

Photoniques

LA LUMIÈRE ET SES APPLICATIONS

N° 97 · Juillet - Août 2019

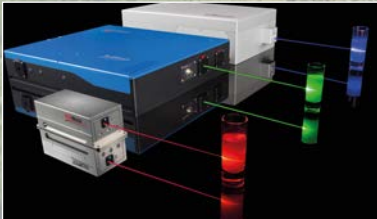
■ FOCUS

Photonics France



■ ACHETER

Diodes laser toutes longueurs d'onde



■ PORTRAIT

Paul Langevin



■ COMPRENDRE

La science du lidar

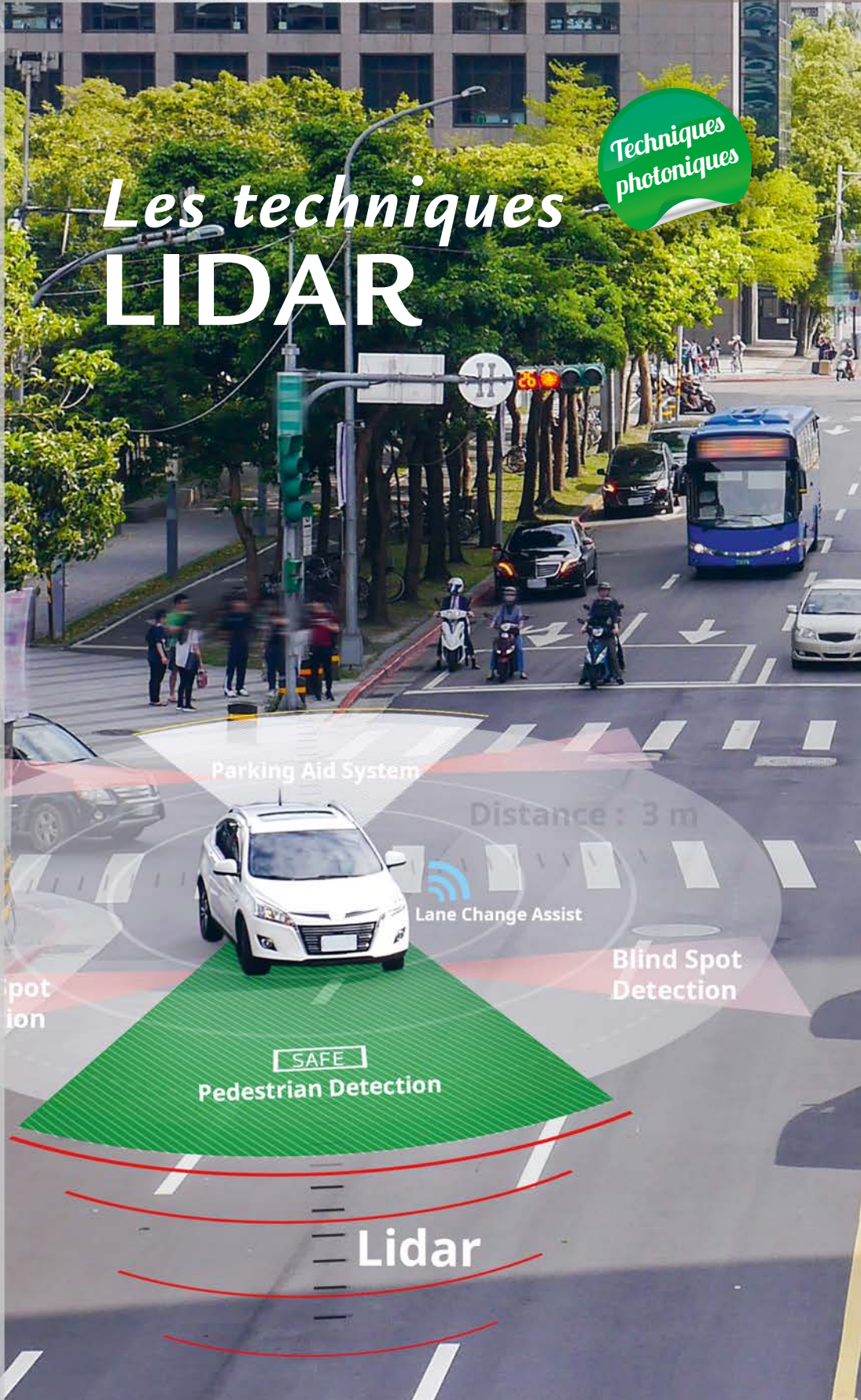


France/EU: 19€ - Reste du monde: 25€

www.photoniques.com

Techniques
photoniques

Les techniques LIDAR



Parking Aid System

Distance : 3 m

Lane Change Assist

Blind Spot
Detection

SAFE
Pedestrian Detection

Lidar

DC à 500 kHz / 5 MHz

Détection synchrone MFLI

Analyseur d'impédance MFIA

À partir de

EUR 5.400,-

À partir de

EUR 9.800,-

Chaque instrument inclus



Analyseur de spectre



Balayage paramétrique



Oscilloscope avec FFT



Module d'imagerie



Conditions de seuil, protection



Interface Python, MATLAB®, C, .NET et LabVIEW®

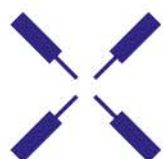
Options de mise-à-niveau

4 boucles PID/PLL

- Simulation de la réponse pour la recherche initiale des paramètres PID
- Auto-tune pour minimiser l'erreur résiduelle
- Mode PLL avec une phase déroulée jusqu'à $\pm 1024 \pi$

Modulation AM/FM

- Génération et analyse des signaux AM/FM
- Analyse des pics satellites d'ordre supérieur
- Contrôle des paramètres de filtre pour chaque fréquence



Zurich
Instruments

Your Application. Measured.

Intl. +41 44 515 0410
info@zhinst.com
www.zhinst.com

Discutons vos applications
Prenez contact avec nous

Pleins phares sur le LIDAR

Le 6 août 1960 paraissent les travaux pionniers de Théodore Maiman sur l'émission laser produite à partir d'un cristal de rubis. Moins de 2 années suffisent pour qu'en mai 1962, 2 ingénieurs du MIT (Boston, USA) pointent un laser à rubis vers la Lune, et plus précisément vers le cratère Albategnius en espérant pouvoir y mesurer la distance Terre-Lune. Les missions Apollo 11, 14 et 15 (1969 & 1971) seront l'occasion de déposer des réflecteurs sur l'astre pour effectuer les premières mesures de cette distance par télémétrie laser. En parallèle à ces développements, 2 chercheurs utilisent dans les années 1960 les lasers pour mesurer la hauteur des nuages. La technologie LIDAR était née. Elle n'aura de cesse alors de se développer, et son domaine d'utilisation de s'agrandir.

Comme l'illustrent les différents articles de ce numéro, la technologie LIDAR s'est implantée dans des domaines aussi divers que l'archéologie, les géosciences, la climatologie et météorologie, l'automobile. Ce numéro vous fera découvrir le principe de fonctionnement et les domaines d'application du LIDAR. Les articles du dossier montreront comment cette technologie a su répondre aux enjeux de la météorologie, des relevés topographiques et bathymétriques, de la sécurité et de l'autonomie de l'automobile.



Nicolas BONOD
Rédacteur en chef

J'ai eu le plaisir de préparer ce numéro avec Riad Haidar, que je souhaite remercier ici chaleureusement pour son enthousiasme communicatif et son investissement sans faille dans la revue. C'est avec un grand plaisir que je prends aujourd'hui le relais. J'aurai la chance dans cette tâche de pouvoir m'appuyer sur l'expertise des membres du comité de rédaction et sur le professionnalisme de l'équipe éditoriale. Il me tarde de rencontrer et d'interagir avec les lecteurs de la revue au cours des prochains événements de l'optique et de la photonique. Je vous souhaite une bonne lecture et vous donne rendez-vous au prochain numéro.

SOMMAIRE 97 Juillet - Août 2019

■ ÉDITORIAL ET ACTUALITÉS DE LA SFO	2
■ ACTUALITÉS DES PÔLES ET ASSOCIATIONS	4
■ ACTUALITÉS DE LA PHOTONIQUE	10
■ FOCUS Photonics France : La photonique, catalyseur de performance et compétitivité	14
■ PORTRAIT Physicien Célèbre. Paul Langevin	18
■ TECHNIQUES RAMAN	
Sur la voie de l'automobile autonome. Ma voiture et comment elle voit le monde	22
Le lidar aéroporté, une méthode révolutionnaire pour l'archéologie	25
Détection et analyse automatique des aérosols atmosphériques par lidar infrarouge	30
Détection et caractérisation des tourbillons de sillage des avions par lidar Doppler	36
■ CAHIER TECHNIQUE	
Comprendre. La science du lidar	40
■ PRODUITS	
Acheter. Diodes laser toutes longueurs d'onde pour l'holographie	45
Nouveautés	III ^e de couv.



Crédit photo (couverture): © iStockPhoto

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.mellot@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 Nicolas Bonod,
nicolas.bonod@edpsciences.org

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

Mise en page Studio wake up!
https://studiowakeup.com

Comité de rédaction

Pierre Baudoz (Observatoire de Paris),
Azzedine Boudrioua (Institut Galilée, Paris 13),
Émilie Colin (Lumibird),
Céline Fiorini-Debuisschert (CEA),
Riad Haidar (Onera),
Wolfgang Knapp (Club laser et procédés),
Patrice Le Boudec (IDIL Fibres Optiques),
Christian Merry (Laser Components),
François Piuze (Société Française de Physique),
Marie-Claire Schanne-Klein (École polytechnique),
Christophe Simon-Boisson (Thales LAS France),
Costel Subran (F2S - Fédération des Sociétés Scientifiques),
Ivan Testart (Photonics France).

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 Courtaboeuf
BP 112 – 91944 Les Ulis cedex A
abonnements@edpsciences.org

Impression

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

Dépôt légal : Septembre 2019

Routage STAMP (95)



LE MOT DE LA PRÉSIDENTE



Pascale NOUCHI
Présidente de la SFO

Chers adhérentes et adhérents à la Société Française d'Optique,

Me voilà donc arrivée au terme de mon mandat à la présidence de la SFO. Ces deux années auront été riches, intenses et passionnantes. J'ai eu la chance d'être entourée d'un bureau et d'un Conseil d'Administration très impliqués et toujours constructifs. J'ai eu également beaucoup de plaisir à travailler avec les Présidents des Clubs thématiques et Commissions de la SFO. Enfin, un grand remerciement à l'équipe de la SFO, Catherine Hercé - notre Secrétaire Générale - Mariam Mellot et Florence Hamet, qui œuvrent pour la SFO avec un très grand professionnalisme.

Notre Conseil d'Administration vient d'être renouvelé suite aux élections du mois de juin. Ce CA se caractérise par un bon équilibre entre la province et la région parisienne, reflétant ainsi parfaitement la diversité géographique des membres de la SFO. Il se réunira le 12 septembre, avec comme toute première tâche, l'élection du futur bureau de la SFO. À cette occasion donc, je passerai la main à Philippe Adam, notre Président entrant actuel. Je lui souhaite une présidence également riche et passionnante et il a toute ma confiance pour piloter à bien notre belle Société.

Que retenir de ces deux années ? Le beau succès d'OPTIQUE Toulouse avec une participation record de 12 Commissions et Clubs de la SFO et l'égalité professionnelle femme-homme mise à l'honneur ; la reprise des écoles thématiques dans le cadre prestigieux des Houches (« *Excitonics for photonic applications* » en 2018 et « *High-precision physics using disseminated optical frequency reference and optical frequency comb* » en 2019), avec à chaque fois un programme de très haut niveau qui a attiré des étudiants, chercheurs et ingénieurs du monde entier ; et enfin la création de la Commission « Optique sans Frontières » en lien étroit avec la Société Française de Physique (SFP) et s'inscrivant dans une démarche de solidarité scientifique internationale.

Voilà, ce bulletin est le dernier de mon mandat et je tiens à vous remercier de la confiance que vous m'avez accordée pendant ces deux ans.

Bien amicalement,
Pascale NOUCHI

ANNONCEURS	
Ardop Industrie	25
EPIC	21
First Sensor	37
Horiba Jobin Yvon	27
HTDS	45
Idil Fibres Optiques	33
Imagine Optic	16, 31
Institut d'Optique Graduate School	13
Kerdry	41
Laser Components	17, 29
Newport	23
Opton Laser International	IV° de couverture
Phasics	17
Photonex	9
Physik Instrumente	19
Santec	47
Spectrogon	43
Spectros Optical Systems	11
Trioptics	39
Zurich Instruments	II° de couverture

Club LIBS de la SFO : la communauté francophone de la spectroscopie de plasma induit par laser

La spectroscopie de plasma induit par laser, plus connue sous le nom de LIBS (*laser-induced breakdown spectroscopy*) connaît actuellement une forte croissance. Elle se distingue, notamment, par son champ d'applications extrêmement large allant de l'industrie à l'environnement, en passant par le patrimoine ou encore l'exploration spatiale pour ne citer qu'elles, ainsi que par une mise en œuvre aussi bien en laboratoire, y compris à l'échelle microscopique, que sur le terrain à l'aide de pistolets ou de systèmes permettant des mesures jusqu'à plusieurs mètres de distance.

La communauté scientifique LIBS rassemble des chercheurs provenant de nombreuses disciplines, allant de la physique du laser et du plasma à la spectroscopie, en passant par la chimie et le traitement des données. Le club LIBS de la SFO, créé en janvier 2013 à l'initiative du CEA Saclay, regroupe aujourd'hui une trentaine de laboratoires, académiques ou privés et bénéficie du soutien de nombreux industriels de l'optique tels que Lumibird, Andor, Idil, et Ocean Insight. Lors de son dernier workshop, co-organisé par Lumibird les 5 et 6 juin 2019 aux Ulis, le

club LIBS a initié plusieurs actions dont la refonte et la remise en ligne prochaine du site web (<http://www.libs-france.com/>) et le lancement d'une campagne inter-laboratoires ayant pour objectif de mettre en évidence l'influence des conditions expérimentales sur les performances des analyses. Pour cette campagne, il s'agit d'analyser par une même méthode de traitement les données fournies par les différents participants après analyse d'un même jeu d'échantillons.

Enfin, les prochaines *Journées LIBS*, qui seront ouvertes à tous, seront organisées les 3 et 4 juin 2020 à Marseille sur le campus de Luminy, par Jörg Hermann, directeur de recherche au CNRS (laboratoire LP3-UMR 7341). Elles auront, comme thématiques principales, d'une part le positionnement de la LIBS parmi les techniques d'analyse élémentaire, et d'autre part l'analyse de matériaux complexes.

En savoir plus sur le site de la SFO, rubrique Les Clubs SFO :

<https://www.sfoptique.org/pages/les-clubs-sfo/club-libs/>

AGENDA

PRE19

4 au 6 septembre 2019

Aston La Scala Hotel – Nice

Photoluminescence in Rare Earths: Photonic Materials and Devices
PRE19 est le huitième événement d'une série de conférences internationales couvrant un large éventail de sujets de recherche concernant les propriétés et les applications des ions de terres rares en optoélectronique et en photonique.

EOS Topical Meetings on Optical Microsystems

9 au 11 septembre 2019, Capri – Italie

Diffraction Optics 2019

16 au 12 septembre 2019,

Jena – Allemagne

Procédés Laser pour l'Industrie (PLI)

25 au 26 septembre 2019

Parc des Expositions – Colmar

Les conférences JNPLI, organisées par le Club Laser et Procédés et le salon Espace Laser, se réinventent et deviennent Procédés Laser pour l'Industrie (PLI).

Tous les événements de l'agenda SFO :

<http://www.sfoptique.org/agenda/>

Commission Enseignement de la Société Française d'Optique : appel à bonnes volontés !

Depuis une quinzaine d'années, les « Rencontres pédagogiques » ont pris une place grandissante dans les programmes de la plupart des grands congrès SFO. Le principe de ces rencontres a été initié par la Commission Enseignement dont le rôle est de susciter, accompagner et valoriser tout type d'actions visant à promouvoir l'enseignement de l'optique en France. Ainsi, cette commission anime une large communauté qui est un lieu privilégié d'échanges et d'opérations concertées entre tous les acteurs de l'enseignement en optique : enseignants, chercheurs, et industriels.

Au-delà du succès des « rencontres pédagogiques », la Commission Enseignement a œuvré à la mise en place de la base de données pédagogiques HAL SFO dont l'intégralité des documents est libre de droits (<https://hal-sfo.ccsd.cnrs.fr/>). Cette base constitue aujourd'hui un outil efficace, ouvert à tous, permettant de mutualiser des ressources de tous types : cours, exercices, schémas, photos...

D'autre part, afin d'ouvrir ses activités à un public plus large, la Commission participe également à l'organisation du colloque CETSIS (Coll. sur l'Ens. des Techno. et des

Sciences de l'Info. et des Syst.), aux côtés du club EEA qui en est l'initiateur, de la Commission Enseignement de la SFP, et de l'Association Française de Mécanique. Dans une démarche similaire, elle s'implique aussi ponctuellement dans des opérations de diffusion de culture scientifique sur le thème de la Lumière, en collaboration avec des associations ou des établissements d'enseignement secondaire.

La diversité des actions proposées n'est possible que par l'implication de nombreux partenaires et par l'investissement de chacune et chacun dans des opérations concertées. Afin que cette dynamique soit entretenue par la mise en place de nouveaux projets, il est aujourd'hui lancé un appel à idées et à bonnes volontés afin de renouveler la Commission Enseignement de la SFO !

Pour toute question ou proposition, contacter Catherine Hercé (catherine.herce@sfoptique.org)

En savoir plus sur la Commission Enseignement :

<https://www.sfoptique.org/pages/les-clubs-sfo/commission-enseignement/>

33 Nouveaux adhérents !

Après un peu plus d'1 an d'existence, Photonics France est fière d'annoncer 135 adhérents dont 33 depuis avril 2018, date de la fusion. Bienvenue à :



Save the Date : Business Meeting Instrumentation Scientifique

À vos agendas ! La prochaine édition de notre Business Meeting entre Grands Comptes et fournisseurs de technologies se tiendra le **13 novembre** de **9h30 à 18h** à l'**Observatoire de Paris** sur la thématique de l'**Instrumentation Scientifique**.

Cette journée se déroulera en 2 temps forts avec :

- des présentations des besoins en photonique de l'Observatoire de Paris (LESIA, GEPI, SYRTE), du Laboratoire Astrophysique de Marseille, de l'INSU, du CNES, du CEA et de l'Institut de la Vision ;
- des tables rondes sur les sous-thèmes retenus : astronomie, spatial, médical et grands lasers. Après de courtes présentations des fournisseurs de technologies, des discussions ouvertes et approfondies seront engagées sur les technologies, les verrous technologiques, les capacités françaises, les modes de collaborations et d'achat des grands comptes... Inscriptions à venir. Places limitées à 100 personnes.



Retour sur Laser World of Photonics Munich



Grand succès et bilan très positif pour ce Pavillon France nouveau format qui a réuni 43 exposants sur près de 400 m² et dont le design a séduit tous les visiteurs et les participants.

Ce succès est le fruit du travail organisé et coordonné par Photonics France et Business

France avec Alpha-rlh, Minalogic, Optitec et Photonics Bretagne.

Un cocktail *French Touch* a également attiré près de 150 personnes avec des spécialités régionales pour célébrer notre diversité. Le Consul général adjoint de France à Munich, M. Benoît Schneider, nous avait fait l'honneur d'être présent à cet événement.

Rendez-vous en 2021 pour un prochain pavillon français encore plus renforcé et contactez-nous dès à présent si vous êtes intéressé(e) pour participer à la prochaine édition.

AGENDA

9-12 septembre Partenariat SPIE Security + Defence, *Strasbourg*

18 septembre Réunion des Adhérents Ile-de-France, *Paris*

25-26 septembre Partenariat PLI Conférences, *Colmar*

Septembre/octobre Conférence & formation sur les Biens à Double Usage, *Paris*

16-17 octobre Partenariat Les Rendez-vous Carnot, *Paris*

17-18 octobre Partenariat New Space Show, *Monaco*

Octobre Rencontres Recherche & Industrie Ile-de-France

13 novembre Business Meeting Instrumentation Scientifique, *Observatoire de Paris*

19-21 novembre Partenariat Smart City Expo World Congress, *Barcelone*

Décembre Journée « Photonique au lycée », national

4-6 février Partenariat Photonics West, *San Francisco (US)*

18-19 mars 3^e édition des JSOL - Journées Sécurité Optique & Laser au travail, *Grenoble*

29 mars - 2 avril 2020 Pavillon France SPIE Photonics Europe, *Strasbourg*

29 mars - 2 avril 2020 Pavillon Photonique Global Industrie, *Paris*

12-14 mai 2020 Pavillon France - OPTATEC, *Francfort (DE)*

4 juin 2020 Assemblée Générale Photonics France / Journée Nationale, *Paris*

POUR CONTACTER PHOTONICS FRANCE

Tél. : 01 53 46 27 09
contact@photonics-france.org
www.photonics-france.org

EPIC à Laser World of Photonics

Laser World of Photonics est la destination de choix pour l'ensemble du monde de la photonique et c'est toujours une période occupée et excitante pour EPIC. EPIC était omniprésent avec son stand très animé juste à l'entrée du salon, mais aussi avec tous les fabuleux stands



des membres d'EPIC répartis dans le hall d'exposition, affichant fièrement la plaque « Membre d'EPIC ». Le 26 juin au matin, EPIC a organisé le petit-déjeuner EPIC des CEO, auquel assistaient plus de 100 dirigeants de sociétés exposantes membres d'EPIC. L'ordre du jour du petit-déjeuner consistait à mettre en lumière le marché européen de la photonique et à discuter de la manière



dont nous pouvons créer un écosystème innovant en Europe. Le deuxième jour de l'exposition, EPIC a organisé un atelier sur le thème « Mise en forme, analyse et contrôle du rayon laser dans les applications de traitement des matériaux », en collaboration avec la société AMS Technologies, membre d'EPIC. Lors de l'atelier, des experts techniques de diverses entreprises clés ont présenté des informations pertinentes, les tendances et les technologies actuelles autour du rayon laser dans le traitement des matériaux. Le troisième jour, dans le cadre de sa mission d'aider ses membres à développer leurs entreprises, EPIC a organisé une session de coaching de dirigeants avec Steve Frisken (Pdg de Cylite) et Andreas Umbach

(Pdg d'Aucept) en association avec le European Photonics Venture Forum 2019. Au cours de sessions très interactives, auxquelles ont assisté des start-ups



et des TPE de la photonique, les orateurs ont partagé le récit de leur réussite et ont activement contribué à conseiller et donner un aperçu des perspectives de croissance pour les entreprises. Le dernier jour de l'exposition, une réunion sur la structuration des surfaces a été organisée par EPIC et soutenue par le projet Européen H2020 LAMPAS. L'évènement a réuni plus de 50 délégués qui ont mis l'accent sur la source laser, la distribution de faisceau et le matériel indispensable au processus de structuration de la surface.



Ce fut vraiment une semaine riche en réseautage, en interactions et en collaborations entre les sociétés membres d'EPIC et c'était formidable de voir la plaque

MEMBRE D'EPIC sur tous les stands. Chaque soir, nous avons célébré l'industrie de la photonique avec d'impressionnantes soirées organisées par les membres d'EPIC sur leur stand et une manière amusante de faire des affaires! La priorité d'EPIC est de donner de la valeur à nos membres et nous sommes heureux de travailler pour eux. Les membres d'EPIC conduisent véritablement la révolution de la photonique. EPIC attend avec impatience le prochain Laser World of Photonics 2021.

ÉVÉNEMENTS EPIC À VENIR

Les événements EPIC sont réputés pour leur excellente mise en réseau, la création de nouvelles connexions et le renforcement de celles existantes. Connecter les membres de l'EPIC, c'est créer une confiance entre les leaders et les experts du secteur de la photonique.

12-13 septembre Réunion EPIC sur le Nouvel Espace à l'Agence spatiale européenne, Noordwijk, Pays-Bas

26 septembre Réunion EPIC sur la Fabrication de Guides Optiques d'OLED et de R2R de nouvelle génération au LpS, Bregenz, Autriche

10-11 octobre Réunion EPIC sur Les Lasers de Grande Puissance au PBF, Almelo, Pays-Bas

17-18 octobre Réunion EPIC sur la Technologie et les Applications des VCSEL chez Sony, Stuttgart, Allemagne

21-24 octobre Délégation EPIC à Singapour

30-31 octobre Réunion EPIC sur le LIDAR pour l'Automobile chez Anteryon, Eindhoven, Pays-Bas

7-8 novembre Réunion EPIC sur l'Optique de Niveau de Tranche (WLO) chez SÜSS MicroOptics, Neuchâtel, Suisse

19 novembre Veille Technologique EPIC sur les Lasers Médicaux au salon MEDICA, Düsseldorf, Allemagne

11-12 décembre Réunion EPIC sur la Photonique pour le Diagnostic et le Traitement du Cancer au NKI, Amsterdam, Pays-Bas

Découvrez les événements EPIC à venir sur www.epic-assoc.com/epic-events

Assemblée Générale de Photonics Bretagne



L'Assemblée Générale Ordinaire de Photonics Bretagne s'est tenue vendredi 5 juillet à Lannion auprès de 75 participants, adhérents et partenaires. Un bilan positif avec une croissance soutenue, aussi bien commerciale (fibres optiques et composants, prestations technologiques, accompagnements,

biophotonique...) qu'en termes de projets structurants et collaboratifs. Le cluster réunit désormais 115 adhérents dont 16 nouveaux validés lors de cette matinée. Parmi eux, le groupe LYNRED, HTDS, CEA Tech Bretagne, Végépolys Valley, et Phohat Technologies, se sont prêtés à l'exercice du pitch afin de se présenter à la filière photonique.

Placée sous le thème de l'agrophotonique (photonique au service de l'agronomie, l'agriculture et l'agroalimentaire), la journée a officialisé **le nouveau partenariat signé par Photonics Bretagne et Arvalis, Institut du Végétal**. Reposant sur une mutualisation des moyens et un partage des résultats, l'objectif de cette collaboration est d'accélérer l'utilisation des innovations de la photonique pour les applications agricoles.

Après un cocktail déjeunatoire offrant de belles opportunités de réseautage, l'après-midi était consacrée aux visites du laboratoire optique et du laboratoire de terrain. L'occasion d'assister à des démonstrations d'imagerie et de métrologie pour le phénotypage d'espèces végétales, le tout illustré par des posters scientifiques.

À la croisée des filières photonique et agricole, cette journée a tenu ses promesses en générant de riches échanges et de belles découvertes autour de l'agrophotonique! De futurs projets en émergeront, c'est certain!

Laser World of Photonics à Munich : Choose France

Photonics Bretagne et Bretagne Commerce International se sont associés à Business France, Photonics France et les autres pôles pour exposer sous un seul et même grand Pavillon « Choose France » au salon Laser World of Photonics, du 24 au 27 juin à Munich. Parmi les 1325 exposants répartis sur 6 halls, les 42 exposants du pavillon (dont 9 bretons) ont fait sensation sous cette nouvelle identité graphique commune, apportant ainsi un maximum de visibilité à l'expertise photonique française et décuplant les opportunités de business. Le Laser World Congress, en parallèle du salon, n'était pas en reste et a offert une nouvelle fois des présentations percutantes et pointues. Satisfaction générale selon les 26 adhérents de Photonics Bretagne présents qui se donnent d'ores et déjà rendez-vous dans 2 ans, du 21 au 24 juin 2021, pour la prochaine édition.



Meeting STEPHANIE à Lannion



L'ensemble des partenaires du projet Interreg Europe STEPHANIE s'est retrouvé à Lannion pour 2 jours de meeting les 13 et 14 juin. Après une découverte de l'écosystème de l'innovation trégoroise avec la Technopole Anticipa, ils ont assisté aux présentations de Météo France, Gis Bretel et Booster Morespace. Avec des applications pour le domaine spatial, Kerdry (revêtements optiques) et iXblue (fibres optiques et gyroscopes) leur ont également ouvert leur porte. Cette journée s'est clôturée dans une ambiance décontractée devant un spectacle inspirant au Planétarium de Bretagne et au Radôme de la Cité des télécoms. Plus d'infos : <https://www.interregeurope.eu/stephanie/>

Rapport d'activité 2018

Le rapport d'activité 2018 est consultable sur le site Internet de Photonics Bretagne :

www.photonics-bretagne.com/fr/cluster/publications/

N'hésitez pas également à demander sa version papier.

Photonics Bretagne souhaite la bienvenue à ses nouveaux adhérents :

Photonics Technologies (29), Phohat Technologies (22), Lynred (38), et Optosigma Europe SAS (91).

Le Roadshow EPRISE s'est achevé à Barcelone

Avec pour objectif de favoriser la collaboration entre les acteurs de la photonique, de l'emballage, de l'agriculture et de l'industrie agroalimentaire, le dernier événement du Roadshow EPRISE (H2020) organisé par Secpho à Barcelone a rassemblé plus de 70 participants venus de toute l'Europe. Ces deux journées (16 et 17 mai) consacrées à l'innovation ont mis en avant les techniques hyperspectrales de Photon Lines pour l'agroalimentaire et le passage réussi de Diafir de l'industrie médicale à l'industrie agroalimentaire.

AGENDA

Open de l'Industrie

8 octobre 2019, Carhaix (29)

Un village sera dédié à l'Innovation de solutions « Industrie du Futur » dans lequel seront intégrées des technologies photoniques.

Journée MIR

22 octobre 2019, Rennes

Photonics West

4 au 6 février 2020, San-Francisco (États-Unis)

Optitec renforce ses partenariats internationaux

Protocole d'accord avec Lux Photonics Consortium (Singapour)

Suite à la mission économique optique-photonique qui s'est tenue à Singapour en 2018, un protocole d'accord (*Memorandum of Understanding* - MoU) a été signé entre OPTITEC et son homologue singapourien Lux Photonics Consortium.

Les discussions préliminaires sur la collaboration entre les deux organisations ont été lancées lors de la visite de la délégation française à Singapour au mois d'octobre 2018, suivies de la signature officielle en mars 2019.

Lux Photonics Consortium est la structure principale représentant le secteur optique-photonique à Singapour. Il s'agit d'une initiative de l'Université Technologique de Nanyang (NTU) et de l'Université Nationale de Singapour (NUS) qui bénéficient du soutien de la Fondation Nationale de la Recherche sous la tutelle du Cabinet du Premier Ministre.

2018 a été l'année de l'Innovation France-Singapour, ce qui confirme l'importance de Singapour en tant que partenaire économique. Cette Cité-État très urbanisée, située à la pointe sud de la péninsule Malaise, est un véritable centre d'affaires mondial et un point de déploiement stratégique en Asie du Sud-Est. Avec son écosystème optique-photonique dynamique et un cadre juridique bien établi, elle représente le lieu idéal pour les acteurs français de la photonique souhaitant se déployer sur la zone de l'Asie du Sud-Est, avec un accès facile au marché chinois.

Ce MoU constitue un cadre permettant aux membres des deux organisations de tisser et consolider les relations économiques afin de s'orienter vers une collaboration durable.

Signature d'une convention avec Optonique (Québec)



Lors du salon Laser World of Photonics qui s'est tenu à Munich du 24 au 27 juin 2019, un protocole d'accord (*Memorandum of Understanding* - MoU) a été signé par Marc Ricci, Directeur Général du pôle OPTITEC et son homologue québécoise, Marie-Christine Ferland, Directrice-Générale du

pôle d'excellence en optique-photonique Optonique. Parmi toutes les provinces canadiennes, c'est au Québec que l'industrie de l'optique-photonique est la mieux établie. L'écosystème est composé de plus de 168 industriels et 21 centres et regroupements de recherche. Il génère un chiffre d'affaires de plus de \$800 millions, exporte près de 85 % de sa production et compte plus de 7500 employés. Soit, plus d'un quart de l'économie optique-photonique du Canada.

Le pôle Optonique vise à mobiliser et fédérer tous les acteurs du milieu de l'optique-photonique du Québec pour faire rayonner leurs technologies et leurs savoir-faire à l'échelle provinciale, nationale et internationale. Il a pour mission de dynamiser et représenter l'écosystème optique-photonique du Québec, d'accroître sa capacité de réalisation de projets structurants et de favoriser son potentiel d'innovation, de créativité et de compétitivité.

Ce MoU représente un cadre permettant aux membres des deux organisations de tisser et consolider des relations économiques afin de s'orienter vers une collaboration durable.

Le Canada est également un pays cible dans le cadre du projet européen EU KETs4Dual-Use géré par OPTITEC. Une mission exploratoire au Canada et aux USA sera organisée par le consortium à l'automne 2019.

Nouvelle offre de service dédiée au recrutement de profils techniques et juniors

À l'occasion de son Assemblée Générale, le pôle OPTITEC a organisé une table ronde « Recrutement & formation » le 5 juin à la Cité des Métiers, 4 rue des Consuls, 13002 Marseille. L'objectif de cet événement était d'établir un état des lieux sur les problématiques de recrutement et de formation (initiale et continue) que rencontrent les entreprises et les organismes de formation de la filière afin de pouvoir impulser plusieurs actions concrètes sur les prochains mois (atelier de sensibilisation aux métiers de la photonique, organisation de *speed datings*).

AGENDA

Évènement inter-réseaux - Le business est dans le pré
17 septembre 2019,
Chateaufleury les Martigues,
France

Atelier - Recrutement de nouveaux collaborateurs : sécuriser les pratiques, éviter les pièges
26 septembre 2019,
Marseille, France

Afterwork LNE
5 novembre 2019,
Montpellier, France

Webinaire financement de l'innovation avec Innovatech
6 novembre 2019

Journée Réalité Augmentée & virtuelle
21 novembre 2019,
Montpellier, France

Salon Milipol
19 au 22 novembre
2019, Paris

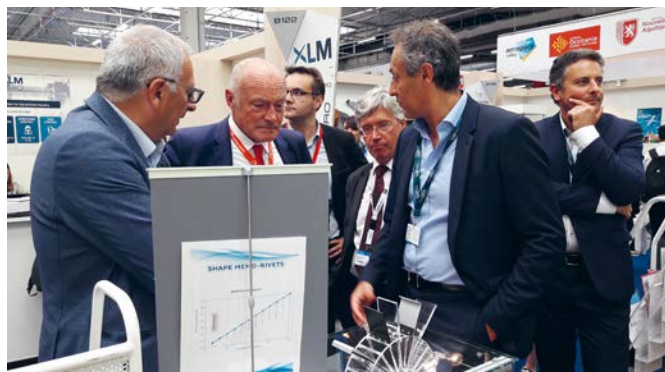
Envol du projet SAPHyR au Salon du Bourget

Du 17 au 23 juin 2019, le pôle ALPHA-RLH était présent aux côtés de ses membres au Salon International de l'Aéronautique et de l'Espace du Bourget (SIAE), sur le Pavillon collectif Aerospace Valley, Régions Nouvelle-Aquitaine et Occitanie.

Une dizaine de prototypes technologiques innovants et disruptifs, développés par des membres du pôle, ont été présentés en avant-première dans le cadre du projet SAPHyR porté par ALPHA-RLH.

La démarche d'innovation collaborative SAPHyR, lancée en 2017 avec le soutien de la Région Nouvelle-Aquitaine, vise à structurer une filière basée sur des solutions photoniques et hyperfréquences dédiées au marché de l'aéronautique.

Les acteurs de SAPHyR (grands groupes, PME/ETI, start-ups et laboratoires) – ALPhANOV, Cilas ArianeGroup, CISTEME, Febus Optics, Ifotec, IMS, NEXEYA, Next Aero Concept, PolymerExpert, ProtoTIG, R&D Vision, Saint-Gobain, Silltec, VLM Robotics et XLIM – ont eu l'opportunité de dévoiler leurs innovations de rupture auprès des acteurs de l'aéronautique. Alain Rousset, Président de la Région Nouvelle-Aquitaine, Nicolas Florian, Maire de Bordeaux et Vice-Président de Bordeaux Métropole, François Bayrou, Maire de Pau ainsi



qu'une délégation de Limoges Métropole et de l'Agglomération de Brive ont également visité l'espace SAPHyR et découvert les prototypes.

Nicolas Dolin, Business Developer chez R&D Vision, témoigne : « *Quoi de mieux pour relever un challenge qu'une démarche groupée ! Nous avons présenté un prototype de plateforme mobile pour le contrôle non destructif de pièces composites. Être au cœur de l'espace SAPHyR qui bénéficiait d'un emplacement idéal a créé une vraie dynamique. Cela nous a offert une belle exposition et nous a permis de rencontrer des interlocuteurs de qualité et de nouer une vingtaine de contacts pertinents* ».

Le pôle ALPHA-RLH à la conquête des marchés canadien et américain

Le pôle a participé à une mission sur le marché nord-américain du 3 au 7 juin 2019 dans le cadre du projet européen PIMAP qu'il coordonne d'une part, et de l'évènement EU-Canada Matchmaking event (Toronto) d'autre part, afin de développer des opportunités de partenariats et business pour ses entreprises (PME) de la photonique et de l'industrie du futur.

La première partie du voyage a amené le pôle aux USA, à Buffalo puis Rochester,

à la découverte de l'industrie métallurgique et d'entreprises spécialisées dans la conception et la réalisation d'optiques de précision. Ces visites ont été organisées en partenariat avec le cluster américain New York Photonics. La deuxième partie de la mission était dédiée au marché canadien, via le Matchmaking event organisé par l'European Cluster Collaboration Platform (ECCP) pour le compte de la Commission européenne. Cet évènement a permis la rencontre

de clusters impliqués dans l'*Advanced manufacturing*, le *Digital* ou encore *The Factory of the Future* et d'incubateurs / accélérateurs pour l'accompagnement de l'innovation et la croissance des start-ups et TPME. Réseautage et échange de bonnes pratiques ont été au cœur de cette mission découverte, laissant augurer de futures opportunités de collaborations entre nos écosystèmes respectifs dans l'intérêt de nos membres.

ALPHA-RLH et ses membres à Laser World of Photonics Munich

La filière photonique néo-aquitaine sur le Pavillon France

Pour la première fois, le Pavillon France, coordonné par Business France et Photonics France, a réuni du 24 au 27 juin 2019 les adhérents d'ALPHA-RLH, Minalogic, Optitec et Photonics Bretagne sous la même bannière. Parmi les 38 entreprises françaises, la filière photonique de Nouvelle-Aquitaine était bien représentée avec 12 exposants membres du pôle ALPHA-RLH qui ont pu promouvoir leur expertise et leurs technologies : ALPhANOV, ARDOP Industrie, Azurlight Systems, Femto Easy, GLOphotonics, Innoptics, Iriosome, Kylia, Leukos, Novae Laser, PYLA et Somos Nanotec.

Deux partenariats signés avec le Canada et les USA

Pendant ce salon, le pôle ALPHA-RLH a signé deux accords de partenariat dans le cadre du projet européen PIMAP qu'il coordonne : le premier avec Optonique, le Pôle d'excellence en optique-photonique du Québec, le second avec le cluster américain Optics Valley (Arizona Technology Council). Une nouvelle phase s'ouvre avec de futurs échanges et opportunités business pour les PME d'Optonique, d'Optics Valley, du pôle ALPHA-RLH et des 3 autres clusters européens (Triple Steelix – Suède, Business Joensuu – Finlande et Produtech – Portugal) impliqués dans le projet PIMAP. De belles perspectives de collaboration et un tremplin pour l'internationalisation des entreprises!

Succès pour la journée PHAROS à Brive



Pour la deuxième année consécutive, la journée PHAROS (Photonique, Hyperfréquences, AÉRONautique et Spatial) s'est tenue à Brive. Après l'édition de mai 2018 « Télécom, Optique et Sécurité », les pôles de compétitivité ALPHA-RLH et Aerospace Valley ont organisé, avec le soutien d'XLIM, la 9^e journée PHAROS le 10 juillet 2019 sur le Campus Universitaire de Brive. Elle a réuni 60 participants sur la thématique « Systèmes photoniques et électroniques à énergie dirigée : Armes & Contre-Mesures ».

Des PME (Cailabs, DESMAN, MC2 Technologies, Optique Fichou), des grands groupes (CILAS et Thales DMS), des laboratoires (CEA, ONERA et XLIM) et le centre de transfert ALPhANOV ont exposé leurs technologies en lien avec la détection, l'identification, la localisation, la désignation, la neutralisation, la protection...

Une délégation de la DGA (Ministère des Armées) est intervenue pour présenter son expertise des systèmes de Défense, sa démarche d'innovation via l'Agence de l'Innovation de Défense ou encore le projet PEDID. Elle a notamment exposé sa démarche pour soutenir les PME à l'export et favoriser l'accès au Fonds européen de la Défense. Puis le cabinet CEIS a présenté les résultats d'une étude dressant le panorama des programmes réalisés, en cours et à venir, sur les armes EM et laser en France et dans le monde.

À l'issue des rendez-vous B2B entre les participants, la journée s'est clôturée par la visite des locaux de l'institut XLIM/Site de Brive et la découverte des activités de recherche autour des composants, circuits, antennes et sources hyperfréquences. Une journée très riche en enseignement et en échanges !

AGENDA

European Microwave Week
30 septembre au 4 octobre, Paris

Journée « Capteurs pour l'imagerie »
17 octobre, Angoulême

Journée BIPSA - Bio-Imagerie Photonique et Santé en Nouvelle-Aquitaine
6 novembre, Bordeaux

Photonex EUROPE 2019

L'ÉVÉNEMENT WHERE PHOTONICS
COMES ALIVE!

9 & 10 OCTOBRE
RICOH ARENA
COVENTRY



**VENEZ
CHERCHER
L'INSPIRATION**
Et découvrir les
nouveautés

**Forfaits
sur-mesure
pour les
exposants
d'outre-mer**



2 JOURS **950** PARTICIPANTS **60+** EXPOSANTS

BON A SAVOIR

Photonex Europe est l'événement n° 1 au Royaume-Uni, organisé au même endroit que Vacuum Expo, Enlighten Conference et met en avant Quantum Technologies, Graphene Expo et The Enterprise Zone



Pour plus d'informations
www.photonex.org

La photonique transfrontière : en Espagne avec Romain Quidant

Je suis actuellement Professeur JICREA et chef de l'équipe de nano-optique plasmonique à l'ICFO, l'Institut des Sciences Photoniques de Barcelone. Bien que physicien de formation, mon équipe travaille à l'interface entre photonique et d'autres disciplines scientifiques, utilisant la nano-optique comme une technologie habilitante pour résoudre des questions ouvertes en biotechnologie, médecine, chimie et impression 3D, pour citer quelques exemples.

À l'origine, c'est mon postdoc qui m'a conduit à Barcelone après une thèse en champ proche optique à l'Institut Carnot de Dijon, dans le groupe d'Alain Dereux. Bien qu'initialement destiné à réaliser un postdoc dans un groupe bien établi en Autriche, j'ai finalement été séduit par l'idée d'un nouvel institut entièrement dédié à la Photonique et avec l'ambition de contribuer à la recherche tant fondamentale qu'appliquée. Je vis cela comme une opportunité à un moment où je n'étais pas convaincu de mes aspirations futures – je m'interrogeais en particulier sur mon envie de rejoindre le système universitaire français.

Modelé par son fondateur et actuel directeur, Lluís Torner, l'ICFO est une singularité, en Espagne, mais aussi dans le reste de l'Europe. Inspiré du modèle

américain, bien qu'adapté à la culture Européenne, l'ICFO est organisé en équipes de recherche de taille moyenne ; chacune de ces équipes étant dirigée par un seul PI (*principal investigator*) et formée uniquement de non-permanents, étudiants de master, PhD et postdocs provenant de partout dans le monde.



Évidemment, cette structure a des implications directes sur la manière d'aborder la recherche. En particulier, le renouvellement constant des membres de l'équipe stimule le renouvellement des thématiques. Sans aucun doute, cela m'a profondément encouragé à

toujours m'aventurer hors de ma zone de confort et m'impliquer dans des projets toujours plus multidisciplinaires.

Une autre particularité de l'ICFO est la proactivité quant au transfert de technologie avec une équipe KTT (*Knowledge and Technology Transfer*) très dynamique et le concept de *KTT launch pad* pour incuber en interne les projets d'innovation et les aider à faire croître leur maturité technologique et stratégique avant de se lancer (ou non) dans la création d'une start-up ou d'une licence industrielle. Aujourd'hui, en parallèle à mes activités de recherche, je suis responsable de trois projets de ce type et si tout va bien, notre première start-up sera créée avant la fin de cette année.

S'aventurer à vivre et travailler à l'étranger est certainement très recommandable pour ouvrir ses perspectives tant culturelles que professionnelles. Apprendre d'autres façons de faire et les combiner avec sa propre éducation est très enrichissant, et c'est un excellent moyen de se réinventer. Mon conseil pour les plus jeunes est de ne pas être intimidé par les frontières. Et je ne parle pas seulement des frontières géographiques, mais aussi des frontières virtuelles entre les disciplines scientifiques, la recherche fondamentale et appliquée.



Thomas Ebbesen, médaille d'or 2019 du CNRS

La médaille d'or du CNRS, l'une des plus prestigieuses récompenses scientifiques françaises, distingue cette année le physico-chimiste franco-norvégien Thomas Ebbesen. Ses travaux en nanosciences, fortement interdisciplinaires, couvrent des domaines aussi divers que les sciences des matériaux carbonés, l'optique, la nano-photonique et la chimie moléculaire. Ses découvertes ont notamment permis des ruptures technologiques en

optoélectronique, pour les communications optiques et les biocapteurs. Ce professeur de l'université de Strasbourg a dirigé l'Institut de science et d'ingénierie supramoléculaires (ISIS, CNRS/Université de Strasbourg) jusqu'en 2012. Il est aujourd'hui directeur de l'Institut d'études avancées de l'université de Strasbourg (USIAS).

(Crédit photo : Caroline SCHNEIDER / ISIS / CNRS Photothèque)

Cérémonie de la Journée Internationale de la Lumière



philosophes, Monique CASTILLO et Laurence VANIN, lors de la table ronde sur le thème « Regards sur la lumière ». Jean AUDOUZE et le film de Liza AZUELOS et Laure GOMEZ MONTOYA ont évoqué la Journée du mieux-vivre ensemble en paix. Dany SANDRON a présenté les travaux de numérisation de la Cathédrale Notre Dame, utilisables pour sa restauration tandis que Denis LAMING nous a parlé du projet lumineux de toit rétractable de Notre Dame.

La comédienne Valérie DASHWOOD a interprété un magnifique texte philosophique sur les lumières, la mezzosoprano Tina ROMAN a enchanté la cérémonie en interprétant OFFENBACH, Les Contes d'Hoffmann, «Vois sous l'archet frémissant», Zorica MATIC a parlé de son livre « La Lumière dans la cité » et Serge SALAT a présenté son installation immersive « Beyond the infinity ».

Le 16 mai a eu lieu, sous l'égide du Comité National LUMIERE & SOCIÉTÉ au Palais de l'UNESCO à Paris, la célébration de la Journée Internationale de la Lumière. La cérémonie, déroulée sous le signe de la rencontre avec trois prix Nobel, a réuni des philosophes, artistes lyriques, comédiens, architectes, historiens d'art, éditeurs de livres, artistes de la lumière.

La cérémonie, orchestrée par Costel SUBRAN, a été lancée par S. E. Madame

Shamila NAIRBEDUELLE, Sous-Directrice générale de l'UNESCO pour le Secteur des sciences exactes et naturelles et S. E. Monsieur Laurent STEFANINI, Ambassadeur de France à l'UNESCO.

Gérard Mourou, prix Nobel de physique 2018 a prononcé le discours d'ouverture « Passion lumière extrême » suivi d'un bel échange d'idées entre les trois prix Nobel Claude COHEN-TANNOUJJI, Serge HAROCHE, Gérard MOUROU et deux

AO4ELT6

La 6^e édition de la conférence AO4ELT (initiée par l'ONERA et l'Observatoire de Paris en 2009) a eu lieu à Québec du 10 au 14 juin 2019¹. Regroupant près de 300 personnes, cette conférence est devenue au cours des dernières années le rendez-vous majeur des acteurs mondiaux de l'optique adaptative pour l'astronomie. Les présentations et les articles associés seront mis en ligne très prochainement.

Cette année, la France a été particulièrement bien représentée avec un co-chair de la conférence, un membre du SOC et 15 présentations orales sur 75 faites par les laboratoires (ONERA, LAM, LESIA, OCA) ainsi que les industriels (FLI, ALPAO, CILAS) du domaine.

Parmi les nombreuses avancées scientifiques et techniques présentées, on notera entre autres :

- L'avancement des projets HARMONI et MICADO, les deux instruments de première lumière de l'Extremely Large Telescope de l'ESO qui ont passé avec succès leur phase de dimensionnement préliminaire et entrent à présent en phase de design final pour une première lumière prévue en 2026 ;
- Une nouvelle camera proposée par First Light Imaging pour répondre au besoin spécifique des analyseurs de front d'onde sur étoile LASER (1,5 MP lus à plus de 500 Hz avec un bruit de lecture inférieur à 3 e⁻ par pixel) ;

- La signature du contrat entre CILAS et TMT pour la fourniture des 2 miroirs déformables du système de MCAO du TMT ;
- Les nouveaux miroir ALPAO avec plus de 3000 actionneurs (et à venir un miroir de plus de 10 000 actionneurs).

Plus généralement, la conférence a une nouvelle fois montré l'expertise unique et la vitalité des instituts et des industriels français dans le domaine avec une implication dans près de 40 % de l'ensemble des contributions de la conférence. Fort de ce succès le LAM a proposé d'organiser la prochaine édition qui devrait donc se dérouler à Marseille au printemps 2021.

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

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

www.spectros.ch

**SPECTROS
OPTICAL SYSTEMS**

¹ voir <http://ao4elt6.copl.ulaval.ca/index.html>

Éclipse totale de soleil au Chili

Le 2 juillet 2019 s'est produit une éclipse totale de soleil au pays de l'astronomie. La pureté du ciel du Chili nous a offert un spectacle extraordinaire. Nous nous sommes retrouvés sur la bande de totalité avec une quinzaine de francophones noyés parmi 35 000 personnes sur les hauteurs de La Higuera, entre Santiago et le désert d'Atacama, pour profiter de ces 2 minutes et 36 secondes de bonheur ! Certains en étaient à leur dixième

éclipse... De là à penser que c'est une activité addictive, il n'y a qu'un pas.

Le Chili nous a également permis d'observer le ciel austral (la Croix du Sud, les nuages de Magellan...) et surtout de rester bouche bée devant une Voie Lactée dont la luminosité seule nous permet de voir nos ombres sur le sol.

Rendez-vous le 14 décembre 2020 au sud de l'Argentine ou du Chili pour la suivante !



© Patrice Le Boudec

Mesure du champ de vent en temps réel pour la course au large



Soutenue par la région Bretagne et l'Europe, SensUp, filiale de Lumibird, innove pour la course au large. Lumibird, qui soutient Michel Desjoyeaux sur le circuit de la course du Figaro, ambitionne, avec l'écurie de course au large Mer Agitée, de doter les voiliers de compétition, de sa solution pour la mesure du champ de vent en temps réel. Ce projet innovant utilise l'effet Doppler-Fizeau et une technologie à fibre pour déporter, loin de la source, de multiples lignes de visée. Émission et réception

peuvent ainsi être réparties sur le mât moyennant le fait de juguler les effets non linéaires, notamment l'effet Brillouin, inhérent à l'utilisation d'une source pulsée cohérente de plusieurs dizaines de microjoules. De ce fait, la cartographie du champ de vent jusqu'à 2 miles nautiques en amont du bateau devient possible. Cela ouvre la voie à une avancée considérable pour les marins, dans l'objectif de déterminer la meilleure trajectoire, ou encore le meilleur réglage de voiles sur le plan d'eau en course.

Un microlaser émettant de la lumière hélicoïdale

Des chercheurs du Centre de nanosciences et de nanotechnologies (C2N, CNRS/Univ. Paris-Sud) à Palaiseau, avec des collaborateurs du laboratoire Physique des lasers, atomes et molécules (PhLAM, CNRS/Univ. Lille) à Lille et de l'Institut Pascal (CNRS/SIGMA Clermont/Univ. Clermont Auvergne) à Clermont-Ferrand, ont réalisé un laser intégré dont l'architecture novatrice permet d'émettre la lumière dans des états chiraux, produisant ainsi des tire-bouchons de lumière. Pour ce faire, ils ont fabriqué une cavité laser hexagonale formée de six micropiliers couplés. Grâce à la symétrie de rotation de la cavité, les modes résonants présentent des valeurs bien précises de moment cinétique orbital (MCO). Pour favoriser l'émission uniquement dans un mode horaire ou antihoraire, ils ont tiré profit d'un couplage, induit par l'architecture de leur cavité, entre la polarisation et le MCO de la lumière. Ce nouveau type de microlaser permet ainsi de contrôler la chiralité de l'émission (d'horaire à antihoraire) simplement en changeant la polarisation du laser de pompe. L'autre atout majeur est sa taille : il n'existait pas jusqu'à présent de dispositifs « micros » permettant cette chiralité « à la demande ».

<http://doi.org/10.1038/s41566-019-0380-z>

Source : Institut de Physique du CNRS

Sylvain Gigan, Prix Jerphagnon 2018

Sylvain Gigan, professeur à Sorbonne Université, dirige l'équipe imagerie optique en milieux complexe et diffusants, au laboratoire Kastler-Brossel, à l'école Normale Supérieure. Ses recherches portent sur l'optique des milieux complexes, depuis les effets fondamentaux, l'imagerie biomédicale jusqu'à l'optique quantique. Il est co-fondateur de la startup LightOn, qui développe une solution de calcul optique pour l'intelligence artificielle, basée sur ses travaux. Sylvain Gigan est membre Junior de l'Institut Universitaire de France.



Attribué à une personne portant un projet innovant à grande valeur scientifique ou à fort potentiel industriel, et comportant au moins un élément d'optique ou de photonique, le prix Jean Jerphagnon a vocation à promouvoir l'innovation technologique et la diffusion de l'optique et de la photonique dans tout domaine d'application. Les candidatures au Prix Jean Jerphagnon 2019 sont ouvertes jusqu'au 25 octobre 2019 : www.imt.fr

Témoignage d'entrepreneur : Paul Sauvageot, ISP System

Les innovations nées de la photonique sont présentes partout dans notre vie quotidienne, dans les laboratoires de recherche, et sur les chaînes de production ou de contrôle des industriels. Certaines innovations débouchent sur une activité économique, et deviennent un moteur de création et de développement des entreprises. Dans ce numéro, nous interviewons Paul Sauvageot, Président Directeur Général de la société ISP System.



Pouvez-vous décrire vos produits en 3 mots-clés ?

ISP propose des produits de grande précision : miroir actif, monture motorisée, micro/nano positionneur, machines automatiques de micro-assemblage ou de brasage/frittage laser... Ce sont des équipements mécatroniques et opto-mécaniques innovants pour l'industrie et la science.

Pouvez-vous décrire la genèse du concept-phare ou de l'idée-phare ?

Nous nous sommes engagés il y a plus de vingt ans sur deux idées phares :

- Le constat de la carence en engineering de haute précision en France. L'émergence du projet Laser Mégajoule était alors une réelle opportunité pour développer cette activité pour les grands lasers.
- Les progrès technologiques rapide en robotique, vision, AI permettent de proposer l'automatisation des opérations d'assemblage de précision en remplacement de l'assemblage manuel. Les machines automatiques de micro-assemblage sont une réponse à la nécessité de gain de productivité face à la concurrence des pays low cost.

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

L'application d'une méthode originale de management des équipes et des projets, issue de mes expériences professionnelles antérieures et des limites rencontrées dans les grandes organisations.

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

Il s'agit de marchés de niche des équipements mécatroniques de précision innovants, c'est un besoin transversal que l'on retrouve dans de nombreux marchés (photonique, science, défense, aérospatial, médical...).

Quel est le paysage concurrentiel (France et étranger) ?

Nous avons très peu de concurrents, en Europe, dont l'offre couvre tout notre panel de compétences et de produits. Nos concurrents sont plus spécialisés et offrent des gammes de produits plus restreintes.

FORMATION CONTINUE

99% de satisfaction
sur nos formations en
optique & photonique

- Des formateurs experts
- Un parc unique de ressources expérimentales dédiées
- Des bases à la spécialisation
- Sur catalogue ou sur-mesure
- En anglais ou en français



Catalogue en ligne

fc.institutoptique.fr

- Optronique, infrarouge
- Instrumentation, composants, fabrication
- Conception optique
- Imagerie, mesure, communications
- Sources, éclairage, laser, sécurité
- Mastère® spécialisé ELS
Embedded Lighting Systems

Contact +33 1 64 53 32 36

fc@institutoptique.fr



La photonique, catalyseur de performance et compétitivité

En partenariat avec *Photonics France*

La photonique désigne les sciences et les technologies qui génèrent, émettent, détectent, collectent, transmettent les flux de photons, c'est-à-dire la lumière. En remarquant que « *Le paysage se déchiffre et s'illumine. On voit. Tel paraît être le privilège de la connaissance humaine* », Teilhard de Chardin nous rappelle que la photonique est bien la science de la connaissance, par l'analyse et la mesure, que l'on compare souvent à des technologies mécanique ou chimique.



Lors de leurs premiers pas sur la Lune il y a 50 ans, Neil Armstrong et Buzz Aldrin ont posé un réflecteur laser qui permet encore de mesurer que la Terre et la Lune s'éloignent d'environ 3 cm par an. Et plus de 400 ans après l'utilisation d'une première lunette tournée vers le ciel par Galilée, la photonique est toujours la seule technologie qui permette de mesurer le ciel et plus généralement de réaliser des mesures et des analyses à distance, c'est-à-dire

sans contact. Cette propriété permet des solutions de rupture dont les avantages sont la rapidité d'analyse, la précision, la facilité de mise en œuvre et la compacité pour les techniques de mesure et d'analyse.

Mais la photonique c'est aussi la génération de la lumière par LEDs ou lasers. La révolution des technologies d'éclairage permet de fonctionnaliser la lumière grâce aux LEDs pour un éclairage intérieur, extérieur ou dans les transports qui soit intelligent et économe. En 60 ans, les lasers ont révolutionné notre quotidien dans tous les domaines.

Grâce à la miniaturisation et l'intégration des capteurs d'image et au traitement d'image embarqué, la photographie est désormais accessible à

tous. Tous les secteurs en ont profité : le grand public, bien sûr, mais aussi l'industrie, l'automobile... Le challenge est de produire ces merveilles technologiques à bas coût, pour toutes les bandes spectrales, de l'IR jusqu'aux rayons X.

Face aux besoins des marchés et des révolutions technologiques qui s'opèrent, les entreprises photoniques innovent pour toujours plus d'efficacité. Les exemples de ce dossier illustrent bien les capacités de la photonique à relever ce challenge. Laissons place à L'Oréal, Qiova, New Vision Technologies, Polyrise, Polytec, Quandela, Silltec.

Ivan Testart,

Directeur général de *Photonics France*

Un maillon central pour l'efficacité des procédés

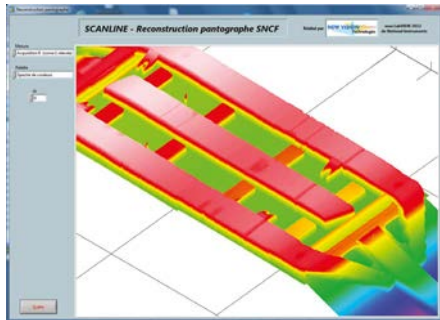
Qiova développe et commercialise des systèmes de mise en forme de faisceau laser programmables qui permettent de découpler la compétitivité et rentabilité des procédés laser de traitement des matériaux : le marquage sur des lignes de production haute cadence par exemple, est grandement accéléré et simplifié par le marquage instantané – en un seul tir laser – de Datamatrix avec la tête de marquage multipoint VULQ1. La technologie permet de travailler à très haute résolution tout en contrôlant finement le dépôt d'énergie par unité de surface : une caractéristique utilisée pour la lutte anti-contrefaçon ou dans les applications de micro-soudure, avec des performances inaccessibles aux solutions classiques à base de scanner, d'optiques diffractives ou de masques. Le système est en production depuis 2016 pour la réalisation

de codes 2D sub-millimétriques, permettant l'identification discrète et l'authentification de pièces de collection, avec encodage d'une clé de cryptage (propriété du client) lors du marquage laser. Paul Noel, président co-fondateur de True +, explique : « *Intégrée à notre machine de marquage, VULQ1 nous permet un contrôle extrêmement fin du faisceau laser, indispensable à l'insertion simultanée des informations identifiantes et fonctionnelles authentifiantes dans les micro-codes apposés pour l'un de nos clients sur les pièces en or 24 carats. Ces codes couplés avec notre solution de lutte anti-contrefaçon rendent la copie extrêmement complexe.* » Des applications en micromachining laser et micro-fabrication additive sont en cours de développement.

Les produits TopMap de **Polytec** s'adressent à de multiples marchés : de l'automobile à l'aéronautique en passant par les semi-conducteurs, pour des besoins de contrôle qualité en laboratoire ou en production. L'idée du développement des interféromètres lumière blanche est née

il y a plus de 15 ans du besoin de contrôle de pièces en micro-mécanique, structures beaucoup trop petites pour n'importe quelle technique à contact, comme les stylets mécaniques. Avec de multiples points forts : la mesure se fait par la lumière et donc sans contact, permettant de mesurer tout type de profil et ne laissant pas de marque sur les pièces mesurées ; la mesure est entièrement contrôlée par logiciel, facilitant l'automatisation et la répétabilité. De plus Polytec a développé des solutions pour contrôler de grandes surfaces tout en optimisant les résolutions et le temps de mesure.

New Vision Technologies adresse la sécurité des infrastructures ferroviaires : sa solution co-développée avec le centre de recherche SNCF permet de contrôler l'usure des pantographes, pour en déclencher la maintenance et prévenir toute rupture.



© New Vision Technologies

Les produits alternatifs (suisse ou italiens) n'atteignent pas les performances du système de scan 3D développé par New Vision Technologies. Celui-ci assure une reconstitution millimétrique grâce à des sources laser épousant la forme du pantographe, associées à un logiciel d'acquisition basé sur la plate-forme LabVIEW de National Instruments, pour détecter les défauts sur les bandes d'usure du pantographe.

Les évaluations en termes de temps moyen entre panne (MTBF) des composants avoisinent les 100 000 heures, permettant d'envisager un fonctionnement sans panne sur plusieurs années.

Chez **L'Oréal**, la photonique est à la base de services innovants offerts au client final : l'essayage virtuel, qui passe par un écran de smartphone ou par des vidéoprojecteurs, s'appuie sur des dispositifs tels que spectrocolorimètre, ou imageur/appareil photo avec illumination contrôlée en angle, spectre ou polarisation ; des algorithmes transcrivent la modélisation physique de la lumière, son interaction avec la peau, le cheveu ou le maquillage. Plus en amont dans la formulation des produits, les techniques d'imagerie et d'analyse de pointe sont mobilisées, pour mettre en évidence le fonctionnement de cellules, et leur interaction avec les cosmétiques : OCT, microscopie confocale, multi-photon, Raman...



©L'Oréal

Réduire l'empreinte environnementale



© Polyrise

Le revêtement antireflet mis au point par **Polyrise** se destine aux éléments optiques utilisés par les marchés de masse : lentilles plastiques et verres des phares automobiles LED, vasques plastiques pour l'éclairage public extérieur, écrans de protection des caméras et autres capteurs optiques - lidar notamment. Pour chacune de ces applications, le revêtement antireflet permet principalement de réduire les rayons parasites, conséquence des différents indices des milieux traversés, tout en augmentant l'efficacité du système. Le bénéfice se traduisant différemment selon les marchés : diminution de l'empreinte carbone des véhicules, respect de la réglementation sur la prévention, la réduction et la limitation des nuisances lumineuses pour l'éclairage public.

Adressant des secteurs industriels tels que l'automobile, l'aéronautique, la plasturgie, le luxe, le BTP ou encore la restauration du patrimoine, la machine laser DRAGO de **Siltec** déclinée en versions « mobile » et « station » prend en charge les opérations de nettoyage et de décapage, dans une optique d'amélioration des procédés de production, et de réduction de l'impact environnemental : elle a reçu dans sa variante « Thick Mobile » le prix de la « Solution Responsable » aux Global Industrie Awards 2019. Permettant un nettoyage précis et sélectif sans détérioration du support traité, les machines DRAGO se démarquent des laser à fibre classiques par leur puissance crête de 40 MW permettant d'éliminer tout type de revêtement (agent démoulant, peinture, colle, oxydation, graisse,

© Siltec



poussières...) sur les matériaux même les plus sensibles. Elles ne nécessitent aucun consommable, et ne génèrent aucun déchet tiers, tout en affichant une consommation électrique réduite.

« DRAGO Thick Mobile a su répondre aux exigences techniques de notre brevet nécessitant une très bonne qualité de faisceau. Cette machine laser a une cadence beaucoup plus élevée que les autres technologies que nous avons testées, ce qui nous a permis d'améliorer notre productivité et par conséquent nos offres », témoigne Hervé Godignon, gérant de Laseralp.

Vers des ruptures technologiques majeures

« Un ordinateur quantique (si un jour il existe) permettra de réduire les consommations d'énergie grâce à des algorithmes d'optimisation complexes. Nous pensons aussi qu'il permettra d'inventer de nouveaux matériaux plus légers pour les transports, des batteries nouvelles génération pour le stockage de l'énergie... » : telle est l'analyse de **Quandela**, dont les sources de photons uniques offrent un flux adapté aux applications quantiques – et pourquoi pas, un jour, dans le contexte d'un ordinateur quantique optique.

« Les experts considèrent que les premières applications concrètes des ordinateurs quantiques consisteront à simuler la physique de la matière de manière beaucoup plus précise que ne saurait le faire un ordinateur. En réalité, on serait entre l'ordinateur et un simulateur. En utilisant ce simulateur, les ingénieurs pourront simuler de nouveaux états de la matière et pourront tester « en direct » de nouveaux arrangements de matériaux et développer des matériaux supraconducteurs à température ambiante (plus de perte d'électricité par effet Ohm), mettre au point de nouvelles molécules pour la pharmacologie, et développer des matériaux plus résistants ou encore plus légers... Idem pour des batteries qui tiendraient la charge plus longtemps, avec une meilleure durée de vie. »

Des chercheurs australiens ont d'ores et déjà simulé des molécules chimiques avec de la lumière (<https://www.nature.com/articles/nchem.483>), tandis que l'entreprise canadienne ProteinQure développe des algorithmes pour ordinateur quantique afin de créer de nouvelles molécules innovantes.

Photonics France et la revue Photoniques remercient pour leur contribution à cet article :

L'Oréal Research & Innovation – Benjamin Askenazi, Team manager

New Vision Technologies – Véronique Newland, Directrice

Polyrise – Fabien Rougé, Directeur général

Polytec – Florent Deux, Responsable département Système de mesures optiques

Qiova – Florent Thibault, Vice-président marketing & ventes

Quandela – Valérian Giesz, CEO

Silltec – Julien Decloux, Président

Imagine Optic™

PUBLI-RÉDACTIONNEL

Depuis sa création en 1996, Imagine Optic conçoit et développe des solutions de métrologie de front d'onde basées sur le principe de Shack-Hartmann ainsi que des systèmes complets d'optique adaptative. Nos analyseurs de front d'onde HASO sont devenus des références tant dans le milieu scientifique qu'industriel, permettant de couvrir une gamme spectrale étendue (VIS, SWIR, UV, EUV et X désormais) et offrant une très grande flexibilité (large dynamique, précision absolue de $\lambda/100$). Depuis 2005, en collaboration avec sa société sœur Imagine Eyes, Imagine Optic propose un miroir déformable électromagnétique (Mirao52e) parfaitement adapté aux applications ophtalmiques et biomédicales, et également aux applications de microscopies (Mica3D-SR) haute résolution PALM/STORM et Spinning Disk (Mica-SD).



Pour des applications reliées à des lasers de puissance, des lasers femtosecondes, où une correction du front d'onde est souhaitée, nous proposons également des miroirs déformables dédiés, ILAO Star (entre 50 mm et 400 mm), basés sur une technologie brevetée d'actionneurs mécaniques, ainsi que la boucle fermée de contrôle associé.

Nous concevons également des systèmes optiques répondant à des besoins de métrologie spécifiques, comme le SL-Sys Liquid pour la caractérisation de lentilles liquides, ou le HASO R-Flex, pour la caractérisation de lunettes astronomiques, des télescopes, et l'alignement de collimateurs. Citons au passage quelques succès d'Imagine Optic comme la qualification du télescope Herschel pour l'ESA, le contrôle et la correction de front d'onde de l'ensemble des chaînes laser d'ORION, de BELLA, d'ELI Roumanie et du Laser MegaJoule...

CONTACT

IMAGINE OPTIC

18, rue Charles de Gaulle - 91400 Orsay

Tél : +33 1 64 86 15 60 - Fax : +33 1 64 86 15 61

contact@imagine-optic.com - www.imagine-optic.com



QuickSwitch® récompensé pour son excellence en matière d'Innovation de Capteurs

Sensors Expo: LASER COMPONENTS remporte le prix «Best of Sensors» 2019 Award

LASER COMPONENTS, spécialisé dans les composants pour l'industrie du laser et de la photonique, a reçu le prix «Best of Sensors» 2019 dans la catégorie automobile/autonome. La diode laser pulsée QuickSwitch® (PLD) a été reconnue comme l'un des produits innovants de l'année 2019. Dans quatorze catégories, les prix prestigieux ont été décernés par FierceElectronics lors de Sensors Expo & Conference 2019, qui s'est tenue en juin à San Jose, Ca. Basé sur la configuration hybride compacte brevetée de LASER COMPONENTS intégrant une diode laser 905 nm, un switch et un condensateur dans un boîtier métallique TO56, QuickSwitch® peut générer en une seconde jusqu'à 200k impulsions laser avec une durée typique de 2,5 ns. Il s'agit actuellement de la solution PLD hybride la plus rapide disponible sur le marché, qui permet de collecter des données plus rapidement et avec une résolution plus élevée dans les applications de mesure de distance par laser (LiDAR) qui se retrouvent dans les véhicules. Dans la course à une conduite plus sûre, les fabricants de capteurs LiDAR pour l'automobile bénéficieront de QuickSwitch® pour concevoir des systèmes plus sensibles qui avertissent plus tôt les conducteurs des dangers, évitent les collisions et facilitent la conduite autonome. «L'approche innovante de nos ingénieurs pour minimiser la boucle d'inductance et optimiser l'agencement du circuit pour piloter des PLD à temps de montée rapide et à impulsions courtes nous distingue des conceptions conventionnelles», déclare Christian Merry, DG de LASER COMPONENTS France. «Nous sommes honorés de recevoir ce prix en reconnaissance de leur engagement à offrir un produit unique qui répond aux besoins actuels et futurs du marché.» Il s'agit du deuxième prix décerné au QuickSwitch® PLD de LASER COMPONENTS au cours des derniers mois, il fait suite au prix ACES (Autonomous Vehicle Technology ACES Award) de décembre 2018.



CONTACT

LASER COMPONENTS S.A.S
45 bis Route des Gardes -92190 Meudon
Tél: +33 (0) 1 39 59 52 25 - Fax: +33 (0) 1 39 59 53 50
www.lasercomponents.fr



La mesure de phase haute résolution au service de la photonique de nouvelle génération

« La photonique apportera au 21^e siècle ce que l'électronique a apporté au 20^e. » De nombreux exemples étayent la réalité de cette affirmation et des secteurs majeurs de l'économie actuelle dépendent directement ou indirectement de technologies photoniques :

- **les véhicules autonomes / ADAS**, dont la sécurité est garantie par la précision des caméras et LiDAR ;
- **la téléphonie mobile**, où la qualité photographique devient un argument commercial majeur, nécessitant des composants et assemblages toujours plus complexes ;
- **les télécommunications optiques en espace libre**, nécessitant une parfaite collimation des optiques ;
- **la défense et l'aérospatial**, dont les composants uniques doivent être contrôlés dans leurs conditions exactes d'utilisation.

PHASICS accompagne le développement de ces nouvelles générations d'optiques en dépassant les limitations des moyens de mesure classiques. La technologie PHASICS de mesure de front d'onde haute résolution est désormais intégrée dans des instruments de métrologie performants et simples d'emploi :



L'interféromètre Kaleo MultiWAVE, alternative économique à l'achat de plusieurs interféromètres, mesure l'écart aberrant à plusieurs longueurs d'onde (dans l'UV, le visible ou l'IR). Sa dynamique inégalée (plusieurs dizaines de $\mu\text{m PtV}$) répond aux besoins de contrôle des optiques aux conceptions complexes (surfaces traitées antireflet, grand diamètre, sous-systèmes fortement aberrants, infrarouge...)

La station de mesure Kaleo MTF est dédiée à la caractérisation simultanée de la FTM et des aberrations d'objectifs très grand champ (jusqu'à $\pm 120^\circ$), sur axe et hors axe, de manière totalement automatisée. Elle offre un moyen de contrôle rapide des objectifs, de benchmark avant intégration, d'identification de sous-ensembles défectueux, et de comparaison précise à la conception optique.



CONTACT

PHASICS
Tél: +33 (0) 1 80 75 06 33
contact@phasics.fr - www.phasicscorp.com

Paul Langevin

Paul Langevin (1872-1946) est un physicien précoce et talentueux dont les travaux ont contribué à l'essor de la physique au début du XX^e siècle. L'œuvre scientifique de Paul Langevin est féconde et couvre de nombreux domaines, du magnétisme et des gaz ionisés au mouvement brownien et à la relativité.

Nicolas BONOD, nicolas.bonod@fresnel.fr



23 janvier 1872 : naissance à Paris	
1897 1898	Séjour au laboratoire Cavendish
1902	Thèse de doctorat d'état
1905	Professeur à l'École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris
1909	Professeur au Collège de France
19 décembre 1946 : décès à Paris	
17 novembre 1948 : transfert des cendres au Panthéon	
© Henri Manuel, ESPCI-CRH. Image soumise au droit d'auteur et non couverte par la licence Creative Commons.	

Comme l'a très justement écrit Louis de Broglie en 1947, « Résumer l'œuvre de Langevin, c'est reprendre toute l'histoire de la physique depuis cinquante ans, et c'est là une tâche difficile sans doute mais d'un passionnant intérêt. » Enseignant réputé et très apprécié de ses élèves, vulgarisateur hors-pair, Paul Langevin s'est aussi pleinement investi dans les causes et luttes qui ont marqué la première moitié du XX^e siècle.

Enfance et éducation

Paul Langevin est né le 23 janvier 1872 à Paris dans une famille aux conditions modestes. Son père, Victor-Charles Langevin, métreur-vérificateur dans le bâtiment était républicain et favorable aux Communistes. Paul Langevin grandit dans le quartier de Montmartre animé alors par les ouvriers et les artisans. Ses instituteurs détectent rapidement des capacités exceptionnelles pour les matières scientifiques et incitent ses parents à lui offrir des études. Paul Langevin se présente donc à 16 ans au concours de l'école municipale de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris qu'il intègre en 1888. Il se distingue dans cette école par ses capacités extraordinaires et en ressort classé au premier rang. Encouragé par son professeur Pierre Curie, il s'oriente vers l'enseignement et la recherche. Il poursuit sa formation scientifique en se présentant en 1893 au concours de l'école normale supérieure de Paris où il est reçu premier. Il intègre l'école en 1894 après son service militaire. Il en ressort diplômé en 1897 et est reçu brillamment cette même année au concours de l'agrégation de physique.

Parcours académique

La carrière de chercheur de Paul Langevin va démarrer en 1897 lorsque la ville de Paris lui remet une bourse qui lui permet d'effectuer un séjour scientifique d'une année au

laboratoire Cavendish de l'université de Cambridge. Ce laboratoire est un haut lieu de la physique et est alors dirigé par le célèbre physicien Joseph John Thomson. Il rentre à Paris en 1898 et rejoint le laboratoire d'enseignement de la physique de la faculté des sciences de l'université de Paris pour y effectuer sa thèse de doctorat d'état. Il soutient sa thèse intitulée « Recherches sur les gaz ionisés » à l'université de Paris en 1902. Le jury est présidé par Edmond Bouty. Ce sujet a été élaboré durant son séjour au laboratoire Cavendish. Il dédie d'ailleurs son mémoire de thèse au Professeur J.J. Thomson : « Sous l'impulsion donnée par le Professeur J.J. Thomson, l'école des physiciens du Cavendish Laboratory s'est montrée en particulier d'une fécondité surprenante ». Le jeune physicien va connaître un début de carrière fulgurant en devenant dès 1902, à l'âge de 30 ans, professeur remplaçant puis suppléant au Collège de France sur la chaire de physique générale et expérimentale d'Éleuthère Mascart. Il devient professeur de physique générale et expérimentale au Collège de France en 1909. En parallèle à ses activités au collège de France, Paul Langevin succède en 1905 à Pierre Curie dont il était le suppléant au poste de professeur à l'École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris (ESPCI) alors dirigée par Albin Haller. Il y devient directeur des études (1909-1925) puis directeur en 1925, poste qu'il conserve jusqu'à sa mort en 1946 (il sera cependant temporairement démis de ses fonctions durant l'occupation). Ces multiples activités démontrent le fort intérêt que portait Paul Langevin à l'enseignement des sciences.

Contributions scientifiques majeures

Les activités de recherche de Paul Langevin ont couvert de nombreuses thématiques. Ses principales contributions portent sur les gaz ionisés, le mouvement brownien, la relativité restreinte et les sonars.



Ses travaux sur les gaz ionisés l'ont amené à étudier la conductivité de l'atmosphère. Il distinguera deux types d'ions : des ions ordinaires obtenus par action des rayonnements sur un gaz, et des ions lourds qu'il nommera « gros ions ». Il réalisera que ces gros ions résultent de la fixation des petits ions sur des particules en suspension dans l'air. Ces travaux auront des répercussions en météorologie sur la compréhension des mécanismes de formation des nuages en haute altitude comme les cirrus, et en basse altitude comme les cumulus et les nimbus.

À la suite de ces premiers travaux, Paul Langevin porte son intérêt sur le développement d'un modèle microscopique du magnétisme. Pierre Curie, son professeur à l'ESPCI, avait montré expérimentalement durant ses travaux de thèse que la susceptibilité magnétique des matériaux paramagnétiques est proportionnelle à l'inverse de la température. Paul Langevin développe un modèle microscopique du magnétisme pour expliquer cette dépendance où chaque atome possède un moment magnétique dû au mouvement des électrons autour du noyau sur une orbite fermée. Il montre que la dépendance en température de la susceptibilité magnétique provient de cette compétition entre les moments magnétiques des atomes qui tendent à s'aligner et l'agitation thermique qui tend à les désordonner. Il utilise alors la loi statistique de Boltzmann pour retrouver une dépendance inversement proportionnelle de la susceptibilité magnétique avec la température.

C'est à l'occasion de ses premiers cours sur la théorie électromagnétique au Collège de France que Paul Langevin s'intéresse aux concepts fondateurs de la relativité : « *Bien qu'il n'ait alors rien publié à ce sujet, il semble que Paul Langevin ait aperçu presque en même temps qu'Einstein l'une des conséquences les plus importantes de la nouvelle dynamique : le principe de l'inertie de l'énergie. Ce principe affirme, on le sait, qu'à toute forme d'énergie correspond une masse égale à la valeur de cette énergie divisée par le carré de la vitesse de la lumière dans le vide.* » (Louis de Broglie, 1947). Il découvre quelques mois après les travaux publiés par Albert

Einstein sur cette théorie. Il devient alors un ardent promoteur de cette théorie révolutionnaire qu'il enseigne au Collège de France et qu'il diffuse lors de nombreuses conférences. Il propose de mettre en illustration cette théorie par le paradoxe des jumeaux : l'un des jumeaux voyage à une vitesse proche de celle de la lumière alors que l'autre jumeau reste à terre, le temps s'écoulant plus lentement pour le premier que pour le second. Il invite également Albert Einstein à donner plusieurs cours au Collège de France.

Si Paul Langevin n'a pas laissé son nom à ses travaux sur le magnétisme et sur la relativité, son nom restera cependant identifié à ses travaux sur le mouvement brownien. Ce mouvement aléatoire des particules avait été décrit pour la première fois par le botaniste américain Brown pour décrire le mouvement du pollen à la surface de l'eau. Einstein a publié une première théorie en 1905 sur ce mouvement en se basant sur l'étude des chocs entre les molécules du milieu environnant et les particules. Langevin explique ce mouvement en se basant sur l'analyse de la trajectoire d'une particule qui est soumise à une force de frottements et une force résultant de l'ensemble des chocs aléatoires. Il obtient une équation différentielle stochastique, qui est aujourd'hui très utilisée par exemple en biologie pour décrire le mouvement des corps biologiques dans des fluides physiologiques.

Physicien et militant

Le parcours de Paul Langevin est exceptionnel de par l'ampleur de ses contributions scientifiques et de ses activités d'enseignement, mais également de par son engagement et son militantisme dans les grands mouvements sociaux de la première moitié du XX^e siècle. Paul Langevin est né juste après les événements de la commune de Paris du printemps 1871. « *Le fait que j'ai cru devoir partager mes forces entre le service de la Science et celui de la Justice tient certainement*

Fast Multi-Channel Photonics Alignment System

FAST AND NANOSCALE-ACCURATE ALIGNMENT OF OPTICAL FIBERS
IN TESTING AND PACKAGING PROCESSES

PI



Double-sided, 6-axis hexapod aligners with 3-D piezo scanner



NanoCube® piezo-based alignment engine



Fast and high-precision miniature hexapod

à l'atmosphère dans laquelle j'ai grandi, au lendemain de la guerre de 1870, entre un père républicain jusqu'au fond de l'âme et une mère dévouée jusqu'au sacrifice, au milieu de cet admirable peuple de Paris dont je me suis toujours senti si profondément solidaire » (3 mars 1945). Son premier engagement public est pris en 1898 alors qu'il est à Cambridge, en signant une pétition en faveur de Dreyfus envoyée par Charles Peguy, son ancien camarade de l'école normale. Paul Langevin adhère à la suite de ce premier engagement public à la Ligue des droits de l'Homme. Durant la première guerre mondiale, il est affecté de 1916 à 1918 au bureau des inventions et y met ses compétences scientifiques au service de la défense du pays. Il développe en particulier un prototype de sonar pour la détection de sous-marins. Son engagement s'accroît à partir de 1920 avec plusieurs prises de position, notamment contre la répression du gouvernement à l'encontre des cheminots grévistes, pour l'amnistie des marins de la mer noire ou encore pour la libération d'André Marty. Il œuvre activement au rapprochement avec l'Allemagne d'après-guerre. Il manifeste aux côtés d'Einstein pour la paix à Berlin en 1923 et fait ouvrir pour lui une chaire au Collège de France (1933). Son engagement s'accroît avec la montée du nazisme dans les années 1930. Il intègre plusieurs comités de congrès, en particulier le congrès mondial de tous les partis contre la guerre impérialiste (Amsterdam, 1932), le « comité de préparation du congrès antifasciste européen » (Paris, 1933) et le « comité mondial de lutte contre la guerre impérialiste » (Amsterdam, 1932). Il devient président du comité mondial de lutte contre la guerre et le fascisme. Il patronne avec le philosophe Alain et l'ethnologue Pierre Rivet le Comité de Vigilance des Intellectuels Antifascistes (CVIA) créé en 1934 et dissout en 1938 à la suite des accords de Munich. Ces trois personnalités signent le 5 mars 1934 le manifeste « Aux travailleurs ». Paul Langevin quitte la direction de ce comité en 1936 à la suite de désaccords entre antifascistes et pacifistes. Ses activités de militant conduisent à son arrestation par les allemands le 30 octobre 1940 dans son bureau de l'école de physique et de chimie. Paul Langevin est détenu à la Santé et subit un interrogatoire poussé le 25 novembre. Cette arrestation déclenche un mouvement de protestations et de manifestations dans le milieu universitaire. Face à cette

pression, les allemands le libèrent pour le placer en résidence surveillée à Troyes. Il est alors démis de ses différentes fonctions par le gouvernement de Vichy et mis à la retraite en 1941. La répression s'accroît alors. Son gendre et sa fille, tous deux membres du parti communiste, sont arrêtés. Son gendre est fusillé et sa fille est déportée à Auschwitz (elle survivra). Sous la pression de ses amis, Paul Langevin, alors âgé de 72 ans, fuit vers la Suisse en franchissant à pieds la frontière du Jura en mai 1944. Il rentre en France et est accueilli à Annecy en septembre 1944. Il adhère alors au parti communiste et retrouve ses fonctions de directeur de l'école de physique et de chimie en octobre 1944 et de professeur au collège de France. Il préside la « Commission ministérielle pour la réforme de l'enseignement » créée en novembre 1944, plus connue sous le nom de commission Langevin-Wallon. Il est élu conseiller municipal communiste dans le V^e arrondissement de Paris en mars 1945. Son 73^e anniversaire est l'occasion de lui rendre un hommage solennel dans le grand amphithéâtre de la Sorbonne. Paul Langevin y proclame un discours durant lequel il affirme son soutien au parti communiste. Il devient en 1945 président de la ligue française des droits de l'homme. Il meurt le 16 décembre 1946 dans son appartement de l'école de physique et de chimie. Le journal l'Humanité publie le lendemain un hommage au physicien et au militant. Le gouvernement lui rend un hommage national. Les obsèques ont lieu le 21 décembre 1946. Les cendres de Jean Perrin et Paul Langevin sont transférées au Panthéon le 17 novembre 1948.

POUR EN SAVOIR PLUS

- [1] Louis de Broglie, Notice sur la vie et l'œuvre de Paul Langevin, 15 décembre 1947. Institut de France, Académie des sciences.
- [2] Michel Paty, « Paul Langevin (1872-1946), la relativité et les quanta ». *Bulletin de la Société Française de Physique*, 15-20, 1999
- [3] Cécile Michaud, « Les multiples vies de Paul Langevin ». *Pour la Science* 335, 1999
- [4] J. Bok, C. Kounelis, « Paul Langevin (1872-1946). De la butte Montmartre au Panthéon : parcours d'un physicien d'exception ». *Reflets de la physique* 1, 14-16, 2006



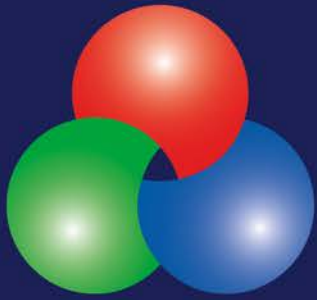
Sous la lumière, les hommes
 Par Riad Haidar et préfacé par Pierre Chavel



On imagine mal aujourd'hui le parcours de ces savants, grands esprits audacieux, caractères courageux et trempés, fins politologues, qui ont construit la science que nous pratiquons et imaginé le monde tel que nous le connaissons aujourd'hui. Ce livre reprend, à travers une sélection de biographies, comme autant de trajectoires symboliques, les grandes lignes de cette aventure millénaire.

laboutique.edpsciences.fr

ISBN : 978-2-7598-1082-6
 19 € TTC



DAY OF PHOTONICS

21 OCTOBER 2019

**EVERY COMPANY,
SCHOOL, ORGANIZATION,
ASSOCIATION, UNIVERSITY
IS INVITED TO PARTICIPATE!**

**ORGANIZE
AN ACTIVITY
FOR DAY OF
PHOTONICS**



DAY OF PHOTONICS disseminates "photonics" towards the general public. It is an initiative of EPIC, the industry association that promotes the sustainable development of organisations working in the field of photonics. EPIC fosters a vibrant photonics ecosystem by maintaining a strong network and acting as a catalyst and facilitator for technological and commercial advancement.

www.day-of-photonics.org

SUR LA VOIE DE L'AUTOMOBILE AUTONOME

Ma voiture et comment elle voit le monde

José BRETES

Laser Components

j.bretes@lasercomponents.fr

Dans le monde de la science-fiction, les voitures autonomes sont pratiquement des véhicules standards. Dans la « vraie vie », nous rattrapons rapidement l'imagination des auteurs. Aujourd'hui encore, il semble qu'un nouveau système d'alerte soit ajouté chaque année. Des systèmes d'alerte de changement de voie et des assistants de distance et de stationnement sont déjà disponibles dans les voitures de milieu de gamme. Les modèles les plus chers se conduisent pratiquement tout seuls, au moins en mode stop-and-go. Est-ce à dire que les banlieusards ont le temps de faire une petite sieste dans les embouteillages quotidiens du matin ? La technologie n'en est pas encore tout à fait là, mais il existe une réelle concurrence entre les constructeurs automobiles sur la voie de la conduite autonome.

Quel que soit l'horizon de cet avenir automobile, une chose est certaine : la technologie des capteurs véhicule-environnement jouera un rôle majeur dans la réalisation de cette prochaine étape, car pour pouvoir se diriger de manière indépendante dans la circulation, le véhicule doit pouvoir garder un œil sur son environnement à tout moment. De nombreuses solutions sont déjà utilisées aujourd'hui dans les systèmes d'assistance. La diversité technologique est étonnante parce que chacun des principes de mesure utilisés a ses avantages et ses inconvénients. Le spectre va de l'électromagnétique à l'acoustique en passant par de nombreux systèmes optiques différents. Vu de l'extérieur, vous pouvez perdre le fil de ces innovations.

Une chauve-souris dans la voiture ?

La localisation d'objets et la navigation par ultrasons ont déjà été observées dans la nature. L'exemple le plus connu est celui des chauves-souris.

Elles émettent des ondes ultrasonores et peuvent reconnaître les proies et les obstacles au moyen de l'écho réfléchi. Leur portée maximale est d'environ douze mètres. Les capteurs à ultrasons utilisés dans les voitures fonctionnent selon le même principe. Le problème est que les ondes sonores générées artificiellement ont également une portée relativement courte ; elles ne peuvent donc être utilisées qu'à courte distance. Les applications les plus connues sont les télémètres pour les aides au stationnement.

Les premiers modèles avec ce système d'assistance sont apparus sur le marché au début des années 1980. La technologie à ultrasons n'est plus seulement utilisée à l'arrière de la voiture, mais aussi avec des capteurs d'angle mort ou pour mesurer la distance du véhicule qui précède à basse vitesse. En plus de la courte portée, les ingénieurs doivent également tenir compte des facteurs d'interférence externes lorsqu'ils mettent au point des systèmes d'assistance à base d'ultrasons. Les freins hydrauliques des camions et

des autobus, par exemple, génèrent également des ondes ultrasonores, qui peuvent provoquer une confusion acoustique avec les capteurs situés à proximité immédiate.

Une voiture avec des yeux

Les systèmes de caméras sont probablement ceux qui imitent le plus la perception humaine. Une caméra installée dans la voiture enregistre en permanence l'environnement du véhicule pendant le trajet. Le logiciel interprète les données. Il reconnaît, par exemple, les arrêtes qui pourraient signifier d'autres véhicules ou des marques de voie. Comme la résolution des caméras augmente continuellement, de plus en plus de détails peuvent être évalués. Cela permet au système de détecter non seulement les obstacles, mais aussi les panneaux de signalisation ou les feux de signalisation. Cette information aide à prévenir les accidents et contribue à l'orientation, car la caméra reconnaît également les détails qui ne sont pas enregistrés sur

les cartes numériques des systèmes de navigation courants.

Il y a deux problèmes principaux avec les systèmes à base de caméra. Le manque de tridimensionnalité et l'angle de vision limité. Une seule caméra réduit le monde tridimensionnel à deux dimensions. Dans un environnement comme la circulation en ville, où il y a beaucoup de mouvements, cette limitation peut conduire à une mauvaise interprétation des données.

Une personne sait intuitivement que les objets semblent plus grands à mesure qu'ils se rapprochent ; cependant, un ordinateur doit d'abord apprendre ces corrélations. Il est également possible qu'un objet devienne de plus en plus grand à la même distance. De plus, le champ de vision de la caméra est limité. Alors que d'autres systèmes avec de larges faisceaux de capteurs balayent le monde, ils ne peuvent que regarder vers l'avant. Un piéton qui se jette soudainement sur la route n'est souvent reconnu que

peu de temps avant une collision. Ces deux inconvénients peuvent être surmontés par l'utilisation simultanée de plusieurs caméras, éventuellement de longueurs focales différentes.

RaDAR ou LiDAR

RaDAR et LiDAR n'ont pas seulement des « noms » similaires. Ils sont tous deux utilisés en détection et en télémétrie ; tout comme la détection par ultrasons, ils sont basés sur l'analyse des ondes réfléchies – sauf que dans un cas les ondes sont RADio et dans l'autre elles sont LUMineuses. Il en résulte des différences importantes par rapport aux capteurs automobiles.

Radar : les radars à ondes continues modulées en fréquence (FMCW), dans lesquels la fréquence de l'onde électromagnétique est constamment modulée sous la forme d'une rampe, sont couramment utilisés pour la reconnaissance d'environnement. L'effet

Doppler permet de déterminer la distance et la vitesse d'un objet à partir du temps de propagation de l'onde et de la différence de fréquence de l'onde réfléchie. Pour déterminer la position d'un objet, plusieurs antennes sont disposées en forme de croissant. Cependant, les lobes des antennes individuelles sont relativement larges, ce qui entraîne un chevauchement.

Cela donne l'impression que l'objet saute d'avant en arrière entre les différents capteurs. Le radar ne fournit aucune information sur la taille ou la forme d'un objet.

LiDAR : les mesures LiDAR émettent plusieurs milliers d'impulsions laser par seconde. Chaque impulsion ne dure que quelques nanosecondes. La distance à l'obstacle peut être déterminée par la différence de temps de transit entre le signal sortant et la réflexion entrante, appelée temps de vol (ToF). Comme les diodes laser pulsées émettent leurs faisceaux à un intervalle

La recherche prend du temps.

Pas les commandes de matériel.

Des milliers de produits en stock et une livraison en 2 jours GRATUITE*

Equiper votre labo ou vos installations de recherche doit être rapide et efficace. Chez MKS, nous avons compris cela. C'est pourquoi nous augmentons considérablement nos stocks, nous vous proposons une nouvelle expérience d'achat en ligne simplifiée et la livraison en 2 jours GRATUITE*.

L'achat de produits Newport pour votre labo vient de gagner beaucoup en facilité et en rapidité.

— **Un CHOIX plus rapide** — Trouvez plus vite avec la recherche améliorée et des filtres

— **Une LIVRAISON plus rapide** — Livraison en 2 jours GRATUITE* sur tous vos produits Newport préférés

— **Des RÉSULTATS plus rapide** — L'excellente qualité des produits et de notre support technique vous ouvre la voie du succès

Soyez réactifs avec Newport. Il n'y a pas de temps à perdre. Visitez www.newport.com dès aujourd'hui.

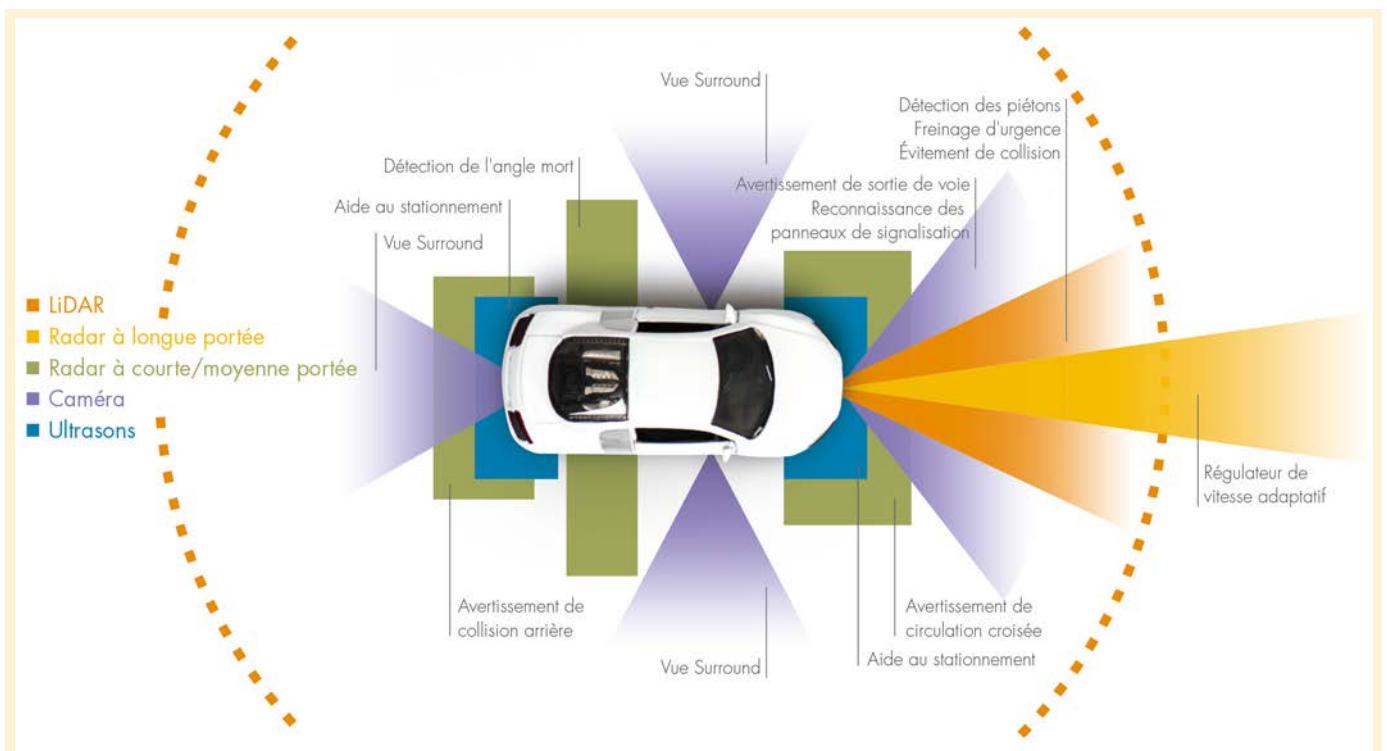
* Pour plus de détails et les conditions, consultez www.newport.com/free2day. S'applique uniquement aux commandes passées et livrées en Amérique du Nord et en Europe.



Pour plus d'informations sur notre marque Newport, visitez www.newport.com.



Un choix, une livraison et des résultats plus rapides.



de quelques nanosecondes et – comme nous le savons tous – rien n'est plus rapide que la lumière, le LiDAR fournit des informations fiables dans les plus brefs délais. Comparé à d'autres systèmes, le champ de balayage d'une seule unité émetteur-récepteur est toutefois limité.

À la recherche d'un champ de vue optimal, différents systèmes de balayage, mécaniques ou à l'état solide, sont en cours d'évaluation.

Les systèmes de balayage mécaniques utilisent un mécanisme rotatif, des miroirs galvo ou des MEMs tandis que les systèmes à l'état solide utilisent des guides d'ondes, des réseaux phasés ou des méta-surfaces. Il existe quelques nouveaux systèmes utilisant la même méthode FMCW que le radar pour obtenir des informations de vitesse et de distance dans un signal optique de retour.

La méthode LiDAR fonctionne beaucoup plus rapidement que la méthode radar et fournit une plus grande quantité de données précises. Pourtant, la conception de l'instrument LiDAR doit tenir compte des limites atmosphériques comme le brouillard, le *smog* et le rayonnement solaire. Pour résoudre les problèmes de balayage et de conditions atmosphériques, chaque méthode

LiDAR peut optimiser la puissance de sortie du laser, modifier la longueur d'onde du laser et la fréquence du radar, ou utiliser plusieurs réseaux de lasers et de détecteurs. Le résultat final est d'obtenir une détection d'objet à plus de 300 mètres dans toutes les conditions de conduite imaginables.

La force du nombre

Avec le système automatisé – maintenant connu sous le nom d'autonome – de conduite, rien ne peut être laissé au hasard. Alors qu'un être humain peut intuitivement s'appuyer sur sa riche expérience et réagir intuitivement à

différentes situations, un ordinateur doit constamment prendre de nouvelles décisions. Pour ce faire, il a besoin d'autant de données que possible. Chaque système de capteurs peut contribuer à cette décision avec ses avantages et ses inconvénients spécifiques. Il existe des prototypes qui ne sont équipés que de caméras ou exclusivement de LiDAR. La plupart des constructeurs automobiles font toutefois appel à des solutions dans lesquelles plusieurs des technologies susmentionnées sont utilisées simultanément. Cette fusion leur permet d'exploiter au mieux les forces de chaque procédé et de bénéficier d'effets synergiques.

L'ÉMETTEUR ET RÉCEPTEUR À PARTIR D'UNE SEULE RESSOURCE

Les systèmes LiDAR doivent être à la fois fiables, petits et rentables. Pour les fabricants d'appareils de mesure laser et de composants optoélectroniques, il s'agit d'un grand défi. Laser Components fabrique tous les composants pour des solutions LiDAR puissantes et orientées vers l'avenir dans ses installations de production certifiées ISO : des diodes laser pulsées à impulsions ultra-courtes offrent une meilleure résolution pour la mesure de distance. En combinaison avec des photodiodes avalanche très sensibles (APD), même les plus petits signaux peuvent être détectés. En outre, une coopération a été établie avec l'Institut Fraunhofer pour les circuits et systèmes microélectroniques (IMS) pour les barrettes CMOS-SPAD à 1 et 2 dimensions. Les chercheurs de Duisburg peuvent apporter de nouvelles technologies de capteurs qui promettent des mesures particulièrement précises.

LE LIDAR AÉROPORTÉ

une méthode révolutionnaire pour l'archéologie

Murielle GEORGES-LEROY¹⁻²

¹ Inspection des patrimoines, 6 rue des pyramides, 75041 Paris Cedex 01, France

² Laboratoire Chrono-Environnement, UMR 6249, Besançon, France

*murielle.leroy@culture.gouv.fr

Début 2018, la presse française s'est largement fait l'écho de la découverte au milieu de la jungle, au Guatemala, d'un vaste réseau interconnecté de cités mayas sur plus de 2000 km², grâce à une technologie de télédétection laser appelée laser scanner aéroporté ou lidar. Cette découverte est l'occasion de faire un point sur l'utilisation depuis plus de 15 ans de cette méthode en archéologie.

Si la découverte de ces anciennes cités mayas a fait grand bruit dans le monde, en donnant un éclairage sur la technologie lidar, l'usage de celle-ci n'est toutefois pas récent en archéologie. Elle a en effet été mise en œuvre dès 2001 sur l'emblématique site de Stonehenge en Angleterre et, au fil des améliorations techniques, son usage en archéologie s'est largement développé à partir des années 2005-2006. Dès 2009, des cités mayas localisées dans la jungle au Belize ont été survolées et en 2012, un vol lidar sur le site d'Angkor au Cambodge a révélé un vaste réseau urbain conservé sous forêt, mais aussi les vestiges de la première capitale khmer à Mahendraparvata. Avec le vol du Guatemala on a encore franchi un cap dans l'exploration, puisque l'objectif du projet est de prospecter plus de 14 000 km² en trois ans.

Le lidar, acronyme de *light detection and ranging*, est une méthode de télédétection active à impulsion laser (voir encart). Dans ses applications terrestres, fondées sur une mesure

de distance, elle sert en particulier à réaliser des levés topographiques en trois dimensions de surfaces naturelles ou construites. Il existe deux modes d'acquisition principaux : soit par une station terrestre (TLS - *terrestrial laser scanning*) soit par un système aéroporté (avion, hélicoptère, drone) appelé ALS (*airborne laser scanning*). Les applications topographiques du lidar aéroporté couvrent des domaines variés : géologie, sismologie, travaux publics, surveillance des risques naturels, mais aussi, bien sûr, archéologie, où le lidar est utilisé pour la détection et la cartographie des sites.

Un modèle numérique de terrain de grande précision

Le principe de cette technologie consiste en un survol à basse altitude de la zone d'étude à l'aide d'un système aéroporté équipé d'une source laser qui balaye très rapidement les surfaces au sol, par bandes de quelques centaines de mètres de largeur [1].

ARDOP
INDUSTRIE



Vous aider à construire
Votre futur

INDUSTRIE



Solutions
standards

ENGINEERING



Projets
customs

Spectral Solutions
By Ardop



Spectromètres
Compacts



Spectromètres
FTIR



Caméra
multispectrale



Caméra
«Pushbroom»
spectrale



Caméra Snapshot
spectrale



Caméra Qalif
spectro



+ 33 6 49 54 52 94

www.ardop.com
sales@ardop.com

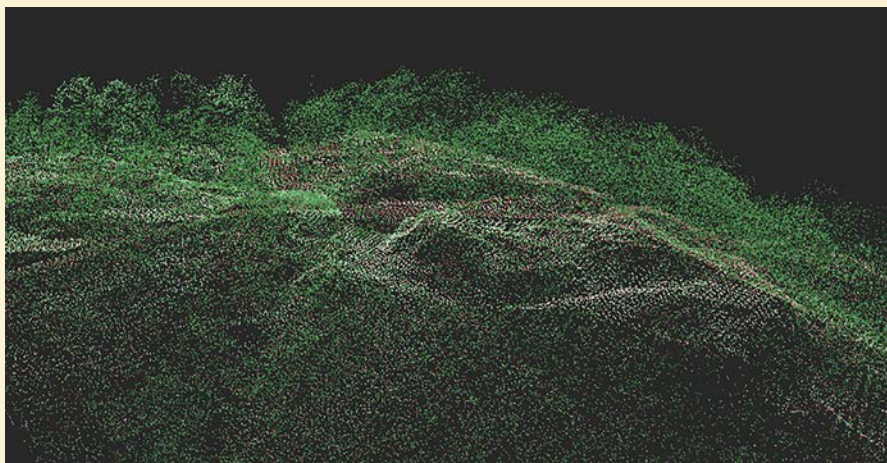


Figure 1. Visualisation axonométrique des échos lidar à l'emplacement des ruines du château médiéval de Frouard (en rose, points sol ; en vert, points sursol). (Données lidar Haye – DRAC Lorraine/INRA Nancy/ONF 2007)

Les rayons laser sont interceptés par le sol ou par les objets en sursol (végétation, bâtiments) et renvoyés en direction de l'avion où un capteur détecte l'intensité et le temps de retour du signal. Des systèmes de positionnement dans l'avion et au sol (GPSD, centrale inertielle) permettent de calculer la trajectoire de l'avion et d'en déduire la position des points d'impact avec une précision de quelques centimètres à quelques dizaines de centimètres. Comme une même impulsion lumineuse peut toucher la végétation puis le sol, les scanneurs enregistrent, selon les modèles, de deux à quatre échos (système multi-échos) ou le signal de retour en continu (système *full-waveform*). Dans les deux types de système, il en résulte une description précise du sol et des objets en sursol, sous la forme d'un « nuage de points » renseigné par des coordonnées x , y et z (figure 1). Ce nuage de points fait ensuite l'objet d'une classification à l'aide d'algorithmes séparant les points ayant atteint le sol de ceux ayant touché la végétation ou d'autres objets. Plusieurs modèles numériques d'élévation (MNE) peuvent être élaborés à partir de ces points, la résolution (altimétrique et planimétrique) dépendant de la densité de points disponibles. Le plus utilisé en archéologie est le modèle numérique de terrain (MNT) construit à partir des points sol. Des traitements de visualisation en 2D (ombrages, pentes, illuminations plus ou moins

complexes) ou 3D peuvent alors être appliqués à ces données pour servir à l'analyse archéologique (figure 2).

L'intérêt de cette méthode pour l'étude des vestiges conservés sous couvert forestier est vite apparu pour les archéologues. Le milieu forestier

étant protecteur pour les vestiges, ceux-ci y sont conservés sous forme de micro-reliefs (buttes, talus, creux) et sont beaucoup moins perturbés ou érodés que dans les zones urbanisées ou cultivées. Mais ce milieu est contraignant à explorer : visibilité et accès entravés par la végétation, cartographie difficile à mettre en œuvre... La classification du nuage de points, qui isole les points sol, revient à effacer virtuellement la végétation ; la méthode permet donc de s'affranchir d'une partie de ces contraintes, tout en étant parfaitement adaptée à la révélation des reliefs. À l'inverse, les points ayant été interceptés par la végétation sont mobilisés par les forestiers pour divers usages : calcul de hauteur de la végétation, de la biomasse... Le lidar entraîne aussi un changement total d'échelle dans l'exploration en couvrant rapidement des surfaces considérables (des centaines de kilomètres carrés en quelques jours).

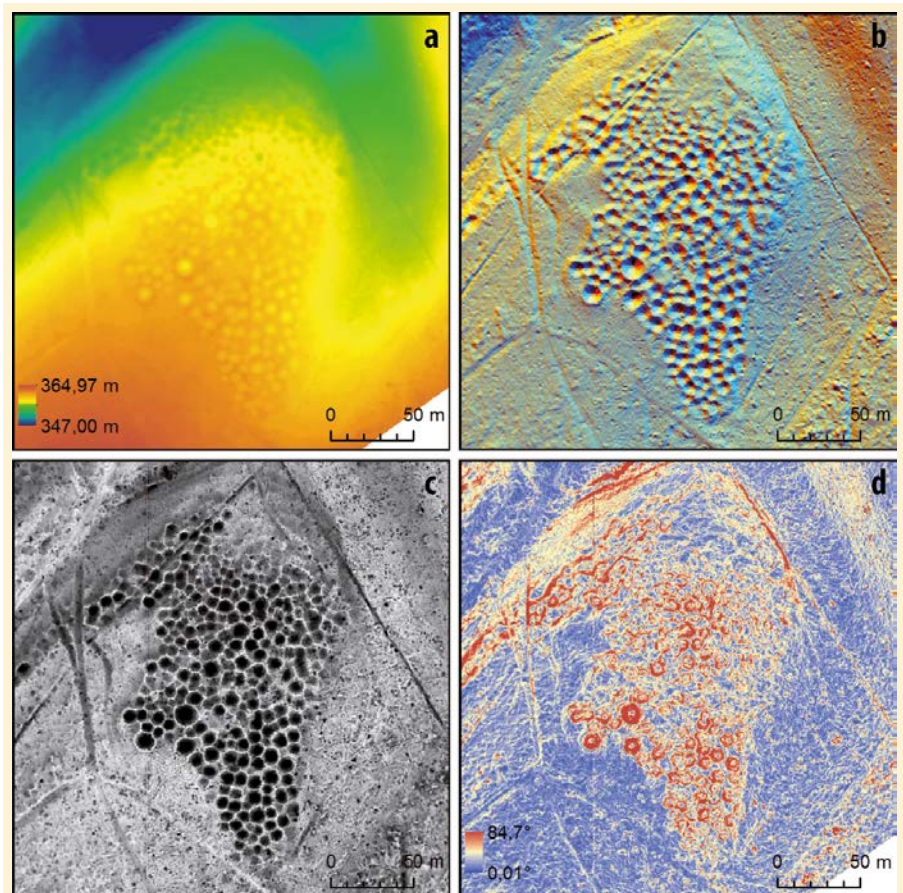


Figure 2. Minières d'extraction du minerai de fer. Différentes techniques de visualisation du MNT. (a) MNT coloré. (b) Ombrage multi-directionnel. (c) *Sky-view factor* (méthode ZRC-SAZU). (d) Pente. (Données lidar Haye – DRAC Lorraine/INRA Nancy/ONF 2007)

La révélation de paysages anciens fossiles et de mutations dans l'occupation du sol

Au-delà des pyramides mayas ou des temples d'Angkor, le lidar révèle aussi des vestiges plus fugaces et modestes comme des structures agraires et parcellaires (talus, murets, tas d'épierrement, champs bombés...) ou des éléments de voirie. Souvent peu visibles au sol, même dans des forêts tempérées, ces vestiges permettent d'aller au-delà de la simple étude d'un site en reconstituant sur de vastes surfaces les paysages anciens au sein desquels il fonctionnait.

À titre d'illustration, on peut évoquer les recherches menées sur le massif forestier de Haye à côté de Nancy, en Meurthe-et-Moselle, qui a fait l'objet d'un des premiers levés lidar réalisés en France, durant l'hiver 2006-2007. Il a été acquis en appui d'un programme de recherche associant archéologues et chercheurs forestiers et portant sur l'impact des occupations anciennes sur la biodiversité forestière actuelle. Alors que ce massif était exploré depuis plusieurs années au sol, les résultats obtenus grâce au lidar ont considérablement renouvelé les connaissances en révélant un paysage « fossilisé » avec ses ensembles de champs et pâtures irrigués par un réseau de voies desservant près d'une centaine de fermes et habitats groupés gallo-romains (*figure 3*).

Le lidar a permis de compléter les levés de terrain, en détectant jusqu'à 4 fois plus de parcellaires anciens. De plus, les secteurs inaccessibles au sol ont pu être cartographiés, donnant une vision beaucoup plus dense et cohérente de ce paysage ancien. En fournissant des données sur la morphologie même du modèle des traces agraires formées par l'araire ou la charrue, le lidar a apporté des éléments décisifs sur la datation de ces traces, dont la majorité sont gallo-romaines, mais dont certaines sont médiévales. Il a ainsi été possible de restituer les fluctuations qu'a connues ce terroir depuis au moins 2000 ans. Ce plateau calcaire aujourd'hui couvert par un imposant massif forestier de 12 000 ha était presque entièrement défriché et mis en culture au I^{er} s. de notre ère. Puis, la forêt a reconquis ces terres agricoles à la fin de l'époque gallo-romaine, vers le IV^e-V^e s., en connaissant une ou plusieurs phases de re-défrichement importantes dans quelques secteurs, probablement au cours du Moyen-Âge.

L'étude des sols de ces terroirs (analyses chimiques, études floristiques) montre un impact de ces occupations anciennes, avec par exemple des taux de phosphore plus importants à l'emplacement des fermes, le long des chemins empruntés par le bétail ou dans certaines zones cultivées et amendées par du fumier, mais aussi une flore particulière. Sans la connaissance de ces occupations anciennes appréhendées grâce au lidar, ces particularités ne seraient pas interprétables.

Au-delà de l'apport sur les sociétés passées, c'est bien la connaissance de notre environnement « naturel » qui est en jeu. La multiplication des vols lidar dans la moitié nord de la France montre que de nombreuses forêts recouvrent des zones entièrement défrichées et cultivées durant l'époque gallo-romaine et renouvelle la perception de ces forêts que l'on pensait immémoriales. Mais ces observations ne se limitent pas à la France. Les levés lidar des cités mayas du Guatemala ou

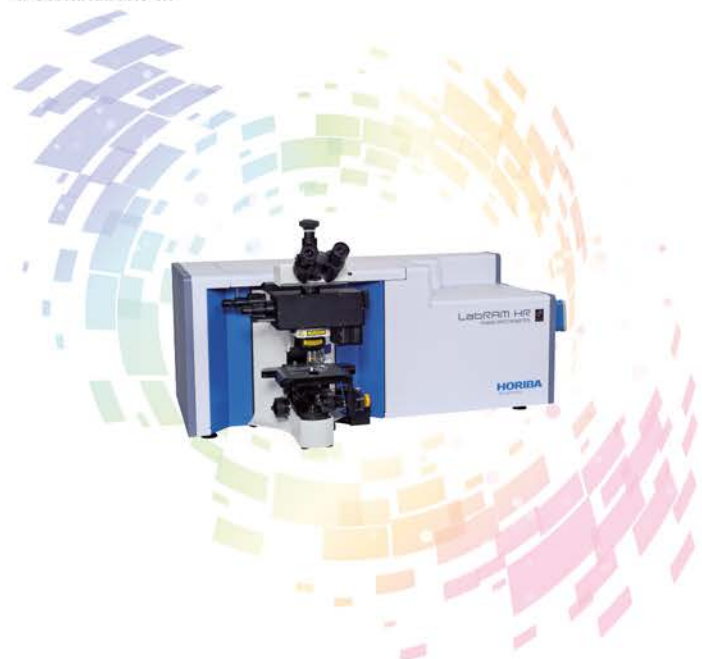


LabRAM HR Evolution

La recherche Raman en toute simplicité !

- Imagerie confocale Raman ultra rapide
- Résolution spatiale limitée par la diffraction
- Résolution spectrale la plus élevée
- Large plage spectrale grâce à une conception achromatique unique
- Compatibilité avec plusieurs lasers et plusieurs détecteurs
- Système entièrement automatisé avec contrôle logiciel puissant

Instruments flexibles pour diverses applications, notamment : AFM-Raman et TERS, photoluminescence, chauffage et refroidissement d'échantillons ...



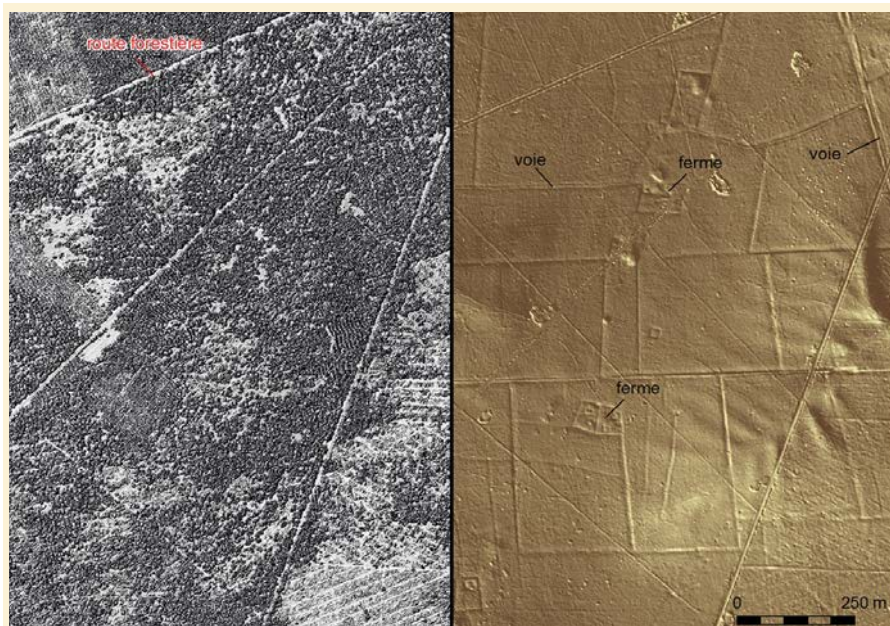


Figure 3. Paysage fossile gallo-romain en forêt de Haye. Visualisation par ombrage (a) du MNS (élaboré à partir des premiers échos renvoyés) et (b) du MNT (élaboré à partir des points sol). (Données lidar Haye – DRAC Lorraine/INRA Nancy/ONF 2007)

des cités khmers du Cambodge qui, en plus de nombreuses ruines de temples et de bâtiments, montrent des systèmes d'irrigation, des terrasses de culture ou des aménagements hydrauliques abandonnés témoignent aussi de profondes mutations dans l'occupation du sol.

Des champs d'application multiples en archéologie

Autre exemple de vestiges étudiés récemment grâce au lidar, ceux des conflits des deux dernières guerres mondiales en Europe. La forêt de Verdun dans la Meuse, forêt plantée au sortir de la première guerre mondiale, à l'emplacement du champ de bataille de 1916, a ainsi fait l'objet d'une télédétection lidar en 2013 [2]. Les forts, tranchées, campements, les villages détruits ou les milliers d'impacts de bombes ressortent admirablement bien (figure 4). L'étude de ces « polymorphes » (reliefs et modelés nés de la guerre) a permis l'analyse fine du champ de bataille et a fourni une aide à sa protection. Mais le MNT a aussi été mobilisé dans l'analyse des conditions d'évolution et de préservation des vestiges de guerre depuis un siècle, en étudiant les phénomènes d'érosion et de colmatage qui les ont affectés.

De nombreux autres types de sites sont étudiés grâce au lidar : sites fortifiés, nécropoles de tumulus, carrières, minières, vestiges artisanaux (ateliers de production de fer, charbonnières), éléments des paysages anciens (paléochenaux)... Dans le Land du Bade-Wurtemberg en Allemagne, le service

archéologique a entrepris, à partir de 2009, l'inventaire systématique de l'ensemble des vestiges archéologiques détectables sur les levés lidar réalisés sur plus de 35 700 km² par le service du cadastre du Land. En 2015, 720 000 indices archéologiques avaient déjà été répertoriés sur 24 400 km², en plus des 36 000 sites précédemment connus.

Mais l'utilisation du laser en archéologie ne se limite pas au lidar aéroporté. Le laser scanner est également couramment mis en œuvre dans des relevés au sol, pour étudier du bâti en élévation ou pour réaliser des modèles 3D de grottes ornées par exemple [3]. La grotte de Lascaux en Dordogne a ainsi fait l'objet d'un tel levé destiné à modéliser la cavité, afin de faire des simulations d'ordre climatique pour assurer au mieux sa conservation. Ces levés 3D, outre qu'ils constituent des outils d'étude et d'archivage, sont aussi utilisés pour la visite virtuelle de grottes ornées.

En pleine expansion dans le milieu archéologique, on peut affirmer que la technologie lidar y a produit une véritable révolution, comparable à celle du télescope spatial Hubble pour l'astronomie, selon les mots de Francisco Estrada-Belli de l'université de Tulane.

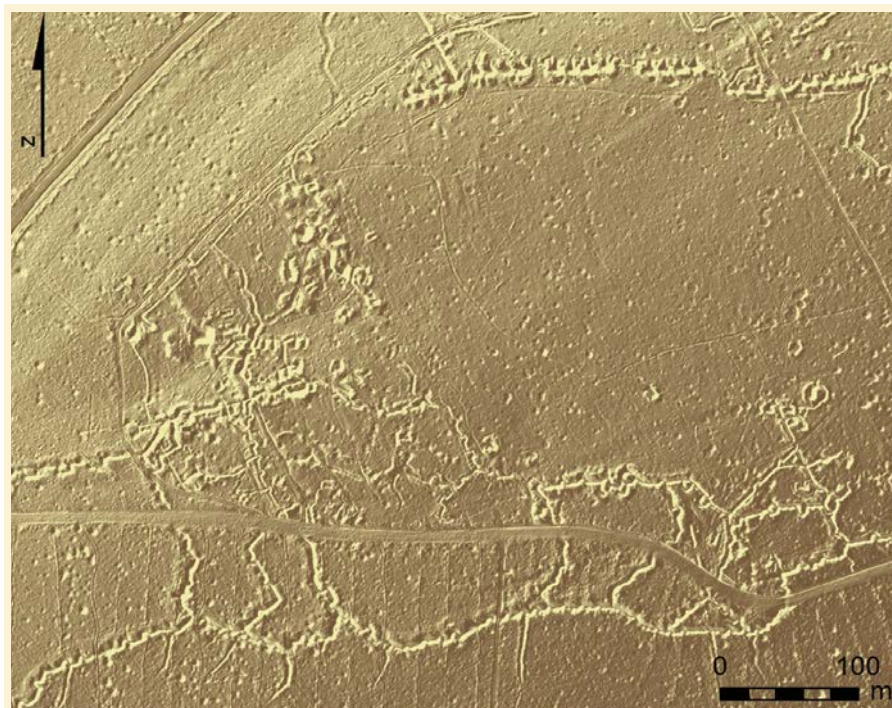


Figure 4. Visualisation par ombrage d'une installation d'artillerie de 1914 et de trous d'obus. (Données lidar Verdun – 55 – Forêt d'exception – DRAC Lorraine/ONF 2013)

small components
 MASSIVE IMPACT

POUR EN SAVOIR PLUS

[1] M. Georges-Leroy, L. Nuninger, R. Opitz, *Lidar : technique de détection au service de l'archéologie*, Techniques de l'ingénieur, 2014.

<http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/la-science-au-service-de-l-art-et-du-patrimoine-42579210/lidar-technique-de-detection-au-service-de-l-archeologie-in215/>

[2] R. Matos-Machado, J.-P. Amat, G. Arnaud-Fassetta, F. Bétars, *Potentialités de l'outil LiDAR pour cartographier les vestiges de la Grande Guerre en milieu intra-forestier (bois des Caures, forêt domaniale de Verdun, Meuse)*, EchoGéo, 38, 2016.

<http://echogeo.revues.org/14791>

[3] G. Pinçon, J.-M. Geneste, *Art rupestre : la 3D un outil de médiation du réel invisible ?*, In Situ. Revue des patrimoines, 13–2010, 2012.

<https://journals.openedition.org/insitu/6150>

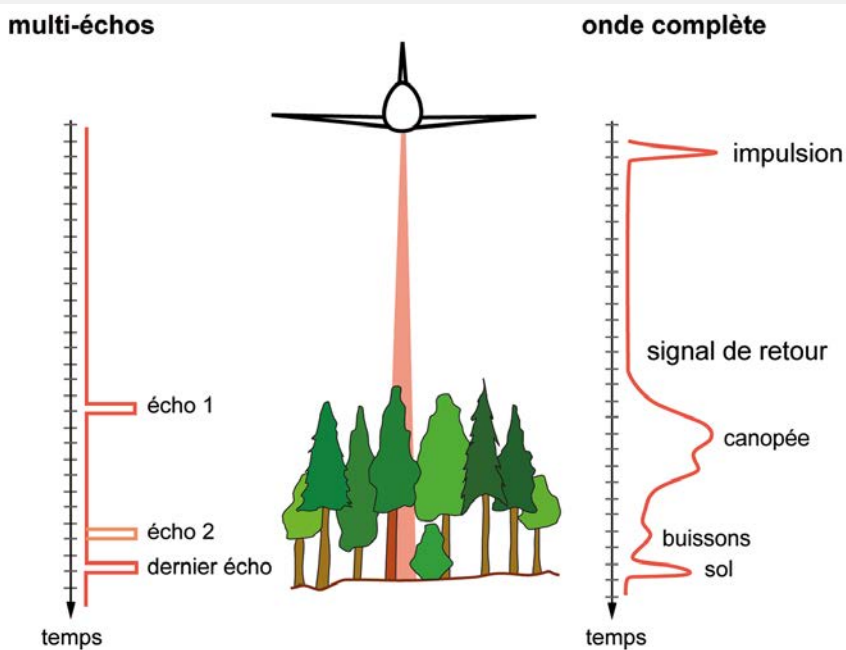
LE LIDAR TOPOGRAPHIQUE

Un système lidar est un télémètre laser composé d'un émetteur laser et d'un récepteur de photons. Le principe de fonctionnement du lidar topographique aéroporté consiste en l'émission d'une série d'impulsions laser à très haute fréquence (jusqu'à 2 MHz), envoyées selon différentes méthodes de balayage (miroir oscillant, polygone rotatif, faisceau de fibre).

Ces impulsions sont réfléchies par le sol et la mesure du temps de retour de l'impulsion permet de mesurer la distance entre le sol et le vecteur aérien, la position et l'altitude précises de chaque point étant déduites du calcul de la position de l'émetteur-récepteur à chaque instant.

La plupart des lidars topographiques utilisent des lasers Nd-YAG à petite empreinte au sol (divergence du faisceau comprise entre 0,18 et 1 mrad pour des altitudes du vecteur de 100 à 3000 m).

Les scanneurs enregistrent soit plusieurs échos (entre 1 et 6), détectés à partir des pics d'intensité, soit l'onde complète de retour enregistrée selon deux méthodes (détection simple de photons ou détection multi-photons).



(d'après Bretar 2006)

Figure 5. Principe du système lidar.

DÉTECTION ET ANALYSE AUTOMATIQUE des aérosols atmosphériques par lidar infrarouge

Jean-Pierre CARIOU
Ludovic THOBOIS
LEOSPHERE
jpcariou@leosphere.com

Le changement climatique récent est attribué entre autres à l'impact des particules atmosphériques d'origine naturelle ou des activités humaines d'après le dernier rapport du GIEC [IPCC, Climate Change 2014: Synthesis Report]. Les aérosols affectent également les propriétés des nuages et influencent le cycle de l'eau, pouvant intensifier les moussons. En avril 2010, le volcan Eyjafjallajökull a créé un panache de plusieurs milliers de kilomètres sur l'Europe et causé la fermeture de plusieurs aéroports internationaux, clouant au sol des millions de voyageurs et causant une perte économique globale de 1,7 milliard de dollars. Tous les jours, les aérosols transfrontaliers (panaches de sable du Sahara, résidus de combustion des forêts canadiennes) affectent la santé des populations habitant notamment en zones urbaines ainsi que les activités économiques.

La surveillance des aérosols atmosphériques est donc nécessaire pour mieux prédire les épisodes extrêmes et ainsi anticiper leurs conséquences sur les activités humaines. Les instruments LIDARs (light detection and ranging), instruments optiques actifs sont particulièrement adaptés au sondage à distance de la composition et des structures de l'atmosphère. Ils sont par ailleurs complémentaires des autres moyens d'observation comme les satellites et des modèles numériques même les plus détaillés.

Principes de fonctionnement

Inventés peu après les lasers, les lidars forment une large famille aux applications diverses. Leur principe commun est d'émettre une impulsion courte dans l'atmosphère et de recueillir l'énergie rétrodiffusée par les différentes couches atmosphériques traversées. L'analyse au cours du temps de la puissance reçue,

du changement de polarisation ou de fréquence permet une mesure résolue en distance de la concentration des différentes composantes de l'atmosphère, de leur vitesse et de la localisation des nuages et couches d'aérosols.

Deux grands principes sont utilisés. Le premier utilise la **détection directe** : le signal est proportionnel à la puissance optique collectée, intégrée dans une bande spectrale et un angle solide. Le second utilise la **détection cohérente** (ou hétérodyne) : par interférométrie, le signal reçu reproduit le champ du signal optique, et donc son amplitude, sa phase et sa fréquence, donnant accès en plus à la mesure de la vitesse du vent. Chaque principe utilise une technologie adaptée avec ses caractéristiques, ses avantages et ses inconvénients. Pour illustrer les principes et les performances de ces lidars, nous considérons deux exemples d'instruments :

- un ceilomètre (ou télémètre nuage) infrarouge à détection directe à $0,91 \mu\text{m}$, tel que le CL51 de Vaisala ;

- un lidar IR à $1,54 \mu\text{m}$ à détection cohérente, tel le WINDCUBE200S de Leosphere.

Le *tableau 1* indique les caractéristiques des deux instruments.

Localisation des nuages et des aérosols

Principes

Pour le ceilomètre à détection directe, les signaux sont inversés par plusieurs algorithmes dont l'algorithme d'inversion de Fernald-Klett [2] afin de calculer les paramètres optiques de chaque couche d'aérosols : coefficient d'extinction, de rétrodiffusion, épaisseur optique.

La voie de détection élastique du CL51 mesure le signal rétrodiffusé sur toutes les polarisations [3]. D'autres lidars plus complexes mesurent le signal séparément sur les deux polarisations. Le rapport de dépolarisation informe

HASO SWIR

New Shack-Hartmann wavefront sensor for Short-Wave Infrared



Wavelength range
0.9 - 1.7 μm

Absolute accuracy
 $\lambda/100$

Acquisition
Up to 99 Hz

Compact
and versatile

Contact us for more details:
contact@imagine-optic.com
or +33 1 64 86 15 60

alors sur la sphéricité des particules et permet de distinguer les cristaux de glace des gouttelettes, ou les nuages de sable des nuages d'eau.

Pour le lidar cohérent IR, en plus de la mesure de vitesse du vent (voir plus loin), la puissance du signal rétrodiffusé est également traitée pour détecter les différentes couches de l'atmosphère, qu'elles soient constituées de nuages ou d'aérosols. Pour la caractérisation de la couche convective, les mesures de vent sont aussi utilisées.

Détection des structures Couche limite atmosphérique

La couche limite atmosphérique (CLA) représente la couche basse de l'atmosphère en interaction turbulente avec le sol. Elle concentre la majeure partie des aérosols et des polluants. Son épaisseur varie selon l'heure de la journée, de la saison et de la latitude du lieu, entre quelques dizaines de mètres de nuit sur l'océan à plus de 3 km de jour aux tropiques. Au sommet de la CLA, la



	DÉTECTION DIRECTE	DÉTECTION COHÉRENTE
Longueur d'onde	0,91 μm	1,54 μm
Laser	Diode laser	Amplificateur fibré EDFA
Détecteur	InGaAs diode	InGaAs diode
Puissance moyenne	20 mW	1 W
Sécurité oculaire	Classe 1 M	Classe 1 M
Mesure de la rétrodiffusion atmosphérique	Absolue	Relative
Mesure du vent	Non	Oui
Portée sur aérosols	15 km	>15 km
Architecture optique	Bistatique, diamètre réception 178 mm	Monostatique, diamètre réception 120 mm
Voies de mesure	1 voie //	1 voie //
Sensibilité aux turbulences d'indice	Nulle	Moyenne
Sensibilité au fond de ciel (jour)	Moyenne	Nulle
Résolution spatiale	10 m	25-100 m
Résolution temporelle	6-120 s	0,1-10 s
Direction du faisceau	Zénithale	Hémisphérique par scanner
Référence	CL51	WINDCUBE200S
Fournisseur	VAISALA	LEOSPHERE
Illustration		

Tableau 1. Caractéristiques des lidars IR.

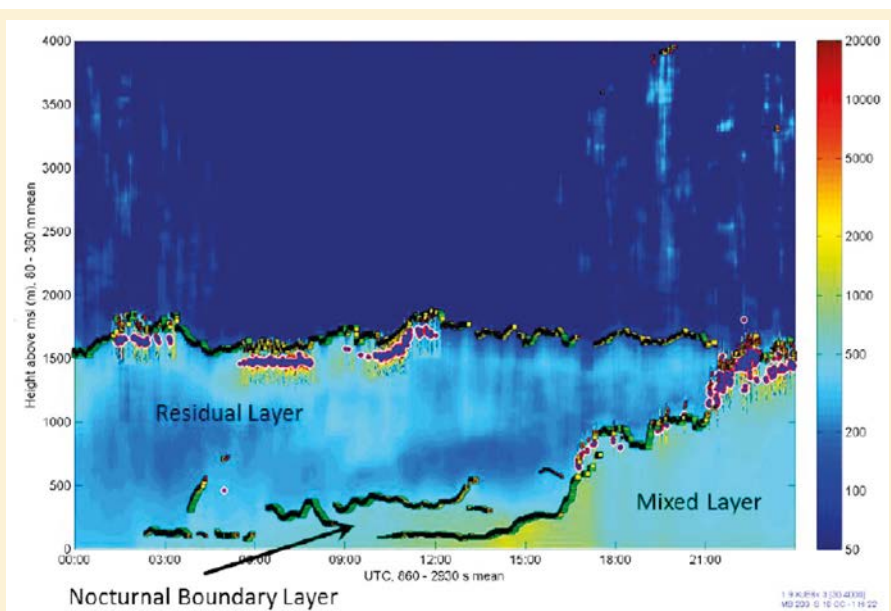


Figure 1. Observation du cycle de la couche limite atmosphérique par le ceilomètre (observatoire de Chibolton).

turbulence augmente et la concentration des aérosols chute brusquement. Pour détecter ce sommet, l'algorithme de détection des lidars IR analyse le gradient vertical du signal élastique sur la voie parallèle et sa continuité au cours du temps.

La figure 1 montre un exemple de détection par le CL51 de la CLA. On observe un cycle typique de couche limite : pendant la nuit, la couche nocturne varie entre 300 et 400 m. Elle est surmontée par une couche résiduelle qui s'étend jusqu'à 1500 m de hauteur. Après 9h (UTC), la CLA augmente progressivement par la convection progressive et atteint son maximum à 1500 m vers 21 h.

Spécifiquement pour le lidar IR cohérent, la mesure du vent vertical

à haute fréquence typiquement toutes les secondes permet de mesurer efficacement le sommet de la couche limite convective.

Nuages et couches d'aérosols

L'étape suivante est la détection de la base et du sommet des nuages et des couches d'aérosols. La méthode utilise également un seuillage automatique sur le gradient du rapport de rétrodiffusion atténué [6]. La figure 2 montre la détection de la base des nuages sur le CL51.

Les quatre étapes de l'algorithme appliqué aux signaux du lidar cohérent IR sont décrites en figure 3. Entre le lidar à détection directe et le lidar

cohérent, la différence de résolution spatiale n'est guère sensible à l'échelle de la portée. Les performances de détection et localisation des nuages sont très voisines. La faible diffusion moléculaire aux longueurs d'onde proche IR favorise le contraste de la frontière de la CLA.

Mesure des paramètres optiques des aérosols

Une fois les structures détectées, les paramètres optiques sont mesurés pour chaque couche : extinction optique α_a , coefficient de rétrodiffusion, épaisseur optique AOD.

Le coefficient de rétrodiffusion atténué correspond au signal reçu, corrigé par la réponse en distance du lidar.

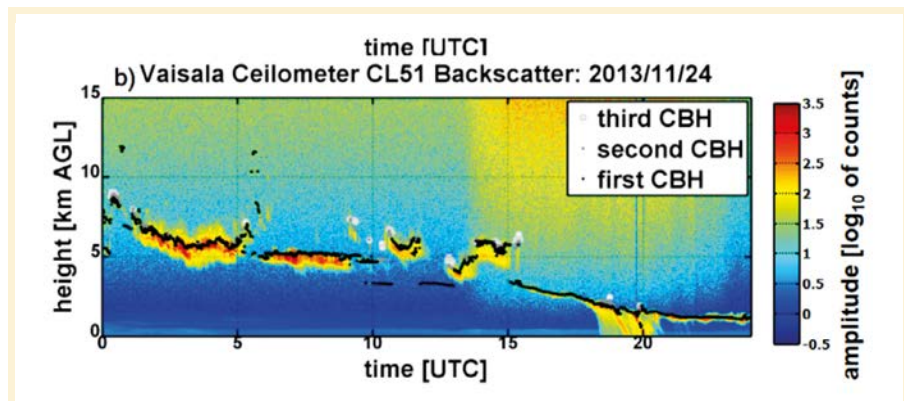
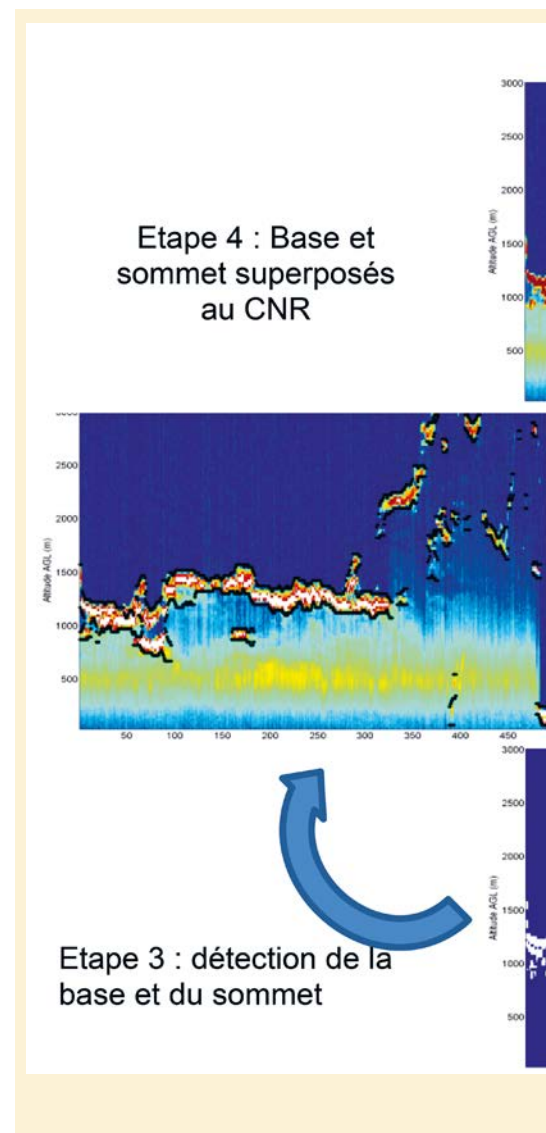


Figure 2. Détection automatique de la base des nuages par le CL51.



La conversion du signal optique en coefficient de rétrodiffusion se fait par étalonnage initial sur une cible calibrée en albedo. Alors que sur un lidar bistatique à détection directe la décroissance du signal est quadratique avec la distance en dehors des courtes distances où le recouvrement émission et réception est partiel, la dépendance est plus complexe sur un lidar cohérent, sensible à la courbure de l'onde et aux défauts de phase dus à la turbulence d'indice. Le protocole de mesure du lidar cohérent inclut donc une mesure initiale de cette fonction instrumentale par un tir horizontal dans une couche atmosphérique homogène. Par combinaison avec l'épaisseur optique, il est alors possible de calculer le coefficient de rétrodiffusion absolu atténué.

L'étape future est de convertir les données optiques en concentration massive, grâce à la connaissance des propriétés microphysiques des particules, recueillies *in situ*.

Classification des aérosols et des nuages

Le rapport lidar, entre le coefficient d'extinction et le coefficient de rétrodiffusion, et le rapport de dépolarisation particulaire (DR), quand il est mesuré, sont finalement utilisés pour classer automatiquement les aérosols en différentes catégories [7] : pollution continentale, aérosols marins, poussières et cendres volcaniques. Les nuages sont classés en quatre catégories : cirrus, altostratus,

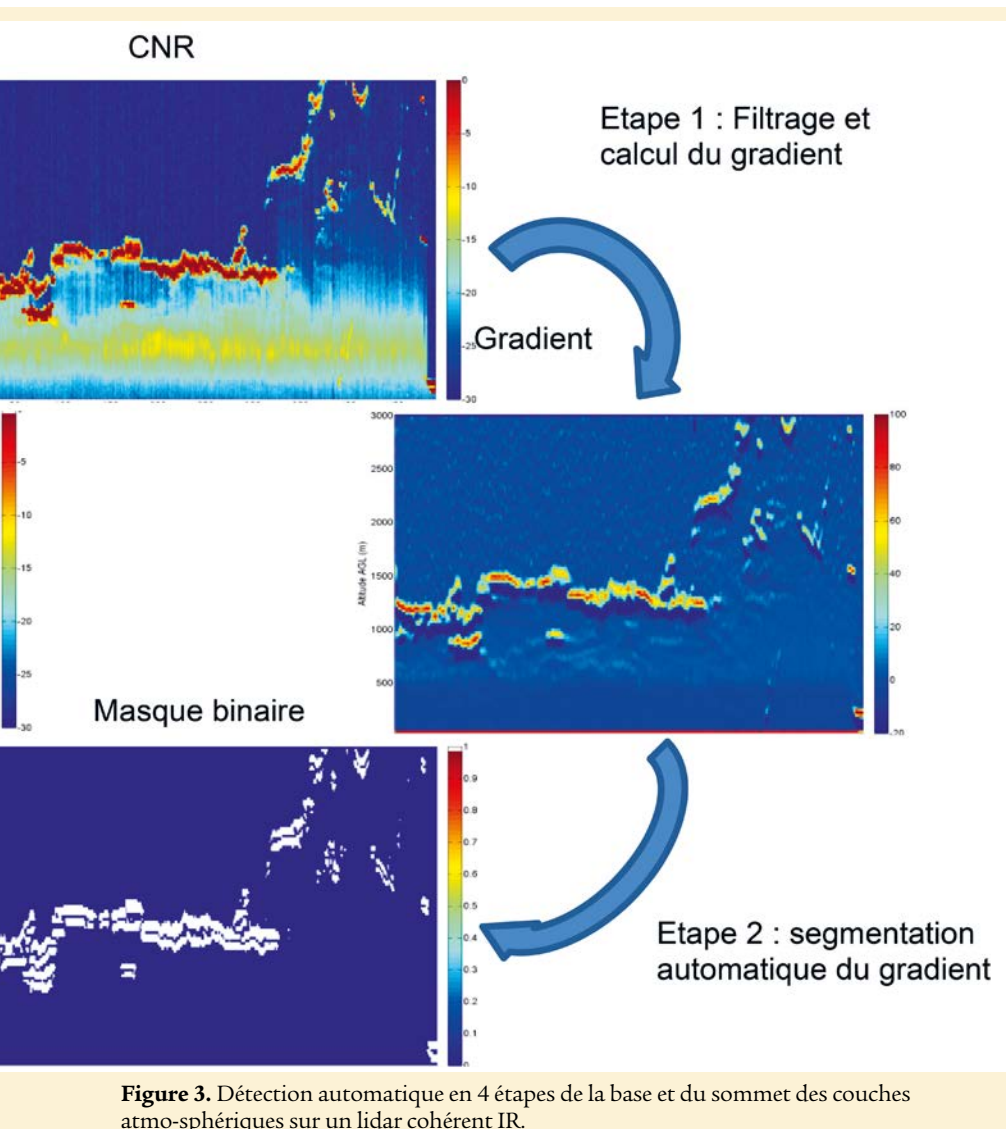


Figure 3. Détection automatique en 4 étapes de la base et du sommet des couches atmosphériques sur un lidar cohérent IR.

WWW.IDIL.FR

PDV + VISAR

ALL-IN-ONE VELOCIMETER

0-20 km/s | 0-2 km/s

Get the best results in shock-physics studies

- Speed resolution
- Time resolution

X = Time (µs) ; Y = Speed (m/s)
P = Precursor

Features

- Modular and compact velocimeter
- 1-4 PDV / VISAR channels
- Faster fiber-alignment system
- User-friendly touchscreen interface
- High speed measurement
- Absolute speed measurement
- Elastic precursor wave detection (P)
- Projectile / dust detection

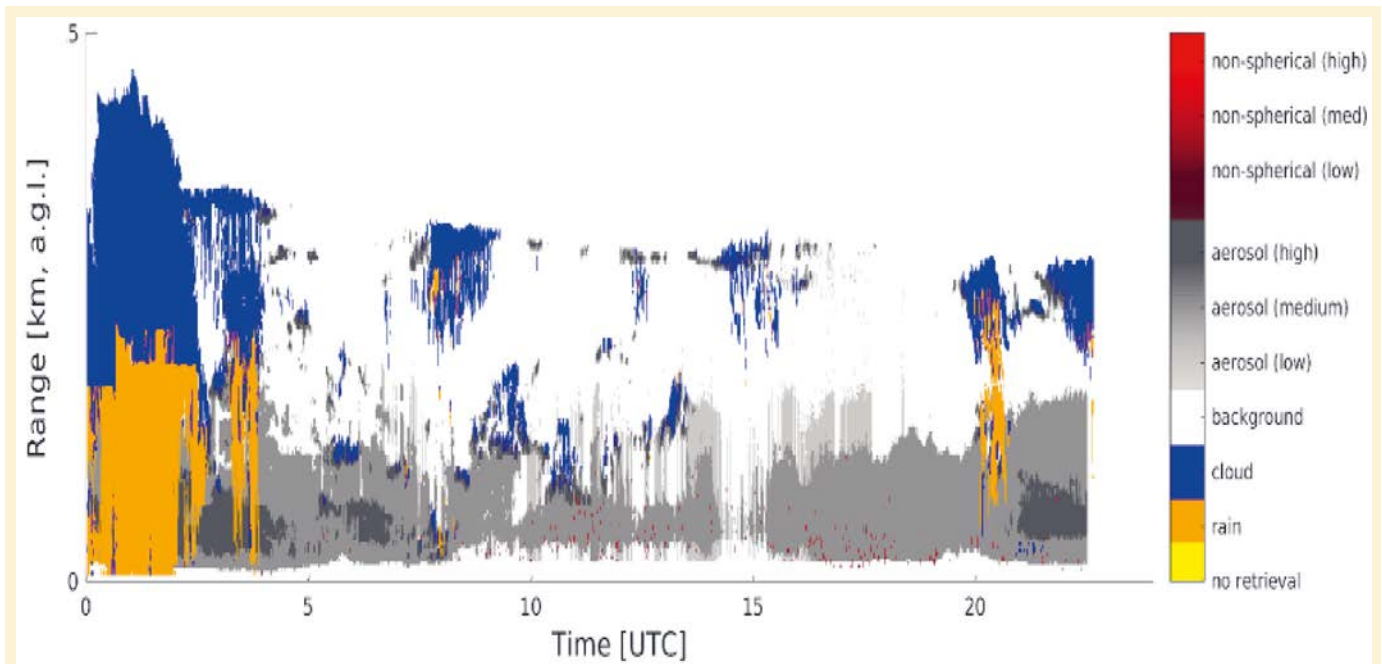


Figure 4. Classification des nuages et des aérosols avec le ceilomètre.

altocumulus, nuages bas, à partir de leur altitude et de leur épaisseur optique (figure 4).

Mesure de la vitesse du vent

Principe

Le lidar IR à détection cohérente émet des impulsions brèves et monofréquences dans l'atmosphère. Le signal détecté après rétrodiffusion sur les aérosols de l'atmosphère est mélangé dans un interféromètre à une fraction de la source maître (oscillateur local) (figure 5).

Le signal de battement, par effet Doppler, possède une fréquence proportionnelle à la vitesse radiale des aérosols (vitesse du vent projetée sur la ligne de visée) et une puissance proportionnelle au coefficient de rétrodiffusion atténué. Le traitement d'analyse spectrale par un processeur FPGA temps réel, suivi d'une estimation spectrale par MLE (*maximum likelihood estimator*) produit la vitesse radiale du vent, sa dispersion, et l'intensité du signal. Pour retrouver les trois composantes du vecteur vent, une reconstruction est réalisée à partir de visées séquentielles dans 3 à 5 directions non coplanaires.

Architecture optique

Issu d'une souche technologique transférée de l'ONERA/DOTA, le lidar WINDCUBE200S utilise une chaîne laser MOPA (*master oscillator power amplifier*) comprenant un oscillateur local continu semi-conducteur à 1550 nm et

un amplificateur fibré en mode impulsionnel. La résolution spatiale verticale de 50 à 100 m est associée à une durée d'impulsion de 200 à 400 ns (tableau 1). L'ouverture du télescope est limitée à 150 mm par la cohérence transverse du faisceau après propagation dans l'atmosphère turbulente.

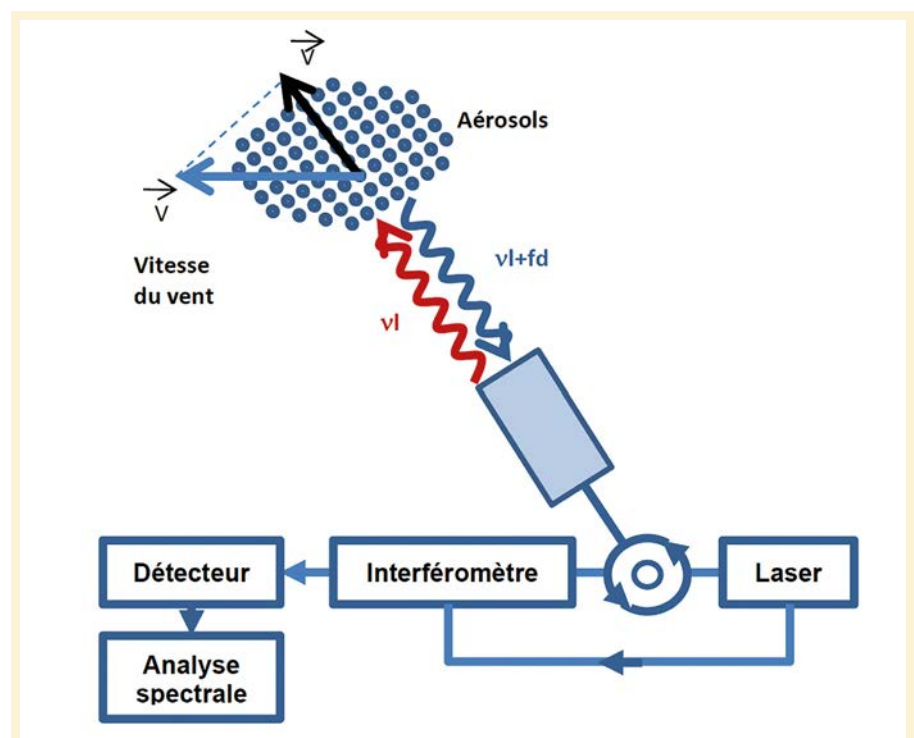


Figure 5. Schéma de principe du lidar doppler cohérent.

Dans l'instrument tous les composants sont fibrés, conférant une grande souplesse d'architecture et une forte robustesse aux perturbations.

Cas du volcan islandais d'avril 2010

En avril 2010, le volcan Eyjafjallajökull a projeté dans le ciel européen des milliers de tonnes de poussières. Une partie de l'espace aérien européen a été alors fermée de façon préventive, occasionnant de lourdes pertes économiques. Faute de données d'observation disponibles, les avis de cendres émis par le centre anglais en charge du suivi du panache volcanique reposaient alors quasiment exclusivement sur des modèles de dispersion. Suite à cette sérieuse alerte, la France s'est équipée en 2016 d'un réseau de 5 lidars à détection directe. Un sixième, mobile, sera installé à Toulouse mais pourra être déplacé en cas de crise volcanique. Ils alimenteront le modèle de dispersion atmosphérique de Météo-France MOCAGE. Au Royaume-Uni, le réseau Lidarnet opéré par le MetOffice possède 40 ceilomètres à détection directe dans le proche IR, version courte portée des lidars troposphériques.

Le lidar cohérent Windcube 200S a également mesuré le nuage de

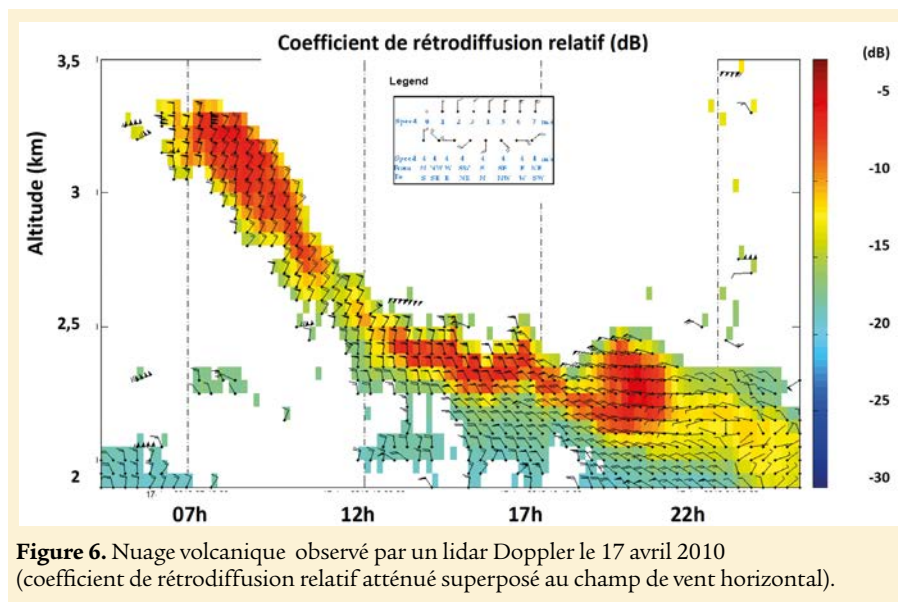


Figure 6. Nuage volcanique observé par un lidar Doppler le 17 avril 2010 (coefficient de rétrodiffusion relatif atténué superposé au champ de vent horizontal).

cendres lors de son passage. La figure 6 indique la séquence de mesures du coefficient de rétrodiffusion relatif atténué, avec en superposition le champ de vent horizontal, permettant d'affiner la trajectographie du nuage. Ces instruments opérationnels participent maintenant à la surveillance des événements volcaniques autour de Reykjavik.

Une aide à la décision

Les lidars atmosphériques contribuent à combler un manque dans la mesure

et la classification des aérosols à partir du sol. Adaptés aux futurs réseaux de stations météo, ils fournissent automatiquement et en temps réel la détection et l'altitude des structures atmosphériques, les paramètres optiques de diffusion et d'extinction des aérosols, et une classification du type d'aérosols et de nuages. Leur rôle est d'améliorer la connaissance de l'impact des aérosols sur le climat et la santé humaine, et d'apporter une aide à la décision lors d'épisodes de dangers atmosphériques, comme les éruptions volcaniques.

LEOSPHERE

LEOSPHERE est une société française créée en 2004, appartenant au groupe VAISALA depuis 2018. Située à Saclay (91), elle compte aujourd'hui 125 collaborateurs, dont 35 en R&D. Avec une expertise des lidars atmosphériques, elle réalise un chiffre d'affaire de 28 M€ (2018), dont 90 % à l'export. La technologie est issue d'un transfert de l'ONERA/DOTA. Avec ses lidars de mesure d'aérosols et de vitesse du vent, LEOSPHERE adresse les marchés de l'énergie éolienne, de la météorologie, de la qualité de l'air et de la sécurité aéroportuaire.

www.leosphere.com

POUR EN SAVOIR PLUS

- [1] IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- [2] J.D. Klett, LIDAR inversions with variable backscatter/extinction values, *App. Opt.* 24, 1638-1643, 1985
- [3] V.R. Morris, HA Winston, Laser Ceilometer CL51 Demonstration Field Campaign Report, ARM, May 2016, DOE/SC-ARM-14-042
- [4] https://www.researchgate.net/publication/317256826_Assessment_of_Mixed-Layer_HeightEstimation_from_Single-wavelength_Ceilometer_Profiles
- [5] S.P. Burton, R.A. Ferrare, C.A. Hostetler, J.W. Hair, R.R. Rogers, M.D. Obland, C.F. Butler, A.L. Cook, D.B. Harper, K. D. Froyd, Aerosol classification using airborne High Spectral Resolution Lidar measurements - methodology and examples, *Atmos. Meas. Tech. Discuss.* 4, 5631-5688, 2011
- [6] Z. Wang, K. Sassen, Cloud type and macrophysical property retrieval using multiple remote sensors, *J. Appl. Meteorol.* 40, 1665-1682, 2001
- [7] J.C. Raut, P. Chazette, Retrieval of aerosol complex refractive index from a synergy between LIDAR, sunphotometer and *in situ* measurements during LISAIR experiment, *Atmos. Chem. Phys.* 7, 2797-2815, 2007

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, il y a plus de quarante ans, 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 μm [1]. L'avènement de sources laser fibrées à 1,55 μm 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 μm 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 (<https://www.leosphere.com/products/scanning-wincube/>). 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 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) :

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



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

Obtenir le meilleur de l'innovation, c'est notre métier.

Sensibilité élevée, temps de réponse court et courant d'obscurité très faible – nos photodiodes à avalanche sont les détecteurs optimaux pour des applications LIDAR.

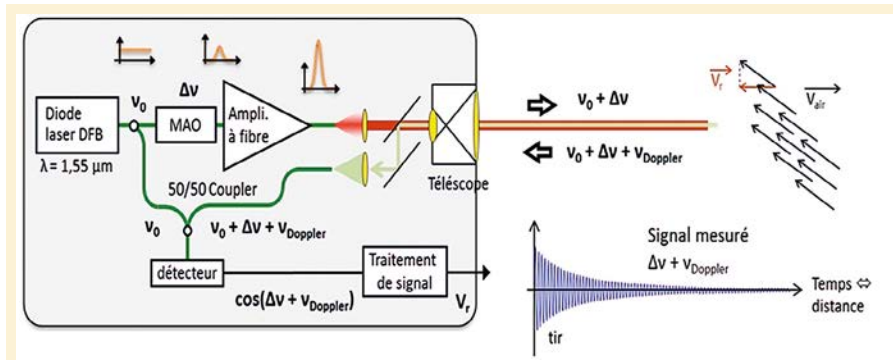


Figure 2. Schéma du Lidar cohérent Doppler de mesure de vitesse de vent résolu en distance.

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

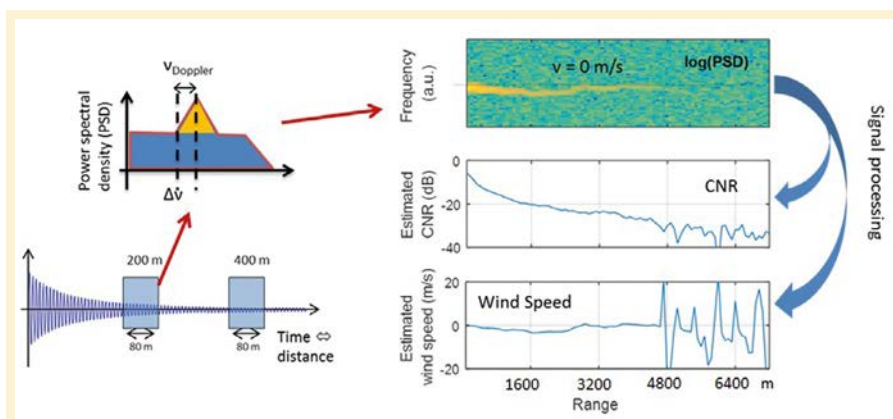


Figure 3. Principe du traitement de signal. À gauche DSP et signal temporel. À droite de haut en bas : périodogramme, CNR (carrier to noise ratio), vitesse moyenne par tranche de distance.



www.first-sensor.com

APDs pour LIDAR



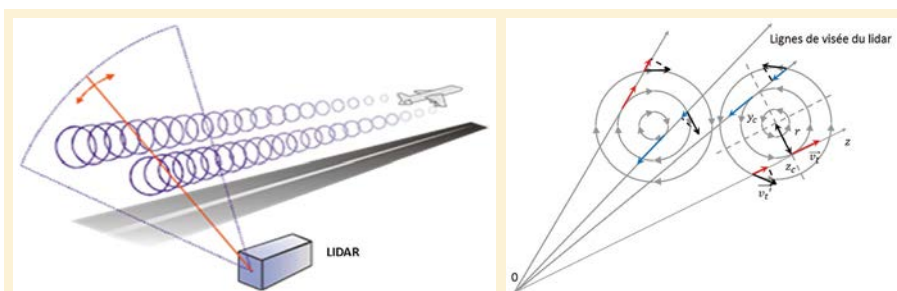


Figure 4. (a) Configuration du plan de mesure Lidar. (b) Projections des vitesses sur l'axe de mesure.

modulateur acousto-optique (typiquement quelques dizaines de MHz) et d'autre part par l'effet Doppler des particules sur le faisceau laser :

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

où V_r est la vitesse des particules (supposée être égale à la vitesse du vent) projetée sur l'axe optique. v_{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 $\Delta\nu + v_{\text{Doppler}}$ 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 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 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.

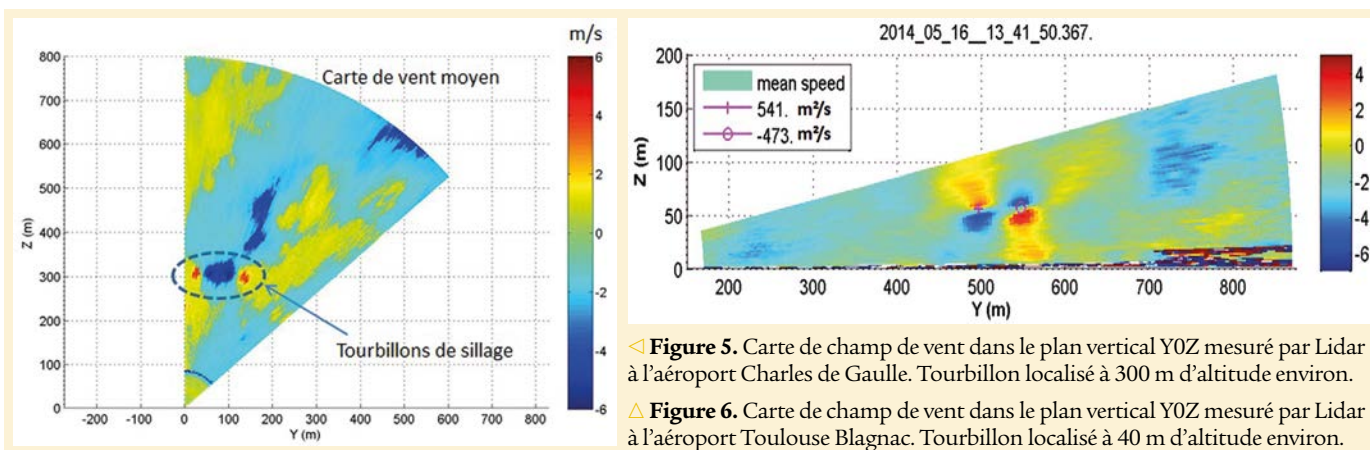
Détection des tourbillons par Lidar

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



◀ **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.

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 considéré comme l'instrument le mieux adapté à la caractérisation des tourbillons de sillages des aéronefs sur site aéroportuaire. Il est notamment utilisé pour aider au déploiement opérationnel de nouvelles réglementations permettant de réduire les distances de séparation entre avions sur des aéroports internationaux. La nouvelle réglementation européenne RECAT-EU a par exemple été déployée à l'aéroport Paris-Charles de Gaulle en 2016 grâce à des mesures du Lidar WINDCUBE200S.

Les défis actuels et futurs pour des Lidars fibrés dans l'aéronautique sont la réalisation de mesures embarquées sur l'avion en configuration transverse ou axiale [5] ou encore la fourniture de cartographie 3D et rapide de vents et de turbulences à longue distance (>10 km) autour des sites aéroportuaires [7-8] afin de pouvoir anticiper les trajectoires des tourbillons de sillage et prévoir leurs durées de vie.

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- μm 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
- [7] Oude Nijhuis, A. C. P., Thobois, L. P., Barbaresco, F., De Haan, S., Dolfi-Bouteyre, A., Kovalev, D., & Yarovoy, A. *GWind Hazard and Turbulence Monitoring at Airports with Lidar, Radar, and Mode-S Downlinks: The UFO Project*, *Bulletin of the American Meteorological Society*, **99**(11), 2275-2293 (2018).
- [8] Dolfi-Bouteyre, A., Canat, G., Lombard, L., Valla, M., Durécu, A., & Besson, C. *Long-range wind monitoring in real time with optimized coherent lidar*, *Optical Engineering*, **56**(3), 031217 (2016).

ERRATUM

Une erreur de mise en pages est survenue dans l'article « **Imagerie moléculaire vibrationnelle : un nouvel outil pour la biologie et la médecine** » par H. Rigneault, paru dans *Photoniques* n°96. Les références [11] à [14] sont manquantes dans la version publiée, et sont indiquées ci-dessous.

- [11] L. Wei et al., *Nat. Meth.* **11**, 410 (2014)
- [12] D.A. Orringer et al., *Nature Biomedical Engineering* **1**, 0027 (2017)
- [13] B. Sarri et al., arXiv:1902.08859 (2019)
- [14] A. Lombardini et al., *Light: Science & Applications* **7**, 10 (2018)



Instrumentation de test optique



Mesure de la plupart des paramètres optiques

FTM, EFL, BFL, centrage, alignement front d'onde

Applications en R&D et production



Banc de FTM UV, VIS, IR



Interféromètre μ Phase



Station de centrage optique

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

COMPRENDRE la science du lidar

Pierre H. FLAMANT

LATMOS Laboratoire Atmosphère
Milieux Observations Spatiales,
Sorbonne Université,
4 place Jussieu,
75252 Paris Cedex 05, France
pierre.flamant@latmos.ipsl.fr

In memoriam Gérard Mégie

L'apport du LIDAR aux sciences atmosphériques et géophysiques a été démontré sitôt l'avènement du laser par l'observation des nuages et des aérosols et la mesure de la distance Terre-Lune. La décennie 1970 a été consacrée à la mise en forme des méthodes. Les applications purement télémétriques n'ont commencé qu'en 1990. Laser et LIDAR sont indissociables, les progrès de l'un entraînant l'avancée de l'autre. Au cours des décennies 2000-2020, les formidables progrès techniques dans tous les domaines clés : lasers, détecteurs et informatique ont permis la multiplication des applications géophysiques et industrielles. Les LIDARs topographiques ont été les premiers dans l'espace au début des années 1970. Ils étaient installés sur les *Lunar Orbiters* des missions NASA Apollo 15, 16 et 17. Vingt ans plus tard, LITE a été le premier LIDAR atmosphérique de la NASA dans l'espace.

Communautés LIDAR

Les LIDARs sont principalement utilisés dans deux domaines d'application : (1) atmosphère, et (2) topographie des surfaces naturelles ou bâties et bathymétrie. Les applications atmosphériques sont le fait d'une communauté scientifique internationale tournée vers la recherche et les services (voir le site « International Coordination Group for Laser Atmospheric Studies » ou ICLAS) tandis que les applications topographiques font l'objet d'activités commerciales entre donneurs d'ordre et prestataires de service (voir le site « International Lidar Mapping Forum »).

Le LIDAR (*light detection and ranging*) est une méthode de télédétection optique active. Des lasers de plus en plus performants ont conduit à la formidable expansion des applications LIDAR dans les domaines géophysiques et industriels. On utilise des lasers impulsions pour la mesure de distance (télémétrie) à laquelle s'ajoutent des mesures de composition atmosphérique ou marine, de vitesse et de réflectivité des cibles (terrain, végétation, bâti urbain).

À présent, la communauté LIDAR atmosphérique se compose : (1) de groupes de recherche pour des applications nouvelles, ils développent instruments et logiciels, (2) de groupes de recherche appliquée utilisant des LIDARs commerciaux souvent mis en réseau, et (3) des utilisateurs de données LIDAR en accès libre.

La communauté télémétrique pour la topographie et la bathymétrie s'est tout de suite insérée dans une logique industrielle. Elle est présente à l'internationale. Des start-up traitent les problèmes de bout en bout. Elles utilisent le même équipement laser/LIDAR pour différentes applications. Les fournisseurs de données sont équipés de LIDARs et de logiciels de traitement très performants pour produire des cartes topographiques et bathymétriques à partir des nuages de points. Les demandeurs de prestation n'interviennent pas sur le processus de fabrication des données.

Méthodes LIDAR Actif et passif

Le LIDAR est une méthode d'analyse optique dite active car elle utilise sa propre source d'énergie lumineuse LASER pour éclairer une zone d'atmosphère ou les cibles à étudier. La mesure LIDAR est non intrusive. La méthode LIDAR se distingue des méthodes radiométriques passives qui utilisent la lumière solaire ou le rayonnement thermique infrarouge émis par les objets. L'exemple de la photographie ordinaire avec ou sans flash de lumière illustre cette distinction. La source de

lumière additionnelle permet des mesures en l'absence de lumière solaire.

Concept LIDAR

Le concept LIDAR associe : (1) un instrument équipé d'un ou plusieurs lasers, (2) des processus d'interaction lumière-matière avec des cibles microscopiques (molécules, particules en suspension dans l'air ou dans l'eau) ou macroscopiques (terrain, végétation, bâtiments, véhicules), (3) une propagation aller-retour du rayonnement laser puis de la lumière diffusée/réfléchi. Pour l'air, l'atténuation est liée à une faible visibilité due à la pollution et aux conditions météorologiques. Pour les milieux aquatiques elle est due à la turbidité.

Les applications reposent sur la télémétrie (mesure de distance) et la restitution des propriétés optiques du milieu et des cibles. Pour l'atmosphère et la bathymétrie ce sont les phénomènes de diffusion et d'extinction qui permettent de restituer les propriétés optiques des particules en suspension dans l'air ou l'eau et les concentrations en composés minoritaires. Comme pour toute méthode optique, les nuages épais de la basse atmosphère gênent voire rendent inopérantes les mesures LIDARs.

Pour les applications topographiques, c'est le nombre de points d'impact au mètre carré qui sert à établir les modèles numériques de terrain (MNT ou DEM pour *digital elevation model*) ou les modèles numériques d'élévation (MNE) pour la végétation et les bâtiments. Un système de balayage de la ligne de visée permet de décrire une nappe de points. Les LIDARs topographiques permettent « d'effacer »



la végétation. Ils ne conservent que les surfaces nues. La technique est utilisée en archéologie pour restituer des vestiges d'occupation de territoire ou pour détecter des failles sismiques ou des impacts de météorites.

Pour dénommer un instrument LIDAR atmosphérique il est d'usage d'associer le processus d'interaction lumière-matière, l'objectif de la mesure et/ou la zone d'altitude et d'y ajouter des informations comme micro-, mini- etc. Pour les LIDARS topographiques ou bathymétriques, c'est plus simple car l'objectif est la mesure précise de distance répétée un grand nombre de fois par seconde.

Instrument LIDAR et mesures

Un instrument LIDAR est composé d'un ou plusieurs lasers émettant des impulsions brèves, d'un télescope, d'un ensemble de détection comprenant des filtres optiques, des polariseurs et des détecteurs rapides, d'un convertisseur analogique-numérique, d'une informatique pour gérer le fonctionnement de l'instrument et enregistrer les signaux numériques et afficher les mesures en temps réel (figure 1). Toutes les analyses postérieures sont effectuées avec les signaux numériques : soustraction des bruits parasites, méthodes d'inversion pour obtenir les grandeurs recherchées.

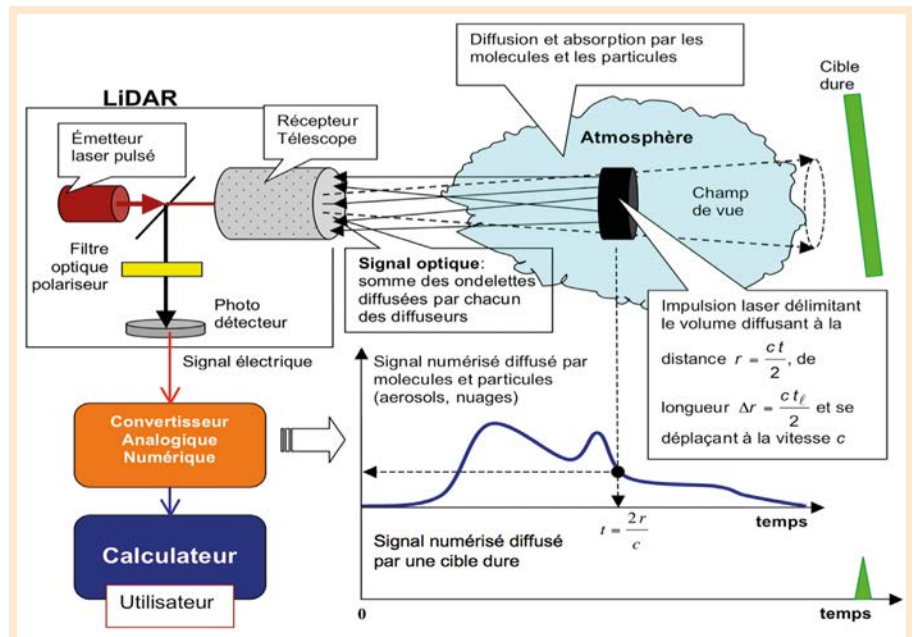


Figure 1. Mesures LIDAR atmosphérique et topographique : bloc instrument, interaction avec l'atmosphère, exemples de signaux numériques pour l'atmosphère (en bleu) et une cible dure (en vert).

Aujourd'hui, les lasers du commerce sont compacts, fiables et robustes. Différents types de lasers sont utilisés pour les applications LIDARS. On peut souligner l'omniprésence des lasers Nd³⁺-YAG qui émettent à 1,064 µm et ce d'autant plus que les techniques de conversion en optique non linéaire permettent d'obtenir des longueurs d'onde plus courtes ou plus grandes. Il existe bien sûr d'autres catégories de lasers solides, fibrés ou à colorant

qui offrent un très large choix de longueurs d'onde et de fréquence de répétition (nombre d'impulsions émises par seconde).

Par exemple, les applications télémétriques utilisent des lasers Nd³⁺-YAG avec des fréquences de répétition de 10³ à 10⁵ Hz.

Il existe quatre grandes catégories d'instruments pour les applications atmosphériques suivant les processus d'interaction mis en jeu : (1) LIDAR

THIN FILM TECHNOLOGIES

KERDRY.COM

- ▶ METALLIC COATING
- ▶ OPTICAL COATING
- ▶ PHOTOLITHOGRAPHY up to 200 mm
- ▶ OPTICAL FIBER COATING
- ▶ COMBINAISON OF METALLIC AND OPTICAL COATING ON THE SAME SUBSTRATE

commercial@kerdry.com
www.kerdry.com

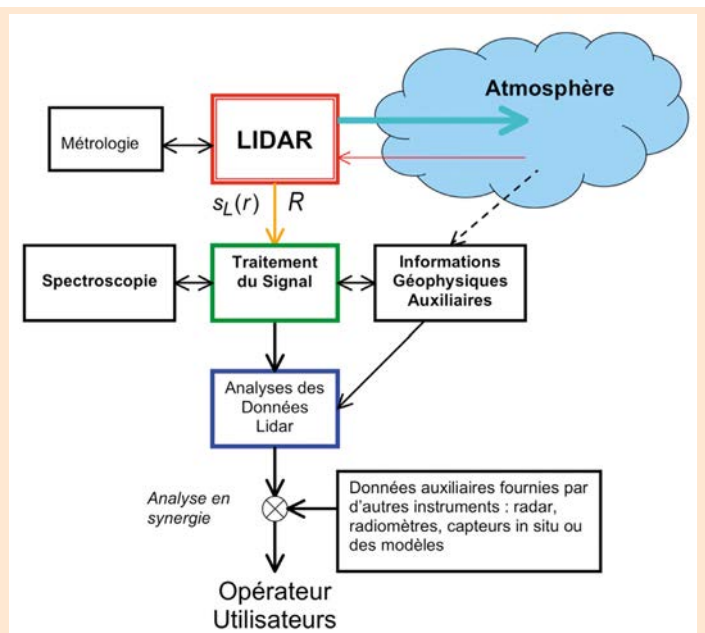
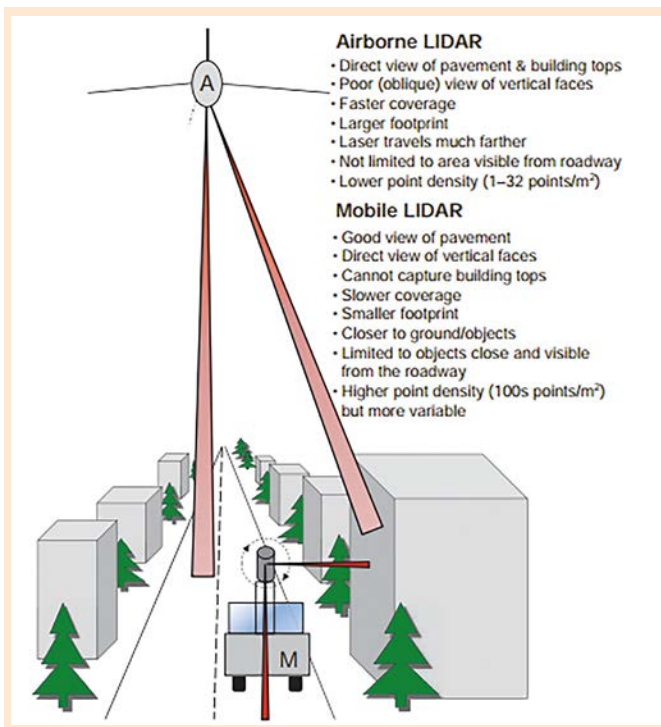


Figure 2. (à gauche) Principe des mesures 3D de la topographie urbaine par LIDAR sur véhicule mobile et LIDAR aéroporté. Figure 3. (à droite) Principe d'un simulateur LIDAR complet.

« rétrodiffusion élastique », le plus simple, (2) LIDAR Raman, (3) LIDAR à absorption différentielle (DiAL pour *differential absorption LIDAR*), (4) LIDAR à effet Doppler.

Les applications télémétriques utilisent la rétrodiffusion élastique sur des cibles dures. On distingue les LIDARs utilisés à partir du sol (MLS pour *mobile LIDAR scanner*) ou aéroportés (ALS pour *airborne LIDAR scanner*) (figure 2). Comme les instruments modernes sont très compacts, on utilise des petits porteurs et des drones. Les applications bathymétriques sont effectuées à partir d'avion ou de bateau.

Pour choisir une méthode LIDAR, on utilise un modèle instrumental de « bout en bout » (*end-to-end*) comme montré sur la figure 3. La portée LIDAR dépend (1) des constituants du LIDAR (énergie laser, diamètre du télescope, etc.), (2) de l'efficacité du processus de diffusion ou de réflexion des cibles, et (3) de la transmission du milieu (visibilité, turbidité).

Processus d'interaction lumière-matière

Pour l'atmosphère et les zones aquatiques, les deux processus clé sont : (1) la diffusion et (2) l'atténuation.

Les caractéristiques de la lumière diffusée peuvent être identiques à celles de la lumière laser ou bien différentes par changement de polarisation, effet Raman, effet Brillouin ou encore effet Doppler. Les cibles dures sont caractérisées par une réflectance spectrale.

La lumière reçue par le télescope se compose de lumière laser rétrodiffusée ou réfléchi additionnée du rayonnement de fond de scène (solaire ou tellurique) à prendre en compte pour le calcul du rapport signal à bruit de la mesure.

Signaux LIDAR

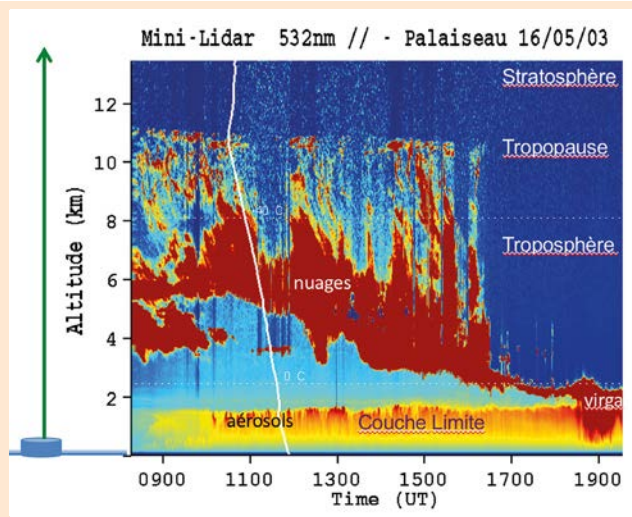
Pour tous les LIDARs émettant des impulsions laser courtes, la première information pertinente est la distance r entre le LIDAR et la cible. Elle est liée au temps de vol aller-retour t :

$$r = \frac{ct}{2} \quad (1)$$

c étant la vitesse de la lumière dans le milieu (air, eau). La lumière renvoyée est collectée par un télescope solidaire du laser. À ce stade, le signal LIDAR est un bilan optique entre la puissance optique reçue s_r (W ou photons par seconde) et l'énergie laser émise (E en joules ou photons). La relation LIDAR optique est :

$$s_L(r, t, \lambda_L) = K_L(\lambda_L, \lambda_\ell) g(r) r^{-2} \beta_\pi(r, \lambda_\ell) T_1(0, r, \lambda_L) T_2(r, 0, \lambda_L) \quad (2)$$

Figure 4. Suivi temporel de mesures LIDAR (moyenne de 200 tirs en 10 s) sur le aérosols des basses couches et un front nuageux qui s'épaissit avec le temps. Jusqu'à 16h, la couche nuageuse est suffisamment poreuse (présence de trous) pour que quelques-uns des tirs LIDAR (sur les 200) atteignent la tropopause. Vers 19h, les précipitations s'évaporent avant d'atteindre la surface (virga).



Pour l'atmosphère $\beta_{\pi}(r, \lambda_{\ell})$ est le coefficient de rétrodiffusion ($m^{-1} sr^{-1}$) pour les molécules et les particules dans l'air. $g(r)$ est un facteur géométrique entre 0 à courte distance et 1. $T_1(0, r, \lambda_L)$ et $T_2(r, 0, \lambda_L)$ sont les transmissions atmosphériques aller et retour. Elles sont identiques pour une diffusion élastique et différentes pour une diffusion Raman. Les transmissions s'écrivent sous une forme exponentielle négative (loi de Beer-Lambert). L'exposant est un coefficient d'extinction (m^{-1}).

Le terme instrumental est fonction des composants du LIDAR :

$$K_L(\lambda_L, \lambda_{\ell}) = \frac{c}{2} EA T_{over}(\lambda_L, \lambda_{\ell}) \quad (3)$$

A est la surface du télescope, T_{over} la transmission/réflexion des composants optiques. $\lambda_L, \lambda_{\ell}$ la longueur d'onde LIDAR après diffusion et la longueur d'onde laser. Les facteurs clé de la mesure sont le produit EA et $\beta_{\pi}(r, \lambda_L)$. Ce dernier peut varier de plusieurs ordres de grandeur. La variation en λ^{-4} de la diffusion moléculaire en est une illustration. On écrit les mêmes relations pour la bathymétrie.

La relation (2) ou équation LIDAR suppose des impulsions laser brèves et l'absence de diffusion multiple. Pour restituer les coefficients optiques, on écrit (2) sous une forme simplifiée :

$$r^2 s_L(r) = K_L \beta_{\pi}(r) \exp(-2 \int_0^r \alpha(x) dx) \quad (4)$$

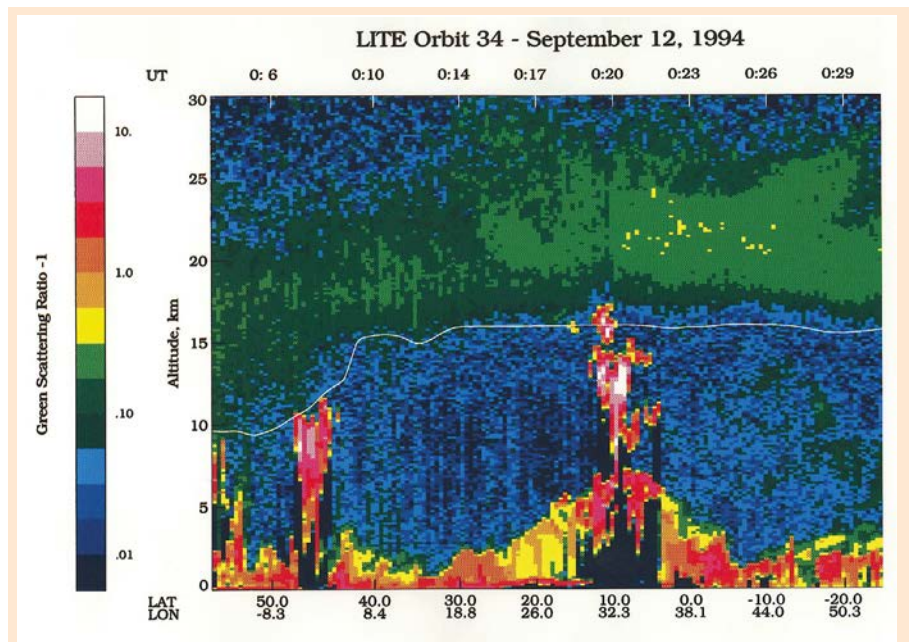


Figure 5. Coupe en latitude/longitude effectuée par le LIDAR spatial LITE/NASA embarqué sur la navette américaine en 1994. Les mesures mettent en évidence les amas nuageux des tropiques et des fronts de latitudes moyennes (rouge et jaune) et les aérosols volcaniques du Mt Pinatubo (en vert). Le trait blanc marque la tropopause thermique. Le code couleur est le rapport de diffusion particulaire.

C'est une relation à deux inconnues ! Pour les particules (aérosols) en suspension dans l'air, on écrit une nouvelle relation entre les coefficients optiques : $\beta_{\pi}(r) = k \alpha(x)$. Avec cette relation, la relation (4) ne contient plus qu'une inconnue $\alpha(x)$. On résout sous la forme d'une équation différentielle de Bernoulli (voir l'article en page 30 de ce numéro) ou d'une équation intégrale.

Pour les composés atmosphériques gazeux, on utilise une méthode différentielle (DiAL). On écrit (4) pour deux longueurs d'onde, l'une absorbée (λ_a) par le composé gazeux et l'autre non absorbée (λ_0) en référence. On fait le rapport. Les termes identiques s'éliminent :

$$\frac{s_{L_a}(r)}{s_{L_0}(r)} = \exp(-2 \int_0^r \alpha_a(x) dx)$$

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

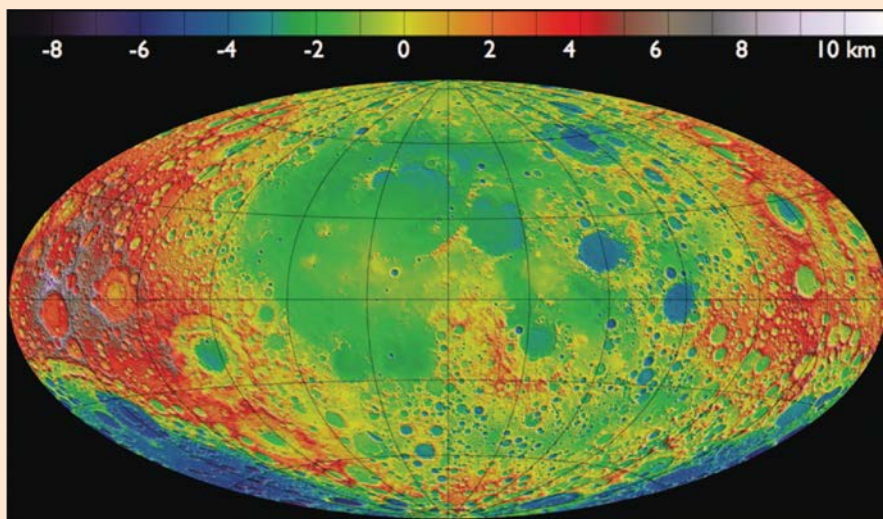


Figure 6. Topographie de la lune établie en 2009 par le LIDAR/NASA LOLA à partir de 1 milliard de mesures. Résolution nord/sud = 20 m, résolution est/ouest = 0,1°.

où α_a est le coefficient d'absorption. Par choix $\alpha_0 = 0$. Après calcul :

$$\alpha_a(r) = \frac{1}{2} \frac{d}{dr} \ln \left[\frac{s_{Lo}(r)}{s_{La}(r)} \right]$$

Connaissant la section efficace d'absorption σ_a en m^2 (donnée spectroscopique), on obtient la concentration : $N_a = \frac{\alpha_a(r)}{\sigma_a}$ en molécules m^{-3} . Les mesures de vitesse utilisent l'effet Doppler (voir l'article en page 36 de ce numéro). On utilise une détection directe ou une détection cohérente suivant l'application.

Les applications

Les LIDARs permettent d'obtenir d'une part des profils de variables optiques dans l'air et dans l'eau, de concentrations en espèces chimiques minoritaires et de champ de vent, et d'autre part des relevés topographiques et bathymétriques. Suivant les applications, on utilise différents types de plateformes : au sol, bateau, drone, petit ou moyen porteur aéroporté, satellite.

Au sol, aéroporté, drone :

- Atmosphère : pollution, météorologie, climat, aérosols et nuages, composés minoritaires (H_2O , O_3 , CO_2 , CH_4), champs de vent. La figure 4 montre un exemple de profil vertical obtenu avec un mini-LIDAR élastique développé pour la recherche.

- Topographie. Végétation : inventaires forestiers, agriculture. Géomorphologie.
- Architecture, archéologie, sismologie et impact météoritique.
- Bathymétrie.

Observation de la Terre :

- LITE/NASA : 11 jours en 1994, apportant la démonstration que la communauté atmosphérique attendait (figure 5).
- ICESat-1/NASA : 2003-2009. ICESat-2 a fourni des résultats inestimables pour les glaces de mer et continentales, et pour la végétation.

- CALIPSO/NASA/CNES : pour l'étude des nuages et des aérosols. Lancé en 2006, toujours en opération.
- ADM-Aeolus/ESA : lancé en août 2018 pour la mesure du vent.
- ICESat-2/NASA : lancé en septembre 2018 pour approfondir le suivi des glaces.

Au titre des futures missions :

- EarthCARE/ESA/JAXA comme la suite de CALIPSO.
- MERLIN/CNES/DLR pour la mesure de la colonne de méthane atmosphérique.

Exploration planétaire :

- Apollo 15, 16, 17/NASA et les dans les années 70, pour les premières cartographies de la surface lunaire.
- MOLA/NASA en 1996 pour la cartographie de la planète Mars (figure 6).

La liste n'est pas exhaustive mais l'essentiel est dit.

Conclusion

Dans cette deuxième décennie du 21^e siècle, la technologie LIDAR est partout. La maturité a été atteinte à la fin des années 90 et on peut aujourd'hui parler de plénitude.

POUR EN SAVOIR PLUS

LIDARs atmosphériques

- [1] Fujii T., Fukuchi T. *Laser remote sensing*. Taylor & Francis, Boca Raton, FL, USA (2005)
- [2] Hinkley E.D. *Laser monitoring of the atmosphere*. Springer Verlag, Berlin (1976)
- [3] Kovalev V.A., Eichinger W.E. *Elastic Lidar*. John Wiley & Sons, New York (2004)
- [4] Measures R.M. *Laser remote sensing*. Krieger, Malabar, FL, USA (1984)
- [5] Weitkamp C. *Lidar*. Springer, Berlin (2005)
- [6] Flamant P.H. *Lidars atmosphériques et météorologiques, Principes fondamentaux*. Techniques de l'Ingénieur (2017)
- [7] Flamant P.H. *Lidars atmosphériques et météorologiques, méthodes et applications*. Techniques de l'Ingénieur (2010)

LIDARs topographiques et bathymétriques

- [8] Baltasvias E. *Airborne laser scanning: existing systems and firms and other resources*. ISPRS J of Photogrammetry & remote Sensing, **54**, 164-198 (1999)
- [9] Guenther G., Cunningham A., Larocque P., Reid D. *Meeting the accuracy challenge in airborne lidar bathymetry*. *Proceedings of EARSel SIG Workshop Lidar*, Desden/FRG, June 16-17 (2000)
- [10] Mallet C., Brétar F. *Full-waveform topographic LIDAR: state-of-the-art*. ISPRS J of Photogrammetry & Remote Sensing, **64**, 1-16 (2009)
- [11] Shan J., Toth C.K. *Topographic laser ranging and scanning*. CRC Press, pp. 608, 2008
- [12] Flamant P.H. *Géolidar pour l'étude des surfaces, de la biosphère et de l'hydrosphère*. Techniques de l'Ingénieur (2010)

ACHETER

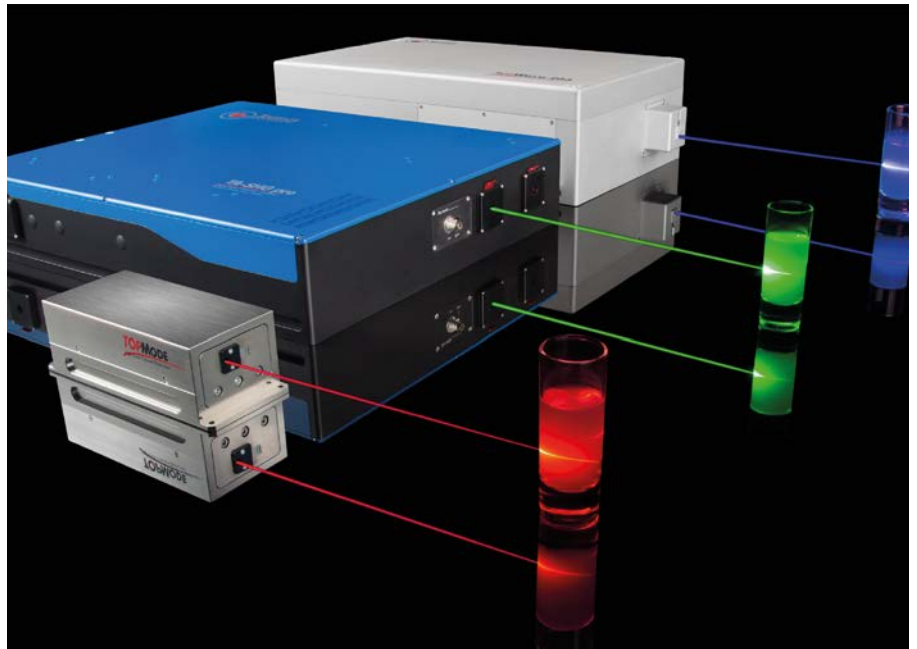
Diodes laser toutes longueurs d'onde pour l'holographie

Vincent AUBERTIN¹Ulrich EISMANN²¹Opton Laser International²TOPTICA Photonics

Les diodes laser répondent maintenant aux exigences techniques pour les applications d'holographie et de lithographie aux longueurs d'onde principales, mais aussi à de nouvelles longueurs d'onde dans l'UV et le visible.

Quand Dennis Gábor a essayé d'améliorer la résolution du microscope électronique à la fin des années 1940, il ne s'est probablement pas rendu compte de l'impact de son travail. En effet, il a découvert la méthode holographique qui permet d'afficher une image tridimensionnelle complète (3D) d'un objet. Combinée avec l'invention du laser, l'holographie a quitté les seuls laboratoires de recherche et engendré une activité industrielle conséquente avec une multitude d'applications.

Les applications pratiques actuelles de l'holographie vont des hologrammes de sécurité bien connus des cartes de crédit et des passeports jusqu'à l'holographie médicale. Les composants optiques comme les réseaux de transmission ou de réflexion





**LA FLEXIBILITÉ ET L'EXPERTISE
AU SERVICE DE L'INNOVATION**

**OPTO
ÉLECTRONIQUE**

SOLUTIONS SPÉCIFIQUES / PRODUITS STANDARTS /
SERVICE SUR MESURE / POUR PETITES À GRANDES SÉRIES

EMETTEURS UV-VIS-IR
LEDs et Power LEDs / Sources lumineuses à LED ou Xénon
Diodes lasers / Lampes flash Xénon / Corps noirs miniatures

DÉTECTEURS UV-VIS-IR
Pyrodecteurs / Thermopiles / Imageurs thermiques
Photodiodes PIN et APD / Si, InGaAs / Barettes, quad
SPCM, CPM, Compteurs de photons

APPLICATIONS : INDUSTRIELLES, AÉRONAUTIQUES, GRAND PUBLIC, MÉDICALES, SCIENTIFIQUE, DÉFENSE, AUTOMOBILE

Société HTDS - info@htds.fr - www.htds.fr - Tel : +33 (0)1 64 86 28 28



Hi-Tech Detection Systems



trouvent une multitude d'applications dans les lasers ou spectromètres (illustration).

La micro-intégration de ces composants a beaucoup progressé, des exemples étant les diodes laser DFB (*distributed feedback*) et DBR (*distributed Bragg reflector*) et les réseaux de Bragg fibrés. Dans un proche avenir, une croissance significative de ce secteur est attendue grâce à l'émergence du marché de la réalité augmentée pour le grand public.

Les principes de l'holographie optique n'ont pas changé de manière significative depuis sa première invention (voir *figure 1*). Une lame séparatrice de faisceaux divise un faisceau laser en deux parties : le faisceau d'éclairage qui irradie l'objet et le faisceau de référence envoyé directement à un support d'enregistrement (généralement une plaque photographique). Le faisceau de référence interfère avec la lumière réfléchie par l'objet, et le motif d'interférence résultant est enregistré dans un substrat photosensible. Après cette procédure, le substrat peut être éclairé pour produire une image 3D de l'objet.

Alors que les lasers à gaz étaient les premiers lasers à être largement utilisés pour l'holographie, une nouvelle génération de diodes laser de puissance est maintenant disponible pour remplacer ces sources. Le principal avantage des diodes laser est leur disponibilité à presque toutes les longueurs d'onde.

Les diodes laser standard couvrent une large gamme spectrale, de l'infrarouge (IR) à la lumière visible. La couverture spectrale peut être étendue bien au-delà dans l'ultraviolet (UV) en utilisant des techniques de conversion de fréquence [1].

La *figure 2* montre le spectre en puissance de sortie des diodes laser accordables TOPTICA et illustre bien cette couverture spectrale étendue. Le spectre s'étend de l'UV profond (190 nm) à l'infrarouge moyen (3500 nm), avec des niveaux de puissance de sortie pouvant atteindre plusieurs watts. Il comprend les longueurs d'onde visibles (RGB) autour de 457, 532 et 647 nm (voir *tableau*).

La résolution du motif d'interférence est un paramètre important pour façonner les éléments lithographiques de plus en plus petits utilisés pour les composants électroniques. Cela nécessite des longueurs d'onde laser toujours plus courtes. Les lasers à gaz fournissent des longueurs d'onde standard largement utilisées pour l'holographie et la lithographie (incohérente). Ainsi, en raison de leur manipulation simple, de leurs excellents paramètres de faisceau et de leur coût d'exploitation réduit, les diodes laser ont trouvé leur place dans des applications qui étaient auparavant dominées par les lasers à gaz. Par exemple, les lasers à ions krypton émettant à 407 nm ont été remplacés par des

diodes laser à 405 nm depuis plusieurs années maintenant. Ces longueurs d'onde sont obtenues soit en utilisant directement des diodes laser, soit en doublant la fréquence d'un laser IR puissant, stable et à bande étroite, si une puissance plus importante est requise. La plage UV est atteinte en ajoutant un autre étage de conversion de fréquence. La longueur d'onde UV populaire de 266 nm est obtenue par des diodes laser offrant une puissance de sortie cohérente de 300 mW avec une qualité de faisceau limitée par la diffraction (typiquement un facteur de qualité du faisceau $M^2 < 1,2$).

Applications de l'holographie

Le processus de fabrication de semi-conducteurs optiques nécessite la génération de réseaux holographiques à l'intérieur du matériau. Cela se fait généralement à l'aide de lasers à gaz ou à diodes convertis en fréquence à 244 nm. La longueur d'onde populaire de 213 nm d'un laser Nd:YAG pulsé à quintuplement de fréquence peut être obtenue à partir de diodes laser de puissance continues. L'utilisation de cristaux de KBBF (potassium beryllium fluoroborate) comme moyen de doubler la fréquence est un autre progrès crucial en faveur de longueurs d'onde encore plus courtes. Celles-ci permettent de faire de l'holographie

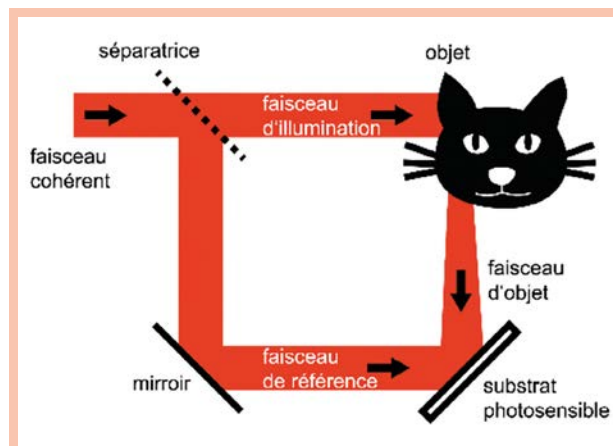


Figure 1. Pour créer un hologramme, un faisceau est divisé en deux parties : le faisceau d'éclairage illumine un objet dont la lumière réfléchie est dirigée vers une plaque photographique où elle interfère avec le second faisceau, dit faisceau de référence afin de capturer un motif d'interférence.

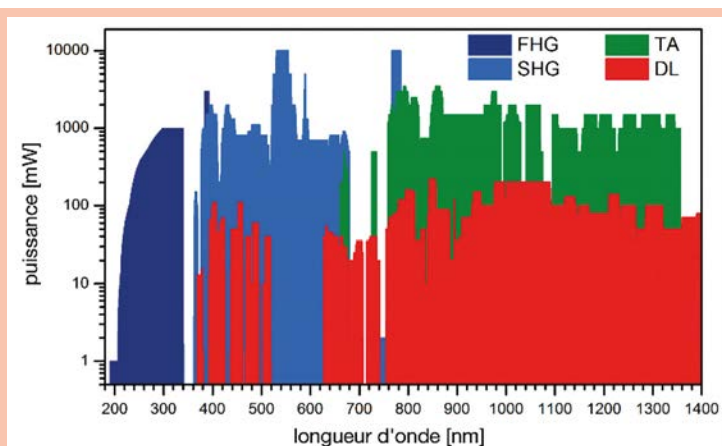


Figure 2. Les diodes laser peuvent couvrir une plage de longueurs d'onde extrêmement large allant de 190 à 3500 nm; les sources de faible puissance (DL) peuvent être amplifiées (TA) et doublées en fréquence (SHG) ou quadruplées en fréquence (FHG). (crédit photo : TOPTICA Photonics AG)

Laser Accordable à Haute Performance



L'innovation depuis 1979

Lasers accordables disponibles de 1260 à 1680nm, pour vos applications de guides d'ondes et de caractérisation de composants optiques.

SANTEC EUROPE LIMITED

Tel: +44-20-3176-1550

Grand Union Studios,
332 Ladbroke Grove,
London, W10 5AD, UK

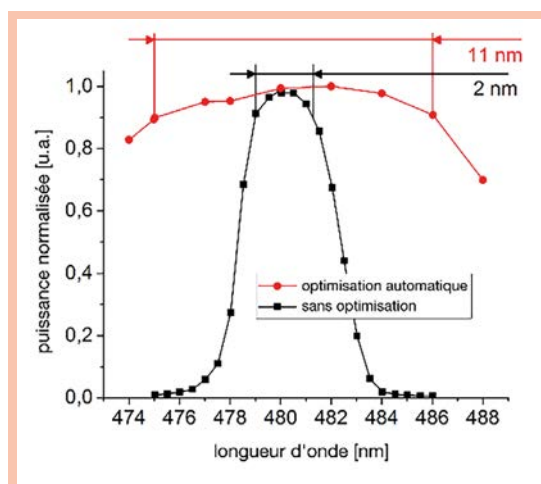


Figure 3. Accordabilité automatique d'un système à diode laser SHG avec (rouge) et sans (noir) optimisation automatique de la puissance de sortie du laser; la plage d'accordabilité utile, donnée selon un critère de puissance max. de 90 %, est augmentée d'un facteur cinq grâce à la routine d'optimisation automatique.

à la longueur d'onde habituelle de 193 nm avec des diodes laser à la place des lasers à excimères [2].

Les dispositifs de réalité augmentée (RA) tels que les HoloLens de Microsoft ou les One de Magic Leap sont des exemples de nouvelles applications d'holographie destinées aux consommateurs. La RA a le potentiel de changer complètement la façon de travailler en entreprise et potentiellement de remplacer les smartphones.

Autre marché de masse, le secteur de l'automobile est prometteur pour ce type d'application où des informations importantes pour le conducteur, telle que la vitesse du véhicule, peuvent être projetées directement « sur la route » à l'aide d'un affichage tête haute. Pour ces deux applications, les appareils d'imagerie holographique offrent la meilleure luminosité de l'image projetée par rapport à la lumière ambiante. Par conséquent, les utilisateurs expérimentent une véritable immersion dans la réalité augmentée.

Étant donné que les LEDs d'éclairage ou les diodes laser ont une longueur d'onde d'émission dispersée sur quelques nanomètres autour de la longueur d'onde nominale, l'image projetée peut être très faible, voire invisible, d'autant plus que les structures photosensibles peuvent voir leurs dimensions varier pendant le processus de production après leur exposition à la lumière. Ici, un autre avantage des diodes laser entre en jeu, à savoir la possibilité d'ajuster le laser d'écriture à la longueur d'onde souhaitée.

La *figure 3* montre un exemple d'une telle courbe de réglage, où une accordabilité automatique de 14 nm autour de 480 nm est démontrée. La diode laser non optimisée est accordée sur plus de 2 nm par rapport à la longueur d'onde centrale avant que la puissance ne chute à 90 % de son maximum. La diode laser avec optimisation automatique s'accorde sur 11 nm avant que le critère de 90 % ne soit rempli, correspondant à une multiplication par cinq de la plage de réglage utile.

Ces systèmes à diodes laser sont intrinsèquement efficaces et consomment généralement moins de 100 W d'énergie électrique entraînant des économies de centaines de milliers de kilowattheures par rapport à des lasers à gaz gourmands en énergie. En outre, ils fonctionnent sans refroidissement par eau, ce qui simplifie non seulement la configuration et le fonctionnement du laser, mais diminue également le coût de revient déjà considérablement réduit par rapport aux sources historiques. Étant donné que l'apport en chaleur dans un laboratoire d'holographie est un élément crucial et que les turbulences de l'air ou le bruit acoustique peuvent rendre un enregistrement holographique inutilisable, les diodes laser présentent l'avantage de fonctionner avec un refroidissement passif et sans ventilateur.

La facilité de maintenance est assurée par des unités remplaçables sur site, composées principalement de sous-composants à semi-conducteurs optiques compacts.

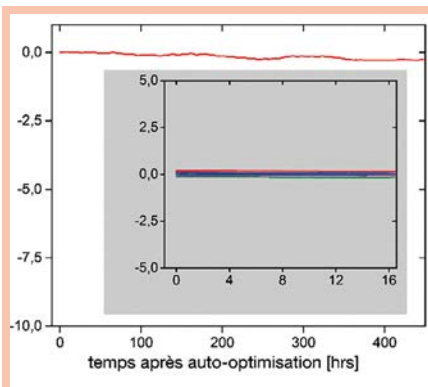
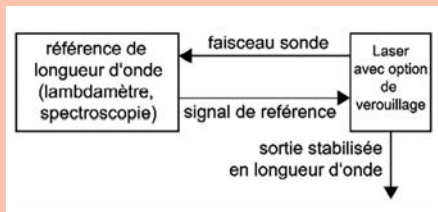


Figure 4. Dérive résiduelle en longueur d'onde d'un laser en free-running à 405 nm, où la dérive reste bien en dessous de 1 pm sur plus de 400 heures (a) ; après une répétition de routines d'optimisation (chaque courbe correspond à des acquisitions obtenues après chaque



routine), le laser en free-running détecte de manière fiable la longueur d'onde optimale pour un fonctionnement stable. Aucun saut de mode n'est observé pour l'ensemble des mesures (en insert). Stabilisation active du système laser, où le laser peut être stabilisé sur une référence externe – par exemple, une cellule à gaz (pour une longueur d'onde cible de 390,1 nm ou 397,5 nm) ou par un lambdamètre (pour toutes les longueurs d'onde). En pratique la stabilité en longueur d'onde est limitée par la référence (b).

La question de la cohérence

La longueur de cohérence est un paramètre crucial pour une source de lumière pour l'holographie. Le processus d'écriture nécessite une source dont la longueur de cohérence est donnée par la taille de l'objet et du support photosensible. En principe, la longueur de cohérence doit être au moins égale à la différence de longueur de trajet entre les faisceaux d'éclairage et de référence pour permettre leur interférence au niveau de la plaque photographique. Fonctionnant sur une fréquence unique, les diodes laser accordables peuvent offrir des longueurs de cohérence supérieures à 100 m dans leur configuration standard. De plus, l'électronique d'asservissement du

contrôleur permet de verrouiller deux lasers en phase. De cette manière, le faisceau de référence peut également être généré directement sur le support à l'aide d'un second laser.

Pour certaines applications, la longueur d'onde absolue et la stabilité sont essentielles. Sans dispositifs supplémentaires, la longueur d'onde de sortie d'une diode laser présente des dérives résiduelles. Ces dérives peuvent être fortement compensées à l'aide d'un dispositif de compensation de pression atmosphérique intégré (voir figure 4a). En raison de l'absence d'eau de refroidissement, le jitter haute fréquence en longueur d'onde est négligeable. Si une référence absolue en longueur d'onde est nécessaire, un module de stabilisation par spectroscopie peut être connecté au système.

Par exemple, des systèmes stabilisés sur des références fournies par les raies D d'un gaz d'atomes de rubidium et qui émettent à 390,1 nm et 397,5 nm ont été réalisés (voir figure 4b).

Ce principe peut être élargi à toutes les longueurs d'onde en remplaçant la cellule à gaz de référence par un lambdamètre de précision doté d'une fonctionnalité d'asservissement en longueur d'onde entièrement numérique.

Comme présenté ci-dessus, les diodes laser répondent aux exigences techniques pour effectuer des applications d'holographie et de lithographie non seulement à des longueurs d'onde établies, mais également à toutes les longueurs d'onde dans les domaines UV et visible. En combinaison avec les autres atouts offerts par rapport aux lasers traditionnels, notamment en termes de manipulation, de fonctionnement et de coût, les diodes laser sont clairement une solution très intéressante pour l'holographie.

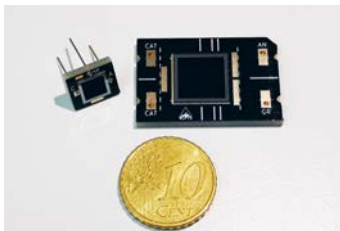
POUR EN SAVOIR PLUS

- [1] U. Eismann et al., *Novel Lasers: Short, shorter, shortest - Diode lasers in the deep ultraviolet*, Laser Focus World, **52**, 39 (2016); <https://goo.gl/Ys9SRm>
- [2] M. Scholz et al., *A bright continuous-wave laser source at 193 nm*, Appl. Phys. Lett., **103**, 051114 (2013)
- [3] U. Eismann et al., *Active and passive stabilization of a high-power violet frequency-doubled diode laser*, CLEO 2016, JTu5A.65 (2016)

MARQUE	INFOS	CONTACT
Laser Quantum	https://www.laserquantum.com	info@laserquantum.com +44 (0) 161 975 5300
Coherent	coherent.france@coherent.com	+33 1 69 11 94 00
IPG Photonics	https://www.ipgphotonics.com/en	Laurent Weber +33 3 88 67 49 74
Azur Light Systems	http://azurlight-systems.com/high-power-fiber-lasers-low-noise-single-mode-single-frequency/	Pierre Laygue +33 5 47 74 55 98
LASOS	https://www.acalbfi.com/fr/search/Z20-LASOS	sales-fr@acalbfi.fr +33 1 60 79 59 00
Lumentum	https://www.lumentum.com/en	media@lumentum.com 408 546 4593
MKS Instruments	mks-germany@mksinst.com	mks-germany@mksinst.com +33 1 48 35 39 39 +49 89 420008-0
Thorlabs	https://www.thorlabs.com/	sales.fr@thorlabs.com +33 1 83 71 11 31
Toptica	https://www.toptica.com/	info@toptica.com +49 89 85837-0
Opton Laser	https://www.optonlaser.com/	Vincent Aubertin vincent.aubertin@optonlaser.com +33 1 69 41 04 05

Tableau 1. Les lasers pour l'holographie (DPSS, lasers à fibre, laser à gaz).

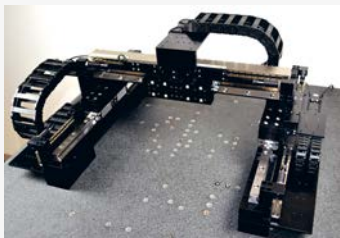
I Photodiodes silicium



Conçues pour la détection des rayonnements ionisants et les applications de spectroscopie, les photodiodes Black Silicon s'appuient sur une nano-structuration de surface, piégeant l'ensemble du flux lumineux pour atteindre une efficacité quantique de 100 % dans l'UV. L'association avec le silicium noir augmente l'absorbance pour une large plage angulaire, avec une réflectance très faible jusqu'à 1000 nm et un angle de 60°.

www.htds.fr

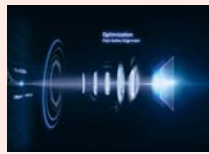
I Platines motorisées



Les applications d'usinage, de marquage laser ou de métrologie nécessitent la mise en œuvre d'axes motorisés de plus en plus performants. Avec des caractéristiques de lacet/tangage/roulis inférieures à 20 sec d'arc et des déviations verticales et latérales < 10 µm les platines de type « Gantry » de ALIO Industries présentent des caractéristiques de très haut niveau pour des courses pouvant aller jusqu'à 1 mètre et des vitesses de déplacement jusqu'à 2 m/sec. Les hautes capacités d'interpolation circulaire et de synchronisation des axes permettent d'usiner des formes géométriques complexes dans le plan et même dans l'espace.

www.trioptics.fr

Systemes d'alignement



Les systèmes d'alignement rapide PI permettent un ajustement précis des composants optiques. Le cœur de cette technologie innovante est le système F-712, offrant jusqu'à 6 degrés de liberté et intégrant des routines d'alignement embarquées dans le contrôleur du système. Une recherche par gradient permet de trouver automatiquement le maximum d'intensité du signal d'intérêt en moins d'une seconde.

www.pifrance.fr

I Diode laser pulsée

Dans le cadre de l'évènement Sensors Expo & Conférence 2019, qui s'est tenu du 25 au 27 juin 2019 à San Jose (USA), Laser Components a reçu le prix « Best of Sensors » 2019 dans la catégorie Automobile/Autonomie. La diode laser pulsée QuickSwitch (PLD) a ainsi été reconnue comme l'un des produits innovants de l'année 2019. QuickSwitch peut générer en une seconde jusqu'à 200 000 impulsions laser avec une durée typique de 2,5 ns. Elle permet de collecter des données plus rapidement et avec une résolution plus élevée dans les applications de mesure de distance par laser (LiDAR) pour les véhicules particuliers.

www.lasercomponents.com



I Répartiteurs de connectique



En complément de sa gamme de produits standards de répartiteurs modulaires M12 T et Y, Provertha propose des variantes sur mesure. Les répartiteurs peuvent être livrés avec ou sans clips de mise à la terre ; des boîtiers en métal permettent si besoin une protection IP 67. La position du codage - code A (5 pôles), code B ou code D - peut être sélectionnée, permettant de raccorder des connecteurs M12 soudés. Le raccordement du M12 peut être rigide ou pivotant.

www.cotelec.fr

I Affichage numérique 3D

Vision Engineering dévoile la technologie d'affichage 3D stéréoscopique numérique DRV (Deep Reality Viewer), qui ne nécessite ni moniteur, ni casques ou lunettes spéciales : les images « flottent » devant un miroir. Développé pour l'inspection visuelle (contrôle et assurance qualité) dans les secteurs de l'électronique, de l'aérospatiale, de l'automobile et du médical, le DRV-Z1 intègre un microscope et permet aux opérateurs de visualiser des sujets grossis en 3D en détail : par exemple circuits imprimés, ou échantillons biologiques sans endommagement par la chaleur.

www.visioneng.fr



I Auto-collimateur grand champ

L'instrument de mesure angulaire sans contact TriAngle VLF possède un champ angulaire total de 10° dans les 2 directions. Son design optique et un algorithme spécifique rendent possible la mesure sur un champ aussi large avec une précision absolue de 5 secondes d'arc. Le logiciel OptiAngle 6 permet la visualisation de l'image caméra, des valeurs numériques et graphiques en temps réel. L'auto-collimateur TriAngle VLF est utilisé pour la mesure de tilt miroirs, d'angle de prisme, d'alignements optiques et mécaniques, d'étalonnage de codeurs angulaires.

www.trioptics.fr

Vision industrielle



Associant analyse d'image et mesure dimensionnelle par laser dans un même capteur, la Série IX de Keyence est dédiée aux contrôles de conformités ; ses modes de détection par mesures de hauteur répondent aux besoins d'identifier de nombreux types de défauts sur les pièces d'assemblage, indépendamment de la position ou de l'inclinaison de la pièce à contrôler. 4 modèles offrent des distances de références respectives de 50, 80, 150 et 360 mm. Ils traitent des pièces d'épaisseur comprise entre 45 mm et 440 mm, et de surfaces allant de 27,5 x 20,5 mm jusqu'à 102,0 x 76,5 mm.

www.keyence.fr

NOTRE RYTHME. VOTRE LUMIÈRE.

Taiko. Laser picoseconde haut de gamme.



www.picoquant.com/taiko



PICOQUANT

**Princeton
Instruments**

- 1^{er} Spectromètre imageur sans aucune aberration
- Performances ultimes (QE % et SNR)
- Simplicité d'utilisation et coût très attractif

**CONTACTEZ-NOUS
POUR UNE DÉMONSTRATION**

FERGIE™

