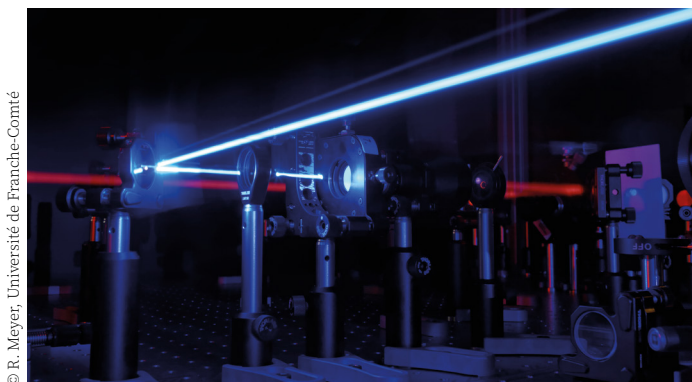


Bourgogne-Franche-Comté : un terroir fertile pour l'innovation en Optique et en Photonique

Mieux connue pour ses grandes filières dans l'agroalimentaire, le luxe, l'automobile, l'énergie, la santé et les microtechniques, la Bourgogne-Franche-Comté abrite également un écosystème dynamique en optique et photonique, fruit d'une longue tradition de recherche et d'innovation. Cette région a su développer des compétences de pointe en s'appuyant sur des laboratoires de recherche reconnus internationalement, et a créé des acteurs industriels de l'optique et des lasers de premier plan.



© R. Meyer, Université de Franche-Comté

<https://doi.org/10.1051/photon/202412921>

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.

François COURVOISIER^{1,*}, Benoît CLUZEL^{2,§}

¹ Institut FEMTO-ST UMR CNRS 6174, Université de Franche-Comté, Besançon, France

² Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR CNRS 6303, Université de Bourgogne, Dijon, France

* francois.courvoisier@femto-st.fr

§ benoit.cluzel@u-bourgogne.fr

Une riche tradition en optique physique

Les recherches en optique ont fait partie de l'ADN des chaires de physique des Universités de Bourgogne et de Franche-Comté tout au long des XIX^e et XX^e siècles. Forte de travaux pionniers en holographie, métrologie, en dynamique solitonique et en microscopie champ proche dans la seconde moitié du XX^e siècle, la région Bourgogne-Franche-Comté possède une longue tradition d'excellence dans la recherche académique en optique physique. Au-delà de travaux de recherche fondateurs comme ceux de Pierre-Michel Duffieux pour l'optique de Fourier dès 1940 ou de Michel Remoissenet pour les solitons, les acteurs académiques ont contribué à son épanouissement au niveau national et international. Par exemple, le bisontin Jean Bulaboïs¹ a créé la Société Française d'Optique en 1983 ; John Dudley, professeur à l'Université de Franche-Comté et président de la Société Européenne de Physique (EPS) de 2013 à 2015, a promu à l'UNESCO et à l'ONU l'organisation en 2015 de l'année internationale de la lumière, devenue aujourd'hui la journée internationale de la lumière le 16 Mai de chaque année.

Au tournant du millénaire, les thèmes précurseurs ont évolué vers le développement des communications optiques, l'optique du champ proche et l'optique non linéaire alors en plein essor, faisant aujourd'hui de la région Bourgogne-Franche-Comté un territoire de recherche reconnu pour la nanophotonique, la photonique ultra-rapide, la dynamique non linéaire, les supercontinuum, l'intelligence artificielle en optique ou encore l'information quantique. Parallèlement à ces avancées académiques, le tissu industriel régional a également vu une forte croissance de ses activités au cours des dernières décennies, capitalisant sur un historique dans l'horlogerie, la lunetterie, et les microtechniques.

¹ Jean Bulaboïs, premier président de la SFO, nous a quittés en 2024. Photoniques l'avait interviewé en 2008 pour les 25 ans de la SFO. Photoniques 37, septembre-octobre 2008. Retrouvez l'article publié dans ce numéro en son hommage.

Acteurs industriels clés et écosystème

La région abrite des fleurons industriels comme Safran Electronics & Defense, implantée à Dijon, et Optec Industries, spécialisée dans les systèmes de contrôle qualité par voie optique. Essilor Luxottica fabrique des verres de lunettes à Dijon et y a basé un centre d'innovation dédié au développement de nouveaux verres ophtalmiques. FCI (France Chirurgie Instrumentation), basée depuis plus de 30 ans en Franche-Comté, y conçoit et commercialise des dispositifs médicaux pour l'ophtalmologie. A Besançon, Digital Surf, spécialisée en métrologie dans les logiciels d'analyse de surface, après 30 ans d'existence, est un fournisseur de grands noms de l'optique comme Leica, Mitutoyo ou Zeiss. Photline technologies, créée en 2000, issue de recherches à FEMTO-ST autour des technologies de modulateurs intégrés en niobate de lithium, est devenue membre du groupe iXblue puis Exail. L'entreprise s'est taillée une place de choix dans le développement de modules optiques et RF pour les télécommunications, le spatial et les lasers. Cheval frères et Laser Cheval, fabricants de lasers industriels dès 1974, sont des références incontournables en usinage laser, en particulier pour la joaillerie et le luxe. La proximité du Jura suisse est ainsi un atout pour l'économie régionale. L'industrie lunetière est également une marque de fabrique du Haut-Jura : la ville de Morez concentre la plupart des acteurs français. Côté poids lourds industriels, la région compte également le CEA Valduc et Stellantis (ex Peugeot-PSA) qui ont de nombreuses activités en optique et photonique pour des applications nucléaires d'une part, et projection, visualisation et détecteurs

pour le côté automobile. Le Grupo Antolin, référence mondiale des composants pour l'industrie automobile a d'ailleurs récemment choisi la technopole du Grand Besançon pour installer son centre de production et R&D de 500 personnes dédié aux systèmes d'éclairage intérieur.

Continuum Formation-Recherche-Innovation

La région Bourgogne-Franche-Comté accueille deux universités pluridisciplinaires, l'Université de Bourgogne et l'Université de Franche-Comté, une université technologique (UTBM), ainsi qu'un grand nombre d'écoles d'Ingénieurs (SUPMICROTECH-ENSMM et ISIFC à Besançon, Polytech, ESTP, ESEO et Institut Agro à Dijon, ISAT Nevers, Arts et Métiers de Cluny...) rassemblant au total 60 000 étudiants.

Du côté de la recherche académique, associés au CNRS et comptant à eux deux plus de 1100 personnels, le Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne ICB et l'Institut FEMTO-ST sont les poids lourds locaux. Ces deux instituts couvrent quasiment tout le panel des activités scientifiques en ingénierie, sciences physiques et sciences des matériaux. Environ 200 chercheurs et doctorants développent leurs recherches au sein des départements Optique à FEMTO-ST et Photonique à l'ICB. Depuis plus d'une vingtaine d'années, les deux laboratoires collaborent sur de nombreux domaines high-tech en photonique comme la plasmonique, la photonique non linéaire et les technologies quantiques, et co-organisent des événements de portée nationale et européenne tels que le congrès biennal de la SFO (Optique Dijon 2021, Optique BFC 2026), les French Photonics Days de Photonics France à Besançon en 2024 ou le congrès EOSAM 2023 de l'EOS à Dijon.

En s'appuyant sur ces laboratoires, une offre de formation diversifiée en optique et photonique est proposée aux étudiants locaux aussi bien qu'internationaux. Le continuum Formation-Recherche en Bourgogne-Franche-Comté est structuré régionalement au sein de l'Ecole Universitaire de Recherche (EUR) EIPHI Graduate School financée par France 2030. Dans ce cadre, trois Masters internationaux (Figure 1) forment chaque année une soixantaine d'étudiants aux sciences de la lumière et aux technologies quantiques pour lesquelles la photonique est habilitante. A ce titre, les trois Masters participent au projet national QuantEDU-France lauréat de l'AMI Compétences et Métiers d'Avenir en technologies quantiques, coordonné par l'Université Grenoble Alpes. Le master QuantEEM bénéficie du programme Erasmus Mundus, en partenariat avec les universités de Kaiserslautern (Allemagne) et de Aarhus (Danemark). L'ouverture au monde professionnel se caractérise notamment par une filière technologique historique au Lycée Victor Bérard de Morez (Bac PRO Optique Lunetterie et BTS Optique Systèmes Photoniques entre autres), nationalement reconnue par les entreprises, ainsi que par des parcours en apprentissage dans les Master PPN et E-PhoT. Enfin, adossé au master E-PhoT et à FEMTO-ST, le CMI PICS (Cursus de Master en Ingénierie Photonique, micro et nanotechnologie, temps-fréquence) est

Figure 1. Trois Masters Internationaux membres de la Graduate School EIPHI en région Bourgogne-Franche-Comté et acteurs du projet QuantEDU-France forment des étudiants de tous horizons aux métiers qui mettent en œuvre les technologies issues des sciences de la lumière.



MASTER PPN - PHYSICS, PHOTONICS & NANOTECHNOLOGY

Une offre de formation de haut niveau par la recherche et l'insertion professionnelle dans les domaines universitaires et industriels à la pointe de l'innovation exploitant les concepts de la physique moderne et des Sciences de la Lumière.

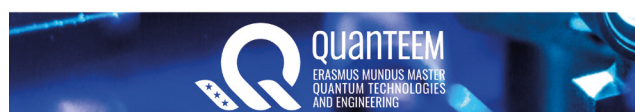
<https://blog.u-bourgogne.fr/master-ppn/>



MASTER E-PHOT

Un programme de cours complet couvrant les aspects théoriques, expérimentaux et d'ingénierie de la photonique, des micro et nanotechnologies, de la métrologie temps-fréquence, de la théorie de l'information et des systèmes complexes.

<https://physique.fondamentale-application-pics.ubfc.fr/>



MASTER QUANTEEM

Erasmus Mundus Master in Quantum Technologies and Engineering. Un master international offrant une formation de haut niveau dans le domaine en pleine expansion des technologies quantiques.

<https://www.quantem.eu>



une formation universitaire sélective sur 5 ans visant à préparer des chercheurs et/ou ingénieurs à la fois sur le plan pratique et fondamental, et mettant l'accent sur l'expérience en entreprise et la mobilité internationale.

La région Bourgogne-Franche-Comté bénéficie par ailleurs de structures efficaces de transfert technologique telle que la SATT Sayens ou la fondation FC'INNOV. Ces entités facilitent la maturation des technologies issues des laboratoires locaux et leurs applications industrielles. Par exemple, Femto Engineering, centre de développement technologique prolongeant la recherche de FEMTO-ST au sein de FC'INNOV, assure la montée en TRL et des prestations industrielles en usinage et traitement du surface par laser femtoseconde, en biopuces plasmoniques, et en technologies/composants intégrés sur niobate de lithium. A Morez, la plateforme DISO, au sein du Lycée Victor Bérard, complète ce tableau et offre son savoir-faire et celui de ses étudiants en termes de développement et d'intégration de solutions optiques.

Un soutien régional fort et des plateformes technologiques ouvertes aux entreprises

Outre DISO et fortes d'un soutien régional continu au travers notamment d'appels à projets régionaux, les plateformes technologiques des laboratoires ICB et FEMTO-ST sont reconnues au meilleur niveau national et international dans leurs spécialités. La centrale MIMENTO de FEMTO-ST, membre du réseau national RENATECH piloté par le CNRS, est identifiée comme un centre de référence pour la micro-nanofabrication sur 1300 m² de salle blanche, avec une expertise reconnue en micro-nano-optique, micro-nano-acoustique et Microsystèmes Opto-Electro-Mécaniques (MOEMS). La plateforme ARCEN-CARNOT à l'ICB est membre du réseau RENATECH+ et héberge les instruments de fabrication et de caractérisation de la matière structurée à l'échelle nanométrique, complémentaire à la centrale bisontine. Enfin, la plateforme SMARTLIGHT, mutualisée entre ICB et FEMTO-ST met au service des chercheurs et des entreprises un ensemble unique d'outils de caractérisation et d'instrumentation en optique-photonique. Elle est dédiée à la manipulation et l'analyse spatiale, spectrale et temporelle des interactions lumière-matière, en lien avec les enjeux de l'intelligence artificielle et avec un intérêt particulier pour la matière micro et nanostructurée et les phénomènes ultrabrefs. Pour son déploiement et sa montée en performance, la plateforme SMARTLIGHT a été labellisée EQUIPEX+ en 2022. En 2024, SMARTLIGHT intègre le réseau de plateformes distribuées du PEPR LUMA qui cofinance le projet, ouvrant ainsi ses portes aux scientifiques de ce programme exploratoire. Forte de ces succès, SMARTLIGHT met en œuvre un ensemble d'équipements uniques : sources laser ultra-rapides, microscopies multimodales, caractérisation-acquisition de signaux électroniques à haute cadence jusqu'à 100 GHz, fabrication additive sur fibres optiques, circuits photoniques intégrés.

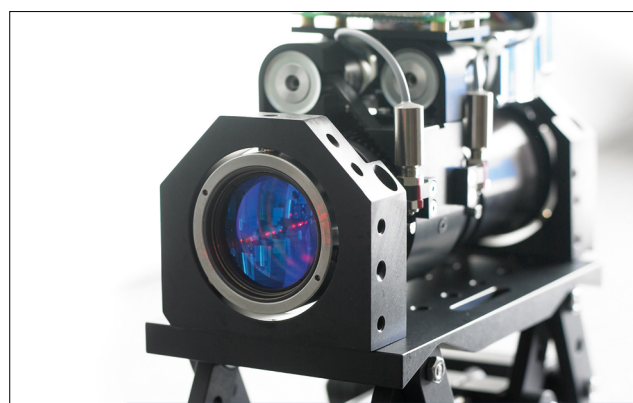


Figure2. SMARTLIGHT- une plateforme ouverte au service de l'excellence scientifique et de l'innovation pour l'émergence de nouvelles technologies photoniques dans lesquelles l'intelligence artificielle et les sciences de la lumière tirent parti l'une de l'autre.

Une recherche académique visible à l'international

Les recherches en Bourgogne-Franche-Comté couvrent un très large spectre en optique-photonique essentiellement sous quatre thèmes principaux.

Les recherches en plasmonique et en nanophotonique s'intéressent aux propriétés optiques de la matière structurée à l'échelle nanométrique et au développement de nouvelles



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

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

HAAG-STREIT SPECTROS

www.spectros.ch Look closer. See further.

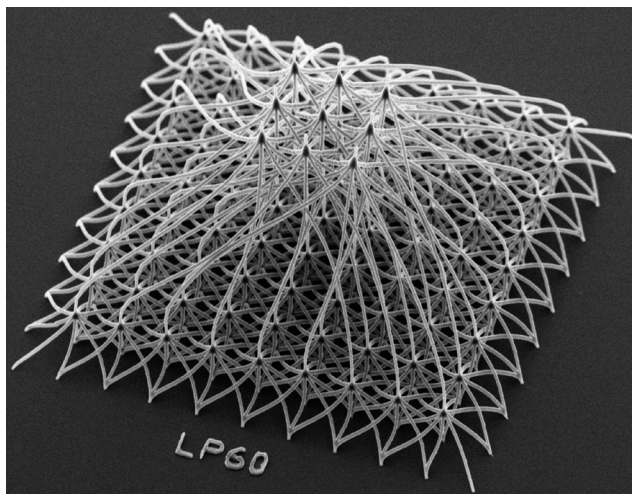


Figure 3. La photonique représente une alternative prometteuse pour réduire drastiquement les coûts énergétiques de l'intelligence artificielle. Au sein de SMARTLIGHT, des chercheurs ont mis en œuvre des réseaux de neurones photoniques 3D larges et entièrement parallèles et les ont entraînés pour atteindre des performances sans précédent. Ces technologies d'impression 3D de guides photoniques seront au cœur de la future startup LightSpring Photonics.

fonctionnalités miniaturisées et intégrées dans la matière (capteurs, nanoantennes, laboratoire sur puce, puce photonique, circuits neuromorphiques, ...).

Les recherches en optique non linéaire analysent la dynamique de systèmes ouverts ou fermés et développent de nouvelles technologies de sources laser, supercontinuum, peignes de fréquences exploitant les propriétés physiques inhérentes à ces systèmes. Les recherches en dynamique non linéaire ont tout particulièrement permis de faire émerger des recherches actuellement très visibles à l'international sur le développement de systèmes d'intelligence artificielle photonique (cf Fig 3). Cette activité intègre également une recherche orientée vers le développement de nouveaux matériaux et de nouvelles fibres optiques pour l'infrarouge moyen, depuis la fabrication des matériaux vitreux de base et leur étirage sous forme de fibres optiques jusqu'à l'étude de leurs propriétés non linéaires.

Les recherches en optique ultra-rapide se concentrent sur les interactions laser-matière femtosecondes pour le contrôle cohérent, l'alignement moléculaire, la filamentation, les interactions laser-plasma et le micro-usinage laser.

Les recherches en physique et optique quantique recouvrent à la fois des aspects théoriques et expérimentaux pour l'imagerie et l'information quantique, et de l'ingénierie pour de nouvelles sources et détecteurs, les capteurs, la cryptographie, les communications quantiques et les processeurs optiques dédiés à l'intelligence artificielle.

Les deux laboratoires FEMTO-ST et ICB sont des acteurs importants de la communauté française et internationale, avec en particulier le portage de projets d'envergure comme la coordination française de PhotonHub, projet européen accélérant

l'innovation en photonique des PME, le co-portage de projets ciblés du PEPR Electronique (France 2030), pour la création de nouvelles filières technologiques afin de réduire drastiquement la consommation énergétique de l'intelligence artificielle électronique grâce à des structures entièrement photoniques, ou la création d'une filière nationale de photonique intégrée sur LNOI. Le projet H2020 kW-flexiburst développe une nouvelle approche de lasers ultra-brefs et d'usinage laser tandis que 5 lauréats ERC explorent les frontières de l'optique ultra-rapide sur fibre pour les communications, les applications de la dynamique non-linéaire à des micro-résonateurs ultra-stables et à l'intelligence artificielle, l'apport de la mise en forme d'impulsions lasers dans l'interaction laser-plasma, et enfin le transport d'information à l'échelle nanométrique par plasmons de surface.

De multiples collaborations internationales en Europe, Amériques et Asie allient également entreprises et laboratoires sur des problématiques très diversifiées, allant du développement d'architectures de calcul neuromorphique à la mise en œuvre de sources laser et de capteurs à l'usage du contrôle environnemental, de minéraux géologiques et de polluants.

Startups et succès d'innovation

L'environnement de recherche est évidemment générateur d'innovation, de transfert de technologie, de création de startups et de laboratoires communs, formant un écosystème très dynamique. On peut citer parmi eux le succès récent d'Aurea Technology, entreprise créée en 2010, qui développe des compteurs de photons, des sources et des solutions complètes de communications et d'analyse quantiques, primée plusieurs fois aux Prism Awards de Photonics West et CLEO/Laser Focus World Innovation Award. Depuis 2022, l'entreprise est en forte croissance et participe au développement des réseaux quantiques dans le spatial avec Thalès et Airbus. Dans le domaine des capteurs de champs électromagnétiques, SYRAH-lab est un laboratoire commun entre FEMTO-ST et la société savoyarde Kapteos pour le développement de sondes optiques intégrées pour la 5G et les environnements extrêmes. 2025 devrait également voir le lancement de la startup LightSpring Photonics qui proposera des solutions de packaging photonique pour le prototypage de circuits intégrés photoniques en s'appuyant sur des solutions de fabrication 3D développées à FEMTO-ST (cf. Figure 3).

En conclusion, la région Bourgogne-Franche-Comté se distingue par un vivier de startups prometteuses, laboratoires, entreprises et innovations en photonique. Le dynamisme de ses acteurs industriels et académiques témoigne de son intégration réussie dans l'écosystème de l'innovation, à l'échelle européenne et internationale, offrant ainsi de belles perspectives de rayonnement et de développement pour cette filière d'avenir. Cela constitue aussi pour le territoire un formidable vecteur d'attractivité pour des profils talentueux et motivés, pour contribuer aux réussites et aux innovations des acteurs académiques et industriels en optique et photonique en région Bourgogne-Franche-Comté. ●