

Dynamique atmosphérique et ondes de choc dans l'étoile pulsante RR Lyr

Benjamin Mauclaire¹, Denis Gillet²

¹ Observatoire du Val de l'Arc, 13530 Trets, France

² Observatoire de Haute-Provence – CNRS/PYTHEAS/Université d'Aix-Marseille, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France



Introduction

RR Lyr est une étoile pulsante de période 13,6 h dont la variabilité a été découverte par Williamina Fleming en 1901 [4]. Elle appartient à la population II et subit l'effet Blazhko [1]. Bien qu'étant la plus brillante des étoiles RR Lyrae du ciel, ce n'est pas forcément la mieux connue. Une collaboration pro-am est alors née pour l'étudier sous l'égide de Denis Gillet (CNRS).

Contexte et bref historique

- Une collaboration pro-am insoupçonnée :
 - Lors des Spectro Star Party d'été à l'OHP : rencontre de Denis Gillet.
 - Création d'un petit groupe d'amateurs pour le suivi spectral des pulsations de RR Lyr.
 - Puis une collaboration pro-am sur les étoiles pulsantes est alors initiée en 2013.
 - But initial : l'observation des maxima de pulsation pour étudier l'effet Blazhko.
 - Une première : la 3^e apparition en émission de la raie H α est observée pour la première fois dans RR Lyr.
 - Un article est alors publié dans la revue A&A [3].
 - Mais il n'y pas eu que la "3^e émission".
- 2013 : début d'une aventure intense
 - 2013/4/17 : workshop-acte fondateur du survey RR Lyr.
 - S'en suit une série de 13 nuits d'observation au T152 de l'OHP avec le spectrographe AURELIE.
 - Des observations sont réalisées en parallèle par chacun : T20 à T35 + LHIRE3 et ESHELL.
 - Entre 2014 et 2017, des workshops ont lieu chaque année :
 - Bilan des observations.
 - Formation astrophysique avec des intervenants professionnels.
 - Présentation et développement d'un spectrographe échelle innovant.
 - Un régal pour progresser en astrophysique et en méthodes d'analyse.

Première observation de la 3^e émission de H α dans RR Lyr

- Deux observations décisives :

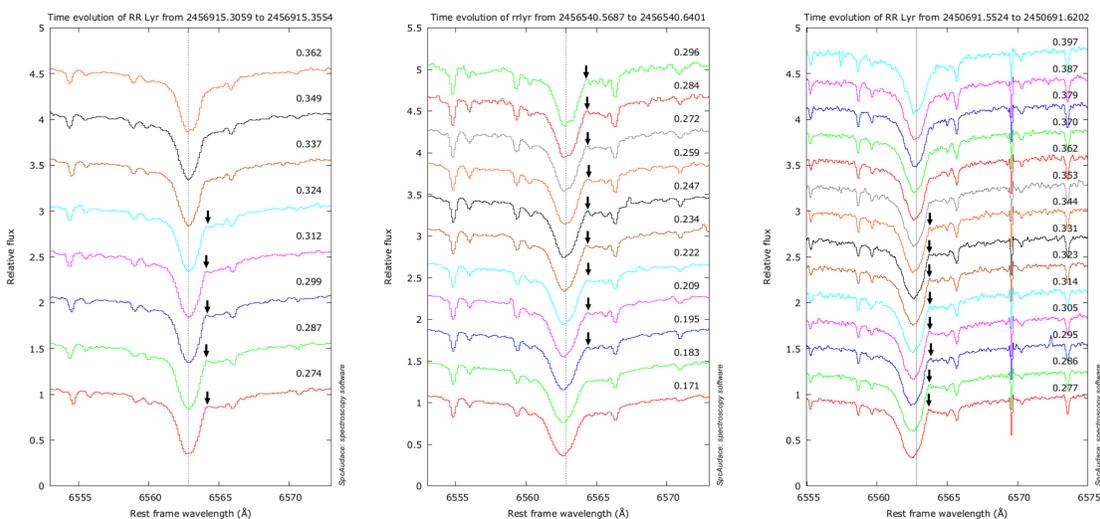


FIGURE 1: Observations de la 3^e émission à 3 dates différentes tracées dans le référentiel de l'étoile. La ligne verticale indique la longueur d'onde au repos de H α . La petite bosse sur le bord rouge de l'aile de la raie repérée par les flèches noires est la 3^e émission. Les faibles absorptions sont les raies telluriques. **Gauche** : 2014-09-14. **Centre** : 2013-09-04. **Droite** : archive ELODIE du 1997-08-30.

- Interprétation du phénomène :

- La 3^e émission est visible à chaque cycle de pulsation et est indépendante de la phase Blazhko.
- Explication de son origine :
 1. L'onde de choc de la pulsation en cours est ascendante.
 2. D'après le film du Na à $\varphi \sim 0.3$: les couches de la haute atmosphère chutent vers le centre de l'étoile.
 3. Création d'une zone de compression chauffée précédant l'onde de choc.
- La 3^e émission serait produite par la mince couche chaude.
- Le modèle théorique de D. Gillet et al. [2] est accord avec ces observations.

- Rédaction de l'article (2016-9 à 2017-8) :

J'avais déjà une expérience dans la rédaction et je connaissais le préparateur de documents L^AT_EX. Cela a été ensuite du piano à 4 mains avec D. Gillet dans la bonne humeur. Une fois produite une mouture solide, l'article fut envoyé à l'éditeur A&A. Après trois aller-retours, l'article [3] fut accepté le 2017-08-22.

A&A 607, A51 (2017)
DOI: 10.1051/0004-6361/201629897
© ESO 2017

**Astronomy
& Astrophysics**

First observation of H α redshifted emission in RR Lyr*
Evidence of a supersonic infalling motion of the atmosphere

D. Gillet¹, B. Mauclaire², T. Garrel³, T. Lemoult⁴, Ph. Mathias⁵, T. de France⁶, J.-S. Devaux⁷, H. Boussier⁸,
D. Verilhac⁹, G. Brabant¹⁰, J. Desbordes¹¹, O. Gardel¹², and the GRRR Collaboration^{13, **}

¹ Observatoire de Haute-Provence – CNRS/PYTHEAS/Université d'Aix-Marseille, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France
² Observatoire du Val de l'Arc, route de Peynier, 13530 Trets, France
e-mail: denis.gillet@suppytheas.fr
³ Observatoire de Fontcaude, 19 Av. du Hameau du golf, 34990 Juvignac, France
⁴ Observatoire de Chelles, 23 Av. Hénin, 77500 Chelles, France
⁵ Observatoire Midi-Pyrénées, IRAP, Université de Toulouse, CNRS, UPS, CNES, Tarbes, 31400 Toulouse, France
⁶ Observatoire de Méze, 5 Imp. des Tourterelles, 34140 Méze, France
⁷ Observatoire OAV, 13 rue du Moulin, 34290 Alignan-du-Vent, France
⁸ 115 Av. du général de Gaulle, 84450 Saint-Saturnin-les-Avignon, France
⁹ Les Trucs, 26420 Saint-Agnan en Vercoors, France
¹⁰ 42 chemin de la Beaume, 26190 Saint-Laurent-en-Royans, France
¹¹ 5 rue Edmond Gondinet, 75013 Paris, France
¹² Observatoire de la Tourbière, 45 chemin du Lac, 38690 Chabons, France
¹³ Observatoire de Haute-Provence, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France

Received 14 October 2016 / Accepted 22 August 2017

L'originalité de cette publication : **c'est le premier article en spectroscopie avec un amateur impliqué dans l'analyse et la rédaction !**

<http://adsabs.harvard.edu/abs/2017A%26A...607A...51G>

Étude de la dynamique atmosphérique

- Stratégie d'observation :

La période de pulsation de RR Lyr étant de 13,6 h, il est impossible de couvrir rapidement un cycle en observant quelques h/nuit. Cela nécessite d'automatiser un observatoire : le **T35cm (!)** d'un membre de l'équipe. Son spectrographe échelle couvre une large plage de longueurs d'ondes (4300 – 7100 Å). En avril 2017, **47 h d'observations sont réalisées en 11 jours** avec une résolution temporelle de 15 min. On possède alors **le film des soubresauts de RR Lyr !**

- Le film de l'atmosphère enfin dévoilé :

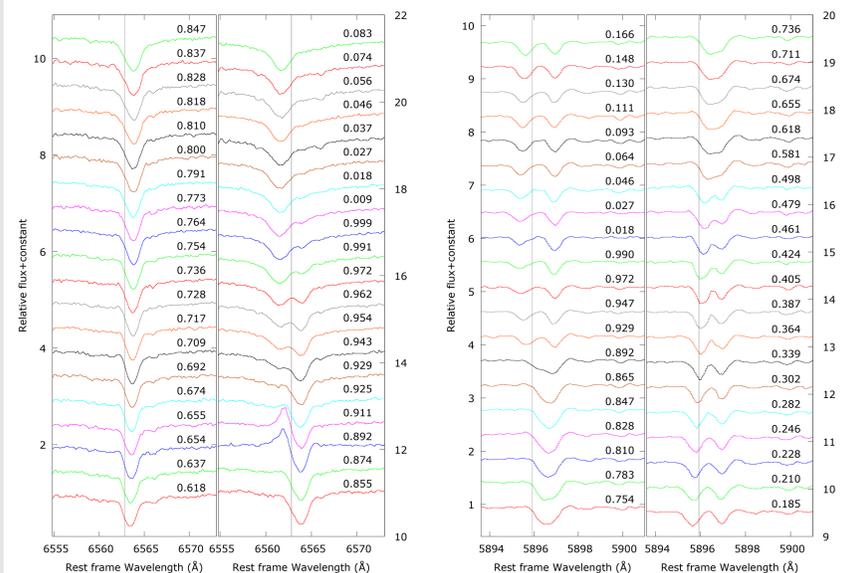
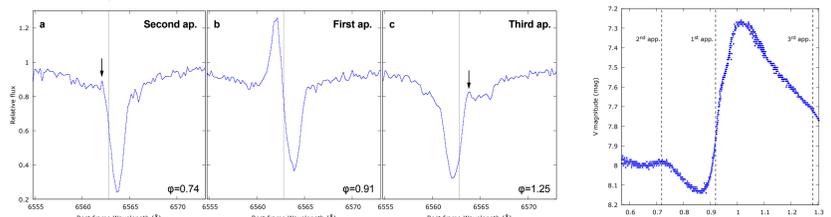


FIGURE 2: Vue partielle de la time serie d'avril 2017 pour les raies de H α et de Na D1 tracées dans le référentiel de l'étoile et annotée de la phase de pulsation. La ligne verticale indique la longueur d'onde au repos de la raie étudiée. L'échantillonnage temporel est de 15 min. **Gauche** : raie H α avec son émission à $\varphi \sim 0.91$ suivi d'un dédoublement. **Droite** : raie Na D1 dont la composante rouge est produite par le MIS.

- Quelques résultats :



On y retrouve les 3 émissions de H α repérables aussi sur la courbe photométrique.

- Analyse de la dynamique :

Le mécanisme d'une pulsation :

Step	φ interval	Phenomenon
1	0.874 – 0.892	Emergence of the main shock
2	0.892 – 0.929	Radiative shock wave phase
3	0.320	Maximum expansion of the Na layer
4	0.455	Maximum expansion of the H α layer
5	0.320 – 0.455	A two-steps infalling motion
6	around 0.36	A strong photospheric compression

La publication est à venir...

D'autres étoiles pulsantes d'intérêt

- BW Vulpeculae : β Cep de période 4.8 h et d'intenses pulsations $\Delta V_r = 200 \text{ km s}^{-1}$.
- X Cygni : Céphéide de période 16.39 j avec un effet Schwarzschild marqué.
- σ Scorpii : β Cep et binaire SB2 de période 5.9 h.

Conclusion

Cette aventure scientifique se poursuit encore aujourd'hui. Durant ces travaux, il est nécessaire de garder un esprit critique sur ses méthodes d'analyse et leur interprétation. Il faut faire évoluer ses outils et être soigneux. Surtout, il faut **remettre l'ouvrage sur la table autant que nécessaire**.

Cependant il y a un besoin de modèles d'atmosphère pulsante gérant la convection et les chocs pour affiner la compréhension. Par ailleurs, l'études d'autres étoiles pulsantes de choix permettront de valider ou non des mécanismes.

Références

- [1] S. Blazhko.
Astronomische Nachrichten, 175 :325, Aug. 1907.
- [2] A. B. Fokin and D. Gillet.
A&A, 325 :1013–1024, Sept. 1997.
- [3] D. Gillet, B. Mauclaire, T. Garrel, and al.
A&A, 607 :A51, Nov. 2017.
- [4] E. C. Pickering, H. R. Colson, W. Fleming, and al.
ApJ, 13, Apr. 1901.