



APPRENTISSAGE PAR RENFORCEMENT POUR LA CORRECTION DE SURFACE D'ONDE EN IMAGERIE D'EXOPLANÈTES

Soutenance de thèse de Yann Gutierrez

3 octobre 2025 à 14h00

Amphithéâtre Evry Schatzman, bâtiment 18
Observatoire de Meudon, 5 place Jules Janssen
Meudon

Lien public de retransmission en direct :

<https://www.youtube.com/@lira-observatoiredeparis/streams>

Devant le jury composé de :

Patrice Martinez, MCF HDR
Romain Postoyan, DR
Florence Cloppet, Prof.
Guy Perrin, Astronome
Lucie Leboulleux, CR
Gilles Orban de Xivry, 1^{er} log. rech.
Laurent Mugnier, DR
Johan Mazoyer, CR HDR
Baptiste Abeloos, CR
Olivier Herscovici-Schiller, CR

Université Côte d'Azur
CNRS/CRAN
Université Paris Cité
Observatoire de Paris
CNRS/IPAG
Université de Liège
ONERA
CNRS/LIRA
ONERA
ONERA

Rapporteur
Rapporteur
Examinatrice
Examinateur
Examinatrice
Examinateur
Directeur de thèse
Directeur de thèse
Encadrant, membre invité
Encadrant, membre invité

Résumé

L'imagerie directe est une méthode essentielle pour étudier la formation des systèmes planétaires et rechercher des biosignatures dans les atmosphères d'exoplanètes semblables à la Terre. Elle consiste à observer la lumière émise ou réfléchie par une exoplanète, mais se heurte à deux défis majeurs : la faible séparation angulaire entre la planète et son étoile, et le contraste extrême entre leurs flux lumineux. Le premier est surmonté par l'augmentation du diamètre des télescopes. Le second est atténué à l'aide d'un coronographe, instrument conçu pour filtrer la lumière stellaire tout en préservant celle de sources proches. Cependant, la présence d'aberrations quasi-statiques en amont du coronographe entraînent des fuites de lumière stellaire qui se manifestent sous forme de tavelures dans les images et peuvent masquer le signal planétaire.

La minimisation des résidus stellaires aux niveaux de contraste visés impose une commande de la surface d'onde à des précisions sub-nanométriques. L'approche usuelle consiste à asservir le système en alternant des étapes d'estimation de la surface d'onde, à partir d'images acquises au plan focal scientifique, et des étapes de calcul d'une commande à appliquer à des miroirs déformables. Ces méthodes, qui reposent sur un modèle physique de l'instrument, permettent de creuser une zone sombre — ou *dark hole* — dans l'image coronographique, où le contraste est suffisant pour révéler un compagnon. Cependant, les erreurs liées à ces modèles limitent les performances actuelles en-dessous des exigences nécessaires pour l'imagerie d'exo-Terres.

Par ailleurs, l'apprentissage par renforcement profond, à l'intersection de l'apprentissage profond et de la commande optimale, consiste à entraîner un agent autonome à sélectionner des actions à partir d'interactions avec son environnement, dans le but d'optimiser un signal de récompense. Combinée à des réseaux de neurones convolutifs capables d'extraire des relations complexes à partir d'images, cette approche fondée sur les données offre une alternative prometteuse aux méthodes classiques fondées sur des modèles physiques.

La première partie de la présentation est consacrée au développement de la méthode dans un contexte simulé d'optique active spatiale. L'agent commande directement un miroir déformable en plan pupille à partir d'images de diversité de phase, afin de maximiser une récompense fondée sur le rapport de Strehl. Il apprend à corriger les aberrations à une précision nanométrique, tout en restant robuste à des niveaux de bruit élevés.

La seconde partie étend cette approche à l'imagerie coronographique. Le critère d'optimisation devient le contraste dans le dark hole, et les observations des images de diversité obtenues par poussées d'actionneurs individuels. La méthode est validée sur des simulations simplifiées d'un banc d'imagerie haut contraste, où elle a permis d'obtenir les premiers dark holes par apprentissage par renforcement.

Mots clés

Apprentissage par renforcement ; exoplanètes ; coronographie ; analyseur de surface d'onde ; commande de surface d'onde.