

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DOTA-2025-26**
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Centre de Salon de Provence /
Laboratoire d'Astrophysique de
Marseille (LAM)

Département/Dir./Serv. : PHY/DOTA/HRA

Tél. : 04.95.04.71.81

Responsable(s) du stage : Arnaud Striffling,
Jean-François Sauvage

Email : arnaud.striffling@onera.fr
jean-francois.sauvage@onera.fr

DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Maîtrise de la surface d'onde & Optique Adaptative

Type de stage : Fin d'études bac+5 Master 2 Bac+2 à bac+4 Autres

Intitulé : Dimensionnement d'un senseur pour l'analyse des non-linéarités de l'analyseur de surface d'onde pyramide pour l'optique adaptative

Sujet :

L'une des thématiques clés de l'astronomie moderne est l'imagerie directe des exoplanètes pour l'étude de la composition physico-chimique de leur atmosphère. Cet objectif nécessite de relever un défi technique ambitieux en termes de résolution angulaire, pour séparer l'exoplanète de son étoile, et de contraste, avec de rapports de flux entre les deux objets célestes allant de 10^7 à 10^9 .

La résolution angulaire est directement proportionnelle au diamètre du miroir primaire du télescope, ce qui fait des Very Large Telescopes (VLT) avec un miroir de 8 m ou le futur Extremely Large Telescope (ELT) avec un miroir de 39 m, et bien d'autres, des candidats parfaits pour approcher cet objectif. Toutefois ces télescopes terrestres souffrent de la présence de l'atmosphère et en particulier de la turbulence qui vient dégrader la qualité du front d'onde incident. La turbulence réduit la résolution angulaire de ces géants à celle d'un télescope amateur de quelques dizaines de centimètres. Il est donc nécessaire d'utiliser un système d'optique adaptative (OA) qui permet de corriger les effets perturbateurs introduits par la turbulence atmosphérique sur le front d'onde.

Le haut contraste est rendu possible par l'utilisation d'un coronographe, permettant de masquer les photons provenant de l'étoile. Les performances de ce dispositif sont maximisées lorsque les aberrations sont minimales, d'où le besoin d'une maîtrise du front d'onde à des niveaux nanométriques voire picométriques.

Un système d'optique adaptative est composé de trois composants clés : un miroir déformable (DM), un analyseur de surface d'onde (ASO) et un ordinateur temps réel (RTC). L'analyseur de surface d'onde convertit la phase du champ électro-magnétique qui est estimée par l'ordinateur temps réel à très haute cadence (de l'ordre du kilohertz). Ce dernier commande le miroir déformable pour compenser l'aberration de phase et donc aplanir le front d'onde afin de s'approcher de la limite de diffraction, limite physique inhérente au télescope, où la résolution angulaire maximale est recouverte.

L'analyseur de surface d'onde privilégié pour une application très haute résolution est le senseur pyramide, qui offre une sensibilité accrue par rapport à un analyseur type Shack-Hartmann. Néanmoins, elle vient au prix d'un comportement non-linéaire pouvant entraîner une mesure biaisée de la phase. L'utilisation d'une caméra (dite *gain sensing camera* - GSC) judicieusement intégrée dans le système d'optique adaptative permet de nourrir un modèle analytique, estimant ainsi les non-linéarités de premier ordre (appelées gains optiques) de la pyramide.

La maîtrise des non-linéarités est un enjeu crucial dans le cas où la pyramide serait utilisée hors de son zéro. L'introduction de phases statiques ou dynamiques maîtrisées dans le système d'OA peut s'avérer utile. Par exemple, il est possible de compenser les aberrations non-communes. Ce sont des aberrations différentielles entre la voie d'analyse de surface d'onde et la voie de l'instrument d'imagerie astronomique, dues à des différences de chemin optique. Leur compensation permet de minimiser les aberrations de phase au niveau de l'instrument astronomique et non au niveau de l'ASO. Il est également possible d'introduire des *dark-hole*, qui sont des cartes de phase qui permettent de venir augmenter localement le contraste à l'endroit où l'exoplanète est supposée se trouver. Un dernier exemple est la maîtrise d'un tip/tilt absolu pour faire de l'injection fine de la lumière dans une fibre optique monomode reliée à un spectrographe.

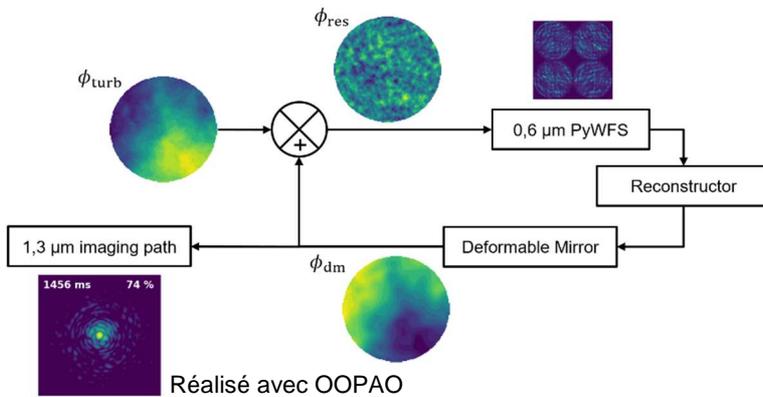
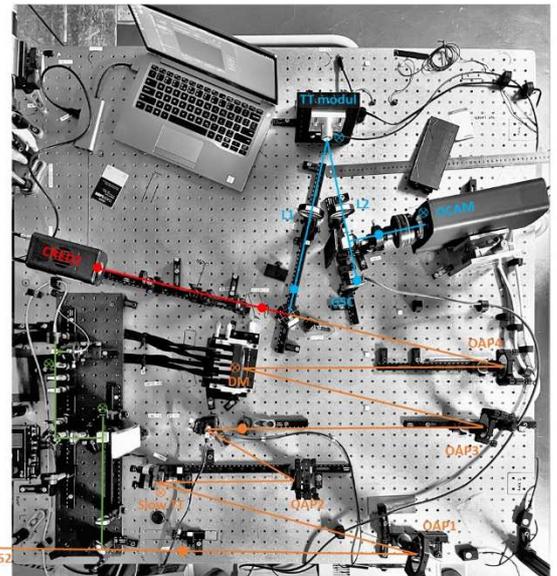


Figure - En haut à gauche : télescope T152 (1.52 m de diamètre) à l'Observatoire de Haute Provence ; en bas à gauche : boucle typique d'optique adaptative avec un analyseur type Pyramide ; à droite : banc d'optique adaptative PAPHYRUS monté au foyer coudé du T152.

L'ONERA dispose d'un banc d'optique adaptative installé sur le télescope T152 à l'Observatoire de Haute-Provence (OHP). Ce banc a été conçu puis amélioré au fil des années majoritairement par des étudiants et se veut être une plateforme pédagogique mais également un démonstrateur pour les technologies de pointe développées à l'ONERA. Il dispose notamment d'une pyramide ainsi que d'une GSC, cette dernière devant être bientôt remplacée pour un modèle plus performant.

Les objectifs du stage sont les suivants :

- Mener une étude paramétrique en simulation de la mesure des gains optiques avec une GSC à l'aide des bibliothèques python existantes à l'ONERA.
 - o Le projet OOPAO® (<https://github.com/cheritier/OOPAO>) permet de simuler un système d'OA complet, avec de nombreux paramètres déjà implémentés et validés.
 - o Il s'agit de lancer différentes simulations en faisant varier des paramètres permettant de vérifier la qualité d'estimation des gains optiques. Ces paramètres sont dictés par la caméra ainsi que son intégration optique (champ de vue, échantillonnage, taille des pixels sur ciel, erreur de quantification, rapport signal à bruit, vitesse d'acquisition, gain, etc).
- Explorer les limites de l'opération de la pyramide en dehors de son zéro dans différents cas de figure.
 - o Maîtrise d'un tip/tilt pour l'injection dans un spectrographe fibré.
 - o Compensation des aberrations non-communes pour optimiser la qualité du front d'onde.
 - o Introduire des cartes de *dark-hole* pour faire du haut contraste.
- Participer à l'intégration d'une nouvelle caméra sur le banc PAPHYRUS.
- Valider les cas étudiés en simulation lors de campagne d'observation sur le banc PAPHYRUS.

Le stage se **déroulera entièrement au Laboratoire d'Astrophysique de Marseille**, avec des missions à l'OHP (trajet, hébergement, restauration, pris en charge).

Est-il possible d'envisager un travail en binôme ? Non

Méthodes à mettre en oeuvre :

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Recherche théorique | <input checked="" type="checkbox"/> Travail de synthèse |
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche appliquée | <input type="checkbox"/> Travail de documentation |
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche expérimentale | <input type="checkbox"/> Participation à une réalisation |

Possibilité de prolongation en thèse : Non

Durée du stage :

Minimum : 4 mois

Maximum : 5 mois

Période souhaitée : Mars - Juillet 2025

PROFIL DU STAGIAIRE

Connaissances et niveau requis :

Optique de Fourier, Analyse de données,
Connaissance en python

Ecoles ou établissements souhaités :

Engineering school of Optics, Master in Astronomy,
Master in Instrumentation, Optics, Physics

GEN-F218-4