

**ABONDANCE D'HÉLIUM DANS LA COURONNE ET LE VENT SOLAIRE : PRÉPARATION ET
EXPLOITATION DE LA MISSION SPATIALE SOLAR ORBITER**

**HELIUM ABUNDANCE IN THE SOLAR CORONA AND SOLAR WIND: PREPARATION AND
EXPLOITATION OF THE SPACE MISSION SOLAR ORBITER**

Établissement **Université Paris-Sud**

École doctorale **Ondes et Matière**

Spécialité **physique des plasmas**

Unité de recherche **IAS - Institut d'Astrophysique Spatiale**

Directeur de la thèse Karine BOCCHIALINI

Co-Encadrant Frédéric AUCHERE

Financement du 01-10-2019 au 30-09-2022 *origine* **Ministère via EDOM** *Employeur* **Université Paris-Saclay**

Début de la thèse le **1 octobre 2019**

Date limite de candidature **22 avril 2019**

Mots clés - Keywords

Astrophysique, Soleil, Vent Solaire, Modélisation, Analyse de données, Solar Orbiter

Astrophysics, Sun, Solar Wind, Modeling, Data analysis, Solar Orbiter

Profil et compétences recherchées - Profile and skills required

Niveau M2

Physique ; physique des plasmas

Programmation Python/IDL
Anglais
Master level
Physics, Plasma physics
Programmation Python/IDL
English

Description de la problématique de recherche - Project description

Du fait de sa masse et de son abondance, l'hélium joue un rôle fondamental dans de nombreux processus astrophysiques. La compréhension des phénomènes physiques qui lui sont associés ainsi que la détermination de son abondance ont des répercussions dans des domaines aussi variés que la cosmologie, la modélisation stellaire ou l'étude du vent solaire. Si des caractérisations des propriétés de l'hélium existent à la surface du Soleil et dans le vent solaire, très peu existent entre les deux, c'est-à-dire dans la couronne de l'étoile. Or c'est dans cette région qu'agissent les mécanismes encore mal compris d'accélération du vent solaire.

Les instruments EUV et METIS de la mission Solar Orbiter de l'Agence Spatiale Européenne (lancement en février 2020) auront la capacité de cartographier pour la première fois la distribution spatiale d'hélium dans la couronne solaire en observant simultanément les raies Lyman alpha; des ions H α et He $^+$.

L'IAS est responsable de l'imageur grand champ de EUV et est collaborateur de l'instrument METIS.

En préparation de ces observations l'IAS a conçu, en collaboration avec l'équipe de METIS, un instrument prototype qui a effectué un vol suborbital de 5 minutes à bord d'une fusée sonde lancée depuis White Sands Missile Range au Nouveau Mexique. Une analyse préliminaire des données obtenues montre clairement des variations de l'abondance d'hélium à la frontière entre régions de lignes de champ magnétique ouvertes et fermées, co-spatialement à une augmentation de la température. Cette morphologie n'était pas attendue, montrant que les modèles utilisés jusqu'à présent ne capturent pas toute la physique du vent solaire.

L'objectif de la thèse sera dans un premier temps de poursuivre l'analyse des données déjà obtenues afin de quantifier les variations d'abondance observées. Pour ce faire, en se basant sur des codes numériques existants, il sera nécessaire de développer un modèle complet de diffusion résonante permettant de simuler l'émission coronale dans la bande passante de l'instrument. Ce travail de simulation servira de préparation aux observations de Solar Orbiter. Le second volet de la thèse sera donc l'analyse des nouvelles données, lesquelles seront acquises après la phase de croisière, soit à partir de novembre 2021, en début de 3 $^{\text{ème}}$ année de thèse.

Because of its mass and abundance, helium plays a fundamental role in many astrophysical processes. The determination of the abundance of helium has consequences in a variety of fields including cosmology, stellar evolution models, or the study of the solar wind. However, if the properties of helium are characterized in the photosphere and in the solar wind, few observations exist in the corona of the

star, where the still unexplained acceleration processes are taking place.

EUI and METIS on board the Solar Orbiter mission of the European Space Agency (to be launched in February 2020) will for the first time map the spatial distribution of Helium in the solar corona by simultaneously observing the Lyman alpha lines of H0 et He+.

IAS led the development of the EUI wide field imager and is collaborator of the METIS instrument.

In preparation of these observations, IAS has designed in collaboration with the METIS team, a prototype instrument dedicated to the measurement of the Helium abundance. The instrument has flown on board a sounding rocket launched from White Sands Missile Range in New Mexico.

Preliminary analysis reveals bright structures located at the boundary between regions of open and closed magnetic field lines. Increases of temperatures are also measured in these areas. This morphology was unexpected, which shows that the existing models do not capture all the physics at play in the solar wind. In particular, these structures seem to be a signature of local helium abundance variations. The aim of this thesis will be quantify these variations and to develop a coherent model of the solar wind propagation taking into account these new observational constraints. Building upon existing codes, it will be necessary to develop a comprehensive model of the coronal emission in the passband of the instrument. This will also serve as preparatory work for the re-flight of the instrument of the sounding rocket in 2019, as well as for the observations of Solar Orbiter.

The first Solar Orbiter data will be available in November 2021, at the beginning of the third year of the thesis.

The successful applicant will work at Institut d'Astrophysique Spatiale, under the co-direction of Karine Bocchialini (50%) and Frédéric Auchère (50%). He/she will have access to state of the art computation facilities and privileged access to the MEDOC solar database (SOHO, STEREO, SDO data, etc.). This work will be performed in collaboration with INAF (Italy, Palermo).

Thématique / Domaine / Contexte

Physique Solaire

Astrophysique spatiale

Une analyse préliminaire des données obtenues par la fusée sonde montre que des structures brillantes se situent à la frontière des trous coronaux polaires entre régions de lignes de champ magnétique ouvertes et fermées. Des augmentations de température sont aussi constatées dans ces régions. Cette morphologie n'était pas attendue, montrant que les modèles utilisés jusqu'à présent ne capturent pas toute la physique du vent solaire. En particulier, ces structures semblent être la signature de variations locales de l'abondance d'hélium.

Objectifs

Caractérisation de l'abondance de l'hélium dans la couronne et le vent solaire.

Méthode

Pour ce faire, en se basant sur des codes numériques existants, il sera nécessaire de développer un modèle complet de l'émission coronale dans la bande passante de l'instrument. Le travail servira aussi de préparation au re-vol de la fusée sonde prévu en 2019, ainsi qu'aux observations de Solar Orbiter.

Résultats attendus - Expected results

Cartographie de l'abondance de l'hélium dans le vent solaire.

Précisions sur l'encadrement - Details on the thesis supervision

La thèse se déroulera à l'Institut d'Astrophysique Spatiale sous la co-direction de Karine Bocchialini (50%) et Frédéric Auchère (50%). L'IAS est co-responsable du développement de l'instrument EUI et collaborateur de l'instrument METIS. Le/la candidat/e retenu/e aura à sa disposition des moyens de calcul performants et un accès privilégié à la base de données solaires MEDOC (missions SOHO, STEREO, SDO, Solar Orbiter, etc). Ce travail se fera en collaboration avec l'INAF (Palerme, Italie), responsable de l'instrument METIS.

Conditions scientifiques matérielles et financières du projet de recherche

La thèse se déroulera à l'Institut d'Astrophysique Spatiale sous la co-direction de Karine Bocchialini et Frédéric Auchère. L'IAS est co-responsable du développement de l'instrument EUI et collaborateur de l'instrument METIS. Le/la candidat/e retenu/e aura à sa disposition des moyens de calcul performants et un accès privilégié à la base de données solaires MEDOC (missions SOHO, STEREO, SDO, Solar Orbiter, etc.)

Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant : diffusion, publication et confidentialité, droit à la propriété intellectuelle,...

Publications classiques dans revues à comité de lecture.

Participation à des colloques nationaux et internationaux : présentations de posters et présentations orales

Collaborations envisagées

Ouverture Internationale

Thèse dans le cadre de la mission Solar Orbiter : collaborations internationales multiples.

Références bibliographiques

Auchère F., Effect of the H I Ly α Chromospheric Flux Anisotropy on the Total Intensity of the Resonantly Scattered Coronal Radiation, 2005, ApJ, 622, 737A

Antonucci E. et al., Multi Element Telescope for Imaging and Spectroscopy (METIS) coronagraph for the Solar Orbiter mission, 2012, SPIE, 8443E, 09A

Müller D. et al, Solar Orbiter . Exploring the Sun-Heliosphere Connection, 2013, Solar Physics, 285, 25M

Auchère F. et al, HECOR: a HELium CORonagraphy aboard the Herschel sounding rocket, 2007, SPIE, 6689E, 0AA

Halain J.-P. et al, The EUi flight instrument of Solar Orbiter: from optical alignment to end-to-end calibration, 2018, SPIE, 10699E, 0HH

Complément sur le sujet

<http://sci.esa.int/solar-orbiter/> (<http://sci.esa.int/solar-orbiter/>)

Dernière mise à jour le 1 février 2019