

Evolution de la dynamique interne et de surface des étoiles à travers l'astérosismologie.

DESCRIPTION ET PROBLEMATIQUE

Le but de cette thèse sera de mieux contraindre les processus dynamiques dans les intérieurs stellaires (principalement les géantes rouges) et ainsi pouvoir améliorer les modèles de structure et d'évolution stellaire pour ainsi avoir entre autres, une meilleure détermination des âges stellaires cruciaux pour la physique stellaire, planétaire et galactique. Cela aura un fort impact sur les missions NASA *Kepler*, K2 et TESS ainsi que sur la mission ESA GAIA pour laquelle, les estimations des âges sont calibrées à partir des mesures sismiques. Cette thèse permettra simultanément de préparer la mission M3 de l'ESA PLATO pour laquelle le CEA (DRF/IRFU/SaP) est très impliqué, autant sur le hardware (seul laboratoire Français impliqué) que sur la préparation scientifique.

En effet, grâce aux observations astérosismiques fournies par les satellites CoRoT, *Kepler*, K2 et la future mission NASA TESS (lancement prévu fin 2017) nous sommes aujourd'hui en mesure de sonder les intérieurs stellaires, autrement inaccessibles à l'exploitation scientifique. Nous sommes capables de déduire ainsi les propriétés de leur structure interne (e.g. Bedding, ... García et al. 2011, Nature), leur rotation interne au soleil (García et al, 2007, Science) et à différents états évolutifs (e.g. Beck ... García et al. 2012, Nature), établir des contraintes sur l'évolution de la rotation de surface (García et al. 2014 A&A ; Van Saders, ..., García et al. 2016, Nature), et même, depuis fin 2015, il semble possible pouvoir établir des contraintes sur l'existence des forts champs magnétiques internes aux cœurs des étoiles de type solaire (Fuller, Cantiello, Stello, García & Bildsten 2015, Science), bien que ce point reste à être confirmé. Nous pensons que ces champs magnétiques pourraient être le vestige des champs dynamos générés dans les cœurs convectifs des étoiles pendant la séquence principale (Stello, Cantiello, Fuller, Huber, García, Bildsten & Davies, 2016, Nature). Malheureusement, tout cela reste à être confirmé, ce que cette thèse a comme objectif de changer. De plus, la dynamique interne (rotation et

magnétisme) est traitée aujourd'hui de façon très simpliste dans les modèles d'évolution stellaire et les profils de rotation interne obtenus ont des écarts très importants en comparaison avec les mesures sismiques (voir Figure 1). Cette thèse permettra aussi d'améliorer cette situation.

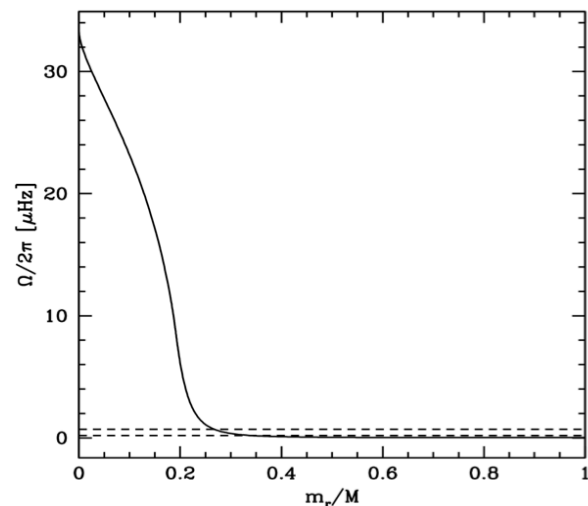


Figure 1: Modèle de rotation interne de l'étoile KIC7341231 (courbe noire) et mesures sismiques (lignes en tirets) obtenues par *Kepler*. Il faut ajouter des processus physiques aux modèles pour mieux extraire du moment angulaire du cœur des étoiles (e.g. Ceillier, Eggenberger, García & Mathis 2012).

La rotation et le magnétisme internes ont une grande influence sur la structure des étoiles et leur connaissance est un point-clef pour comprendre leur évolution ainsi que pour pouvoir donner avec précision les âges des étoiles (e.g. Ceillier, Eggenberger, García & Mathis, 2012). Par exemple, une augmentation de la rotation interne va engendrer un plus grand mélange chimique en apportant plus de l'hydrogène au cœur de l'étoile, ce qui va ainsi rallonger de façon non négligeable son âge par rapport à une autre étoile ou le cœur tournerait plus lentement.

Pouvoir donc mieux comprendre la dynamique interne est vital pour la physique stellaire. De ce fait, l'étude du moment cinétique tout au long de l'évolution d'une étoile de type solaire est aujourd'hui devenue une science observationnelle à part entière.

DESCRIPTION LABO/ENCADREMENT

L'étudiant(e) sera supervisé(e) par le Dr. (HDR) Rafael A. García, membre du Laboratoire Dynamique des Etoiles et de leur Environnement (LDEE) du Service d'Astrophysique du CEA-IRFU. 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 LDEE est directement impliqué dans la science de la mission M3 ESA PLATO.

TRAVAIL PROPOSE

Il s'agira de préparer le segment sol de la mission M3 ESA PLATO. Pour cela, le doctorant commencera par se familiariser avec la physique stellaire et les techniques propres à l'astérosismologie pour lesquelles une partie des logiciels à utiliser lors de la thèse sont déjà disponibles, mais pour lesquelles il faudra travailler sur son automatisation. Une fois ces connaissances en place, le doctorant sélectionnera des étoiles à différentes étapes évolutives pour lesquelles la dynamique interne (rotation et magnétisme) et de surface peuvent être déterminées, en particulier dans des amas d'étoiles. Il caractérisera les modes d'oscillation pour contraindre la rotation interne et le magnétisme et fournira les paramètres nécessaires à la modélisation fidèle de ces étoiles.

À partir de toutes ces informations, le doctorant procédera à la sélection des étoiles les plus intéressantes pour en faire la modélisation 1-D (et éventuellement 3-D) et progresser dans la connaissance des processus physiques qui gouvernent le transport du moment cinétique (circulation méridienne, convection, champ magnétique, ondes, ...).

Un dernier volet du projet sera d'identifier des séquences évolutives d'étoiles ayant la même masse initiale et composition chimique pour tracer l'histoire de la rotation en fonction de la masse mais aussi de la métallicité de l'étoile. En traçant l'évolution des étoiles d'une masse solaire on pourra ainsi mieux comprendre le passé et le futur de notre Soleil.

Le doctorant contribuera ainsi au développement des outils qui seront utilisés pour le 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.

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 stellaire, en modélisation et en traitement des données astérosismiques, champ de recherche en plein essor en astrophysique de nos jours avec les satellites SoHO/GOLF, Hinode, SDO, CoRoT, *Kepler*, TESS, Solar Orbiter et dans un futur proche PLATO.

COLLABORATIONS/PARTENARIATS

Cette thèse s'inscrit dans le développement de la mission M3 ESA PLATO. L'étudiant bénéficiera du large réseau de collaborateurs internationaux de Rafael A. García (Europe, USA, et l'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, ainsi que des étoiles appartenant à des amas d'étoiles. Au cours de la thèse, le doctorant effectuera des séjours dans des instituts tels que l'Observatoire de Genève (Suisse), l'IAC (Espagne), l'Université de Sydney (Australie), le Space Science Institute (USA) et l'Université d'Ohio (USA).

CONTACTS

Scientifique : Rafael A. Garcia

Phone : 0169082725

E-mail : Rafael.garcia@cea.fr