



# Détermination des périodes de l'étoile Eta Orionis

Par Olivier GARDE

**Eta Orionis** : étoile de type B précoce multiple (système quadruple) de magnitude  $V=3,35$  (indice B-V :  $-0,17$ )

AD = 05 24 28.617 DEC :  $-02\ 23\ 49.73$

Autres dénominations : 28 Ori, SAO 132071, HD 35411, HIP 25281

## 1) Acquisition des spectres :

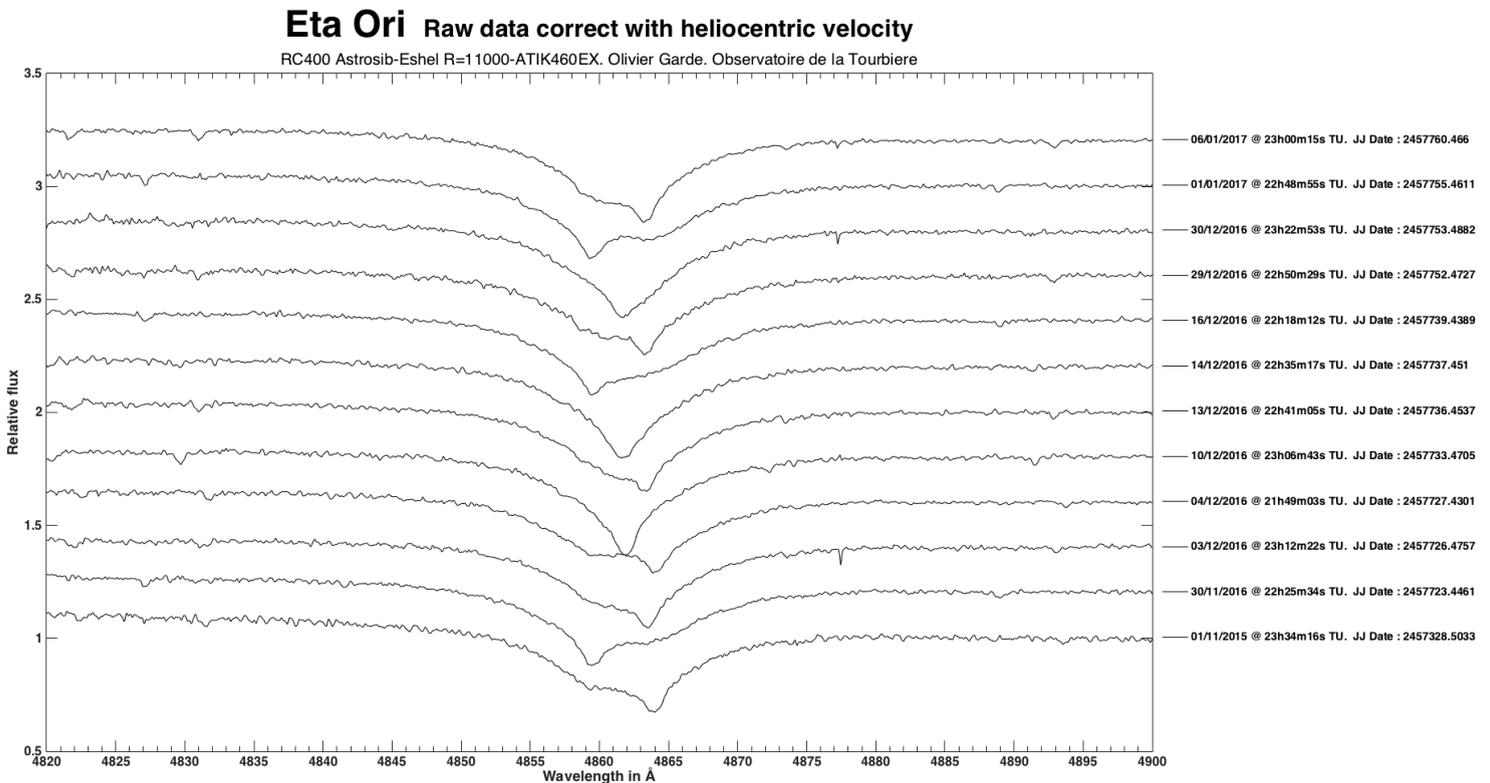
Spectrographe eShel :  $R=11000$  de Shelyak Instrument : [www.shelyak.com/rubrique.php?id\\_rubrique=7](http://www.shelyak.com/rubrique.php?id_rubrique=7)

Télescope Astrosib Richtey Chrétien de 400mm de diamètre : [www.astrosib.ru](http://www.astrosib.ru)

CCD ATIK 460 EX en binning 2x2, soit des pixels résultants de  $9,08\ \mu\text{m}$

[www.atik-cameras.com/product/atik-460ex/](http://www.atik-cameras.com/product/atik-460ex/)

Spectres réalisés pour la majeure partie tout au long du mois de décembre 2016. (12 spectres au total)



**Fig (1) :** profils des 12 spectres centrés sur la raie  $H\beta$  et classés par ordre chronologique d'acquisition, corrigés de la vitesse héliocentrique.

## 2) Calcul de la période principale :

L'étoile a la particularité d'avoir plusieurs périodes (système complexe de 4 étoiles). Ces périodes peuvent être très rapides (inférieur à 1 jour) ou au contraire très longue (plusieurs années). Le but de la manipulation est ici de déterminer avec 12 spectres, si l'on peut mettre en évidence une ou plusieurs périodes de ce système par décalage Doppler de la position de la raie  $H\beta$  que l'on mesurera sur chaque spectre en l'ayant au préalable corrigé de la vitesse héliocentrique. L'échantillon de spectres obtenu ne permettra pas de trouver des périodes longues, ni des périodes inférieure à 1 journée. Pour les périodes plus courtes, il faudra réaliser des times séries de 600s sur une nuit entière.

**Fig (2) : Eta Orionis data table**

Date of observation	Julian Date (1)	Helio Velocity	H Beta value	Velocity in km/s
01,982 11 2015	7328,5033	-17,746	4863,85	157,25
30,934 11 2016	7723,4461	-5,230	4859,45	-114,09
03,967 12 2016	7726,4757	-3,723	4863,55	138,76
04,909 12 2016	7727,4301	-3,380	4863,85	157,25
10,963 12 2016	7733,4705	-0,372	4861,90	37,00
13,945 12 2016	7736,4537	1,022	4863,30	123,34
14,941 12 2016	7737,451	1,492	4861,70	24,67
16,929 12 2016	7739,4389	2,420	4859,45	-114,08
29,952 12 2016	7752,4727	8,634	4863,25	120,26
30,974 12 2016	7753,4882	9,149	4861,70	24,67
01,951 01 2017	7755,4611	10,003	4859,35	-120,25
06,959 01 2017	7760,466	12,234	4863,20	117,17

(1) Julian Date : JJ-2450000

Pour déterminer la ou les périodes du nuage de point, j'ai utilisé l'utilitaire périodogramme du logiciel ISIS permettant de trouver une période d'un nuage de point avec l'algorithme de Lomb-Scargle.

Au préalable il faut créer un fichier .dat avec un éditeur de texte qui comprend 2 colonnes, la première avec le jour julien de l'observation, le second avec la vitesse mesurée, ce qui donne dans ce cas :

dateHBETA.dat

```
7328.5033 157.25
7723.4461 -114.09
7726.4757 138.755
7727.4301 157.25
7733.4705 37.00
7736.4537 123.34
7737.4510 24.667
7739.4389 -114.08
7752.4727 120.255
7753.4882 24.667
7755.4611 -120.25
7760.4660 117.17
```

➔

Périodogramme (algorithme de Lomb-Scargle)

Nom du fichier .DAT à analyser :

Période minimale :  Période maximale :

Pas de calcul :

---

Périodogramme de k:\eta orionis time serie\dateHBETA.dat ...

Vitesse radiale = 45.995 km/s

Période = 7.9600000 jours

K = 142.4273 km/s (demi-amplitude)

J0 = 7329.3948 (date du premier maximum)

Fichier périodogramme -> k:\eta orionis time serie\period.dat

Vitesse radiale ajustée -> k:\eta orionis time serie\fit.dat

Courbe de phase (données d'entrée) -> k:\eta orionis time serie\phase.dat

Courbe de phase (modèle) -> k:\eta orionis time serie\phase2.dat

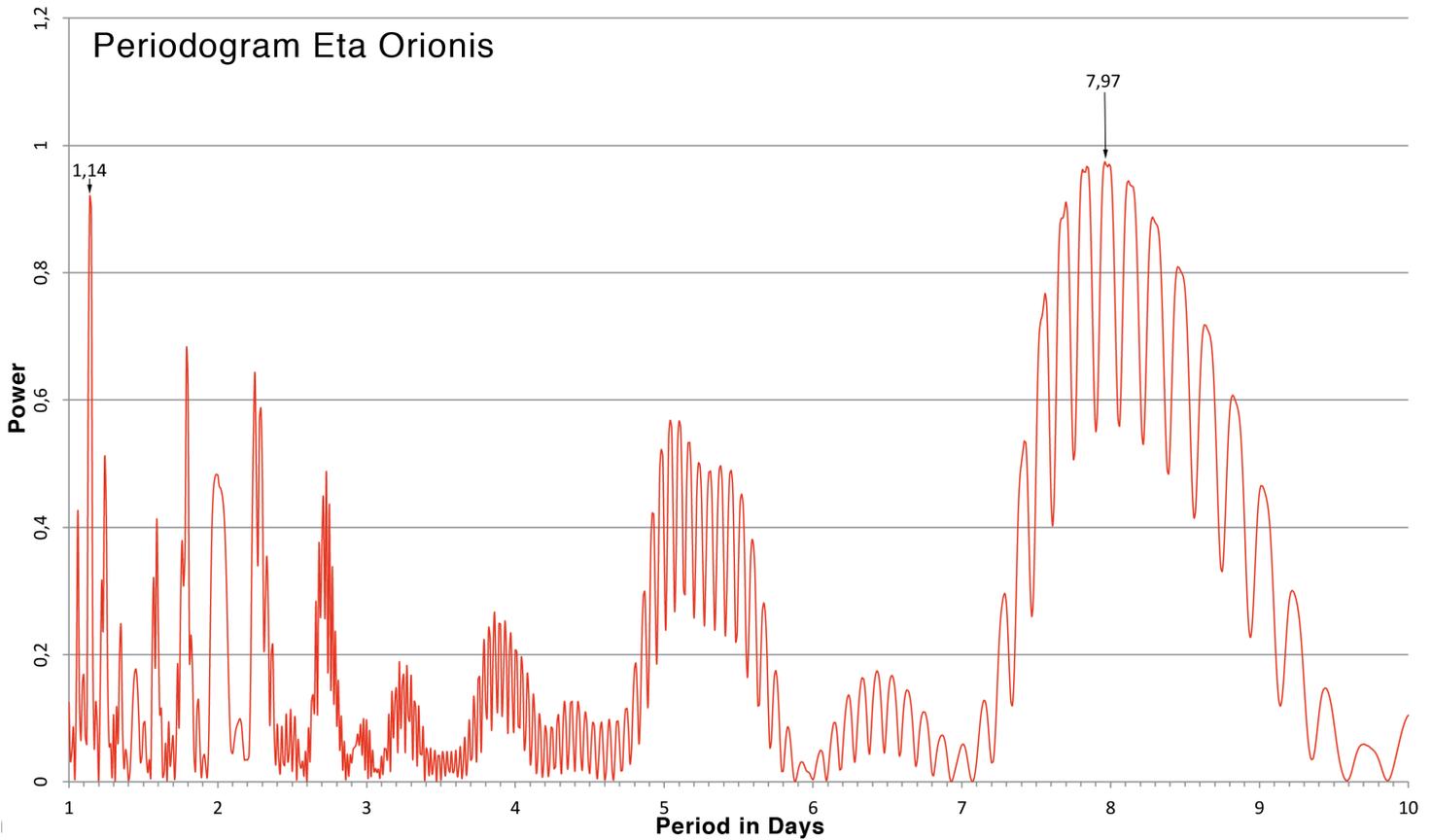
Erreur O-C de la courbe de phase -> k:\eta orionis time serie\delta\_phase.dat

Ok.

Le jour Julien a été volontairement tronqué de 2450000. Il faut également mettre un point à la place de la virgule décimale et séparer les 2 colonnes par un caractère d'espace. Sauver en suite le fichier avec l'extension .dat.

On renseigne les 2 cases Période mini et maxi (dans notre cas on cherche une période comprise entre 1 et 10 jours) ainsi que le pas de calcul. Après avoir appuyé sur «go», plusieurs résultats s'affichent et l'utilitaire génère également 5 fichiers .dat contenant des données pour générer des graphes comme le périodogramme.

On obtient **45,995 km/s** de vitesse radiale (la vitesse indiquée dans certaine publications est de 45 km/s), la 1/2 amplitude K est de 142,4273 km/s. Le fichier **period.dat** permet de tracer le graphe du périodogramme.



**Fig (3) :** Le périodogramme qui montre clairement 2 périodes qui se détachent du nuage de point, l'une à 1,14 jours, l'autre à 7,97 jours.

La littérature comme cette publication de C. Waelkens & P. Lampens publiée dans A&A en 1988 montre que l'une des périodes est de 7,989255 jours (+/- 0,000005)

<http://adsabs.harvard.edu/abs/1988A%26A...194..143W>

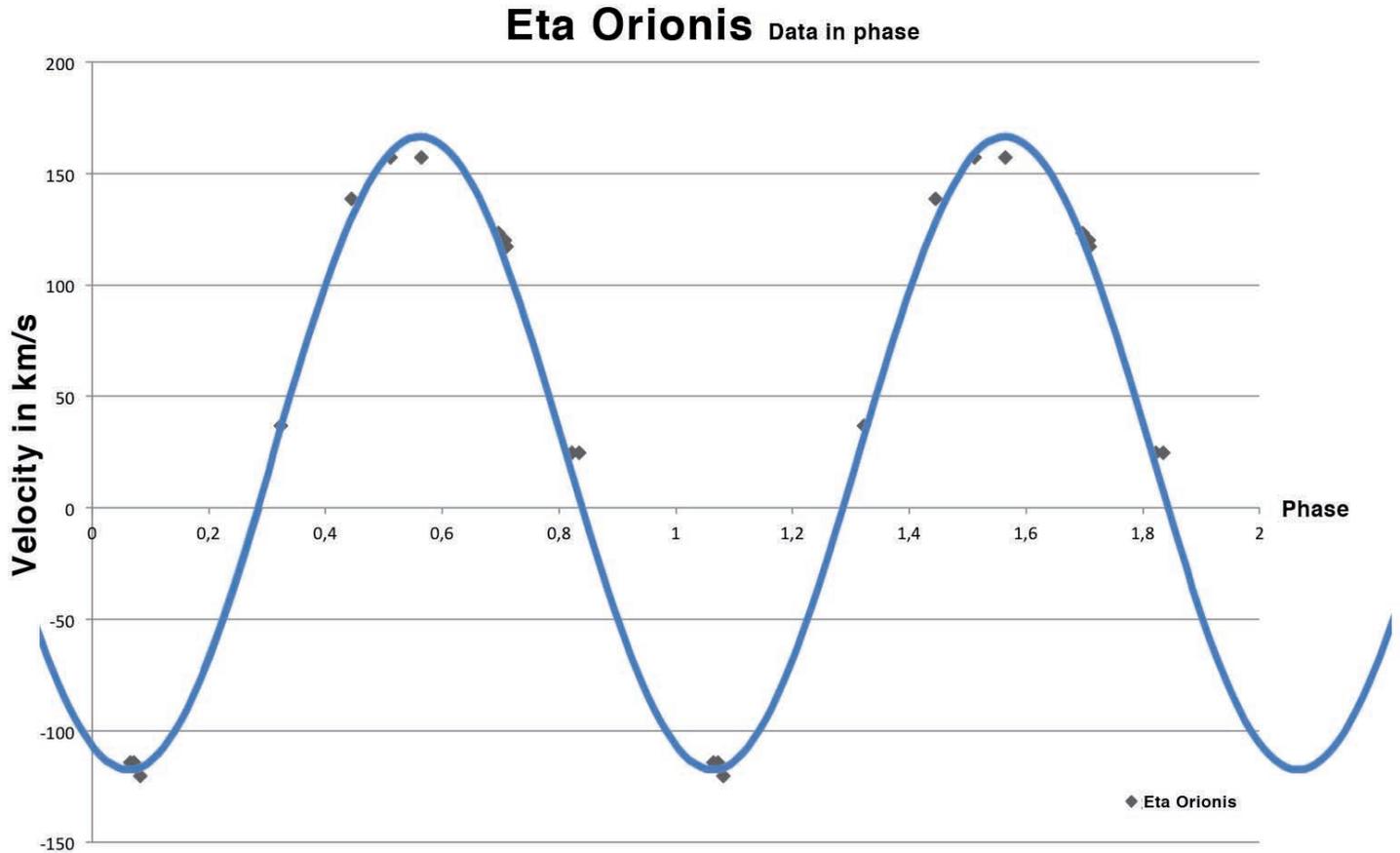
Le 2ème pic à 1,14 jours est un pic «parasite» dû au fait que les observations ont été réalisées presque toujours à la même heure à des intervalles de temps proche d'un jour donc. L'alias de cette période peut se calculer de la manière suivante :

$$P_{Alias} = \frac{1}{\left(\frac{1}{P_{Obs}}\right) - \left(\frac{1}{P_{Orb}}\right)} = \frac{1}{\left(1 - \frac{1}{7,97}\right)} = 1,143 \text{ Jours}$$

Avec  $P_{Obs} = 1$  jour et  $P_{Orb} = 7,97$  jours

Pour la période calculée de 7,97 jours, l'erreur constatée est de 0,25% et s'explique par le faible nombre d'échantillon de spectres (12) et du fait que la mesure de la position de la raie H $\beta$  a été réalisé «graphiquement» avec une incertitude de +/- 0,4 Å correspondant à la résolution du spectrographe R=11000. Une mesure par fonction de corrélation croisée (CCF) aurait permis de diminuer cette incertitude.

Avec les fichiers **phase.dat** et **phase2.dat** générés lors du calcul par ISIS, on peut générer le graphe suivant qui montre la dispersion des mesures réelles (les points des vitesses des 12 spectres) avec la sinusoïde de la période calculée (modèle) et vérifier ainsi si la période calculée est en cohérence avec le nuage de points des mesures.



**Fig (4) :** Graphe de la période de l'étoile réduite en phase sur la période de 7,97 jours (les 12 données d'origines ont été ici dupliqué 2 fois pour bien montrer la période). On constate que la courbe est décalée vers le haut sur l'axe des Y (vitesses), ce qui permet de calculer la vitesse propre de l'étoile en mesurant la valeur maximum du graphe : +160,66 km/s et le coef. (K) de 1/2 amplitude calculé par l'utilitaire d'ISIS : 142,4273 km/s, soit une vitesse propre de :  $160,66 - 142,4273 = 18,23$  km/s

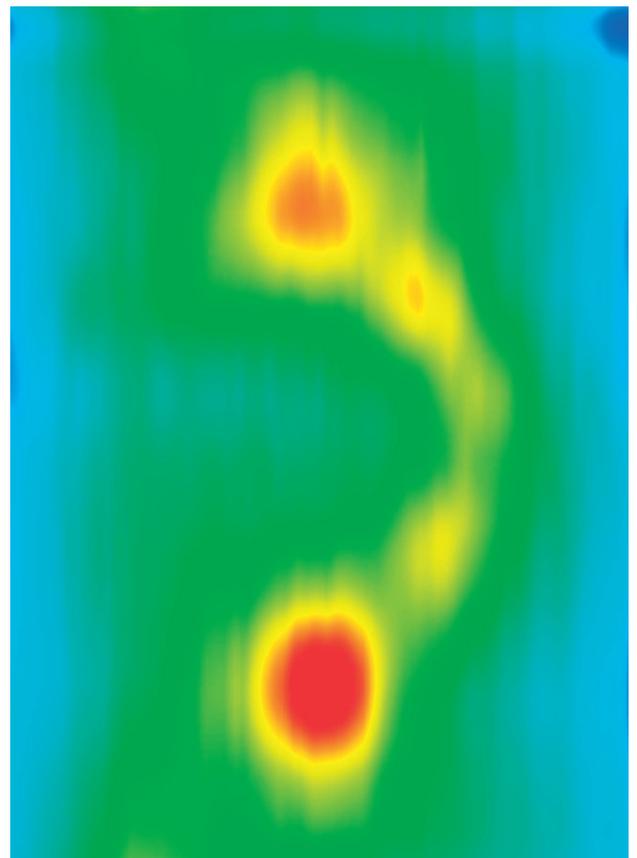
(SIMBAD indique 19,8 km/s +/- 0,9 km/s).

### 3- Mise en évidence d'une période plus courte :

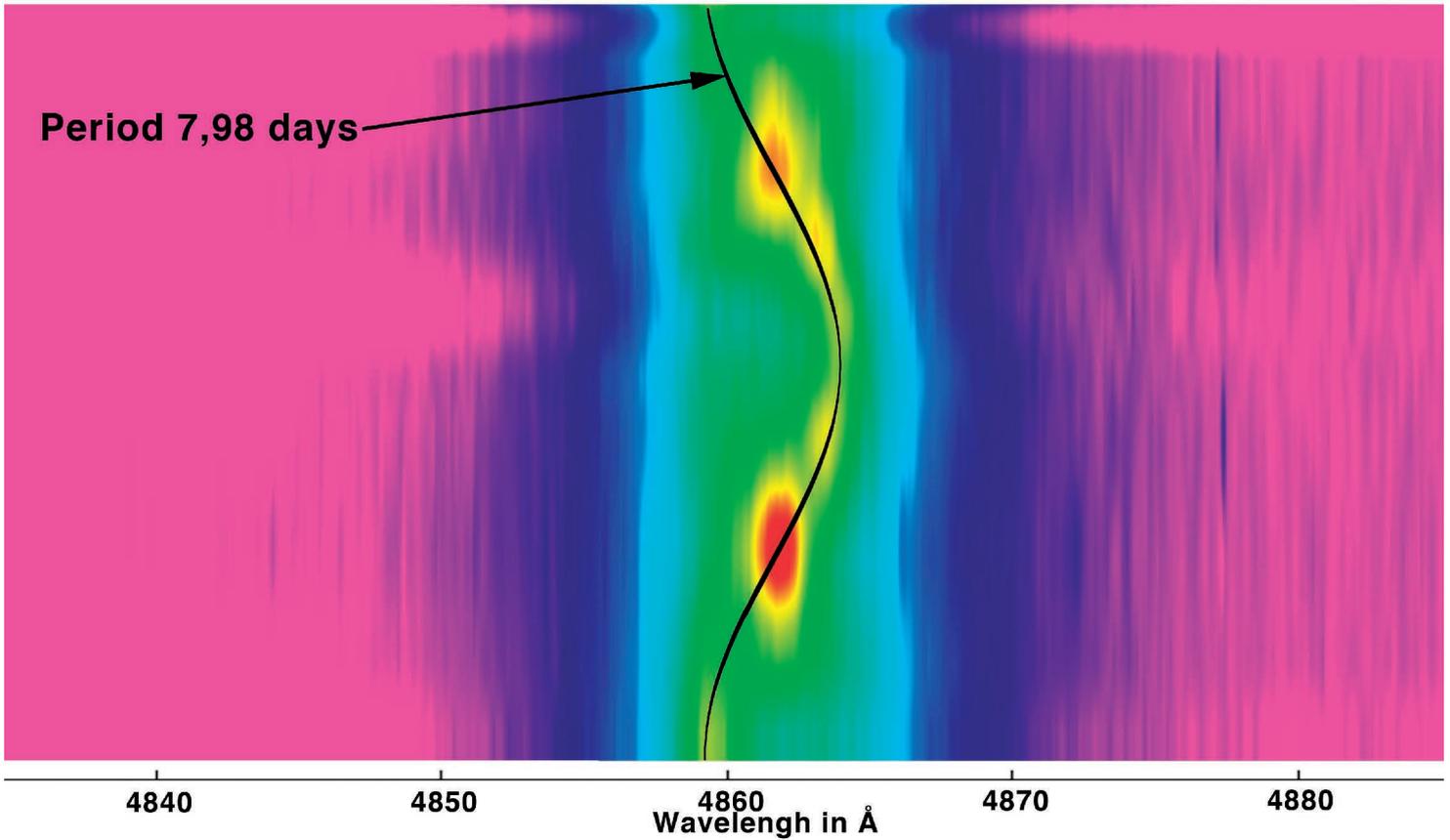
Connaissant maintenant la période de 7,97 jours, en reclassant les spectres obtenus selon la phase calculée à partir de la date d'observation, on peut montrer graphiquement l'évolution temporelle du spectre de cette étoile en 2 D dynamique :

- en X la longueur d'onde
- En Y le temps en phase de l'étoile (de 0 à 1)
- En Z : l'intensité de la longueur d'onde mis en évidence avec des fausses couleurs. Le rouge montrant un pic profond et le bleu/magenta le continuum.

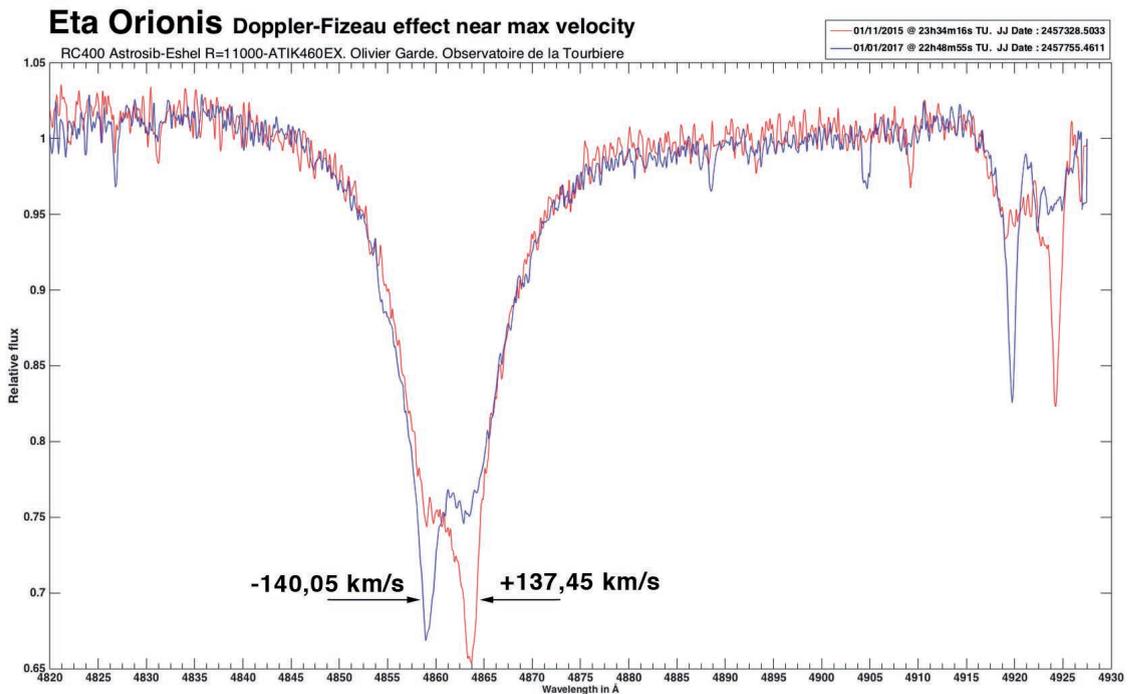
Ce graphe a été créé par le logiciel ISIS dans l'onglet «Animation», un fichier .fit qui a été ensuite traité dans photoshop en fausse couleur.



## Eta Orionis 2D dynamic (one phase of 7,98 days)



**Fig (5) :** graphe 2D dynamique des 12 spectres ou l'on retrouve la période de 7,98 jours. Le graphe montre également qu'il y a une seconde période plus courte (2 taches rouges) qui évolue dans la phase principale et qui n'est pas régulière. On distingue également la période à 7,98 jours avec le décalage de la raie H $\beta$  (selon la sinusoïde incrustée sur le graphe).



**Fig (6) :** visualisation des 2 spectres les plus proches des maxi et mini de la vitesse du coef. K calculé de 142,4273 km/s