

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DTIS-2025-01**
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Palaiseau

Département/Dir./Serv. : DTIS/MIC

Tél. : 01 80 38 66 94

Responsable(s) du stage :

Email : olivier.herscovici@onera.fr

Olivier Herscovici-Schiller & Baptiste Abeloos

baptiste.abeloos@onera.fr

DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Perception et traitement de l'information ; intelligence artificielle et décision

Type de stage : Fin d'études bac+5 Master 2 Bac+2 à bac+4 Autres

Intitulé : Apprentissage par renforcement pour la commande de surface d'onde en imagerie d'exoplanètes

Sujet :

Des milliers d'exoplanètes ont été découvertes depuis la fin des années 1980, ce qui a ouvert un nouveau champ de l'astronomie. Il existe différentes méthodes de détection d'exoplanètes. La plupart sont des méthodes dites indirectes, où l'on détecte l'influence d'une planète sur son étoile. Au contraire, l'imagerie est une méthode de détection et de caractérisation directe d'exoplanètes qui permet une analyse spectroscopique, et donc qui permet d'espérer détecter des marqueurs de vie hors du système solaire.

L'imagerie d'exoplanètes souffre de deux difficultés principales : d'une part la séparation angulaire entre la planète et l'étoile est très faible vue depuis la Terre, et d'autre part l'étoile est beaucoup plus brillante que la planète. Pour fixer les idées, dans le cas de planètes telluriques semblables à la Terre autour de naines jaunes dans la séquence principale (comme le Soleil), le contraste entre la planète et son étoile dans le visible est de l'ordre de un photon réfléchi par la planète pour dix milliards de photons émis par l'étoile ; tandis que Proxima est à plus d'un parsec de la Terre, ce qui signifie qu'une planète à la même distance de son étoile que la Terre du Soleil en est séparée de moins d'une seconde d'arc. Dans les images scientifiques, la planète a donc tendance à disparaître dans la tache de diffraction formée par l'étoile.

Pour régler ce problème, on utilise un coronographe, qui est un système physique qui filtre la lumière de l'étoile tout en laissant passer la lumière de la planète. Cependant, les inévitables aberrations dans le système optiques (dues par exemple à des défauts de polissage des miroirs ou à des déformations thermo-mécaniques) entraînent des déformations du front d'onde lumineuse incident, ce qui provoque des fuites de lumière stellaire à travers le coronographe. Ces fuites se traduisent par des tavelures dans le plan focal, tavelures qui peuvent masquer une éventuelle planète. Il est donc nécessaire de commander finement (au moyen de miroirs déformables comportant plusieurs centaines d'actionneurs) le front d'onde incident de façon à créer dans les images scientifiques une zone où la lumière stellaire est particulièrement bien supprimée, ce qui permettra de détecter la lumière planétaire. Une telle zone est nommée un *dark hole*.

L'objectif de ce stage est d'entraîner un agent capable de créer un dark hole en optimisant la commande des miroirs déformables par apprentissage par renforcement.

En effet, la plupart des méthodes de création de dark hole sont linéarisées et itératives, ce qui demande beaucoup de prises d'images. Mais ces prises d'images prennent du temps, or le temps d'observation est extrêmement précieux sur un télescope spatial comme le Nancy Grace Roman space telescope dont le lancement est prévu fin 2026 ou début 2027, qui sera équipé d'un coronographe, et qui se veut non seulement un instrument scientifique mais encore un démonstrateur technologique pour le Habitable Worlds Observatory, dont le lancement est prévu à l'horizon 2040. L'approche par renforcement permettrait de pallier les défauts des méthodes itératives, ainsi que des méthodes non linéaires usuelles qui souffrent du décalage entre le modèle numérique de l'instrument et l'instrument réel.

Les travaux de ce stage pourront s'appuyer sur la riche expérience des membres de l'équipe en matière de commande de surface d'onde et d'apprentissage automatique. En particulier, ces travaux feront suite aux

travaux d'une thèse en cours sur la commande de surface d'onde pour l'imagerie d'exoplanètes par apprentissage par renforcement. Actuellement, l'architecture de contrôle est la suivante :

- En entrée, l'agent reçoit des images prises par le détecteur scientifique : une focalisée, et une défocalisée.
- En sortie, l'agent renvoie un jeu de tensions à appliquer au miroir déformable.
- La récompense est une fonction croissante de l'intégrale de l'intensité dans le dark hole.
- L'algorithme utilisé pour l'entraînement de l'agent est *Proximal Policy Optimization* (PPO), qui est un algorithme de type acteur-critique.

Ce stage pourra être poursuivi en thèse (sous réserve d'obtention du financement).

Le programme de travail prévisionnel est le suivant :

- Compréhension des enjeux & prise en main des outils.
- Amélioration de l'algorithme existant. Plusieurs axes sont envisageables :
 - Passage d'un à deux miroirs déformables.
 - Passage du monochromatique à une bande spectrale élargie.
 - Amélioration de la vitesse de convergence par un travail sur la récompense de l'agent et l'optimisation des hyper-paramètres.
 - Comparaison des performances de PPO sur ce problème avec d'autres algorithmes d'apprentissage de l'état de l'art qui pourraient être mieux adaptés.
 - Apprentissage par transfert pour passer du simulateur à un instrument réel.
- Rédaction du rapport et préparation de la soutenance de stage.

En fonction de la qualité et de la quantité des résultats, la participation à une publication scientifique pourra être envisagée.

Pour postuler, merci d'adresser un mail de quelques lignes expliquant vos raisons pour postuler à ce stage en particulier, en joignant votre CV et vos relevés de notes disponibles, aux adresses mail de contact indiquées en haut de ce document.

Bibliographie :

- Pour le contexte et les enjeux, vous pouvez lire la récente revue disponible librement à l'adresse <https://doi.org/10.5802/crphys.133> : Raphaël Galicher; Johan Mazoyer. Imaging exoplanets with coronagraphic instruments. Comptes Rendus. Physique, Volume 24 (2023) no. S2, pp. 69-113.
- Pour un exemple récent de travaux de l'équipe sur le sujet, vous pouvez lire notre publication récente disponible librement à l'adresse <https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.18143> : Gutierrez, Y., Mazoyer, J., Mugnier, L. M., Herscovici-Schiller, O., & Abeloos, B. (2024). Image-based wavefront correction using model-free Reinforcement Learning. Optics Express, 2024.

Est-il possible d'envisager un travail en binôme ? Non

Méthodes à mettre en oeuvre :

- | | |
|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche théorique | <input type="checkbox"/> Travail de synthèse |
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche appliquée | <input type="checkbox"/> Travail de documentation |
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche expérimentale | <input checked="" type="checkbox"/> Participation à une réalisation |

Possibilité de prolongation en thèse : Oui

Durée du stage : Minimum : 4 mois Maximum : 6 mois

Période souhaitée : printemps-été 2025

PROFIL DU STAGIAIRE

Connaissances et niveau requis :

Les éléments ci-dessous sont indicatifs et aucun n'est strictement nécessaire, c'est l'ensemble du profil qui sera étudié.

- Bases d'apprentissage automatique ou bon niveau de traitement du signal.

Écoles ou établissements souhaités :

Master 2 ou dernière année d'école d'ingénieurs à dominante traitement du

<ul style="list-style-type: none"> + Une familiarité de l'apprentissage par renforcement serait un plus. — Bases d'optique ou de physique des ondes. <ul style="list-style-type: none"> + Une familiarité de l'optique de Fourier serait un plus. + Une expérience sur banc d'optique serait un plus. — Goût pour l'astronomie. <ul style="list-style-type: none"> + Une expérience en observation, y compris au sein d'un club d'astronomie amateur, serait un plus. + Une expérience en instrumentation serait un plus. 	<p>signal, physique, informatique, astronomie, mathématiques appliquées ou équivalent.</p>