

## Caractérisation de l'atmosphère d'exoplanètes avec le JWST.

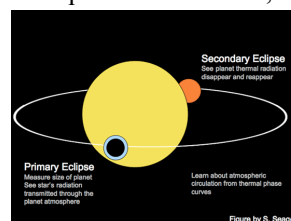
**Résumé :** Le JWST (James Webb Space Telescope), dont le lancement est prévu en octobre 2018, va être un formidable outil pour la caractérisation des planètes extrasolaires. Nous sommes fortement impliqués dans le développement de l'instrument MIRI (Mid InfraRed Instrument) du JWST et coordonnons les observations d'exoplanètes qui seront faites dans le cadre du temps garanti d'observations. Ces observations seront dédiées à la caractérisation de l'atmosphère d'exoplanètes détectées en transit ou en imagerie directe (température, composition moléculaire, présence d'aérosols, ...). Une telle étude est non seulement intéressante pour tester les modèles atmosphériques dans des conditions que l'on ne trouve pas dans le système solaire, mais aussi pour contraindre les modèles de formation planétaire. Bien que les molécules clés dans l'atmosphère d'exoplanètes présentent des raies dans le domaine de longueur d'onde couvert par MIRI (5-28 microns), très peu d'observations ont été possibles jusqu'à présent et c'est MIRI qui ouvrira vraiment ce domaine. La première partie de la thèse consistera à se doter des meilleurs outils pour traiter, analyser et interpréter les premières observations avec MIRI. Ces outils seront ensuite utilisés sur des données réelles pour sortir les premiers résultats d'observation d'exoplanètes avec le JWST.

**Summary :** The James Webb Space Telescope (JWST), to be launched in Oct. 2018, will be a key facility to characterize extrasolar planets. We have been deeply involved in the development of the Mid Infra-Red Instrument of the JWST (MIRI) and are coordinating the observations of exoplanets to be done in the framework of guaranteed time observations. We will focus on the characterization of the atmosphere of exoplanets detected by transit or direct imaging, (temperature, molecular composition, presence or not of hazes, ...), thanks to spectroscopic or coronagraphic observations. Such a study is not only interesting to test atmospheric models in conditions far from those present in the solar system, but also to constrain planet formation models. Although key molecules features (water, carbon monoxide, ammonia, ozone, ...) can be found in the wavelength range of MIRI (5-28 microns), almost no observation have been possible yet; MIRI will open up the field. The first part of the thesis will consist in acquiring the best tools to reduce, analyze and interpret the observations. Then these tools will be used on real data to get the first results of JWST exoplanet observations.

### DESCRIPTION ET PROBLEMATIQUE

Le domaine des planètes extrasolaires est l'un des domaines en astrophysique qui évolue le plus rapidement. Vingt ans après la détection de la première planète extrasolaire (M. Mayor et D. Queloz 1995), plus de 3500 exoplanètes ont été découvertes (voir par exemple le site : <http://exoplanet.eu/>). Le domaine est en train d'évoluer d'une phase de détection de nouvelles exoplanètes à une phase de caractérisation des exoplanètes connues, notamment de leur atmosphère. Grace à sa large surface collectrice, sa grande couverture spectrale et ses différents modes d'observations spectroscopiques et coronagraphique, le télescope spatial JWST va être un acteur clef pour la caractérisation des exoplanètes. Son lancement est programmé en octobre 2018 et les premières observations scientifiques commenceront en avril 2019. Quatre laboratoires français (AIM, IAS, LESIA et LAM) participent, sous la maîtrise d'ouvrage du CNES, à la réalisation et aux tests de l'instrument MIRI (Mid-InfraRed Instrument) du JWST, ainsi qu'à la définition du traitement des données d'observation. Cette participation nous permet de bénéficier de temps d'observations garanti. Dans ce cadre, nous avons, à Saclay, la coordination, au niveau du consortium international MIRI, du 'large' programme d'observations des exoplanètes (100 heures d'observations). Ce programme vise à

connaître, à partir d'observations spectroscopiques ou coronagraphiques, l'atmosphère des exoplanètes (profil température - pression, composition moléculaire, présence de nuages ou d'aérosols, ...) et à mettre en évidence les mécanismes physiques et chimiques prépondérants (convection, instabilités chimiques, chimie hors équilibre,...) pour des exoplanètes qui n'ont pas d'équivalent dans notre système solaire ('jupiters chauds', 'inflated jupiters', 'super-Terres', exoplanètes situées à des centaines d'unités astronomiques de leur étoile,...).



Légende : représentation schématique d'une exoplanète qui lors de sa rotation autour de son étoile hôte transite devant l'étoile puis derrière l'étoile. La couche en bleue autour de la planète représente l'atmosphère, selon la composition de l'atmosphère plus ou moins de lumière de l'étoile passe à travers cette atmosphère.

Par ailleurs ces observations pourront permettre de contraindre les modèles de formation des planètes (par exemple une métallicité des exoplanètes similaire à celle de l'étoile serait une forte indication d'une formation par instabilité gravitationnelle comme l'étoile, ...). Ce programme concerne à la fois les exoplanètes détectées par la méthode dite des transits et les exoplanètes détectées par imagerie directe. Dans les deux cas, la réduction des données

d'observation est difficile. Pour les observations de transit, il faut pouvoir réduire les systématiques sur le rapport flux hors transit sur flux transit à un niveau de quelques dizaines de ppm (part par million). Pour la réduction de données d'observations coronographiques d'exoplanètes, il est nécessaire d'atteindre des niveaux de contraste entre étoile et exoplanète jusqu'à plusieurs centaines de milliers.

## DESCRIPTION LABO/ENCADREMENT

L'étudiant(e) sera supervisé(e) par Pierre-Olivier Lagage, directeur de recherche au CEA, et membre du Laboratoire AIM (Astrophysique Instrumentation Modélisation) au CEA-Saclay. L'étudiant en thèse sera intégré dans l'équipe d'une dizaine de personnes qui travaille à AIM autour du projet MIRI.

## TRAVAIL PROPOSE

La thèse comprendra 2 grandes parties :

1) une première partie sera consacrée à la préparation de la réduction des données et de leur interprétation à partir de données simulées. Cette partie durera 18 mois, d'octobre 2017 à mars 2019. Après avoir fait le tour des connaissances sur les exoplanètes et notamment celles que nous comptons observer dans le temps garanti MIRI, l'activité principale de l'étudiant sera consacrée au pipeline de réduction des données d'observations d'exoplanètes. L'étudiant prendra notamment en compte les mesures sur la stabilité des détecteurs qui continuent à être réalisées au Jet Propulsion Laboratory aux US, et dont certaines sont faites spécialement pour simuler des observations d'exoplanètes. L'étudiant testera différentes méthodes statistiques pour éliminer les systématiques. Il déterminera par ailleurs la meilleure méthode d'extraction de spectres pour l'instrument MIRI (mode Low Resolution Spectrometer). Pour se faire, il disposera de données simulées, qu'il pourra d'ailleurs lui-même générer en utilisant les modèles d'atmosphères d'exoplanètes calculés notamment avec le code ATMO et le simulateur de télescope/instrument. L'étudiant pourra également se familiariser avec, voire améliorer, les méthodes dites de 'retrieval' pour extraire des données les quantités physiques (profil pression-température, composition moléculaire,...) et leurs incertitudes, compte tenu du bruit dans les données simulées. L'étudiant participera à la préparation de demandes d'observations en temps ouvert.

2) une deuxième partie consistera à réduire et interpréter les 'vraies' données d'observations avec le JWST. Il y aura certainement des ajustements à faire dans le pipeline de réduction des données. L'étudiant sera bien préparé pour réagir rapidement, notamment sur les données obtenues dans le temps dit 'Early Release Sciences', qui seront immédiatement publiques. L'étudiant participera à l'interprétation des résultats et à l'écriture des papiers qui en résulteront.

## FORMATION ET COMPETENCES

### REQUISES

Master 2 en astrophysique ou géophysique, ou Data Science.

Aptitude à travailler en groupe nécessaire.

Bonne connaissance de l'anglais nécessaire.

Connaissance d'IDL et Python souhaitée.

Possibilité de précéder la thèse par un stage.

### COMPETENCES ACQUISES

Ce sujet de thèse permettra à l'étudiant d'acquérir une connaissance académique au meilleur niveau international dans un sujet en plein essor : l'étude des planètes extrasolaires. Par ailleurs, l'étudiant acquerra une compétence en traitement de données, traitement d'information, simulations, sur le travail au sein d'un consortium international, sur la pratique de l'anglais, l'écriture d'articles...

### COLLABORATIONS/PARTENARIATS

L'étudiant bénéficiera de la compétence instrumentale de l'équipe MIRI à Saclay (5 personnes), du code de simulation d'atmosphère d'exoplanètes ATMO développé à Saclay (maison de la simulation), du code de 'retrieval' TAUREX développé à l'University College à Londres (UCL) avec qui nous collaborons ; il pourra également interagir avec nos collaborateurs au sein du consortium MIRI et au STScI à Baltimore (US), qui est le centre en charge des opérations du JWST. Une collaboration spécifique avec Tom Greene du centre NASA AMES a été initiée ; Tom Greene travaille sur les exoplanètes et est membre du consortium JWST/MIRI, comme nous. Nous prévoyons de comparer nos méthodes de réduction de données, d'extraction des paramètres d'atmosphère, etc.

### CONTACT :

Pierre-Olivier.lagage@cea.fr