

PROPOSITION DE POST-DOCTORAT

Intitulé : Toward on-sky demonstration of a Fourier-Filtered WFS for High Performance AO systems

Référence : **PDOC-DOTA-2020-02**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début du contrat : janvier 2021

Date limite de candidature : novembre 2020

Durée : Durée 9 mois (post doc ONERA) prolongeable possible de deux ans dans le cadre de l'ANR WOLF - Salaire net : environ 25 k€ annuel

Mots clés

Adaptive optics, Extremely Large Telescopes, Wavefront Sensing, High contrast Imaging,

Profil et compétences recherchées

Profil PhD in Physics

- Compétences : Astronomie, instrumentation, Optique Adaptative, traitement du signal et des images
- Capacité de publication attestée.

Présentation du projet post-doctoral, contexte et objectif

Contexte : L'astronomie européenne s'apprête à relever l'un des plus grands défis instrumentaux jamais imaginés : la construction de l'ELT (Extremely Large Telescope, Tamai et al. 2018), un télescope de 39 m de diamètre, dont la mise en opération est attendue fin 2025. Comparé à l'état de l'art de l'astronomie au sol que représente par exemple les télescopes du VLT (Very Large Telescope), la capacité collectrice plusieurs fois décuplée de ce futur télescope géant ainsi que son pouvoir de résolution théorique cinq fois plus grand permettront des percées majeures dans des domaines clefs de l'astrophysique comme l'étude de la formation des premières galaxies ou la recherche de planètes extra-solaires dans la zone habitable de leur étoile hôte (Kissler-Patig 2010).

Un des plus grands challenges astrophysiques et technologiques de l'ELT est l'imagerie directe de planètes extrasolaires telluriques. Le contraste ultime nécessaire à cette détection (la planète est un milliard de fois plus faible que son étoile hôte) combiné à l'utilisation d'un télescope aux dimensions astronomiques requièrent des changements de paradigme majeurs au niveau de l'instrumentation et de l'Optique Adaptative (OA). Ces changements passent par la compréhension fine du fonctionnement d'une optique adaptative dans des conditions extrêmes (en terme de nombre de degrés de liberté et de performance) et par la maîtrise totale de l'instrumentation de première lumière de l'ELT.

En parallèle, des concepts instrumentaux toujours plus ambitieux voient le jour sur le VLT nécessitant des optiques adaptatives de plus en plus performantes et surtout de plus en plus robustes. Dans des contextes différents comme la surveillance de l'Espace (imagerie de satellites, gestion et sécurisation de l'environnement spatial) ou les télécommunications optiques (FSO, Free Space Optics), des besoins présentant des points communs existent : le besoin en haut contraste pour l'identification de petits satellites espions (en particulier dans l'environnement proche de satellites de télécommunication) ou encore le besoin de robustesse au changement de conditions lors de l'opération pour l'imagerie et les liens télécom (non-stationnarité des phénomènes turbulents liés au changement rapide d'élévation du satellite).

Les équipes de l'ONERA et du LAM sont fortement impliquées à la fois dans les projets d'instruments de l'ELT au sein desquels elles sont en charge du développement de leurs systèmes d'OA, du VLT et pour l'ONERA dans les projets d'observation de l'Espace et de FSO. Face à leur

complexité inédite, nos équipes auront à relever des challenges à tous les stades de leur développement, depuis leur conception jusqu'à leur opération sur le ciel en passant par les étapes intermédiaires clefs de validations expérimentales et d'optimisation pour prendre en compte les spécificités liées à leurs dimensions et leur environnement unique.

En parallèle, les mêmes instituts se sont lancés, dans le cadre de l'ANR WOLF, dans le développement d'analyseurs de surface d'onde innovants pour permettre de répondre aux défis posés par la recherche de la performance ultime (des précisions de mesure nanométriques). Ces développements se basent sur le principe d'analyseurs à filtrage de Fourier (Fauvarque, 2017) dont le senseur à contraste de phase de Zernike (Zernike, 33) ou le senseur Pyramide (Ragazzoni, 96) sont deux des exemples les plus connus. Les travaux ont pour but de concevoir et tester les futurs analyseurs qui seront les briques de base du futur « planet finder » de l'ELT mais aussi de démontrer leurs capacités opérationnelles et leur adaptabilité aux conditions d'utilisation et d'opération.

Enfin, pour accompagner les développements des instruments de première lumière et préparer les validations expérimentales sur le ciel des senseurs innovants produits par WOLF, le LAM s'engage dans une démonstration sur le ciel d'une OA avec un analyseur pyramide (expérience PAPYRUS) à l'Observatoire de Haute Provence. Ce moyen de prototypage et de démonstration sur le ciel va permettre à la fois d'étudier le comportement des analyseurs dans des régimes de fonctionnement jusque-là inédits et de développer les procédures d'étalonnage et d'opération qui permettront leur utilisation dans des systèmes opérationnels. Ce banc servira évidemment les besoins astronomiques mais serait aussi à terme, une excellente plateforme de tests pour les futurs développements de concepts d'OA pour la surveillance de l'espace, ces concepts ayant évidemment alors pour vocation à être implantés dans des systèmes opérationnels

Dans ce cadre collaboratif et scientifique unique, le post doc sera au cœur des développements expérimentaux et théoriques qui seront les pierres angulaires de la future génération d'instruments à très haute résolution angulaire du VLT et de l'ELT. Au-delà de l'astronomie, les travaux proposés trouveront des applications directes dans d'autres domaines tels que la défense (observation de satellite, sécurisation de l'espace) et des télécommunications sol-satellite à très haut débit.

Objectifs scientifiques: Les objectifs du projet de post doctorat sont donc la mise en œuvre en laboratoire et sur le ciel d'un système d'OA avec un senseur Pyramidal ou à filtrage de Fourier. Ceci permettra de préparer les futurs instruments à très haute résolution angulaire du VLT (SPHERE+, GRAVITY+) et de l'ELT (PCS) ainsi que les futurs systèmes de surveillance de l'espace pour la défense.

La méthodologie adoptée consiste à participer à l'intégration d'un système d'OA à grande densité d'actionneurs sur le télescope d'1m52 de l'OHP, et de mener une validation de performances sur le ciel. Il sera alors possible de travailler dans des conditions très différentes pour étudier à la fois les performances ultimes du senseur pyramidal mais aussi son comportement dans des conditions fortement variables et fortement perturbées. Si atteindre la performance ultime est critique pour les applications nécessitant un très haut contraste, la robustesse des systèmes d'OA devient un enjeu majeur pour l'ensemble des applications de l'OA. Les analyseurs à filtrage de Fourier sont par nature très agiles et donc les meilleurs candidats pour permettre d'atteindre simultanément les 2 objectifs

L'accès au ciel à l'OHP avec un système d'OA à l'état de l'art en termes de composants et de concepts va permettre d'étudier des domaines de fonctionnement de la boucle d'OA et des analyseurs de surface d'onde inédit jusque-là. Ainsi le degré de correction (défini par le nombre de point de mesures sur la surface du primaire du télescope) sera dans le cas de PAPYRUS 2 fois supérieur à celui de SPHERE au VLT. Ceci permettra donc de se projeter sur le plus long terme et de comprendre finement les performances d'un système d'OA dans un régime de correction extrême. Une fois complètement maîtrisée, elle permettra de tester dans des conditions réalistes les nouveaux senseurs de front d'onde (en particulier la pyramide plate, Fauvarque et al., 2015) qui seront les fondations du futur « Planet Finder » de l'ELT. Le niveau de correction ultime et la

connaissance acquise sur le ciel nous permettra en outre de revisiter et d'optimiser la fois les architectures de mesure et de correction de l'OA mais aussi ces procédures d'étalonnage et d'opération pour gérer les problématiques de non-stationnarités et robustesse liées à l'évolution rapide des conditions de turbulence lors de l'observation.

Ainsi, les études proposées ici ont pour but à la fois de consolider la performance et les travaux menés actuellement par l'ONERA et le LAM sur l'instrumentation de première lumière de l'ELT et dans le domaine de l'observation de l'espace pour la défense, mais aussi de préparer le futur et de nous positionner comme des partenaires majeurs des instruments de 2ème et 3ème génération sur l'ELT.

Description du sujet : Plus spécifiquement, les problématiques clefs à résoudre dans le cadre de ce projet de recherche sont :

- L'étalonnage en ligne de la réponse non-linéaire de l'analyseur pyramide et plus généralement des analyseurs à filtrage de Fourier, sous la forme de gains modaux en fonction des conditions de turbulence et du flux de photons (Déo et al. 2018, Fauvarque et al. 2019)
- L'identification pendant les observations de la matrice d'interaction du miroir déformable et des paramètres clés de la boucle d'OA par ajustement d'un modèle approprié (Heritier et al. 2018).
- La mise en œuvre sur le ciel d'un analyseur de type Pyramide Plate (ou d'un autre analyseur à filtrage de Fourier issu des travaux menés dans WOLF) jusqu'à son test sur le ciel et la validation de ses performances.

Le travail du/de la post doctorant(e) sera dans un premier temps d'être au cœur de l'expérience sur le ciel. Il participera ainsi au sein des équipes du LAM et de l'ONERA, aux tests de performances de l'analyseur pyramide et de la boucle d'OA. Il maîtrisera l'expérience pour ensuite pouvoir la modifier pour y intégrer de nouveaux composants concepts à valider et tester. En particulier, il intégrera une Pyramide plate et démontrera l'apport de ce concept sur la performance ultime sur le ciel. Puis il développera (en lien fort avec les équipes travaillant sur l'observation de l'espace) des nouvelles procédures d'observation et d'étalonnage temps réel. Spécifiquement dédiés aux analyseurs à filtrage de Fourier, elles devront permettre une opération optimale en présence de conditions hautement variables et potentiellement fortement dégradées.

Le/la post doctorant(e) appliquera ensuite l'expérience unique acquise sur le ciel pour améliorer les systèmes en cours de réalisation (HARMONI sur l'ELT, SPHERE+ ou GRAVITY+ sur le VLT) et préparer les futurs concepts qui permettront la réalisation des nouvelles générations d'instruments à très hautes performances pour l'ELT ou la défense.

Bibliography :

- Ciliigi et al., Proceedings of the SPIE, vol. 10703, id. 1070311, 10 pp. (2018)
Clénet Y. et al., Proceedings of the SPIE. vol. 10703, id. 1070313, 11 pp. (2018)
Davies R. et al., Proceedings of the SPIE, vol. 10702, id. 107021S, 12 pp. (2018)
Déo V. et al., Proceedings of the SPIE. vol. 10703, id. 1070320 18 pp. (2018)
Fauvarque O. et al, Optics Letters (2015)
Fauvarque O. Thèse, 2017
Fauvarque O et al, JOSAA (2019)
Gratadour D. et al., Proceedings of the AO5ELT5 conference, DOI: 10.26698/AO4ELT5.0108 (2017)
Heritier C et al, JATIS (2018)
Kissler-Patig M., Proceedings of the first AO4ELT conference, , (2010)
Ragazzoni R., Journal of Modern Optics, vol. 43, no. 2, 289 – 293 (1996)
Tamai R. et al., Proceedings of the SPIE. vol. 9906, pp. 99060W. (2016)
Thatte N. et al., ., Proceedings of the SPIE, vol. 10702, id. 99081X 11 pp. (2016)
Zernike F, MNRAS, vol 94 (1933)

Collaborations extérieures

LAM (Observatoire de Marseille), Université de Porto, Keck, INAF-Arcetri et Université de Durham dans le cadre de l'ANR WOLF et des projets ELT.

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : DOTA

Lieu (centre ONERA) : Chatillon (ONERA) et Laboratoire d'Astrophysique de Marseille

Contact : Thierry Fusco, Jean-Francois Sauvage & Benoit Neichel

Tél. : 0662484836

Email : thierry.fusco@onera.fr, jean-francois.sauvage@onera.fr,

benoit.neichel@lam.fr