

Titre/Title : **Étalonnage des relations asteroseismic à partir de systèmes binaires éclipsant montrant des pulsations : application aux étoiles du champ et des étoiles à planètes de CoRoT, Kepler et K2 / Calibration of asteroseismic relations through eclipsing binaries showing pulsations: application to field and planet host stars observed by CoRoT, Kepler and K2.**

Directeurs :

Rafael A. Garcia (ingénieur CEA, AIM–UMR 7158 / AIM - Laboratoire dynamique des étoiles et de leur environnement) & Patrick Gaulme (New Mexico State University - NMSU)

Exposé du sujet

Les géantes rouges se sont révélées comme une incroyable source d'information pour tester les modèles théoriques de structure et d'évolution stellaire (e.g. Bedding , ... García et al. 2011 , Nature). L'astérosismologie permet de déterminer la masse et le rayon d'une étoile de manière très simple, par la mesure des propriétés globales des modes d'oscillation d'une étoile, puis par l'application de relation d'échelles à partir des valeurs du soleil (Kjeldsen & Bedding 1995). Cependant, ces relations d'échelle n'ont jamais été proprement étalonnées malgré leur application généralisée à l'analyse des données des missions spatiales CoRoT ou Kepler. D'autre part, les étoiles binaires à éclipses sont depuis longtemps considérées comme de précieux outils pour l'astrophysique car leur observation photométrique et spectrométrique permet de déterminer la masse et le rayon de chaque composante, sans besoin d'une quelconque connaissance a priori de la distance ou du type des étoiles (e.g. Gaulme et al. 2014 ApJ). L'objectif de cette thèse est de combiner l'analyse photométrique et spectrométrique de systèmes binaires à éclipses avec l'analyse sismique et la modélisation d'au moins une des composantes de ce type de systèmes. Cela permettra de mieux étalonner les lois d'échelles sismiques qui seront ensuite appliquées aux étoiles observées par les missions d'astérosismologie. Cette amélioration constituera un atout majeur pour une caractérisation plus précise des étoiles du champ mais aussi des systèmes exoplanétaires, et ainsi de la masse et taille des planètes déjà découvertes par la méthode des transits des missions comme CoRoT, Kepler et K2 mais aussi de la future mission M3 de l'ESA PLATO.

Au cours de cette thèse, le doctorant apprendra les différentes techniques d'analyses sismiques (méthodes bayésiennes, ajustement par maximum de vraisemblance, etc...) et se familiarisera avec différents types d'observations (par exemple photométriques, spectroscopiques, etc). Dans un deuxième temps, le doctorant prendra en main un code d'évolution stellaire (type MESA ou STAREVOL). En fin de thèse le doctorant aura vu toutes les étapes des analyses sismiques, aura déterminé des lois d'échelle plus précises et sera dans la meilleure position pour analyser les données du satellite américain TESS qui sera lancé à l'horizon 2018. Cette thèse s'effectuera dans le Laboratoire Dynamique des Etoiles et de leur Environnement (LDEE) du Service d'Astrophysique du CEA-IRFU, Laboratoire AIM, Université Paris Diderot ainsi que à l'Université de Nouveau Mexique (NMSU, USA). L'étudiant bénéficiera de l'expérience des deux groupes pour son bon déroulement. Ce sujet de thèse permettra à l'étudiant de développer une connaissance de premier niveau en physique stellaire, en modélisation et en traitement des données asterosismiques et spectroscopiques, champ de recherche en plein essor en astrophysique de nos jours avec les satellites CoRoT, Kepler, TESS, et dans un futur proche PLATO.

Cette thèse a pour but d'étudier des systèmes binaires à éclipses où au moins une des étoiles montre des pulsations de type solaire en utilisant des techniques de sismologie (données fournies par les satellites CoRoT, Kepler et K2). En effet la sismologie est la seule technique qui permet de sonder les intérieurs stellaires et ainsi de contraindre les modèles de structure et d'évolution. Ces

études sismiques seront complétées par l'analyse spectroscopique de ces étoiles. Ce travail sera fait au NMSU, grâce au spectromètre d'échelle ARCES (resolution $R = 30000$) situé sur le télescope de 3.5m ARC à l'observatoire d'Apache point (APO) au Nouveau Mexique (USA). Une fraction de temps de cet instrument sera dédiée à ce projet grâce au temps garanti de l'équipe américaine.

Jusqu'à maintenant, seulement un système multiple éclipsant avec une étoile pulsante de type solaire a été découvert et complètement caractérisé dans le champ de Kepler (Frandsen 2013). Cependant, Gaulme et al. (2014) ont identifié une quinzaine de nouveaux systèmes et l'équipe du CEA/Sap vient d'en découvrir une autre douzaine de candidats, toutes dans les données de Kepler. De plus, une douzaine de systèmes triples abritant une géante rouge dont on a détecté les oscillations ont été également découvertes, ce qui porte à une quarantaine le nombre de systèmes potentiels pour lesquels il est possible de déterminer la masse d'une étoile oscillante indépendamment de son spectre d'oscillation. Cet échantillon constituera le premier set de données que le doctorant devra caractériser pour mieux étalonner les lois d'échelle sismiques.

Le doctorant commencera par se familiariser avec la physique des systèmes stellaires multiples et les techniques propres à l'astérosismologie pour lesquelles une partie des logiciels à utiliser lors de la thèse sont déjà disponibles. Une étude préliminaire des systèmes connus permettra d'établir une priorité sur les systèmes pour faire une caractérisation spectroscopique avec ARCES des cibles les plus prometteuses. Le doctorant partira pendant 1 an au NMSU (USA), avec un financement déjà acquis par l'équipe américaine, où il fera cette étude en parallèle avec la caractérisation complète des systèmes à partir des données requises mais aussi de la modélisation stellaire. A partir de ces résultats, on pourra étalonner les lois d'échelle sismiques sur une partie plus large du diagramme HR, loin du voisinage solaire, couverte par les différents systèmes étalons étudiés.

Pendant la dernière année de thèse, de retour en France, le doctorant cherchera dans tout l'archive de CoRoT pour cataloguer et analyser d'autres systèmes binaires/multiples. En effet, malgré la courte durée des observations de CoRoT comparées à celles de Kepler, les travaux de Gaulme et al. (2014) sur ce sujet montrent que la moitié des systèmes de ce type détectés à ce jour, ont une période inférieure à 175 jours. Cela laisse donc une très large marge pour augmenter le retour scientifique de CoRoT dans ce domaine.

Le doctorant utilisera la nouvelle loi d'échelle obtenu précédemment pour mieux déterminer les paramètres des étoiles géantes rouges observés par CoRoT, Kepler et K2 ainsi que des systèmes planétaires détectés par ces trois missions.

En fin de thèse, le doctorant sera en mesure d'appliquer tout son savoir-faire aux données du satellite américaine TESS ce qui sera un atout majeur pour trouver un post-doc dans ce domaine de recherche.

Red giants proved as an incredible source of information for testing theoretical models of stellar structure and evolution (e.g. Bedding , ... García et al. , 2011, Nature). Asteroseismology allows us to determine stellar masses and radius very simply by measuring the global properties of the oscillation modes, and through the application of seismic scaling relations from the solar values (Kjeldsen & Bedding 1995). However, these scaling relations have never been properly calibrated despite their widespread application in the analysis of CoRoT and Kepler data. On the other hand, eclipsing binary stars have long been considered a valuable tool for astrophysics, as the photometric and spectrometric observations allows us to determine the mass and radius of each component of the system, without requiring any prior knowledge of the distance to the star or the stellar type (e.g. Gaulme et al. 2014 ApJ). The objective of this thesis is to combine the photometric and spectrometric analysis of eclipsing binary systems with the seismic analysis of at least one of the components of such multiple systems in order to independently calibrate the

seismic scaling relations. This improvement will be a major asset for a more precise characterization of any field star showing pulsations. In particular, the exoplanetary systems and so the mass and size of planets already discovered by the transit method in missions like CoRoT, Kepler and K2. Finally, the methods derived in this thesis will be extremely useful to better characterise the stars observed by the future M3 ESA mission PLATO.

Along this thesis, the student will learn the different techniques of seismic analysis (Bayesian methods, Maximum likelihood fittings , etc) and will become familiar with different types of observations (e.g. photometry, spectroscopy, ...). In a second phase, the student will take in hand the stellar evolution code (e.g. MESA or STAREVOL) to do the best modeling of these systems. At the end of the PhD the student will have used all the stages of the seismic analyses, he will better calibrate the seismic scaling relations and hence he will be in the best position to analyze the forthcoming data provided by the American satellite TESS that will be launch around 2018.