

**PROPOSITION DE SUJET DE THESE**

**Intitulé : Reconfiguration dynamique d'un réseau de stations sol optique assistée par machine learning**

Référence : **PHY-DOTA-2020-16**  
(à rappeler dans toute correspondance)

**Début de la thèse : 01/10/2020**

**Date limite de candidature :**

**Mots clés**

Liens optiques, optique adaptative, machine learning

**Profil et compétences recherchées**

Master 2 ou école d'ingénieur en mathématiques appliquées, physique ou en optique

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

Les liens optiques atmosphériques font figure de game-changer pour le futur des communications satellite-sol, que ce soit pour le rapatriement des données engrangées par les capteurs embarqués (télémessure) sur des satellites LEO ou pour le développement de l'internet globalisé et de l'internet des objets (IOT) en exploitant les satellites GEO comme relais.

L'influence de l'atmosphère (occultations nuageuses, aérosols, turbulence atmosphérique) reste un verrou essentiel qu'il convient de forcer pour pouvoir garantir la disponibilité très élevée attendue de systèmes de communication (99,9%). La fiabilité de son évaluation conditionne les marges utilisées pour le dimensionnement des futurs systèmes, notamment dans le choix des emplacements des futures stations sols. Une capacité de prédiction permettrait d'optimiser le fonctionnement du réseau en adaptant en temps réel les mécanismes de correction d'erreur, depuis la couche réseau (emploi de protocoles de codage adaptatifs, adaptation des processus d'acquiescement, de la redondance) à la couche physique (optimisation de l'optique adaptative, planification de la bascule d'une station à l'autre).

L'enjeu de cette thèse est de proposer une méthode de prévision de la disponibilité d'un lien optique haut débit dont on évaluera la précision en fonction de l'horizon temporel de prévision.

L'approche proposée s'appuiera sur l'agrégation de données locales (cartographie nuageuse locale, paramètres turbulents intégrés) produites par des instruments de caractérisation des propriétés optiques de l'atmosphère et de données issues de modèles multiphysiques exploitant la dynamique atmosphérique (modèles de propriétés optiques de l'atmosphère s'appuyant sur l'exploitation de modèles météo). La capacité à estimer des disponibilités élevées (queues de distributions) sera apportée par l'utilisation d'un métamodèle défini par une étude de sensibilité et mis à jour par le recours à un apprentissage adaptatif. Pour ce faire on adaptera à la problématique des liens optiques les méthodes d'optimisation et d'échantillonnage développées à l'ONERA depuis une quinzaine d'années pour l'estimation d'événements rares.

La méthodologie proposée sera développée en s'appuyant sur les données déjà disponibles (données Arôme couplées à Matisse) puis validée sur des données fournies par la station sol ONERA FEELINGS opérant sur étoile. D'autres données, issues d'instruments de partenaires de la thèse, pourraient également être exploitées pour procéder à cette validation.

**Démarche :**

La démarche proposée s'appuiera en premier lieu sur la mise en place d'un modèle d'évaluation de performance de lien optique exploitant les données fournies par les modèles physiques et le calcul de paramètres locaux obtenus à partir de ces mêmes modèles. Des biais représentatifs de la variabilité locale des paramètres atmosphériques seront ensuite introduits pour disposer d'un modèle de données.

On s'attachera à la compréhension fine des inter-corrélations entre les paramètres atmosphériques macroscopiques, les grandeurs mesurées par les instruments de mesures existants et les critères de performances des liens optiques. L'influence de différences de ligne de visée, de longueurs d'ondes et d'échantillonnages (spatial et temporel) sera évaluée. Il s'agira notamment de déterminer si les mesures déjà disponibles sont suffisamment informatives ou si elles doivent être complétées, à la fois pour évaluer la performance instantanée d'un lien optique, et pour l'anticiper. Des améliorations algorithmiques sur les

données produites par les instruments de mesures pourront être proposées pour améliorer la pertinence des données vis-à-vis du besoin spécifique des liens optiques.

Une approche d'apprentissage automatique sera ensuite utilisée pour construire un modèle de substitution mathématique (ou métamodèle) reliant à la fois les paramètres atmosphériques, les paramètres locaux pertinents pour les liens optiques et le critère de qualité du lien optique considéré. Une analyse de sensibilité sera menée pour identifier les variables d'entrée les plus influentes sur la performance du lien. Des méthodes d'apprentissage adaptatif seront utilisées pour affiner la pertinence du métamodèle en particulier concernant les probabilités faibles.

Cette approche une fois mise en place, la capacité de prévision ainsi conférée sera évaluée en exploitant l'historique des données existantes : données de caractérisation des observatoires (VLT/Tenerife/Paranal), réanalyses de modèles météorologiques, nouvelles fonctionnalités de MATISSE, code de transfert radiatif développé par l'ONERA, intégrant le couplage aux résultats du modèle régional à maille très fine AROME de Météofrance. En fonction de l'avancement des travaux, une validation expérimentale de la capacité de prédiction de la performance de lien pourrait être envisagée en exploitant les données fournies par la station sol ONERA FEELINGS devant voir le jour courant 2022.

#### Collaborations envisagées

LAM, Aria, Miratlas, Réuniwatt, ESO, ESA, IAC

#### Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Département d'Optique et Techniques Associées

Lieu (centre ONERA) : Palaiseau

**Contact** : Sidonie Lefebvre et Nicolas Védrenne

Tél. : 01 80 38 63 76 Email : sidonie.lefebvre@onera.fr/

Tél. : 01 46 73 47 57 Email : nicolas.vedrenne@onera.fr

#### Directeurs de thèse

Noms : Thierry Fusco et Christian Musso

Laboratoire : DOTA

Tél. : 04 91 05 59 23 / 01 80 38 65 76

Email : [thierry.fusco@onera.fr](mailto:thierry.fusco@onera.fr) / [christian.musso@onera.fr](mailto:christian.musso@onera.fr)

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