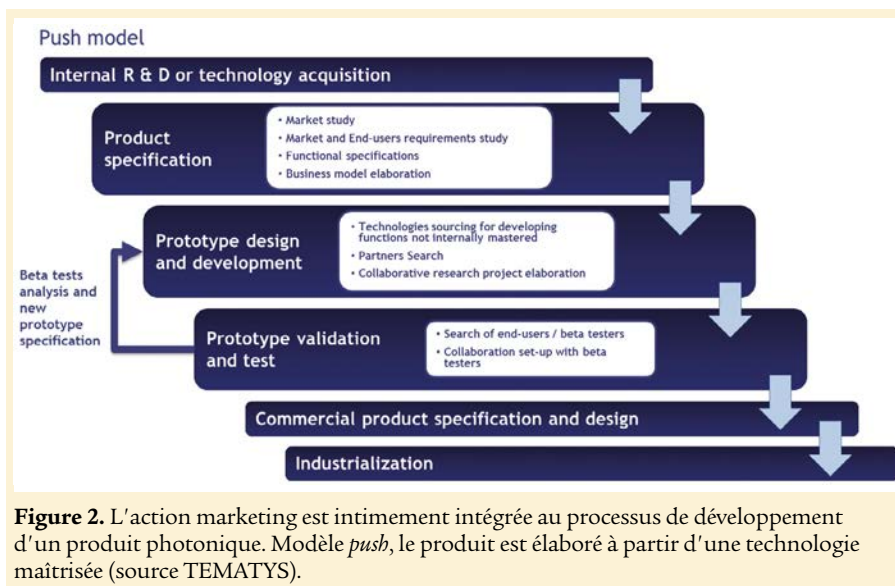


Figure 2. L'action marketing est intimement intégrée au processus de développement d'un produit photonique. Modèle *push*, le produit est élaboré à partir d'une technologie maîtrisée (source TEMATYS).

adopters. Choisir cette voie permettra à la start-up de générer rapidement du chiffre d'affaire, de mieux maîtriser l'industrialisation de son capteur et de décoller le temps de nouer les bonnes alliances pour pénétrer le marché de l'automobile dans un second temps.

Le marketing au cœur du processus de développement de produits

Nous avons vu les missions du marketing et leur utilité pour élaborer des activités adaptées à la demande du marché. Dialoguer avec ses clients pour développer des produits qui leur conviendront le mieux, comprendre et surveiller la concurrence, construire des stratégies d'accès et des outils pour promouvoir les produits, toutes ces tâches relèvent du bon sens.

Et pourtant, dans les secteurs de haute technologie, le mot marketing reste curieusement perçu, quand il n'est pas tabou. Plus encore, certains organismes publics ou parapublics de soutien à l'innovation trouvent normal de dépenser plus d'un million d'euros pour soutenir un développement technologique sans exiger plus qu'une vague étude de marché à dix mille euros.

Or, l'action marketing est intimement intégrée au processus de développement d'un produit. C'est même sa

raison d'être car son objectif est bien de créer un produit qui se vendra le mieux possible et de faire croître les ventes !

Les figures 2 et 3 détaillent à quelles étapes du processus de développement d'un produit, l'action marketing a un rôle à jouer (cases blanches). La phase de définition produit s'appuie naturellement sur la compréhension du marché et de la demande induite par le dialogue avec les futurs clients. Mais les phases de validation bénéficient aussi du travail marketing. C'est en effet parmi les premiers interlocuteurs contactés pendant la phase de définition produit que l'on va trouver

les premiers utilisateurs du (des) prototype (s).

La figure 2 présente un processus traditionnel d'élaboration d'un produit technologique. Il est nommé *push model* car le produit est initialement basé sur un développement technologique pour lequel on se posera la question : « à quoi peut-il servir ? »

La figure 3 décrit une autre démarche, plus imprégnée par la logique commerciale. Il s'agit du modèle *pull* où, avant même de se préoccuper de développements techniques, on cherche à inventer un concept de produit à partir d'une analyse approfondie du marché et des attentes des clients. Cette phase est donc presque à 100 % de l'action marketing. Ce modèle est au cœur de la démarche recommandée par des entrepreneurs comme Steve Blank, qui a enseigné l'entrepreneuriat à Berkeley, Stanford, Columbia, NYU et UCSF¹. Et il est aussi bien adapté aux activités de développement hardware qu'aux business du numérique.

Vous pourrez retrouver la seconde partie de cet article dans le prochain numéro de Photoniques.

¹ The Startup Owner's Manual: The Step-By-Step Guide for Building a Great Company Hardcover – March 1, 2012 by Steve Blank and Bob Dorf, <https://steveblank.com>

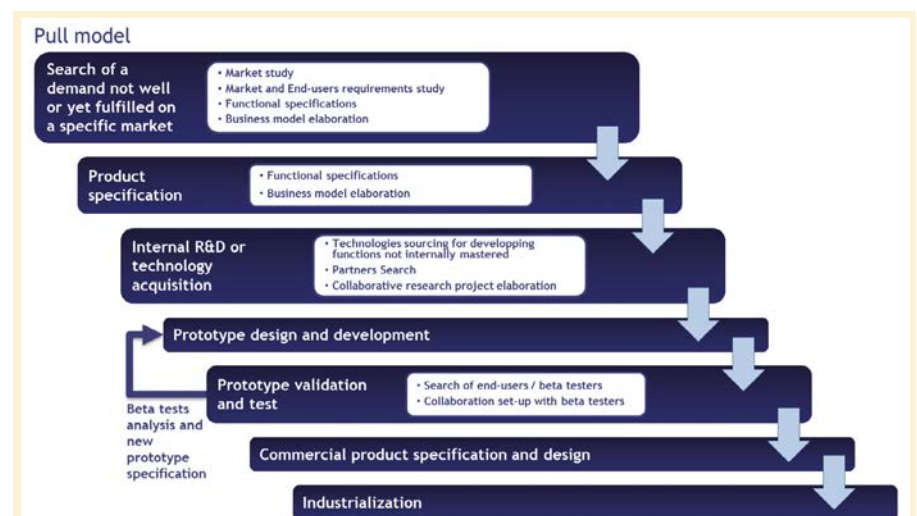


Figure 3. L'action marketing est intimement intégrée au processus de développement d'un produit photonique. Modèle *pull*, le concept de produit est d'abord défini avec les clients puis élaboré à partir d'une technologie maîtrisée en interne ou « sourcée » à l'extérieur (source TEMATYS).

DÉTECTION ET CARACTÉRISATION des tourbillons de sillage des avions par Lidar Doppler

Agnès DOLFI-BOUTEYRE

Laurent LOMBARD

Alexandre HALLERMEYER

Matthieu VALLA

Claudine BESSON

Département Optique Théorique
et Appliquée (DOTA), ONERA
agnes.dolfi-bouteyre@onera.fr

Dans un contexte où le trafic aérien s'accroît chaque jour, l'optimisation des débits en termes de décollage et d'atterrissage est devenue un enjeu majeur pour les aéroports à forte affluence. Ces débits sont principalement limités par la présence de tourbillons de sillage communément appelés *wake vortex*. Ceux-ci sont formés après le passage d'un avion et représentent un danger potentiel pour l'avion suivant. Afin d'éviter les accidents, les organisations de sûreté de la navigation aérienne ont défini des distances de sécurité à respecter entre décollages ou atterrissages successifs. Ces distances prennent en compte la catégorie de poids des deux appareils en considérant des situations pire-cas. De nombreuses études ont été menées pour permettre une meilleure compréhension de ces tourbillons et ont permis de constater que leur comportement varie en fonction des conditions atmosphériques, en particulier en fonction du vent et de la turbulence atmosphérique. Afin d'étudier la dynamique de la masse d'air et l'évolution de ces phénomènes, on utilise depuis une dizaine d'années le Lidar (*light detection and ranging*). Le Lidar pulsé est devenu l'instrument de référence pour la mesure à distance des tourbillons de sillage (positions et puissance).

Les premiers Lidars utilisés pour la mesure à distance de tourbillons de sillage étaient basés sur des sources laser à l'état solide, basse cadence haute énergie, fonctionnant à la longueur d'onde de $2 \mu\text{m}$ [1]. L'avènement de sources laser fibrées à $1,55 \mu\text{m}$ développées à l'origine pour les télécommunications a permis le développement de Lidars beaucoup moins coûteux et plus flexibles. En 2005, l'ONERA a développé un Lidar $1,5 \mu\text{m}$ pulsé pour la mesure du vent puis pour la caractérisation des tourbillons de sillage. Ce Lidar a été transféré à la société Leosphere qui a développé ensuite une ligne de produits (www.leosphere.com/products/3d-scanning/). Actuellement,

l'ONERA travaille sur l'amélioration des performances de ces Lidars en termes de portée et de rapidité notamment en optimisant le traitement de signal et en développant des sources laser fibrées de nouvelle génération.

Les tourbillons de sillages

La Figure 1 est une illustration de ce que sont les tourbillons de sillage. Leur présence est ici visible du fait de l'ensemencement par des nuages. Ce phénomène physique résulte de la portance propre à tout objet volant possédant des ailes. Un avion porté par l'air laisse derrière lui un sillage constitué de deux

tourbillons contra-rotatifs, d'autant plus puissants que la masse de l'appareil est importante.

Ces paires de tourbillons de sillage contra-rotatifs interagissent entre eux. À l'intérieur de la paire, la composante



Figure 1. Tourbillons de sillage d'un Boeing 757 en phase d'atterrissage (source <https://www.flickr.com/photos/44073224@N04/>).

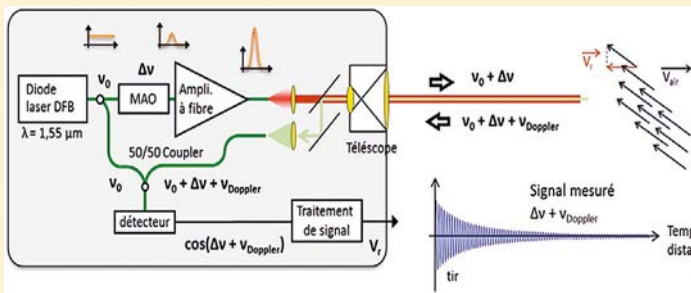


Figure 2. Schéma du Lidar cohérent Doppler de mesure de vitesse de vent résolu en distance.

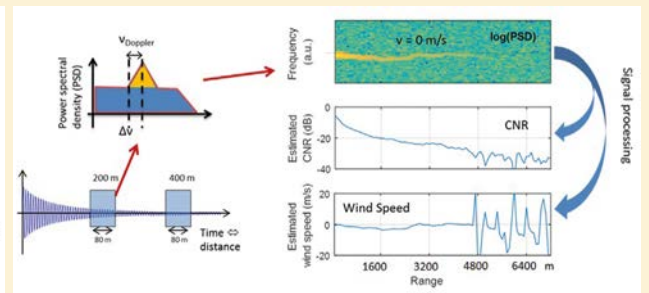


Figure 3. Principe du traitement de signal. À gauche DSP et signal temporel. À droite de haut en bas : périodogramme, CNR (carrier to noise ratio), vitesse moyenne par tranche de distance.

verticale des vecteurs vitesse est orientée vers le bas. Le vecteur vitesse résultant est donc également dirigé vers le bas ce qui entraîne une descente de la paire de tourbillons.

La puissance contenue dans un tourbillon est exprimée par sa circulation notée Γ (m^2/s). La circulation est l'intégrale curviligne du champ de vitesse sur un contour fermé (ici un cercle) :

$$\Gamma = \oint_C \vec{v} \cdot d\vec{l}$$

Principe de fonctionnement du Lidar Doppler cohérent pulsé

Le Lidar cohérent pulsé est un outil précieux pour étudier ces tourbillons, et plus généralement pour étudier les mouvements d'air. Le Lidar, par définition, est la transposition dans le domaine optique du radar : une onde optique envoyée sur une cible (solide ou volumique) est partiellement rétrodiffusée, collectée puis analysée par l'instrument. Le lidar à détection directe mesure l'intensité du signal rétrodiffusé. Par exemple le lidar aérosols [2] mesure leur concentration, le lidar télémètre mesure un temps d'aller et retour (temps de vol) entre l'instrument et une cible solide, ce qui permet d'estimer une distance.

Les Lidars cohérents, en revanche, mesurent les interférences entre l'onde signal rétrodiffusée par la cible et une onde de référence prélevée sur le laser. L'analyse de ces interférences permet de mesurer une différence de fréquences due par exemple à un décalage Doppler. La figure 2 montre un montage typique de Lidar cohérent Doppler de mesure de vitesse de vent résolue en distance.

Une source laser continue de bonne qualité spatiale et spectrale émet le faisceau de référence à la fréquence ν_0 . Le faisceau est sculpté en impulsions de plusieurs centaines de nanosecondes grâce à un modulateur acousto-optique puis amplifié dans un amplificateur fibré. Avec les amplificateurs de nouvelle génération, des puissances crêtes de l'ordre du kW sont émises. Un télescope permet d'émettre et de recevoir le faisceau rétrodiffusé sur les particules en suspension dans l'air. La lumière collectée est mélangée avec le faisceau de référence prélevé en sortie de laser (l'oscillateur local « OL »). Un détecteur mesure le battement temporel entre ces deux faisceaux.

La lumière collectée est décalée en fréquence d'une part de $\Delta\nu$ par le modulateur acousto-optique (typiquement quelques dizaines de MHz) et d'autre part par l'effet Doppler des particules sur le faisceau laser :

$$\nu_{Doppler} = -2V_r/\lambda = -V_r \cdot 1,3 \text{ MHz}/(\text{m/s}) \text{ à } 1,55 \mu\text{m}$$

où V_r est la vitesse des particules (supposée être égale à la vitesse du vent) projetée sur l'axe optique. $\nu_{Doppler}$ est positif quand les particules se dirigent vers l'instrument et négatif dans le cas contraire. Le signal vu par le détecteur

est un battement à la fréquence différence, c'est-à-dire à $\Delta\nu + \nu_{Doppler}$ dont l'amplitude décroît avec la distance. Le signal temporel est schématisé dans l'encart de la figure. En réalité, le bruit est bien supérieur au signal et seul un traitement adapté permet de remonter à la vitesse V_r en fonction de la distance. Le traitement est illustré à la figure 3.

Le traitement consiste à découper des tranches temporelles correspondant à des tranches de distance, par exemple ici autour de 200 m. La densité spectrale de puissance (DSP) du signal de chaque bin est calculée et sommée sur des milliers de tirs. Le périodogramme est une simple concaténation des DSP mises en colonne pour chaque tranche (en abscisse).

Un ou plusieurs estimateurs sont alors mis en œuvre pour identifier la position et l'énergie contenue dans le pic signal. Les résultats sont respectivement la fréquence centrale, donc la vitesse du vent et le CNR (carrier to noise ratio) qui permet d'estimer la qualité de l'information de vitesse. Un exemple de résultat de ces estimations est montré à la figure 3 en bas à droite : au-delà de 5000 m, le CNR est trop faible et la vitesse de vent comprend de nombreux points aberrants qui indiquent

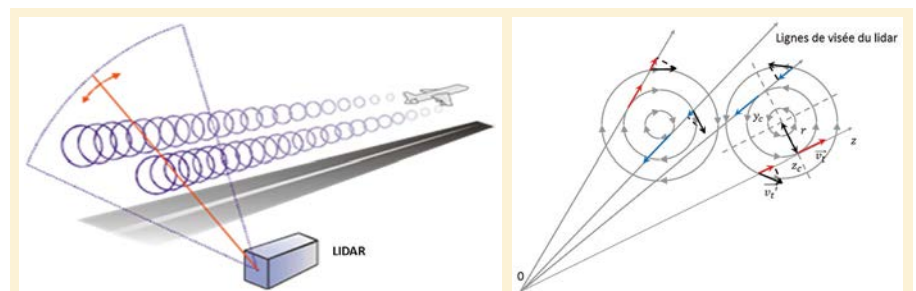
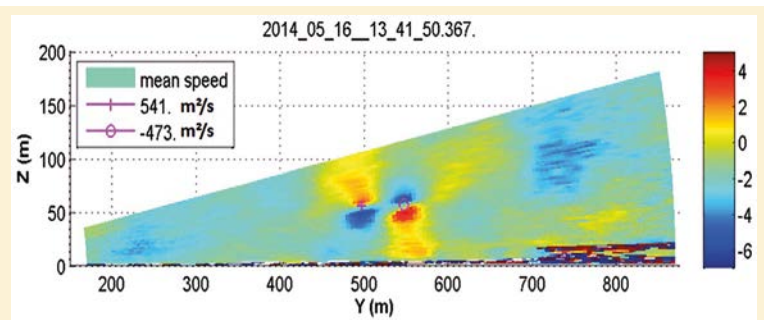
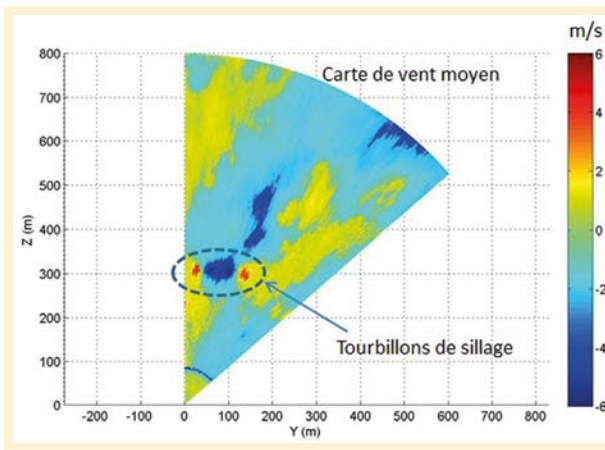


Figure 4. (a) Configuration du plan de mesure Lidar. (b) Projections des vitesses sur l'axe de mesure.



◀ **Figure 5.** Carte de champ de vent dans le plan vertical YOZ mesuré par Lidar à l'aéroport Charles de Gaulle. Tourbillon localisé à 300 m d'altitude environ.

△ **Figure 6.** Carte de champ de vent dans le plan vertical YOZ mesuré par Lidar à l'aéroport Toulouse Blagnac. Tourbillon localisé à 40 m d'altitude environ.

la portée du Lidar. Cette portée dépend de la puissance et de la qualité de la source laser mais aussi des conditions météorologiques. Typiquement, un jour clair et peu pollué n'est pas favorable pour la portée du Lidar. En revanche, une brume légère est favorable.

Les records de portée des Lidars vent obtenus à l'ONERA par temps favorable sont des profils de vitesse allant jusqu'à 15 km, obtenus en tir horizontal en 100 ms grâce aux sources laser de nouvelle génération.

Détection des tourbillons par Lidar

Le Lidar Doppler mesure la projection sur l'axe laser de la vitesse de la masse d'air. Il est en général situé sous la trajectoire des avions ou sur le côté de la piste. La détection est effectuée sur un plan unique orthogonal à la trajectoire de l'avion (Figure 4a).

La géométrie de cette configuration de détection transverse est illustrée en Figure 4b avec un Lidar positionné en 0. Les vitesses moyennes sont positives à l'extérieur des deux centres des vortex (flèches rouges : la masse d'air s'éloigne du Lidar) et négatives entre les deux centres (flèches bleues). La Figure 5 montre un champ de vent mesuré par Lidar, où l'on voit la présence d'une paire de tourbillons de sillage d'un avion en phase d'approche à une altitude de 300 m environ. La paire de vortex se reconnaît par le lobe bleu (vitesses négatives) entouré par deux lobes rouges (vitesses positives) comme illustré géométriquement à la figure 4b.

La Figure 6 montre une mesure de tourbillon de sillage pour un avion proche de l'atterrissage à une altitude de 30 ou 40 m. Le Lidar est situé avant le seuil de piste et latéralement à environ 550 m de l'axe de la piste.

Ces mesures ont été effectuées par un Lidar Windcube de Leosphere lors d'une campagne de mesures dans le cadre du projet de recherche Européen SESAR (Single European Sky ATM Research). Un traitement du signal spécifique a été implémenté par l'ONERA afin d'estimer de façon précise les circulations et les positions des tourbillons [3-5]. Les positions sont indiquées par une croix et un rond rose à la figure 6 et les valeurs des circulations en m^2/s sont données dans l'encadré. Ce traitement est basé sur l'analyse détaillée des spectres de fréquence. Un traitement dit « paramétrique » est basé sur un simulateur de réponse Lidar et un modèle de tourbillon de sillage dont on fait varier les paramètres (positions et circulations) jusqu'à ce que les spectres obtenus

correspondent à ceux mesurés. La précision en position est de l'ordre du mètre, bien que la résolution spatiale intrinsèque du Lidar donnée par la durée des impulsions soit de 50 à 100 m. L'erreur relative sur l'estimation de la circulation, lorsque le vortex n'est pas encore déformé par la turbulence atmosphérique, est de l'ordre de 10 %.

Conclusion

Le Lidar cohérent pulsé est un instrument bien adapté à la caractérisation des tourbillons de sillages des aéronefs sur site aéroportuaire. Des mesures de tourbillons avec un Lidar embarqué sur l'avion en configuration transverse ou axiale sont également possibles [6]. Les prochains défis pour des Lidars fibrés sur les aéroports sont la cartographie rapide de vents (360° en 1 mn) à longue distance (> 10 km) autour des sites aéroportuaires, et la cartographie de la turbulence de vent afin de pouvoir anticiper les trajectoires et prévoir les durées de vie des tourbillons de sillage.

RÉFÉRENCES

- [1] S.M. Hannon, J.A. Thomson, *Aircraft wake vortex detection and measurement with pulsed solid-state coherent laser radar*, *J. Mod. Opt.* **41**, pp. 2175-2196, 1994
- [2] J.P. Cariou, L. Thobois, P. Royer, *Détection et analyse automatique des aérosols atmosphériques par Lidar ultraviolet et infrarouge*, *Photoniques* **82**, juin/août 2016
- [3] S. Rahm, I. Smaliko, F. Kopp, *Characterization of aircraft wake-vortices by airborne coherent Doppler Lidar*, *J. Aircraft* **44**, pp. 799-805, 2007
- [4] R. Frehlich, R. Sharman, *Maximum likelihood estimates of vortex parameters from simulated coherent doppler lidar data*, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* **22**, p. 117130, 2005
- [5] A. Hallermeyer et al., *Development and assessment of a Wake Vortex characterization algorithm based on a hybrid Lidar signal processing*, 8th AIAA Atmospheric and Space Environments Conference, 2016
- [6] A. Dolfi-Bouteyre et al., *Pulsed 1.5- μ m Lidar for axial aircraft WakeVortex detection based on high-brightness large-core fiber amplifier*, *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* **15**, march/april 2009

NOUVEAUX PROCÉDÉS de préparation de surface par laser

Bruno RAMEAU¹, Sophie PETTIER¹, Guillaume LAFOY², Charly LOUMENA², Rainer KLING²

¹ Airbus Safran Launchers,
rue du Général Niox, BP 20011, 33165 Saint-Médard-en-Jalles Cedex, France

² ALPHANOV, Institut d'optique d'Aquitaine,
rue François Mitterrand, 33400 Talence, France

Le laboratoire matériaux et procédés d'Airbus Safran Launchers à Saint-Médard-en-Jalles développe et met au point de nouvelles technologies pour améliorer les procédés de mise en œuvre et de traitement des matériaux. L'objectif est de favoriser l'émergence de technologies à faible impact sur l'environnement et à coûts et délais de mise en œuvre réduits. C'est dans ce cadre que le laboratoire a travaillé en collaboration avec ALPHANOV, le centre technologique du pôle de compétitivité Route des Lasers. Les travaux portent sur l'évaluation et la mise au point de sources laser pour améliorer les propriétés et performances de matériaux et structures mis en œuvre lors d'opérations de préparation de surface avant collage ou avant protection contre la corrosion.

Problématique et solutions

Le collage et la protection anticorrosion sont des éléments cruciaux dans l'industrie aéronautique afin de garantir la sécurité et la fiabilité dans le temps des pièces utilisées. Les technologies employées actuellement, en bain pour la plupart, donnent des résultats satisfaisants, mais Airbus Safran Launchers est constamment à la recherche de nouvelles technologies, permettant de gagner en flexibilité et en coût, tout en limitant l'impact sur l'environnement.

La compréhension et la maîtrise des paramètres clés des sources lasers employées ainsi que l'impact sur les matériaux sont donc essentielles

pour accompagner la transition vers de nouveaux procédés de préparation de surface. Cette préparation est en effet primordiale pour garantir la qualité du collage et de la protection anticorrosion.

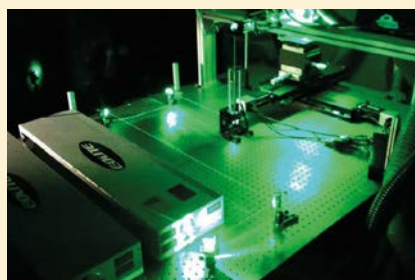


Figure 1. Banc d'essai avec source laser à 515 nm. Cette longueur d'onde est en effet adaptée à 2 alliages étudiés au laboratoire (un alliage d'aluminium et un alliage de titane). (Crédit : Airbus Safran Launchers SAS / 2015 B. Rameau)



Tout un potentiel à découvrir

*Spectromètres Flame
pour un monde
d'analyse*

Fiabilité, stabilité thermique
et polyvalence des mesures,
les performances uniques
du FLAME



www.oceanoptics.com

Pour plus d'information sur
nos offres, contactez notre
distributeur français

www.idil.fr

info@idil.fr

T: 02 96 05 40 20

Plan d'expérience

ALPHANOV a étudié le potentiel du laser pour la préparation de surface avant collage ou avant protection à la corrosion. Le choix des sources s'est opéré en prenant en compte l'interaction onde-matière propice à une absorption idéale de l'onde laser (figure 1). Cette préparation par laser s'apparente à de la texturation, et les résultats sont exprimés par les caractéristiques physico-chimiques de surface suivantes :

- profondeur de gravure,
- rugosité en fond de gravure,
- évolution de la mouillabilité (caractère hydrophile ou hydrophobe) des surfaces gravées au cours du temps,
- détection à la brûlure et caractérisation de la zone affectée thermiquement (ZAT) par analyse métallographique.

Les principaux paramètres laser étudiés (exprimés par l'énergie totale déposée en joules) sont la densité de puissance, la densité d'énergie, le nombre de passes ainsi que la distance focale.

La figure 2 illustre un exemple des aspects obtenus, dont une condition opératoire encadrée en rouge (150 KHz et énergie totale déposée égale à 600 J) parmi les multiples testées. Pour cette condition, une rugosité arithmétique de 0,96 μm a été mesurée en fond de gravure.

Principaux résultats

Évolution de la mouillabilité

Cette méthode consiste à mesurer l'angle de la tangente du profil d'une goutte d'eau déposée sur le substrat, avec la surface du substrat. Cet angle est appelé angle de contact et rend



Figure 2. Zones découpées sur alliage de titane à des conditions opératoires variables. (Crédit: Airbus Safran Launchers SAS / 2015 B. Rameau)

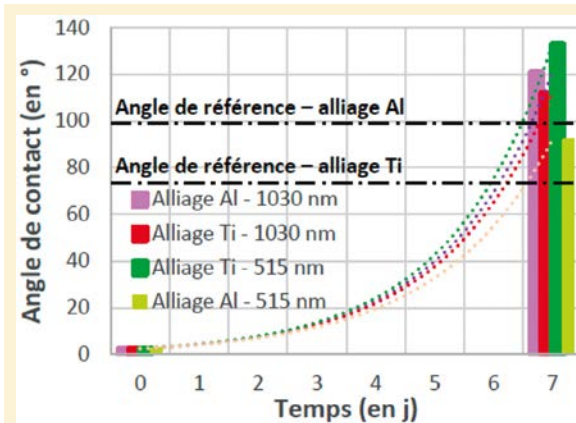


Figure 3. Évolution de l'angle de contact en fonction du temps pour les deux alliages et longueurs d'ondes, pour une énergie totale déposée égale à 600 J.

compte du caractère hydrophile ou hydrophobe d'une surface. Pour un angle de contact inférieur à 90°, la surface a un caractère dit hydrophile. Pour un angle compris entre 90 et 150°, il est dit hydrophobe. La croissance du caractère hydrophobe d'une surface après traitement au cours du temps, est expliquée par l'oxydation de cette surface par l'atmosphère ambiante [1].

La figure 3 illustre le comportement pour deux alliages (à base titane et aluminium) et deux longueurs d'ondes laser, et pour une énergie totale déposée égale à 600 J. Cet angle en surface du métal de base puis en surface traitée a été caractérisé à t_0 (soit immédiatement après avoir traité la surface de l'échantillon par laser) et $t_0 + 7$ jours. L'angle de contact mesuré (angle de référence) pour la surface de base est de 98° pour l'alliage d'aluminium (surface à caractère hydrophobe) et de 76° pour l'alliage de titane (surface à caractère hydrophile). Sur la figure 3 nous représentons ces deux angles de référence par une ligne noire pointillée.

En comparaison avec la valeur de ces angles, nous pouvons tirer les deux conclusions suivantes: (1) immédiatement après traitement par laser (à t_0), pour les deux alliages et deux longueurs d'ondes étudiés, nous observons un caractère hydrophile des surfaces traitées (angle de contact moyen inférieur à 5°); (2) il apparaît un caractère hydrophobe (plus ou moins prononcé) de ces mêmes surfaces après 7 jours. Par ailleurs, notons que la rugosité initiale en fond de gravures ne semble avoir aucune influence sur l'évolution de l'angle de contact.

Analyse métallographique

Nous avons également observé au microscope optique la structure du métal traité et nous avons mesuré la zone affectée thermiquement. Pour les deux alliages, nous avons observé une dépendance de la hauteur de cette zone avec l'énergie laser déposée. Toutefois, cette hauteur reste inférieure à 10 μm par rapport à la surface pour une énergie totale déposée de 600 joules, ce qui occasionne un faible impact sur les caractéristiques mécaniques statiques des pièces (R_m et $A\%$). Ce point est en cours d'investigation concernant les caractéristiques mécaniques en dynamique (fatigue).

Conclusion

Les conclusions de l'étude ont confirmé l'intérêt de cette technique, qui apporte une qualité de préparation de surface à la hauteur des attentes, tout en laissant entrevoir des procédés plus efficaces et plus respectueux de l'environnement. Airbus Safran Launchers va donc poursuivre les études et a notamment décidé de mettre ce procédé de préparation de surface par laser en phase de qualification pour le futur lanceur Ariane 6, notamment pour des applications avant collage. Son potentiel d'application va tendre à augmenter dans les prochaines années.

RÉFÉRENCE

- [1] Multifunctional surfaces produced by femto-second Laser pulses. A.Y. Vorobyev, Chunlei Guo. The Institute of Optics, University of Rochester, Rochester, New York 14627, USA, 20/01/2015.

MÉTROLOGIE OPTIQUE

pour l'optimisation de la combustion aéronautique...

Quel avenir ?

Frédéric GRISCH
Bruno RENO
Gilles CABOT
Mourad BOUKHALFA
CORIA-UMR 6614
Normandie Université, CNRS-
Université et INSA de Rouen
frederic.grisch@coria.fr

Le transport est un des éléments essentiels pour le développement des économies mondiales. Actuellement, les combustibles issus de ressources fossiles restent les sources d'énergie majoritaires pour les transports terrestre et aéronautique. Dans un contexte où ces combustibles sont considérés comme des responsables majeurs de l'augmentation de l'effet de serre, les industriels du domaine du transport se retrouvent soumis à de fortes contraintes, dont le respect doit permettre l'émergence des moteurs, notamment aéronautiques, du futur.

Les contraintes qui pèsent sur les industriels du domaine du transport sont aujourd'hui nombreuses :

- éduction des émissions de gaz à effet de serre afin de limiter le réchauffement climatique. Le domaine du transport est responsable d'environ un quart des émissions de CO₂ dans le monde,
- épuisement à long terme des ressources fossiles, impliquant une diversification des sources de combustible pour les systèmes de propulsion, et la recherche de sources d'énergie alternatives,
- législations de plus en plus contraignantes concernant les émissions d'oxydes d'azote (NOx), du monoxyde de carbone (CO), des suies mais aussi des nuisances sonores,
- maintien, voire accroissement de sa compétitivité dans un secteur concurrentiel soumis à l'émergence de nouveaux acteurs asiatiques à plus bas coût.

Dans le domaine du transport aérien, ces contraintes se matérialisent par la réglementation imposée par la communauté européenne ACARE (Advisory Council for Aeronautics

Research in Europe) destinée à réduire les émissions de CO₂ (-50%), NOx (-80%) et celles du bruit (-50%) à horizon 2020. Les industriels aéronautiques sont alors amenés à proposer de nouvelles chambres de combustion haute pression « propres » fonctionnant en régime pauvre, c'est-à-dire produisant un excès d'air par rapport au carburant injecté, ce dernier étant injecté en spray pour s'évaporer rapidement. Le grand pouvoir de ces régimes de combustion est d'abaisser la température de flamme pour réduire mécaniquement les NOx. En contrepartie, la combustion pauvre présente une stabilité de flamme moins robuste, avec un risque d'extinction de flamme et de possibles remontées de flamme pouvant dégrader de manière irréversible la chambre de combustion. Ces problèmes ont été partiellement résolus avec l'avènement des injecteurs « multipoint ». Ces injecteurs comportent une zone pilote brûlant en continu et une zone périphérique principale dans laquelle des micro-zones d'injection de carburant servent à obtenir un mélange uniforme carburant/air dans la chambre de combustion.

Une autre fonctionnalité de ces chambres de combustion réside dans l'augmentation de la pression pouvant transformer le comportement de l'injection de carburant. Lorsque la pression de fonctionnement est voisine ou supérieure à la pression critique du carburant, une transition de phase d'un état sous-critique à un état supercritique peut s'opérer. Il en résulte une modification des procédés d'atomisation, d'évaporation et de mélange carburant/air et donc du mode de combustion et des émissions de polluants.

Une conception de ces nouvelles chambres de combustion dans des domaines d'opérabilité encore non atteints aujourd'hui requiert donc des réponses détaillées sur les processus physiques suivants :

- injection de carburant,
- évaporation du carburant liquide,
- mélange air/carburant,
- aérodynamique,
- turbulence,
- allumage,
- structure et dynamique de flamme,
- instabilités de combustion,
- interactions flamme/paroi,
- formation de polluants.

Ces analyses détaillées nécessitent des expériences sur des bancs d'essais instrumentés avec des techniques de mesure innovantes permettant un échantillonnage des grandeurs scalaires clés (température, concentration, vitesse...) sans perturbation du milieu et sur des échelles de temps courtes. C'est dans ce contexte que le CORIA a lancé avec le motoriste SAFRAN et l'Agence Nationale de la Recherche, la chaire industrielle PERCEVAL « Préparer l'Avenir pour Rendre les Moteurs Aéronautiques Propres et Efficaces » dans le but d'optimiser les rendements de combustion tout en réduisant les émissions polluantes des nouveaux systèmes d'injection. Ce programme de recherche associe les méthodes et les moyens de la recherche moderne permettant d'aborder des questions de grande complexité comme celles qu'on vient de décrire. Cette recherche s'appuie sur une combinaison des fonctionnalités modélisation, simulation numérique et expérimentation regroupées dans le Centre de Combustion Avancée pour l'Aéronautique du Futur (CCAFA) du CORIA. Elles ont pour vocation de mettre à disposition :

- De multiples bancs d'essai allant de brûleurs académiques jusqu'à des installations de combustion complexes fonctionnant à haute pression. Par la maîtrise de leurs conditions opératoires, les brûleurs académiques servent au développement et à la validation des techniques de mesures optiques et à l'élaboration de bases de données expérimentales relatives

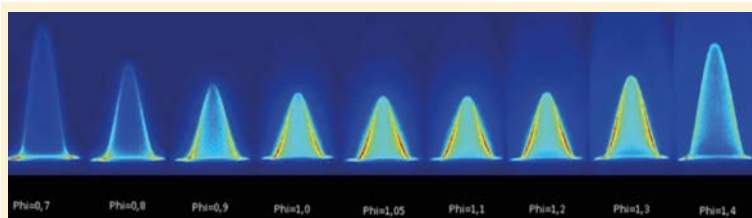
aux procédés fondamentaux gouvernant la combustion. Les chambres de combustion complexes haute pression sont utilisées pour étudier de nouveaux concepts d'injecteur fonctionnant en carburant liquide multi-composant (kérosène, biocarburant...) et obtenir un retour d'expérience pour SAFRAN.

- Une plateforme numérique utilisant les méthodes de calcul de plus en plus performantes tout en profitant des énormes progrès de l'informatique scientifique et moderne.
- Une plateforme métrologique constituée d'un large éventail de techniques de mesures optiques innovantes : PIV (*particle imaging velocimetry*) et LDV (*laser doppler velocimetry*) pour la caractérisation du champ de vitesse, PDPA (*phase Doppler particle analyser*) et GRT (*global rainbow technique*) pour la caractérisation de la distribution de gouttes de carburant, DRASC (*diffusion Raman anti-Stokes cohérente*) pour la mesure de la température et des espèces chimiques majoritaires, PLIF-OH (*planar laser-induced fluorescence* sur le radical OH) et chimiluminescence OH* pour l'analyse de la structure de flamme, LII (*laser induced incandescence*), PLIF-NO, PLIF-CO (*planar laser-induced fluorescence* sur les molécules de NO et CO) pour la mesure des polluants en flamme. En outre, ces diagnostics optiques peuvent être combinés de manière à acquérir simultanément des corrélations temporelles et spatiales des grandeurs physiques mesurées.

Une illustration du développement de cette métrologie optique est maintenant présentée au travers de plusieurs exemples décrivant les études de certains processus physiques détaillés précédemment.

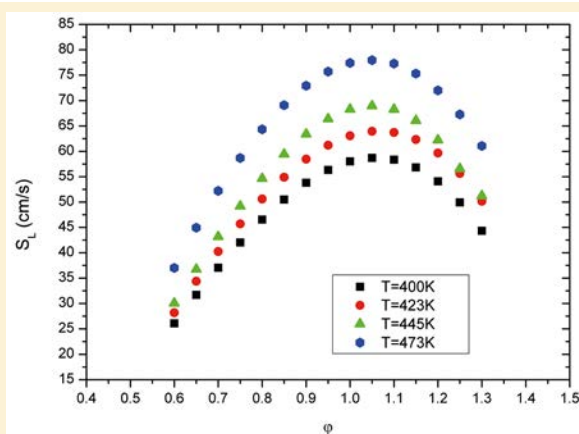
Vitesse de flamme laminaire

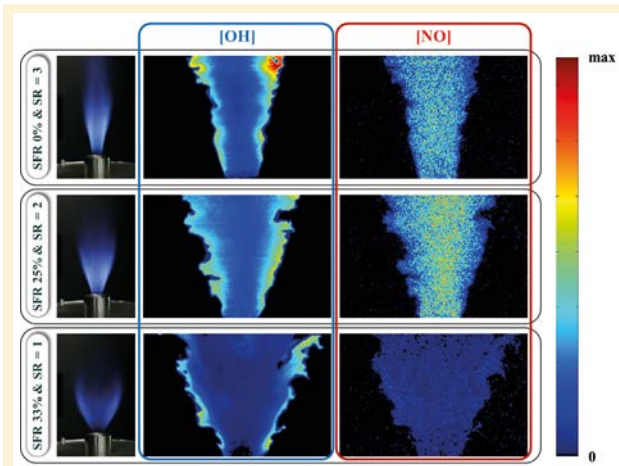
La vitesse de flamme laminaire est une grandeur physique clé car elle fournit des données fondamentales sur la réactivité, la diffusivité et l'exothermicité du carburant. Elle est également un des paramètres utilisés pour valider les mécanismes cinétiques détaillés et la modélisation de la combustion turbulente. Bien que cette grandeur physique ait fait l'objet de nombreuses recherches dans le passé, sa méconnaissance sur des carburants multi-composants dans des conditions haute-pression et haute-température reste d'actualité. La mesure de vitesse de flamme laminaire de carburants multi-composants a été obtenue avec un brûleur haute pression fonctionnant avec un prémélange gazeux combustible/air [1]. La mesure est basée sur la détection du contour de flamme obtenue par imagerie de chimiluminescence OH*. Pour exemple, la *figure 1* présente des images d'émission OH* de flammes kérosène/air laminaires à différentes richesses. Pour chaque condition, la mesure de la surface de flamme (représentée par les zones intenses de lumière) associée à la connaissance des vitesses des gaz frais permettent de mesurer la vitesse de flamme laminaire.



△ **Figure 1.** Images instantanées de chimiluminescence OH* d'une flamme kérosène/air à différentes richesses. Conditions opératoires: $T = 300\text{ K}$, $P = 0,1\text{ MPa}$, vitesse des gaz frais $1,1\text{ m/s}$, $\Phi = 0,7-1,4$. La distribution des couleurs représente la variation en intensité du signal de chimiluminescence.

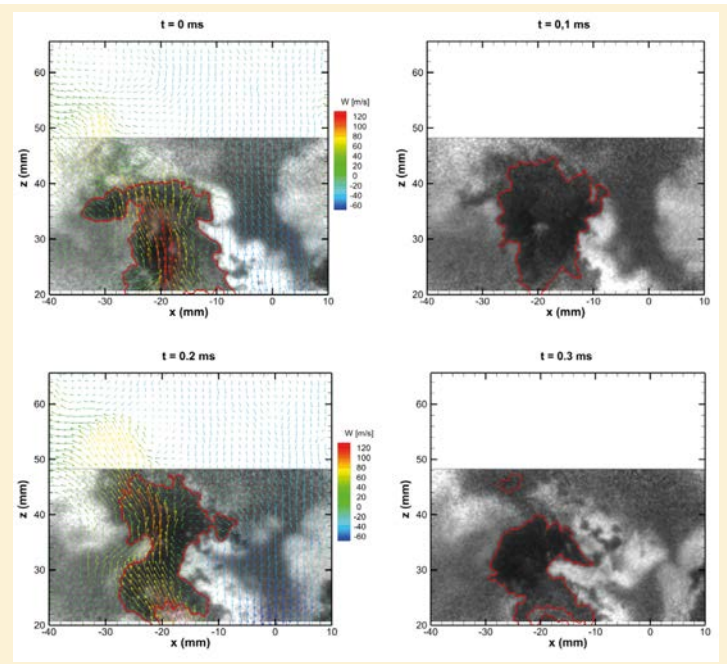
▷ **Figure 2.** Évolution de la vitesse de flamme laminaire d'un mélange Jet A-1/N₂/O₂ pour différentes températures de préchauffage et richesses. $P = 0,1\text{ MPa}$.





△ **Figure 3.** À gauche : photographie des flammes d'intérêts. Au centre : distributions instantanées du radical OH. À droite : distributions instantanées du radical NO.

▷ **Figure 4.** Série d'images successives de distributions de OH couplées aux distributions de vitesse. Trait continu en rouge : contour de la flamme.



Les évolutions de la vitesse de flamme laminaire kérosène/air avec la pression, la température de préchauffage d'air et la richesse, ont ainsi été analysées et comparées avec des simulations numériques utilisant un mécanisme de cinétique chimique détaillé. Pour exemple, la *figure 2* présente les évolutions de la vitesse de flamme laminaire kérosène/air à pression atmosphérique avec la température et la richesse.

Concentration de NO en flamme stratifiée

Les injecteurs aéronautiques de dernière génération opèrent le plus souvent avec une injection étagée de carburant induisant une combustion turbulente stratifiée, swirlée, et peu polluante. Doser les polluants gazeux dans la flamme repose alors sur l'emploi de la fluorescence induite par laser (LIF). L'exemple présenté à la *figure 3* consiste à mesurer les distributions instantanées de NO à l'état de trace (quelques ppm). L'outil expérimental repose sur un laser à colorant produisant des impulsions ns de 30 mJ à 226 nm. La détection est assurée par une caméra intensifiée emCCD garantissant la collection de très faibles signaux lumineux. Une validation de ce diagnostic a été réalisée en l'associant

avec la PLIF-OH dans une flamme prémélangée méthane/air stratifiée et swirlée [2]. Les images présentées à la gauche de la *figure 3* représentent la flamme pour plusieurs conditions. La première condition (en haut) correspond à une combustion très stratifiée (rapport de stratification SR=3) non swirlée. La deuxième (au milieu), représente une flamme peu swirlée (intensité du swirl SRF = 25%), avec un SR=2. Le dernier cas (en bas) est une combustion avec un swirl élevé (SRF=33%) sans stratification (SR=1). Comme observé, les flammes sont stabilisées sur le *bluff-body* et l'expansion de la flamme dépend du nombre de swirl. Ces résultats sont corroborés par les images de PLIF-OH présentées en *figure 3*. Les distributions d'OH et NO révèlent que les structures turbulentes observées à la frontière de la zone de présence de NO et les contours de la distribution d'OH sont adjacents suite aux couplages de la zone mince de réaction avec un mécanisme de réaction chimique rapide. La distribution de NO au centre de la flamme reste homogène, indiquant un transport de NO au cœur de l'écoulement sous l'action d'une recirculation de gaz interne. Une corrélation des distributions spatiales instantanées de NO et OH a en outre permis d'illustrer le couplage entre la

formation de NO et le gradient de richesse provoquée par la stratification. L'ensemble de ces mesures contribuera dans le futur à fournir des informations détaillées pour améliorer le concept des systèmes d'injection à faible émission de NOx.

Dynamique de flamme

Un système d'injection développé par SAFRAN équipant les moteurs d'hélicoptères a été étudié au moyen de techniques d'imagerie à cadence élevée [3]. Cet injecteur fonctionne sous pression avec du kérosène liquide. Pour les besoins de l'étude, les interactions flamme/turbulence propices à la génération d'instabilités de flamme ont été analysées avec la PIV et la PLIF-OH fonctionnant à cadence élevée (10 kHz). Les images de PIV et de PLIF ont permis de mesurer les champs instantanés de vitesse et d'OH et leurs fluctuations associées. Un exemple est présenté à la *figure 4*. Un post-traitement des images d'OH avec des méthodes de filtrage non-linéaire permet également d'isoler la structure du front de flamme alors que la dynamique du champ aérodynamique est analysée par POD (*proper orthogonal decomposition*) sur les images de PIV. En guise de résultat, la POD des champs de vitesse montre que dans des

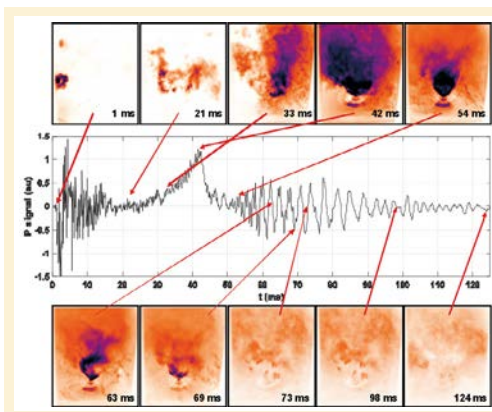
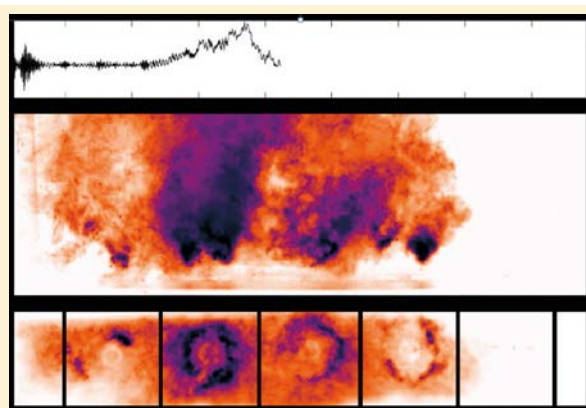


Figure 5. Enregistrement typique d'un allumage dans un brûleur diphasique swirlé.

Figure 6. Instantané de l'acquisition d'un allumage dans la chambre multi-injecteur diphasique. Vues de face et de dessus synchronisées avec le signal de pression chambre.



conditions stables, aucun mode n'est prépondérant. Il est également observé que les images de PIV et PLIF-OH ne sont pas entièrement résolues temporellement à la cadence de 10 kHz, la raison provenant des régimes de vitesse élevés rencontrés dans ce type de flamme. En outre, l'origine des phénomènes d'extinction de flamme est attribuée au large dégagement de chaleur des composés chimiques non brûlés qui est gouverné par l'interaction turbulence/transport des gouttes de carburant dans le milieu.

Allumage de flammes à faible émission de NO_x

Les processus d'allumage en conditions aéronautiques requièrent une connaissance précise des étapes suivantes: (i) dépôt d'énergie, (ii) développement et propagation du noyau, (iii) stabilisation de la flamme sur un premier injecteur, (iv) propagation d'injecteur à injecteur pour allumer la chambre de combustion. L'allumage est un procédé par nature instationnaire, se déroulant sur des échelles de temps variant de la microseconde à plusieurs millisecondes, nécessitant des détecteurs à cadence élevée (5-20 kHz) pour son suivi temporel [4].

Un premier exemple illustre l'allumage d'un écoulement diphasique produit par un injecteur de type cône creux alimenté en n-heptane. Après avoir caractérisé l'aérodynamique de l'écoulement, la densité et taille de gouttes de combustible et la fraction massique de vapeur de carburant, l'allumage par un faisceau laser focalisé

dans la chambre de combustion a été analysé avec une caméra rapide enregistrant l'évolution temporelle du noyau de flamme créé. L'enregistrement des images a permis de proposer des scénarios d'allumage et de conditionner la réussite ou l'échec d'allumage en fonction des conditions locales de l'écoulement où l'énergie laser est déposée et des zones traversées par le noyau de flamme. Une illustration d'un enregistrement typique par la caméra rapide est présentée à la *figure 5*.

Le deuxième exemple concerne l'utilisation d'un brûleur composé de cinq injecteurs identiques et dont la distance inter-injecteur est variable. Cette installation permet d'étudier la phase (iv) de l'allumage en évaluant l'impact de la volatilité du carburant sur la vitesse de l'allumage et sur la propagation de la flamme résultante injecteur à injecteur. Ces données sont critiques pour la validation d'outils de simulation LES (large Eddy simulation) des écoulements réactifs et présentent un caractère discriminant

pour la simulation LES. Un exemple d'image enregistrée par la caméra rapide est présenté à la *figure 6* pour un allumage d'un spray de n-heptane.

Conclusions

Les informations, obtenues à partir des techniques de mesure optiques, dans les expérimentations en combustion aéronautique, permettent d'ores et déjà de connaître en détail les processus physiques mis en jeu lors de mécanismes de combustion en régime pauvre ainsi que d'accroître les données indispensables à la validation de modèles théoriques. L'amélioration future des performances des techniques de mesures optiques en termes de disponibilité de sources lumineuses haute cadence et de haute énergie ainsi que des systèmes de détection rapides et sensibles, sera un atout pour permettre de nouvelles avancées en combustion aéronautique et pour orienter efficacement la conception des nouveaux moteurs aéronautiques.

RÉFÉRENCES

- [1] Y. Wu, V. Modica, B. Rossow, F. Grisch, *Effects of pressure and preheating temperature on the laminar flame speed of methane/air and acetone/air mixtures*, Fuel, **185**, 577-588 (2016)
- [2] J. Apeloig, P. Gautier, E. Salaün, B. Barviau, G. Godard, S. Hochgreb, F. Grisch, *PLIF Measurements of nitric oxide and hydroxyl radicals distributions in swirled stratified premixed flames*, 18th International Symposium on the Application of Laser and Imaging Techniques to Fluid Mechanics, Lisbon, Portugal, July 4-7, 2016
- [3] E. Salaün, P. Malbois, A. Vandel, G. Godard, F. Grisch, B. Renou, G. Cabot, A.M. Boukhalfa, *Experimental investigation of a spray swirled flame in gas turbine model combustor*, 18th International Symposium on the Application of Laser and Imaging Techniques to Fluid Mechanics, Lisbon, Portugal, July 4-7, 2016
- [4] J. Marrero, A. Verdier, G. Godard, A. Vandel, G. Cabot, M. Boukhalfa, B. Renou, *Experimental study of laser ignition probability, kernel propagation and air and fuel droplet properties in a confined swirled jet-spray burner*, 18th International Symposium on the Application of Laser and Imaging Techniques to Fluid Mechanics, Lisbon, Portugal, July 4-7, 2016

LE DÉVELOPPEMENT DE LA CRISTALLOGRAPHIE EN AFRIQUE : l'initiative de l'IUCr

Claude LECOMTE

Prof. émérite, CRM2, Université de Lorraine et CNRS

Ancien vice-président de l'IUCr - Responsable de l'Initiative Afrique

claude.lecomte@univ-lorraine.fr

La cristallographie est une discipline située au carrefour de la physique, de la chimie, de la géologie, des sciences des matériaux et de la vie, d'où un nombre potentiel d'utilisateurs élevé et la possibilité de créer une vie scientifique diverse. De plus ce domaine scientifique intéresse le monde industriel, comme par exemple en Afrique les industries minières. C'est pourquoi l'Union internationale de la cristallographie, IUCr, www.iucr.org, propose un programme ambitieux en direction de tous les pays d'Afrique appelé « IUCr African Initiative ». Cette initiative vise à promouvoir et développer l'enseignement et la recherche en cristallographie et sciences structurales par la création et l'aide au fonctionnement d'au moins un centre national de cristallographie par pays. Le but ultime étant de rendre ces pays opérationnels et indépendants dans les domaines liés à la cristallographie.

Ce programme est un partenariat entre trois acteurs :

- l'université africaine où sera créé le centre de cristallographie ;
- un partenaire industriel qui fournit gratuitement des appareils de diffraction de deuxième main entièrement renouvelés ;
- l'IUCr qui sélectionne l'université hôte, organise la formation et paye le transport des appareils.

L'année internationale de la cristallographie, IYCr (www.iycr2014.org) a permis d'associer deux autres partenaires :

- l'UNESCO avec qui l'IUCr travaille depuis l'avènement de l'IYCr, qui facilite les relations universitaires et

politiques et contribue au financement d'écoles, de congrès et de laboratoires itinérants ;

- l'ICSU qui cofinance avec l'IUCr, l'UNESCO et les partenariats privés, deux congrès, l'un en Afrique du Sud et l'autre au Cameroun (première conférence Pan-Africaine de cristallographie, <http://pccr1-2016.univ-dschang.org/>, voir ci-après).

Pour réussir un tel projet, l'IUCr demande à l'université sélectionnée de s'engager sur les plans humain et financier en créant au moins un poste d'enseignant-chercheur en cristallographie (si les compétences n'existent pas localement) et en payant les fournitures et accessoires du diffractomètre :


LASER
COMPONENTS

small components
MASSIVE IMPACT



FLEXPOINT® Laser Modules

- Dot, Line & Cross Hair Lasers
- Machine Vision Lasers
- Laser Modules for Industrial Applications

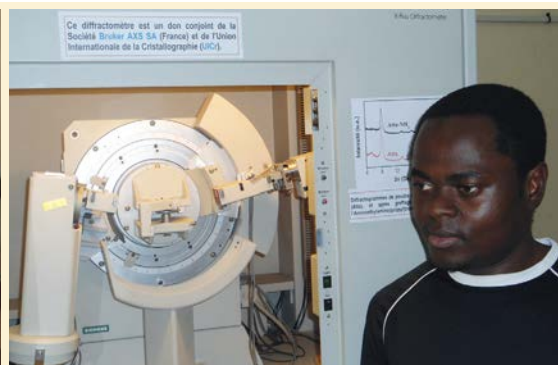


Figure 1. Premier atelier sur la résolution des structures cristallines à l'Université de Dschang et diffractomètre à poudres de l'Université de Dschang (Cameroun).

préparation de la salle qui abrite les instruments, achat des tubes à rayons X, du PC pilote, voire d'un système basse température dans les cas les plus favorables. Ainsi un minimum de 10 K€ doit être investi par l'université pour garantir l'implication de la hiérarchie universitaire dans ce projet; ceci représente beaucoup pour une université africaine mais très peu par rapport au prix d'un diffractomètre (400 K€). Un partenaire clé de cette initiative est la compagnie Bruker, qui a accepté d'équiper gratuitement les universités africaines reconnues par l'IUCr en diffractomètres pour poudres ou monocristaux en parfait état d'utilisation.

Les premiers enseignants-chercheurs à bénéficier de ces diffractomètres appartiennent à l'université de Dschang au Cameroun. Le personnel enseignant-chercheur et les doctorants ont tout d'abord suivi un enseignement intensif de cristallographie et diffraction, cours et TD, de 30 heures en février 2012 dans le but de les préparer à l'arrivée d'un diffractomètre à poudres. Celui-ci a été installé par la société Bruker en février 2013. L'Association camerounaise de cristallographie a été fondée pendant cette période. C'est le premier pays d'Afrique subsaharienne membre de l'IUCr. Son adhésion – et celles de l'Algérie et du Maroc – ont été votées par l'assemblée générale de l'IUCr à Montréal en août 2014. Cette jeune association a aussitôt mis en place son premier atelier sur la résolution des structures cristallines, du 7 au 13 avril 2013, à Dschang, qui

attira 34 jeunes professeurs et doctorants originaires d'universités camerounaises et subsahariennes (Gabon, Tchad, Côte d'Ivoire, Mali) et plusieurs personnels chercheurs de l'industrie minière. Cette école, cofinancée par l'IUCr, l'Association camerounaise de cristallographie, l'université de Dschang et Bruker, a été centrée sur les méthodes de détermination des structures cristallines par diffraction X poudre ou monocristal. Les enseignants étaient français, camerounais et ivoiriens.

Ce premier centre de cristallographie devra former le personnel d'autres universités dans la sous-région Afrique Centrale et jouer le rôle de centre national et régional de cristallographie. Ses activités actuelles sont académiques et industrielles; collaboration avec les industries minières, utilisation du diffractomètre pour l'enseignement licence master, doctorat; les programmes de recherche et les sujets de thèse associés sont la recherche de nouveaux principes actifs naturels, la synthèse et caractérisation de matériaux minéraux et moléculaires, dont les matériaux

argileux et latéritiques en partenariat avec le récent programme national de prospection des ressources minières et avec la nouvelle école des mines du Cameroun.

Le prochain pays à bénéficier de cette initiative de l'IUCr est la Côte d'Ivoire, université Felix Houphouët Boigny, Cocody où il existe déjà une équipe de cristallographes reconnus au département de physique. Dans ce cadre, un cours avancé de cristallographie a été organisé en 2013 et le projet d'acquisition de deux diffractomètres poudre et monocristal a été finalisé; ceux-ci seront installés en 2016. Ce laboratoire sera le premier centre de cristallographie de l'Afrique de l'Ouest.

En octobre 2015 a eu lieu à Ziguinchor, Sénégal (www.univ-zig.sn) le premier laboratoire itinérant de cristallographie en Afrique subsaharienne. Ce concept de laboratoire itinérant (« open lab ») a été défini conjointement par l'IUCr et l'UNESCO à l'occasion de l'année internationale de la cristallographie (www.iycr2014.org). À Ziguinchor, deux diffractomètres portables pour poudres et monocristaux, prêtés par



Figure 2. Le premier laboratoire itinérant de cristallographie en Afrique subsaharienne, Ziguinchor Sénégal.

la société Bruker, ont été installés pour une période d'une semaine, permettant aux 35 chercheurs et étudiants africains majoritairement sénégalais, mais aussi provenant du Benin, Burkina, Côte d'Ivoire, Madagascar, Maroc, Mauritanie, de combiner théorie et expérience en réalisant des mesures de diffraction des rayons X. En Afrique, de tels laboratoires ont déjà été organisés en 2014 et 2015 en Algérie, Afrique du Sud, au Maroc et en Tunisie; ils ont connu un très vif succès de la part des étudiants et des chercheurs. Pour les autres pays d'Afrique subsaharienne qui n'ont pas encore la possibilité d'acquérir de tels équipements, des laboratoires itinérants sont et seront organisés par l'IUCr, Bruker, et l'UNESCO au Gabon, au Kenya, Zambie, Madagascar, Burkina, Benin. Au fur et à mesure du développement de cette initiative, de plus en plus de chercheurs africains et nord africains participeront à l'enseignement, ce qui ouvrira la voie à la création d'associations nationales, de réseaux et de l'association africaine de cristallographie.

Une étape importante pour le développement des sciences en Afrique a été la tenue de la première conférence Pan-Africaine de Cristallographie, PCCr1, à Dschang, Cameroun (6-10 octobre 2016) qui a réuni plus de 200 enseignant-chercheurs, post-doctorants et thésards provenant de 28 pays africains francophones et anglophones (PCCr1, <http://pccr1-2016.univ-dschang.org/>). Cette conférence scientifique de haut niveau patronnée par l'UNESCO, l'IUCr et l'ICSU a aussi été l'occasion de discuter, autour de deux tables rondes, de la cristallographie en tant que véhicule pour promouvoir la Science en Afrique, et des possibilités d'équipement scientifique en Afrique sub-saharienne. Il a été décidé de créer un steering committee réunissant un chercheur de chaque pays africain pour préparer les futurs PCCr et la création de l'Association africaine de cristallographie. Le Ghana, le Nigeria et le Sénégal sont déjà candidats pour organiser PCCr2. Parallèlement à cet événement, un laboratoire itinérant, openlab, a été organisé en partenariat avec la société Bruker qui a prêté à l'université de Dschang un diffractomètre à monocristal pour une période de trois mois. Ce diffractomètre permet la formation de chercheurs camerounais tout en résolvant des structures cristallines pour chimistes, physiciens et géologues.

En conclusion, les problèmes rencontrés pour faire vivre l'initiative Afrique sont principalement d'ordre administratif – extrême lenteur des décisions, problèmes de douane, nécessité de convaincre au plus haut niveau (rectorat, ministère, voire présidence de la république). Mais ces problèmes sont totalement gommés par l'enthousiasme, la qualité et le dynamisme des étudiants et des jeunes chercheurs (académiques ou personnels d'industries minières) à qui s'adresse cette initiative pour le futur. Le développement logique de cette initiative devrait être de transformer ces centres de cristallographie en centres de mesures physiques et de caractérisation. Pourquoi pas un partenariat avec la SFP et la SFO ?



L'événement sera de nouveau suprême – excitant, original et sensationnel. Exceptionnellement opti 2017 débutera un samedi: Vivez l'événement de la filière opti dans l'intégralité de ses tendances et technologies, innovations et idées, et de son savoir – ce sera époustoufflant!

opti THE INTERNATIONAL TRADE SHOW
FOR OPTICS & DESIGN

S A M E D I – L U N D I
28 au 30 janvier 2017

MESSEGELÄNDE MÜNCHEN
www.opti.de

COMPRENDRE

et apprécier le gyrofibre : le gyro aux performances ultimes ?

Hervé LEFÈVRE - iXblue, 34 rue de la croix de fer, 78100 Saint-Germain-en-Laye - herve.lefevre@ixblue.com

Introduction

Tirant pleinement avantage des technologies télécoms, le gyrofibre (souvent appelé FOG, l'acronyme anglo-saxon de *fiber-optic gyroscope*) a commencé à être étudié il y a 40 ans [1], ouvrant la voie à un gyro « *solid state* ». Plutôt vu au départ comme limité aux moyennes performances (stabilité de l'ordre du degré par heure), il atteint aujourd'hui largement la classe *stratégique* (meilleur que le millidegré par heure), surpassant son compétiteur, le gyrolaser, et il a le potentiel pour devenir le gyro *ultime*, approchant déjà en laboratoire la dizaine de microdegrés par heure en stabilité de zéro à long terme.

Ce papier va essayer de vous faire apprécier la façon étonnante dont le gyrofibre fonctionne, avec des solutions *parfaites* malgré les défauts des composants. C'est aussi l'opportunité de rappeler le contexte historique de l'expérience de Sagnac [2], le principe des gyros optiques.

À quoi sert un gyro ?

Des gyros (gyromètres ou gyroscopes en français, mais par contre uniquement *gyroscopes* en anglais), associés à des accéléromètres, permettent de connaître l'attitude et la trajectoire de mobiles de façon *complètement autonome*, sans aucune référence extérieure, ni possibilité de brouillage. Ces techniques, dites inertielles, utilisent l'information de vitesse de rotation, le vecteur Ω , donnée par trois gyros d'axes orthogonaux, et celle d'accélération \mathbf{a} et de pesanteur \mathbf{g} donnée par les trois accéléromètres pour retrouver l'attitude à partir de la verticale (l'axe de \mathbf{g}). Ces centrales d'attitude nécessitent des gyros de stabilité de zéro autour de 1 à 10 deg/h, la classe de performance dite *tactique*. Elles permettent aussi, de connaître sa direction par rapport au nord géographique (l'axe de la rotation de la Terre). C'est la fonction gyrocompas qui nécessite des gyros de 0,1 à 0,01 deg/h. Il est enfin possible, avec des composants d'encore plus haute performance, de restituer précisément la trajectoire par intégration (au sens mathématique) de ces rotations et accélérations. Ce sont les centrales de navigation inertielle qui nécessitent des gyros dits de classe *inertielle* (10 à 1 mdeg/h), pour assurer une dérive de position inférieure au nautique (ou mille marin, et correspondant à une minute d'arc terrestre, soit 1852 m) par heure. Avec des

gyros de classe *stratégique*, donc meilleurs que le mdeg/h, est atteinte une incertitude de position meilleure que le nautique par jour.

Les premiers gyroscopes ont été mécaniques et sont en fait des toupies extrêmement sophistiquées, mais qui restent d'une fiabilité limitée. Fondé sur le même effet Sagnac que le gyrofibre, le gyrolaser, dont l'étude a commencé dans les années 60, a apporté des progrès considérables et jouit aujourd'hui d'un quasi-monopole en navigation aérienne, tant civile que militaire. Avec, dans les années 70, l'avènement des fibres et des diodes laser pour les télécommunications, le gyrofibre a apporté la possibilité d'un gyro « *solid state* », avec tous les avantages associés de fiabilité et de longévité, sans les pièces mobiles des gyroscopes mécaniques, ni la décharge haute tension du plasma hélium-néon des gyrolasers.

Principe du gyrofibre : effet Sagnac, ou plutôt Sagnac-Laue, et réciprocité

Un gyrofibre utilise donc l'effet Sagnac dans une bobine de fibre optique. Cet effet s'explique très simplement en considérant la propagation dans un interféromètre en anneau sur un chemin circulaire dans le vide. Au repos, les deux chemins sont égaux et la lumière ressort en phase (*figure 1a*).

En rotation, et observé dans le référentiel fixe du laboratoire (*figure 1b*), la lame séparatrice M a le temps de se déplacer en M' pendant la propagation dans l'interféromètre. L'onde corotative parcourt donc *plus* d'un tour, et l'onde contrarotative *moins* d'un tour, et ce à la *même vitesse c* de la lumière

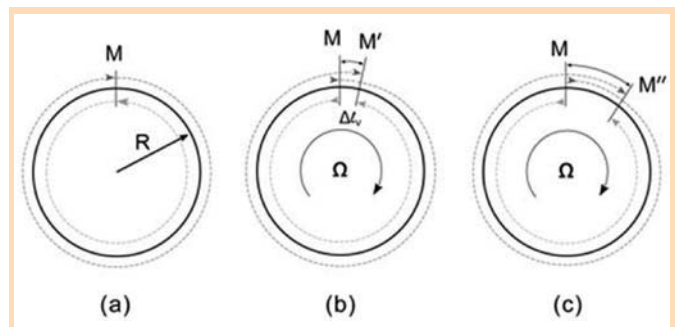


Figure 1. Explication cinématique de l'effet Sagnac.

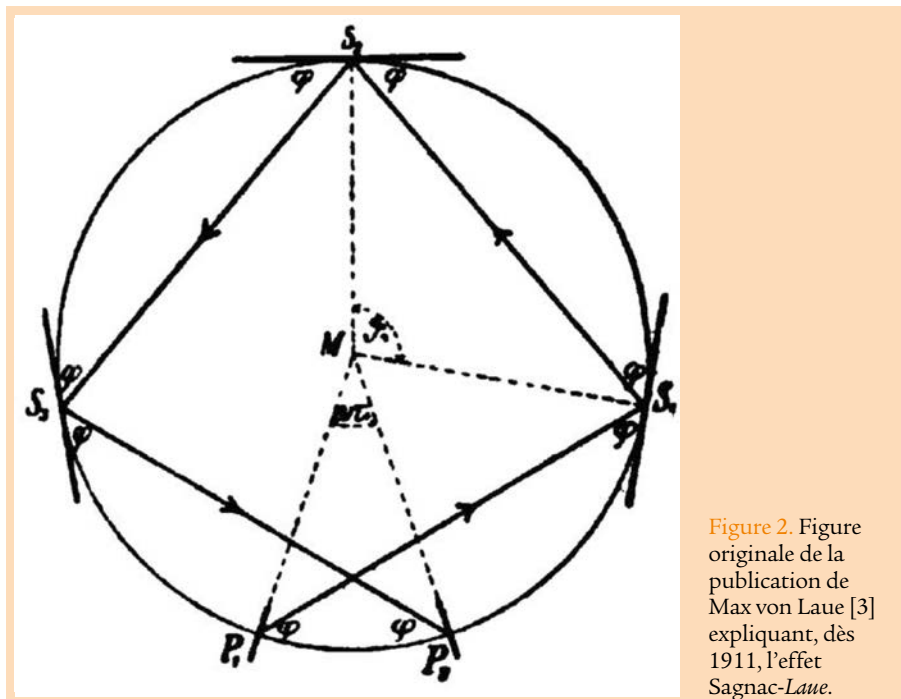


Figure 2. Figure originale de la publication de Max von Laue [3] expliquant, dès 1911, l'effet Sagnac-Lauve.

dans le vide: ceci crée une différence de phase $\Delta\Phi_R$ proportionnelle au produit scalaire du vecteur vitesse de rotation Ω par le vecteur aire \mathbf{A} de la surface définie par le chemin en anneau (λ étant la longueur d'onde):

$$\Delta\Phi_R = 8 \pi \mathbf{A} \cdot \Omega / \lambda c$$

Cette explication presque simpliste du cas du vide correspond cependant bien à la réalité physique. Elle n'a pas besoin de recourir à la Relativité; en effet, l'analyse se fait dans le référentiel *fixe* du laboratoire où la vitesse de la lumière est c avec, bien sûr, la Relativité, mais aussi avec la théorie de l'Ether lumineux. C'est d'ailleurs le titre de la publication originelle de Sagnac [2]. Cependant, celui-ci en tirait la conclusion que l'Ether existe, alors que la bonne analyse est de dire que cette expérience de l'interféromètre tournant ne permet pas de déterminer qui de la Relativité ou de l'Ether est juste. Ce n'est pas très connu, mais cette analyse a été faite par von Laue [3] dès 1911 (*figure 2*), soit deux ans avant l'expérience de Sagnac [2]. Au vu de la pertinence de cette publication, l'effet Sagnac se doit d'être renommé effet Sagnac-Lauve!

C'est dans le cas de la propagation dans un milieu matériel d'indice n (donc le cas de la fibre), que l'analyse devient plus complexe et relève là de la théorie de la Relativité. En effet, en regardant toujours l'effet dans le référentiel *fixe* du laboratoire, et les ondes se propageant à c/n et non plus à c , le séparateur va s'être déplacé plus loin, en M'' et non plus en M' , à la recombinaison des ondes (*figure 1c*). On pourrait en déduire que l'effet va être plus grand, mais ce serait oublier l'entraînement de Fresnel-Fizeau. La différence entre les deux chemins opposés a bien augmenté, mais les vitesses, vues dans le référentiel *fixe* du laboratoire, sont maintenant différentes. Le chemin corotatif, allongé par rapport au vide, est parcouru plus vite que c/n à cause de l'entraînement par la matière; et le chemin contrarotatif, raccourci, est quant à lui parcouru moins vite de par l'entraînement opposé. L'effet Sagnac-Lauve s'avère complètement indépendant de la matière.

Rappelons que l'entraînement de Fresnel-Fizeau est *relativiste*, étant en fait la loi de composition des vitesses en Relativité, comme analysé dès 1907, et avec toujours autant de pertinence, par von Laue [4]. L'effet Sagnac-Lauve dans la matière est donc lui aussi *relativiste*.



ScienTec
La Solution à vos mesures

Gamme complète d'appareils portables

Photométrie Colorimétrie Radiométrie



KONICA MINOLTA

Luxmètre T-10A
Précis & performant
Conforme aux normes JIS et DIN, Mesures multi-points...



Photomètre Chromamètre Luminancemètre CS-150 ou LS-150
Précis & rapide
Large plage de luminance...



REMISE EXCEPTIONNELLE DE 10%
Avec le code **PHOTONIQUES16***



Présente sur Forum LED
Les 8 et 9 Décembre 2016, à Lyon
Stand C1

Luxmètre IRC CL-70F
Efficace & performant
Sources lumineuses et LED, Nombreux types de mesures...



Luxmètre Chromamètre CL-200A
Polyvalent & léger
Eclairage, R&D et Production...



ScienTec c'est aussi...
Vidéocolorimètres
Photogoniomètres
Analyseurs d'écran
Sources de référence



*Offre valable jusqu'au 31/12/16
info@scientec.fr / www.scientec.fr
01.64.53.27.00

Maintenant, avec le seul tour de l'expérience de Sagnac, l'effet est très peu sensible, et il faut donc un système multi-tour. Dans le gyrolaser, ceci est obtenu par résonance dans une cavité laser hélium-néon en anneau, mais la fibre permet une approche interférométrique avec une bobine qui peut être de plusieurs kilomètres, de par la faible atténuation des fibres.

Même avec cette recirculation multi-tour, l'effet Sagnac-*Laue* reste faible, et l'obtention des performances théoriques n'a été rendue possible que grâce au principe fondamental de *la réciprocity de la propagation lumineuse*: les deux chemins opposés vont varier bien sûr (en particulier, d'environ $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ en thermique), mais d'exactement la même valeur.

Les meilleurs gyrofibras actuels atteignent largement la classe de performance stratégique. À titre d'exemple, la dernière centrale de navigation inertielle d'iXblue, la MARINS M7 (*photo 1*), a une spécification de positionnement meilleure que le nautique sur trois jours en inertiel pur. La spécification de dérive long terme de ses gyros est de l'ordre de $100 \mu\text{deg/h}$. Ramenée en différence de phase interférométrique, cela correspond à 10 nanoradians au bout de plusieurs km de bobine, soit une réciprocity relative de 10^{-19} . En laboratoire, $10 \mu\text{deg/h}$ (un tour en 4000 ans !) de stabilité sur un mois ont même été démontrés par iXblue [5] et par Honeywell [6], ce qui amène au nanoradian et à 10^{-20} !

Si la réciprocity a été essentielle au succès du gyrofibre, elle n'aurait cependant pas été suffisante, et les différents problèmes ont pu être résolus par des solutions si efficaces que le terme « *serendipity* » a été utilisé pour les décrire.



Photo 1. Centrale de navigation inertielle MARINS M7 d'iXblue ($500 \times 300 \times 344 \text{ mm}^3$).

Un condensé de technologies télécoms optiques et un traitement du signal étonnamment performant

Un fonctionnement réciproque, élément donc essentiel de la performance du gyrofibre, nécessite un mode unique et il faut donc utiliser une fibre monomode. Idéalement il faudrait aussi un guidage mono-polarisation, mais il a été montré très tôt qu'un polariseur sur l'entrée-sortie commune de l'interféromètre suffit [7], sachant que des fibres à conservation de polarisation permettent de relâcher la spécification de réjection de ce dernier.

Le premier point important à comprendre est que pour éviter plusieurs sources de dérive et de bruit, il faut une source à spectre large (c'est-à-dire de faible cohérence temporelle). Le déphasage Sagnac reste très bien contrasté, n'étant que de l'ordre de la frange, alors que les différentes ondes parasites, et en particulier la rétrodiffusion, perdent la cohérence avec l'onde signal. Les produits de moyenne performance utilisent des diodes superluminescentes à 850 ou 1300 nm, mais la technologie erbium des amplificateurs optiques télécom à 1550 nm s'est imposée pour la très haute performance avec les sources dites ASE, *amplified (by stimulated emission) spontaneous emission*.

La fonction clef de séparation-recombinaison d'un interféromètre peut être effectuée avec des coupleurs à fibre, mais pour la haute performance leur est préféré un circuit optique intégré multi-fonction [8] en niobate de lithium (LiNbO_3). Cette séparation-recombinaison est alors faite très simplement avec une jonction Y, et la modulation de phase nécessaire au traitement du signal utilise les propriétés électro-optiques (effet Pockels) du niobate. Celui-ci apporte aussi l'avantage de permettre de réaliser un polariseur de très haute réjection avec la technique *d'échange protonique* qui conduit à un guide mono-polarisation.

Maintenant, la réponse brute d'un gyrofibre est la sinusoïde classique d'un interféromètre, donc non linéaire et liée à la puissance retour, avec tout ce que cela implique en termes d'instabilité, mais un traitement du signal tout numérique extrêmement performant apporte un potentiel de perfection étonnant au vu des défauts résiduels des composants optiques et électroniques. Il combine une modulation de mise au biais, une contre-réaction par rampe de phase numérique et une démodulation numérique *intrinsèquement sans dérive* [9]. L'ensemble procure une « *serendipity* », comparable à la réciprocity pour l'optique.

La démodulation numérique intrinsèquement sans dérive est essentielle, mais la performance vient aussi du fait que ce traitement utilise un modulateur de phase *réciproque*, qui applique donc *exactement* le même déphasage $\phi_m(t)$ sur les deux ondes opposées, mais une différence de phase $\Delta\phi_m(t)$ est cependant générée de par le retard τ de $5 \mu\text{s/km}$ dû à la propagation dans la bobine :

$$\Delta\phi_m(t) = \phi_m(t) - \phi_m(t-\tau)$$

Il n'est pas facile de faire apprécier en quelques lignes, ce que cette équation simple apporte, mais on peut résumer en décomposant cette modulation entre une modulation

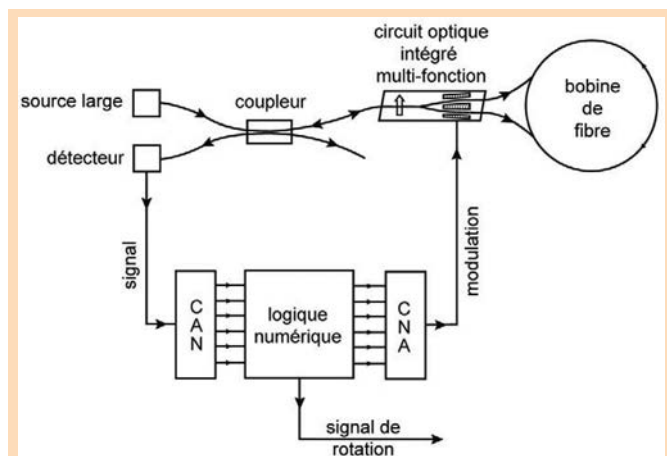


Figure 3. Architecture d'un gyrofibre.

parfaite et un défaut, et montrer que, selon la règle élémentaire que la moyenne d'une différence est égale à la différence des moyennes, le défaut généré sur le déphasage $\phi_m(t)$ étant identique pour les deux sens par réciprocity, le défaut sur la différence de phase $\Delta\phi_m(t)$ est en moyenne nul !

On peut aussi donner un exemple frappant en réalisant que la marche de poids le plus faible de la rampe numérique de contre-réaction est de l'ordre de la dizaine de deg/h quand la résolution finale descend à 10 μ deg/h, soit 10^6 fois moins.

La figure 3 résume l'architecture d'un gyrofibre avec :

- Une source à spectre large, un coupleur renvoyant le signal retour sur un détecteur, un circuit multi-fonction en niobate, et une bobine de fibre à conservation de polarisation dont l'aire équivalente est adaptée à l'application : du mètre carré pour les bobines très compactes des gyros moyennes performances (100 m sur quelques cm), à plusieurs centaines de mètres carrés pour les très hautes performances (plusieurs km sur une vingtaine de cm).
- Un convertisseur analogique-numérique (CAN) d'échantillonnage, un circuit logique numérique (généralement un FPGA) de traitement du signal et un convertisseur numérique-analogique (CNA) qui génère la commande électrique appliquée sur les modulateurs de phase.

Les grands acteurs du domaine

Avec les premiers produits proposés au début des années 90, la technologie gyrofibre a conquis un bon tiers du marché inertiel, le gyrolaser en conservant la moitié. Northrop-Grumman (avec sa filiale allemande NG Litel) domine largement le marché du gyrofibre avec un contrôle de 50 %, mais surtout sur les moyennes performances. Sa centrale LN 200 *tactique* (donc au deg/h) s'est vendue à 30 000 exemplaires [10]. Le leader incontesté de l'inertiel est Honeywell mais, archi-dominant en gyrolaser (75 % du marché), il ne propose le gyrofibre que pour les très hautes performances [6]. iXblue est aussi positionnée sur ce créneau « *high end* », avec 6000 centrales livrées, et ses succès en spatial (en collaboration avec Airbus Defense & Space) et en marine militaire confirment la performance de classe largement stratégique (100 μ deg/h) de la technologie.

Les autres acteurs sont plus concentrés sur les moyennes performances avec, en particulier, KVH [11] aux États-Unis, Fizoptika en Russie, et Sagem Navigation GmbH en Allemagne, où la technologie apporte alors ses avantages de coût et de fiabilité.

Remerciements

Ce papier est l'occasion de remercier tous mes collègues qui ont partagé ma fascination pour la « serendipity » du gyro-fibre, au LCR de Thomson-CSF et à l'université de Stanford dans les années 70-80, puis à Photonetics, iXsea, iXfiber, Photline, et maintenant iXblue.

RÉFÉRENCES

- [1] V. Vali et R.W. Shorthill, « Fiber Ring Interferometer », *Applied Optics* **15**, 1099-1100, 1976.
- [2] G. Sagnac, « L'éther lumineux démontré par l'effet du vent relatif d'éther dans un interféromètre en rotation uniforme », *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* **95**, 708-710, 1913.
- [3] M. von Laue, « Über einen Versuch zur Optik des bewegten Körper », *Münchener Sitzungsberichte*, 405-411, 1911.
- [4] M. von Laue, « Die Mitführung des Lichtes durch bewegte Körper nach dem Relativitätsprinzip », *Annalen der Physik* **328**, 989-990, 1907.
- [5] H.C. Lefèvre, « The fiber-optic gyroscope, a century after Sagnac's experiment: the ultimate rotation-sensing technology? », *Comptes Rendus Physique* **15**, 851-858, 2014.
- [6] G.A. Sanders et al., « Fiber Optic Gyro Development at Honeywell », *Proc. of SPIE* **9852**, 985207-1-14, 2016.
- [7] R. Ulrich, « Fiber-Optic Rotation Sensing with Low Drift », *Optics Letters* **5**, 173-175, 1980.
- [8] H.C. Lefèvre et al., « Progress in Optical Fiber Gyroscopes using Integrated Optics », *AGARD/NATO Conference*, CPP-383, 9A/1-13, 1985.
- [9] H.J. Arditty et al., « Fiber-Optic Gyroscope with All-Digital Processing », *Proceedings of OFS-6*, Springer-Verlag, *Proceedings in Physics* **44**, 131-136, 1989.
- [10] G.A. Pavlath, « Fiber Optic Gyro from Research to Production », *Proc. of SPIE* **9852**, 985205-1-7, 2016.
- [11] J. Napoli, « 20 years of KVH Fiber Optic Gyro Technology », *Proc. of SPIE* **9852**, 98520A-1-13, 2016.

ACHETER

Un logiciel de conception optique

Yan CORNIL
Light Tec, Hyères
yan.cornil@lighttec.fr

Les logiciels de conception optique (CAO optique) ont rapidement évolué ces dernières années et permettent maintenant à un large panel d'utilisateurs de spécialités aussi différentes que l'optique, l'électronique ou la mécanique, de concevoir des systèmes optiques pour des applications aussi diverses que la microscopie, l'astronomie, l'affichage, l'éclairage médical, urbain ou automobile.

Historique et présentation

Bénéficiant de l'augmentation des performances des ordinateurs, les logiciels de conception optique ont tous évolué, profitant des vitesses de calculs et des possibilités d'interfaces ou d'intégration avec les logiciels de conception mécanique. La multiplication des applications et des utilisateurs potentiels ont poussé les éditeurs de logiciels de calcul optique à produire des outils de conception plus accessibles, tant par leurs interfaces, que par leurs caractéristiques et leurs prix. L'avènement des LED a encore augmenté drastiquement le besoin d'outils logiciels, car autant il restait possible de construire sur un coin de table un système lampe/

réflecteur sans logiciel, autant il est impossible de concevoir sans logiciel un système LED/lentille.

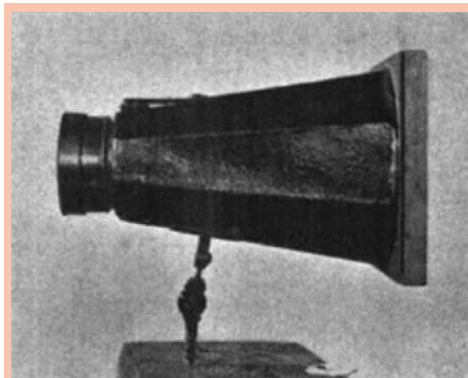
La conception et les optimisations deviennent plus puissantes et plus fines car la vitesse de calcul a suivi l'augmentation des cadences des processeurs, l'amélioration des calculs d'interception des rayons sur les surfaces étant étroitement liée aux performances offertes par les nouvelles cartes graphiques.

Notons que le calcul de l'intersection entre un rayon et une surface prenait deux minutes en 1944 (machine à carte perforée) alors qu'aujourd'hui un ordinateur portable classique peut en générer 20 000 par seconde, voire 2 millions sur un ordinateur multiprocesseurs équipé d'une carte graphique adaptée.

Tout d'abord, un petit rappel de définition : dans le propos qui suit, nous assimilerons un système optique à une fonction optique transformant un objet ou une source dans un espace image, à une fonction d'imagerie, d'affichage ou d'éclairage. Ensuite, avant toute démarche de conception d'un système optique, il faut déterminer la fonction intrinsèque de ce futur système.

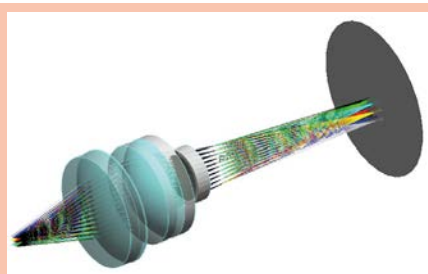
- Soit il aura une fonction d'imagerie : c'est-à-dire de transformer une grille de points en une autre grille de points. On parle alors de **logiciel de calcul optique**.
- Soit il aura une fonction de transport ou de modification de flux lumineux émis par une source quelconque, ce qui est un calcul de photométrie. On parle alors de **logiciel de simulation optique**.

Dans les deux cas, le résultat escompté sera traité par un tracé de multiples rayons lumineux, en partant d'un point objet ou d'une source lumineuse, puis en recherchant les intersections rayons / surfaces rencontrées, jusqu'à atteindre le détecteur souhaité. Même si ces deux problèmes d'imagerie et de photométrie paraissent très similaires pour un néophyte, il se trouve qu'ils sont analysés à l'aide d'outils très différents. Nous ne traiterons pas dans cette publication les logiciels utilisant d'autres techniques

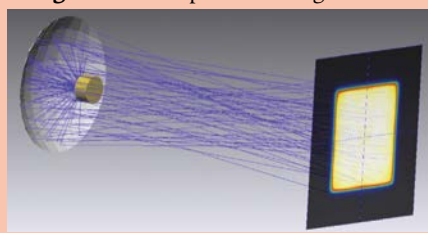


△ **Figure 1.** L'objectif de Petzval est le premier système optique calculé, par une équipe de dix officiers artilleurs doués en calcul numérique (1840).

▷ **Figure 3.** Conception en photométrie.



△ **Figure 2.** Conception en imagerie.





Les solutions NIT pour la vision artificielle intelligente



La révolution de la vision des machines face à l'utilisation de l'image par l'homme va se généraliser aux objets l'entourant grâce à l'avènement de l'intelligence artificielle et des possibilités d'internet. Nombre d'innovations s'inspirent de la biologie des animaux (calcul dans le pixel, système optique et surtout dynamique logarithmique). NIT - inventeur du pixel « native WDR » - cumule les avantages liés à cette dernière approche ; compression liée à la fonction log, contraste constant sur la plage dynamique, stabilité d'image et invariance à l'illumination globale, consistance des couleurs, pas de réglages nécessaires (temps d'exposition, gain, balance des blancs), absence de détérioration d'images avec la température, détection de mouvements dans le pixel. Un autre intérêt de cette technologie est son extension au proche infrarouge (900 - 1700nm) avec l'InGaAs log proposé en caméra WiDy SWIR. NIT fournit plusieurs fabricants d'applications dites de « computer vision » dans le domaine des caméras stéréo (mesure 3D sur bras robot, comptage de personnes), de la détection de mouvements (éclairage intelligent, automobile), du soudage (guidage de tête de soudure), de la biométrie.

CONTACT

New Imaging Technologies

Tél. : +33 (0)1 64 47 88 58

info@new-imaging-technologies.com

www.new-imaging-technologies.com

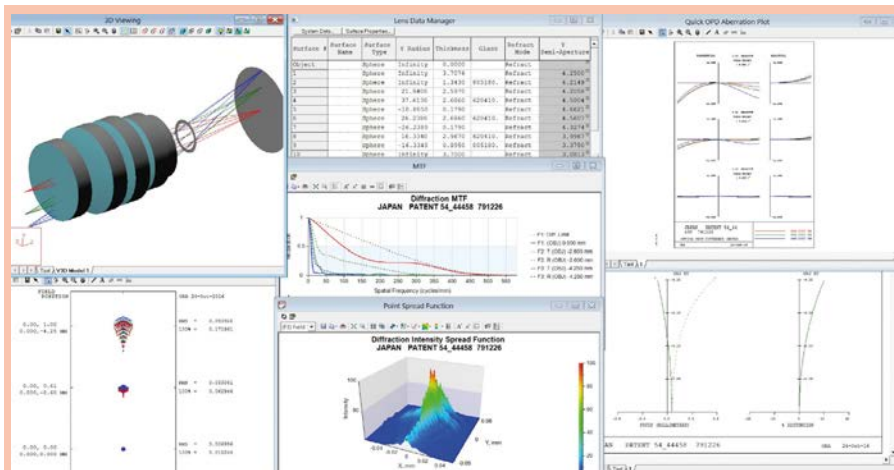


Figure 4. Écran typique d'une phase de conception incluant des analyses de MTF, d'aberration de sport diagramme et plus.

de propagation, conçus pour des applications très spécifiques :

- cas de faisceaux laser en approximation gaussienne (logiciels ABCD, Beam IV),
- cas des réseaux de diffraction (logiciels SOLVENET, OptiGrating, GratingMod),
- cas de propagation dans des composants dont la taille est de l'ordre de la longueur d'onde (ou plus faible) avec résolution des équations de Maxwell, permettant la propagation de faisceaux cohérents dans des micro optiques (logiciels Photon Design, Lumerical, Optiwave, RSOFT) avec la reproduction de phénomènes diffractifs ou les interférences,

- d'autres logiciels abordent même la propagation dans les systèmes de télécommunication optique (logiciels VPI, OptSim, Optisystem) ainsi que la simulation de la propagation atmosphérique (logiciels LightTrans, WONAT).

Différences techniques Les logiciels de calcul optique

Ces logiciels servent à créer une image à partir d'un objet, donc à analyser la propagation d'une distribution de rayons issus d'une surface objet jusqu'à l'obtention d'une surface image. Dans la mesure où les rayons suivent une

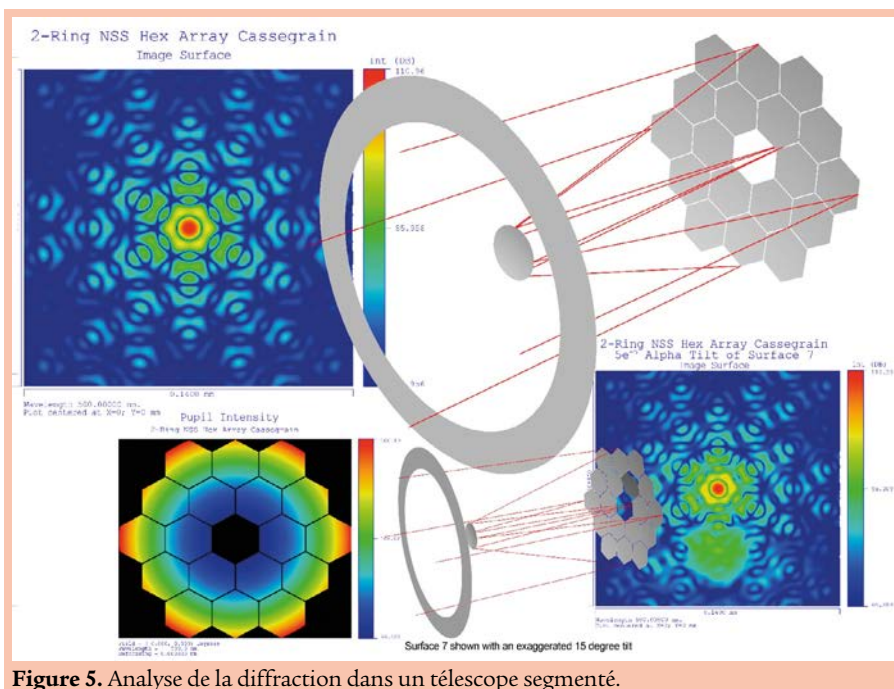


Figure 5. Analyse de la diffraction dans un télescope segmenté.

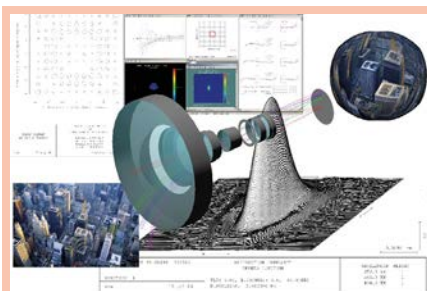
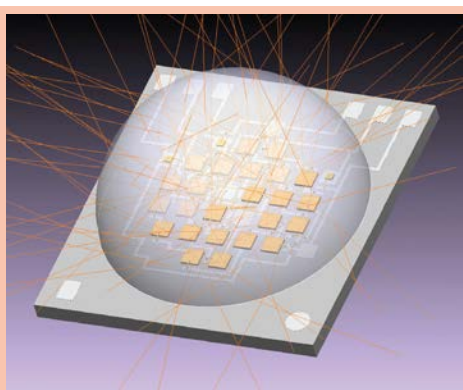


Figure 6. Simulation d'image au travers d'un objectif type fish eye.

▷ Figure 7. Source LED multi chips.



séquence de surfaces *a priori* connus, la propagation des rayons est dite « séquentielle ». Il s'agit d'applications incluant la microscopie, l'astronomie, les caméras visible et infrarouge, la micro optique. Les logiciels disponibles actuellement sont Code V, LensView, Optalix, Oslo, Synopsys et Zemax.

La conception de ces logiciels est basée sur les calculs d'optique géométrique et sert, à l'aide de puissants algorithmes, à minimiser l'impact des nombreuses aberrations géométriques créées par le système optique parfois complexe (aberration sphérique, coma, distorsion, astigmatisme, chromaticisme, etc.). Il permet donc au concepteur de réaliser un système optique donnant une image de très bonne qualité. Bien que les logiciels soient performants (et conviviaux parfois !), il est préférable que le concepteur maîtrise les notions d'optique géométrique et d'aberrations s'il veut aller plus vite dans sa démarche. L'optimisation peut faire une grande partie du travail, mais l'ingénieur peut l'aider à aller plus vite par une bonne appréhension de l'optique géométrique.

L'analyse de la qualité d'un système se fait via des outils comme les spots diagrammes (impacts dans le plan

image des rayons issus d'un point de l'objet et couvrant la pupille), les courbes des différentes aberrations ou la fonction de transfert de modulation (capacité du système à transmettre une fréquence spatiale avec un bon contraste). Pour aller plus loin, la réponse percussionnelle et l'analyse du front d'onde dans le plan image sont également disponibles. Certains logiciels peuvent même propager une onde cohérente dans le système et afficher une carte d'éclairement montrant les différents effets de la diffraction par les pièces optiques et mécaniques (figure 5). Ils peuvent aussi offrir un rendu assez réaliste de la formation d'une image à partir d'un objet (figure 6).

Au-delà de l'analyse, ces logiciels offrent des possibilités d'optimisation du système (choix de paramètres pouvant varier, de résultats servant de fonction de mérite), utilisant différents algorithmes locaux ou globaux. Ils sont capables également d'analyser la sensibilité au tolérancement mécanique du système en prenant en compte des possibilités de réglage du système après fabrication des pièces optiques et mécaniques (tilt, décentrement, offset). Il est même maintenant possible de prendre en compte

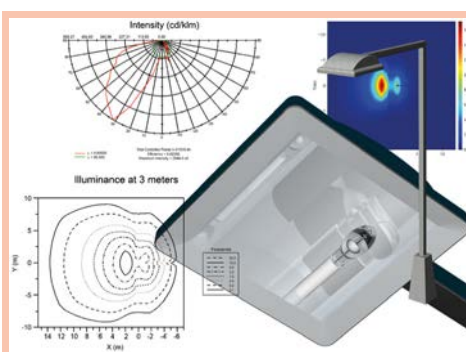
le tolérancement comme contrainte dans l'optimisation de manière à avoir moins de rejet lors de la fabrication.

Logiciels de simulation optique

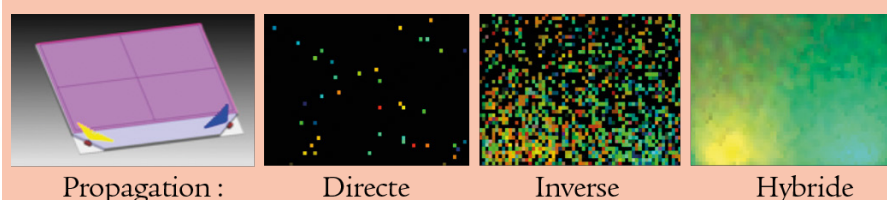
Cette deuxième catégorie de logiciel permet d'étudier le comportement d'un système opto-mécanique avant sa réalisation, donc de faire du prototypage virtuel. Dans la mesure où les rayons se propagent au milieu d'objets et de surfaces sans prédétermination de leur ordre, la propagation des rayons est dite « non séquentielle ». Les logiciels les plus diffusés dans ce domaine actuellement sont APEX, FRED, LightTools, LucidShape, Photopia, SPEOS, TracePro, Virtual Labs, et Zemax.

L'émission et la propagation des rayons lumineux se font sous forme de tirages aléatoires du type « Monte Carlo », pondéré par les propriétés optiques des sources et matériaux. L'envoi de plusieurs millions de rayons permet d'obtenir des simulations différant de quelques % des mesures faites en laboratoire sur les prototypes. Ces différences constatées proviennent en général d'un manque de connaissance des propriétés physiques des matériaux ou des sources utilisées lors de la simulation, ou d'un nombre de rayons tracés insuffisant.

Les méthodes de propagation se font en général depuis les sources vers les détecteurs (méthode qualifiée de **propagation directe**), mais de manière à augmenter la vitesse d'obtention du résultat, d'autres méthodes existent. D'abord en traçant les rayons depuis les détecteurs vers les sources (qualifiée de **propagation inverse**), utiles lorsque les détecteurs sont petits par rapport aux sources. Ensuite

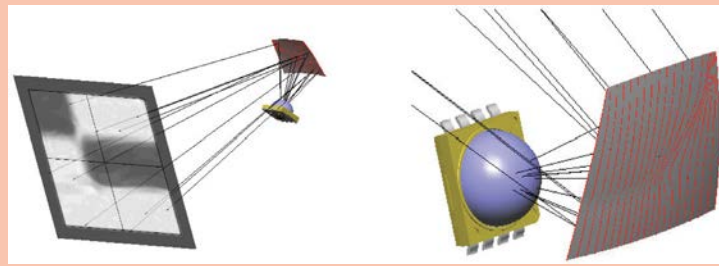


◁ Figure 8. Conception d'un luminaire d'éclairage routier.



△ Figure 9. Simulation d'un LCD rétro éclairé par deux LED jaune et verte. Luminance vue par un détecteur type œil. Résultats obtenus pour un même temps de calcul, 10 secondes.

▷ **Figure 10.**
Photo et rendu réaliste d'un guide de lumière automobile.



◁ **Figure 11.**
Calcul de surface libre.

en utilisant les deux techniques en même temps, mélangeant la propagation directe et inverse (qualifiée de **propagation hybride**). Cette dernière méthode, la plus récente, est de loin la plus rapide (*figure 9*).

L'application la plus en vogue concerne la simulation de sources de type LED ou lampe, dans des composants type réflecteur, lentille ou guide de lumière. Tous ces logiciels possèdent des bibliothèques de sources (LED, lampe tungstène, halogène à décharge), de matériaux (plastique, verre), de qualité de surfaces (réflecteur, filtre, diffuseur, texture), et sont capables d'échanger des fichiers avec les logiciels de CAO, par l'intermédiaire de fichier STEP ou IGES. Les détecteurs possibles dépendent des logiciels, mais incluent au moins la possibilité d'obtenir des cartes d'éclairage (équivalentes à la mesure avec un luxmètre) et des distributions d'intensité (équivalentes à la mesure avec un goniophotomètre). Les autres détecteurs possibles sont les luminancemètres, les colorimètres, les spectromètres et même des caméras permettant l'obtention d'un rendu réaliste (*figure 10*).

Si l'ensemble des logiciels est capable de prédire les caractéristiques photométriques d'un système, certains sont capables de calculer ou d'optimiser la forme des surfaces de manière à obtenir le résultat souhaité. Récemment, de nouveaux algorithmes permettent même de calculer

des surfaces dites « formes libres » de manière à obtenir des distributions très complexes (*figure 11*).

Comment faire son choix ?

Avant de se lancer dans des évaluations de logiciels, les 4 questions suivantes se posent : un logiciel pour quoi faire ? Utilisé par qui ? Pour étudier quelles phases de la conception ? Et enfin est-ce que le besoin d'un outil logiciel est ponctuel ou pérenne ?

Un logiciel pour quoi faire ?

Laser, éclairage LED, objectif de caméra, viseur tête haute, éclairage médical, couplage fibre optique, phare automobile, éclairage routier, image parasite : il n'existe pas de logiciel qui fasse tout ! Il est aussi difficile de dire qu'un logiciel est meilleur qu'un autre. Chacun a ses avantages et ses inconvénients et fera bien la tâche pour laquelle il a été développé. Mais ceci dit, tous les logiciels sont en général capables de traiter d'autres fonctions (qui pourront peut-être suffire à l'utilisateur) que la fonction première pour laquelle ils ont été pensés, mais ils ne lui apporteront pas la possibilité de concevoir rapidement et au mieux car ils n'auront pas les fonctions d'autres logiciels plus spécifiques : les logiciels de calcul optique traditionnels (CodeV, Oslo, Zemax) sont capables de faire de l'illumination, mais n'ont pas été prévus au départ pour cela, donc le traitent moins bien que

Plateforme OSICS

Créez vos bancs de test



avec nos modules OSICS

Lasers DFB



Grande stabilité
P & λ

DFB DWDM
1529 à 1611 nm

DFB CWDM
1270 à 1650 nm

Nouveau
DFB LANWDM
1295,56 nm
1300,05 nm
1304,58 nm
1309,14 nm

Yenista
OPTICS

Tél. : +33 (0)2 96 48 37 16

sales-emea@yenista.com

www.yenista.com

les logiciels comme APEX, Light Tools, Photopia, TracePro, qui eux font aussi du rendu réaliste, mais pas aussi bien que des logiciels comme LucidShape ou SPEOS. Il est à noter que certains logiciels (ASAP, Comsol, Fred, TracePro, Virtual labs) ont été développés comme des boîtes à outils généralistes.

Un logiciel utilisé par qui ?

Le profil de l'utilisateur est également important. Un service « mécanique » standardisé sur un logiciel de CAO mécanique aura intérêt à utiliser, par simplicité, un logiciel d'optique intégré à leur logiciel mécanique. Il en existe plusieurs comme APEX (dans SolidWorks), Photopia (dans SolidWorks), LucidShape (dans CATIA) et SPEOS de loin le plus intégré (dans CATIA, ProEngineer Creo, NX, SolidWorks). Ces logiciels sont faciles à apprendre, mais ne possèdent pas autant de fonctionnalités que les logiciels développés dans leur propre environnement. Donc si l'utilisateur a un profil « optique », il trouvera plus de puissance de conception dans les logiciels non intégrés.

Pour étudier quelle phase de la conception ?

Certains services ont besoin de simulations simples dans des pièces mécaniques, et donc n'utilisent un logiciel d'optique que pour faire des vérifications. D'autres ont besoin de vraiment concevoir un système du début à la fin. Tous les logiciels ne répondront pas de la même manière aux besoins de conception. Un logiciel intégré dans une CAO se prête bien à une simulation simple, un outil développé pour une application répondra mieux aux attentes d'un « concepteur ».

Est-ce un besoin ponctuel ou un besoin pérenne ?

Dans le cas d'un besoin ponctuel, le plus simple est de prendre le logiciel dont le coût est le plus faible à l'achat, voire à la location pour une courte période.

Si le besoin est pérenne, il faut faire attention à la crédibilité des développeurs du logiciel, et de l'éditeur.

Qui se souvient des logiciels POSD (j'ai appris le calcul optique en perçant des cartes perforées...), Sigma

2000, OptikWerk, OMS, Solstis, Apilux, Ray Cad, Optica, Opticad – autant de logiciels, tous performants à leur époque, et tous disparus aujourd'hui. Ces logiciels ont disparu pour deux raisons :

- soit ils étaient intégrés dans un logiciel de CAO qui a disparu ou n'est plus utilisé, comme Opticad, Ray CAD, Optram. Rares sont ceux qui, comme Photopia, ont pu changer de plateforme (Autocad vers SolidWorks);
- soit ils ont été développés par des sociétés « unipersonnelles » ou de quelques employés qui n'ont pas eu les moyens de continuer : Sigma 2000, OptikWerk, OMS, Optica. Et du coup certains ont choisi de mettre leur logiciel en accès libre : Beam IV, Oslo EDU, WinLens3D.

Donc un investissement pérenne doit être privilégié auprès de sociétés solides : sur la vingtaine d'éditeurs cités ci-dessus, la plupart sont des sociétés de une à 10 personnes. Seules quatre d'entre elles dépassent les 20 personnes et deux... les 100 personnes (Optis et Synopsys).

Logiciel	Type de conception	Fabricant	Fournisseur	Contact
APEX	Illumination	Breault Reseach Organization		Donna Hart dhart@breault.com 170 28 48 80 08
ASAP	Illumination	Breault Reseach Organization		Donna Hart dhart@breault.com 170 28 48 80 08
FRED	Illumination	Photon Engeniring	Laser 2000	Bernhard Dauner b.dauner@laser2000.de 498 15 34 05 17
ZEMAX	Imagerie et illumination	Zemax Development		Nicolas Gosseaume nicolas.gosseaume@zemax.com 4412 79 81 09 11
CODEV	Imagerie et illumination	Synopsys	Light Tec	Yan Cornil sales@lighttec.fr - 04 94 12 18 48
LightTools	Illumination	Synopsys	Light Tec	Yan Cornil sales@lighttec.fr - 04 94 12 18 48
Virtual Labs	Illumination	LightTrans	Scoptique	Oksana Ibisova-Bate oksana.ibisova@scoptique.com 09 72 37 93 94
LucidShape	Illumination	Synopsys	Light Tec	Laurence Perimond sales@lighttec.fr - 04 94 12 18 48
OSLO	Imagerie	Lambda Research		sales@lamdares.com
Photopia	Illumination	LightTing technologies	HITEX	Thierry Audet taudet@hitex-international.com 08 74 50 99 90
SOLSTIS Odysee	Imagerie et illumination	OPTIS		Christian Hesse info@optis-world.com 04 83 77 04 85
SPEOS	Illumination	OPTIS		Christian Hesse hesse@optis-world.com 04 83 77 04 85
Tracepro	Illumination	Lambda Research		Corinne Cupillard sales@lamdares.com 06 26 34 20 01

Tableau. Guide d'achat logiciel.

I Module laser



Les systèmes laser Flexpoint MV fiber sont dotés d'une unité laser, qui comprend également le circuit de commande, reliée à l'unité optique par une fibre optique monomode. Celle-ci produit moins de lumière diffusée, et prévient des modes latéraux générateurs d'effets disruptifs en projection laser. L'électronique peut être intégrée séparément de l'unité optique plus petite, permettant l'utilisation dans des espaces confinés. L'effet thermique sur la partie optique est également réduit. Les lasers sont disponibles à 450 nm et à 660 nm avec des niveaux de puissance jusqu'à 50 mW ; d'autres longueurs d'onde ou niveaux de puissance de sortie sont disponibles sur demande.

www.lasercomponents.com

I Platine de nano-positionnement

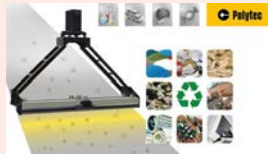


Construite à base de lames flexibles, la platine SLR1500 peut parcourir 1500 μm en boucle fermée. Elle utilise des actionneurs piézoélectriques spécifiques, tolérants à tout type d'endommagement. Plusieurs SLR1500 peuvent être assemblées pour former des systèmes 2 ou 3 axes.

www.piezoconcept.com

I Caméras hyperspectrales / spectromètre

Polytec France distribue les caméras hyperspectrales NIR et le spectromètre Echelle de la société allemande LLA Instruments.



Les spectromètres Echelle répondent à différentes applications tels que l'imagerie de fluorescence, la LIF (fluorescence induite par laser) et la spectroscopie LIBS (spectroscopie de plasma induit par laser). Les caméras hyperspectrales en proche-infrarouge sont destinées à l'imagerie analytique et chimique.

www.polytec.com

I Mini caméras multispectrales



Conçues pour l'imagerie multispectrale dans le visible et/ou le proche IR, les mini-caméras multispectrales

CMS décomposent l'image sur 8 bandes spectrales plus 1 bande panchromatique. Un filtre multispectral aligné pixel à pixel et assemblé sur un imageur monochrome (résolution : 1280x1024) permet de fournir le spectre en chaque point de l'image. Trois gammes sont disponibles : 400-700 nm, 550-800 nm, 650-900 nm.

www.silios.com

I Inspection sans contact

La solution de mesure sans contact 4D InSpec permet de visualiser et mesurer les caractéristiques ou les défauts de surface tels que trous, rayures, rainures, bosses, avec une résolution micrométrique. Elle assure la détection et l'analyse des défauts de 2,5 μm à 2,5 mm de profondeur. Avec sa connectique de 10 m de long il est possible de contrôler des grandes pièces et des formes géométriques complexes (pales de turbines, arbres moteurs...).

www.4dtechnology.com



I Microscope numérique



Désormais doté d'un dispositif optique rotatif de 360° en option, le microscope numérique EVO Cam de Vision Engineering

fournit des vues panoramiques de composants usinés, électroniques ou de précision. Doté d'un éclairage annulaire à LED intégré ; il peut être configuré pour différents environnements de travail, des ateliers d'outillage aux salles blanches.

www.visioneng.fr

I Lentilles asphériques

Les lentilles asphériques de précision



TECHSPEC de Edmund Optics sont conçues pour focaliser la lumière en éliminant l'aberration sphérique provenant de sources lumineuses divergentes, pour des applications telles que la focalisation de sortie d'une diode laser. Elles sont disponibles en 78 modèles avec des diamètres de 10 mm à 50 mm et des ouvertures numériques de 0,50 à 0,83, non traitées ou avec un traitement VIS qui procure moins de 1,5 % de réflexion sur le domaine 425-675 nm, ou un traitement NIR qui procure moins de 1,5 % de réflexion sur la bande 600-1050 nm. Les lentilles sont disponibles.

www.edmundoptics.fr

I Mini-spectromètre

Hamamatsu Photonics présente son spectromètre de la série TF, le



C13555MA, optimisé pour les applications de mesure de couleur. Sa conception s'appuie sur un capteur CMOS de haute sensibilité, un circuit de contrôle et un polychromateur intégrant les optiques et alimenté par port USB. Une fonction de trigger permet des mesures spectroscopiques sur des pulses d'émissions. Une fibre optique permet de guider la lumière vers le spectromètre, puis, de transférer la mesure spectrale sur un ordinateur via la connexion USB. Un logiciel d'évaluation est fourni avec le C13555MA ainsi que les fonctions DLL permettant à l'utilisateur de développer son propre logiciel de mesure.

www.hamamatsu.fr

OUVERTURE DU
PHOTONICS PARK
AU PRINTEMPS 2017



Photonics Bretagne, Hub d’Innovation en Photonique

1 organisation & 2 activités complémentaires au sein d’un Photonics Park

Un cluster au service de l’innovation et du développement de la filière photonique bretonne.



Une plateforme technologique, PERFOS, experte des fibres optiques spéciales et des composants fibrés.



- Une série de services conçus pour les membres du cluster (animation, veille, mise en relation, aide à la création de start-up...).
- Une offre commerciale diversifiée (étude de marché, stratégie marketing, ingénierie de projet...) garantissant un accompagnement sur mesure.

www.photonics-bretagne.com/cluster

- Une gamme de fibres optiques spéciales (PCF, LMA, multicoeur...) et de composants (capillaire, fibre taperisée...) pour toutes les applications (capteur, laser...).
- Des prestations sur mesure : caractérisation, modélisation, intégration de démonstrateurs, étude technique, conseil technologique...

www.photonics-bretagne.com/perfos

