



## Modélisation des interactions magnétiques étoile-planète pour des orbites inclinées

**Spécialité** Astrophysique

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [DAP/LDE3](#)

**Candidature avant le** 29/05/2024

**Durée** 4 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [STRUGAREK Antoine](#)

+33 1 69 08 30 18

[antoine.strugarek@cea.fr](mailto:antoine.strugarek@cea.fr)

### Résumé

Les exoplanètes en orbite compacte interagissent avec leur milieu le long de leur orbite et se connectent magnétiquement à leur étoile hôte. Cette connection laisse une trace visible dans l'atmosphère de l'étoile et a notamment été détectée pour 4 exosystèmes par Cauley et al. (2019). Le but du stage est de caractériser, dans le contexte de l'étude des systèmes exoplanétaires (futures missions ESA PLATO, ARIEL, et instruments sol tels que SKA), la façon dont ces exoplanètes se connectent magnétiquement à leur étoile hôte. Le cas d'une planète en orbite circulaire et dont le plan orbital est perpendiculaire à l'axe de rotation de l'étoile a déjà été largement caractérisé via la simulation numérique 3D (Strugarek 2016). Pour ce stage, nous étendrons cette étude ab-initio pionnière au cas des planètes en orbite inclinée par rapport à l'axe de rotation de l'étoile.

### Sujet détaillé

Le but du stage est d'explorer, dans le contexte de l'étude des systèmes exoplanétaires (futures missions PLATO, ARIEL, et instruments sol tels que SKA) la façon dont des exoplanètes en orbite compacte interagissent avec leur milieu le long de leur orbite et se connectent magnétiquement à leur étoile hôte. Cette connection magnétique a notamment été détectée pour 4 systèmes compacts par Cauley et al. (2019). Du point de vue de notre compréhension, le cas d'une planète en orbite circulaire et dont le plan orbital est perpendiculaire à l'axe de rotation de l'étoile a déjà été largement caractérisé par la théorie semi-analytique (Saur et al. 2013) et par la simulation numérique 3D ab-initio (e.g. Strugarek 2016). Pour ce stage, nous étendrons ces études pionnières au cas des planètes en orbite inclinée par rapport à l'axe de rotation de l'étoile.

On s'attend en effet à ce que cette inclinaison module fortement la connectivité magnétique de la planète à l'étoile le long de l'orbite, et ainsi affecte tout signal pouvant provenir de l'existence de cette connectivité magnétique. Par exemple, le relatif alignement de l'orbite d'une planète est une caractéristique majeure pour la possible détection à distance de cette interaction en radio (e.g. Kavanagh & Vedantham 2023). De plus, la détection d'un tel signal pourrait permettre de mieux caractériser les planètes en orbite 'pole-on' pour les nombreux systèmes observés par Kepler dont l'axe de rotation de l'étoile est perpendiculaire à notre angle de visée mais dont les planètes ne transient pas.

---

Afin de mieux comprendre ces systèmes, nous allons utiliser le modèle 3D global d'interaction magnétique étoile-planète (Strugarek et al. 2015) afin de permettre de traiter une planète en orbite inclinée. Pour faire cela, le système étoile-planète sera toujours considéré centré sur l'étoile et dans le repère Keplerien tournant avec la planète (la planète est donc fixe dans la grille), mais nous laissons libre l'axe de rotation de l'étoile par rapport à la grille du modèle, simulant ainsi une orbite inclinée quelconque. Le travail à effectuer lors du stage sera donc décomposé en plusieurs parties:

Développement (~1 mois): changer l'axe de rotation de l'étoile centrale dans le modèle numérique 3D basé sur le code open-source PLUTO

Calcul numérique (~2 mois): étude paramétrique pour une distance orbitale et différents angles d'inclinaison afin de caractériser:

(i) les points de connection magnétique de l'interaction dans l'atmosphère de l'étoile et ainsi le signal temporel attendu pour l'observateur

(ii) la modulation de l'amplitude de la connection magnétique (appelée 'aile d'Alfvén')

(iii) l'influence de l'inclinaison sur le couple magnétique ressenti par la planète et la faisant migrer sur des temps séculaires (voir Ahuir et al. 2021).

Rédaction (~ 1 mois): Ecriture du rapport et squelette d'article scientifique pour présenter les résultats

Les conclusions de ce travail contribueront à une compréhension plus exhaustive des interactions magnétiques étoile-planète. Le sujet de ce stage, fortement relié au domaine très actif des exoplanètes, offre ainsi au stagiaire une excellente perspective scientifique pour poursuivre ensuite en thèse. Il est de plus lié au projet ERC ExoMagnets qui débutera le 1er juin 2024. Le/la stagiaire sera entouré par une équipe d'experts en physique stellaire et exoplanétaire (A. Strugarek, A.S. Brun, S. Mathis, R. Garcia, A. Garcia-Muñoz).

## **Mots clés**

## **Compétences**

## **Logiciels**

---

**Summary**

**Full description**

**Keywords**

**Skills**

**Softwares**