



TÉMOIGNAGE D'ENTREPRENEUR

Jean-François Morizur, Cailabs

Cofondateur et directeur général de Cailabs, entreprise spécialisée dans le traitement des formes des lasers pour la transmission d'information.

<https://doi.org/10.1051/photon/202513216>

QUEL A ÉTÉ VOTRE PARCOURS AVANT ET APRÈS VOTRE THÈSE ?

J'ai toujours été intéressé par les sciences. Après le lycée et une classe préparatoire, j'ai intégré l'ENS Ulm par le concours de maths, mais j'avais aussi suivi des cours de physique. À l'ENS, j'ai choisi de me spécialiser en physique quantique, un domaine qui me permettait de travailler à la fois sur la théorie et sur des aspects expérimentaux. Pour la thèse, j'avais envie d'un projet original et j'ai fait une thèse en cotutelle entre la France et l'Australie sur les applications des modes transverses de la lumière pour la construction d'un ordinateur quantique. Dans ce cadre, nous avons fait une découverte intéressante dans la manipulation des formes de la lumière. Cette approche a évolué en un résultat de recherche fondamental, qui n'a pas directement servi à construire un ordinateur quantique, mais a ouvert d'autres perspectives. J'ai soutenu ma thèse en 2011. J'ai par la suite cherché à me remettre en question et à sortir de ma zone de confort. C'est pourquoi j'ai quitté le monde académique pour rejoindre le Boston Consulting Group (BCG), un cabinet de conseil en stratégie. Là, j'ai travaillé sur des projets très différents de la physique : assurance, cosmétiques, pharmacie, grande distribution... Cette expérience m'a permis de me confronter à des défis nouveaux et de développer ma capacité d'adaptation.

COMMENT ÊTES-VOUS REVENU DANS LE MONDE DE LA RECHERCHE ?

J'ai reçu un appel de Nicolas Treps, mon directeur de thèse, début 2012, m'informant que l'entreprise Alcatel-Lucent était intéressée par la technologie que nous avions développée durant ma thèse. C'était une technologie que nous avions brevetée avec lui et Hans Bachor.

J'avais toujours souhaité que cette technologie ne reste pas confinée à un laboratoire, mais qu'elle ait un impact concret sur le monde réel. C'était une motivation forte pour moi. Cela m'a ramené à une réflexion sur l'impact que je voulais avoir. À cette époque, une discussion avec un collègue au BCG a été déterminante : « Tu peux toujours revenir au BCG, mais une opportunité comme celle-là, tu n'en auras pas deux fois dans ta vie ». Il avait totalement raison. J'ai donc quitté le conseil quelques mois plus tard et suis retourné dans le milieu académique pour un post-doctorat d'un an. L'objectif était de travailler sur un prototype pour le secteur des télécommunications, mais aussi de lever des fonds pour lancer l'entreprise. Lorsque l'on travaille sur du hardware, l'investissement est crucial. Je m'étais donné un an pour concrétiser ce projet : si ça ne fonctionnait pas, je repartirais faire autre chose.

COMMENT AVEZ-VOUS CRÉÉ CAILABS ?

Nous avons démarré Cailabs fin 2013 après une levée de fonds. La première livraison du prototype pour Alcatel et un transfert de technologie de l'Université Pierre et Marie Curie ont été des étapes clés. Pendant cette année-là, j'ai aussi rencontré mon cofondateur, Guillaume Labroille, qui est aujourd'hui directeur technique de Cailabs. Nous avons construit ensemble les premiers prototypes et formé l'équipe. Les trois cofondateurs de Cailabs sont donc Nicolas Treps, Guillaume Labroille et moi-même.

AVIEZ-VOUS DÉPOSÉ UN BREVET SUR CETTE TECHNOLOGIE ?

Oui, durant ma thèse, nous avons déposé un brevet. Ensuite, cette culture du brevet est restée au cœur de notre stratégie. Nous avons continué à innover et à déposer de

nouveaux brevets pour renforcer notre portefeuille. Aujourd'hui, nous avons 28 familles de brevets, un chiffre qui évolue régulièrement, car nous continuons à développer de nouvelles idées.

POUVEZ-VOUS DÉCRIRE CETTE TECHNOLOGIE ?

L'idée centrale derrière notre technologie est de manipuler les modes transverses de la lumière. Pour simplifier, si l'on prend un faisceau laser, on peut toujours le projeter sur une base de modes transverses. Ces modes peuvent être de différents types, comme les modes d'Hermite-Gauss, les modes de Laguerre-Gauss, ou d'autres. L'objectif ici est de savoir s'il existe une classe d'objets optiques qui puisse appliquer n'importe quelle transformation unitaire sur ces modes. Si c'est le cas, cela permettrait de réaliser des états quantiques, comme des états de clusters, qui sont essentiels pour certaines applications de l'optique quantique. Ce qui est intéressant, c'est que dans ce cas nous ne partons pas de la lumière « classique », mais de la lumière squeezée, qui est générée à partir d'un oscillateur paramétrique optique (OPO). Cette lumière possède des propriétés quantiques, comme l'intrication entre les modes. Cela permet d'explorer des états de lumière plus complexes. L'idée est donc de trouver un moyen de manipuler cette lumière, de transformer une base de modes en une autre base de manière unitaire, en préservant les propriétés quantiques. Cela revient à poser une question fondamentale : est-ce qu'il existe un objet optique capable de réaliser cette transformation pour n'importe quelle base de modes ? Un premier résultat a été de démontrer que oui, en théorie il est possible de créer n'importe quelle transformation entre deux bases de modes

transverses, mais cela peut nécessiter une séquence infinie de surfaces optiques, ce qui est peu réaliste. Le brevet que nous avons déposé concerne justement une méthode pour rendre ce processus plus efficace. Au lieu de devoir utiliser un nombre infini de surfaces optiques, nous avons trouvé un moyen de limiter le nombre de surfaces nécessaires à un nombre fini, comme 5, 10, 15 ou plus, tout en conservant la possibilité de manipuler n'importe quelle base de modes.

ET COMMENT CELA SE TRADUIT-IL CONCRÈTEMENT DANS LA CONCEPTION DE COMPOSANTS ?

Au départ, nous avons envisagé des solutions classiques, comme des modulateurs de phase spatiale ou des miroirs déformés pour créer ces surfaces de phase. Cependant, pour en faire des produits commercialisables, il fallait des solutions beaucoup plus compactes et robustes. Notre travail chez Cailabs a consisté à passer de concepts théoriques à des produits concrets, en réduisant la taille et en augmentant la durabilité des dispositifs. Cela a été un processus long et complexe. Par exemple, au début, nous utilisions des transformées de Fourier pour gérer la propagation entre les surfaces de phase. Nous avons ensuite compris que ce n'était pas indispensable, et qu'une propagation suffisait à obtenir les résultats désirés. Une des transformations les plus demandées dans nos produits est le démultiplexage spatial. Cela consiste à séparer différents modes spatiaux d'un faisceau unique, comme les modes Hermite-Gauss ou Laguerre-Gauss, et à les diriger vers des fibres différentes. C'est une conversion entre différentes bases de modes, et cette opération est cruciale pour de nombreuses applications dans les télécommunications.

JUSQU'À COMBIEN DE MODES POUVEZ-VOUS DÉMULTIPLEXER ?

Nous avons déjà fait des démonstrations avec un nombre impressionnant de modes. Mais les produits que nous déployons actuellement gèrent typiquement 45 modes. Ce chiffre est lié à la capacité des fibres optiques standards, comme les fibres OM2, à transporter efficacement ces modes. Bien sûr, il existe d'autres modes qui peuvent passer, mais ils sont souvent moins utiles car ils sont fortement atténués.

COMMENT S'EST DÉVELOPPÉE L'ENTREPRISE ?

L'entreprise a continué de croître, et à partir de 2017-2018, l'accent a été mis sur les communications optiques dans l'atmosphère, en particulier les communications par satellite laser. Le démultiplexage spatial est très utile ici, car lorsqu'un faisceau lumineux traverse une atmosphère turbulente, cette technique permet de séparer et de projeter la lumière sur une base spécifique. Ensuite, une fois que nous avons cette projection, nous pouvons corriger les déformations, recombinaison les faisceaux et revenir à un mode fondamental, même si le faisceau initial était déformé par l'atmosphère.

COMMENT CETTE NOUVELLE ACTIVITÉ A-T-ELLE ÉMERGÉ AU SEIN DE CAILABS ?

Cela a commencé avec des clients qui, en 2017, nous ont suggéré que notre technologie pourrait être très bénéfique pour les communications laser par satellite. Nous étions déjà bien engagés dans le secteur des télécoms, où nous avions réalisé des records du monde de débit sur fibre optique, mais ces clients ont vu un potentiel pertinent pour notre technologie dans le domaine spatial. Au début, on était un peu sceptiques, on se disait : "On va tester, vérifier s'il y a un vrai intérêt", un peu comme « tirer sur une pelote de fil » pour voir où ça nous mène. Et au fur et à mesure, on a constaté que ce fil nous permettait de nous engager dans une voie prometteuse. On a alors intensifié nos efforts. Cela s'est avéré être une belle opportunité. Le marché des communications laser par satellite est en pleine croissance, et ce que nous apportons est vraiment unique. Il y a très peu d'entreprises qui peuvent offrir des solutions comme les nôtres.

COMMENT VOUS ÊTES-VOUS ADAPTÉ À CE NOUVEAU MARCHÉ ?

Nous avons dû faire évoluer l'entreprise, chercher des financements supplémentaires, et à chaque étape, nous avons validé nos choix en les confrontant au marché. Est-ce le bon moment pour cette technologie ? Est-ce que le marché en a vraiment besoin ? Trop tôt, c'est risqué, trop tard, ça peut aussi être un problème. Cela a donc été un processus très réfléchi, en avançant étape par étape et en testant la réaction du marché. La dernière levée de fonds de 30 millions en 2022 était entièrement centrée sur le spatial, notamment pour la communication optique par satellite.

QUELLES COMPÉTENCES AVEZ-VOUS CHOISI DE DÉVELOPPER EN INTERNE ?

L'un des choix stratégiques que nous avons faits très tôt, en 2016-2017, c'était d'internaliser certaines compétences, notamment pour fabriquer notre propre surface de phase. Ce fut un pari audacieux, à la fois financier et technique, mais il a porté ses fruits. En parallèle, nous avons continué à travailler avec des partenaires pour d'autres aspects, notamment les circuits photoniques, la mécanique, et l'électronique. Mais il est essentiel d'avoir des compétences internes pour bien maîtriser la conception des produits. Pour être un bon acheteur de composants, il faut comprendre en profondeur ce que l'on demande et ce que l'on peut obtenir. C'est ce que nous avons appris au fil du temps : certains aspects de la production doivent être internalisés, sinon on prend le risque de perdre en qualité ou de mal cadrer les besoins.

En 2021, nous avons franchi un cap important avec la décision de ne pas simplement fournir les composants de démultiplexage, mais de créer une station complète. Au début, en 2020, nous avions un contrat pour fabriquer un prototype de station, mais notre vision a évolué. En discutant avec nos clients, nous avons compris que la construction de la station entière était un véritable différenciateur.

QUELLE PART REPRÉSENTE L'ACTIVITÉ RÉCENTE SUR LES TÉLÉCOMMUNICATIONS SPATIALES DANS VOTRE CHIFFRE D'AFFAIRES ?

Aujourd'hui, la communication optique par satellite représente environ 80 % de notre chiffre d'affaires. Cette activité est donc dominante et devrait continuer à croître, notamment d'ici 2025. C'est un secteur extrêmement prometteur et en forte expansion, et nous en sommes très satisfaits. Bien que notre première vente ait eu lieu en France, en 2020, les ventes suivantes ont été très internationales. En fait, le marché français représente une part assez modeste de notre activité dans le secteur spatial. L'Europe en général, et la France en particulier, ont tendance à privilégier les solutions radio, tandis que d'autres pays, comme les États-Unis, ont une approche plus ouverte à la communication optique. Cela se reflète aussi dans les choix stratégiques que font les différents pays en matière de technologies spatiales.

QUELS SONT LES AVANTAGES DE L'OPTIQUE PAR RAPPORT AUX ONDES RADIOS POUR LES COMMUNICATIONS EN ESPACE LIBRE ?

Tout d'abord, les débits sont bien plus importants grâce à une capacité spectrale nettement plus grande, comparable à celle d'une fibre optique. En optique, il n'y a pas de question de gestion du spectre, contrairement aux communications radio, où l'utilisation du spectre est limitée et soumise à des licences. L'optique offre également un grand avantage en matière de sécurité. Les faisceaux lumineux sont beaucoup plus difficiles à intercepter ou à détecter que les signaux radio, qui peuvent être captés sur de grandes distances. En outre, l'optique est bien plus difficile à brouiller. Alors que la radio peut être facilement perturbée avec des brouilleurs efficaces, brouiller un faisceau optique est une tâche bien plus complexe. Cela rend l'optique particulièrement intéressante dans des applications militaires, par exemple, où la confidentialité et la sécurité sont essentielles.

OÙ SONT SITUÉS VOS LOCAUX ET COMBIEN DE PERSONNES Y TRAVAILLENT ?

Nous avons choisi de nous installer à Rennes et ce, pour plusieurs raisons, notamment pour son dynamisme en matière d'innovation et son écosystème technologique. C'est un endroit stratégique, proche des centres de recherche, avec une forte concentration d'expertise en optique et en photonique. Actuellement, l'entreprise compte 135 employés. Nous avons des bureaux à Rennes, à Paris et à Washington. Nous prévoyons de continuer à croître cette année, avec une trentaine de nouveaux recrutements. La majorité de nos embauches se fait en France, à Rennes et à Paris, mais nous recrutons également aux États-Unis pour soutenir notre expansion internationale.

QUELS SONT LES DIFFÉRENTS MARCHÉS QUE VOUS ADRESSEZ ?

Le marché spatial représente 80 % de notre activité, et il est souvent lié à des enjeux de souveraineté. De nombreuses missions dans le spatial, notamment celles qui concernent la communication optique, sont liées à des projets à caractère souverain, qu'ils soient militaires ou civils. En fonction des clients et des régions, la dimension souveraine peut être plus ou moins marquée.

Dans des pays comme la Grèce, l'Australie ou la Suède, les projets sont plutôt civils, mais même dans ces cas, il y a souvent une dimension souveraine en arrière-plan, avec des clients potentiellement gouvernementaux ou militaires. Aux États-Unis, bien que nous travaillions avec des entreprises privées, les clients finaux sont généralement des agences gouvernementales américaines. Ce mélange entre secteur privé et gouvernemental est une caractéristique importante de notre secteur.

La communication optique, avec ses avantages en termes de sécurité et de résilience face aux interceptions et aux brouillages, est particulièrement attrayante dans des contextes de souveraineté et de défense. La difficulté à détecter ou à intercepter les signaux optiques en fait un atout stratégique majeur, ce qui explique pourquoi beaucoup de clients dans ce domaine viennent de secteurs sensibles, où la protection des communications est essentielle.

LA DISTRIBUTION DE CLÉS QUANTIQUES SERAIT-ELLE COMPATIBLE AVEC LES TECHNOLOGIES QUE VOUS DÉVELOPPEZ ?

Effectivement, nous sommes déjà positionnés sur des systèmes où l'on nous demande de recevoir des clés quantiques. Cela fait partie des prérequis pour certaines de nos stations. Cependant, en ce qui concerne le marché de la distribution de clés quantiques, je trouve que ce domaine est encore beaucoup moins mûr que la communication optique. C'est un point qui est parfois mal compris dans la communauté. En Europe, il y a beaucoup de soutien et de subventions pour la R&D en quantique, mais, à mon sens, les cas d'usage opérationnels ne sont pas encore suffisamment développés pour justifier un passage à l'échelle industrielle.

Les briques technologiques sont très récentes et les plus avancées, par exemple, le système Eagle-1, qui est encore en phase de stabilisation dans certains terminaux, reste jeune et expérimental. Il y a une différence de maturité claire avec la communication optique, qui, elle, est déjà largement industrialisée. Aujourd'hui, par exemple, il y a plus de 9000 terminaux laser dans les satellites de Starlink, et ces communications inter-satellites sont déjà réalisées à l'échelle

industrielle. La communication optique entre satellites et entre satellites et le sol commence également à se déployer.

Le marché du quantique est très prometteur, mais il y a un cap technologique majeur à franchir avant qu'il n'atteigne un niveau de maturité comparable à celui de la communication optique. C'est un peu la vision que j'ai, et je pense qu'il ne faut pas confondre les deux. À l'échelle européenne, certains semblent vouloir traiter les deux technologies comme étant au même niveau de développement, mais ce n'est pas le cas.

AVEZ-VOUS UNE FEUILLE DE ROUTE POUR LES PROCHAINES ANNÉES ?

Notre priorité pour les prochaines années sera de continuer à développer et à améliorer nos stations de communication optique. Elles ne resteront pas statiques, loin de là. Le principal axe de développement sera d'augmenter les débits pour répondre aux demandes croissantes, notamment dans le secteur des télécommunications. Nous avons des exigences qui vont au-delà de ce que nous faisons aujourd'hui, avec des débits qui peuvent atteindre les 100 Gbps, voire plus, ce qui n'est pas anodin.

Nous voulons également pouvoir connecter nos stations à des satellites en orbite moyenne et géostationnaire, en plus de l'orbite basse. Cela implique de concevoir des stations plus polyvalentes, qui puissent être rapidement déployées, voire transportées. Nous n'en sommes peut-être pas encore au stade des stations sur roulettes, mais l'objectif est de rendre nos stations plus mobiles et faciles à installer.

L'amélioration continue sera au cœur de notre approche. Nous allons perfectionner nos montures, nos télescopes, et nos systèmes mécaniques et électroniques. L'itération est la clé de notre réussite, et le fait de tester nos produits dans des conditions réelles sur des satellites ou avec des constellations nous permet d'identifier rapidement les problèmes et de les corriger. Cela nous permet d'améliorer constamment nos technologies, génération après génération. Nous restons une entreprise d'expérimentation, et c'est cette capacité à tester et à itérer qui nous permet de rester à la pointe. Nous continuerons à nous améliorer en fonction des retours terrain, ce qui est essentiel pour évoluer rapidement et efficacement. ●