

Invitation à la soutenance de thèse

COUPLAGE DE L'OPTIQUE ADAPTATIVE ET D'INSTRUMENTS A HAUT
CONTRASTE : APPORT DES ANALYSEURS A FILTRAGE DE FOURIER
ASSISTES EN PLAN FOCAL

COUPLING OF ADAPTIVE OPTICS AND HIGH CONTRAST INSTRUMENTS:
THE BENEFIT OF FOCAL PLANE ASSISTED FOURIER FILTERING WAVE-
FRONT SENSORS

Arnaud Striffling

Mercredi 10 décembre 2025 à 10h

Laboratoire d'Astrophysique de Marseille - Amphithéâtre du LAM
38 Rue Frédéric Joliot Curie, 13013 Marseille

Devant le jury composé de :

Enrico Pinna	INAF Arcetri	Rapporteur
Jean-Pierre Véran	Herzberg Astrophysics	Rapporteur
Charlotte Bond	UKATC	Examinatrice
Simone Esposito	INAF Arcetri	Examineur
Timothy Morris	Durham University	Examineur
Olivier Lai	Laboratoire Lagrange	Examineur
Jean-François Sauvage	ONERA-DOTA-HRA	Co-Directeur de Thèse
Alexis Carlotti	IPAG	Invité, Co-Directeur de Thèse
Magali Deleuil	LAM	Présidente du Jury

Résumé :

L'imagerie directe et l'étude des atmosphères d'exoplanètes représentent un défi majeur pour l'astronomie au sol. La séparation angulaire entre l'étoile et la planète est de l'ordre d'une fraction de seconde d'arc, et le très faible rapport de flux, allant de 10^{-6} et 10^{-10} , impose l'utilisation d'instruments à haute résolution angulaire et à haut contraste. Né d'une collaboration européenne, l'Extremely Large Telescope (ELT), actuellement en construction au Chili, devrait pouvoir relever ce défi grâce à son pouvoir de résolution de 3,5 millisecondes d'arc dans le visible, conféré par son miroir primaire colossal de 39 m de diamètre. Toutefois, la surface de l'onde lumineuse est déformée au fur-et-à-mesure qu'elle traverse l'atmosphère – par l'action de la turbulence –, altérant la qualité d'imagerie du télescope et entraînant la perte de sa résolution angulaire. L'ajout d'un étage d'optique adaptative extrême (XAO), utilisant un analyseur de surface d'onde (ASO) en amont de l'instrument scientifique, permet de corriger la quasi-totalité des aberrations issues de la turbulence et de retrouver une qualité optique à la limite de diffraction. Le faisceau ainsi corrigé peut alimenter – notamment via fibre optique monomode – des instruments à haut contraste ou à haute résolution spectrale, indispensables à la caractérisation d'exoplanètes en imagerie directe.

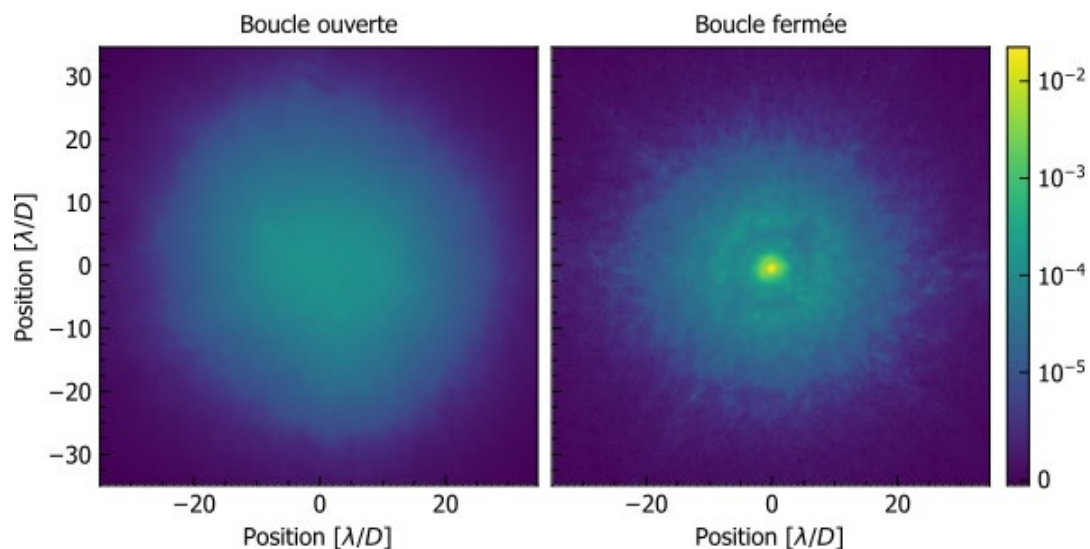
Les performances atteintes par ces systèmes sont désormais si élevées qu'elles sont limitées par des termes du budget d'erreur jusqu'ici marginaux. C'est notamment le cas des aberrations de chemins non communs (Non-Common Path Aberrations, NCPA), i.e. des aberrations différentielles entre l'ASO et l'imageur, intégralement projetées sur ce dernier lorsque l'optique adaptative (OA) est active. Si différentes approches existent pour compenser ces NCPA – comme l'utilisation d'une lame de phase statique ou d'un miroir déformable en boucle ouverte non vu par l'ASO – cette thèse explore leur compensation via une modification contrôlée du point de fonctionnement de l'ASO, en étendant l'usage jusqu'ici réservé aux ASOs de type Shack-Hartmann aux analyseurs à filtrage de Fourier comme l'analyseur à Pyramide.

Les exigences de correction extrême ont conduit la communauté instrumentaliste à se tourner vers des ASO réputés pour leur très haute sensibilité : les analyseurs à filtrage de Fourier. Cette sensibilité accrue est obtenue au prix d'un comportement non linéaire, entraînant une complexité particulière lorsque l'ASO ne fonctionne pas autour de son point de consigne nominal, ainsi qu'une perte de performance. Au premier ordre, ces non-linéarités se traduisent par une perte de sensibilité mode à mode, caractérisée par les gains optiques. Leur connaissance est cruciale pour opérer un ASO à filtrage de Fourier – tel que l'analyseur à pyramide – hors de son point de fonctionnement linéaire. Cette thèse présente une validation expérimentale, réalisée sur la plateforme d'optique adaptative PAPYRUS, du concept jusqu'ici théorique de la Gain Scheduling Camera, permettant une estimation fiable et trame à trame de ces gains optiques.

La validation de ce concept comme méthode robuste a permis par ailleurs d'explorer plus en profondeur les possibilités offertes par l'introduction contrôlée d'aberrations. Outre la correction des NCPA, la maîtrise d'un tip-tilt absolu favorise une injection optimale en fibre optique, tandis que la génération de cartes de dark-hole permet d'augmenter localement le contraste en plan focal, condition essentielle à l'imagerie directe d'exoplanètes.

Mots clés :

Optique adaptative, analyse de surface d'onde, haut contraste



Performance de l'optique adaptative obtenue sur le banc PAPYRUS