

# Thèse en optique adaptative

## Commande prédictive autonome à très grand nombre de degrés de liberté pour l'optique adaptative

Adaptive optics autonomous predictive control with very large degrees of freedom

<b>Nom du Laboratoire / laboratory name:</b> LABORATOIRE CHARLES FABRY	
<b>Direction de la thèse :</b> Caroline Kulcsár, Henri-François Raynaud	
<b>Financement : ACQUIS :</b> projet PEPR Origins – Co-financement école doctorale possible	
<b>Établissement / institution :</b> UNIV PARIS SACLAY/CNRS	<b>Code d'identification :</b> UMR 8501
<b>Site Internet:</b> <a href="https://www.lcf.institutoptique.fr/Groupes-de-recherche/imagerie-et-information">https://www.lcf.institutoptique.fr/Groupes-de-recherche/imagerie-et-information</a>	
<b>Adresse / address:</b> 2 av Augustin Fresnel 91127 Palaiseau Cédex	
<b>Lieu de la thèse :</b> Laboratoire Charles Fabry, Institut d'Optique	
<b>Collaborations :</b> Observatoire de Paris-Meudon, Centre de recherche d'astrophysique de Lyon (CRAL), ESO	

**Mots-clés :** optique adaptative, commande prédictive basée données, systèmes à très grand nombre de degrés de liberté, filtre de Kalman, commande Linéaire Quadratique Gaussien (LQG), instrumentation pour l'astronomie

### Contexte

Les systèmes d'OA équipant les télescopes terrestres permettent de compenser les déformations des images induites par la turbulence atmosphérique grâce à un miroir déformable inséré dans le chemin optique. Les commandes sont calculées en temps réel à partir de mesures fournies par un analyseur de surface d'onde.

Tous les systèmes d'OA comprennent des composants (caméras, calculateurs temps-réels...) qui induisent des retards dans l'application de la commande : le temps que le flux soit intégré sur l'analyseur de surface d'onde, la caméra lire et les mesures fournies, que la commande soit calculée à partir de ces mesures et transférée à l'électronique du miroir déformable, les perturbations ont évolué et la correction n'est donc plus parfaitement adaptée. Une commande à haute performance intégrera donc une prédition de la turbulence permettant de compenser les retards du système.

L'équipe « Optique Adaptative » du Laboratoire Charles Fabry est mondialement connue pour ses travaux en commande à haute performance des systèmes d'OA. Ces commandes sont basées sur des modèles d'état de la perturbation et du système, et sont généralement de type LQG. L'équipe conçoit la commande des bas-ordres de l'OA de l'instrument MICADO qui fera en 2030 la première lumière du futur extrêmement grand télescope européen de 39 m (Extremely Large Telescope, ELT, ESO, Chili). Elle conçoit également une commande à haute performance autonome pour l'OA du plus grand télescope du monde, le Gran Telescopio Canarias, et est impliquée dans SPHERE+, l'instrument de détection d'exoplanètes futur remplaçant de SPHERE au Very large Telescope (VLT, ESO, Chili).

Toutes ces stratégies de commande doivent tenir compte du fait que les caractéristiques de la turbulence atmosphérique et des perturbations non atmosphériques (vent, vibrations, etc.) évoluent dans le temps, et donc les paramètres des régulateurs doivent s'adapter à ces évolutions pour être encore plus performants. Cette adaptation doit se faire de façon entièrement autonome : le régulateur se met à jour à partir des données pour que les acquisitions d'images astronomiques puissent être réalisées en pause longue (de

quelques minutes à plusieurs heures) et ce de façon stable.

## Sujet détaillé de la thèse

Le sujet de thèse est structuré autour de deux défis spécifiques en modélisation et commande des systèmes d'OA : le cas des VLT (classe 10 m), et l'extension aux ELT (classe 30 m).

• **Dimensions VLT** : La commande LQG autonome pour l'OA de SPHERE+ (OA extrême pour la détection d'exoplanètes) servira de point de départ (environ 600 modes commandés et autant de mesures). La performance et la complexité seront étudiées et différentes bases de représentation de la perturbation (ou comment représenter efficacement les aberrations variables qui affectent le système : base de Karuhnen-Loève, de Zernike, de Fourier, zonale...) seront explorées. Les problématiques de l'identification des modèles dans les bases retenues et de leur mise à jour seront également abordées. La conception des méthodes de mise à jour devra prendre en compte les particularités liées aux bases de représentation. L'extension à d'autres systèmes d'OA pourra également être abordée : cas des télescopes Keck ou Subaru par exemple, OA grand champ (plusieurs analyseurs, plusieurs miroirs déformables), etc. **Les solutions les plus prometteuses pourraient faire l'objet de tests sur GTC (îles Canaries) ou sur le VLT (Chili).**

• **Extension aux ELT** : L'extension à la commande autonome de systèmes ayant des nombres de degrés de liberté encore plus élevés partira du cas de l'OA classique de MICADO, qui fera la 1<sup>ère</sup> lumière de l'ELT : la commande haute performance combine quelques modes de bas ordre avec un intégrateur pour les ordres supérieurs. La mise en place d'une stratégie autonome est possible dans ce cas et son comportement sera analysé. Une commande prédictive autonome en dimensions ELT, y compris en grand champ, sera étudiée et plusieurs approches pourront être explorées :

- o Parallélisabilité. En raison de leur grande parallélisabilité, les approches basées sur les convolutions 2D à la place des produits matrice-vecteur ont montré un fort potentiel et devront être considérées.
- o Creusitude. Les modèles creux peuvent conduire à des solutions de commande creuses elles-aussi, facilitant leur mise en œuvre.
- o Séquentialité. Des approches séquentielles pourraient également être explorées, car elles peuvent bénéficier de la lecture séquentielle des données de télémétrie au niveau du capteur.

• **Autres cas** : Les approches proposées pourront être adaptées au cas des télescopes de classe 1 m pour l'astronomie solaire ou les OA à plusieurs kHz des systèmes satellitaires.

## Environnement

La personne recrutée travaillera dans un environnement collaboratif où les échanges et discussions sont très fréquents et encouragés, et mènera également des expériences sur le banc d'optique adaptive (OA) MINOA situé au LCF. Il est possible que des expérimentations sur le ciel soient réalisées, mais ce ne peut être garanti. La personne recrutée présentera ses travaux de recherche dans le cadre de conférences internationales, réunions de projet, réunions du groupe Imagerie et Information et séminaires du LCF.

Le sujet s'inscrit dans le PEPR Origins (Programme et équipements prioritaires de recherche pour comprendre nos origines : de la formation des planètes à la vie), dans la tâche « Unsupervised adaptive optics control. » Cette tâche a pour ambition d'apporter des réponses à la commande d'OA à très grands nombres de degrés de liberté (plusieurs milliers d'actionneurs et de mesures à plusieurs kHz). La personne recrutée bénéficiera également des apports et opportunités des autres projets dans lesquels l'équipe est impliquée.