

Parole d'Experts



Photonique & Spatial : points de bascule technologiques et stratégiques

Une publication du Hub Optics&Photonics
de Systematic Paris Region

Introduction : Un tournant stratégique pour le spatial européen

Chapitre 1 : Concevoir juste

Métrologie et conception pour des systèmes fiables et précis

Chapitre 2 : Passer à l'échelle

Industrialiser sans perdre la performance

Chapitre 3 : Créer de la valeur

Cas d'usage et modèles économiques de la photonique spatiale

Parole d'Experts



PRÉFACE

Le spatial et la photonique partagent une caractéristique commune : ce sont des technologies où l'excellence scientifique ne suffit plus, et où les choix d'architecture, d'industrialisation et de souveraineté deviennent déterminants. C'est précisément à cette intersection — entre rupture technologique et structuration de filière — que **Systematic Paris Région** a choisi de se positionner.

Ce Parole d'Experts est né d'un constat partagé au sein du **Hub Optics & Photonics** : la photonique est en train de changer de statut dans le spatial. Elle n'est plus seulement un domaine d'expertise spécialisé, mais un point de convergence où se cristallisent des enjeux d'architecture système, de performance, de passage à l'échelle et de maîtrise stratégique. Or ces transformations sont encore trop souvent abordées de manière fragmentée — par briques technologiques, par marchés ou par silos disciplinaires — sans vision transversale réellement partagée.

Les échanges qui ont conduit à ce document ont parfois été techniques, parfois stratégiques, parfois même contradictoires. Ils ont opposé exigences de performance et contraintes d'industrialisation, visions institutionnelles et réalités du New Space, promesses de rupture et impératifs de qualification. C'est de ces tensions, assumées et discutées collectivement, qu'est née l'envie de produire un document de référence : ni manifeste, ni état de l'art académique, mais une parole structurée issue du terrain.

Parole d'experts – Photonique & Spatial n'a pas vocation à figer une doctrine. Il cherche plutôt à rendre lisibles des choix, à expliciter des compromis et à identifier les points où l'action collective — industrielle, technologique ou organisationnelle — peut faire la différence. En choisissant de partager ces travaux aujourd'hui, nous faisons le pari que la mise en commun de l'analyse et de l'expérience est un levier stratégique à part entière.

Si ce document parvient à déplacer certaines lignes, à faire dialoguer des communautés qui se croisent peu, ou à éclairer des décisions encore ouvertes, alors il aura rempli son rôle.

Ce Parole d'experts a été coordonné par des membres du Hub Optics & Photonics, avec les contributions de l'écosystème industriel, académique et institutionnel de Systematic Paris Région.

Julius Lawson (optoPartner)
Samuel Bucourt (Imagine Optic),
Florent Deux (Polytec)

Photonique & Spatial : une convergence stratégique au cœur de la transformation du secteur

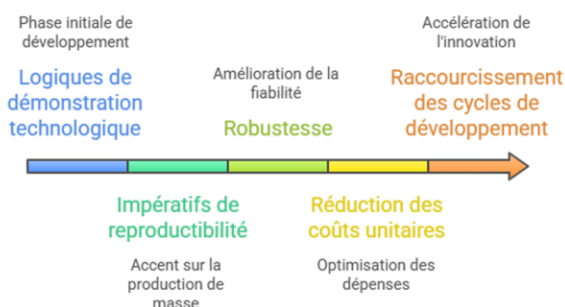
Le secteur spatial connaît, depuis une décennie, une mutation profonde et rapide, à la fois technologique, industrielle et géopolitique. Longtemps structuré autour de grands programmes institutionnels, de cycles de développement longs et de volumes limités, il est aujourd'hui traversé par des dynamiques nouvelles regroupées sous le terme de New Space. Cette transformation ne se limite pas à une évolution des modèles économiques ; elle redéfinit en profondeur les architectures spatiales, les chaînes de valeur, les exigences de performance et les rythmes d'innovation.

L'émergence de constellations de satellites en orbite basse, le développement de nouveaux services aval (télécommunications à très haut débit, observation de la Terre en temps quasi réel, positionnement, synchronisation, surveillance de l'espace), ainsi que le regain d'intérêt pour l'exploration spatiale et lunaire, modifient radicalement les contraintes techniques et industrielles. À cela s'ajoutent des enjeux politiques et de souveraineté majeurs : maîtrise des infrastructures critiques, autonomie stratégique européenne, sécurisation des données, résilience des systèmes face aux menaces hybrides et à la congestion orbitale.

Dans ce contexte, la photonique apparaît non plus comme une technologie de soutien, mais comme un levier structurant de la compétitivité et de la différenciation du spatial de demain.

Un secteur spatial en transformation accélérée

Évolution des priorités dans le secteur spatial



Le passage à des architectures massivement distribuées – constellations de centaines, voire de milliers de satellites – impose un changement d'échelle sans précédent. Les logiques de démonstration technologique cèdent la place à des impératifs de reproductibilité, de robustesse, de réduction des coûts unitaires et de raccourcissement des cycles de développement.

La frontière entre spatial institutionnel et spatial commercial devient de plus en plus poreuse, avec des transferts rapides d'innovations, mais aussi une pression accrue sur la fiabilité et la qualification des technologies.

Parallèlement, les missions d'exploration – retour sur la Lune, ambitions martiennes, observation scientifique de l'Univers – exigent des instruments toujours plus sensibles, plus précis et plus autonomes, capables de fonctionner dans des environnements extrêmes, sur des durées longues, avec des possibilités limitées de maintenance ou de recalibration.

Enfin, le spatial s'inscrit désormais dans une économie globale de la donnée et de la connectivité, où la performance des systèmes ne se mesure plus uniquement à l'échelle d'un satellite, mais à celle d'un système complet, intégrant le segment sol, les réseaux, le traitement embarqué et l'exploitation des données. Cette évolution renforce le besoin de technologies capables d'offrir débits élevés, précision métrologique, faible latence, sobriété énergétique et résilience.

Le spatial à la croisée de la photonique et des technologies de l'information

La combinaison de la photonique et du spatial implique un usage massif des technologies de l'information, par essence et par nécessité. En effet, les technologies spatiales conçues pour étudier l'Univers ou la Terre le font en captant les rayonnements électromagnétiques issus des objets observés, puis en traitant le signal électromagnétique capté pour en extraire l'information d'intérêt. Les instruments photoniques que sont les satellites et observatoires spatiaux sont donc obligatoirement de puissantes unités de traitement du signal.

Réciproquement, tous les satellites sont aussi des émetteurs de rayonnements électromagnétiques car ils comportent une unité de télécommunication : pour communiquer avec leur base ou parce que leur finalité est la télécommunication. Cela implique à nouveau la mise en œuvre de technologies de l'information qui ont pour partie été développées pour répondre aux besoins et contraintes de la conquête spatiale.

Les technologies de l'information devant être mises en œuvre en amont ou en aval du signal électromagnétique sont riches : codes correcteurs d'erreur pour que l'information survive à son altération par le milieu de propagation, algorithmes de compression pour gérer la masse de données des phénomènes optiques, algorithmes avancés de traitement d'images pour les observations spatiales, matériaux optiques (couches minces fonctionnelles) pour la préservation de l'intégrité des équipements embarqués soumis au rayonnement solaire, techniques de synthèse numérique pour l'exploitation de réseaux d'émetteurs ou de récepteurs en imagerie spatiale...

Dans l'espace plus qu'ailleurs, la photonique est en couplage fort avec les technologies de l'information.

Pourquoi la photonique est devenue centrale

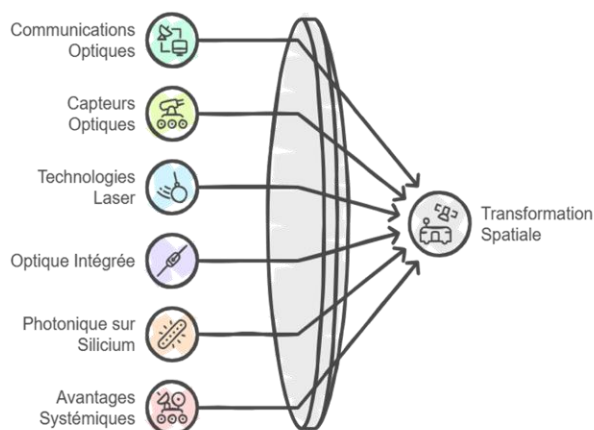
La photonique se situe au cœur de cette transformation. Par nature transversale, elle irrigue l'ensemble des fonctions critiques des systèmes spatiaux : génération, manipulation, transport et détection de l'information, qu'elle soit optique, quantique ou hybride.

Les communications optiques, inter-satellites ou sol-espace, répondent directement à la saturation du spectre radiofréquence et aux besoins croissants en débit sécurisé.

Les capteurs optiques et photoniques repoussent les limites de la résolution spatiale, spectrale et temporelle en observation de la Terre et en astrophysique. Les technologies laser, l'optique intégrée, la photonique sur silicium, les détecteurs avancés et les systèmes de métrologie optique deviennent des briques essentielles pour le positionnement, la navigation, le contrôle d'attitude, la synchronisation temporelle et l'exploration scientifique.

Au-delà des performances intrinsèques, la photonique offre des avantages systémiques majeurs : compacité, faible masse, immunité aux interférences électromagnétiques, potentiel élevé d'intégration et de co-design avec l'électronique et le logiciel. Elle constitue ainsi un facteur clé pour répondre simultanément aux contraintes de performance, de coût, de fiabilité et d'industrialisation.

Photonique au Cœur de l'Innovation Spatiale



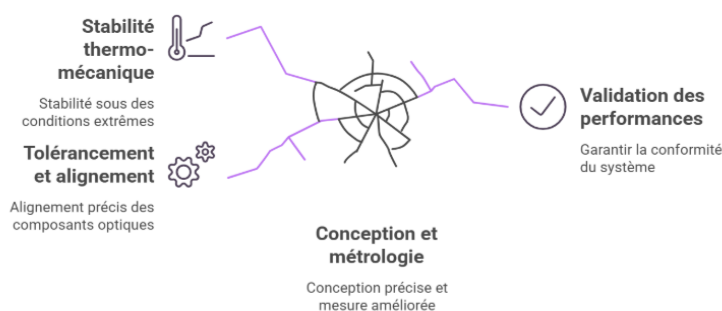
Pour l'écosystème français et européen, la photonique représente également un enjeu stratégique de souveraineté industrielle. La maîtrise de ces technologies conditionne l'autonomie des filières spatiales, la capacité à sécuriser des infrastructures critiques et la compétitivité face à des acteurs extra-européens bénéficiant de fortes capacités d'investissement et d'industrialisation.

Trois problématiques structurantes pour la photonique spatiale

Ce livre blanc s'inscrit dans cette dynamique et vise à analyser, de manière approfondie, les verrous technologiques, industriels et systémiques qui conditionnent le déploiement à grande échelle de la photonique dans le spatial. Il s'articule autour de trois problématiques clés, étroitement liées, qui seront explorées tout au long des chapitres.

Problématique 1 – Concevoir juste : métrologie et conception pour des systèmes fiables et précis

La conception et la métrologie impactent les systèmes photoniques spatiaux



La première problématique porte sur les enjeux de **conception, de modélisation et de métrologie** des systèmes photoniques spatiaux. L'augmentation de la complexité des architectures optiques, l'intégration croissante de fonctions sur des composants compacts et la nécessité d'atteindre des niveaux extrêmes de stabilité et de précision imposent une approche renouvelée du design.

Les questions de tolérancement, d'alignement, de stabilité thermo-mécanique, de vieillissement sous rayonnement et de validation des performances deviennent critiques dès les premières phases de conception. La métrologie optique, qu'elle soit embarquée ou au sol, joue un rôle central pour garantir la conformité des systèmes, sécuriser les phases d'assemblage, d'intégration et de test (AIT), et réduire les risques techniques et calendaires. Cette problématique interroge également les outils numériques, la simulation multi-physique et le *digital twin* comme leviers de maîtrise de la complexité.

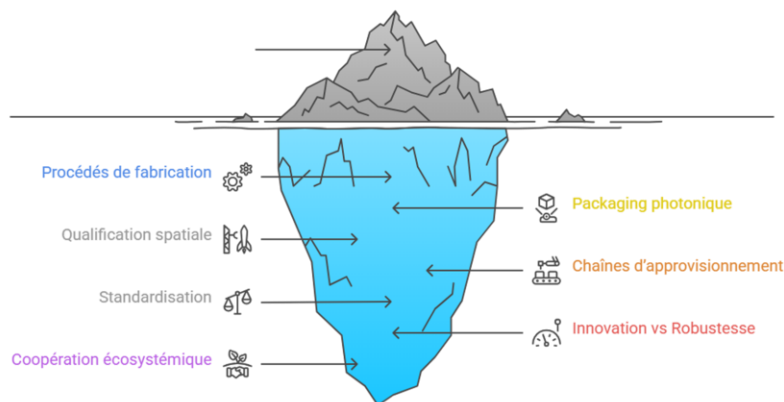
Problématique 2 – Passer à l'échelle : industrialiser sans perdre la performance

La deuxième problématique concerne le **passage de prototypes hautement performants à une production industrielle maîtrisée**, compatible avec les volumes et les cadences du New Space. Comment industrialiser des technologies photoniques historiquement développées pour des missions unitaires ou de faible série ? Comment garantir la répétabilité, la qualité et la fiabilité tout en maîtrisant les coûts ?

Parole d'Experts



Industrialisation de la photonique spatiale : au-delà des prototypes.



Cette problématique couvre les enjeux de procédés de fabrication, de packaging photonique, de qualification spatiale, de chaînes d'approvisionnement et de standardisation. Elle pose également la question de l'articulation entre innovation rapide et exigences de robustesse propres au spatial, ainsi que celle de la coopération entre grands industriels, PME, startups et acteurs académiques au sein d'écosystèmes structurés comme Systematic.

Problématique 3 – Créer de la valeur : cas d'usage et modèles économiques de la photonique spatiale

Maximiser la valeur spatiale grâce à la photonique



Enfin, la troisième problématique vise à **replacer la photonique au cœur des cas d'usage et des modèles de création de valeur du spatial.**

Au-delà de la technologie, quels sont les services rendus possibles ou améliorés par la photonique ? Quels impacts économiques, opérationnels et stratégiques pour les opérateurs, les institutions et les utilisateurs finaux ?

Communications sécurisées, observation haute résolution, navigation de précision, surveillance de l'espace, exploration scientifique, mais aussi synergies avec le quantique, l'IA embarquée et les systèmes cyber-physiques : cette problématique explore les perspectives à moyen et long terme, ainsi que les opportunités de différenciation pour l'écosystème français et européen dans un contexte de compétition internationale accrue.

À travers ces trois axes, ce document ambitionne de proposer une lecture transversale et prospective de la photonique appliquée au spatial, en croisant visions industrielles, retours d'expérience, verrous technologiques et enjeux de politique industrielle. Il s'adresse aux experts de l'optique et de la photonique, mais aussi aux décideurs, aux architectes système et aux acteurs institutionnels souhaitant comprendre les leviers clés pour bâtir le spatial de demain.

Parole d'Experts



Les rédacteurs :



Florent Deux
CEO - Polytec



Julius Lawson Daku
Founder & CEO - optoPartner



Samuel Bucourt
CEO - Imagine Optic

Ce nouveau « Paroles d'Experts » du Hub Optics&Photonics vous a plu ?

Nous vous donnons rendez-vous prochainement pour le **Chapitre 1 : Concevoir juste - Métrologie et conception pour des systèmes fiables et précis.**

Le Hub Optics&Photonics en quelques logos :



Vous souhaitez rejoindre le Hub Optics & Photonics ? N'hésitez pas à contacter Najwa Abdeljalil, Coordinatrice du Hub Optics & Photonics – najwa.abdeljalil@systematic-paris-region.org