

Étude sismique des modes de bases fréquences dans le soleil et les étoiles de type solaire

DESCRIPTION ET PROBLEMATIQUE

Le but de cette thèse est d'améliorer la caractérisation des modes de pression et (si possible) des modes de gravité à basse fréquence des étoiles de faible masse de type solaire de classe spectrale F et du soleil. Les modes de gravité sont des modes d'oscillation excités par la turbulence de surface des étoiles de faible masse comme le soleil. Ils évoluent dans les zones radiatives et ils deviennent évanescents dans la couche convective externe de ces étoiles. Dans le cas du Soleil, ces modes qui sont supposés avoir une périodicité de quelques heures n'ont pour l'instant pas été mesurés à la surface de notre étoile : il a uniquement été possible de les étudier par des méthodes indirectes (Garcia et al. 2007, Fossat et al. 2017).

Pour arriver à visualiser ces modes, deux étapes sont cruciales :

1) Mettre en place des nouvelles méthodes d'analyse et/ou instrumentales permettant de réduire le bruit convectif.

Le prototype GOLF-NG nous a permis de montrer une voie pour s'attaquer au premier point : des mesures de vitesse Doppler obtenues à différentes profondeurs dans la photosphère solaire montrent des modes acoustiques très corrélés mais un signal convectif pourtant faiblement corrélé. Il est donc possible qu'en combinant des mesures Doppler obtenues à différentes hauteurs dans la photosphère et la chromosphère solaires nous puissions réduire le bruit convectif, extraire les modes acoustiques à plus basse fréquence, et même mesurer les modes de gravité. L'instrument solar-SONG qui effectue des observations journalières du soleil depuis l'Observatoire du Teide (Tenerife, Espagne) mesure la vitesse Doppler à partir de la position de plusieurs centaines des raies solaires chacune formée à une hauteur différente dans l'atmosphère solaire. Le premier objectif de la thèse est donc d'améliorer le logiciel existant pour extraire la vitesse Doppler en sélectionnant les lignes par hauteur de formation et

ainsi étudier les corrélations entre les modes et le signal convectif.

2) Étudier en détail les étoiles où la couche convective externe est plus fine que dans le soleil (30% en rayon).

Le satellite *Kepler* a observé des dizaines d'étoiles de type solaire pulsantes de classe spectrale F. Ces étoiles ont en général une couche convective qui mesure 5 à 10% de son rayon, et donc de 3 à 6 fois plus étroite que le soleil. Il est important d'étudier la zone de basses fréquences de ces étoiles pour chercher des signatures globales des modes de gravité comme nous avons fait en 2007 sur le soleil (Garcia et al. 2007). Malheureusement, ces étoiles tournant généralement en quelques jours, les harmoniques de rotation peuvent camoufler les modes de gravité dans les données. Il faut donc bien maîtriser la rotation de ces étoiles avant de procéder à l'étude des oscillations de basse fréquence. Nous proposons alors d'utiliser le code d'extraction de la rotation développée au LDE3 (Garcia et al. 2014, Ceillier et al. 2016, 2017) qui utilise une méthode hiérarchique pour extraire la période de rotation à partir de 3 algorithmes différents (ACF, Wavelets, composite Spectrum). Nous proposons d'améliorer cette partie du code en utilisant des techniques de Machine Learning (Random Forrest) en substitution de l'arbre hiérarchique existant dans le code aujourd'hui. Une fois cela fait, procéder à l'étude des modes acoustiques de basse fréquence et chercher les modes de gravité.

DESCRIPTION LABO/ENCADREMENT

L'étudiant(e) sera supervisé(e) par le Dr. (HDR) Rafael A. García, membre du Laboratoire Dynamique des Etoiles, des (Exo)-planètes, et de leur environnement du Département d'Astrophysique du CEA-IRFU-DRF. Ce groupe d'une vingtaine de personnes est leader sur l'hélio- et l'astérosismologie, les études de la rotation et le magnétisme stellaires et de la physique des étoiles. De plus, le LDE3 est directement impliqué dans l'exploitation de

l'instrument GOLF/SoHO et dans la préparation de la mission M3 ESA PLATO.

L'étudiant sera co-supervisé par le Dr. Pere Lluís Pallé (IAC, Tenerife, Espagne) pour les travaux sur Solar-SONG qui se dérouleront en parité à l'IAC.

TRAVAIL PROPOSE

Le doctorant commencera par se familiariser avec la physique solaire et stellaire et les techniques propres à l'hélio- et astéro-sismologie pour lesquelles une partie des logiciels à utiliser lors de la thèse sont déjà disponibles. Une fois ces connaissances en place, le travail de thèse se déroulera sur trois axes principaux :

- a) Caractérisation de la période de rotation de l'étoile et de ses harmoniques grâce à l'utilisation des techniques de machine Learning (Random Forrest algorithm). Cela permettra d'éliminer ces fréquences « polluants » de la région de bases fréquences du spectre de puissance.
- b) Étude de la convection (granulation) et des amplitudes des modes en fonction de la hauteur de formation des raies spectroscopiques grâce à l'instrument Solar-SONG. L'étudiant devra modifier le logiciel existant pour obtenir l'information de vitesse Doppler en ne prenant que certaines raies spectroscopiques. Ensuite, nous ferons l'étude des modes et de la signal-à-bruit obtenu en comparant avec les mesures simultanées de GOLF/SoHO.
- c) Étude des modes acoustiques de basse fréquence et recherche des modes de gravité avec les séries les plus longues obtenues par le satellite SoHO/GOLF ainsi que pour des étoiles de type solaire de classe spectrale F en séquence principal pour lesquelles la couche convective est plus étroite comparé au soleil. Dans ces étoiles F il se peut donc que les modes de gravité aient une amplitude suffisante pour être mieux détectés que dans le cas solaire.

Le doctorant contribuera ainsi au développement des outils qui seront utilisés pour analyser Solar-SONG, il contribuera aux travaux scientifiques liés à l'exploitation de GOLF/SoHO et les méthodes développées pourront être appliqués au segment sol de la mission PLATO, ce qui placera le doctorant dans une position privilégiée en fin de thèse pour

trouver un contrat post-doctoral dans les laboratoires engagés sur PLATO ou dans les agences ou entreprises travaillant en relation avec le milieu spatial.

FORMATION ET COMPETENCES

REQUISES

Master 2 en astrophysique. Une expérience en traitement des données serait un plus.

COMPETENCES ACQUISES

Ce sujet de thèse permettra à l'étudiant de développer une connaissance de niveau international en physique solaire et stellaire, en modélisation et en traitement des données hélio- et astéro-sismiques, champ de recherche en plein essor en astrophysique de nos jours avec les satellites SoHO/GOLF, SDO, CoRoT, *Kepler/K2*, TESS, et dans un futur proche avec Solar Orbiter et PLATO.

COLLABORATIONS/PARTENARIATS

Cette thèse s'inscrit dans l'exploitation des missions SoHO/GOLF *Kepler/K2*, TESS ainsi que sur le développement de l'instrument Solar-SONG placé à l'Observatoire du Teide aux îles de Canaries (Espagne). Les méthodes d'analyses issues de cette thèse seront appliquées sur le segment sol de la mission M3 ESA PLATO. L'étudiant bénéficiera du large réseau de collaborateurs internationaux de Rafael A. Garcia (Europe, USA, et Australie) notamment pour l'utilisation des codes d'analyse sismiques et de son rôle de responsable du segment sol de l'analyse de la dynamique (rotation et magnétisme) des étoiles de type solaire, des étoiles appartenant à des amas d'étoiles ainsi que des algorithmes sismiques pour la détection des propriétés globales des étoiles de type solaire. Au cours de la thèse, le doctorant effectuera des séjours à l'Observatoire du Teide à l'IAC (Espagne).

CONTACTS

Scientifique : Rafael A. Garcia

Phone : 0169082725

E-mail : Rafael.garcia@cea.fr