

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Optique adaptative pour les télécommunications optiques sans fil à travers le brouillard

Référence : **PHY-DOTA-2022-23**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : Septembre 2022

Date limite de candidature : Mai 2022

Mots clés :

Optique adaptative, Milieux complexes, Télécommunications, Brouillard, Nuage

Profil et compétences recherchées :

Ecole d'ingénieurs, Master en optique, physique, télécommunications
Goût pour la théorie et l'expérimentation

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif :

Contexte de l'étude :

Les télécommunications optiques sans fil représentent une alternative de plus en plus attractive face à la saturation progressive des canaux dédiés aux technologies hertziennes et aux besoins croissant en bande passante. Cependant les perturbations atmosphériques telles que le brouillard ou les nuages constituent un obstacle au déploiement de cette technologie pourtant prometteuse pour les liaisons sol-satellites mais aussi les liaisons terrestres entre deux bâtiments. En effet lorsqu'un faisceau optique modulé traverse un milieu diffusant, le signal subit un étalement temporel qui croit avec le nombre d'évènements de diffusion. Lorsque le milieu est très multi-diffusant, le signal de télécommunication devient indéchiffrable.

Cependant depuis une dizaine d'années des travaux ont montré qu'il est possible de focaliser la lumière dans des matériaux à l'aide d'un modulateur spatial de lumière (SLM) [1][2][3]. Grâce à leurs grands nombres d'actionneurs, ces matrices à cristaux liquides permettent de contrôler la phase des différentes ondes qui sont générées par diffusion multiple du champ incident. Très généralement les techniques d'imagerie ou de focalisation à travers les milieux complexes qui ont émergé dans la littérature sont appliquées à des milieux statiques ou faiblement turbides. Pour ces milieux, on peut adopter une stratégie consistant à calculer une matrice de transmission reliant le champ électromagnétique incident et le champ émergent du milieu diffusant. Du fait de sa lenteur liée au grand nombre d'actionneurs à adresser, cette procédure de calibration devient rédhibitoire pour les milieux très évolutifs tels que les brouillards épais ou les nuages.

Pour ces milieux très turbides, il faut donc privilégier la technique de conjugaison de phase (ou retournement temporel) pour remettre en phase simultanément les différents modes générés par la diffusion. Cette méthode itérative nécessite l'implantation de deux analyseurs de part et d'autre de l'émetteur et du receveur mais permet de s'affranchir du calcul de la matrice de transmission.

Un des paramètres clés à la définition d'un système de contrôle est le temps de cohérence. Après traversée d'un milieu diffusant, le champ du faisceau optique cohérent est composé de grains, appelés tavelures, dont l'intensité lumineuse est distribuée aléatoirement. Des travaux préliminaires menés par l'ONERA et le LKB montrent que le temps de décorrélation de ces tavelures après traversée du brouillard atmosphérique peut être compatible avec la bande passante de miroirs de type (MEMS)-based SLMS ou Digital Mirror Device (DMD). Ces résultats ouvrent donc la voie à la mise en œuvre d'une technique de conjugaison de phase en milieu atmosphérique. Il est extrêmement complexe de modéliser la matrice de transmission en milieu très turbide. Il faut donc conjuguer une approche par modélisation et des expérimentations pour estimer les performances de cette technique. Le défi proposé dans cette thèse est donc d'évaluer le gain apporté par la correction adaptative en milieu multi-diffusant en termes de portée et de rapport signal sur bruit d'un signal de télécommunication. L'application aux nuages dans le cadre des liaisons sol-satellites sera aussi envisagé.

Objectif de la thèse :

La première étape des travaux consistera à évaluer à partir de modèles issus de la littérature et d'outils de modélisation, la dégradation du signal de télécommunication après propagation dans un milieu diffusant tel que le brouillard (élongation temporelle, débit maximal, ...). Ces travaux seront menés pour différentes portées et quelques longueurs d'onde couvrant le spectre du visible à l'infra-rouge moyen. A partir de modèles analytiques et d'une analyse de l'échantillonnage spatial et temporelle du faisceau, le candidat évaluera la capacité de l'optique adaptative à préserver l'intégrité des données de télécommunication transmises. Il pourra s'appuyer sur l'expertise de l'équipe de Sylvain Gigan au Laboratoire Kastler Brossel en matière de contrôle spatio-temporel de

la lumière impulsionnelle [5]. On s'intéressera plus particulièrement aux stratégies à mettre en place pour préserver le signal de chaos temporel d'un laser à Cascade Quantique à 4 μm qui permet d'assurer des communications hautement sécurisées [6][7][8].

La seconde phase de la thèse sera consacrée à des travaux expérimentaux. Le candidat s'attachera tout d'abord à raffiner le modèle d'estimation du temps de décorrélation des tavelures. Cette première étape permettra de bien sélectionner le temps de pose des essais en fonction de la turbidité du milieu. Un analyseur de surface d'onde sera installé à la sortie d'une serre à brouillard de laboratoire et en vis-à-vis d'une source laser modulable (diode laser, laser QCL). Ces essais permettront de valider les modèles développés. A partir de l'analyse des mesures de l'analyseur réalisées dans des conditions de faible turbidité, on pourra statuer sur la faisabilité de la technique de retournement temporel et transposer ces résultats à des cas à plus fortes turbidités représentatifs d'un brouillard ou d'un nuage profond. A l'issue de ces travaux une architecture de télécommunications avec optique adaptative sera proposée et ses performances estimées pour différentes portées.

Au cours de sa thèse, le candidat bénéficiera des outils développés au sein du Département d'Optique de l'ONERA. Il bénéficiera des compétences d'une équipe reconnue en matière de télécommunications optiques sans fil et en optique adaptative.

Cette thèse sera dirigée par Frédéric Grillot (Télécom ParisTech) avec un co-encadrement de Matthieu Boffety (IOGS) et Béatrice Sorrente (ONERA).

- [1] M. Vellekoop and A. P. Mosk, « Focusing coherent light through opaque strongly scattering media », *Optics Letters*, Vol. 32, No. 16, 2007.
- [2] S. M. Popoff, G. Lerosey, M. Fink, A. C. Boccara and S. Gigan, « Controlling light through optical disordered media: transmission matrix approach », *New Journal of Physics*, Vol 13, 2011.
- [3] A. P. Mosk *et al.*, « Controlling waves in space and time for imaging and focusing in complex media, *Nature Photonics*, Vol 6, 283-292, 2012.
- [4] B. Blochet, L. Bourdieu, and S. Gigan, « Focusing light through dynamical samples using fast continuous wavefront optimization », *Optics Letters*, Vol. 42, Issue 23, 2017.
- [5] M. Mounaix, H. Defienne, S. Gigan, « Contrôle spatio-temporel de la lumière en milieux complexes », *Photoniques*, N° 92, 2018, <https://doi.org/10.1051/photon/20189229>.
- [6] C. Sauvage, « Impact de l'environnement atmosphérique sur les liaisons optiques sans fil pour la ville du futur », Thèse, 2020.
- [7] C. Sauvage, C. Robert, B. Sorrente, F. Grillot, et D. Erasme, « Study of short and mid-wavelength infrared telecom links performance for different climatic conditions », *SPIE Remote Sensing*, Strasbourg, Septembre 2019.
- [8] O. Spitz, A. Herdt, J. Wu, G. Maisons, M. Carras, C.-W. Wong, W. Elsässer & F. Grillot, « Private communication with quantum cascade laser photonic chaos », *Nature Communication*, <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23527-9>.

Collaborations envisagées

Laboratoire Kastler Brossel

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Optique et Techniques Associées

Lieu (centre ONERA) : Châtillon

Contact : Béatrice SORRENTE

Tél. : 01 46 73 48 53 Email : beatrice.sorrente@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : Frédéric Grillot, co-encadrement
Matthieu Boffety (IOGS)

Laboratoire : Telecom ParisTech

Tél. : 01 75 31 93 00

Email : frederic.grillot@telecom-paris.fr

matthieu.boffety@institutoptique.fr

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>