

Caractérisation d'Exoplanètes à Moyenne Résolution Spectrale par Apprentissage Supervisé

La détection et la caractérisation des exoplanètes géantes par imagerie à haut contraste et à haute résolution angulaire fournissent des contraintes inédites sur les processus de formation des systèmes planétaires à larges séparations (> 5 u.a.) ainsi que sur le fonctionnement des atmosphères Joviennes.

L'emploi de spectrographes dédiés à moyenne ($R=\lambda/\Delta\lambda=1000-10\ 000$) ou haute ($R=\lambda/\Delta\lambda>10\ 000$) résolution spectrale ouvre de nouvelles perspectives pour améliorer nos capacités de détection et de caractérisation de ces exoplanètes, avec la possibilité d'évaluer précisément leur vitesse orbitale et rotationnelle, ainsi que la structure (profil pression-température) et la composition de leur atmosphère.

Des techniques d'inversion Bayésiennes ("*MCMC*", "*Nested Sampling*") sont aujourd'hui largement répandues pour analyser les spectres d'exoplanètes à basse résolution spectrale ($R\sim 30-100$; c.a.d. quelques dizaines de mesures) et ainsi remonter aux caractéristiques physiques et chimiques des objets en se basant sur une comparaison de modèles aux données ("*forward modelling*"¹, "*retrieval*"²). De nouvelles techniques doivent désormais être proposées pour analyser efficacement les spectres à moyenne résolution spectrale, pour lesquels le volume de données à modéliser augmente significativement ($\sim 10^2$ à 10^3). Les techniques d'apprentissage supervisé associées à l'ingénierie des données apparaissent comme une voie de recherche prometteuse pour pallier ce problème.

Dans le cadre du stage proposé, l'étudiant[e] sera responsable :

- de l'analyse optimale d'un jeu de données du spectrographe à moyenne résolution spectrale SINFONI au Very Large Telescope (Chili)³ afin de caractériser l'exoplanète de type Jovien jeune: 2M1027b. L'étudiant traitera ces données à partir d'outils préexistants qu'il ou elle contribuera à améliorer,
- du développement et de la validation des techniques d'apprentissage supervisées pour l'inversion des données à moyenne résolution spectrales. L'étudiant[e] modifiera dans ce but un outil développé à l'IPAG et comparera la performance des méthodes développées à celles existantes ("*Nested Sampling*"),
- la caractérisation de l'exoplanète étudiée à partir du spectre extrait et de l'outil d'inversion.

L'étudiant devra maîtriser la programmation en langage Python et avoir de solides connaissances en traitement du signal. Il évoluera au sein du projet ERC COBREX qui regroupe des chercheurs du Laboratoire d'Etudes Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique (LESIA, Obs. de Paris), de l'Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble (IPAG) et du Centre de Recherche Astrophysique de Lyon (CRAL).

Ce stage donne droit à rémunération et se place dans la perspective d'une thèse en cotutelle proposée à la rentrée 2021/2022 au sein du projet ERC COBREX.

Points de contact :

-Anne-Marie Lagrange. Courriel : anne-marie.lagrange@univ-grenoble-alpes.fr

-Mickaël Bonnefoy. Courriel : mickael.bonnefoy@univ-grenoble-alpes.fr

¹ <https://arxiv.org/abs/1704.02987>

² <https://arxiv.org/abs/1610.03216>

³ <http://www.eso.org/sci/facilities/paranal/decommissioned/sinfoni.html>

Modeling of Medium-Resolution Exoplanet Spectra with Supervised Machine Learning Techniques

The high-contrast imaging of giant exoplanets provides invaluable constraints on planetary formation processes at large separation (> 5 a.u.) and on planetary atmospheres.

The use of dedicated medium- ($R=\lambda/\Delta\lambda=1000-10\ 000$) and high- ($R=\lambda/\Delta\lambda>10\ 000$) resolution spectrographs offer new avenues for improving the detection of exoplanets and characterize them in great details (orbital and rotational velocity, pressure-temperature profiles, composition).

Bayesian inversion techniques (MCMC, Nested Sampling) are now widely used for analysing low-resolution exoplanet spectra ($R\sim 30-100$; e.g., a few tenth of datapoints) and accessing the physical and chemical properties of the studied objets (forward modelling⁴, retrieval⁵). New techniques must now be considered for analysing efficiently the larger quantity of information contained in medium- and high-resolution spectra ($\sim 10^2$ à 10^3). Supervised machine learning techniques coupled to data engineering appear as a promising avenue to alleviate the problem.

The intern will work with Anne-Marie Lagrange and Mickaël Bonnefoy at IPAG (Grenoble) and LESIA (Paris) on the application of such methods on medium-resolution data from the SINFONI instrument⁶. She/He will process the data, modify an inversion tool developed locally, and characterize the given target[s].

The intern should demonstrate her/his ability to work in Python and have solid grounds in signal processing. She/He will be part of the ERC COBREX, collaborating with researchers from the Laboratoire d'Etudes Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique (Obs. de Paris), the Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble (IPAG) and the Centre de Recherche Astrophysique de Lyon (CRAL).

Contact point:

-Anne-Marie Lagrange. Courriel : anne-marie.lagrange@univ-grenoble-alpes.fr

-Mickaël Bonnefoy. Courriel : mickael.bonnefoy@univ-grenoble-alpes.fr

⁴ <https://arxiv.org/abs/1704.02987>

⁵ <https://arxiv.org/abs/1610.03216>

⁶ <http://www.eso.org/sci/facilities/paranal/decommissioned/sinfoni.html>

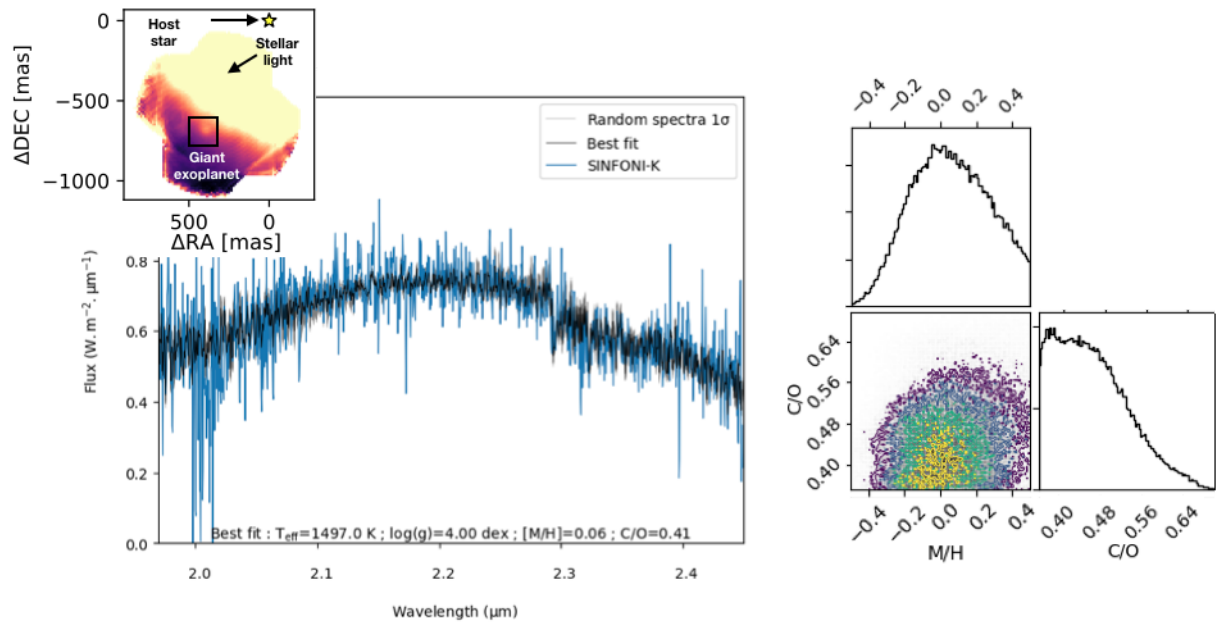


Figure 1. Left - medium-resolution spectrum of the giant exoplanet HIP 65426b (Petruš et al. 2020) extracted from SINFONI data (upper-left image). The spectrum displays water and carbon monoxide absorptions. Right - posterior distribution on the atmospheric composition of the planet from our in-house forward modelling code based on the Nested-Sampling algorithm.