



Winds of Change : Modélisation avancée du vent stellaire pour l'évolution stellaire et planétaire

Spécialité Astrophysique

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Master 1

Unité d'accueil [DAP/LDE3](#)

Candidature avant le 31/01/2025

Durée 4 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [STRUGAREK Antoine](#)

+33 1 69 08 30 18

antoine.strugarek@cea.fr

Résumé

A l'instar du flux continu de plasma émis par le Soleil, toutes les étoiles de type solaire génèrent un flux de plasma similaire, communément appelé vent stellaire. Ce stage vise à caractériser les propriétés physiques et les profils spatiaux des vents stellaires, en tenant compte des variations des caractéristiques stellaires entre les différents types d'étoiles. Une telle étude aura des implications sur notre compréhension de l'évolution stellaire et de l'habitabilité exoplanétaire autour de ces étoiles.

Sujet détaillé

La détection directe des vents stellaires par des observations est un défi, et notre compréhension de leurs propriétés physiques repose largement sur des méthodes indirectes telles que l'absorption astrosphérique Ly-alpha et les mesures des taux de perte de masse stellaire. L'étude des vents stellaires est cruciale pour comprendre leur impact sur les atmosphères exoplanétaires et l'habitabilité, car les propriétés physiques du vent stellaire près de la planète influencent directement le chauffage atmosphérique. La force relative de la densité d'énergie du vent stellaire par rapport à l'atmosphère planétaire détermine la distance à laquelle le vent peut s'approcher de la surface de la planète, ce qui a des conséquences importantes sur l'évolution de la surface et l'habitabilité. En outre, l'examen des vents stellaires dans différents types d'étoiles peut fournir des informations précieuses sur l'histoire de l'évolution des étoiles elles-mêmes. Le vent stellaire joue également un rôle essentiel dans les interactions magnétiques étoile-planète (SPMI), en particulier pour les exoplanètes proches. Dans ces orbites compactes, une connexion magnétique se forme entre l'étoile et la planète, permettant à l'énergie de la planète d'être transférée à l'étoile, ce qui peut générer des points chauds stellaires observables. Des études récentes suggèrent que l'efficacité de ce transfert d'énergie dépend fortement des propriétés du vent stellaire par lequel l'énergie est canalisée. Il est donc essentiel de bien comprendre et de caractériser précisément les vents stellaires de différents types d'étoiles.

Ce stage vise à étudier les propriétés spatiales des vents stellaires pour différents types d'étoiles en utilisant des simulations magnétohydrodynamiques (MHD) avec des implications sur le transfert d'énergie dû au SPMI. L'étudiant effectuera, sous la supervision d'Arghyadeep Paul et Antoine Strugarek, des simulations numériques avec le code MHD open-source et hautement parallèle PLUTO, pour générer des profils de vents stellaires 1D pour une gamme de

paramètres stellaires, y compris la température de surface et le taux de perte de masse stellaire. En outre, la transmission d'énergie à travers le vent stellaire sera étudiée en appliquant divers modèles analytiques de transmission aux données de simulation, dans le but de caractériser l'efficacité de la transmission d'énergie à travers ces profils de vent stellaire simulés.

Les conclusions tirées de ce travail permettront non seulement d'améliorer notre compréhension de la transmittance de l'énergie dans les SPMI, mais aussi de fournir de meilleures contraintes sur les propriétés générales des vents stellaires.

Mots clés

Compétences

Simulations numériques multi-physique

Logiciels

C, Python

Winds of Change: Advanced modelling of stellar wind for stellar and planetary evolution

Summary

Analogous to the continuous stream of plasma emitted by the Sun, all stars generate a similar plasma flow, commonly referred to as stellar wind. This internship aims to characterise the physical properties and spatial profiles of stellar winds, accounting for variations in stellar characteristics across different types of stars. Such a study will have implications on our understanding of stellar evolution and exoplanetary habitability around these stars.

Full description

Detecting stellar winds directly through observations is challenging, and our understanding of their physical properties relies heavily on indirect methods such as astrospheric Ly-alpha absorption and measurements of stellar mass loss rates. Studying stellar winds is crucial for understanding their impact on exoplanetary atmospheres and habitability, as the physical properties of the stellar wind near the planet directly influence atmospheric heating. The relative strength of the stellar wind's bulk energy density compared to the planetary atmosphere determines how close the wind can approach the planet's surface, with significant implications for surface evolution and habitability. Additionally, examining stellar winds across different types of stars can provide valuable insights into the evolutionary history of the stars themselves. Another critical role of stellar wind is in star-planet magnetic interactions (SPMI), particularly for close-in exoplanets. In such compact orbits, a magnetic connection forms between the star and the planet, allowing energy from the planet to be transferred back to the star, potentially generating observable stellar hotspots. Recent studies suggest that the efficiency of this energy transfer is highly dependent on the properties of the stellar wind through which the energy is channelled. Therefore, a comprehensive understanding and accurate characterization of stellar winds across different types of stars is essential.

This internship aims to investigate the spatial properties of stellar winds for different stellar types using magnetohydrodynamic (MHD) simulations with implications on energy transfer due to SPMI. The student will, under the supervision of Arghyadeep Paul and Antoine Strugarek, perform numerical simulations with the open-source, highly parallel MHD code, PLUTO, to generate 1D stellar wind profiles across a range of stellar parameters, including surface temperature and stellar mass loss rate. Furthermore, energy transmittance through the stellar wind will be investigated by applying various analytical transmission models to the simulation data, aiming to characterise the efficiency of energy transmission through these simulated stellar wind profiles.

The conclusions drawn from this work will not only enhance our understanding of energy transmittance in SPMI but will also provide better constraints on the general properties of stellar winds.

Keywords

Skills

Multi-physics numerical simulations

Softwares

C, Python