

## PROPOSITION DE SUJET DE THESE

**Intitulé : Optique Adaptative tomographique et super résolution pour les télescopes géants : de la théorie à la mise en œuvre expérimentale**

Référence : **PHY-DOTA-2022-18**  
(à rappeler dans toute correspondance)

**Début de la thèse** : Octobre 2022

**Date limite de candidature** : Juillet 2022

**Mots clés :**

Télescope Géants, Optique Adaptative, Tomographie

**Profil et compétences recherchées :**

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

**Présentation du projet doctoral, contexte et objectif :**

**Contexte** : L'astronomie européenne s'apprête à relever l'un des plus grands défis instrumentaux jamais imaginé : 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 des domaines clés 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 (Ramsay 2010).

Dans ce contexte, le LAM et l'ONERA développent ensemble les optiques adaptatives qui vont équiper le spectro-imageur de première lumière de l'ELT HARMONI. Une spécificité essentielle d'HARMONI sera d'avoir accès à l'ensemble du ciel avec une très haute résolution spatiale et spectrale et permettre ainsi des avancées astrophysiques uniques concernant la compréhension de la naissance et de l'évolution des galaxies dans l'univers primordial. Cette double contrainte instrumentale (haute résolution et accès à l'ensemble de la voûte céleste) nous a conduit à proposer le concept d'Optique Adaptative Tomographique assistée par Laser (ou Laser Tomographic AO system [LTAO] en anglais).

Ce type d'instrument combine la génération de plusieurs (jusqu'à six) Etoiles artificielles générées par des lasers de forte puissance (> 20 W de puissance en sortie) avec une reconstruction tomographique de l'ensemble du volume de turbulence situé au-dessus du télescope (entre 0 et typiquement 20 km d'altitude). Si le concept d'OA tomographique lui-même a été proposée depuis maintenant plusieurs décennies (Beckers-1988, Ellerbrook-1994, Fusco-2001), la mise en œuvre pratique et opérationnelle sur des télescopes astronomiques de 8m de diamètre est toute récente (Rigaut-Neichel 2018, Oberti-2018). Son application à un télescope géant de 39m de diamètre pose de nouveaux défis liés à la complexité du télescope lui-même combinées aux besoins en performances toujours plus importants imposés par les objectifs scientifiques de plus en plus ambitieux associés à ces géants de l'astronomie moderne.

**Objectifs** : L'objectif de la thèse est de proposer des solutions alternatives et innovantes aux problèmes clés identifiés dans le cadre de l'application d'OA tomographique sur les télescopes géants. Il s'agira dans un premier temps d'étudier l'apport du concept d'analyseur de front d'onde super-résolu proposé récemment en OA (Oberti-2019, Fusco-2021) et son application pratique dans le cadre de la LTAO. Inspiré de la super-résolution en imagerie où l'on acquiert plusieurs données d'un même objet avec des décalages sub-pixéliques pour remonter, après traitement numérique, à une information à très haute résolution spatiale, le concept de super-résolution en analyse de front d'onde utilise la présence de plusieurs étoiles guides et la répartition naturelle de la turbulence en altitude pour synthétiser des données de front d'onde super-résolues, c'est-à-dire donnant accès à des fréquences spatiales de la phase supérieures à celles accessibles par chaque analyseur individuel. Ce concept, proposé récemment, peut conduire à un changement de paradigme dans la façon de définir et concevoir les systèmes d'OA. Toutefois, avant d'appliquer le concept à des instruments opérationnels, il est nécessaire à la fois de maîtriser l'ensemble de la chaîne de mesure et de reconstruction de la phase super-résolue, les contraintes liées au télescope et aux perturbations spécifiques induites par ce dernier, les étalonnages nécessaires et *in fine* les limites à la fois technologiques et fondamentales associées à cette approche innovante. Cette compréhension fine de la mesure de front d'onde super-résolue passera par une analyse théorique, des simulations numériques les plus représentatives possibles et une validation expérimentale sur un banc spécifique actuellement en cours de

développement au LAM (bancs « Laser Guide Star WaveFront Sensor [LGS-WFS] » et LOOPS). L'étudiant.e sera amené.e à modifier et compléter les bancs LGS-WFS et LOOPS pour les rendre compatibles avec une validation expérimentale du concept de super résolution et des procédures d'étalonnage et d'opérations associées.

L'étudiant.e s'appuiera sur les développements déjà menés dans le cadre des phases de dimensionnement des projets ELT qui ont permis d'avoir une description fine et une compréhension complète de la problématique de la Tomographie Laser pour les télescopes géants (projet HARMONI en particulier). Améliorer les solutions déjà proposées pour les instruments de l'ELT, ou proposer des concepts alternatifs, sera d'une importance pour l'ensemble des futurs instruments de l'ELT. L'étudiant.e aura accès à l'ensemble des moyens du centre CELTIC (laboratoire commun LAM/ONERA pour l'Optique Adaptative) et de l'ANR WOLF (<https://anr-wolf.com/>) avec en particulier les bancs de laboratoire LGS-WFS, LOOPS et le système d'OA PAPHYRUS installé sur le télescope d'1.52m de l'OHP.

Les développements proposés serviront naturellement au projet HARMONI mais pourront être étendus aux futurs systèmes d'OA tomographiques qui verront le jour dans la décennie (projets MAVIS sur le VLT, KAPPA sur le Keck, GNAO sur Gemini, MAORY et MOSAIC sur l'ELT pour ne citer que les principaux).

**Bibliographie :**

- Tamai et al 2018 « The ESO's ELT construction status », R. Tamai, et al, *Proceedings Volume 10700, Ground-based and Airborne Telescopes VII*; 1070014 (2018) <https://doi.org/10.1117/12.2309515>.
- Ramsay 2010 "An overview of the E-ELT instrumentation programme" S. Ramsay et al, *Proceedings Volume 7735, 773524* (2010) <https://doi.org/10.1117/12.857037>.
- Beckers 1988 "Increasing the Size of the Isoplanatic Patch with Multiconjugate Adaptive Optics", *Proceedings of a ESO Conference on Very Large Telescopes and their Instrumentation*, 1988.
- Ellerbroek 1994 "First-order performance evaluation of adaptive-optics systems for atmospheric-turbulence compensation in extended-field-of-view astronomical telescopes", B Ellerbroeck, *Journal of the Optical Society of America A*, Vol. 11, No. 2, p. 783 - 805 [10.1364/JOSAA.11.000783](https://doi.org/10.1364/JOSAA.11.000783).
- Fusco-2001 "Optimal wave-front reconstruction strategies for multiconjugate adaptive optics." Fusco T, Conan JM, Rousset G, Mugnier LM, Michau V, *Journal of the Optical Society of America. A, Optics, Image Science, and Vision*, 01 Oct 2001, 18(10):2527-2538 DOI: 10.1364/josaa.18.002527.
- Rigaut-Neichi-2018 "Multiconjugate Adaptive Optics for Astronomy, F Rigaut, B Neichel *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* Vol. 56:277-314, 2018 <https://doi.org/10.1146/annurev-astro-091916-055320>.
- Madec 2018 "Adaptive Optics Facility: from an amazing present to a brilliant future..." P.-Y. Madec et al *Proceedings Volume 10703, Adaptive Optics Systems VI*; 1070302 (2018) <https://doi.org/10.1117/12.2312428>.
- Oberti-2019 "LGS tomography and spot truncation: tips and trick" S Oberti, et al *6th International Conference on Adaptive Optics for Extremely Large Telescopes, AO4ELT 2019*, Jun 2019, Québec, Canada. ([hal-02614170](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02614170)).
- Fusco-2019 "A story of errors and bias: The optimization of the LGS WFS for HARMONI T Fusco, et al *6th International Conference on Adaptive Optics for Extremely Large Telescopes, AO4ELT 2019*, Jun 2019, Québec, Canada. ([hal-02614170](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02614170)).

**Collaborations envisagées :**

Univ of Durham, UK-ATC, IPAG, INAF-Arcetri, ESO

**Laboratoire d'accueil à l'ONERA :**

Département : Département d'Optique et Techniques Associées

Lieu (centre ONERA) : Salon de Provence

**Contact :** Thierry FUSCO

Tél. : 06 62 48 48 36 Email : [thierry.fusco@onera.fr](mailto:thierry.fusco@onera.fr)

**Directeur de thèse :**

Nom : Benoit Neichel

Laboratoire : LAM

Tél. :

Email : [benoit.neichel@lam.fr](mailto:benoit.neichel@lam.fr)

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