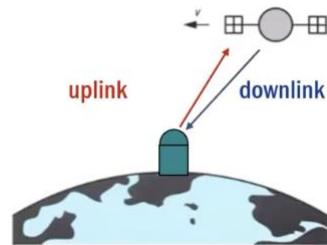
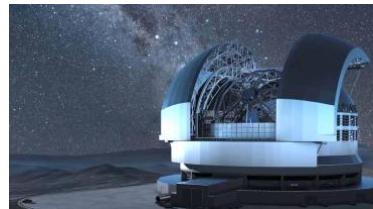


## Thèse CIFRE : Optique Adaptive rapide pour l'espace – Contrôle prédictif et apprentissage machine.



### Points de contacts :

ALPAO : Armin Schimpf, [armin.schimpf@alpao.fr](mailto:armin.schimpf@alpao.fr)

Laboratoire d'Astrophysique de Marseille : Benoit Neichel, [benoit.neichel@lam.fr](mailto:benoit.neichel@lam.fr)

### Description du projet de recherche :

Le projet de recherche proposé concerne les développements technologiques nécessaires pour l'observation à haute résolution angulaire depuis le sol, et en particulier l'Optique Adaptive (OA). L'OA est utilisée en astronomie depuis ~30ans pour corriger les effets de la turbulence atmosphérique et recouvrir la limite de diffraction des grands télescopes au sol. L'OA est au cœur des grandes découvertes de l'astronomie, et pour n'en citer qu'une, le prix Nobel de Physique 2020 s'appuie fortement sur cette technologie.

Pour corriger les effets de la turbulence l'OA met en œuvre un miroir déformé par des actionneurs contrôlés en temps réel (typiquement de l'ordre de la milliseconde). Les commandes envoyées aux moteurs sont déterminées à partir de mesures faites par un analyseur de surface d'onde (ASO) observant une étoile de référence. Il y a donc 3 composants technologiques clés au cœur de l'OA : un analyseur de surface d'onde (ASO), un calculateur temps réel (RTC) et un miroir déformable (MD). Le développement des deux derniers composants est le cœur de métier d'ALPAO ; l'innovation en analyse de front d'onde et la mise en œuvre de systèmes d'OA intégrés et opérationnels pour l'observation à haute résolution angulaire depuis le sol est l'une des expertises du LAM.

Aujourd'hui les domaines d'applications de l'Optique Adaptive s'élargissent au-delà de l'astronomie, et notamment vers les communications optiques (Free Space Optics – FSO), qui est un domaine en très forte expansion. Pour les FSO, la communication optique entre les satellites et les stations sols optiques permet le transfert de données à haut débit entre l'espace et la Terre. Dans le cas des satellites en orbite basse (Low Earth Orbit - LEO), un débit plus élevé permettrait d'établir des liaisons directes vers la Terre et proposer une alternative aux architectures de relais des satellites géostationnaires, qui peuvent ne pas être disponibles pour les petites constellations. Mais ces applications apportent de nouveaux challenge pour l'OA avec notamment :

- La communication avec des cibles en orbite basse (LEO) : le défilement des satellites dans ces orbites engendre un « vent apparent » élevé.
- Le déploiement de stations au sol (OGS) dans des sites présentant des conditions d'observation non-idiéales (eg vents importants).
- L'ambition de réduction de la taille des stations sol, qui exposent celles-ci à des conditions de vent et de vibrations mécaniques plus grandes.
- Contrairement aux applications astronomiques traditionnelles, les liaisons LEO-sol doivent fonctionner à de faibles angles d'élévation (de préférence entre 20° et 10°) afin de prolonger la durée de la liaison. À ces angles, la distance de propagation dans l'atmosphère est très longue (> 50 km), ce qui entraîne un trajet de propagation plus long et donc la traversée d'un plus grand volume de turbulence. Le fonctionnement de jour est aussi confronté à des turbulences plus fortes en raison des gradients de température causés par le rayonnement solaire.

Pour les applications FSO, la limitation principale des performances provient donc de l'erreur temporelle, et l'approche classique consiste à augmenter la cadence du système afin d'augmenter sa bande passante.

Ce besoin d'augmenter la cadence et la performance de la correction apportée par l'OA se retrouve aussi en astronomie, pour l'imagerie directe d'exoplanètes.

Une des motivations scientifiques principales pour la construction des futurs Extremely Large Telescopes est la détection et la caractérisation possible de planètes analogues à la Terre, orbitant autour d'étoiles proches.

La détection de CO<sub>2</sub>, d'eau ou même de molécules complexes dans l'atmosphère d'une exoplanète rocheuse serait sans aucun doute l'une des plus grandes révolutions dans notre vision de l'Univers, et l'un des résultats scientifiques majeurs de la prochaine décennie.

Cependant, les résidus atmosphériques rapides, mal compensés par la correction de l'OA opérée à une vitesse limitée limitent actuellement les capacités de détection des exoplanètes. Pour atteindre cet objectif scientifique ambitieux, il s'agit ici aussi d'accélérer les systèmes d'OA et améliorer les performances par rapport à l'état de l'art.

Pour les applications de correction de turbulence atmosphérique, notamment celles issues de la communication optique (FSO) mais aussi l'astronomie, la société ALPAO a aujourd'hui besoin de faire évoluer les lois de contrôle de son produit ALPAO RTC. L'objectif de cette thèse est d'étudier, caractériser puis valider :

- L'amélioration de la performance du système à des cadences plus basses grâce à l'utilisation de lois prédictives, l'identification des vibrations du système, et la mise en place de lois de contrôle optimisées
- La prise en compte de la dynamique du correcteur dans la loi de contrôle afin d'ouvrir la porte à des cadences RTC supérieures à sa bande passante
- **L'exploration de solutions innovantes à base d'apprentissage machine (Intelligence Artificielle) pour améliorer l'appréhension de modèles non-linéaires, et le contrôle prédictif.**

Des solutions au niveau du RTC, mais aussi au niveau de l'électronique embarquée du miroir déformable pourront être envisagée. La thèse couvrira des aspects théoriques, simulations numériques et expérimentaux afin de valider une/des solutions opérationnelles.

Ce travail s'appuiera sur l'expertise des équipes d'ALPAO, de l'Onera et du LAM, et sur les travaux antérieurs réalisés sur le sujet en commun. L'étudiant/e bénéficiera de l'accès aux moyens de simulations, aux bancs d'expérimentations et sur le terrain – en particulier à l'Observatoire de Haute Provence – fourni par ALPAO et le LAM pendant la durée de la thèse.

**Cette thèse CIFRE est entièrement financée**



### Présentation du Partenaire Privé :

ALPAO conçoit, fabrique et commercialise une gamme complète de produits d'optique adaptative pour la recherche et l'industrie depuis 2008. ALPAO fournit des miroirs déformables, senseurs de front d'onde et logiciels. Les produits ALPAO sont adaptés à différentes applications telles que l'astronomie, l'ophtalmologie, la microscopie, la communication optique sans fil et les technologies laser.

ALPAO a lancé de nombreux produits depuis sa création, tels que des miroirs déformable (DM), son propre senseur de front d'onde pour les opérations en boucle fermée, le DM97-08 dédié à l'ophtalmologie, un DM de grande taille (DMX) et un miroir déformable modal. Elle a aussi livré le plus grand miroir déformable européen fin 2018 qui comprend 3.228 actionneurs.

ALPAO est une société internationale avec des clients sur 4 continents dans plus de 20 pays. Plus de 90% de son chiffre d'affaires est réalisé à l'export avec des produits fabriqués en France. Issue des travaux menés au CNRS et à l'UGA, ALPAO possède un lien fort avec la communauté scientifique, et est impliquée dans de nombreux projets d'instruments pour l'astrophysique (VLT, EELT, CHARA...)

Plus d'informations [www.alpao.com](http://www.alpao.com)

### Présentation du Partenaire Public :

Le LAM (Laboratoire d'Astrophysique de Marseille), unité mixte de recherche du CNRS (INSU), d'Aix-Marseille Université et du CNES, est l'un des plus grands laboratoires (environ 190 personnes) de l'Observatoire de Marseille (Institut Pythéas). Le LAM associe la recherche fondamentale en astrophysique, et plus particulièrement les sciences planétaires, la détection et la caractérisation des planètes extrasolaires, la formation et l'évolution des galaxies, la cosmologie, à une recherche technologique de pointe en instrumentation. Les chercheurs du LAM mènent des programmes internationaux combinant observation, analyse, modélisation et théorie. Les compétences techniques de LAM en développement d'instrumentation reposent sur une expertise in-situ en conception optique et mécanique, des installations technologiques uniques en Europe et un centre de données astrophysiques (CESAM).

Plus d'informations [www.lam.fr](http://www.lam.fr)

Le LAM, et ALPAO sont aujourd'hui respectivement les laboratoires et la PME leader en développement d'Optique Adaptative. Les développements menés dans le cadre de ce projet commun permettront le transfert de connaissances et de compétences, et une synergie renforcée entre ces acteurs majeurs. Les débouchés attendus seront à la fois scientifiques (nouveaux algorithmes), mais aussi technologiques et industriels, et serviront pour proposer des nouveaux dispositifs.

### Profil recherché :

Étudiants d'école d'ingénieur, master en automatique, optique, astronomie, photonique.

### Modalité de candidature :

Merci d'envoyer votre CV, une lettre de motivation et le nom de 2 contact de références.