

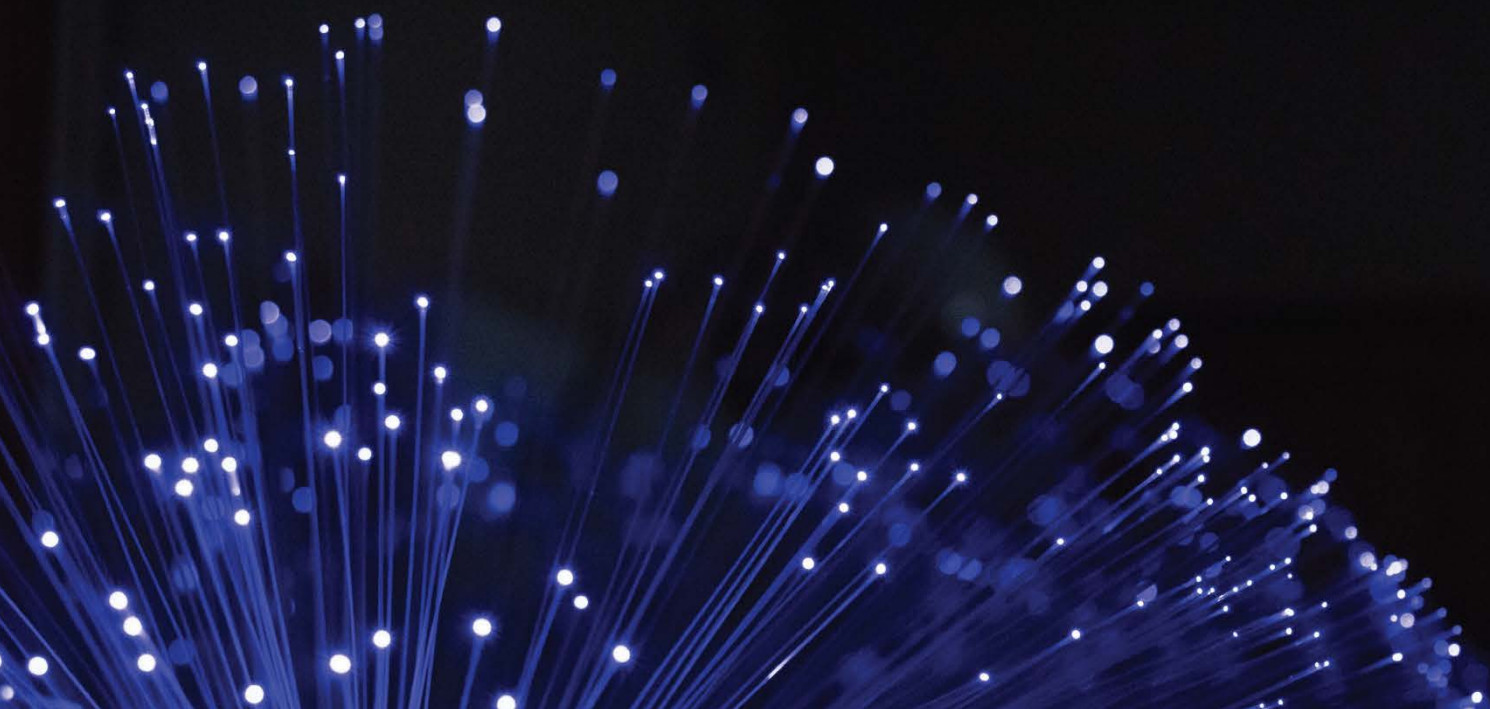
Photonics

France

SYNTHESE

FEUILLE DE ROUTE DE LA PHOTONIQUE FRANÇAISE

16/05/2018



Photonics France - www.photonics-france.org

13, rue Moreau - 75012 PARIS

Tél. : + 33 1 53 46 27 09 - Email : contact@photonics-france.org

SOMMAIRE

EDITORIAL.....	3
Remerciements.....	3
A propos de Photonics France.....	4
I INTRODUCTION	5
1.1 La photonique, science et industrie de la lumière.....	5
1.2 La photonique en France.....	6
1.3 Deux grandes initiatives guident notre avenir.....	8
2 INITIATIVE N°1 : STRUCTURER LA FILIÈRE.....	9
2.1 Travailler ensemble en créant Photonics France, Fédération de la Photonique française	9
2.2 Communication	9
2.3 Emploi-Formation.....	10
2.4 Plateformes technologiques.....	10
2.5 Synthèse des recommandations pour soutenir et promouvoir la filière par des actions transverses.....	11
3 INITIATIVE N°2 : INVENTER NOTRE AVENIR EN S'APPUYANT SUR UNE FEUILLE DE ROUTE PARTAGÉE.....	12
3.1 Notre approche : mobiliser le plus grand nombre et impliquer les acteurs des marchés d'application 13	
3.2 Notre méthode.....	13
3.3 Croisement technologies/marchés.....	15
3.4 Synthèse des recommandations marchés et technologiques.....	16
4 CONCLUSION.....	18
5 ANNEXE 1 : RAPPROCHER L'INDUSTRIE PHOTONIQUE DE SES MARCHÉS D'APPLICATION.....	19
6 ANNEXE 2 : IDENTIFIER LES TECHNOLOGIES PHOTONIQUES D'EXCELLENCE PRÉSENTES ET EN DEVENIR.....	22

EDITORIAL

Assurément, la photonique ou science et technologie de la lumière est LA technologie du 21^{ème} qui révolutionne et révolutionnera nos usages tant les découvertes scientifiques sont majeures, tant les possibilités technologiques sont infinies dans tous les domaines d'applications en particulier pour les grands enjeux sociétaux. La photonique doit donc être connue, reconnue et soutenue pour ses atouts et ses capacités notamment en France où l'excellence de la recherche et de l'industrie est encore trop méconnue alors qu'elle est un des pays majeurs sur la scène internationale !

Notre filière, forte de 1000 entreprises, emploie 80 000 personnes et réalise 15 milliards de chiffres d'affaire. Si nous sommes animés par la passion de la science et de la technologie, les acteurs des domaines applicatifs connaissent, eux, les usages de leurs clients finaux. Créer le dialogue entre les besoins et l'offre technologique est donc indispensable afin de promouvoir la photonique et les solutions technologiques qu'elle offre.

Initié et animé par Photonics France, la fédération de la photonique française, ce dialogue entre les acteurs qui la composent et les intégrateurs et utilisateurs de nos technologies a abouti à notre Feuille de Route présentée ici.

Notre Feuille de Route de la Photonique Française a deux objectifs : interne d'abord en favorisant les échanges au sein de la filière et externe en nous faisant mieux connaître et reconnaître par les pouvoirs publics, les acteurs des applications et des autres technologies et des jeunes qui trouveront de nouvelles solutions et à qui la photonique garantira un emploi aujourd'hui et demain.

REMERCIEMENTS

Notre Feuille de Route de la Photonique Française est le fruit du travail démarré en septembre 2017 par plus d'une soixantaine d'acteurs de la photonique réunis en groupes de travail, en particulier des industriels des domaines technologiques et applicatifs choisis ici. Qu'ils soient ici remerciés pour leurs contributions.

Nous tenons à remercier particulièrement les pilotes des groupes de travail thématiques pour la continuité de leurs efforts, la recherche de contributions les plus larges possibles tout en réussissant à en faire la synthèse. Merci donc à Jacques Cochard, Laurent Fulbert, Karl Gedda, Thierry Georges, Benoît d'Humières, Eneka Idiart Barsoum, Christophe Lacroix, Denis Levallant, John Lopez, Philippe Métivier, Patrick Mottier, Paul Sauvageot

Ces travaux ont été coordonnés et pilotés par Jean-Claude Fontanella, Thierry Georges et Ivan Testart. Un grand merci tout particulier à Jean-Claude Fontanella pour son engagement et sa contribution à notre Feuille de Route de la photonique.

A PROPOS DE PHOTONICS FRANCE

Association loi 1901, Photonics France a été créée le 24 avril 2018. Elle est le fruit de la fusion de l'AFOP, le syndicat professionnel et du CNOP, le comité national.

Photonics France est la fédération française de la photonique qui regroupe les industriels, les académiques et les associations de la photonique en France.

Photonics France est le représentant et l'interlocuteur national unique et légitime de la filière photonique avec plus de 110 membres dont plusieurs grandes entreprises, ETI, TPE/PME, start-up, clusters, pôles de compétitivité, société savante et club. Son écosystème assure une représentativité incontestable de la filière photonique française.

Promouvoir la filière au niveau national et international

Notre ambition est de permettre le développement et la promotion de la filière au niveau national et européen, de susciter et labelliser voire coordonner des projets, de se rapprocher des filières transverses et applicatives et adapter les formations aux besoins d'aujourd'hui et des métiers de demain.

Représenter, coordonner et défendre

Photonics France a vocation à être l'interlocuteur connu, reconnu et légitime au niveau national et international en assurant le rôle de syndicat professionnel pour défendre les intérêts de la filière et de ses adhérents. Elle coordonne et assure la cohérence des actions régionales, nationales et internationales et poursuit la rédaction et la mise en œuvre de la « Feuille de Route de la Photonique française » avec le soutien de nos interlocuteurs étatiques.

Accompagner et servir

Enfin, Photonics France développe et améliore les services aux adhérents à travers l'organisation et l'animation d'évènements thématiques, des offres salons, la promotion de leur savoir-faire ou encore des services économiques, techniques, règlementaires.

Nous appelons tous les acteurs français intéressés par la photonique : industriels, académiques et associations à nous rejoindre pour renforcer notre représentativité, nos actions et nos services.

Pour adhérer à Photonics France, contactez-nous :

contact@photonics-france.org / 01 53 46 27 09

www.photonics-france.org

1 INTRODUCTION

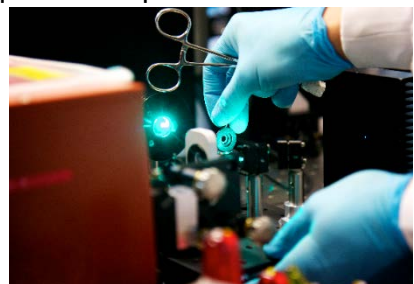
1.1 LA PHOTONIQUE, SCIENCE ET INDUSTRIE DE LA LUMIERE

La photonique désigne les sciences et les techniques qui génèrent, émettent, détectent, collectent, transmettent, modulent, amplifient ou modifient les flux de photons, c'est-à-dire la lumière. La photonique est donc la technologie qui permet toutes les applications industrielles de la lumière, telles que l'éclairage, l'usinage laser, les télécommunications par fibre optique et bien d'autres.

Jusqu'en 1960, la science de la lumière était « l'optique » (voir encadré). Mais les avancées scientifiques du XXe siècle, avec notamment les lasers puis la fibre optique, ont considérablement élargi les champs d'exploitation de la lumière. Le terme "optique" devenait trop restrictif, la communauté scientifique et industrielle internationale a alors adopté le terme "photonique", la science du photon.

La photonique a été retenue par l'Union Européenne comme l'une des 6 technologies-clés du 21ème siècle (« Key Enabling Technology KET ») car elle apporte un potentiel considérable d'innovation et de différenciation dans tous ses domaines applicatifs. Certains même prédisent que la photonique sera au 21ème siècle ce que l'électronique a été au 20ème siècle !

La photonique est par nature "transverse". Elle est présente dans presque tous les produits. Écrans, caméras, capteurs de mouvement et de proximité, sont indispensables aux téléphones et ordinateurs mais aussi aux machines à laver ! Phares, tableau de bord, et capteurs avancés sont essentiels à la voiture. Mais la photonique est aussi invisible ou non perçue comme telle ; des équipements à cœur photonique comme le scanner médical ou l'endoscope ne sont pas perçus comme "photoniques" mais comme dispositifs médicaux !



Crédit : Amplitude Systèmes

Le premier et plus grand challenge que doit relever l'industrie photonique française est de se faire connaître et de se rendre lisible pour recruter de nouveaux étudiants, attirer des talents, être reconnue par les pouvoirs publics.

C'est d'autant plus crucial et stratégique que la photonique invente et prépare aujourd'hui les produits qui vont révolutionner les secteurs traditionnels. Après avoir été à la fondation de la révolution numérique avec la fibre optique et le laser, la photonique est au cœur de l'agriculture de précision, de la médecine personnalisée et de proximité, de la prévention des maladies, des nouvelles mobilités et de l'industrie 4.0.

Pour prendre toute sa place dans ces domaines de haute technologie, mondialisés et fortement compétitifs, l'industrie photonique française veut être encore plus proche de ses secteurs applicatifs : bien comprendre leurs besoins, expliciter et démontrer le potentiel des solutions photoniques, sûres, abordables et simples d'usage, voilà le second grand challenge à relever.

Quand une technique millénaire doit changer de nom

La technologie de maîtrise de la lumière est l'une des plus anciennes qui soit. En domestiquant le feu, nos ancêtres ne gagnaient pas seulement la capacité de se protéger, cuire leurs aliments et façonner des outils performants, ils pouvaient aussi prolonger le jour et accroître considérablement leur phase de veille, propice à l'échange, à l'imaginaire et au travail manuel. Grâce à la lampe à graisse nos ancêtres ont pu produire leurs magnifiques œuvres d'art à Lascaux, Altamira ou Chauvet.

Bien plus tard, la légende dit qu'Archimède a mis au point des miroirs géants pour réfléchir et concentrer les rayons du soleil et enflammer les voiles des navires romains qui assiégeaient Syracuse. Au Moyen-Âge, Ibn al-Haytham (965-1039), savant arabe, jette les bases de l'optique moderne. Depuis, Galilée, Kepler, Descartes, Maxwell, Einstein, Louis de Broglie et presque tous les géants scientifiques de l'histoire ont fait progresser la science de la lumière. Les questionnements sur la propagation de la lumière ont été à l'origine de la révolution de la physique du XXe siècle, de l'invention de la théorie de la relativité et de l'émergence de la physique quantique.

L'industrie de la lumière, démarre avec la révolution industrielle. La Manufacture royale des glaces de miroirs, fondée en 1665, fournit les miroirs de la galerie des Glaces du Château de Versailles. Elle prospère encore aujourd'hui à travers SAINT-GOBAIN. SOLEIL, devenue aujourd'hui HORIBA Scientific est enregistrée en 1819. ESSILOR, est créée en 1849, la même année que LEICA en Allemagne.

Deux découvertes vont ouvrir des champs d'applications considérables. D'une part, la lumière peut être comprise comme à la fois un flux de particules, appelées photons, et une onde électromagnétique. Cette dualité onde-corpuscule est à l'origine du laser ou des caméras numériques. D'autre part, le spectre des longueurs d'onde s'étend bien au-delà de ce que voit l'œil ; ce sont les ultraviolets, qui nous font bronzer et stérilisent, les rayons X, base de la radiographie, les rayons gamma, venus de l'espace ou produits par la radioactivité. C'est aussi le rayonnement infrarouge, qui transporte l'information dans les fibres optiques et permet de voir dans la nuit.

Pour embrasser ces bouleversements, la science optique, millénaire d'histoire, devait changer de nom et devenir la photonique, la science du photon.

Au 21^{ème} siècle, la révolution se poursuit : la photonique est au cœur de la seconde révolution quantique. Elle a déjà donné lieu à des découvertes comme par exemple, les atomes "refroidis" par laser, qui donnent les horloges ultrastables, ou les photons "jumeaux", base de la cryptographie quantique et au cœur des futures communications sécurisées.

C'est paradoxal mais la photonique reste une science discrète. Comme Monsieur Jourdain faisait de la prose sans le savoir, nous vivons tous grâce à la photonique sans y penser. Prenez votre téléphone en main : que voyez-vous en premier ? Un écran tactile indispensable pour téléphoner ! Tournez-le et découvrez les lentilles de la caméra embarquée, les LEDs du flash, les capteurs de reconnaissance faciale ou le capteur qui désactive automatiquement l'écran digital lorsque vous téléphonez.

Tous les secteurs, transports, médecine, bâtiment, industrie, éducation, communications, culture..., absolument tous les secteurs ont besoin de la photonique. Au XXe siècle, on a parlé de la révolution du transistor et de l'électronique. Au XXIe, l'accélération du digital nous donne le vertige. Mais aucune de ces mutations n'aurait pu exister sans la discrète et omniprésente photonique. Aujourd'hui, elle apparaît au grand jour et n'a pas fini de nous surprendre.

1.2 LA PHOTONIQUE EN FRANCE

L'optique et la photonique française ont déjà une très longue histoire en France. Leur écosystème de formation et de recherche est de niveau mondial. Il comprend plus de 5 000 chercheurs, plus de 100 thèses actives annuellement. Plus de 2 500 brevets ont été déposés ces 15 dernières années. Il est capable d'innover et d'irriguer un tissu industriel fait de plus de 1000

entreprises, générant une activité estimée à 15 milliards d'euros avec plus de 80 000 emplois hautement qualifiés, opérant sur un marché mondial estimé à 447 milliards d'euros en 2015, et estimé à 525 milliards d'euros en 2020.¹

La photonique européenne, solide et compétitive

L'association professionnelle européenne Photonics21 a publié en 2017 un état des lieux de la photonique européenne. En voici quelques extraits :

- ▶ Marché Mondial de la photonique : 228 G€ en 2005 et 447 G€ en 2015, estimé à 525 G€ en 2020
- ▶ Le taux de croissance de l'industrie photonique est 2 fois supérieur à la croissance mondiale
- ▶ Le premier pays producteur est la Chine, même si chaque continent présente une spécialité (par exemple : écrans et photovoltaïque en Asie)
- ▶ L'Europe est numéro 2 avec 15,5% de part de marchés, devant le Japon puis les USA
- ▶ Elle est leader sur ces segments d'excellence :
 - 50% du marché des lasers et des systèmes de lithographie
 - 35% du marché de la mesure et de la vision – L'Europe gagne des parts de marché dans ces secteurs
 - 32% dans les composants et systèmes optiques
 - 28% dans le médical et la photonique pour les sciences du vivant
 - 26% dans la défense et la sécurité
 - 24% dans l'éclairage.

Dans ce marché global, la production manufacturière de la France représente près de 15 G€.

Au-delà des groupes de taille mondiale comme THALES, SAFRAN, ESSILOR ou VALEO, la photonique française c'est un tissu d'entrepreneurs enthousiastes et talentueux : 40% des entreprises photoniques françaises ont moins de 10 ans d'âge ! Soutenues à la hauteur de leur potentiel, elles seront à la pointe du renouveau industriel attendu par tous.

Ce dynamisme de l'industrie photonique n'est pas qu'une promesse. C'est une réalité d'aujourd'hui. Dès à présent, nos futurs champions industriels génèrent de nouveaux emplois et recrutent en nombre, des ingénieurs bien sûr, mais aussi des techniciens, des commerciaux, des compagnons polisseurs ou des ouvriers qualifiés.

Car pour sa fabrication, cette industrie de haute science et de très haute technologie a encore besoin de l'intelligence de la main, celle qui lui a donné naissance à la préhistoire, bien avant l'invention de l'écriture (voir encadré).

Les acteurs français, scientifiques, industriels ou enseignants, tous passionnés, sont en action et posent aujourd'hui un diagnostic sur leur filière. Ce document, conçu comme une « feuille de Route », est une synthèse de réflexions, de recommandations d'actions, pour certaines déjà entamées. Cette première feuille de route a donc pour objectif de tracer les voies possibles pour mettre le formidable potentiel de notre filière photonique au service de l'industrie, des emplois et de la richesse de la France. C'est pourquoi nous souhaitons la faire connaître de tous et la partager largement.

¹ Sources : DGE "La photonique en France" 2015 / Photonics21, "Market Research Study Photonics 2017".

1.3 DEUX GRANDES INITIATIVES GUIDENT NOTRE AVENIR

1. Engager des actions structurantes pour la filière industrielle pour se faire connaître, se rendre lisible pour attirer des talents, être reconnus par les pouvoirs publics

- ▶ Structurer la filière en créant « Photonics France » - fédération française de la photonique - pour être plus lisible, plus visible, plus efficace et mieux coordonnés
- ▶ Faire connaître le terme "Photonique" et les technologies associées au plus grand nombre pour attirer les talents
- ▶ Introduire le terme "Photonique" dans les manuels scolaires
- ▶ Démultiplier les formations pour créer des emplois qualifiés répondant à la demande actuelle et aux métiers de demain
- ▶ Coordonner et développer les plateformes technologiques

2. Se rapprocher des secteurs applicatifs et lancer avec eux des projets technologiques et industriels communs

- ▶ Définir les axes stratégiques de développement de la filière
- ▶ Les expliciter pour les rendre visibles et lisibles auprès de tous les publics, en particulier les acteurs économiques et les Pouvoirs Publics
- ▶ Se rapprocher des secteurs d'applications français les plus porteurs pour permettre à l'industrie photonique nationale :
 - de proposer de nouvelles solutions adaptées à leurs besoins
 - d'accélérer son développement et sa compétitivité en s'appuyant sur son marché intérieur
- ▶ Se rapprocher d'autres filières technologiques indispensables (intelligence artificielle, électronique, design...) pour développer les solutions à cœur photonique attendus par les marchés d'application.



2 INITIATIVE N°1 : STRUCTURER LA FILIÈRE

2.1 TRAVAILLER ENSEMBLE EN CREANT PHOTONICS FRANCE, FEDERATION DE LA PHOTONIQUE FRANÇAISE

Jusqu'à présent, la filière photonique a été représentée par deux entités nationales : l'AFOP, syndicat professionnel, et le CNOP, comité national. Les rôles respectifs et responsabilités de ses deux associations vis-à-vis des Pouvoirs Publics apparaissaient entremêlés et étaient souvent mal compris par les acteurs et les institutions.

La majorité des adhérents respectifs à ces deux associations, avec le soutien des pouvoirs publics (DGE, DGA, et autres Ministères) ont appelé de leurs vœux un regroupement de ces deux entités pour disposer d'un point d'entrée unique, partager les moyens et au-delà, impulser un nouvel élan à cette filière technologique à fort potentiel.

L'AFOP et le CNOP se sont regroupés le 24 avril 2018 pour créer une seule association professionnelle : "Photonics France" qui est la fédération de la photonique française. (www.photonics-france.org).

Les membres de la fédération sont les industriels et académiques issus de l'AFOP et les membres du CNOP à savoir : les associations régionales (ALPHA – Route des Lasers & des Hyperfréquences, Cluster Lumière, Photonics Bretagne, Minalogic, OpticsValley, Pôle des Microtechniques) et les associations nationales (Société Française d'Optique et Club Laser et Procédés).

L'ambition de ce projet est de permettre l'extension dans le temps de cette fédération à l'ensemble des acteurs de la photonique française qui le souhaiteraient, acteurs scientifiques, académiques, industriels ou investisseurs qui verront dans ce projet l'opportunité de développer la filière et de se développer.

2.2 COMMUNICATION

Dans les revues françaises scientifiques telles que *Pour la Science*, *Science et Vie*, dans les revues technologiques comme *Usine Nouvelle* ou *Industrie et Technologie* et même dans la presse économique telle que *Les Échos*, les sciences et technologies photoniques sont parmi les plus relayées car très innovantes et donnant lieu à des innovations spectaculaires.

Mais la presse utilise peu le terme "photonique". Un scanner est un "dispositif médical" mais n'est pas perçu comme "à cœur photonique". Pour la défense, c'est le terme "optronique" qui est utilisé tandis que le téléviseur est un produit "électronique grand public". Un travail important de communication est à faire pour faire connaître la place réelle de la photonique dans notre industrie mais aussi dans la vie quotidienne.



Les acteurs de la photonique sont les premiers concernés. Au sein même de leur métier, parvenir à remplacer les vieux termes : optique, optronique, optoélectronique, électro-optique etc..., par le mot "photonique" créera sans aucun doute un saut de visibilité spectaculaire pour la filière.

Cet effort doit être aussi poursuivi auprès des secteurs d'applications, pour faire reconnaître le rôle de la photonique dans tous les équipements et montrer qu'elle est au cœur des révolutions technologiques qui se préparent.

2.3 EMPLOI-FORMATION

La filière photonique connaît une croissance élevée. Elle vit aujourd'hui des mutations majeures internes qui créent des opportunités à saisir. Pour réussir, les entreprises photoniques rencontrent de nouveaux besoins de compétences, techniques mais aussi marketing, industrielles et commerciales. Or :

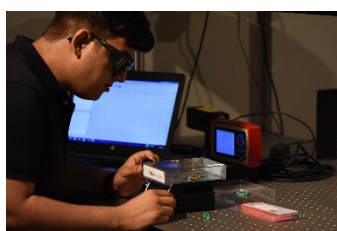
- ▶ Les recrutements dans la filière sont de plus en plus difficiles avec un déficit de candidats sur le marché à tous les niveaux, des bacheliers jusqu'au thésard.
- ▶ La filière et ses métiers sont peu ou pas connus des acteurs de l'éducation, du recrutement ou de l'orientation.
- ▶ Les entreprises des marchés d'application manquent de compétence photonique pour dialoguer avec les acteurs de la filière.

Face à ces constats, Photonics France prévoit des actions basées sur les axes structurants suivants :

1. **Anticiper la mutation des métiers et des besoins en compétences à l'aide d'études régulières, d'état des lieux et de prospective**
2. **Faire connaître l'attractivité des métiers de la photonique auprès des jeunes dans les lycées et les collèges – faire entrer le mot "Photonique" dans les manuels scolaires**
3. **Améliorer les formations initiales et continues, et faire connaître la photonique dans les formations des secteurs d'application.**

2.4 PLATEFORMES TECHNOLOGIQUES

Les plateformes évoquées ici sont des interfaces entre la recherche et l'industrie. Leur rôle consiste à faire mûrir de nouveaux concepts ou procédés et à développer l'usage et l'appropriation de la photonique. Certaines visent à donner accès à des infrastructures gérées par le secteur académique mais utiles ponctuellement à des entreprises. Au-delà de cette définition très générale, la notion de plateforme recouvre une multitude de statuts et d'activités. Toutefois, leur rôle est essentiel. En effet, dans d'autres pays, les activités applicatives sont directement intégrées dans les laboratoires de recherche. **En France, une part importante des transferts de technologies et surtout de maturation se font à travers ces plateformes.**



Crédit : Pyla

Certaines sont des structures indépendantes, comme par exemple les Centres de Ressources Technologiques (CRT). D'autres sont plus intégrées dans les laboratoires académiques et gèrent souvent des équipements de recherche mis ponctuellement à la disposition des entreprises. C'est le cas par exemple des EQUIPEX, financés par les programmes d'investissements d'avenir.

À l'image de la diversité du secteur, les plateformes photoniques sont le plus souvent spécialisées sur un thème d'excellence. En voici quelques exemples -une liste plus exhaustive est disponible dans la feuille de route détaillée- :

- ▶ **CRT** : IREPA LASER (Illkirch-Graffenstaden), Photonics Bretagne/PERFOS (Lannion), ALPhANOV (Bordeaux), Institut Maupertuis (Rennes)
- ▶ **Plateformes mutualisées des laboratoires académiques et Equipex** : Platinom (Limoges), Fibertech (Lille), PEMOA (Marseille), Persyst/CCLO (Lannion), ManuTech USD (Saint-Étienne), EXTRA (Montpellier).

En complément des plateformes photoniques, l'industrie et la recherche académique doivent créer ou renforcer leurs liens avec les plateformes des secteurs d'applications, qui participeront à l'appropriation des technologies photoniques dans leurs filières respectives (agro-agri, environnement, industrie, etc...).

2.5 SYNTHÈSE DES RECOMMANDATIONS POUR SOUTENIR ET PROMOUVOIR LA FILIÈRE PAR DES ACTIONS TRANSVERSES

2.5.1 Communication

- ▶ Créer l'unité de la profession autour du terme photonique :
 - Créer la « famille photonique » en unifiant le lexique et la terminologie Photonique
 - Influencer auprès des relais d'information pour identifier et valoriser la photonique
 - Développer des outils de communication : réseaux sociaux, site internet...
- ▶ Faire connaître la photonique comme technologie d'avenir vers les filières industrielles :
 - Réaliser et diffuser des outils de communication et de promotion
 - Augmenter, diversifier et coordonner les animations pour diffuser la photonique
- ▶ Diffuser la photonique vers le grand public et les jeunes :
 - Créer des liens avec les acteurs de la Culture Scientifique et Technique
 - Créer des outils et participer aux événements de diffusion de CST (Fête la Science, Semaine de l'Industrie)

2.5.2 Emploi formation

- ▶ Anticiper la mutation des métiers et des besoins en compétences de demain
 - Réaliser une étude prospective des emplois et des compétences d'envergure
 - Mettre en place des outils d'observation en continu (observatoire)
- ▶ Favoriser l'attractivité des métiers et des formations
 - Donner de la visibilité à la photonique dans les processus d'orientation
 - Construire des outils de communication en direction des jeunes et les mettre à disposition
 - Promouvoir les métiers et les formations dans les manifestations et les salons professionnels
 - Augmenter la place de la photonique dans les programmes de collège et de lycée
 - Favoriser la formation des enseignants du second degré
- ▶ Adapter le contenu des formations initiales
 - Développer les interfaces entre entreprises et formations
 - Diffuser la photonique dans les formations adressant les secteurs applicatifs
 - Favoriser la création de formations complémentaires
- ▶ Adapter les modalités de formation continue
 - Favoriser le développement de formations sur mesure
 - Développer les outils pédagogiques pour une meilleure efficacité

2.5.3 Plateformes

- ▶ Développer l'usage des technologies photoniques et leur appropriation
- ▶ Relancer une initiative Carnot fédératrice pour la Photonique à l'échelle nationale
- ▶ Permettre aux PME de bénéficier du taux bonifié x2 de leur effort de recherche contractualisée avec ces plateformes
- ▶ Rééquilibrer les financements régionaux et nationaux en intégrant des contrats d'objectif nationaux.
- ▶ Promouvoir les plateformes applicatives à travers Photonics France.

3 INITIATIVE N°2 : INVENTER NOTRE AVENIR EN S'APPUYANT SUR UNE FEUILLE DE ROUTE PARTAGÉE

La photonique a vécu un tournant avec le déploiement de la fibre optique dans les réseaux télécoms dans les années 1990. Les fibres, mais aussi les lasers, les détecteurs et toute une série de composants ont été déployés en grande série, générant deux phénomènes structurants : **la miniaturisation des composants et la baisse des coûts**. Les autres secteurs applicatifs se sont appropriés les composants initialement produits pour les marchés télécoms et les ont adaptés à leurs usages. Ce phénomène de "détournement créatif" se poursuit aujourd'hui : les caméras de téléphones mobiles sont devenues minuscules, ne coûtent que quelques euros et sont intégrées dans les drones ou les interphones.

En parallèle, **de nouveaux besoins « sociétaux » ont émergé** : sûreté de la chaîne alimentaire, autonomie et sécurité des transports, économie d'énergie et préservation de l'environnement, médecine préventive et personnalisée, ...

La photonique bénéficie d'une opportunité inédite, fruit de la convergence de ces deux évolutions : la photonique est probablement la seule technologie permettant de créer ces dispositifs de mesure à la fois légers, peu chers et intelligents pour répondre à des demandes complexes comme l'analyse de l'air, le diagnostic précoce du cancer ou le traitement des pathologies in vivo.

Pour exploiter cette convergence, l'industrie photonique doit savoir se transformer : de fournisseur de composants, elle doit devenir fournisseur de solutions. Mais encore faut-il entendre les souhaits et les besoins des entreprises et des acteurs des secteurs d'applications. Encore faut-il comprendre leur vocabulaire et le traduire en termes photoniques. Et dans l'autre sens, encore faut-il démontrer le potentiel de la photonique en proposant des solutions sûres, abordables et simples d'usage.

En 2014, une étude effectuée pour le Ministère de l'Industrie² avait sélectionné les secteurs d'application français les plus prometteurs, exploitant le marché intérieur et le potentiel technologique de l'industrie française pour inventer des produits compétitifs au niveau mondial : **médical et vivant, environnement, agriculture et industrie agro-alimentaire, éclairage stationnaire, transport et mobilité, usine du futur**. Les deux secteurs "Défense/Sécurité/Espace" et "Grands instruments scientifiques" ont été considérés comme suffisamment forts pour ne pas nécessiter d'action spécifique.



Credit : ISP System

Si le rapprochement avec les secteurs d'application est la première priorité, la création de lien avec les autres filières technologiques est la seconde : tout équipement à cœur photonique - caméra, capteur, laser, spectromètre - ne peut fonctionner sans un environnement support fait de mécanique, d'électronique, de design, d'ergonomie, de traitement du signal, et d'intelligence artificielle. Proposer des solutions photoniques nécessite la synergie avec ces métiers.

Cette feuille de route a pour but d'accélérer ces rapprochements avec les secteurs applicatifs et les autres filières technologiques.

² Sources : DGE "La photonique en France" 2015 / Photonics21, "Market Research Study Photonics 2017".

3.1 NOTRE APPROCHE : MOBILISER LE PLUS GRAND NOMBRE ET IMPLIQUER LES ACTEURS DES MARCHES D'APPLICATION

La méthode d'élaboration de la feuille de route est aussi importante que le résultat. **Elle est la démonstration dans les faits de la volonté des acteurs de la photonique française de travailler ensemble et de construire une vision stratégique partagée avec les marchés applicatifs.**

La feuille de route est ainsi l'occasion de mobiliser un grand nombre d'industriels et acteurs de la photonique, tous volontaires pour contribuer au projet commun. Elle prévoit aussi de fortement impliquer les acteurs des secteurs d'application sous la forme de consultations, d'entretiens et de relectures.

Le second objectif peut paraître surprenant tant il semble relever du bon sens. Mais n'oublions pas que certains secteurs commencent tout juste à entrevoir le potentiel de la photonique pour répondre à leurs besoins. Ces processus sont longs et les échelles de temps se comptent en années. L'industrie agroalimentaire, par exemple, connaît et maîtrise la tôlerie industrielle puisqu'elle l'exploite depuis des décennies. Elle a recruté des ingénieurs capables de discuter avec les fournisseurs de cuves, de spécifier et concevoir de nouveaux produits et de les maintenir. Ce processus est encore très émergent pour la photonique. L'industrie agroalimentaire n'a pas encore recruté de personnels qualifiés pour évaluer et tirer parti des atouts de la photonique.

De même l'industrie photonique découvre les problèmes à résoudre dans les marchés d'application, même si certaines entreprises n'ont pas attendu la feuille de route pour prospecter individuellement et réussir dans les secteurs qu'ils servent.

3.2 NOTRE METHODE

Nous avons adopté la méthode suivante : Des groupes de travail ont été constitués pour avancer selon 6 axes de développement « marché » :

- ▶ Comprendre les marchés d'application français et leurs besoins.
 - Six grands marchés applicatifs ont été sélectionnés suivant des critères :
 - de potentiel de croissance pour la photonique
 - de solidité des filières applicatives au niveau français pour que les technologies développées pour les clients français servent aussi à l'international.
 - Liste des 6 marchés (Annexe I)
 - Médical et vivant
 - Usine du futur
 - Environnement
 - Agriculture et agroalimentaire
 - Éclairage stationnaire
 - Transport et mobilité : aéronautique, ferroviaire, maritime, transports collectifs, automobile
- ▶ Dresser l'inventaire des technologies photoniques françaises d'excellence présentes et futures voir (Annexe 2) : imageurs et vision, lasers, optique et opto-mécanique, nanophotonique et intégration, photonique quantique.
- ▶ Les croiser avec les besoins identifiés des marchés d'application, afin de dégager des actions technologiques prioritaires

- ▶ Élaborer des actions transverses spécifiques vers ces marchés :
 - Communication et promotion de la photonique auprès de tous les publics
 - Emploi et formation
 - Rôle et apports des plateformes techniques comme outil de transfert des technologies photoniques vers les marchés d'application.

Chaque groupe de travail a élaboré sa contribution au cours de l'année 2017 pour fournir une synthèse début 2018. Puis ces éléments ont été mis en commun pour produire cette présente feuille de route comprenant deux documents :

- ▶ La présente synthèse destinée à tous les publics
- ▶ Un rapport détaillé s'adressant plus particulièrement aux acteurs de la photonique et au Pouvoirs Publics et présentant une analyse détaillée de notre vision ainsi qu'une liste de recommandations et d'actions à entreprendre.

3.3 CROISEMENT TECHNOLOGIES/MARCHES

Le tableau ci-dessous est une première tentative de synthèse de croisement technologies/marchés. Il vise à illustrer le caractère transversal et diffusant de la photonique.

Tous les acteurs de la photonique -entreprises, organismes de recherche et institutionnels- sont invités à s'approprier cette feuille de route, à construire des consortiums et à bâtir des alliances avec les acteurs des secteurs d'application pour exploiter l'excellence des savoir-faire français et inventer les produits et marchés de demain.

L'Europe l'a déjà reconnu à travers les démarches de "Key Enabling Technologies". La photonique est essentielle pour maintenir la compétitivité d'un pays dans la course à la high-tech. C'est un enjeu stratégique en termes d'emplois, pas seulement des emplois dans la photonique, mais aussi dans tous les secteurs d'application, autrement dit dans presque tous les secteurs de l'économie et de la vie courante !



Marchés Technologies	Médical et vivant	Environnement	Agri-Agro	Éclairage stationnaire	Transport et mobilité	Usine du futur
<i>Imageurs et vision</i>	Microscopie Endoscopie Diagnostics Réalité augmentée	Surveillance sols et végétation Bioluminescence Surveillance des mers/océans	Contrôle sanitaire Contrôle intrants Tri post-récolte	Détection et comptage de personnes	ADAS (imageurs CMOS et infrarouge)	Contrôle non destructif Contrôle dimensionnel Contrôle d'aspect Scan produits
<i>Lasers</i>	Chirurgie, PDT Endoscopie Imagerie photo-acoustique Ophtalmologie Systèmes d'analyses (cytomètres, séquenceurs, ...)	Lidars (vent, atmosphère, sol ...) Détection/mesure de pollution Détection/mesure de gaz	Phénotypage	Détection et comptage de personnes	Voiture autonome (LIDAR)	Contrôle dimensionnel Logistique (scan) Traitement (soudage, découpe...)
<i>Optique et opto-mécanique</i>	Instruments Dispositifs médicaux Réalité augmentée	Instrumentation d'analyse (gaz, liquides, solides)	Capteurs embarqués	Optique pour l'éclairage Optique "Freeform"	Phares Matrices LEDs, LIDAR MEMS Optique pour l'éclairage	Contrôle industriel pièces optiques (assemblage et alignement)
<i>Nanophotonique et intégration</i>	Biocapteurs OCT	Détection de pathogènes Monitoring Contamination	Microspectromètre	Combinaison capteur/éclairage	Capteurs multifonctions bas coût	

3.4 SYNTHÈSE DES RECOMMANDATIONS MARCHÉS ET TECHNOLOGIQUES

3.4.1 Poursuivre l'analyse des marchés d'applications

Pour chaque marché, nous recommandons de poursuivre l'action entreprise dans le cadre de notre feuille de route et donc de :

- ▶ Compléter l'inventaire et mobiliser les acteurs industriels académiques et institutionnels photoniques concernés et impliqués
- ▶ Effectuer une étude détaillée périodique des besoins technologiques du secteur visé
- ▶ Identifier et nouer des relations à long terme avec les "points d'entrée" ou lieux d'échanges (intégrateurs, centres techniques, clusters et pôles, associations professionnelles, ...) :
 - Où les acteurs du secteur visé expriment leurs besoins au niveau fonctionnel et technique
 - Où les photoniciens peuvent apprendre :
 - Les spécificités du secteur : vocabulaire technique / enjeux économiques et sociaux / capacité d'investissement de la filière, etc...
 - Les spécificités de chaque application visée : besoins fonctionnels et techniques / environnement de fonctionnement des dispositifs / normes / pratiques de production / niveau de formation des utilisateurs / coûts acceptables, etc...
 - Où les photoniciens peuvent faire connaître et promouvoir leurs solutions
 - Où les photoniciens et les acteurs du secteur peuvent ensemble mettre en place des expérimentations de prototypes, des transferts de technologies, des campagnes de tests et des actions de maturation produits
 - Où les photoniciens et/ou les acteurs du secteur peuvent ensemble mettre en place les circuits de distribution commerciale adaptés.

3.4.2 Soutenir et développer nos technologies photoniques d'excellence

Nous présentons ici les recommandations prioritaires exprimées par les groupes de travail. Des recommandations plus détaillées sont disponibles dans la feuille de route détaillée.

Imageurs et vision

- ▶ **Capteurs** : Maintenir l'accès à des moyens de prototypage ou de fabrication petite ou moyenne série mutualisée
- ▶ **Composants spécifiques** : Constituer un réseau d'excellence autour de plateformes communes pour prototyper des imageurs avec des fonctions intégrées
- ▶ **Architectures, Intégration et Traitements** : Constitution d'un groupe de travail et de réflexion permettant de définir ce qui est mutualisable de ce qui est plus sensible et spécifique aux acteurs

Lasers

- ▶ **Fibre spéciale de nouvelle génération** : tirer parti d'une R&D de niveau mondial mais à faible impact commercial pour faire émerger un industriel leader en fibre spéciale de nouvelle génération
- ▶ **Lasers pour médical** : lancer un programme de développement et de compétitivité industrielle pour placer les industriels français au premier plan de ce secteur

- ▶ **Lasers de très forte puissance crête** : devenir leader mondial de sous-systèmes lasers de très forte puissance crête pour applications industrielles en capitalisant sur une compétence de niveau mondial sur les grands lasers scientifiques

Optique et opto-mécanique

- ▶ **Optique freeform** : Soutenir l'initiative en cours à l'IOGS pour faire émerger un centre français de compétences freeform, intégrant les 3 volets conception/modélisation, fabrication, métrologie
- ▶ **Machines de production de haute précision pour l'intégration de fonctions optiques et électroniques** : mise en place d'une plateforme en réseau pour l'industrialisation de la photonique (projet de filière PHOTOMATIQ) pour le développement de machines de packaging, d'intégration optique et d'alignement opto-mécanique

Nanophotonique et intégration

- ▶ **Intégration de matériaux « non-CMOS » sur silicium** : création d'une ligne pilote pour développer les solutions d'intégration sur Silicium en 200/300mm à grande échelle
- ▶ **Intégration de fonctions optiques et électroniques, packaging** : mise en place d'un groupe de travail pour l'industrialisation des nano-composants avec en particulier le développement de machines de packaging et d'intégration (voir opto-mécanique), ...

Photonique quantique

- ▶ **Participer aux actions européennes** : Participer activement à l'action de coordination sur les technologies quantiques lancée par la Commission européenne
- ▶ **Étude de marché** : Conduire une étude de marché spécifique à la photonique quantique
- ▶ **Actions marketing** : Mise en relation des acteurs de la technologie photonique quantique avec les industries applicatives
- ▶ **Création d'un fonds** : Création d'un fond spécifique photonique quantique

4 CONCLUSION

La filière photonique se fédère aujourd'hui sous le nom de Photonics France pour accroître sa visibilité.

L'enjeu est de faire prendre conscience à tous, industriels, étudiants, pouvoirs publics, du potentiel considérable d'innovation, de création d'entreprises et d'emplois, porté par cette technologie qui peut s'appuyer en France sur une recherche au tout meilleur niveau mondial. Cette action s'inscrit au sein d'une Europe qui a déjà reconnu ce potentiel et le soutient.

Photonics France développe son action selon deux axes majeurs :

- ▶ **« Travailler ensemble »**, pour expliciter le potentiel du secteur en termes de croissance, en prospectant ensemble les marchés d'application, pour recruter de nouveaux étudiants en proposant des formations et attirer les talents, pour accélérer le transfert de technologie en augmentant le couplage des plateformes de la photonique avec celles des industries applicatives
- ▶ **« Faire vivre une feuille de route partagée »** qui concrétise le **« travailler ensemble »**. Elle repose sur le croisement des marchés applicatifs avec la technologie photonique afin de déterminer les marchés où la photonique française peut être un discriminant majeur, et de proposer des actions technologiques prioritaires. Une première version de cette feuille de route élaborée avec les représentants des marchés applicatifs est disponible

Le cadre, Photonics France, et la méthode, Feuille de route partagée, sont définis et déjà mis en application. Une dynamique est enclenchée qui permettra à l'industrie photonique française de tirer parti de tous ses atouts.

5 ANNEXE 1 : RAPPROCHER L'INDUSTRIE PHOTONIQUE DE SES MARCHÉS D'APPLICATION

Environnement

Les préoccupations liées aux enjeux environnementaux vont croissantes depuis 20 ans. **Contrairement à d'autres grandes avancées historiques de la science (vaccination, électricité, ...), les problématiques environnementales se révèlent beaucoup plus complexes à aborder car elles se heurtent aux limites de la science qui peine encore à traiter des phénomènes massivement multidisciplinaires, diffus dans l'espace et dans le temps, et où chaque paramètre interagit avec tous les autres.** Le réchauffement climatique ou la raréfaction des abeilles sont des illustrations emblématiques de cette limitation.

La photonique est justement la science de la mesure complexe. C'est elle qui fournit la majorité des technologies qui permettront de clarifier progressivement les débats sur les enjeux environnementaux, tant au niveau des diagnostics et de leur interprétation que du suivi de l'efficacité des solutions mises en œuvre.

Principales thématiques : Mesure avancée des produits complexes - Mesure sans contact - Analyses de grandes surfaces - Analyses chimiques et biologique (métaux, Reach, Perturbateurs endocriniens, pesticides, drogues médicaments, etc.) - Détection poussières et particules - Mesures physiques (profils de vents, CND...) - Caractérisation et tri - Traitement des contaminations sans chimie.

Technologies clés : Imagerie - Lasers - Optique et micro-optique - Analyse spectrale - Biocapteurs - Sources UV (LED), RX, Gamma - Instruments avancés.

Agriculture et industrie agro-alimentaire

L'enjeu pour l'agriculture et l'élevage modernes est d'augmenter la production de nourriture de 70% d'ici 30 ans, pour faire face à l'accroissement de la population mondiale tout en réduisant l'impact sur les écosystèmes et en répondant aux exigences de transparence dans le domaine de la sécurité alimentaire.

En aval de la filière, les agro-industries avec plus de 18 % du chiffre d'affaire industriel en 2014, 16 % de sa valeur ajoutée et près de 500 000 emplois, comptent et pèsent fortement dans l'activité économique du territoire français. Cette industrie transforme 70 % de l'agriculture française et fait vivre de nombreuses exploitations.

Le secteur est confronté aux deux mêmes enjeux. Au niveau sociétal, le consommateur exprime de nouvelles exigences de traçabilité et de sécurité. Au niveau économique, la répartition des revenus sur la chaîne de valeur depuis l'exploitation jusqu'au consommateur fait l'objet de tensions, attisées par des guerres de prix sur les marchés internationaux.

La photonique fournit déjà des outils pour accroître la compétitivité de la filière à tous les niveaux : capteurs de proximité, dans le champ, sur les lignes de productions, dispositifs d'imagerie pour satellites ou pour drones, méthodes de traitement et d'inertage par UV ou rayon X, etc...

Mais chaque production agricole est spécifique, on peut mesurer le taux de sucre dans une pomme mais le taux idéal n'est pas le même pour chaque variété. La diffusion massive de la photonique dans la filière Agro-Agri passe par la mise au point de méthodes rapides et peu chères d'adaptation des dispositifs aux spécificités de chaque niche de production.

Principales thématiques : Mesure de qualité, détection de maladies, analyse des sols, traitement et inertage.

Technologies clés : Sources UV et RX de puissance, spectroscopie, imagerie.

Médical et vivant

Les systèmes de santé modernes sont confrontés à un double défi : le vieillissement des populations (cancers, dégénérescences et démences liées à l'âge) et l'évolution de notre style de vie (diabète, maladies cardiovasculaires, pandémies). **La photonique permet une meilleure prévention, une plus grande précision d'analyse et d'intervention et des analyses en temps réel et personnalisées. Ces innovations amélioreront l'état de santé des populations tout en réduisant ou maîtrisant les coûts.**

Le premier enjeu majeur est la détection rapide et précise des pathologies : détection de bactéries sans culture, détection de cellules cancéreuses uniques, détection de plaques amyloïdes dans le cerveau (Alzheimer), détection et identification de gènes pathologiques...

Le second enjeu est celui du test plus proche du patient, pendant une visite chez le médecin, à domicile et pour faciliter la médecine à distance.

Principales thématiques : Analyse médicale - Imagerie et diagnostic - Ophtalmologie.

Technologies clés : Lasers - optique et micro-optique - analyse spectrale - biocapteurs

Usine du futur

La mondialisation et la pression compétitive imposent aux industriels de produire mieux, plus vite, moins cher, avec moins de matières et de pertes, d'adopter des approches plus agiles et intelligentes, de personnaliser les produits, même en grande série, et de produire les petites et moyennes séries à bas coûts. L'enjeu : accroître la fiabilité des processus de production, améliorer les contrôles sur la chaîne de production, réduire le "time-to-market", faciliter les processus de certification et de qualification.

Mais la responsabilité sociale et environnementale est aussi un enjeu fort. Elle suppose de préserver les ressources, de dépenser moins d'énergie et de respecter les personnes, salariés comme consommateurs, de réduire la pénibilité. La photonique fournit des solutions à tous les niveaux de l'activité industrielle :

- Capteurs et imagerie pour la traçabilité et contrôle qualité, caractérisation des matières premières, des productions et des déchets
- Lasers et sources pour le travail et le façonnage des matériaux, la fabrication additive, stérilisation et inertage sans chimie et la fonctionnalisation des surfaces
- Capteurs et positionneurs pour l'aide à l'assemblage, la robotisation, l'assistance à la production
- Éclairages avancés, éclairages sans chaleur ou pour chauffer
- Aide à la conception, aide à la maintenance, réalité virtuelle.

La photonique française a des atouts à faire valoir sur des marchés émergents, sans être leader sur les marchés industriels comme la photonique allemande ou américaine. Elle manque d'intégrateurs photoniques majeurs. Elle a su proposer des lasers pour créer des acteurs significatifs dans la fabrication additive. Elle dispose aussi d'un savoir-faire en imagerie "non-conventionnelle" issue de la défense et du spatial.

Afin de mieux s'implanter sur les marchés industriels, la photonique française doit faire l'effort de se rapprocher des nombreux groupes français leaders dans les marchés d'application (Renault, PSA, Saint-Gobain Alstom, Schneider, ...) pour mieux comprendre leurs besoins et les inciter à tester de nouvelles solutions. Aujourd'hui, l'extrême personnalisation des productions est une demande émergente forte. Cette tendance rebat les cartes et réduit l'avantage compétitif des bas coûts de la main-d'œuvre. La photonique est particulièrement concernée par cette évolution, en tant qu'industrie mais aussi en tant que fournisseur.

Principales thématiques : traçabilité et contrôle qualité, fabrication additive, contrôle non-destructif, petites et moyennes séries, assemblage de précision, robotique.

Technologies clés : lasers pour la production et le contrôle, sources toutes longueurs d'ondes, technologies de mise en forme et de transport de lumière, imagerie, spectroscopie, technologies de contrôle non destructif, capteurs à base photonique.

Éclairage stationnaire

Apparues dans l'éclairage il y a une dizaine d'années, les LEDs ont rapidement remplacé les technologies existantes notamment grâce à leur efficacité énergétique. Mais les premiers produits ont été conçus comme remplacement des ampoules classiques afin de maintenir la compatibilité avec les systèmes d'éclairage existants. Ils sont aujourd'hui quasiment tous fabriqués en Asie avec un niveau de qualité extrêmement variable et des indications de performances allant de sérieuses à fantaisistes.

Or, avec les LEDs, c'est tout le concept d'éclairage que l'on peut repenser. Couplées à des capteurs, de l'électronique, de moyens de communication et de logiciels, on obtient des éclairages intelligents, capables d'améliorer la santé et le confort des usagers tout en réduisant l'empreinte énergétique de l'éclairage.

Miniatures et intégrables dans les matériaux, les LEDs créent un nouvel espace de liberté et de créativité pour les designers.

Si la France n'est pas à la pointe sur les LEDs proprement dites, elle dispose en revanche d'un tissu industriel de premier plan (Legrand, Schneider, Saint-Gobain, Efflux, Lucibel, industrie du design...) pour intégrer les LEDs à tous les types de marchés : l'industrie, bâtiment, tertiaire, particuliers.

Principales thématiques : L'éclairage au juste besoin - Contrôle des spectres - Capteurs environnementaux - Intégration - Smart Lighting - Durabilité et recyclabilité - LiFi..

Technologies clés : Spectre à façon (couleurs / IRC), spectres asservis - Capteurs intégrables dans le luminaire - Électronique et logiciels embarqués - Optique à façon

Transport et mobilité : aéronautique, ferroviaire, maritime, transports collectifs, automobile

Difficile d'envisager la mobilité comme une seule thématique tant elle est vaste et diversifiée. Nous avons pourtant choisi de rassembler tous ces marchés sous une même étiquette, motivés par le constat d'un changement de perception observable au niveau de la société : la fonction transport devient plus importante que le moyen de transport utilisé.

Ce nouveau paradigme est majeur et révolutionnaire même s'il faudra de nombreuses années pour qu'il soit intégré par tous. La principale conséquence de cette nouvelle perception est que l'on peut aujourd'hui optimiser les solutions de mobilité en fonction de chaque contexte : par exemple conserver le modèle basé sur la voiture individuelle en milieu rural et amplifier le transport collectif ou partagé en milieu urbain dense.

En matière de besoins technologiques liés à la photonique, tous les moyens de transports de notre liste partagent des points communs : éclairages avancés, bus de communications optiques, capteurs pour l'autonomie et la sécurité, éclairage et capteurs pour tableaux de bord et interface, assistance à la maintenance, systèmes de communication entre véhicules et avec les infrastructures (routes, ports, aéroports...). Mais ils affichent aussi des différences notables : volumes de production, coût des matériels, complexité des équipements, durée de vie, réglementations, contraintes et pratiques de sécurité...

L'industrie photonique peut tirer parti de ces différences. Les premières technologies de LIDARs (radars laser), capteurs essentiels pour la conduite autonome des véhicules, sont actuellement intégrées dans les camions alors qu'elles restent trop chères pour le véhicule particulier. Dans un deuxième temps, Les LIDARs seront progressivement optimisés pour une industrie de grand volume comme l'automobile. Enfin, une fois devenus simples et moins chers, ils pourront être réappropriés par l'industrie des camions.

Principales thématiques : éclairages intelligents et intégrés, capteurs pour l'assistance à la conduite et l'autonomie, capteurs pour la sécurité, nouvelles interfaces, communication optique, capteurs pour la surveillance intégrée des matériaux et des structures.

Technologies clés : Lasers, Capteurs photoniques intégrés, LEDs, LIDARs, Fibres optiques et capteurs à fibres.

6 ANNEXE 2 : IDENTIFIER LES TECHNOLOGIES PHOTONIQUES D'EXCELLENCE PRÉSENTES ET EN DEVENIR

Imageurs et vision

Ces dernières décennies, l'imagerie a connu un formidable essor en deux phases. Il y a d'abord eu la numérisation de l'image puis la miniaturisation et la baisse des coûts des caméras, impulsées par leur intégration dans les smartphones. Tous les secteurs en ont profité : le grand public, bien sûr, mais aussi l'industrie, l'automobile, etc...

En parallèle, les secteurs de la défense, de l'espace et de la recherche scientifique ont considérablement étendu les possibilités des caméras : détection de nouveaux domaines spectraux, depuis l'infrarouge lointain jusqu'aux rayons X, très haute résolution, fonctionnalisation des détecteurs (polarisation, microlentilles, mesure du temps de vol, ...).

Le secteur de l'imagerie est aujourd'hui à l'aube d'une troisième phase consistant à rendre accessibles ces nouvelles possibilités des caméras.

Le challenge est double : il s'agit d'abord de produire ces merveilles technologiques à bas coût, pour toutes les bandes spectrales, de l'IR jusqu'aux rayons X. C'est un défi de science productique. Il s'agit aussi d'inventer les architectures pour réduire les flux de données et les outils pour le traitement et l'analyse des milliards de pixels et d'images captées. Ce défi est en même temps hardware, au plus proche du détecteur, et software avec en particulier l'exploitation des nouveaux outils d'intelligence artificielle.

Principales thématiques : traitement d'images, multi et hyperspectral, industrialisation des détecteurs, miniaturisation des caméras, compréhension des besoins applicatifs.

Technologies clés : Analyse et traitement numérique, hybridation, fonctionnalisations des surfaces, microlentilles, nouveaux matériaux de détection, quantum dots.

Lasers

Depuis l'invention du laser il y a un peu plus de 50 ans, une très grande variété de sources laser est apparue, du laser télécom de quelques microns jusqu'au laser Petawatt, grand comme un immeuble. **Disposant d'une recherche reconnue au niveau mondial sur les lasers, la France a su créer des leaders sur des marchés de niche comme les lasers à impulsions courtes. Elle dispose aussi d'un riche tissu de PME actives dans les lasers mais aussi dans les composants qui les constituent. En revanche, elle n'a pas engendré les champions qui occupent les plus gros marchés d'application des lasers continus de forte puissance (CO₂, fibre, diodes...) à usage industriel.**

Cependant, la France maîtrise tous les éléments pour asseoir sa compétitivité sur des segments en forte croissance. Dans le domaine des lasers à fibres, beaucoup utilisés pour la médecine et les sciences de la vie, une meilleure valorisation de la recherche et une politique de soutien volontaire peuvent aider les entreprises à capter les marchés des fibres spéciales de nouvelle génération et à devenir fournisseurs de solution pour les secteurs d'application.

La France est aussi leader dans les lasers et systèmes de très forte puissance crête pour les applications scientifiques. **Un gros effort reste à faire pour tirer parti de ce savoir-faire unique. Ici, deux axes structurants : développer des usages industriels tirant parti de ces nouvelles infrastructures, asseoir les fournisseurs français de composants sur le marché grandissant des lasers de très forte puissance.**

Principales thématiques : applications des lasers à fibres, applications des lasers de très forte puissance, technologies d'assemblage, cristaux et composants optiques, métrologie et caractérisation.

Technologies clés : lasers à fibres, lasers de très forte puissance crête (Petawatt), composants optiques, façonnage de faisceau.

Optique et opto-mécanique³

L'industrie opto-mécanique rassemble des fabricants de composants (ex : micro-positionnement) et des fabricants de sous-ensembles optiques. Son industrie en France est dynamique. Elle est tirée par la micro-électronique, le médical, les télécoms, mais aussi les projets de grands lasers de puissance (Lasers Mégajoule, ELI, ...). **Elle est bien positionnée sur les faibles et moyens volumes à forte valeur ajoutée et son expertise est reconnue sur des segments comme les composants motorisés, le conditionnement optique (propreté, faible dégazage, UHV, ...), l'optique adaptative...**

En revanche, elle souffre du manque de fabricants français de machines-outils capables de développer l'automatisation/robotisation de la production. Il y a pourtant une vraie demande pour des machines de packaging optique, d'assemblage automatique de précision des composants hybride optique/électronique (par exemple : télécoms à bas coût) ou de fabrication additive d'optique de précision (par exemple en optique freeform).

Principales thématiques : automatisation et assemblage de précision, production adaptative, design et production freeform, design optique.

Technologies clés : freeform, positionnement et assemblage de précision, optique adaptative, métrologie et caractérisation de chemins optiques, couches minces.

Nanophotonique et intégration

La nanophotonique (développement de nouveaux composants semi-conducteurs complexes tels les cristaux photoniques, comportement de la lumière dans ces composants aux échelles inférieures à la longueur d'onde) reste encore, pour l'essentiel, du domaine universitaire. **La nanophotonique se développera industriellement si on sait intégrer ces composants pour les rendre utilisables au sein de systèmes plus complexes (capteurs, imageurs, ...).**

Les technologies d'intégration de composants photoniques sont dérivées de celles de la microélectronique sur différentes familles de substrats : silicium, InP, GaAs, GaN, GaSb, InSb, CdZnTe, LiNbO₃, verre, matériaux hétérogènes. Les composants obtenus vont du composant élémentaire (exemple : Laser, LED, Modulateur, bolomètre) au circuit complexe (exemple : Transceiver, Microdisplay, Imageurs, capteur intelligent).

Dans un environnement extrêmement compétitif au niveau mondial, la France dispose d'une recherche de haut niveau et d'industriels leaders dans leur domaine même si l'écosystème industriel a souffert de la crise des télécoms des années 2000, et même si certaines étapes de la chaîne de valeur comme le packaging sont trustées par l'Asie.

La photonique intégrée est composée de marchés de gros volumes et faible marge, comme les transceivers pour centres de données. Mais elle comprend aussi de nombreuses niches de moyennes séries pour lesquelles l'Europe et la France ont de réels atouts sous réserve que l'on investisse pour baisser les coûts de l'intégration, de l'assemblage et du packaging. L'autre piste de progrès réside dans l'intégration de composants hétérogènes, mêlant CMOS/silicium avec d'autres matériaux de type III-V ou II-VI. **C'est donc tout un nouveau savoir-faire productique qui reste à améliorer, voire à inventer, puis à déployer à l'aide de lignes pilotes adaptées.**

Principales thématiques : photonique sur silicium, intégration hétérogène, nouveaux modes de caractérisation, productique des moyennes et petites séries.

Technologies clés : Automatisation, assemblage de précision, instruments pour la caractérisation de Wafer et de composants.

³ Nous avons choisi de garder ici les termes historiques "optique" et "opto-mécanique". Les entreprises du secteur l'utilisent encore largement et aucun terme n'émerge à ce jour pour les remplacer dans ce contexte.

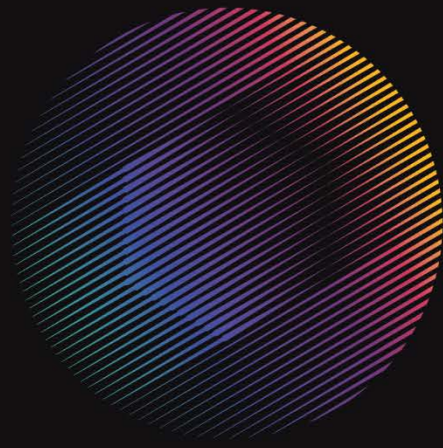
Photonique quantique

L'optique/photonique quantique désigne l'ensemble des sciences et technologies mettant à profit l'utilisation de la nature quantique de la lumière (ou d'autres particules) et de ses interactions avec la matière. **C'est un domaine de recherche en plein essor.** L'Union Européenne a pris conscience de son importance et a publié un document appelé « Quantum Manifesto » qui a servi de point de départ au lancement d'un programme Flagship de recherche sur les technologies quantiques. Par ailleurs, le Royaume-Uni, le Danemark, la Suède, les Pays-Bas, l'Allemagne, le Canada, la Chine et les Etats-Unis ont lancé leurs propres programmes nationaux.

En France nous disposons d'un très fort tissu de laboratoires publics au meilleur niveau mondial (deux prix Nobel) et de plusieurs start-ups proposant des produits basés sur la photonique quantique. Des grands groupes mènent également leur propre activité de recherche dans ce domaine et explorent des applications de communications quantiques et de senseurs quantiques.

Ce secteur est encore au stade exploratoire et un travail prospectif sur ses marchés futurs serait utile pour orienter les recherches, esquisser les besoins des marchés d'applications et inciter les acteurs français à participer activement au Flagship européen.

Cette thématique de fond interroge aussi sur l'utilité de créer un fond spécifique pour la maturation des technologies photoniques quantiques.



Photonics
France

LA FÉDÉRATION
FRANÇAISE DE
LA PHOTONIQUE

FUSION DE L'AFOP ET DU CNOP

Photonics France - www.photonics-france.org

13, rue Moreau - 75012 PARIS

Tél. : + 33 1 53 46 27 09 - Email : contact@photonics-france.org

