

ÉTUDE MULTI-TECHNIQUE DE L'ACTIVITÉ STELLAIRE

Théo Lopez¹, Alexandre Santerne¹, Emma Carli², Susana Barros³, Magali Deleuil¹, Melissa Hobson¹, Isabelle Boisse¹, Jean-François Donati⁴, Claire Moutou⁵, Michael Gillon⁶ et al.

1. Aix Marseille Université, CNRS, CNES, LAM, Marseille, France; 2. University of Glasgow, Royaume-Uni; 3. Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço, Portugal; 4. Université de Toulouse, UPS-OMP, IRAP, France; 5. Observatoire Canada-France-Hawaï, États-Unis; 6. Université de Liège, Belgique.



Contexte:

L'activité stellaire est l'une des limitations principales à la détection et caractérisation des exoplanètes. Afin de mieux comprendre son impact, nous avons mené une large campagne d'observation de 4 étoiles actives pendant plusieurs mois. Lors de cette campagne, les spectrographes SOPHIE (OHP), HARPS (ESO) et CARMENES (Calar Alto) mesurant les vitesses radiales et les indices d'activité, étaient combinés avec les spectropolarimètres ESPaDOnS (CFHT) et NARVAL (TBL) pour la mesure du champ magnétique instantané et enfin TRAPPIST-N et Kepler/K2 (NASA) respectivement pour la photométrie sol multi-bande et la photométrie spatiale haute précision. Cette campagne a été rendue possible par la configuration particulière de la campagne 16 de K2 qui s'est faite face à la Terre, ce qui autorisait un suivi sol simultané. A terme, l'objectif de ce programme est de conclure sur la meilleure stratégie observationnelle et les meilleures méthodes de correction de l'activité stellaire pour permettre la détection de planètes avec de faibles signatures en vitesse radiale (petite masse, longue période), jusqu'aux analogues de la Terre.

Les étoiles:

Les cibles couvrent des types spectraux variés, représentatifs des étoiles hôtes de planètes. L'étoile M de l'échantillon s'est révélée être une binaire spectroscopique. Un suivi en vitesses radiales avec SOPHIE, au-delà de la campagne initiale, nous a permis de contraindre ses paramètres orbitaux et sa masse. Les résidus correspondent au signal d'activité attendu. L'étoile K3 est une binaire visuelle dont la contamination devra être déterminée en photométrie et en vitesse radiale pour une exploitation correcte des données.

	EPIC211826254	EPIC211432321	EPIC212165841	EPIC211889233
Température (K)	5375	4680	4530	3860
Type spectral	G7V	K3V	K4V	M0V
Magnitude V	9.3	10.9	10.8	12.2
Période de rotation	26 j	8 j	23 j	11 j
<log R' _{hk} >	-4.97±0.01	-4.20±0.02	-4.96±0.02	-4.03±0.01
Jitter vitesse radiale	3.5 m/s	20 m/s	4 m/s	15 m/s (résidus)

Objectifs:

- Utiliser la photométrie K2 pour:
 - modéliser les positions et taille/contraste des régions actives (Bruno et al. 2016, A&A, 595, A89),
 - dériver les temps de vie des régions actives par exemple via la fonction d'autocorrélation de la courbe de lumière (Giles et al. 2017, MNRAS, 472, 1618G).
- Utiliser la différence de contraste des régions actives dans les différentes bandes de TRAPPIST-N, allant de V à z', pour déterminer leur température.
- Utiliser les vitesses radiales et les indices spectroscopiques d'activités (Ca II H&K, S-index, log R'_{hk}, Ca II IRT, H alpha, He I D3, Na I D1 & D2) pour:
 - étudier la variabilité de l'émission chromosphérique des étoiles et leur impact en VR,
 - comparer l'émission chromosphérique en fonction du type spectral,
 - trouver de nouveaux indices diagnostic d'activité dans l'IR proche,
 - comparer les VR visibles et dans l'IR proche pour déterminer si ces dernières sont plus adaptées pour la détection d'exoplanètes,
 - comparer l'efficacité des différents indicateurs d'asymétrie de la CCF: BIS, Vspan, BiGauss, ...

Les instruments:

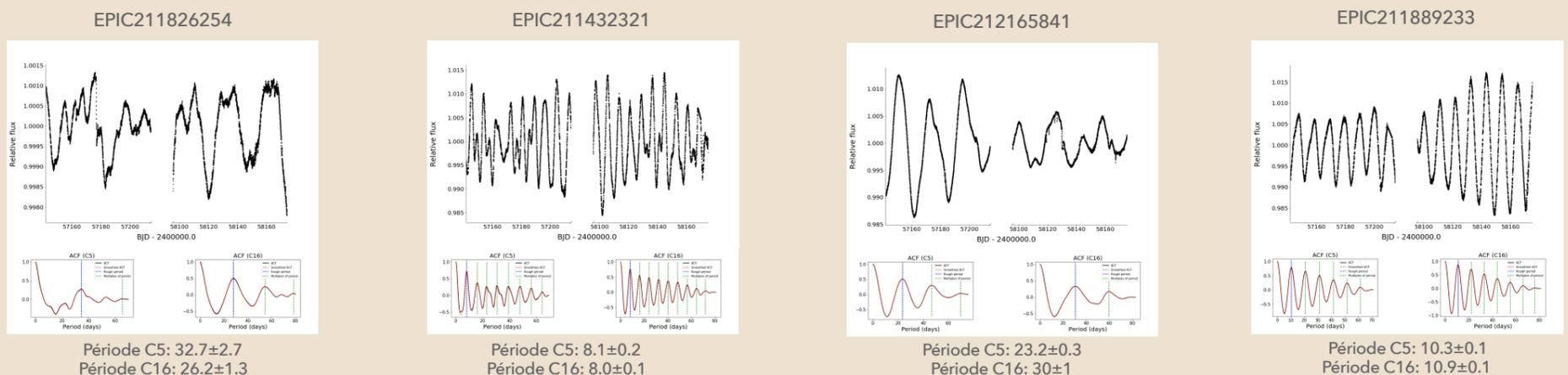


La large couverture spectrale de CARMENES va nous permettre d'étudier les effets chromatiques de l'activité stellaire et de dériver des indicateurs adaptés dans le proche IR.

- Utiliser les mesures spectropolarimétriques pour:
 - déterminer les variations de la composante longitudinale du champ magnétique instantané des étoiles (Donati et al. 1997, MNRAS, 291, 658) et les comparer aux variations en VR et en photométrie,
 - dériver la topologie du champ magnétique à grande échelle (e.g. Hébrard et al. 2016, MNRAS, 461, 1465) pour contraindre les configurations des régions actives modélisées via les courbes de lumière.
- Utiliser toutes les données pour:
 - tester les codes modélisant l'impact en VR et en photométrie à partir d'une configuration donnée de régions actives (e.g. SOAP, voir Boisse et al. 2012, A&A, 545, A109; Boisse et al. 2011, A&A, 528, A4; Dumusque et al. 2014, ApJ, 796, 132). Les modifier s'ils ne parviennent pas à reproduire les données observées VR et photométriques,
 - injecter des signaux planétaires dans les données de vitesses radiales et tester des méthodes pour les retrouver, par exemple via processus gaussiens (Dumusque et al. 2017, A&A, 598, A133).

Photométrie K2 et TRAPPIST-N: Résultats préliminaires et perspectives

Les courbes de lumière des campagnes 5 et 16 de K2 ont été réduites avec la routine POLAR (Barros et al. 2016, A&A, 594, A100) pour les corriger des systématiques instrumentales. Les périodes de rotation ont été déterminées en calculant la fonction d'autocorrélation des courbes de lumières (McQuillan et al. 2013, MNRAS, 432, 1203) et pour deux des cibles via régression par processus gaussiens en employant un kernel quasi périodique (Angus et al. 2017, 474, 2094). Ceci permet en plus d'estimer la période de rotation, de dériver le temps de corrélation du signal, et donc les durées de vie des régions actives.



Cette étoile de type G présente une variabilité photométrique et vitesse radiale de faible amplitude. De plus, son émission chromosphérique la classe dans les étoiles peu actives. Cette cible est représentative des étoiles concentrant la recherche de planète autour d'analogues au Soleil.

Toutes ces étoiles présentent une variabilité en photométrie, ainsi qu'en VR, alors que deux d'entre elles ont un log R'_{hk} les classant dans les étoiles peu actives (Henry et al. 1996, AJ, 111, 439H), ce qui montre que toutes les étoiles ont potentiellement un impact sur les mesures de vitesses radiales. La variabilité d'EPIC212165841 a beaucoup évolué entre les deux campagnes d'observation, indiquant probablement un cycle magnétique. Pour mieux comprendre les cycles de ces étoiles, et placer l'analyse faite dans le contexte de leur variation long terme, nous suivrons ces étoiles avec SOPHIE au cours des prochaines années.

Ces 4 étoiles sont à nouveau en cours d'observation par K2 (campagne 18). Les nouvelles courbes de lumière nous permettront d'étudier la cohérence du signal entre les campagnes 16 et 18, séparées de 6 mois, et de déterminer l'évolution des régions actives, en particulier sur l'étoile M pour laquelle le temps de vie des tâches semble élevé.

Ci-dessous les courbes de lumière TRAPPIST dans les bandes V et z', superposées aux courbes K2. L'étoile G n'est pas représentée du fait de sa variabilité de l'ordre de la mmag, ce qui rend la photométrie sol peu informative. La différence de variabilité entre la bande visible et la bande proche infrarouge, qui s'explique par le contraste plus faible entre régions actives et photosphère dans l'infrarouge, est apparent, en particulier sur les deux premières étoiles. Nous allons mettre à profit cette différence de variabilité pour contraindre la différence de température entre les tâches et la photosphère (Strassmeier 2009, A&A Rev., 17, 251; Herrero et al. 2016, A&A, 586, A131). Noter que la photométrie TRAPPIST-N ne couvre pas toute la campagne 16 de K2.

