

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Couplage de l'optique adaptative et d'un mode haut contraste pour l'ELT : performance et opération

Référence : **PHY-DOTA-2022-17**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : Octobre 2022

Date limite de candidature : Juin 2022

Mots clés :

Télescope Géants, Optique Adaptative, Imagerie à Haut Contraste

Profil et compétences recherchées :

Ecole d'ingénieur en optique, master d'instrumentation et d'astronomie, Optique, Physique

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 2026. 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 la recherche de planètes extra-solaires dans la zone habitable de leur étoile hôte (Kissler-Patig 2010).

L'imagerie de planètes extra-solaires est un domaine instrumental ambitieux de l'astronomie actuelle. Pour atteindre les performances requises, les instruments d'imagerie à haut contraste sont des instruments dédiés, spécialisés, et à haute performance optique. Ce besoin se traduit par le couplage d'un système d'optique adaptative (permettant la correction en temps-réel d'aberrations optiques) à des instruments de haut contraste (permettant d'atténuer la lumière stellaire au profit de celle de la planète), installés sur des grands télescopes (on peut citer les instruments GPI, SPHERE, RISTRETTO, HARMONI, PCS).

Dans un tel instrument, le but pour l'Optique Adaptative (OA) est de maîtriser le front d'onde à des niveaux nanométriques, en particulier sur des formes complexes de front d'onde allant au-delà de la seule correction de la turbulence atmosphérique pour prendre en compte les défauts induits par le télescope (allant jusqu'à proposer des structures spécifiques pour s'affranchir de la limite imposée par la diffraction du miroir primaire télescope).

Le système à haut-contraste (HC), pour être performant, doit inclure son propre analyseur de surface d'onde permettant de mesurer les résidus d'aberration au plus près du composant atténuateur (le coronographe). SPHERE a été un précurseur de ce type d'instrument, incluant une correction de tip-tilt dynamique permettant de centrer l'étoile précisément sur le coronographe.

Il est primordial pour ces deux briques (OA et HC) de fonctionner en harmonie complète et d'œuvrer de concert pour délivrer le meilleur contraste possible *in fine* et permettre, à terme, d'observer des planètes telluriques avec l'ELT.

Objectifs :

L'objectif de la thèse est de définir les modalités de mise en œuvre d'un mode haut-contraste sur un télescope géant, et ses limites fondamentales.

Défis scientifiques instrumentaux : le point clé dans cette thèse est d'étudier l'interaction entre un système d'OA de premier étage et un bras haut contraste. Le couplage propre de ces deux étages n'a jamais été étudié, et il est nécessaire d'explicitier clairement les rétroactions entre le contraste (critère final de qualité du Haut Contraste) et la variance de phase (critère de qualité habituel de l'OA). Les questions de calibration, de robustesse de boucle doivent être également revisités, chaque point pouvant être testé sur banc.

Principales étapes : Il s'agira dans un premier temps d'étudier la manière optimale de coupler les mesures spécifiques d'un bras haut contraste et d'un mode SCAO. Les défis de cette première analyse viennent de la différence structurelle entre les mesures provenant du bras haut contraste (mesures lentes, différentielles, et à haute fréquence spatiale) et celles au cœur du système SCAO (mesures rapides à

hautes fréquences spatiales fortement non-linéaires assurées par un analyseur pyramidal, et des mesures bas ordre et lentes). Si une proposition théorique existe aujourd'hui dans le cas de l'instrument HARMONI, aucune mise en œuvre pratique (simulation, banc) n'a été étudiée aujourd'hui. Les limites fondamentales de ce mode sont donc à défricher. Dans le cas de l'instrument SPHERE, seuls les très basses fréquences spatiales sont corrigées à une cadence extrêmement faible (une fois par jour). Le cadre de cette thèse apporte donc un espace de paramètres totalement nouveau.

Dans un deuxième temps, l'étudiant.e s'intéressera à des défauts spécifiques attendus sur les instruments à haut contraste des télescopes géants et à des approches optimisées pour les mesurer et les prendre en compte dans la boucle d'OA principale. Il considèrera d'abord les défauts de type « dome seeing » introduits par la structure mécanique du télescope (connus sous le nom de Low Wind Effect) qui sont susceptibles d'atteindre plusieurs micromètres sur l'ELT, ce qui aura un effet catastrophique pour les performances du haut contraste. De manière générale, les télescopes géants ont une structure segmentée qui génère des aberrations complexes à mesurer et donc à contrôler. Ces aberrations sont particulièrement impactantes dans un système à haut contraste. Leur mesure et correction par la boucle principale d'OA est un prérequis essentiel. Il s'agira ici à la fois d'optimiser la mesure produite par le senseur de 2^{ème} étage Zelda et son interaction avec le premier étage d'OA. Ensuite d'autres types d'interactions multi-étages pourront être considérées dans l'imagerie à hauts contrastes. En particulier celle-ci fait appel à des cartes de front d'onde spécifiques appelées aberrations de Dark Hole. La prise en compte de ces aberrations de hauts ordres permet d'annuler quasi-intégralement la lumière dans une zone donnée du plan focal. Il est primordial pour un système d'OA d'être capable de contrôler ces aberrations, et de les maintenir à la plus haute précision possible (typiquement nanométrique) pour garantir le contraste final de l'instrument, surtout en présence de turbulence atmosphérique résiduelle (de l'ordre de plusieurs centaines de nanomètres).

La thèse abordera la problématique à la fois du point de vue théorique pour estimer les performances ultimes des différentes approches proposées, puis les validera dans un cadre de simulations complètes de l'instrument pour en déduire en particulier les besoins en étalonnage croisés pour les 2 étages de mesure / correction. Enfin, le tout sera validé expérimentalement sur des bancs de tests disponibles à la fois à l'IPAG et au LAM. Le travail mené pendant cette thèse sera appliqué en priorité au mode Haut-Contraste de l'instrument HARMONI avec une ouverture pour les instruments de seconde génération pour l'ELT, spécialisés vers les très hauts niveaux de correction (Planetary Camera and Spectrograph, l'équivalent de SPHERE pour l'ELT). Explorer les limites des instruments de première génération dont HARMONI fait partie est la clé pour adresser les défis de la seconde génération.

Cette thèse bénéficiera de moyens de simulations et expérimentaux existants à la fois au LAM et à l'IPAG. En particulier on peut citer les prototypes du module haut contraste existant déjà à l'IPAG (développés dans le cadre de l'ERC EXACT) et les bancs expérimentaux d'Optique Adaptative à pyramide existant au LAM (le banc LOOPS au LAM, le système PAPYRUS sur le ciel à l'OHP).

Collaborations envisagées :

IPAG, ESO, Université d'Oxford

Laboratoire d'accueil à l'ONERA :

Département : Département d'Optique et Techniques Associées

Lieu (centre ONERA) : Salon de Provence

Contact : Jean-François Sauvage

Tél. : 06 63 57 35 40 Email : jean-francois.sauvage@onera.fr

Directeur de thèse :

Nom : Sauvage Jean-François

Laboratoire : ONERA SdP

Nom : Carlotti Alexis

Laboratoire : IPAG Grenoble

Email : alexis.carlotti@univ-grenoble-alpes.fr

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>