

**PROPOSITION DE SUJET DE THESE**

**Intitulé : Impact de la scintillation sur les performances et la robustesse d'un système télécom sol-satellite corrigé par optique adaptative, optimisation d'un Shack-Hartmann en fortes perturbations**

Référence : **PHY-DOTA-2022-19**  
(à rappeler dans toute correspondance)

**Début de la thèse :** Octobre 2022

**Date limite de candidature :** Mai 2022

**Mots clés :**

Optique adaptative, analyse de surface d'onde, télécommunications optiques sol-satellite, scintillation, analyse système

**Profil et compétences recherchées :**

Ingénieur ou master 2 spécialisé en optique

**Présentation du projet doctoral, contexte et objectif :**

Alors que la demande mondiale en matière de débits de données et de connectivité se fait toujours croissante, les opérateurs télécom prédisent à court-terme l'engorgement des bandes radiofréquences communément utilisées, et voient dans les communications optiques sol-satellite une solution clef qui pourrait mener aux télécommunications à très haut débit de demain. Or, malgré leur énorme potentiel, les communications optiques doivent encore surmonter un obstacle de poids pour pouvoir être opérationnelles : la turbulence atmosphérique. Cette dernière perturbe en effet fortement la transmission du signal et nécessite de développer des méthodes de compensation de ces effets, dont l'une des plus prometteuses est l'optique adaptative (OA). Cette technique, qui consiste à compenser en temps réel les effets de la turbulence sur le signal optique, est mise en œuvre avec succès par l'ONERA depuis plusieurs années pour cette application pour le compte du CNES, de l'ESA et de la DGA, et depuis plus de 30 ans dans le domaine de l'astronomie.

Cependant, la disponibilité et le domaine d'emploi des systèmes de télécommunication optique sol-satellite reste un facteur clef de leur viabilité future – des disponibilités proches de 100% sont en effet visées pour les liens avec les satellites géostationnaires, et pouvoir échanger des données même à basse élévation avec un satellite en orbite basse présente un intérêt véritablement stratégique. Pour ces raisons, les optiques adaptatives pour les télécommunications sol-satellite de demain doivent être agiles et capable de faire face à une grande dynamique de conditions de turbulence : cela entraîne notamment qu'elles doivent être capables de surmonter le défi majeur que représente la forte scintillation rencontrée dans les cas de fortes perturbations.

L'objet de cette thèse est de quantifier l'impact de cette forte perturbation sur les performances et la robustesse du système de télécommunication optique compensé par OA, afin de proposer des optimisations et des parades, et de les mettre en œuvre expérimentalement. Ceci présente un défi de taille car le régime des fortes perturbations impacte diverses briques intercorrélées du système.

En particulier, on s'interrogera sur le dimensionnement de la brique d'analyse de surface d'onde : même avec un simple analyseur de Shack-Hartmann, de nombreuses questions se posent sur son comportement et son optimisation pour les télécoms, car en présence de forte scintillation il pâtit du fait que certaines sous-pupilles sont saturées ou éteintes. L'étudiant-e développera un modèle simplifié de son impact sur les performances du système d'OA en fonction de son dimensionnement, en présence de fortes perturbations.

Un autre point qui pourra être approfondi dans cette thèse est celui de la mesure des paramètres d'identification en présence de forte scintillation, c'est-à-dire l'exploitation des données de l'OA pour obtenir des informations sur la turbulence rencontrée - données qui peuvent être exploitées dans les lois de commande et les traitements télécoms. La robustesse des algorithmes usuels à la scintillation sera étudiée, et des améliorations seront mises en œuvre.

L'étudiant-e proposera des modèles physiques et des modèles simplifiés, permettant de décrire les performances du système d'optique adaptative, puis du système complet (incluant la couche télécom), dans le cas des fortes perturbations. Il pourra pour cela s'appuyer sur les modèles existants déjà à l'ONERA, qui traitent du régime des faibles perturbations (code SAOST), et adapter des modèles physiques au cas de la forte scintillation (code TURANDOT).

Grâce à ces modèles, l'étudiant-e sera en mesure de proposer, et de tester, des solutions permettant de repousser les limites actuelles des systèmes d'optique adaptatives pour les télécommunications sol-satellite du futur.

Tout au long de cette thèse, l'étudiant-e pourra tester ses concepts et valider ses modèles sur le banc PICOLO, qui reproduit en laboratoire un lien turbulent entre un satellite en orbite basse et le sol grâce à des écrans de phase tournants. Une intégration dans les systèmes d'OA développés par l'ONERA pour une démonstration temps réel ou ralenti est envisageable, grâce aux retombées d'une autre thèse portant le contrôle-commande dans le régime des fortes perturbations (fin en 2023).

Ces travaux seront menés en forte synergie avec les thématiques de focalisation laser à travers l'atmosphère et l'instrumentation astronomique, en raison des liens étroits avec ces deux thématiques, en bénéficiant de notre collaboration avec le Laboratoire d'Astrophysique de Marseille au travers d'une équipe intégrée.

Ces travaux amèneront par ailleurs l'étudiant-e à intégrer une équipe d'une dizaine de personnes travaillant sur la thématique des télécommunications optiques en espace libre, lui permettant ainsi de bénéficier de nombreuses interactions quotidiennes avec d'autres thésards et des chercheurs, au cœur des activités de cette thématique majeure de l'unité Haute-Résolution Angulaire, lieu d'études menées actuellement pour le CNES, l'Europe (H2020 et ESA), et en partenariat avec les industriels du domaine (Airbus, Thales, etc...).

#### **Collaborations envisagées :**

LAM

#### **Laboratoire d'accueil à l'ONERA**

Département : Département Optique et Techniques Associées

Lieu (centre ONERA) : Châtillon

**Contact** : Aurélie Montmerle Bonnefois

Tél. : 01 46 73 47 82      Email : [aurelie.bonnefois@onera.fr](mailto:aurelie.bonnefois@onera.fr)

#### **Directeur de thèse**

Nom : Jean-Marc CONAN

Laboratoire : ONERA/DOTA/HRA

Tél. : 01 46 73 47 48

Email : [jean-marc.conan@onera.fr](mailto:jean-marc.conan@onera.fr)

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