



université  
PARIS-SACLAY



INSTITUT  
d'OPTIQUE  
GRADUATE SCHOOL  
ParisTech



# Commande haute performance des systèmes d'optique adaptative classique, des grands aux extrêmement grands télescopes (ELT)

Soutenance de thèse – Léonard PRENGÈRE

**Mercredi 31 Mars 2021, à 21h00**

Institut d'Optique Graduate School,  
2 Avenue Augustin Fresnel, 91120 Palaiseau

En visioconférence (pour obtenir le lien, contacter : [leonard.prengere@institutoptique.fr](mailto:leonard.prengere@institutoptique.fr))

**L'accès à la salle de soutenance est restreint aux membres de l'Institut d'Optique**  
Du fait de la situation sanitaire liée au Covid, toutes les recommandations devront être respectées.

## Devant le jury composé de

Gérard ROUSSET	OBSPM, France	Rapporteur
Jean-Pierre VÉRAN	University of Victoria, Canada	Rapporteur
Carlos CORREIA	Université de Porto, Portugal	Examinateur
Caroline KULCSÁR	UPSaclay, IOGS-LCF, France	Directrice de thèse
Benoît NEICHEL	LAM, France	Examinateur
Henri-François RAYNAUD	UPSaclay, IOGS-LCF, France	Examinateur, co-encadrant
François RIGAUT	Australian National University, Australie	Examinateur
Sihem TEBBANI	Centrale-Supélec, France	Examinatrice
Jean-Marc CONAN	ONERA, DOTA HRA, France	Invité, co-encadrant

## Résumé

Les systèmes d'optique adaptative (OA) astronomiques permettent de compenser les dégradations de la turbulence atmosphérique sur les images acquises par les télescopes terrestres. Pour cela, ils commandent en temps réel un ou plusieurs miroirs déformables (MD) à partir de mesures de déformation de front d'onde fournies par un ou plusieurs analyseurs de surface d'onde (ASO). Afin d'obtenir des commandes à haute performance, des commandes prédictives Linéaires Quadratiques et Gaussiennes (LQG) construites sur une représentation d'état de la boucle d'optique adaptative ont été proposées afin de réduire les termes d'erreurs classiques de l'optique adaptative et notamment de compenser les retards de boucle inhérents à l'asservissement de l'OA. Les premiers travaux de cette thèse conduiront à proposer des modélisations polyvalentes aux changements de nature de la perturbation atmosphérique avec des modèles qui s'appuient sur des *a priori* de profils de vents et d'énergie de couches turbulentes pouvant être fournis par des mesures externes de stereo-scidar ou déduites des données de télémétrie. L'élaboration de régulateurs LQG avec des reconstructions multicouches ou bien une reconstruction de la phase résultante, dans des bases zonales ou des bases de Zernike, permettra de déduire quels modèles et échantillonnages sont adéquates pour deux cas d'applications : un cas d'astronomie classique avec un système d'OA type VLT NAOS, et un cas d'observation de satellite en orbite basse où la dynamique de la turbulence est bien plus intense de par le défilement du satellite. Cette dernière application montre très nettement la prédominance d'un régulateur en base zonale par rapport aux autres et à ceux de la littérature en termes de résultats et de justesse de la reconstruction de par son modèle dynamique auto-régressif d'ordre 2 et sa finesse de l'échantillonnage de 2 points linéaires par pitch d'actionneur. Les systèmes d'OA des télescopes de nouvelle génération exhiberont des dimensions dépassant de très loin les systèmes précédents et notamment les deux cas simulés précédemment, avec des

ordres de grandeurs pour l'*Extremely Large Telescope* (ELT) de cinq mille actionneurs par MD, et la dizaine de milliers de mesures d'ASO pour le mode SCAO. La recherche de solutions propres au dimension ELT permettra de développer des modèles creux et dont l'identification est très rapide en base de Karhunen-Loève, bénéficiant de sa structure très particulière d'orthogonalité géométrique et stochastique sans toutefois subir les approximations des modélisations spatialement invariantes proposées dans la littérature en base zonale. Des comparaisons de performance avec ces régulateurs de la littérature et un correcteur à action intégrale dans un cas HARMONI SCAO ont été menées et ouvrent surtout de nouvelles possibilités dans la recherche de bases creuses adaptées pour la représentation d'état pour le calcul d'un filtre de Kalman en dimension ELT.

**Mots clés :**

Optique adaptative, Télescope géant, Commande linéaire quadratique gaussienne (LQG), Turbulence atmosphérique, Modélisation pour la commande, Suivi de satellite