

Invitation à la soutenance de thèse

**ANALYSE ET ATTENUATION DE L'EFFET DE LA SCINTILLATION SUR LA
CORRECTION PAR OPTIQUE ADAPTATIVE D'UN LIEN OPTIQUE ENTRE
UN SATELLITE LEO ET UNE STATION SOL A BASSES ELEVATIONS**

**ANALYSIS AND MITIGATION OF THE IMPACT OF SCINTILLATION ON THE
ADAPTIVE OPTICS CORRECTION FOR A LEO-TO-GROUND OPTICAL LINK
AT LOW ELEVATIONS**

Timothée VENE

Mercredi 26 novembre 2025 à 14h30

**Salle du conseil de l'Observatoire de Paris
77 Av. Denfert Rochereau, 75014 Paris**

Devant le jury composé de :

Olivier Guyon	NAOJ	Rapporteur
James Osborn	CfAI	Rapporteur
Yann Clénet	Observatoire de Paris	Examineur
Angélique Risson	ISAE-Supaero	Examinatrice
Michel Tallon	CRAL	Examineur
Laurent Mugnier	DOTA, ONERA	Co-directeur de thèse
Jean-Marc Conan	DOTA, ONERA	Co-directeur de thèse
Aurélié Bonnefois	DOTA, ONERA	Encadrante

Résumé :

Les liens optiques satellite-sol sont envisagés comme une alternative pertinente aux liens radiofréquences, grâce à leur haut débit, et leur discrétion accrue. En particulier, ces liens permettent de répondre à la demande croissante de téléversement de données depuis les satellites vers le sol, et d'envisager à terme des réseaux de satellites de télécommunication tout optiques.

Pour un lien optique satellite-sol, traverser l'atmosphère nécessite une correction en temps réel par Optique Adaptative (OA) de la perturbation de phase afin d'assurer le couplage dans une fibre optique monomode qui est indispensable pour un débit supérieur à 10Gbps par canal. De plus, dans le cas de satellites en orbite basse, il est crucial de maximiser la durée du lien même jusqu'aux basses élévations, entre 10° et 30°, où ils passent plus de la moitié du temps où ils sont visibles. Cependant, la distance de propagation dans l'atmosphère augmente quand l'élévation diminue. Ceci cause des perturbations en amplitude (ou scintillation) et en phase plus sévères qui affectent l'Analyseur de Surface d'Onde (ASO) au sein du système d'OA.

Dans cette thèse, j'analyse les effets de la scintillation sur la correction par OA pour un lien LEO-sol à basse élévation. Je commence par caractériser la scintillation dans des scénarios de turbulence représentatifs d'un lien LEO-sol en fortes perturbations. Puis, en me concentrant sur l'ASO de Shack-Hartmann (SH), j'analyse les erreurs subies par celui-ci et je propose un dimensionnement robuste à la scintillation. D'une part, un SH subit une erreur de mesure due à une intensité non-uniforme au sein des sous-pupilles. Je montre qu'un design de SH avec des sous-pupilles suffisamment petites pour échantillonner la phase turbulente et les motifs de scintillation, permet de réduire considérablement cette erreur de mesure. D'autre part, la scintillation induit une grande dynamique de flux entre les sous-pupilles. Je propose et développe donc un estimateur, dit JWLS, fondé sur une approche de Maximum de Vraisemblance. Cet estimateur permet une mesure de pente précise sur un grand intervalle d'intensité, et en particulier dans des cas de saturation du détecteur : l'estimateur JWLS est robuste à la saturation sur deux ordres de grandeur de plus que la corrélation. J'étudie ensuite une méthode de reconstruction optimisée afin de pouvoir simuler une boucle d'OA complète, dont j'analyse la performance en termes de budget d'erreur vis-à-vis de l'état de l'art.

Mots clés :

Optique adaptative, télécommunications optiques, scintillation, analyse de front d'onde, Shack-Hartmann