

Étoiles B8–A1 à faible $v \sin i$: détection de rotateurs rapides vus par le pôle

Royer F.⁽¹⁾, Frémat Y.⁽²⁾, Monier R.^(3,4), Gebran M.⁽⁵⁾, Zorec J.⁽⁶⁾

(1) GEPI – Observatoire de Paris, France (2) Observatoire Royal de Belgique (3) LESIA – Observatoire de Paris, France
(4) Université de Nice Sophia Antipolis, France (5) Notre Dame University-Louaize, Liban (6) Institut d’Astrophysique de Paris, France

Résumé

Pour confirmer ou infirmer le caractère bimodal des distributions de vitesses de rotation pour les étoiles de type B8–A1 normales (Royer et al. 2007; Zorec & Royer 2012) un programme d’observations spectroscopiques à l’OHP a été entrepris pour obtenir une caractérisation spectrale précise d’un échantillon d’étoiles B8–A1 à faible $v \sin i$ ($\lesssim 75 \text{ km s}^{-1}$) et détecter des étoiles binaires et/ou chimiquement particulières.

Royer et al. (2014) ont montré que dans le sous-échantillon des étoiles A précoces, un tiers des objets s’avèrent être des étoiles normales et non binaires. Ces objets là sont étudiés avec un très haut rapport signal-sur-bruit pour détecter des signatures d’assombrissement par gravité et mesurer à la fois l’inclinaison et la vitesse de rotation à l’équateur, grâce au code FASTROT (Frémat et al. 2005). Plusieurs candidates sont en cours d’analyse, dont certaines tournant à des vitesses proches de la rupture.

2 Caractérisation

Les observations spectroscopiques avec SOPHIE sont faites dans un premier temps pour identifier de nouvelles étoiles binaires ou chimiquement particulières (CP). L’allure et la variation du pic de corrélation permet de repérer les binaires spectroscopiques (SBSB). Une analyse spectrale permet de déterminer les abondances de 16 éléments (C, O, Na, Mg, Si, Ca, Sc, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Sr, Y, Zr et Ba) et de découvrir de nouvelles étoiles CP (Monier et al. 2015, 2016).

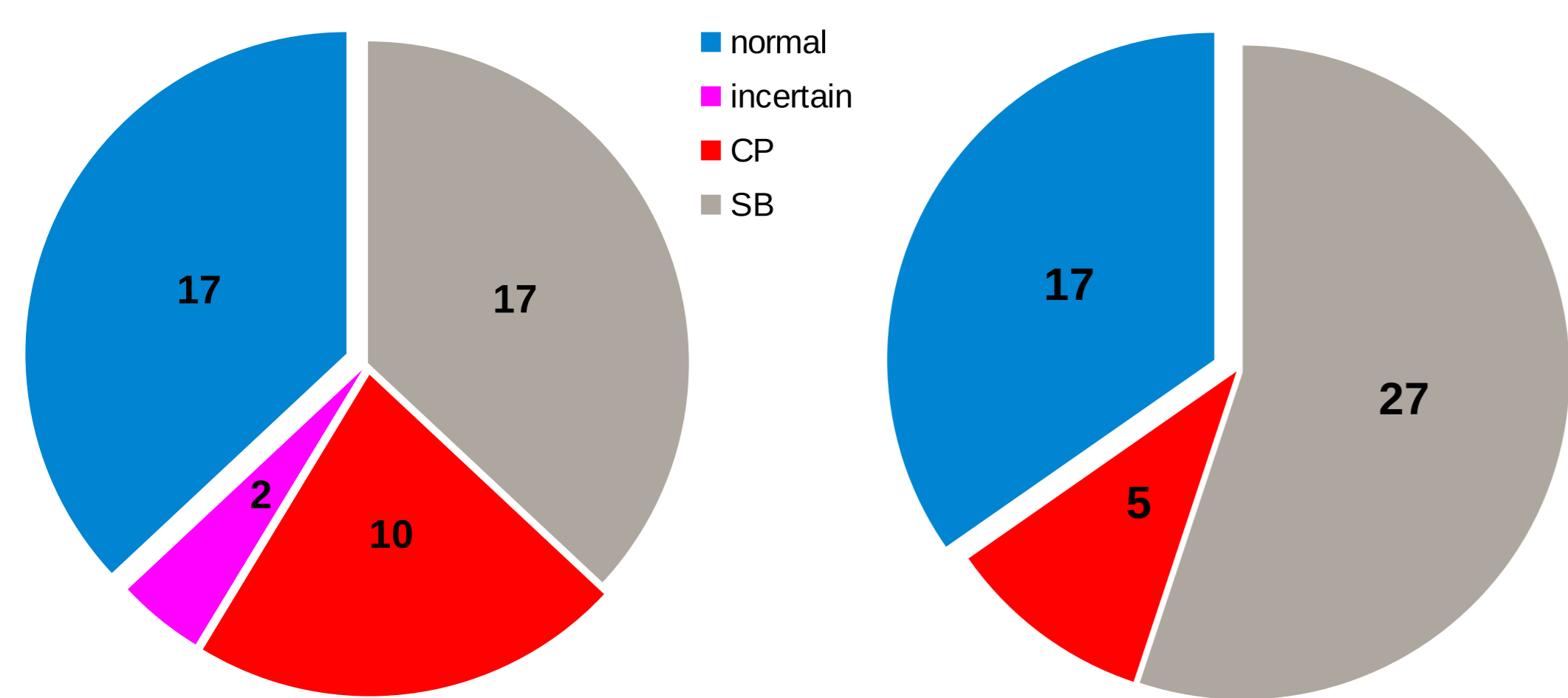


Fig. 2 : À gauche, résultat de la classification pour les 46 étoiles A0–A1 (Royer et al. 2014). À droite, résultat préliminaire pour les 49 étoiles B8–B9.5. CP représente la part des étoiles nouvellement détectées comme chimiquement particulières et SB représente celle des nouvelles binaires spectroscopiques (SB1 et SB2).

4 Résultats préliminaires

4.1 Exigences observationnelles

Takeda et al. (2008), dans le cadre de leur étude de Véga, ont fourni une liste de raies sensibles à l’assombrissement par gravité et observées sur leur spectre à très haut rapport signal-sur-bruit de Véga, ~ 2000 – 3000 . La présence de fond plat ou renversé, dans les profils de raies de rotateurs rapides vus par le pôle, se rencontre le plus souvent sur les raies faibles, pour lesquelles la variation relative d’intensité en fonction de T_{eff} est plus grande. La détection de ces signatures nécessite des rapports signal-sur-bruit (SNR) élevés.

4.2 Profils observés

Les étoiles confirmées comme normales dans notre échantillon sont réobservées avec SOPHIE, pour atteindre $\text{SNR} \gtrsim 300$ – 400 . Là encore, le signal n’est pas toujours suffisant pour identifier les signatures sur le profil des raies individuelles. Une liste de 189 raies, sur l’intervalle spectral 4150–5500 Å, a été établie. Les raies ont été sélectionnées en fonction de leur gradient d’intensité avec T_{eff} (entre 7000 et 11500 K), tout en évitant celles contaminées par des raies voisines. Ces profils individuels sont co-additionnés pour obtenir un profil moyen dans l’espace des vitesses (Fig. 4).

4.3 Grille synthétique

En utilisant le code FASTROT (Frémat et al. 2005), une grille de modèle a été construite. Elle est échantillonnée en (T_{eff}) (de 7000 à 15000 K, par pas de 500 K), ($\log g$) (de 3.6 à 4.3, par pas de 0.1 dex), inclinaison i (de 0 à 30° par pas de 1°) et taux de rotation Ω/Ω_c (0.6, 0.8, 0.9, 0.95 et 0.99). De manière identique aux profils observés, les profils de raies synthétiques sont combinés et comparés aux observations.

4.4 Détection de rotateurs rapides vus par le pôle

Sur les 17 étoiles confirmées normales dans le sous-échantillon A0–A1, 16 ont pu être observées avec un très haut SNR. Pour 5 d’entre elles, le profil moyen des raies sélectionnées est compatible avec un profil classique de rotation. Pour les 11 autres, le profil montre des signatures d’assombrissement par gravité (Fig. 4).

1 Contexte

Alors que les distributions de vitesses de rotation des étoiles normales dans la gamme de types spectraux A2–F0 (~ 1.5 – $2 M_{\odot}$) sont monomodales, avec une absence de rotateurs lents, Royer et al. (2007) et Zorec & Royer (2012) ont montré que pour les étoiles plus massives, ces distributions sont bimodales avec un pic de rotateurs lents (Fig. 1).

Ces études sont basées sur des données extraites de la littérature pour identifier et écarter les étoiles binaires et/ou chimiquement particulières. Pour affiner cette classification et nettoyer l’échantillon, un programme d’observation spectroscopique a été entrepris avec SOPHIE à l’OHP pour observer 46 étoiles A0–A1 et 49 étoiles B8–B9.5, à faible $v \sin i$ ($\lesssim 75 \text{ km s}^{-1}$), et non précédemment connues comme étant binaires ou chimiquement particulières.

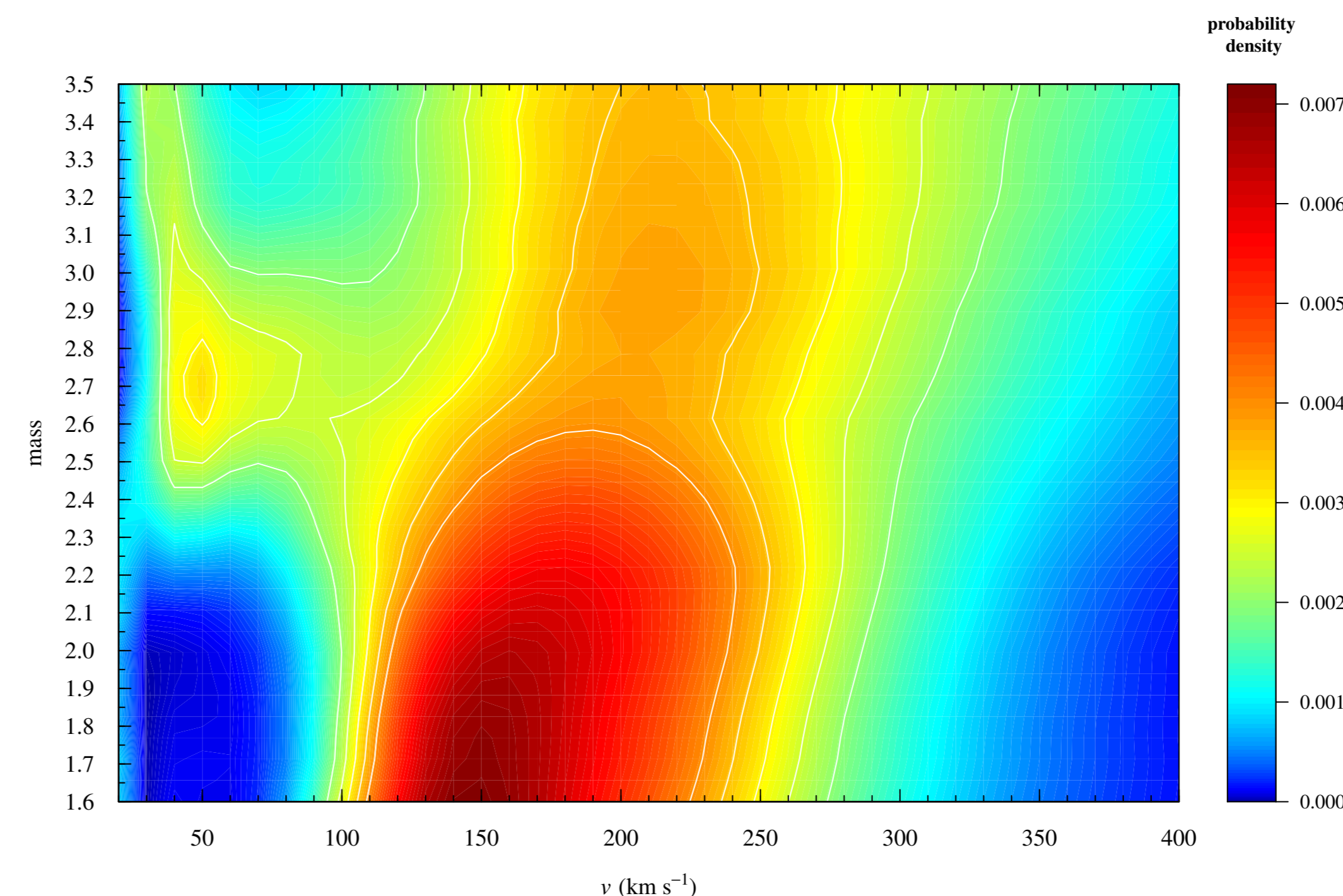


Fig. 1 : Distribution des vitesses de rotation équatoriales v , en fonction de la masse (Zorec & Royer 2012). La densité est représentée par l’échelle de couleur. On remarque la présence d’une surdensité de rotateurs lents ($v \lesssim 100 \text{ km s}^{-1}$) pour les masses supérieures à $2.5 M_{\odot}$.

3 Assombrissement par gravité

Environ un tiers de l’échantillon est effectivement composé d’étoiles normales. La sélection de l’échantillon étant basée sur le $v \sin i$, l’effet de projection ne garantit pas que ces étoiles sont des rotateurs intrinsèquement lents. Pour le savoir, il faut mener une analyse plus détaillée : si l’étoile est en fait un rotateur rapide, alors on peut détecter des signatures d’assombrissement par gravité, comme sur le spectre de Véga (Gulliver et al. 1994; Takeda et al. 2008; Hill et al. 2010; Monnier et al. 2012).

La déformation de l’étoile sous l’effet de la force centrifuge provoque un gradient de gravité et de température à la surface entre l’équateur et le pôle de l’étoile. Le pôle est plus chaud et plus lumineux que l’équateur. Les raies spectrales, en fonction de leur sensibilité au gradient de température et de gravité, vont alors montrer des profils caractéristiques, à fond plat ou à fond renversé, permettant de déterminer v et i séparément (Fig. 3).

Fig. 3 : Extrait de spectres synthétiques générés avec le code FASTROT (Frémat et al. 2005). Les spectres correspondent à des paramètres atmosphériques moyens identiques $T_{\text{eff}} = 9500 \text{ K}$, $\log g = 4$ et $v \sin i = 32 \text{ km s}^{-1}$, mais avec des vitesses équatoriales v et des inclinaisons de l’axe de rotation sur la ligne de visée i différents. On peut noter l’effet d’assombrissement par gravité sur la raie de Ti II.

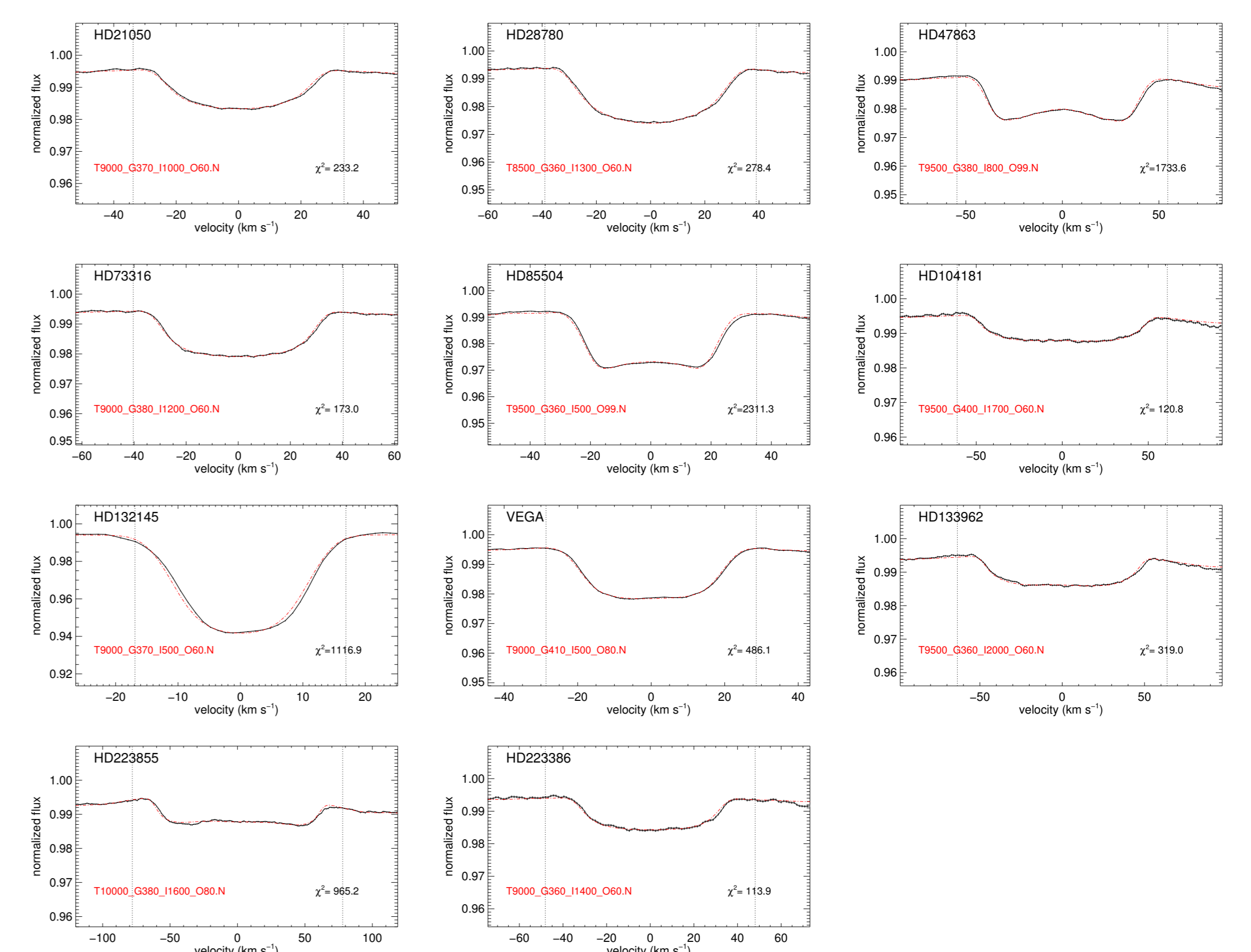
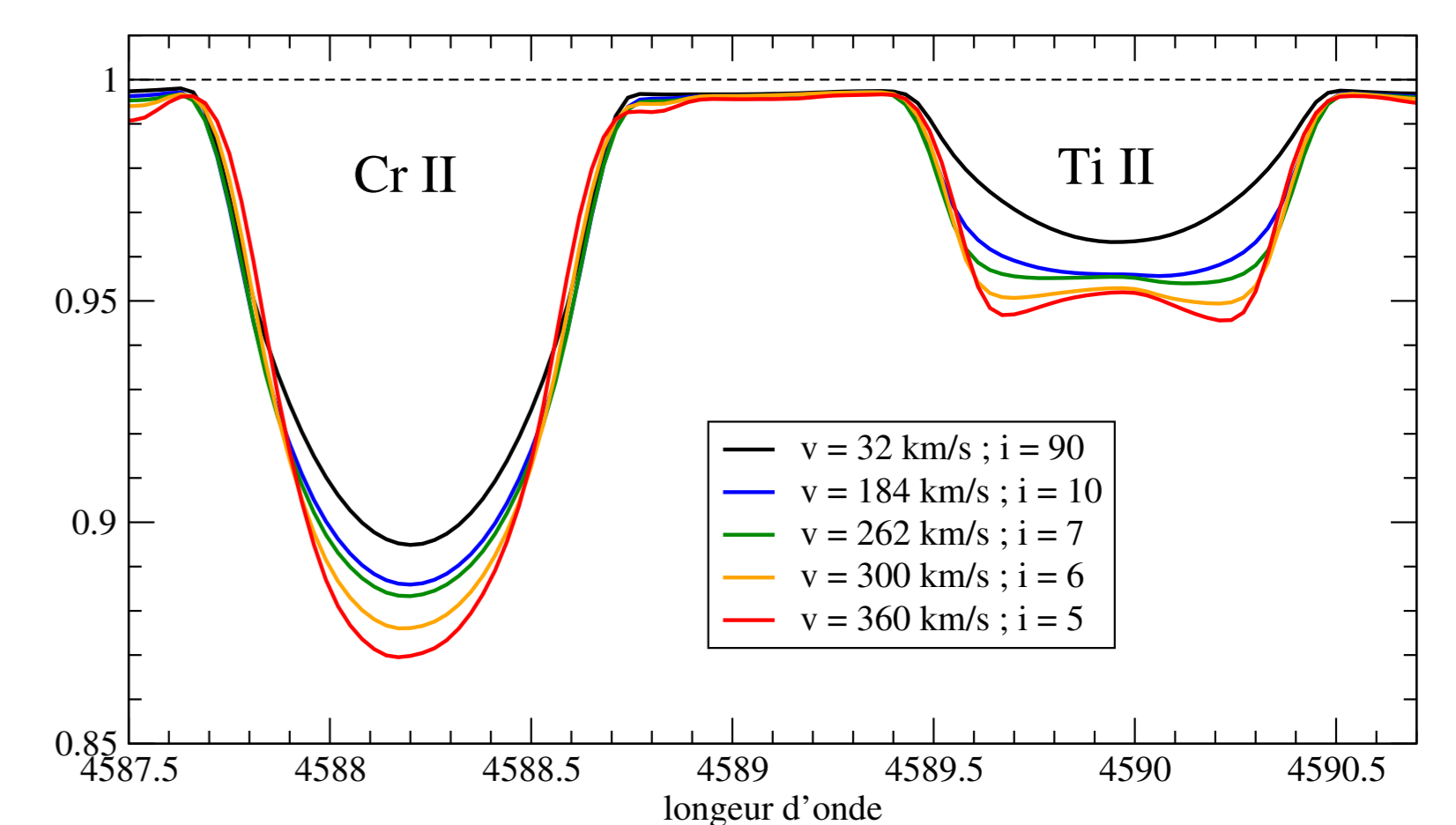


Fig. 4 : Comparaison des profils moyens de raies observés avec les modèles de la grille pour les 11 étoiles montrant des signatures d’assombrissement par gravité. Le meilleur profil synthétique, en rouge, est superposé au profil observé, et les paramètres du modèle sont indiqués en rouge.

Références

Frémat, Y., Zorec, J., Hubert, A.-M., & Floquet, M. 2005, A&A, 440, 305
Gulliver, A. F., Hill, G., & Adelman, S. J. 1994, ApJ Lett., 429, L81

Hill, G., Gulliver, A. F., & Adelman, S. J. 2010, ApJ, 712, 250
Monier, R., Gebran, M., & Royer, F. 2015, A&A, 577, A96
Monier, R., Gebran, M., & Royer, F. 2016, Ap&SS, 361, 139
Monnier, J. D., Che, X., Zhao, M., et al. 2012, ApJ Lett., 761, L3

Royer, F., Gebran, M., Monier, R., et al. 2014, A&A, 562, A84
Royer, F., Zorec, J., & Gómez, A. E. 2007, A&A, 463, 671
Takeda, Y., Kawonomoto, S., & Ohishi, N. 2008, ApJ, 678, 446
Zorec, J. & Royer, F. 2012, A&A, 537, A120