

La photonique dans la métropole lilloise



Ces dernières années, la métropole lilloise s'est imposée comme un pôle de recherche académique incontournable dans le domaine de la photonique. C'est notamment le cas des travaux en optique fibrée, en optique non-linéaire, en topologie ou encore en photonique-Terahertz, qui ont une forte visibilité internationale. En lien étroit avec les grandes universités, le Conseil Régional et des industries implantées en région, ces activités structurent recherche et formation dans la métropole lilloise.

<https://doi.org/10.1051/photon/202211417>

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

Laurent BIGOT^{1,*}, Guillaume DUCOURNAU², Alberto AMO¹

¹ Univ. Lille, CNRS, UMR 8523 - PhLAM - Physique des Lasers Atomes et Molécules, F-59000 Lille, France

² Univ. Lille, CNRS, Centrale Lille, Junia, Univ. Polytechnique Hauts-de-France, UMR 8520 - IEMN - Institut d'Electronique de Microélectronique et de Nanotechnologie, F-59000 Lille, France

*laurent.bigot@univ-lille.fr

La recherche en optique et photonique dans la Région Hauts-de-France s'appuie sur les compétences de plusieurs laboratoires académiques basés dans différents établissements universitaires répartis sur le territoire, à savoir sept universités (Université d'Artois, Université de Lille, Université du Littoral Côte d'Opale, Université de Picardie Jules Verne, Université Polytechnique Hauts-de-France, Université de Technologie de Compiègne et Université Catholique de Lille) et quinze écoles (parmi lesquelles Centrale-Lille, PolyTech Lille et IMT Nord Europe). Créé le 1^{er} janvier 2022, le nouvel établissement « Université de Lille » réunit facultés, instituts et écoles de renom et, avec plus de 75 000 étudiants (dont 10 000 internationaux de 150 nationalités différentes) constitue à un carrefour de l'Europe l'une des plus grandes universités francophones. Parmi les 70 unités de recherche environ qu'elle héberge, deux laboratoires en particulier, basés sur le site de la Faculté des Sciences et Technologies de Villeneuve d'Ascq, développent des activités de recherche en photonique : il s'agit du PhLAM (laboratoire de Physique des Lasers, Atomes et Molécules) et de l'IEMN (Institut d'Electronique, de Microélectronique et de Nanotechnologie), rattachés respectivement aux instituts CNRS INP (Institut de physique) et INSIS (Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes). Nous proposons de mettre l'accent sur quelques axes de recherches de ces unités, particulièrement marquants et à forte visibilité internationale.

Acteurs et structuration de la recherche en Photonique dans la métropole lilloise

Fibres optiques de spécialité

Le PhLAM, spécialiste de l'interaction lumière-matière, est constitué en 5 équipes de recherche dont les équipes Photonique, DYSCO (Dynamique des Systèmes Complexes) et Atomes Froids. L'expertise de ces équipes couvre les domaines thématiques de l'optique guidée linéaire et non-linéaire, de la conception à la mise en œuvre de fibres optiques de spécialité, de l'exploration des dynamiques complexes en Optique/Hydrodynamique/Biologie/Physique des Plasmas, de l'étude de nouvelles phases topologiques de la ●●●

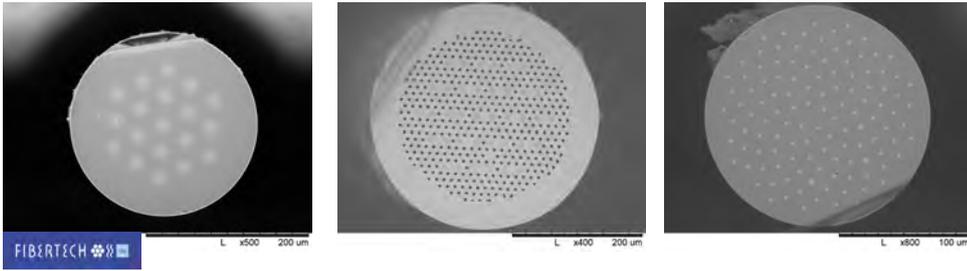


Figure 1. Exemples de fibres multi-cœurs réalisées au sein de la plateforme FTL pour des projets de recherche en télécom, combinaison cohérente de faisceaux laser et endoscopie optique (de gauche à droite). Crédits : CNRS - PhLAM

lumière mais aussi la physique des atomes froids. En plus de ses équipes de recherche, le PhLAM compte également une plateforme, FiberTech Lille (FTL), dédiée à la fabrication de fibres optiques innovantes. Cette plateforme de classe mondiale concentre de nombreux équipements originaux voués à la fabrication, la caractérisation et la fonctionnalisation de fibres optiques. Cela en fait un site unique. FTL fait partie du groupement d'initiatives pour les fibres optiques nouvelles (GRIFON) regroupant les sept plateformes académiques françaises ayant une activité dans le domaine de la technologie des fibres optiques. La plateforme FTL est hébergée à l'IRCI-CA (Institut de Recherche sur les Composants logiciels et matériels pour l'Information et la Communication Avancée), hôtel à projets interdisciplinaires du CNRS. Les activités de recherche de l'équipe Photonique du PhLAM s'appuient pleinement sur la plateforme FTL et agrègent des savoir-faire en théorie, conception, fabrication et mise en œuvre de fibres optiques de spécialité, parmi lesquelles on trouve notamment les fibres micro-structurées proposées au milieu des années 90 [1]. Offrant une large variété de propriétés optiques et, plus généralement, de mécanismes de guidage, ces fibres sont étudiées au sein de l'équipe dans des contextes tels que la photonique non-linéaire, l'endoscopie optique, les lasers, les télécoms ou encore les capteurs. Dans tous ces domaines, les fibres multi-cœurs ouvrent de nouveaux horizons. On pense bien sûr aux télécoms à très hauts débits, pour lesquels de telles fibres permettent de multiplexer spatialement l'information, mais aussi à l'endoscopie sans lentille qui permet une imagerie non-invasive par mise en forme du front d'onde en entrée de fibre. Depuis peu, ces fibres sont aussi utilisées pour générer des peignes de fréquences multiples, utilisables comme références pour des mesures de distances, de la spectroscopie optique ou encore de l'imagerie rapide, par analyse des battements ou des interférences entre les raies qui composent les différents peignes.

Topologie photonique

La topologie photonique est devenue ces dix dernières années un champ d'études à forte dynamique internationale. Par la structuration astucieuse de matériaux optiques il est possible de fabriquer des puces photoniques, dites topologiques, qui offrent des canaux de

transmission unidirectionnels pour la lumière [2]. Ainsi, il est possible de créer des circuits photoniques intégrés sur quelques dizaines de micromètres, extrêmement robustes aux imperfections de fabrication, et aussi de réaliser des lasers intégrés insensibles à la rétrodiffusion. Cette thématique à fort intérêt autant fondamental qu'applicatif est développée par l'équipe DYSCO du laboratoire PhLAM. Les recherches actuelles visent à imaginer de nouveaux types de matériaux topologiques pour la lumière, notamment avec des fonctionnalités actives. Une application prometteuse en cours de développement en collaboration avec l'IEMN est la fabrication de circuits topologiques pour le THz. Grâce à la taille réduite issue de la géométrie topologique, il sera possible de moduler activement sa réponse de façon performante, ce qui reste un défi ouvert à l'heure actuelle dans cette gamme de longueur d'onde.

Photonique-Terahertz

L'IEMN concentre une expertise de longue date en micro/nano-technologies. Dans la suite des activités historiques du laboratoire sur les transistors, son expertise en optique et photonique s'est progressivement orientée autour des composants sur plusieurs filières technologiques destinés à plusieurs gammes spectrales (IR, MIR, FIR-THz). Ces activités sont en particulier portées par les groupes Opto, NAM6, Anode et Photonique-Terahertz. L'IEMN se veut actif dans la communauté Terahertz française et vise à développer des applicatifs autour des composants de photonique THz, comme le contrôle alimentaire (incluant les compétences en spectroscopie du Laboratoire de Physico-Chimie de l'Atmosphère (LPCA) de Dunkerque), la métrologie, l'imagerie ou encore les applications télécoms. Sur ce point particulier, le laboratoire s'est spécialisé dans la réalisation et la mise en œuvre de transmissions de données sans fil en gamme THz, à partir de systèmes photoniques, pour la qualification des composants développés mais également pour le test système de composants actifs et passifs pour les futurs systèmes THz [3]. De tels travaux sont motivés par le fait que les réseaux de données sans fil actuels sont soumis à une pression énorme et peinent à faire face au volume toujours croissant d'informations à délivrer. La gamme de fréquences THz, grâce à des largeurs de bande importantes, peut répondre à ces défis. Un axe de travail

visé ainsi à inventer d'ambitieuses interfaces optiques/radio distribuées spatialement afin d'augmenter considérablement les performances. Grâce à cette nouvelle approche, des débits de données allant jusqu'à un téraoctet par seconde et des liaisons couvrant une distance jusqu'à un kilomètre sont envisageables, soit dix fois mieux que l'état de l'art actuel. Ici, les fibres et composants photoniques sont réalisés au sein de la plateforme FTL alors que les composants électroniques sont développés au sein de la Centrale de Micro Nano Fabrication (CMNF), membre du réseau national Renatech, et de la plateforme SigmaCom.

Au-delà de ces exemples, il est important de mentionner que d'autres laboratoires du campus villeneuvois sont aussi positionnés sur des recherches avancées en optique. C'est notamment le cas du LOA (laboratoire d'Optique Atmosphérique) et du LASIRE (Laboratoire de Spectroscopie pour les Interactions, la Réactivité et l'Environnement) dont les champs d'expertise couvrent l'optique et la spectroscopie. Des travaux de recherche inter-laboratoires sont menés dans ce cadre au sein du CERLA (Centre d'Études et de Recherches Lasers et Applications), à l'image de l'instrument Spidermass, capable d'analyser la composition chimique de tissus *in vivo* à l'aide d'un laser pulsé fibré et développé par des équipes des laboratoires PhLAM et PRISM (Proteomics Inflammatory Response Mass Spectrometry).

Structuration

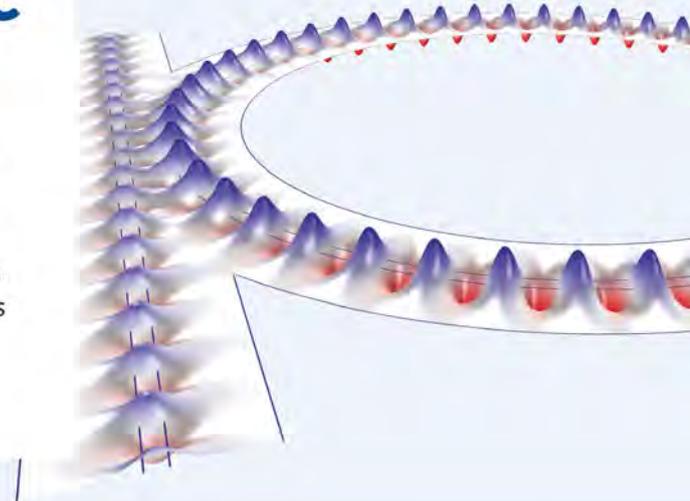
En 2013, le Conseil Régional Hauts-de-France impulsait une dynamique multi-partenariale, Rev3 (3^e révolution industrielle en Hauts-de-France) misant sur la recherche, l'innovation et la formation développées dans les établissements régionaux de l'enseignement supérieur et de la recherche. La recherche en photonique a ainsi pu s'appuyer sur plusieurs programmes structurants d'envergure régionale tels que les contrats plan Etat-Région (CPER) qui mettent l'accent sur des grands enjeux sociétaux comme c'est le cas avec le CPER Photonics4Society (2017-2022) ou le nouveau CPER WaveTech (2022-2027). Notons que le soutien à l'échelle locale se manifeste également par l'apport de la DRARI (Délégation Régionale Académique à la Recherche et à l'Innovation) et de la Métropole Lilloise (MEL), soutien pouvant être renforcé par celui de l'Europe dans le cadre des actions FEDER (Fonds Européen de Développement Régional). Toujours à l'échelle régionale, la labellisation du projet I-Site Université Lille Nord Europe (ULNE) en 2017 et confirmée en 2022 s'est organisée autour de quatre hubs de recherche parmi lesquels on trouve Santé et précision ou encore Monde numérique au service de l'humain. Parallèlement à ces programmes, plusieurs initiatives d'excellence portées par des acteurs de la Région ont été labellisées au cours des dernières années. On pense ●●●

ÉTUDE DE CAS

Tout a commencé avec deux seaux d'eau...

En 1870, un scientifique du nom de John Tyndall a essayé de contrôler la lumière en utilisant deux seaux d'eau, illustrant la réflexion interne totale à un public fasciné. Aujourd'hui, les chercheurs disposent d'outils plus avancés. Lorsqu'ils fabriquent et analysent des prototypes de guides d'ondes optiques, les ingénieurs actuels utilisent des logiciels de simulation numérique pour accélérer le processus de conception.

EN SAVOIR PLUS comsol.blog/silicon-photonics



Le logiciel COMSOL Multiphysics® est utilisé pour la conception et la simulation des composants et des procédés dans tous les domaines de l'ingénierie, de la fabrication et de la recherche.

ici aux programmes EQUIPEX FLUX (Fibres pour les hauts flux) et Add4P (synthèse additive de verre pour la réalisation de composants photoniques) ou encore au LABEX CEMPI, positionné à l'interface Physique/Mathématique. Certains de ces projets se sont appuyés ou s'appuient encore sur les pôles de compétitivité ou les pôles économiques de d'innovation comme Matiken, EuraTechno, CEA-Tech ou EuraSanté. À l'échelle internationale, les laboratoires académiques, outre le portage de projets collaboratifs, sont acteurs de programmes d'échange comme les réseaux ITN ou les réseaux technologiques comme Photon-Hub.

Les liens avec le tissu industriel

Plusieurs des projets mentionnés ci-dessus impliquent des partenaires industriels et quelques partenariats sont concrétisés par la constitution de laboratoires communs avec des grands groupes basés en région (laboratoire commun LIFT du PhLAM, avec Draka du groupe Prysmian, leader mondial des câbles à fibres optiques) ou des spin-off issues de laboratoires de l'Université, comme Lightcore technologies, spécialisée, avec le PhLAM, en imagerie optique non linéaire pour des applications biomédicales et scientifiques. La collaboration avec Draka-Prysmian illustre le positionnement fort de la Région Hauts-de-France dans le domaine des télécommunications par fibre optique avec, outre l'usine de fabrication de fibres optiques de Draka-Prysmian à Billy-Bercléau, la présence sur le territoire de l'usine d'Alcatel Submarine Networks (ASN) à Calais. Les recherches en millimétrique et THz donnent également lieu à des débouchés industriels, en lien avec les laboratoires communs de l'IEMN (ST Microelectronics) ou au travers de liens forts avec les spin-off du laboratoire telles que MC2 Technologies, devenue une PME spécialiste en brouillage de drones et imagerie de sécurité, et V-Micro, spécialiste en capteurs et micro-technologies [4, 5].

Les filières de formations et les réseaux professionnels

Ce tour d'horizon ne serait pas complet sans mentionner les formations intégrant une part d'études théoriques ou appliquées dans le domaine de la photonique. De ce point de vue, l'offre disponible sur le campus de l'Université de Lille s'étend du niveau BAC+3, avec le BUT « Mesures Physiques » proposé par l'IUT de Lille, jusqu'au doctorat, avec le Master « Physique Fondamentale et Applications » dont le parcours « Systèmes complexes, Optique, Lasers » inclus plusieurs modules d'optique/photonique. Des modules similaires existent également du côté des écoles d'ingénieur comme IMT ou Polytech Lille avec pour cette dernière la spécialité « Instrumentation – Ingénierie d'Affaires », basée sur 3 cœurs techniques : photonique, chimie analytique et électronique-mesure.

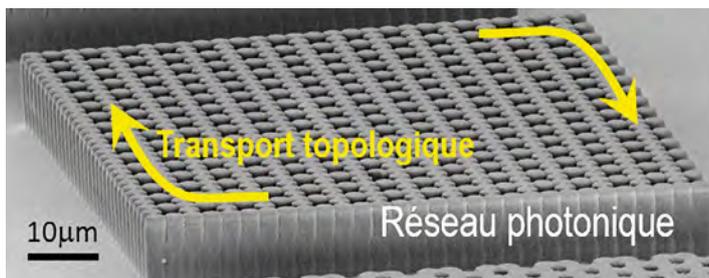


Figure 2. Exemple de circuit topologique photonique. Crédits CNRS

Au-delà des formations académiques classiques, les chercheurs et ingénieurs de l'Université sont également particulièrement impliqués dans les réseaux professionnels ou les groupements de recherche. Au niveau régional, on pense en particulier au réseau régional Optique Photonique et Applications Laser (OPAL), soutenu par le Réseau Optique et Photonique (ROP). À l'échelle nationale, l'émulation sur les thèmes précités est favorisée par les journées de rencontre organisées par le GDR ELIOS (effets non-linéaires dans les fibres optiques et en optique intégré) et le GDR NanoTERAMIR sur le THz.

Conclusion

Cet article a mis en lumière quelques axes de recherche, savoir-faire et outils remarquables, précieux pour la recherche française en photonique. Au-delà de leur valeur individuelle, c'est bien leur regroupement sur un même site qui donne une valeur ajoutée incomparable au site lillois et qui permet l'émergence de nouveaux sujets à la frontière entre différentes thématiques, différentes communautés, en connexion avec le tissu industriel. Cette dynamique bien visible aujourd'hui se concrétise par la forte implication des acteurs lillois de la photonique dans les programmes PEPR et PIA4, tels que les programmes autour de l'après 5G ou des réseaux du futur. Les auteurs remercient tout particulièrement l'ensemble des membres des laboratoires PhLAM et IEMN. ●

RÉFÉRENCES

- [1] Image de la Physique INIST-CNRS (2007)
- [2] T. Ozawa *et al.*, *Rev. Mod. Phys.* **91**, 15006 (2019)
- [3] T. Nagatsuma *et al.*, *Nature Photon.* **10**, 371 (2016)
- [4] www.mc2-technologies.com
- [5] www.vmicro.fr