

## Invitation à la soutenance de thèse

Vers l'analyseur de front d'onde ultime pour l'imagerie à haut contraste :  
application aux télescopes géants

Toward the ultimate Wave-Front-Sensor for High Contrast Imaging: Application to  
Large Binocular and European Extremely Large Telescopes

Nicolas Levraud

**Lundi 11 Décembre 2023, à 10h00**  
Amphithéâtre du LAM  
38 Rue Frédéric Joliot Curie, 13013 Marseille

### Devant le jury composé de

Yann Clénet	LESIA, Observatoire de Paris, Meudon	Rapporteur
Olivier Lai	OCA, Observatoire de la Côte d'Azur, Nice	Rapporteur
Maud Langlois	CRAL, Université de Lyon, Lyon	Examinatrice
Samuel Leveque	ESO, Garching	Examinateur
Thierry Fusco	DOTA, ONERA	Directeur de thèse
Simone Esposito	INAF, Osservatorio di Arcetri, Florence	Co-directeur de thèse
Jean-François Sauvage	DOTA, ONERA	Encadrant
Vincent Chambouleyron	UCSC, Santa Cruz	Encadrant

### Résumé

La détection et la caractérisation de planètes extrasolaires est un des grands défis de l'astronomie moderne. Après la découverte, en 1995, de la première exoplanète 51Peg b, il a fallu une décennie de plus pour enfin détecter la lumière directe de ces astres et pouvoir commencer à en étudier le spectre et donc sa composition bio-chimique. Cette avancée majeure a été permise par la génération des 'très grands télescopes' (miroirs de 6 à 10m) et leurs instruments, en particulier les avancées de l'optique adaptative.

En effet les très grands télescopes situés au sol, la lumière de la planète est perdue dans la lumière de l'étoile fortement perturbée et étalée dans le champ de vue par la présence de l'atmosphère terrestre.

L'optique adaptative est une méthode permettant de mesurer et corriger la turbulence atmosphérique grâce à un capteur de front d'onde et à un miroir déformable. Cette étape concentre la lumière de l'étoile, facilitant sa suppression par un coronographe et rendant visible son environnement proche comme les exoplanètes. La nouvelle génération de télescopes géants en cours de construction (ELT, TMT et GMT, miroir de 29 à 39m) devrait augmenter le nombre d'exoplanètes directement observables. Les instruments associés à ces télescopes sont en phase de conception et vont être soumis à de nouvelles perturbations introduites par le télescope lui-même. En particulier parmi ces aberrations, celles liées à la structure des supports du miroir secondaire, connues sous le nom de mode « pétale » ont été identifiées comme une des limitations principales des instruments à haute résolution angulaire de ces télescopes géants.

Ce mode est causé par la fragmentation de la pupille en plusieurs sections séparées par des zones d'ombre sans mesure (causées par la largeur des « araignées », support métallique du miroir secondaire). Le capteur de front d'onde, par manque de point de mesure, n'est pas capable de garantir la continuité du front d'onde mesuré. L'optique adaptative traite donc ces fragments comme des zones indépendantes, qui se trouvent déphasées les unes par rapport aux autres au gré de la turbulence atmosphérique et des défauts de phasage inhérents au télescope et à l'instrument. Cela réduit la résolution finale à celle associée à la taille d'un de ces fragments de pupille. Pour l'ELT cela signifie que la résolution finale serait celle d'un télescope de 15m et pas de 39m. Cette forte dégradation est incompatible avec un télescope à la limite de diffraction, d'autant plus avec les hautes performances nécessaires pour l'imagerie d'exoplanètes. L'objectif de cette thèse est d'étudier l'impact du mode pétale sur l'analyse de front d'onde de l'optique adaptative, et de proposer des solutions que ça soit avec les capteurs usuels ou avec de nouveaux concepts. Une première étude approfondie du capteur d'optique adaptative des télescopes géants, le capteur pyramide, a été conduite pour expliquer dans quelles conditions ce capteur devient insensible au mode pétale. Ce capteur a en effet besoin d'une opération optique de modulation pour étendre la dynamique

de mesure et la rendre compatible avec la mesure de la turbulence atmosphérique. On a montré que cette étape de modulation empêche la mesure du mode pétale.

Pour être néanmoins capable de mesurer le mode pétale, il est proposé des senseurs dédiés à la mesure du mode pétale dans des résidus d'optique adaptative. Forts de l'étude de la pyramide nous avons étudié dans quelles conditions (en particulier l'absence de modulation) la pyramide pourrait être utilisée comme senseur de pétale. Cela a donné naissance à plusieurs pyramides modifiées pour faciliter la mesure du mode pétale : l'ajout d'une opération de filtrage spatial optique pour réduire les effets de la turbulence résiduelle, et une asymétrisation de la pyramide pour augmenter la réponse à ce signal.

Les différents senseurs proposés ont été testés en simulation numérique, et se sont montrés satisfaisants pour les conditions typiques de l'ELT. Les solutions proposées devraient donc permettre à terme de corriger le mode pétale et d'atteindre ainsi la limite de diffraction des futurs très grands télescopes.

**Mots clés**

Optique Adaptative, analyse de front d'onde, Extremely Large Telescope (ELT), Senseur Pyramide