

Coordination de la Formation par la Recherche

Sujet de Thèse CEA "SUJET-LABO 2026"

Référence du dossier :

Pôle : DRF

N° : SL-DRF-26-0325

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

Exploration des exoplanètes rocheuses 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

L'un des principaux objectifs du télescope spatial JWST est de caractériser, pour la première fois, les atmosphères des exoplanètes rocheuses et tempérées, une étape clé dans la recherche de mondes potentiellement habitables. Les exoplanètes rocheuses tempérées accessibles au JWST sont principalement celles en orbite autour d'étoiles de type M. Cependant, une question majeure demeure quant à la capacité des planètes orbitant autour de ces étoiles froides à conserver leur atmosphère. En 2024, un programme exceptionnel de 500 heures de temps discrétionnaire du directeur (Director's Discretionary Time, DDT), intitulé Rocky Worlds, a été consacré à cette thématique, soulignant son importance stratégique au plus haut niveau (NASA, STScI).

L'objectif principal de ce projet de doctorat est : 1) Analyser l'ensemble des données d'éclipses JWST/MIRI disponibles pour les exoplanètes rocheuses issues du programme Rocky Worlds et d'autres programmes publics, en utilisant un cadre d'analyse cohérent et homogène ; 2) Rechercher des tendances à l'échelle des populations dans les observations et de les interpréter à l'aide de simulations atmosphériques tridimensionnelles.

À travers ce travail, nous visons à identifier les processus physiques qui régissent la présence et la composition des atmosphères des exoplanètes rocheuses tempérées.

6 - Exposé du sujet

Context: The James Webb Space Telescope (JWST), launched in December 2021 and fully operational since the summer of 2022, is revolutionising our understanding of exoplanets, particularly through the study of their atmospheres — an area to which nearly 30% of observing time is now devoted. One of JWST's major goals is to characterize, for the first time, the atmospheres of rocky, temperate exoplanets, a key milestone in the search for potentially habitable worlds. In 2024, an exceptional 500-hour Director's Discretionary Time (DDT) program [1], entitled Rocky Worlds, was dedicated to this topic, underlining its strategic importance at the highest level (NASA, STScI).

The temperate rocky exoplanets accessible to JWST are primarily planets orbiting M-type stars, which are also the most abundant in our galaxy. These exoplanets currently represent our best candidates for detecting and characterising atmospheres, and potentially, in the future, even search for biosignatures.

To date, most analyses of JWST/MIRI imaging data (secondary eclipses and phase curves) for these planets are conducted using independent analysis tools, making direct comparison between published results difficult. The systematic biases introduced by these heterogeneous approaches limit — or severely bias — any population-level study, which is yet an essential step to identify and quantify physical processes shaping the diversity of rocky exoplanets.

It has therefore become necessary to adopt a homogeneous analysis methodology for JWST/MIRI observations, in order to derive robust trends in JWST/MIRI population of rocky exoplanets and understand whether these planets can keep an atmosphere.

Objectives of the PhD The main objective of this PhD project is to (1) Analyse all available JWST/MIRI eclipse data for rocky exoplanets using a consistent and homogeneous framework, ; (2) Search for population-level trends in observations and interpret them using 3D atmospheric simulations. We will do so to identify the physical processes that control the presence and composition of atmospheres on temperate rocky exoplanets.

Methodology

1. Data Analysis (CEA).

In the first part of the PhD, the PhD student will reanalyse all available JWST/MIRI secondary eclipse datasets (using programs Rocky Worlds, Hot Rocks Survey, TRAPPIST-1, LHS 1140, etc.) for rocky planets using a standardized procedure, building a homogeneous sample that will enable, for the first time, comparative exoplanetology of rocky worlds.

The CEA plays a central role in the design and scientific exploitation of the MIRI instrument, having led key aspects of its fabrication and scientific follow-up. The involved team (Elsa Ducrot, Pierre-Olivier Lagage) actively develops and operates the MIRI data analysis pipelines for rocky exoplanet observations [2,3,4].

2. Atmospheric Modelling (LMD). In the second part of the PhD, the PhD student will generate 3D atmospheric simulation grids for all rocky planets analysed in the first part, using the Generic PCM climate model. 3D simulations will be converted into synthetic spectra using the Pytmosph3R radiative transfer code — now directly comparable to JWST/MIRI observations.

The modeling component will rely on the 3D Generic Planetary Climate Model (Generic PCM), developed at the Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD) in collaboration with several French institutions. This model is unique worldwide in its sophistication and its ability to simulate the full diversity of planets and exoplanets. M. Turbet actively develops and uses the Generic PCM, in particular to simulate rocky exoplanet atmospheres [5,6].

By combining these two approaches (observations and models), the PhD will aim to identify global trends (presence of an atmosphere, albedo, heat transport) across the observed exoplanet population ; relate these trends to key physical parameters (stellar flux, surface gravity, stellar type, etc.); and provide a coherent physical interpretation of the observational data.

References:

1. <https://rockyworlds.stsci.edu/>
2. Greene et al. 2023, Nature (inc. Ducrot, Lagage)
3. Ducrot, Lagage, et al. 2024, Nature Astronomy
4. Gillon, Ducrot et al. 2025, Nature Astronomy
5. Turbet et al. 2018, Astronomy & Astrophysics
6. Maurel, Turbet, Ducrot et al. 2025, Astronomy & Astrophysics

7 - Collaborations (éventuelles) prévues

Laboratoire : **LMD**

Organisme : **CNRS**

Responsable : **Turbet Martin**

Raison de la collaboration :

Martin Turbet possède une expertise reconnue dans la modélisation de l'atmosphère de planètes rocheuses dans notre système solaire ainsi que des exoplanètes.

Durée : **36**

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

9 - Correspondant chargé du suivi de la thèse au CEA

Nom: **Ducrot**

Prénom: **Elsa**

Adresse : **DAp, Batiment 709, Orme des Merisiers**

Téléphone

@mail: **Elsa.ducrot@cea.fr**

Habilitation à diriger des recherches : **Non**

Organisme de rattachement : **CEA**

Combien de thèses avez-vous déjà **0**

Combien de doctorants encadrerez-vous durant l'année universitaire 2026/2027 ? **1**

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 : /././././

Elsa Ducrot

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 :