CENTRE DE RECHERCHE ASTROPHYSIQUE DE LYON

Centre de Recherche Astrophysique de Lyon
UMR 5574

Proposition de stage de Master 2 Recherche
Année académique 2026 – 2027

Responsable de stage : Clémentine BÉCHET

@ : Clementine.Bechet@univ-lyon1.fr ☎ :

Adresse/Lieu du Stage : CRAL - site Charles André : 9 avenue C. André, St Genis Laval

Équipe de recherche d'accueil : AIRI

Intitulé du stage : Optique adaptative de l'European Solaire Telescope (EST): Optimisation de la reconstruction de front d'onde en prenant en compte l'araignée et la rotation de la pupille.

Résumé du travail demandé :
Afin de pouvoir étudier les mécanismes de connectivité magnétique entre la photosphère et la chromosphère à la surface du Soleil, le Télescope Solaire Européen (European Solar Telescope) sera équipé d'optiques adaptatives (OA) de hauts ordres. On s'intéresse dans ce stage à l'OA classique qui équipera l'EST, c'est à dire l'OA qui corrige un petit champ. Le design conjoint de ce télescope de 4 mètres de diamètre et de cette OA conduit à des difficultés rencontrées à la fois sur les grands télescopes solaires et sur les OA de l'Extremely Large Telescope (ELT, 40m de diamètre) pour le ciel nocturne.

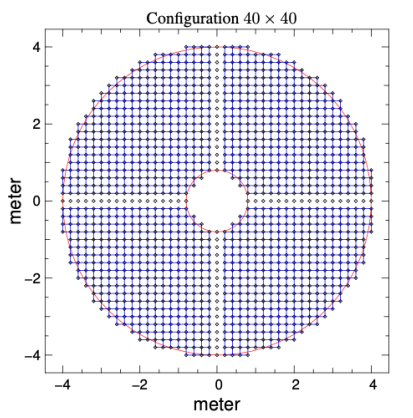
D'une part, certaines mesures de l'analyseur de front d'onde ont une réponse spécifique et fortement bruitée parce qu'elles se situent derrière les épais bras de la structure qui soutient le miroir secondaire (l'araignée) et qui tournent. Leur illumination est très faible. Le signal est fragmenté. Ce mécanisme entraîne une forte dégradation de la correction de l'OA, comme le constate actuellement l'équipe de l'EST [1]. Afin d'améliorer la correction, il faudrait modéliser et tenir compte « au vol » dans le reconstructeur de front d'onde des variations des incertitudes sur les mesures, en fonction de leur position par rapport à l'araignée notamment. Pour ce faire, nous pouvons nous appuyer sur des résultats prometteurs que nous avions obtenus en utilisant une reconstruction optimale sur une pupille fragmentée [2].

D'autre part, sur l'EST comme sur l'ELT, l'image du miroir secondaire déformable tourne devant les analyseurs de front d'onde. Cela signifie que l'interaction entre les actionneurs du miroir et les mesures de l'analyseur de front d'onde varie au cours du temps. Cette interaction est actuellement modélisée par une matrice d'interaction, dont l'inverse généralisée est pré-calculée pour obtenir la matrice de reconstruction. Si l'interaction varie, une telle approche requiert d'inverser régulièrement une nouvelle matrice. Par opposition, si la reconstruction est faite par une méthode itérative [3], il est possible de simplement mettre à jour la matrice d'interaction à la volée sans avoir à calculer son inverse.

Ce projet vise ainsi à étudier une méthode de reconstruction et de contrôle itérative pour l'OA sur l'axe de l'EST, afin de permettre de mettre à jour les incertitudes sur les mesures et l'évolution de la matrice d'interaction au cours des observations.

Ce travail consistera en 3 étapes:
- Formaliser le problème de reconstruction de cette OA de l'EST avec une méthode itérative, en intégrant la prise en compte des éléments qui varient dans le temps (effet de la rotation de la pupille et des incertitudes sur les mesures).
- Intégrer dans les outils de simulations de l'EST [1] cette méthode itérative pour la reconstruction.
- Comparer, quantifier et analyser des résultats de simulation de cette méthode par rapport à l'approche classique de reconstruction et contrôle.

[1] N. Rodriguez-Linares et al., "Status of the European Solar Telescope Adaptive Optics: Simulation and Bench Results", SPIE Conference, 2026.
[2] S. Bonnefond et al., "Wavefront reconstruction with pupil fragmentation: study of a simple case", SPIE Conference, 2016
[3] E. Thiébaut et al., "Closing the loop as an inverse problem: the real-time control of Themis adaptive optics", SPIE Conference, 2022.



Exemple de configuration d'OA avec l'araignée projetée en croix sur les mesures. Crédit: [2].

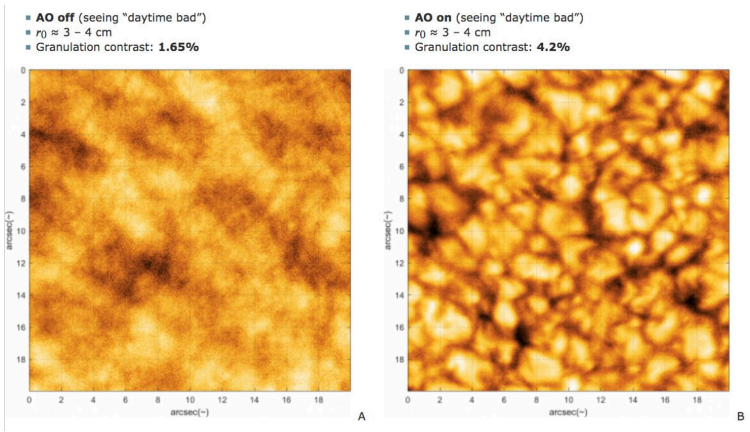


Image de la granulation du soleil sans OA (gauche) et avec OA (droite) au télescope THEMIS. Crédit: [3]

Type de financement envisagé pour le stage : Gratification sollicitée (en cours de validation)

Indication éventuelle d'ouverture vers un sujet de thèse : oui, possibilité à l'étude.

CENTRE DE RECHERCHE ASTROPHYSIQUE DE LYON

Centre de Recherche Astrophysique de Lyon
UMR 5574

Master 2 Research internship offer
Academic year 2026 – 2027

Internship supervisor: Clémentine BÉCHET

@ : Clementine.Bechet@univ-lyon1.fr ☎ :

Address/Workplace: CRAL **-** site Charles André : 9 avenue C. André, St Genis Laval

Hosting research team: AIRI

Internship title: Adaptive Optics for the European Solar Telescope (EST): Optimization of the wavefront reconstruction accounting for the spider and the pupil rotation.

Summary of proposed work:
To study the mechanisms of the magnetic connectivity between the photosphere and the chromosphere on the Sun surface, the European Solar Telescope (EST) will be equipped with high-order adaptive optics (AOs). The work of this internship focuses on the classical AO system under design for the EST, that is to say an AO correction over a small field-of-view. The joint design of this 4-meter telescope and this AO system leads to some obstacles that are common to large solar telescopes and to the Extremely Large Telescope (ELT, 40-meter diameter) for the night-time observations.

On the one hand, some of the wavefront sensor measurements have a specific response with large uncertainties because they are located behind the thick arms of the structure holding the secondary mirror (the spider) and which are also rotating. The illumination on these area of the sensor is usually very low. And the signal becomes spatially fragmented. This situation leads to a strong degradation of the correction by the AO system, as currently observed by the EST team [1]. To improve the correction, we propose to model and take into account "on the fly" in the wavefront reconstructor the fluctuations of the data uncertainties with the spider position. This approach relies on promising results already obtained in the past for optimal reconstruction of a wavefront over a fragmented pupil [2].

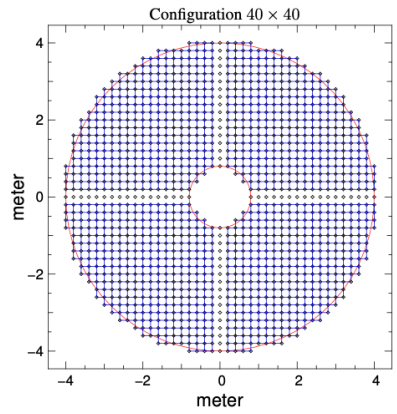
On another hand, for EST as for the ELT, the deformable mirror footprint rotates in front of the wavefront sensors. This means that the interaction between mirror actuators and wavefront sensor data changes over time. This interaction is currently modelled by an interaction matrix, whose generalized inverse is pre-computed to obtain the reconstruction matrix. When the interaction evolves, such an approach requires to regularly invert a new reconstruction matrix. On the contrary, if reconstruction is made by an iterative method [3], it becomes possible to update the interaction matrix on the fly in the reconstruction process, without computing its inverse.

This project aims at studying an iterative method for reconstruction and control of the on-axis AO system for the EST, in order to allow the account for the changes in data uncertainties and in the evolution of the interaction matrix during the observations.

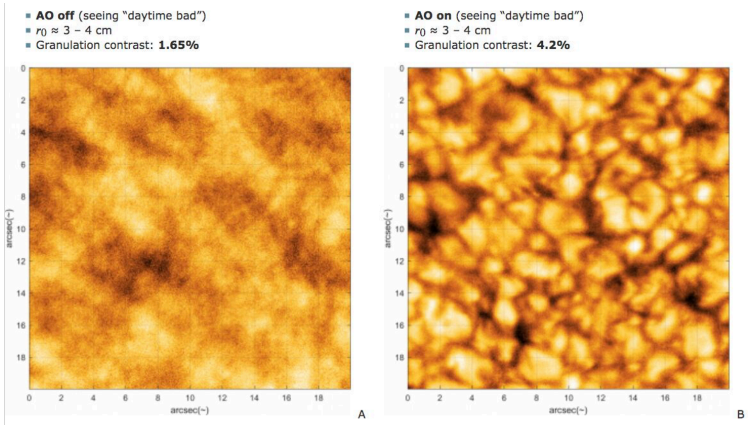
The work to be done can be decomposed into 3 steps:

- Describe the reconstruction problem in the AO of EST as an iterative solving, taking into account time-evolving components (effect of the pupil rotation and evolving uncertainties on data)
- Integrate into EST simulations tools [1] this iterative method for the wavefront reconstruction
- Compare, quantify and analyze the results of simulations with respect to the classical reconstruction and control method.

[1] N. Rodriguez-Linares et al., "Status of the European Solar Telescope Adaptive Optics: Simulation and Bench Results", SPIE Conference, 2026.
[2] S. Bonnefond et al., "Wavefront reconstruction with pupil fragmentation: study of a simple case", SPIE Conference, 2016
[3] E. Thiébaut et al., "Closing the loop as an inverse problem: the real-time control of Themis adaptive optics", SPIE Conference, 2022.



Configuration of an AO with spider arms projected as a cross on the data positions Credit: [2].



Images of solar granulation without AO (left) and with AO (right) correction at THEMIS telescope. Credit: [3]

Nature of the financial support for the internship: funding for gratification has been requested (under validation)

Potential for a follow-up as a PhD thesis: yes, possibility under study.