

DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **09 février 2024**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **Monsieur DALLANT Jules**

Titre de la thèse : : « *Combinaison d'observations multiépoques pour la détection d'exoplanètes et l'estimation conjointe de leurs orbites en imagerie directe à haut contraste* »



Résumé

La détection et la caractérisation d'exoplanètes par imagerie directe nécessitent d'atteindre des contrastes et des résolutions angulaires très élevés. Ces conditions ne sont rencontrées qu'en combinant (i) des instruments de pointe équipés de systèmes coronagraphiques et d'optique adaptative extrêmes, (ii) des stratégies d'observation optimales, comme l'imagerie différentielle, pour introduire une diversité entre les signaux des objets d'intérêts et celui de l'étoile, et (iii) des algorithmes de post-traitement dédiés à l'élimination des fuites stellaires résiduelles.

Concernant le dernier point, des efforts considérables ont été entrepris au cours de la dernière décennie dans la conception d'algorithmes de post-traitement plus efficaces. L'ensemble des processus d'acquisition et de traitement de données permet actuellement de détecter des exoplanètes massives à des séparations angulaires supérieures à quelques dizaines d'unité astronomique. Les performances restent toutefois limitées à des séparations angulaires plus faibles en raison du manque de diversité induit par le traitement individuel de chaque époque d'observation. Au cours de cette thèse, j'ai développé un nouvel algorithme capable de combiner plusieurs observations de la même étoile et permettant d'additionner constructivement les faibles signaux des exoplanètes recherchées tout en tenant compte de leur mouvement orbital képlérien à travers les époques.

L'algorithme développé, appelé PACOME, intègre une exploration des orbites plausibles des objets recherchés à un formalisme statistique de détection et d'estimation basé sur le maximum de vraisemblance et modélisant les corrélations présentes dans les données. Cette méthode permet

notamment de dériver un critère de détection multiépoque fiable et interprétable en termes de probabilité de détection. En plus de sa capacité à capturer les très faibles signaux issus d'exoplanètes, PACOME fournit simultanément des estimations de leurs éléments orbitaux et des incertitudes associées. La méthode nécessitant d'explorer, d'échantillonner et d'optimiser sur des espaces multidimensionnels, des outils numériques spécifiques ont également été mis en œuvre.

Ce travail a été testé et validé sur plusieurs jeux de données astrophysiques obtenus avec l'instrument VLT/SPHERE. En recourant à des simulations réalistes, PACOME s'est avéré capable de détecter des sources très faibles restant indétectables par les techniques monoépoques de post-traitement les plus avancées. Le gain en sensibilité de détection augmente optimalement selon la racine carrée du nombre d'époques, comme prévu théoriquement. PACOME a également été appliqué à plusieurs systèmes exoplanétaires emblématiques tels que HD 95086 ou HR 8799, permettant ainsi de redétecter toutes les sources connues avec des rapports signal sur bruit très élevés et d'en déduire fidèlement les orbites.

Le développement de cette méthode est également motivé, à moyen terme, par l'arrivée des prochains télescopes de trente mètres qui permettront d'explorer les environnements stellaires internes où les niveaux de contraste typiques à atteindre nécessiteront de longs temps d'exposition. Ceux-ci ne pourront être obtenus qu'en combinant plusieurs observations effectuées à des jours, des semaines ou des mois d'intervalle et pour lesquelles le mouvement orbital des exoplanètes devra impérativement être compensé, faisant de PACOME une méthode de choix.