

Coordination de la Formation par la Recherche

Sujet de Thèse CEA "SUJET-LABO 2026"

Référence du dossier :

Pôle : DRF

N° : SL-DRF-26-0312

1 - Laboratoire d'accueil au CEA

Centre : **Saclay**

Département/Service : **IRFU / Direction d'Astrophysique**

Nom du laboratoire : **LDE3/Laboratoire de dynamique des étoiles des (Exo) planètes et de leur environnement**

2 - Titre du sujet de thèse

Exoplanètes : l'apport des courbes de phase observées avec le JWST

3 - Thématique de Recherche

Physique corpusculaire et cosmos / Astrophysique

4 - Pièce jointe

Y a-t-il une pièce jointe associée ? **Non**

Intitulé de la pièce jointe :

5 - Résumé

Le télescope spatial James Webb (JWST), lancé par la NASA le 25 décembre 2021, révolutionne notre compréhension du cosmos, en particulier dans le domaine des exoplanètes. Avec plus de 6 000 exoplanètes détectées, on découvre des mondes très variés, dont certains sans équivalent dans notre Système solaire, comme les « hot Jupiters » ou les « super-Terres ». JWST permet désormais la caractérisation détaillée des atmosphères exoplanétaires grâce à ses instruments spectroscopiques couvrant de 0,6 à 27 μm et sa grande surface collectrice de lumière (25 m^2). Cette capacité permet de déterminer la composition moléculaire, la présence de nuages ou d'aérosols, le profil pression-température et les processus physiques et chimiques à l'œuvre dans ces atmosphères.

La méthode principale utilisée est celle dite des transits, observant les variations de luminosité lors du passage de la planète devant son étoile ou derrière elle (éclipse secondaire). Néanmoins, l'observation sur toute la période orbitale (phase curve)—qui contient aussi un transit et deux éclipses—fournit encore plus d'informations. Avec les courbes de phase, le budget énergétique, la structure longitudinale, et la circulation atmosphérique peuvent être directement observés. JWST a déjà obtenu des données en courbes de phase d'une qualité exceptionnelle. Beaucoup de ces ensembles de données sont désormais accessibles au public et contiennent une mine d'informations, mais ils ne sont que partiellement exploités. La durée de ces observations, la finesse des signaux très faibles (quelques dizaines de ppm), et la présence d'effets instrumentaux plus subtiles rendent l'exploitation de ces données plus complexe.

La thèse proposée se concentrera d'abord sur l'étude et la correction de ces effets instrumentaux, puis sur l'extraction des propriétés atmosphériques avec le logiciel TauREx (<https://taurex.space/>), sous la co-supervision de Quentin Changeat (Université de Groningen) et Pierre-Olivier Langle (CEA Paris-Saclay). Cette thèse participera à la préparation de l'exploitation scientifique de la mission ESA Ariel (lancement prévu en 2031), entièrement dédiée à l'étude des atmosphères exoplanétaires et qui pourrait observer près de 50 courbes de phase.

6 - Exposé du sujet

The James Webb Space Telescope (JWST), NASA's flagship observatory launched by an Ariane rocket on December 25, 2021, is transforming our understanding of the cosmos. This transformation is particularly striking in the field of exoplanetary science.

Exoplanet research has entered a period of rapid growth: more than 6,000 exoplanets have already been detected, revealing their ubiquity and diversity. Entirely new classes of planets—such as hot Jupiters and super-Earths—have no equivalent in our Solar System. JWST is now opening a new era in exoplanetary studies by enabling the detailed characterization of exoplanet atmospheres.

Thanks to its 25 m^2 light-collecting area and instruments capable of spectroscopic observations across a wide wavelength range, from the visible to the mid-infrared (0.6–27 μm), JWST provides an unprecedented opportunity to characterize the atmospheres of a broad variety of exoplanets, from gaseous giants to rocky worlds. What is the molecular composition of these atmospheres? Are there clouds or aerosols? What is the atmospheric pressure–temperature profile? And more generally what physical and chemical processes are driving these atmospheres, which can differ markedly from those of Solar System planets?

The most widely used technique for atmospheric characterization is the transit method, which relies on the time-resolved monitoring of the star–planet system's emission. When the observer, planet, and star are aligned, the planet passing in front of its host star blocks part of the starlight, causing a measurable drop in brightness. Molecules in the exoplanet's atmosphere absorb starlight at specific wavelengths, which can be identified in the spectra of the star–planet system. When the planet passes behind the star, we observe only the starlight; this is known as a secondary eclipse and allows us to extract an emission spectrum from the additional planetary emission captured just before the eclipse. Maximum information is obtained when the system is observed over the entire orbital period of the planet—this is called a phase curve. Such observations allow us to infer the full

energy budget, the longitudinal structure of the planet's atmosphere, and the atmospheric circulation. In essence phase-curves allow us to spatially map the physico-chemical properties of exoplanet atmospheres.

JWST has already obtained phase curve data of exceptional quality. Many of these datasets are now publicly available, containing a wealth of information that remains only partially exploited. Unlike Solar System planets, exoplanets' spatial inhomogeneities are still poorly constrained. JWST phase curves make it possible to explore these aspects in unprecedented detail, and the proposed PhD project aims to advance this frontier.

The signals we are looking for are extremely faint—variations of only a few tens of parts per million (ppm)—which must be identified within instrumental systematics of comparable or even greater magnitude: phase curves display longer term instrumental systematics that are still poorly understood. The first stage of this thesis will therefore involve studying these instrumental systematics (e.g., detector persistence effects, correlated noise, etc.) and developing innovative methods to mitigate them. The student will benefit from the laboratory's instrumental expertise (through its involvement in the development of JWST's MIRI instrument) and from collaboration with the Space Telescope Science Institute (STScI), JWST's operational center in Baltimore.

This will be followed by the use of the improved version of the TauREx software, adapted to phase curve data to extract the longitudinal atmospheric properties of JWST exoplanets (WASP-43b, WASP-121b, GJ-1214b, K2-141b, etc), under the co-supervision of the PhD by Quentin Changeat at the University of Groningen in the Netherlands. We expect to publish both new data reduction methods for phase-curves, and science results from the retrieval studies. This PhD will help prepare for the exploitation of the ESA Ariel space mission, a mission entirely dedicated to the study of exoplanet atmospheres, which is scheduled to be launched in 2031. While the mission design and target selection is still ongoing, it is predicted that Ariel will observe 50 or more phase-curves, highlighting the interest of the exoplanet community for these observations and the importance of tackling the associated challenges now.

The low spectral resolution obtained with space mission will be complemented by very high spectral resolution from ground-based telescope. Such high resolution observations bring complementary information on the atmosphere of the exoplanets, such as wind speed. Combining both is a must!

7 - Collaborations (éventuelles) prévues

Laboratoire :

Organisme : **Université de Groningen**

Responsable : **Changeat Quentin**

Raison de la collaboration :

Collaboration équilibrée avec apport du traitement des données d'un côté, apport de l'analyse de ces données de l'autre. Thèse en cotutelle Université Paris - cité, Université de Groningen. Thèse en 4 ans pour suivre la durée des thèses aux Pays Bas.

Duree : **48**

8 - Partenariat(s) industriels prévu(s) (éventuellement)

9 - Correspondant chargé du suivi de la thèse au CEA

Nom: **LAGAGE**

Prénom: **Pierre-Olivier**

Adresse : **Laboratoire AIM, CEA Saclay,
Irfu/DAP, Bâtiment 709, point courrier 131, 9119 Gif-sur-Yvette**

Téléphone **+33676738723** @mail: **pierre-Olivier.lagage@cea.fr**

Habilitation à diriger des recherches : **Oui**

Organisme de rattachement : **CEA**

Combien de thèses avez-vous déjà **7**

Combien de doctorants encadrerez-vous durant l'année universitaire 2026/2027 ? **0**

10 - Directeur de thèse

Nom: **LAGAGE**

Prénom: **Pierre-Olivier**

Adresse : **Laboratoire AIM, CEA Saclay,
Irfu/DAP, Bâtiment 709, point courrier 131, 9119 Gif-sur-Yvette**

Téléphone: **+33676738723** @mail: **pierre-Olivier.lagage@cea.fr**

Habilitation à diriger des recherches : **Oui**

Organisme de rattachement : **CEA**

Combien de thèses avez-vous déjà encadrées **7**

Combien de doctorants encadrerez-vous durant l'année universitaire 2026/2027 ? **0**

11 - Signatures :

Correspondant chargé du suivi de la thèse au CEA

Date : /././././

Pierre-Olivier LAGAGE

Signature :

Directeur de Thèse (lorsqu'il est identifié)

Date : /././././

Pierre-Olivier LAGAGE

Signature :

Chef de Département CEA (ou son représentant)

Date : /././././

Anne-Isabelle ETIENVRE

Signature :

Directeur du Pôle CEA (ou son représentant)

Date : /././././

Elsa CORTIJO

Signature :

12 - Avis du Responsable de l'Ecole Doctorale :

Science de la Terre et de l'Environnement et Physique de l'Univers Paris (STEPUP)

Nom du Responsable :

Date : /././././

Signature :

Avis : ☐ Favorable ☐ Défavorable

Avis circonstancié :