



# **Etude de la déflectométrie pour la mesure des hautes fréquences spatiales des miroirs asphériques, free-form et des grands miroirs quasi-plans**

## **Study of deflectometry for the measurement of high spatial frequencies of aspherical mirrors, free-form and large quasi-planar mirrors**

Soutenance de thèse – Hugo Jonquière

**Mardi 17 mai 2022 à 14h**

Observatoire de Paris, site de Meudon - 5 place Jules Janssen, 92190 Meudon  
Salle de l'amphithéâtre, bâtiment Evry Schatzman (anciennement LAM)

Accès voitures par le 11 avenue Marcellin Berthelot.

Contact pour confirmer la participation en présentiel : [hugo.jonquiere@gmail.com](mailto:hugo.jonquiere@gmail.com)

### **Devant le jury composé de :**

Yvan SORTAIS	Professeur des universités, Institut d'Optique Graduate School	Rapporteur
Elise VERNET	Ingénieur, European Southern Observatory	Rapporteuse
Coralie NEINER	Directeur de recherche, LESIA, Observatoire de Paris	Examinatrice
Loïc DENIS	Maître de conférences, Université de Saint-Etienne	Examineur
Renaud MERCIER-YTHIER	Ingénieur, Safran Reosc	Invité
Vincent MICHAU	Maître de recherche, DSG, ONERA, Université Paris-Saclay	Invité
Laurent MUGNIER	Directeur de recherche, DOTA, ONERA, Université Paris-Saclay	Directeur de thèse

### **Résumé :**

La fabrication optique requiert une métrologie de précision afin d'identifier l'amplitude, la position et la fréquence spatiale des défauts de forme à polir. Du fait de la grande dynamique des défauts de forme en termes d'amplitude et de fréquences spatiales, les procédés de fabrication optique reposent sur l'utilisation de diverses méthodes de mesures de forme. La déflectométrie, une méthode de mesure de forme des surfaces optiques spéculaires à partir de la distorsion d'un motif connu, est un moyen métrologique prometteur du fait de son faible coût et sa facilité de mise en œuvre expérimentale. En particulier, l'utilisation de la déflectométrie pour la mesure des hautes fréquences spatiales constitue un moyen rapide de comparaison à un autre instrument et de suivi d'un procédé de polissage. Cependant, la propagation de biais et bruits à travers la chaîne de traitement des données d'un montage déflectométrique limite la précision de mesure des hautes fréquences spatiales d'une pièce optique par cet instrument.

Mon travail de thèse a consisté à identifier les facteurs limitant la mesure des hautes fréquences par déflectométrie, à modéliser la propagation de ces erreurs à travers la chaîne de traitement des données, et à concevoir des méthodes algorithmiques et des bancs de mesure déflectométriques permettant la mesure des hautes fréquences spatiales de surfaces optiques free-form, asphériques, et des grands miroirs quasi-plans.

Mon approche au cours de cette thèse a été de modéliser systématiquement la propagation des différents biais et bruits à travers la complexe chaîne de traitement des données déflectométriques. En particulier, j'ai exhibé des algorithmes de phase shift bien choisis, et conçu des méthodes de reconstruction de forme auto-étalonnées robustes aux erreurs dominant la mesure des hautes fréquences spatiales dans un montage déflectométrique.

En me basant sur les modèles de propagation d'erreur développés au cours de cette thèse, j'ai ensuite démontré via des simulations que les méthodes proposées permettaient la mesure des hautes fréquences spatiales d'une pièce optique avec une précision comparable à celle d'un autre moyen métrologique de référence : l'interférométrie. J'ai mis en œuvre ces méthodes de traitement des données sur des bancs déflectométriques classiques, mais également sur des bancs originaux co-conçus au cours de cette thèse pour la mesure des grands miroirs plans. Les méthodes développées au cours de cette thèse, couplées à des procédures d'étalonnage des défauts de déformation de l'écran, ont permis la démonstration de performances équivalentes à celle d'un banc de mesure utilisant un capteur Shack-Hartmann sur la mesure d'un segment du miroir primaire de l'Extremely Large Telescope.

**Mots clés :** Déflectométrie, Phase Shift, Fabrication optique, Métrologie, Affichage non-linéaire, Métrologie des pentes, Extremely Large Telescope, Reconstruction de forme, Inférence bayésienne, Synthèse de pupilles.