

Journées SF2A 2025: S20

L. Barrault, L. Bugnet, S. Mathis, J.S.G. Mombarg

Juillet 2025

1 English version: The inertial dip as a window on the convective core dynamics

Probing the dynamics of the convective core of intermediate-mass main sequence stars is key for our understanding of angular momentum transport throughout stellar evolution on this mass range. Numerical studies point towards a competition between the presence of strong dynamo-generated core magnetic fields and the establishment of convective core to radiative envelope differential rotation. An observational constraint on core magnetism and differential rotation would complement numerical results, guide theories on angular momentum transport throughout the core-to-envelope boundary, and provide initial conditions for developments on subsequent evolutionary phases. In this framework, dips in the period-spacing vs period diagram of γ -Dor stars observed by *Kepler* are a unique window on core dynamics. They result from the interaction of a convective core inertial mode with envelope gravito-inertial modes, as first understood by Ouazzani et al. (2020). As such, inertial dips bear information on core dynamical processes. Building up on a first study on core-to-envelope differential rotation (Barrault et al. 2025), we extend our analytical framework to core magnetic fields and aim to compare the respective influences of each process on the dip properties.

We consider a toroidal magnetic field configuration with uniform Alfvén frequencies and rotation rates in both the convective core and the radiative envelope. This framework allows for setting up an analytical laboratory towards the fine comprehension of the effects of both core magnetism and core-to-envelope differential rotation on the dip formation. We exhibit a dip shifted towards low periods and thinner with increasing core magnetic field, quite comparable to the effect of increasing core rotation. We discuss the degeneracy of both effects in three typical γ -Dor models, give hints towards a way to overcome the observational difficulty, and distinguish best targets for the preferential detection of core rotation or core magnetism. Our work shows the remarkable potential of the dip study to probe core processes in a manner quite similar to mixed pressure-gravity modes in evolved stars. It advocates for further integration of all effects known to alter the dip shape and location to perform further detections in asteroseismic data, and make our understanding of angular momentum transport progress for this type of star.

2 Version française: le dip inertiel: une fenêtre unique sur la dynamique du coeur convectif

Sonder la dynamique du coeur convectif des étoiles de masse intermédiaire sur leur séquence principale est primordial pour développer notre compréhension du transport de moment cinétique interne tout au long de l'évolution stellaire sur cette plage de masses. Les études numériques prouvent l'existence d'un effet antagoniste entre la présence d'un fort champ magnétique dynamo dans le coeur et l'établissement d'une rotation différentielle entre le coeur convectif et l'enveloppe radiative. Une contrainte observationnelle sur le magnétisme et la rotation du coeur enrichira les résultats numériques, guidera les théories sur le transport de moment cinétique à l'interface coeur-enveloppe, et fournira des conditions initiales pour de futurs travaux sur les phases plus avancées de l'évolution stellaire. Les étoiles à rotation rapide de type γ -Dor fournissent une observable unique de leur coeur convectif: le dip inertiel, formé par l'interaction d'un mode inertiel du coeur convectif avec des modes gravito-inertiels de l'enveloppe radiative, mécanisme compris pour la première fois par Ouazzani et al. (2020). Ce dip porte ainsi des informations sur la structure et la dynamique du coeur. Nous nous proposons d'étendre le modèle hydrodynamique développé par Barrault et al. (2025) pour étudier l'effet d'une rotation différentielle coeur-enveloppe à un cas magnétique, et ainsi étendre la capacité de sonde du dip au champ magnétique du coeur. Nous visons ainsi à comparer les influences respectives de ces processus sur les propriétés du dip.

Nous prenons une configuration de champ toroïdal, de fréquence d'Alfvén et fréquence de rotation bi-couche entre le coeur et l'enveloppe. Cette configuration doit être comprise comme un laboratoire analytique permettant d'exposer les effets du magnétisme et de la rotation du coeur sur la formation du dip. Nous montrons un déplacement du dip vers les faibles périodes et un amincissement de celui-ci pour un champ magnétique du coeur croissant, signature similaire à celle d'une rotation du coeur croissante à rotation d'enveloppe fixée. Nous discutons de la dégenescence entre ces deux effets en considérant trois modèles de γ -Dor typiques, proposons des moyens pour s'en affranchir et des cibles préférentielles pour la détection de l'un ou l'autre des effets. Notre étude montre le remarquable pouvoir de sondage du coeur apporté par le dip inertiel, qui peut être comparé à celui des modes mixtes p-g dans les géantes rouges. Elle plaide pour une intégration de tous les effets influant la localisation et la forme du dip dans le diagramme d'espacement en période, en vue de futures détections des propriétés du coeur par l'analyse du dip inertiel, qui permettront de mieux contraindre les processus de transports de moment cinétique pour ce type d'étoiles.