



## Entretien avec Antoine Godard

**Directeur scientifique du domaine physique de l'ONERA, Directeur de recherche spécialiste d'optique non linéaire, Président de la SFO.**

<https://doi.org/10.1051/photon/202613616>

### POUVEZ-VOUS REVENIR SUR VOTRE PARCOURS ET SUR CE QUI VOUS A ORIENTÉ VERS LES SCIENCES ?

J'ai grandi en Normandie, à Caen, dans un environnement où la science occupait une place importante. Très tôt, j'ai été attiré par les mathématiques, la physique, mais aussi la biologie : j'aurais pu me passionner pour chacun de ces domaines. J'ai ainsi suivi une terminale scientifique et une classe préparatoire au lycée Malherbe, à Caen.

### QU'EST-CE QUI VOUS A CONDUIT À CHOISIR SUPOPTIQUE ?

Je voulais intégrer une école orientée "physique" et clairement spécialisée ; les écoles généralistes m'attiraient moins. Après les concours, j'ai choisi SupOptique parce que cette école permettait d'approfondir une discipline, avec une ouverture vers la recherche ou, à défaut, vers une ingénierie de pointe. J'étais également admis dans des écoles généralistes, mais j'ai fait le choix assumé d'une école spécialisée. Et je ne l'ai jamais regretté : dès mon arrivée, j'ai tout de suite adoré l'optique.

Comment s'est déroulée votre formation ? La promotion dans laquelle je suis entré était la première à proposer la formation par l'apprentissage. J'ai choisi cette voie parce qu'elle correspondait à mon envie d'être au contact d'un environnement de recherche et de développement. J'ai passé plusieurs entretiens à l'issue desquels j'ai choisi d'effectuer mon apprentissage à l'ONERA. J'y ai travaillé sur les oscillateurs paramétriques optiques (OPO) et l'optique non linéaire. Cette expérience m'a passionné et m'a permis de cosigner une première publication scientifique. Le projet a duré bien plus longtemps qu'un stage de master : c'était une immersion

longue, avec un vrai temps de maturation. À l'issue de cette expérience, j'aurais pu rester pour une thèse à l'ONERA, mais mes encadrants m'ont conseillé de diversifier mon parcours en faisant ma thèse ailleurs, quitte à revenir ensuite. C'est ce que j'ai fait. Entre-temps, il y avait encore le service national : je l'ai effectué à Saclay, sur la séparation isotopique de l'uranium par laser, un autre sujet très stimulant d'interaction laser-matière.

### OÙ AVEZ-VOUS EFFECTUÉ VOTRE THÈSE ET QUEL ÉTAIT LE SUJET ?

J'ai réalisé une thèse CIFRE à l'Institut d'Optique, avec la société Photonetics, bien connue dans l'écosystème de la SFO. À l'époque, cette société commercialisait les lasers Tunicas qui étaient assez uniques : il s'agissait de diodes laser à cavité étendue contenant un réseau de diffraction, et permettant d'obtenir une accordabilité continue sur un large spectre. Ils servaient notamment à tester les composants et les réseaux de télécommunication : c'était un produit phare, très connu dans le domaine. Sur le plan académique, j'étais au laboratoire Charles Fabry, dans une équipe spécialisée dans les matériaux photoréfractifs. Mon directeur de thèse était Gilles Pauliat, au sein d'un groupe dirigé à l'époque par Gérard Roosen. L'idée des filtres adaptatifs dans les cavités laser a vraiment dynamisé l'équipe : plusieurs thèses ont été lancées autour de ce thème, qui était alors un sujet « chaud ».

### QUEL ÉTAIT LE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE CE LASER ACCORDABLE ?

L'idée est d'introduire dans la cavité laser un cristal photoréfractif : l'onde

stationnaire inscrit un réseau d'indice, un réseau de Bragg en volume, qui "auto-affine" le laser par interférences à l'intérieur de la cavité. On obtient ainsi un filtre auto-adaptatif qui favorise le fonctionnement monomode.

Dans un laser simple, entre deux miroirs, l'ajout de ce filtre permet effectivement d'obtenir un laser monomode, mais sans choisir précisément la fréquence : le système se stabilise sur un mode qui "veut bien" fonctionner. Dans ma thèse, l'enjeu était d'augmenter le régime d'accordabilité de lasers qui possédaient déjà un réseau de diffraction en configuration Littmann : on ajoutait le cristal photoréfractif pour auto-stabiliser l'émission tout en conservant l'accordabilité.

### QUELS ONT ÉTÉ LES PRINCIPAUX RÉSULTATS OBTENUS ?

Pour moi, la contribution scientifique la plus forte porte sur le couplage entre modes dans un semi-conducteur. C'est un problème particulièrement riche, car on met en jeu des électrons, des trous, des porteurs de charge : le milieu est dynamique. Lorsqu'on couple des modes, on induit des oscillations dans les populations d'électrons et de trous ; ces modulations, à leur tour, recouplent les modes *via* un mélange à quatre ondes, stimulé par un milieu à gain actif. Il y a donc une résonance avec le milieu lui-même. Ce n'est pas comparable à un mélange à quatre ondes dans une fibre ou un cristal non linéaire hors résonance, où le matériau n'a pas cette dynamique interne : ici, les porteurs se chauffent, se refroidissent, s'écartent de la distribution de Fermi, etc. C'est une physique très riche et passionnante.

## AVIEZ-VOUS DÈS LE DÉPART L'IDÉE DE VOUS ORIENTER VERS LA RECHERCHE ?

Quand j'ai commencé l'apprentissage, je ne visais pas forcément une thèse : je voulais devenir ingénieur et faire de la R&D. Mais en entrant dans ce milieu, en côtoyant des doctorants, je me suis dit assez vite que je souhaitais faire une thèse. Comme l'apprentissage s'était très bien passé, j'avais conservé des contacts à l'ONERA, et il a été décidé avant ma soutenance que je retournerais ensuite à l'ONERA, dans l'équipe où j'avais fait mon apprentissage.

## COMMENT SE SONT DÉROULÉES VOS PREMIÈRES ANNÉES À L'ONERA ?

J'ai d'abord effectué un post-doc de onze mois, le temps qu'un poste pérenne se libère. J'ai ensuite intégré l'ONERA en 2004 comme ingénieur-chercheur. L'ONERA a une spécificité : il n'y a pas deux corps distincts, "chercheurs" d'un côté et "ingénieurs d'appui" de l'autre. Ce sont les mêmes personnes, avec des sensibilités différentes, mais on fait à la fois de l'ingénierie et de la recherche. Pendant plusieurs années, j'ai mené les deux : publications, développement d'OPO, nouvelles architectures de cavités, modèles... L'objectif était de construire des dispositifs pour des applications avec notamment la détection de gaz à distance, donc des sources infrarouges accordables très spécifiques, tout en maintenant une compréhension fine des mécanismes physiques en optique non linéaire. Cela s'est traduit par des travaux de modélisation en parallèle de travaux plus applicatifs.

## DANS QUEL DÉPARTEMENT ÉTIEZ-VOUS RATTACHÉ À L'ONERA ?

À mon arrivée, j'ai été accueilli et encadré par Michel Lefebvre, spécialiste des OPO, qui a ensuite terminé sa carrière à la Direction scientifique générale de l'ONERA. Peu avant mon retour, Emmanuel Rosencher (venu de Thales) avait rejoint l'ONERA et pris la responsabilité de l'équipe : il a fortement dynamisé l'activité avec le développement de plusieurs axes de recherche. Mon retour a permis de renforcer cette dynamique qui reposait principalement sur des doctorants mais

avec très peu de personnels permanents sur le thème des OPO et de leurs applications ; Puis l'équipe a grandi avec l'arrivée de plusieurs autres permanents au fil des années.

Michel Lefebvre a ensuite pris des responsabilités et est devenu directeur de département. L'ONERA est organisé en sept départements ; le DOTA (Département d'Optique Théorique et Appliquée) est bien connu des opticiens. Pour ma part, je n'étais pas au DOTA : j'étais dans un département devenu aujourd'hui DPHY, anciennement "Département de Mesures Physiques", et désormais "Physique, Instrumentation, Environnement, Espace". Historiquement, l'équipe OPO y était rattachée, notamment en raison de ses activités en diagnostics optiques non linéaires appliqués aux jets réactifs (installations de combustion pour l'aéronautique et le spatial) et non réactifs (souffleries). C'est dans ce cadre que j'ai construit l'essentiel de ma carrière scientifique.

## QUELS MATÉRIAUX NON LINÉAIRES AVEZ-VOUS ÉTUDIÉS AU FIL DE VOS TRAVAUX ?

Un axe de recherche important a porté sur les semi-conducteurs III-V, qui sont transparents jusque dans l'infrarouge lointain et fortement non linéaires mais optiquement isotropes et donc plus complexes pour réaliser l'accord de phase. Nous avons notamment exploré des approches comme des interactions "en zigzag" dans le matériau, afin de réaliser un quasi-accord de phase dit de Fresnel *via* l'exploitation des déphasages associés à la réflexion totale interne. Mais, à l'échelle de la communauté, la technique qui s'est imposée est le retournement périodique de domaines, par exemple dans le niobate de lithium : on applique un champ haute tension périodique pour inverser les domaines ferroélectriques, et chaque inversion induit un déphasage de  $\pi$  qui compense le désaccord de phase et maintient l'interaction constructive. Dans les semi-conducteurs, ce retournement de domaines n'est pas réalisable par l'application d'un champ électrique ; en revanche, des collègues ont réussi à faire croître par épitaxie des matériaux

périodiquement orientés (par exemple du GaAs orienté périodiquement, ou des structures "orientation-patterned"). Nous avons ensuite collaboré très activement avec Thales et Teem Photonics sur plusieurs projets OPO émettant dans l'infrarouge moyen utilisant leurs matériaux : c'est un succès et, à mes yeux, une véritable excellence française.

## QUELS ONT ÉTÉ LES PRINCIPAUX DOMAINES APPLICATIFS ?

Les sources OPO étant devenues très performantes, nous les avons intégrées dans des instruments LIDAR. Aujourd'hui, on sait faire des systèmes embarqués, notamment sur avion, pour des mesures aéroportées : c'est typiquement le cœur du métier de l'ONERA.

Nous avons aussi eu une parenthèse plus fondamentale sur les statistiques de photons. En exploitant l'absorption à deux photons dans un semi-conducteur, nous avons pu mesurer les fluctuations statistiques que l'on appelle le "photon bunching". Une source incohérente (par exemple un corps noir) n'émet pas de manière constante : elle émet de façon chaotique, par bouffées. Le phénomène était connu théoriquement depuis longtemps, mais il n'avait jamais été mesuré sur un vrai corps noir car l'échelle de temps pertinente est de l'ordre de quelques femtosecondes. Grâce à un montage interférométrique, nous avons pu le mettre en évidence expérimentalement pour la première fois. Cela illustre bien l'approche ONERA : une recherche finalisée, mais qui laisse aussi la place à l'étude fine des phénomènes, à leur compréhension, et à leur exploitation.

## COMMENT VOUS ÉTES-VOUS PROGRESSIVEMENT IMPLIQUÉ DANS DES FONCTIONS D'ANIMATION SCIENTIFIQUE ?

Au fil des années, j'ai été amené à prendre davantage de responsabilités d'animation pour structurer l'activité scientifique, coordonner, impulser. En 2016-2017, j'ai ainsi pris la fonction d'adjoint scientifique au sein du département DPHY. Dans chaque département, le directeur porte une responsabilité hiérarchique et de management lourde (personnel, plan de charge, ●●●

contrats, etc.) et s'appuie sur un conseiller scientifique : l'adjoint scientifique.

DPHY regroupe des thématiques très diverses : au-delà de l'optique non linéaire, il y a des activités MEMS pour la mesure inertielle, des capteurs et accéléromètres spatiaux par mesure électrostatique, des équipes sur les atomes froids, les plasmas... et, à Toulouse, des équipes qui modélisent l'environnement spatial et ses effets sur les matériaux et l'électronique. J'ai donc dû animer scientifiquement l'ensemble, en m'appuyant bien sûr sur des relais, chaque thématique ayant ses responsables. Dans les faits, cela représentait environ 50% de recherche et 50% d'animation : évaluations, discussions stratégiques, propositions de thèses, projets internes... bref, l'animation scientifique d'un département. Et cette fonction m'a aussi conduit à m'impliquer dans des instances et à représenter l'ONERA dans le champ de la physique. Après 4 à 5 ans, en 2022, j'ai eu l'opportunité de devenir directeur scientifique du domaine physique. Le poste s'est libéré lorsque Riad Haïdar, qui l'occupait auparavant, est devenu directeur scientifique général. J'ai candidaté, et j'ai été retenu.

### QUEL EST LE RÔLE DE LA DIRECTION SCIENTIFIQUE ?

La direction scientifique n'est pas une structure hiérarchique. Le management relève de la direction technique générale, à laquelle sont rattachés les directeurs de départements. La direction scientifique a un rôle d'orientation de la politique scientifique à long terme de l'ONERA et d'arbitrage de la recherche interne. Nous disposons de fonds propres, ainsi que de moyens issus de projets collaboratifs. Nous définissons le plan stratégique scientifique, c'est-à-dire les grandes orientations de recherche que l'ONERA se fixe à moyen-long terme, et nous pilotons les partenariats de recherche structurants. Et au quotidien, nous arbitrons les projets internes : ce qui est financé, ce qui ne l'est pas, les sollicitations reçues, mais aussi celles que nous stimulons. C'est également vrai pour les thèses : nous intervenons sur les choix et les orientations. Enfin, la direction scientifique coordonne la filière recherche, qui reconnaît l'implication scientifique au travers de grades (chargé de recherche, directeur de recherche).

### VOUS AVEZ ÉTÉ FORTEMENT IMPLIQUÉ DANS L'UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY

J'ai en effet participé à diverses instances. J'animais le pôle optique du département PhOM (Physique des Ondes et de la Matière) et j'ai été l'un des cinq préfigurateurs de l'Institut des Sciences de la Lumière. Avec Jean-Jacques Greffet, Laurent Vivien, François Treussart et Jean-Pierre Hermier, nous avons posé les bases de cette structure transversale destinée à fédérer la photonique sur le campus.

### QUELLES ACTIONS MAJEURES ONT ÉTÉ MISES EN PLACE PAR CET INSTITUT ?

L'une des plus importantes est le programme cofund Light in Paris, obtenu après un travail considérable piloté par Jean-Jacques Greffet puis repris par Patrick Georges. Il soutient aujourd'hui des projets interdisciplinaires autour des sciences de la lumière.

### VOUS AVEZ ÉTÉ TRÈS IMPLIQUÉ DANS LA SFO. D'OÙ VIENT CET ENGAGEMENT ?

J'ai toujours aimé le travail collectif et je suis membre de la SFO quasiment sans interruption depuis ma thèse. Mes collaborations, notamment avec Benoît Boulanger et des collègues de l'ONERA, m'ont naturellement conduit à m'investir dans la communauté et à participer au réseau CNRS CMDO+ et au club JNCO de la SFO.

### COMMENT ÊTES-VOUS ARRIVÉ À LA PRÉSIDENTIE ?

En discutant avec Benoît puis avec Ariel Levenson, la possibilité de rejoindre la présidence s'est posée, l'un des trois postes revenant à un représentant d'un grand organisme de recherche. J'ai immédiatement accepté. Lorsqu'on en fait partie, on réalise à quel point la SFO est dynamique : ce n'est pas seulement un congrès ou une revue, mais une multitude d'actions au service de la communauté.

### COMMENT S'EST DÉROULÉE VOTRE PREMIÈRE ANNÉE DANS CE RÔLE ?

La première année est une année de transition. J'ai été associé aux réunions du bureau et j'ai travaillé en étroite collaboration avec

Ariel et François. Il existe des points réguliers entre les trois présidents, ce qui m'a permis d'apprendre les dossiers et de comprendre le fonctionnement global. C'était une période de formation et de prise en main progressive.

### QUELS ONT ÉTÉ LES GRANDS DOSSIERS QUE VOUS AVEZ SUIVIS EN TANT QUE PRÉSIDENT ENTRANT ?

Plusieurs projets d'importance étaient déjà engagés. (i) Le rachat de notre revue Photoniques. (ii) Le projet LUMIFORM 2030 dont l'objectif est d'accompagner les formations en photonique du niveau BAC à BAC+3 et de favoriser l'attractivité de ces filières. (iii) La démarche d'utilité publique (ARUP), initiée il y a plusieurs années et visant à renforcer la légitimité et le modèle économique de la SFO. (iv) Le projet PEPITES, consacré à la pérennité du patrimoine scientifique et documentaire de la société.

### QUELLES SONT LES ÉVOLUTIONS SUR LES PRIX DÉCERNÉS PAR LA SFO ?

La SFO dispose d'un ensemble de prix historiques (Fabry-de Gramont, Lumières Arnulf-Françon, Léon Brillouin). Le prix Jean Jerphagnon, qui valorise le lien avec l'industrie et l'innovation, s'est ajouté récemment et il est essentiel de pérenniser son financement. C'est l'un des chantiers actuels. Par ailleurs, nous venons de créer des prix de thèse, afin de reconnaître de jeunes chercheurs et chercheuses au moment clé de leur début de carrière. Leur lancement aura lieu dès cette année.

### QUELLES ACTIONS SOUHAITEZ-VOUS METTRE EN PLACE ?

Les projets engagés vont déjà produire de nombreux effets. Compte tenu de l'activité très dense et des capacités limitées de l'équipe permanente, il n'est pas souhaitable d'ouvrir encore de nouveaux chantiers lourds à court terme. En revanche, j'aimerais organiser des visites de laboratoires deux fois par an, afin de renforcer le lien entre la SFO et la communauté, afin de mieux faire connaître ses actions et d'encourager l'implication des équipes locales. ●