

La saga des pulsations de RR Lyr : six ans déjà !

B. MAUCLAIRE

A&A 523, A 99 (2019)
doi:10.1051/0004-6361/201833869
© 0 0 0 0, 00, 00, 00

Astronomy
& Astrophysics

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

Astronomy
& Astrophysics

Dynamical structure of the pulsating atmosphere of RR Lyrae

I. A typical pulsation cycle

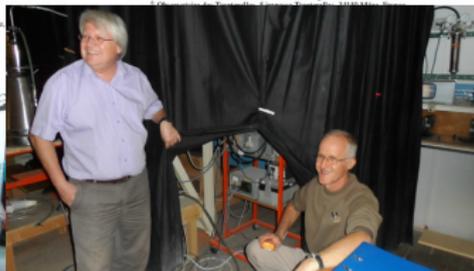
D. Gillet¹, B. Maucclair², T. Lemoine³, Ph. Mathias⁴, J.-S. Devaux⁵, Th. de Franco⁶,
T. Garnier⁷, and the GRRR Collaboration^{8,9,10,11}

First observation of H α redshifted emission in RR Lyr*

Evidence of a superionic infalling motion of the atmosphere

D. Gillet¹, B. Maucclair², T. Garnier³, T. Lemoine⁴, Ph. Mathias⁵, T. de Franco⁶, J.-S. Devaux⁷, H. Boussier⁸,
D. Verihac⁹, G. Bebaev¹⁰, J. Desbordes¹¹, O. Gierke¹², and the GRRR Collaboration^{13,14}

¹ Observatoire de Haute-Provence - CNRS/PTHEAS/Université d'Aix-Marseille, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France
e-mail: denis.gillet@osha-provence.fr
² Observatoire de Val de l'Arc, route de Peyzieux, 13530 Trets, France
e-mail: bmaucclair@valdear.com
³ Observatoire de Fontvieille, 19 Av. du Hameau du golf, 54990 Jarvignac, France
⁴ Observatoire de Chelles, 23 Av. Hélie, 77500 Chelles, France
⁵ Observatoire Midi-Pyrénées, IRAP Université de Toulouse, CNRS, UPS, CNES, Tarbes, 31400 Toulouse, France
⁶ Observatoire de Nice, 5 rue de l'Observatoire, 06100 Nice, France
⁷ Observatoire de Haute-Provence - CNRS/PTHEAS/Université d'Aix-Marseille, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France
⁸ Observatoire de Haute-Provence - CNRS/PTHEAS/Université d'Aix-Marseille, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France
e-mail: denis.gillet@osha-provence.fr
⁹ Observatoire de Val de l'Arc, route de Peyzieux, 13530 Trets, France
e-mail: bmaucclair@valdear.com
¹⁰ Observatoire de Fontvieille, 19 Av. du Hameau du golf, 54990 Jarvignac, France
¹¹ Observatoire de Chelles, 23 Av. Hélie, 77500 Chelles, France
¹² IRAP Université de Toulouse, CNRS, UPS, CNES, 37 avenue d'Estates, 63000 Tarbes, France
¹³ Observatoire OAV, 13 rue de Moulin, 34290 Allouan-de-Vaux, France
e-mail: oav@osha-provence.fr
¹⁴ Observatoire de Haute-Provence - CNRS/PTHEAS/Université d'Aix-Marseille, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France



Introduction

- Depuis 2013 nous menons une collaboration pro-am sur RR Lyr

Introduction

- Depuis 2013 nous menons une collaboration pro-am sur RR Lyr
- Quelles ont été les grandes étapes de cette aventure ?

Introduction

- Depuis 2013 nous menons une collaboration pro-am sur RR Lyr
- Quelles ont été les grandes étapes de cette aventure ?
- De la rencontre avec Denis Gillet jusqu'à la publication des travaux

Introduction

- Depuis 2013 nous menons une collaboration pro-am sur RR Lyr
- Quelles ont été les grandes étapes de cette aventure ?
- De la rencontre avec Denis Gillet jusqu'à la publication des travaux
- Buts : étude de la dynamique atmosphérique et des ondes de choc

Introduction

- Depuis 2013 nous menons une collaboration pro-am sur RR Lyr
- Quelles ont été les grandes étapes de cette aventure ?
- De la rencontre avec Denis Gillet jusqu'à la publication des travaux
- Buts : étude de la dynamique atmosphérique et des ondes de choc
- Nous allons voir :

Introduction

- Depuis 2013 nous menons une collaboration pro-am sur RR Lyr
- Quelles ont été les grandes étapes de cette aventure ?
- De la rencontre avec Denis Gillet jusqu'à la publication des travaux
- Buts : étude de la dynamique atmosphérique et des ondes de choc
- Nous allons voir :
 1. Le point sur ce qu'est une étoile pulsante

Introduction

- Depuis 2013 nous menons une collaboration pro-am sur RR Lyr
- Quelles ont été les grandes étapes de cette aventure ?
- De la rencontre avec Denis Gillet jusqu'à la publication des travaux
- Buts : étude de la dynamique atmosphérique et des ondes de choc
- Nous allons voir :
 1. Le point sur ce qu'est une étoile pulsante
 2. La naissance du GRRR

Introduction

- Depuis 2013 nous menons une collaboration pro-am sur RR Lyr
- Quelles ont été les grandes étapes de cette aventure ?
- De la rencontre avec Denis Gillet jusqu'à la publication des travaux
- Buts : étude de la dynamique atmosphérique et des ondes de choc
- Nous allons voir :
 1. Le point sur ce qu'est une étoile pulsante
 2. La naissance du GRRR
 3. L'observation inédite de la 3^e émission de $H\alpha$ pour RR Lyr

Introduction

- Depuis 2013 nous menons une collaboration pro-am sur RR Lyr
- Quelles ont été les grandes étapes de cette aventure ?
- De la rencontre avec Denis Gillet jusqu'à la publication des travaux
- Buts : étude de la dynamique atmosphérique et des ondes de choc
- Nous allons voir :
 1. Le point sur ce qu'est une étoile pulsante
 2. La naissance du GRRR
 3. L'observation inédite de la 3^e émission de $H\alpha$ pour RR Lyr
 4. L'étude de la dynamique atmosphérique

Partie A :

Qu'est-ce qu'une étoile pulsante ?

La saga des
pulsations de
RR Lyr : six ans
déjà !

B. MAUCLAIRE

Les étoiles sont variables

Les étoiles sont
variables

Place de RR Lyr
parmi les variables

Manifestations des
pulsations dans le
spectre

Pulsations et
ondes de choc

1901 : article de la découverte de RR Lyr

B. MAUCLAIRE

Les étoiles sont variables

Place de RR Lyr parmi les variables

Manifestations des pulsations dans le spectre

Pulsations et ondes de choc

<i>Sagittarius</i>	-16° 4904	18 24.6	-16 59	N	W. P. Fleming
<i>Scutum</i>	- 8° 4726	18 44.9	- 8 1	N	L. D. Wells
<i>Scutum</i>	- 8° 4764	18 50.0	- 8 19	N	W. P. Fleming
<i>Sagittarius</i>	.....	18 55.9	-12 54	Md	W. P. Fleming
<i>Sagittarius</i>	-22° 4958	18 57.7	-22 51	Mc	W. P. Fleming
<i>Telescopium</i>	.....	19 0.5	-49 4	Md	W. P. Fleming
<i>Telescopium</i>	C. P. D. -50° 11027	19 10.5	-50 38	Md ?	W. P. Fleming
<u><i>Lyra</i></u>	+42° 3338	19 22.2	+42 36	.....!	W. P. Fleming
<i>Telescopium</i>	.....	19 43.1	-50 15	Md	W. P. Fleming
<i>Telescopium</i>	.....	20 11.2	-52 56	Md	W. P. Fleming
<i>Telescopium</i>	-51° 12487	20 12.9	-51 1	Mc 5 d	W. P. Fleming
<i>Cygnus</i>	.....	21 35.7	+42 45	....	H. R. Colson
<i>Aquarius</i>	-22° 5901	22 17.7	-22 35	Md ?	W. P. Fleming
<i>Piscis Austr.</i>	A. G. C. 30605	22 20.5	-29 35	...	W. P. Fleming
<i>Andromeda</i>	+48° 4093	23 28.8	+48 16	Md ?	W. P. Fleming
<i>Pegasus</i>	+25° 5054	23 55.0	+25 21	Md ?	W. P. Fleming

La saga des pulsations de RR Lyr : six ans déjà !

B. MAUCLAIRE

Les étoiles sont variables

Place de RR Lyr parmi les variables

Manifestations des pulsations dans le spectre

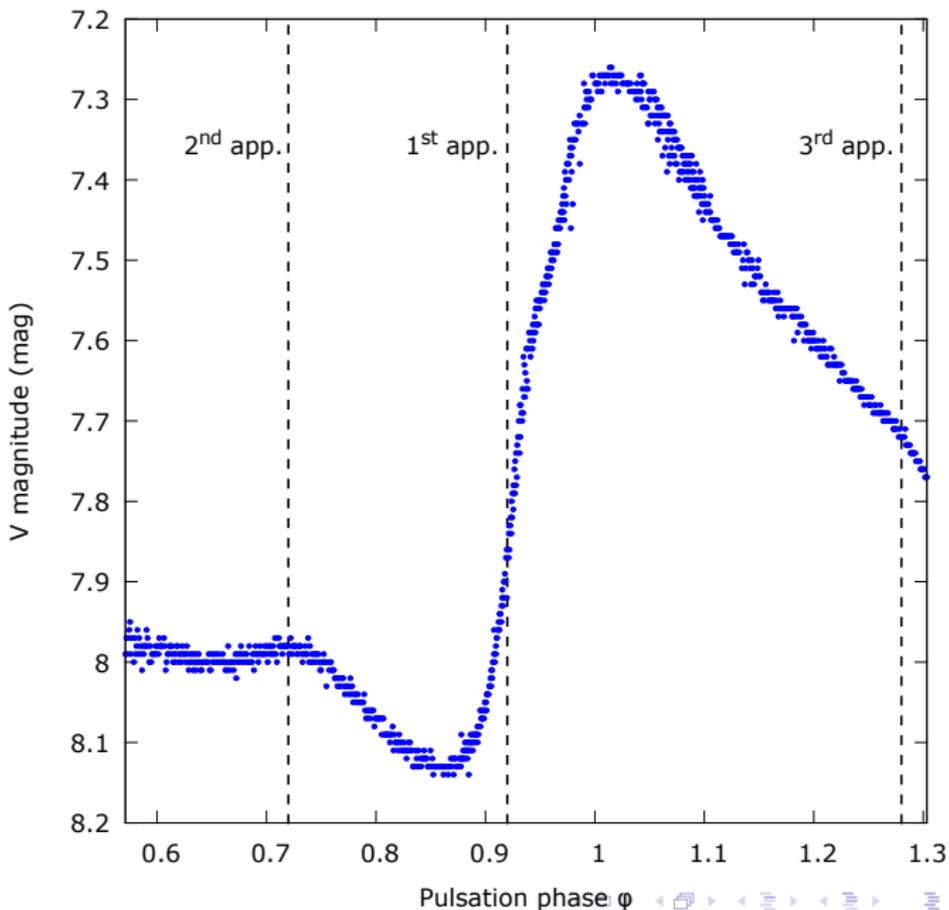
Pulsations et ondes de choc

W. Fleming, travaillant pour Pickering



*Yours very truly,
W. V. Fleming*

La courbe de lumière de RR Lyr



La saga des pulsations de RR Lyr : six ans déjà !

B. MAUCLAIRE

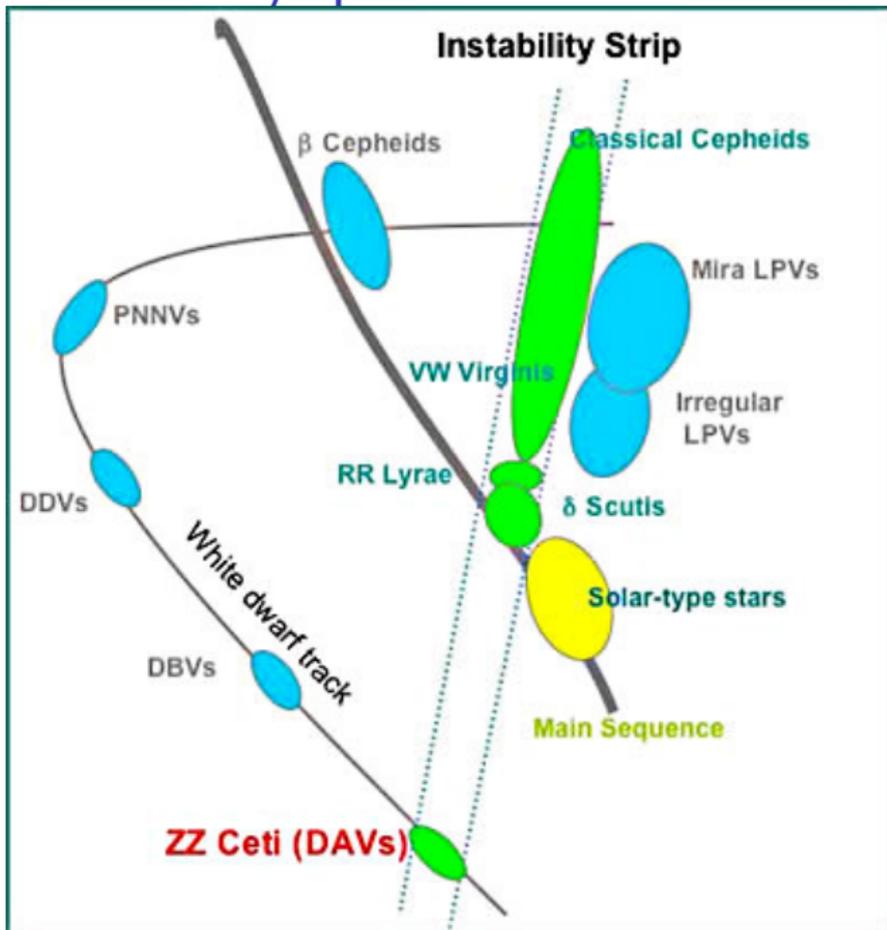
Les étoiles sont variables

Place de RR Lyr parmi les variables

Manifestations des pulsations dans le spectre

Pulsations et ondes de choc

Place de RR Lyr parmi les variables



La saga des pulsations de RR Lyr : six ans déjà !

B. MAUCLAIRE

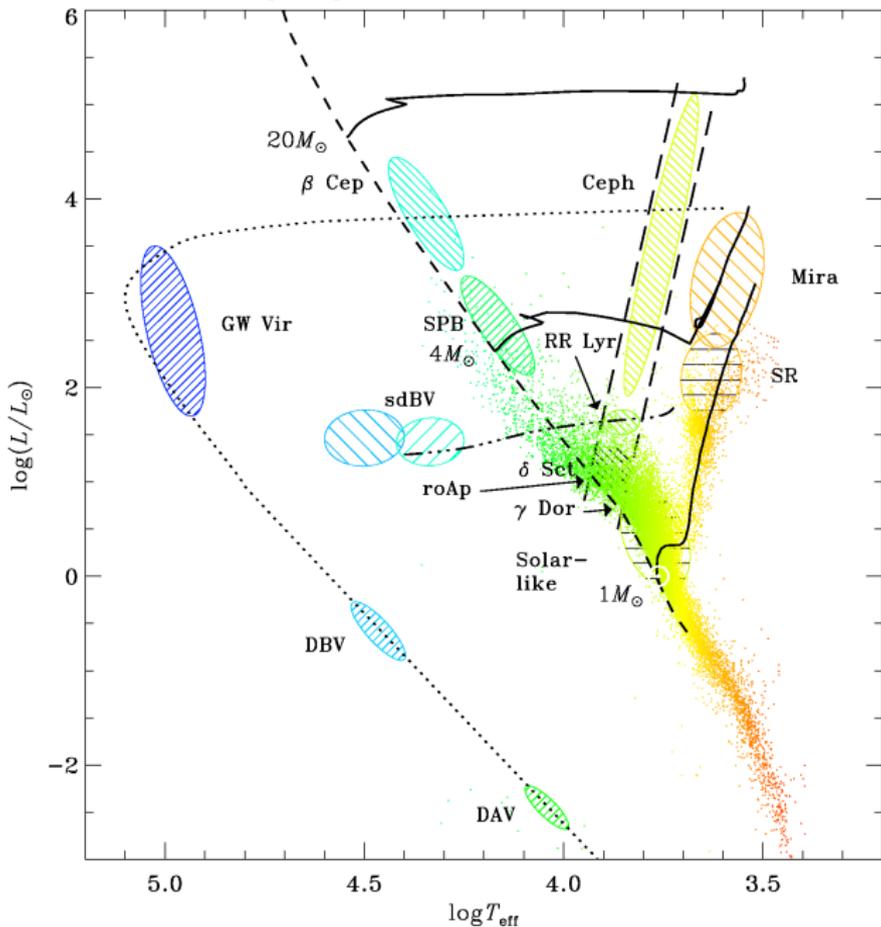
Les étoiles sont variables

Place de RR Lyr parmi les variables

Manifestations des pulsations dans le spectre

Pulsations et ondes de choc

Place de RR Lyr parmi les variables



La saga des
pulsations de
RR Lyr : six ans
déjà !

B. MAUCLAIRE

Les étoiles sont
variables

Place de RR Lyr
parmi les variables

Manifestations des
pulsations dans le
spectre

Pulsations et
ondes de choc

En spectroscopie : le profil de raies



La saga des pulsations de RR Lyr : six ans déjà !

B. MAUCLAIRE

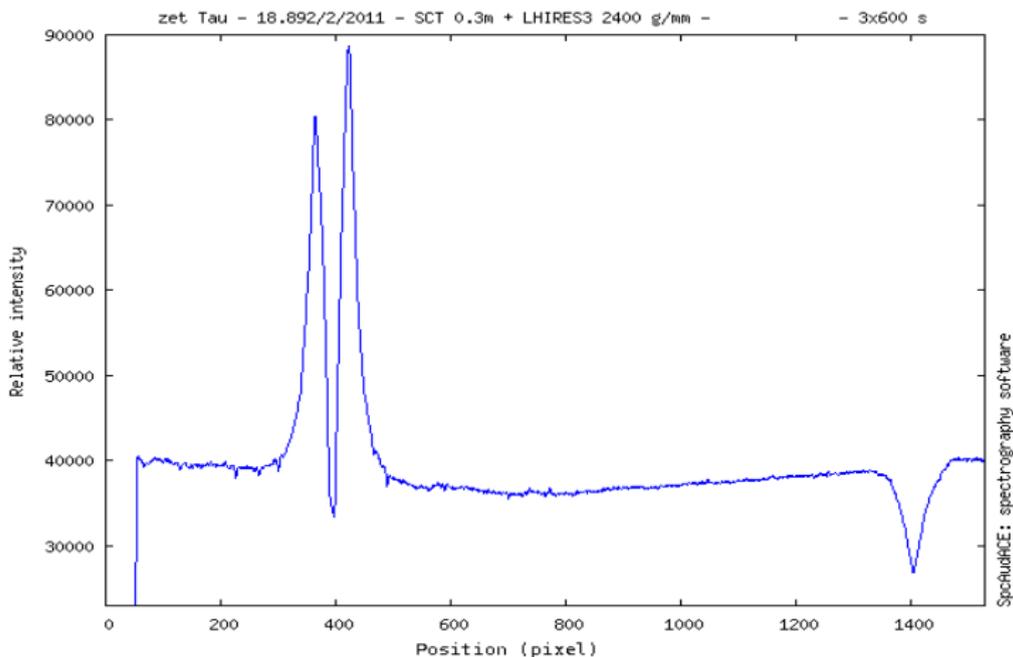
Les étoiles sont variables

Place de RR Lyr parmi les variables

Manifestations des pulsations dans le spectre

Pulsations et ondes de choc

En spectroscopie : le profil de raies



La saga des pulsations de RR Lyr : six ans déjà !

B. MAUCLAIRE

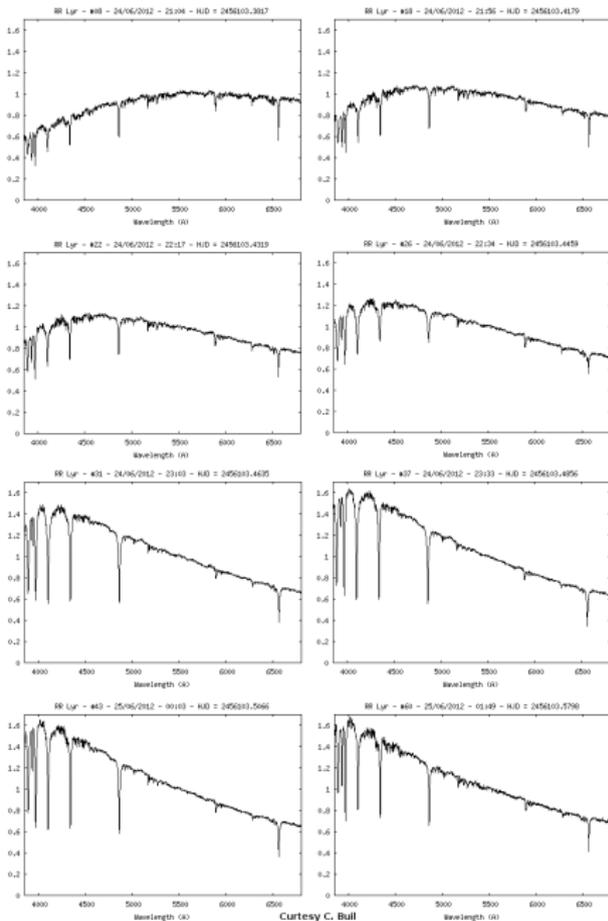
Les étoiles sont variables

Place de RR Lyr parmi les variables

Manifestations des pulsations dans le spectre

Pulsations et ondes de choc

Évolution du spectre (5h) durant le cycle



Courtesy C. Bull

La saga des pulsations de RR Lyr : six ans déjà !

B. MAUCLAIRE

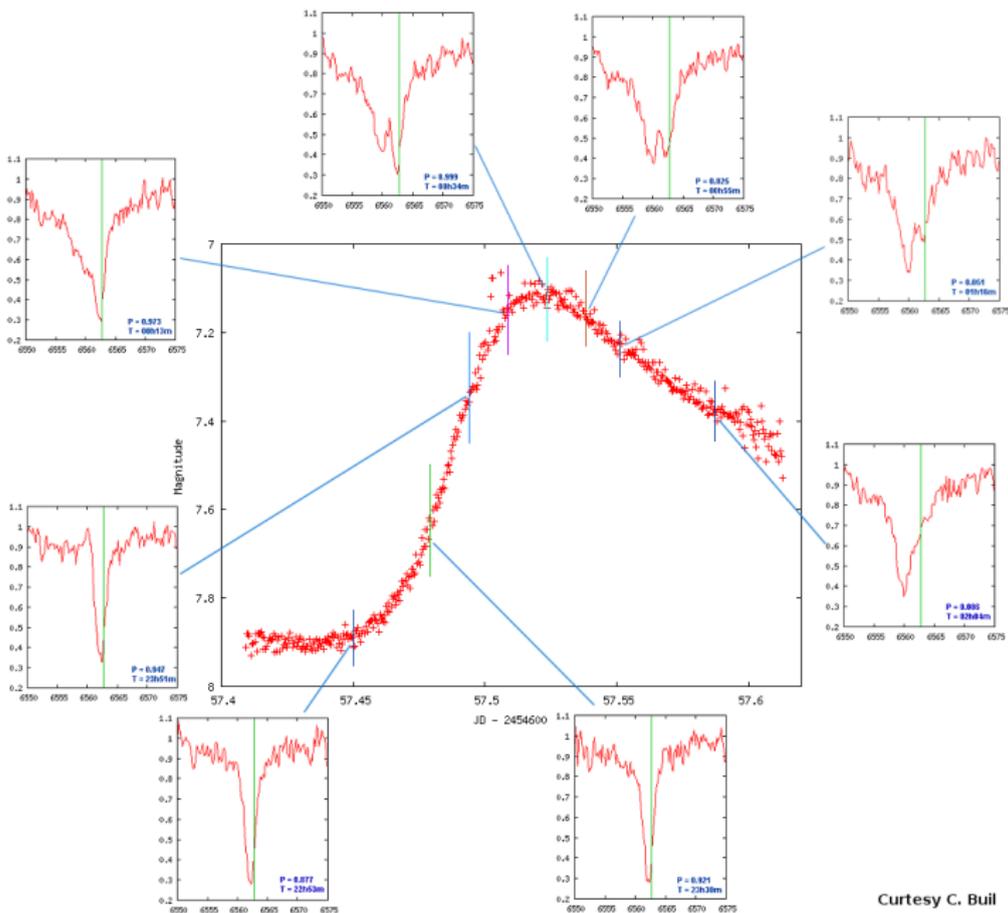
Les étoiles sont variables

Place de RR Lyr parmi les variables

Manifestations des pulsations dans le spectre

Pulsations et ondes de choc

Variations de la raie H_{α} au cours du cycle



Courtesy C. Buil



La saga des pulsations de RR Lyr : six ans déjà !

B. MAUCLAIRE

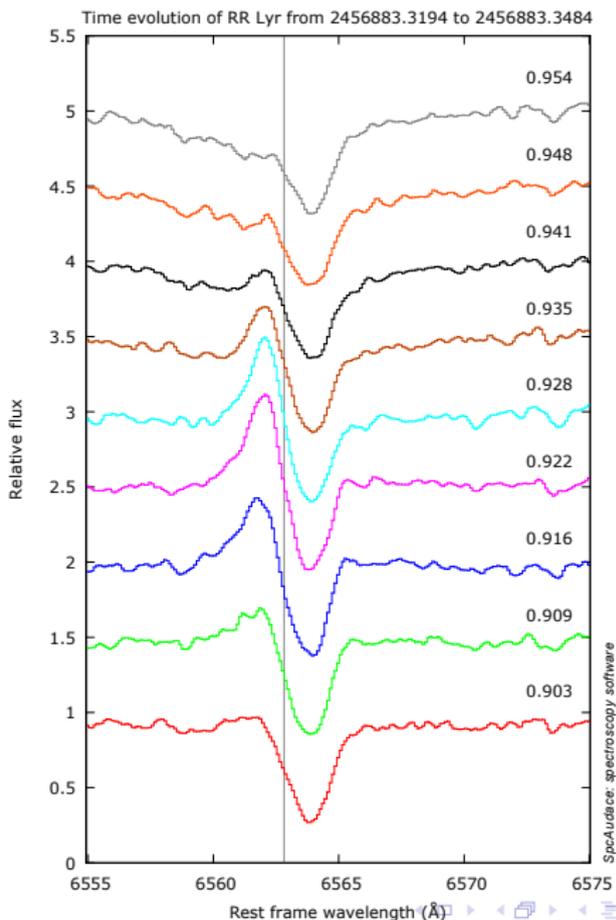
Les étoiles sont variables

Place de RR Lyr parmi les variables

Manifestations des pulsations dans le spectre

Pulsations et ondes de choc

À $\varphi \sim 0.91$ la raie H α passe en émission



La saga des pulsations de RR Lyr : six ans déjà !

B. MAUCLAIRE

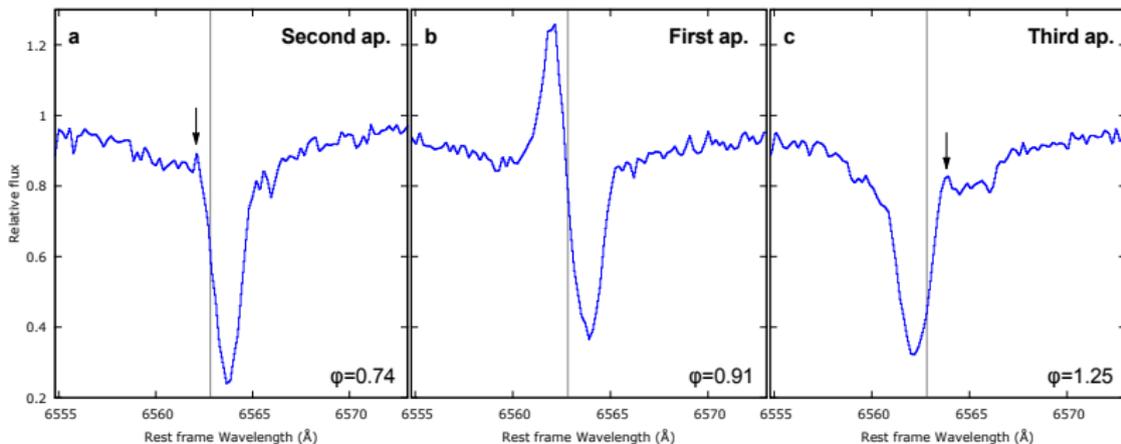
Les étoiles sont variables

Place de RR Lyr parmi les variables

Manifestations des pulsations dans le spectre

Pulsations et ondes de choc

En fait, il y a 3 émissions de la raie H α



La saga des pulsations de RR Lyr : six ans déjà !

B. MAUCLAIRE

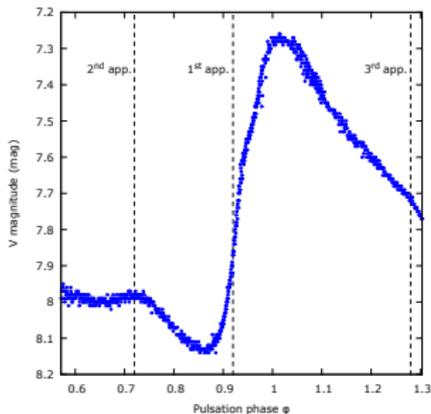
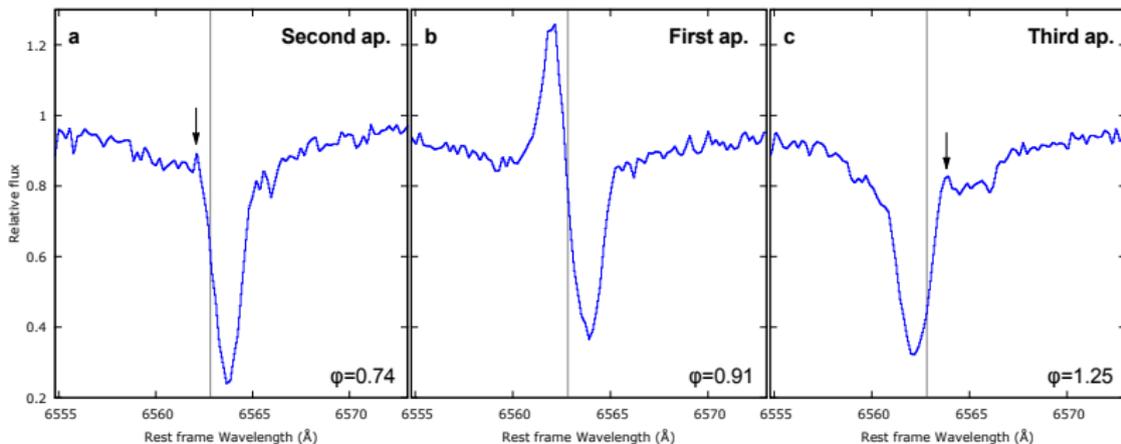
Les étoiles sont variables

Place de RR Lyr parmi les variables

Manifestations des pulsations dans le spectre

Pulsations et ondes de choc

En fait, il y a 3 émissions de la raie $H\alpha$



Pulsations et ondes de choc 1/2

- Lors des pulsations, les étoiles grossissent et se contractent

Pulsations et ondes de choc 1/2

- Lors des pulsations, les étoiles grossissent et se contractent
- Comparable à une casserole d'eau avec un couvercle plein d'eau, posé sur un réchaud :

Pulsations et ondes de choc 1/2

- Lors des pulsations, les étoiles grossissent et se contractent
- Comparable à une casserole d'eau avec un couvercle plein d'eau, posé sur un réchaud :



- ▶ Lors de l'ébullition, la vapeur pousse le couvercle
- ▶ Le couvercle s'ouvre : la gravité est vaincue momentanément
- ▶ La pression à l'intérieur de la casserole chute alors soudainement

Pulsations et ondes de choc 1/2

- Lors des pulsations, les étoiles grossissent et se contractent
- Comparable à une casserole d'eau avec un couvercle plein d'eau, posé sur un réchaud :



- ▶ Lors de l'ébullition, la vapeur pousse le couvercle
 - ▶ Le couvercle s'ouvre : la gravité est vaincue momentanément
 - ▶ La pression à l'intérieur de la casserole chute alors soudainement
 - ▶ Le couvercle se remet en place et le cycle recommence
- Le couvercle dans les étoiles pulsantes est une couche où H, He et He⁺ sont partiellement ionisés

Pulsations et ondes de choc 2/2

- La recombinaison (dite à 3 corps) de 2 électrons ambiants par ions produit 1 électron rapide (κ -méc.)

Pulsations et ondes de choc 2/2

- La recombinaison (dite à 3 corps) de 2 électrons ambiants par ions produit 1 électron rapide (κ -méc.)
- Cette poussée d'électrons rapides crée une onde de choc se propageant dans l'atmosphère

Pulsations et ondes de choc 2/2

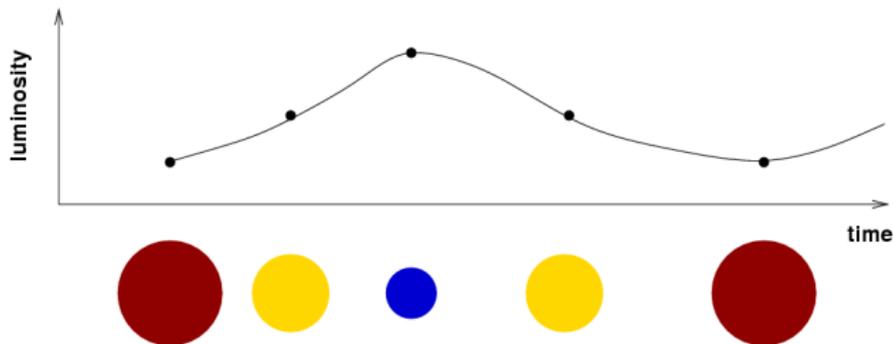
- La recombinaison (dite à 3 corps) de 2 électrons ambiants par ions produit 1 électron rapide (κ -méc.)
- Cette poussée d'électrons rapides crée une onde de choc se propageant dans l'atmosphère
- L'onde de choc pousse les couches supérieures

Pulsations et ondes de choc 2/2

- La recombinaison (dite à 3 corps) de 2 électrons ambiants par ions produit 1 électron rapide (κ -méc.)
- Cette poussée d'électrons rapides crée une onde de choc se propageant dans l'atmosphère
- L'onde de choc pousse les couches supérieures
- Les couches externes de l'étoile se dilatent et donc se refroidissent (**rougit**)

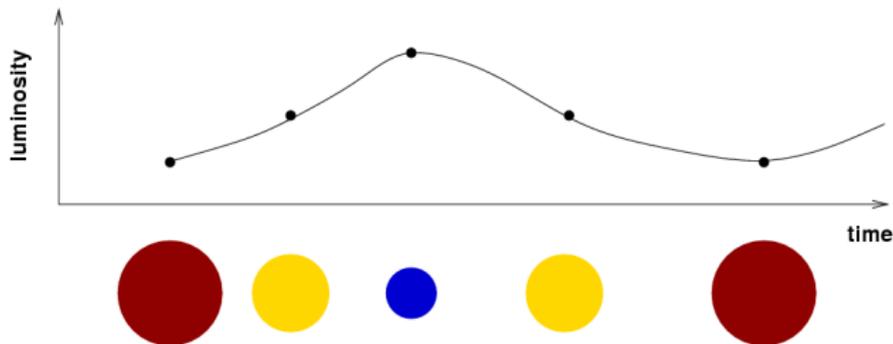
Pulsations et ondes de choc 2/2

- La recombinaison (dite à 3 corps) de 2 électrons ambiants par ions produit 1 électron rapide (κ -méc.)
- Cette poussée d'électrons rapides crée une onde de choc se propageant dans l'atmosphère
- L'onde de choc pousse les couches supérieures
- Les couches externes de l'étoile se dilatent et donc se refroidissent (**rougit**)



Pulsations et ondes de choc 2/2

- La recombinaison (dite à 3 corps) de 2 électrons ambiants par ions produit 1 électron rapide (κ -méc.)
- Cette poussée d'électrons rapides crée une onde de choc se propageant dans l'atmosphère
- L'onde de choc pousse les couches supérieures
- Les couches externes de l'étoile se dilatent et donc se refroidissent (**rougit**)



- Puis se contractent et se réchauffent alors (**bleuit**) : l'étoile se rétracte et gagne en luminosité

Partie B :

Contexte et bref historique

Une collaboration pro-am insoupçonnée

- Lors des Spectro Star Party d'été à l'OHP :
rencontre de Denis Gillet (CNRS-OHP)

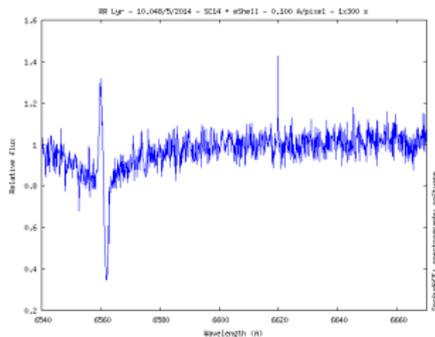
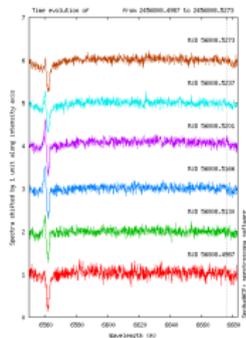


Une collaboration pro-am insoupçonnée

- Lors des Spectro Star Party d'été à l'OHP :
rencontre de Denis Gillet (CNRS-OHP)



- Nos premières observations l'ont convaincu :

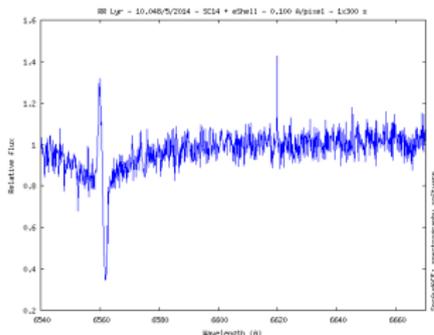
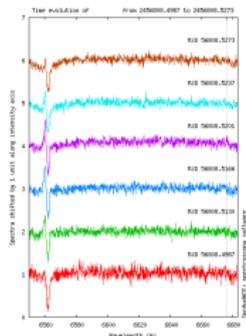


Une collaboration pro-am insoupçonnée

- Lors des Spectro Star Party d'été à l'OHP :
rencontre de Denis Gillet (CNRS-OHP)



- Nos premières observations l'ont convaincu :



- Une collaboration pro-am sur les étoiles pulsantes
est alors initiée en 2013

Une collaboration pro-am insoupçonnée

- Une équipe d'amateurs est formée :



Une collaboration pro-am insoupçonnée

- Une équipe d'amateurs est formée :

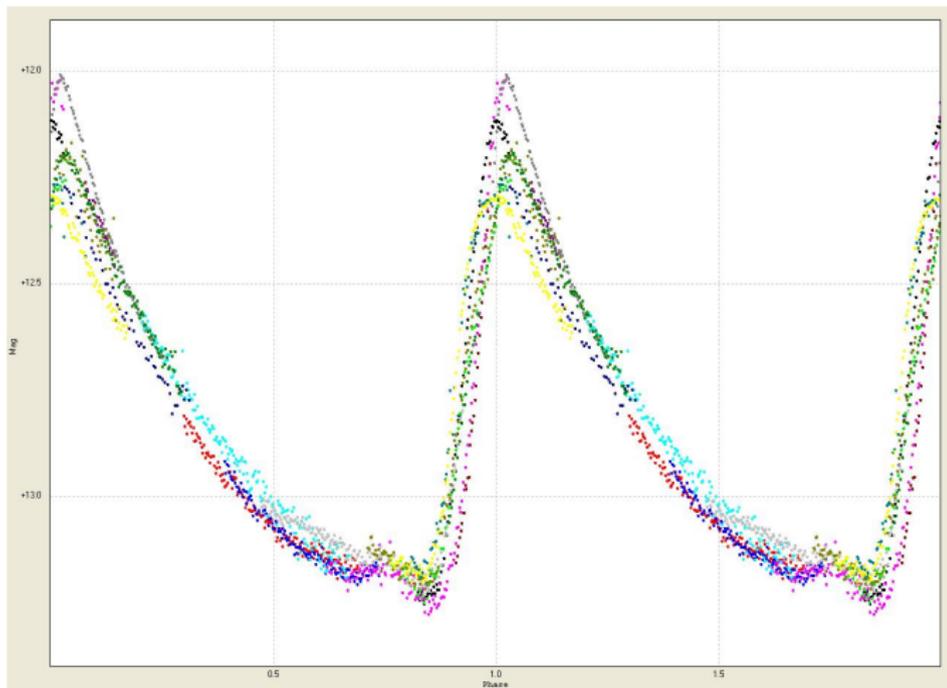


- Philippe Mathias de l'observatoire de Tarbes nous a rejoint (étude des Céphéides) :



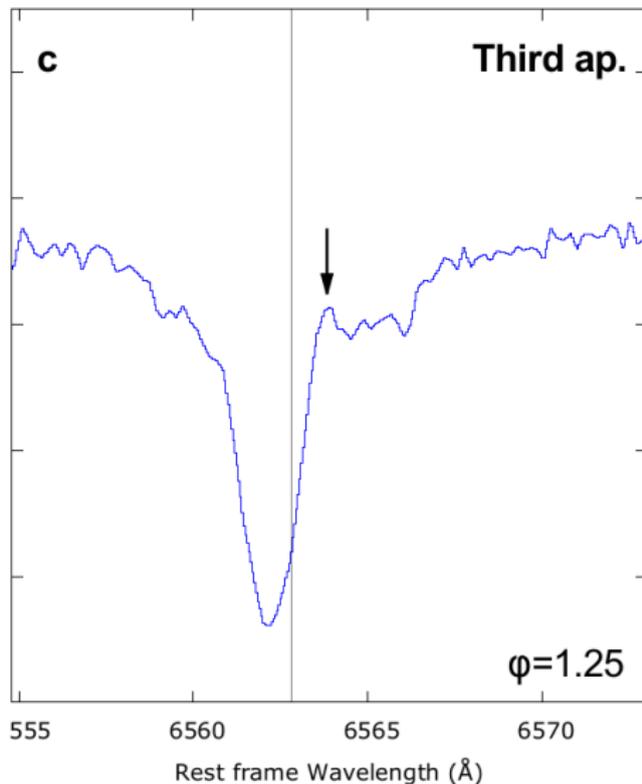
Une collaboration pro-am insoupçonnée

- But initial : observations des maxima de pulsation pour étudier l'effet Blazhko



Une collaboration pro-am insoupçonnée

- Inédit : la 3^e apparition en émission de la raie $H\alpha$ est observée pour la première fois pour RR Lyr



Une collaboration pro-am insoupçonnée

- Un article est alors publié dans la revue A&A :

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. Bous sier⁸,
D. Verilhac⁹, G. Brabant¹⁰, J. Desbordes¹¹, O. Garde¹², and the GRRR Collaboration^{13,★★}

¹ Observatoire de Haute-Provence – CNRS/PYTHEAS/Université d'Aix-Marseille, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France
e-mail: denis.gillet@osupytheas.fr

² Observatoire du Val de l'Arc, route de Peynier, 13530 Trets, France
e-mail: bma.ova@gmail.com

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 Mèze, 5 Imp. des Tourterelles, 34140 Mèze, 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 Vercors, 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

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

Une collaboration pro-am insoupçonnée

- Un article est alors publié dans la revue A&A :

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. Bous sier⁸,
D. Verilhac⁹, G. Brabant¹⁰, J. Desbordes¹¹, O. Garde¹², and the GRRR Collaboration^{13,★★}

¹ Observatoire de Haute-Provence – CNRS/PYTHEAS/Université d'Aix-Marseille, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France
e-mail: denis.gillet@osupytheas.fr

² Observatoire du Val de l'Arc, route de Peynier, 13530 Trets, France
e-mail: bma.ova@gmail.com

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 Mèze, 5 Imp. des Tourterelles, 34140 Mèze, 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 Vercors, 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

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

- Quelles ont été les étapes menant à cet article ?

Partie C :

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

2013 : début d'une aventure intense

- 17/4/2013 : workshop-acte fondateur du survey RR Lyr

2013 : début d'une aventure intense

- 17/4/2013 : workshop-acte fondateur du survey RR Lyr
- S'en suit une série de 13 nuits d'observation au T152 de l'OHP avec AURELIE



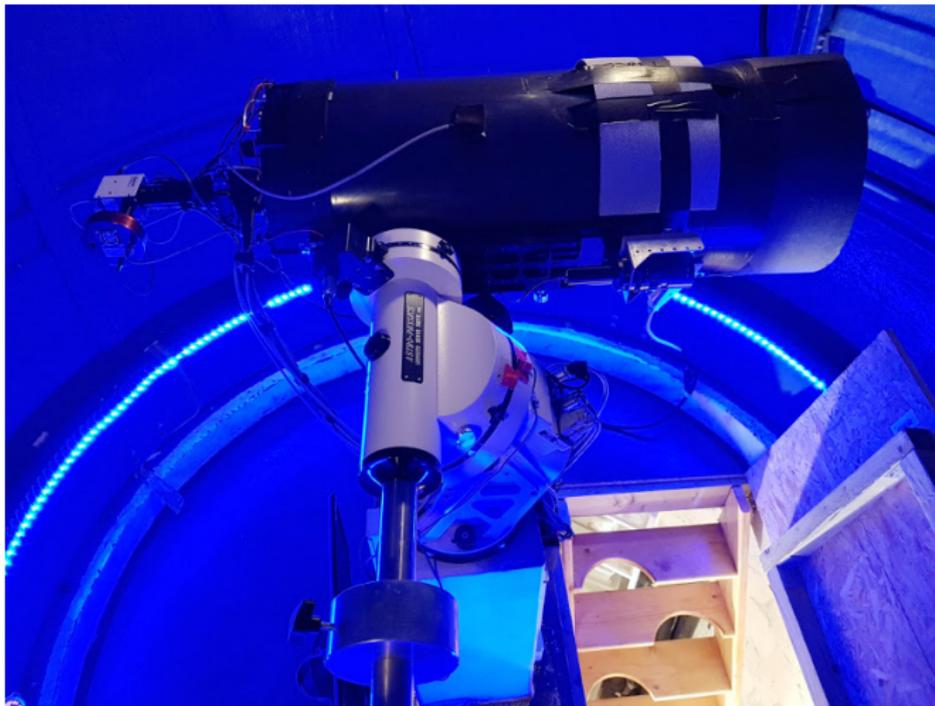
2013 : début d'une aventure intense

- Le T152 de l'OHP pointant RRLyr :



2013 : début d'une aventure intense

- Des observations sont réalisées en parallèle par chacun : T20 à T35 + LHIRES3 et eSHELL



2013 : début d'une
aventure intense

Deux observations
décisives

Interprétation du
phénomène

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

Bilan de l'étude de
la 3^e émission

2013 : début d'une aventure intense

- Depuis 2014, chaque année a lieu un workshop de synthèse :



- ▶ Bilan des observations

2013 : début d'une
aventure intense

Deux observations
décisives

Interprétation du
phénomène

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

Bilan de l'étude de
la 3^e émission

2013 : début d'une aventure intense

- Depuis 2014, chaque année a lieu un workshop de synthèse :



- ▶ Bilan des observations
- ▶ Formation astrophysique avec des intervenants professionnels

2. Deux observations décisives pour le modèle de D. Gillet

Deux observations décisives

- En 1997¹, D. Gillet et Fokin ont élaboré un modèle d'étoile pulsante

¹ Fokin, A. B. & Gillet, D. 1997, A&A, 325, 1013

Deux observations décisives

- En 1997¹, D. Gillet et Fokin ont élaboré un modèle d'étoile pulsante
- Un des points pour le vérifier : la 3^e émission de $H\alpha$

¹ Fokin, A. B. & Gillet, D. 1997, A&A, 325, 1013

Deux observations décisives

- En 1997¹, D. Gillet et Fokin ont élaboré un modèle d'étoile pulsante
- Un des points pour le vérifier : la 3^e émission de $H\alpha$
- Deux observations furent programmées au T152 :
 $\varphi \sim 0.3$ et $\psi \sim 0.9$

¹ Fokin, A. B. & Gillet, D. 1997, A&A, 325, 1013

Deux observations décisives

- En 1997¹, D. Gillet et Fokin ont élaboré un modèle d'étoile pulsante
- Un des points pour le vérifier : la 3^e émission de $H\alpha$
- Deux observations furent programmées au T152 :
 $\varphi \sim 0.3$ et $\psi \sim 0.9$
 - ▶ En effet, à ce stade nous croyions que la 3^e émission a lieu lors des maxima Blazhko ($\psi \sim 1$)

¹ Fokin, A. B. & Gillet, D. 1997, A&A, 325, 1013

Deux observations décisives

- En 1997¹, D. Gillet et Fokin ont élaboré un modèle d'étoile pulsante
- Un des points pour le vérifier : la 3^e émission de $H\alpha$
- Deux observations furent programmées au T152 :
 $\varphi \sim 0.3$ et $\psi \sim 0.9$
 - ▶ En effet, à ce stade nous croyions que la 3^e émission a lieu lors des maxima Blazhko ($\psi \sim 1$)
 - ▶ Victoire : le soir des observations, la 3^e émission fut même détectable sur les données brutes !

¹ Fokin, A. B. & Gillet, D. 1997, A&A, 325, 1013

Deux observations décisives

- En 1997¹, D. Gillet et Fokin ont élaboré un modèle d'étoile pulsante
- Un des points pour le vérifier : la 3^e émission de $H\alpha$
- Deux observations furent programmées au T152 :
 $\varphi \sim 0.3$ et $\psi \sim 0.9$
 - ▶ En effet, à ce stade nous croyions que la 3^e émission a lieu lors des maxima Blazhko ($\psi \sim 1$)
 - ▶ Victoire : le soir des observations, la 3^e émission fut même détectable sur les données brutes !
- Au 05/2016, la 3^e émission fut observée 4 fois

¹ Fokin, A. B. & Gillet, D. 1997, A&A, 325, 1013

Deux observations décisives

- En 1997¹, D. Gillet et Fokin ont élaboré un modèle d'étoile pulsante
- Un des points pour le vérifier : la 3^e émission de $H\alpha$
- Deux observations furent programmées au T152 :
 $\varphi \sim 0.3$ et $\psi \sim 0.9$
 - ▶ En effet, à ce stade nous croyions que la 3^e émission a lieu lors des maxima Blazhko ($\psi \sim 1$)
 - ▶ Victoire : le soir des observations, la 3^e émission fut même détectable sur les données brutes !
- Au 05/2016, la 3^e émission fut observée 4 fois
- Observations retenues (selon leur SNR) :
le **2014/09/14** et **2013/09/04**

¹ Fokin, A. B. & Gillet, D. 1997, A&A, 325, 1013

La saga des pulsations de RR Lyr : six ans déjà !

B. MAUCLAIRE

2013 : début d'une aventure intense

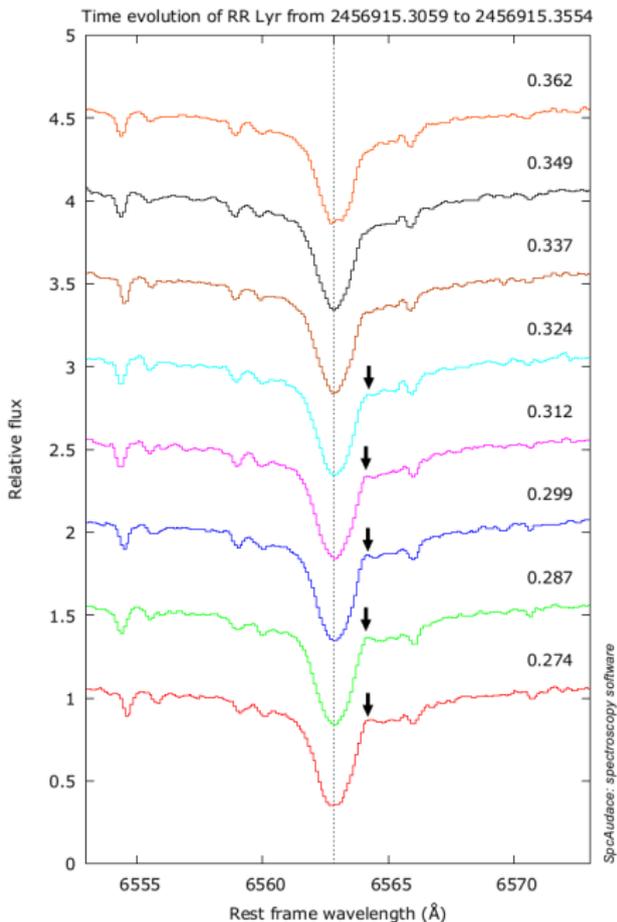
Deux observations décisives

Interprétation du phénomène

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

Bilan de l'étude de la 3^e émission

Observation du 2014/09/14 :



La saga des pulsations de RR Lyr : six ans déjà !

B. MAUCLAIRE

2013 : début d'une aventure intense

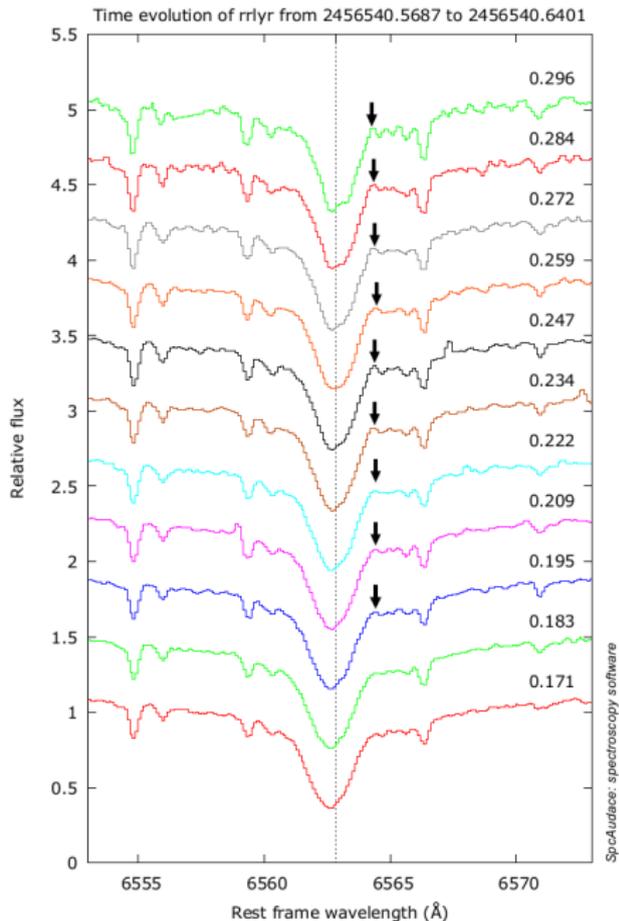
Deux observations décisives

Interprétation du phénomène

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

Bilan de l'étude de la 3^e émission

Observation du 2013/09/04 :



La saga des pulsations de RR Lyr : six ans déjà !

B. MAUCLAIRE

2013 : début d'une aventure intense

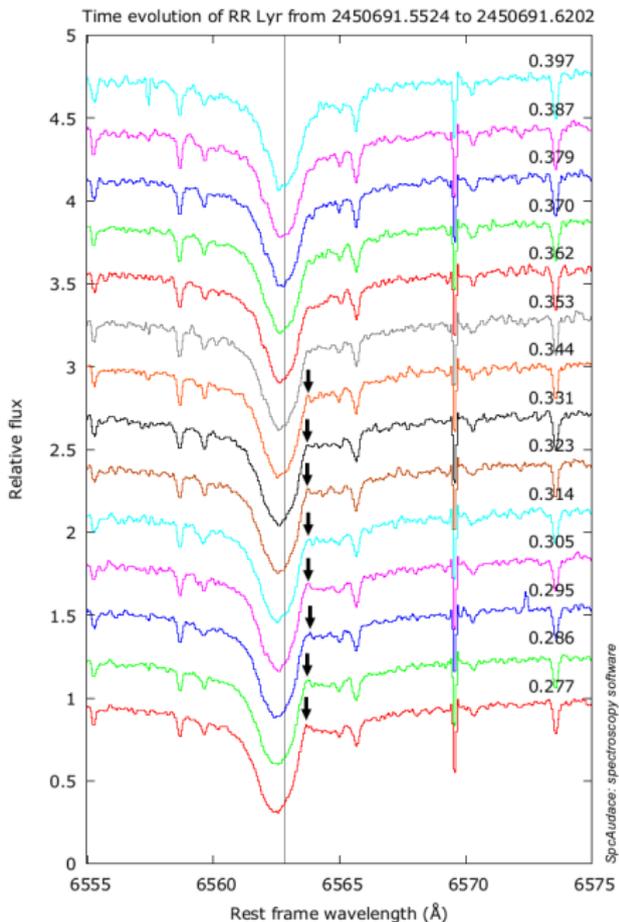
Deux observations décisives

Interprétation du phénomène

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

Bilan de l'étude de la 3^e émission

Mais aussi au T193 le 1997/8/30 !



2013 : début d'une
aventure intense

Deux observations
décisives

Interprétation du
phénomène

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

Bilan de l'étude de
la 3^e émission

3. Interprétation du phénomène

La saga des
pulsations de
RR Lyr : six ans
déjà !

B. MAUCLAIRE

2013 : début d'une
aventure intense

Deux observations
décisives

Interprétation du
phénomène

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

Bilan de l'étude de
la 3^e émission

Interprétation du phénomène :

- La 3^e émission est visible à chaque cycle de pulsation et est indépendante de la phase Blazhko

La saga des
pulsations de
RR Lyr : six ans
déjà !

B. MAUCLAIRE

2013 : début d'une
aventure intense

Deux observations
décisives

Interprétation du
phénomène

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

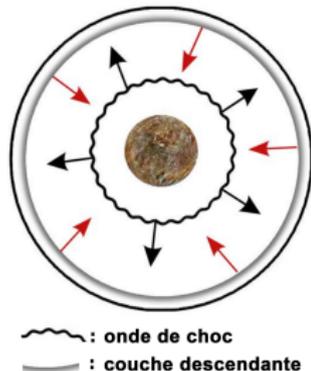
Bilan de l'étude de
la 3^e émission

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 :

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 du cycle en cours est ascendante



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 du cycle en cours est ascendante
 2. Les couches élevées dans la haute atmosphère au cycle précédent chutent vers le centre de l'étoile



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 du cycle en cours est ascendante
 2. Les couches élevées dans la haute atmosphère au cycle précédent chutent vers le centre de l'étoile
 3. Création d'une zone de compression chauffée, précèdent l'onde de choc



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 du cycle en cours est ascendante
 2. Les couches élevées dans la haute atmosphère au cycle précédent chutent vers le centre de l'étoile
 3. Création d'une zone de compression chauffée, précèdent l'onde de choc
- La 3^e émission serait produite par cette mince couche chaude



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 du cycle en cours est ascendante
 2. Les couches élevées dans la haute atmosphère au cycle précédent chutent vers le centre de l'étoile
 3. Création d'une zone de compression chauffée, précèdent l'onde de choc
- La 3^e émission serait produite par cette mince couche chaude
- Le modèle théorique¹ de D. Gillet et Fokin est en accord avec ces observations : tant mieux !



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

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

- J'avais déjà une expérience dans la rédaction

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

- J'avais déjà une expérience dans la rédaction
- Je connaissais le préparateur de texte \LaTeX

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

- J'avais déjà une expérience dans la rédaction
- Je connaissais le préparateur de texte \LaTeX
- Du piano à 4 mains avec D. Gillet dans la bonne ambiance

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

- J'avais déjà une expérience dans la rédaction
- Je connaissais le préparateur de texte \LaTeX
- Du piano à 4 mains avec D. Gillet dans la bonne ambiance
- De nouveaux constats ont modifiés l'interprétation :

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

- J'avais déjà une expérience dans la rédaction
- Je connaissais le préparateur de texte $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$
- Du piano à 4 mains avec D. Gillet dans la bonne ambiance
- De nouveaux constats ont modifiés l'interprétation :
 - ▶ L'analyse de jeux de données supplémentaires ont conduit à deux révisions de l'interprétation

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

- J'avais déjà une expérience dans la rédaction
- Je connaissais le préparateur de texte $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$
- Du piano à 4 mains avec D. Gillet dans la bonne ambiance
- De nouveaux constats ont modifiés l'interprétation :
 - ▶ L'analyse de jeux de données supplémentaires ont conduit à deux révisions de l'interprétation
 - ▶ Les observations dictent la science

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

- J'avais déjà une expérience dans la rédaction
- Je connaissais le préparateur de texte $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$
- Du piano à 4 mains avec D. Gillet dans la bonne ambiance
- De nouveaux constats ont modifiés l'interprétation :
 - ▶ L'analyse de jeux de données supplémentaires ont conduit à deux révisions de l'interprétation
 - ▶ Les observations dictent la science
 - ▶ Trois versions et aller-retours avec le relecteur A&A

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

- J'avais déjà une expérience dans la rédaction
- Je connaissais le préparateur de texte $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$
- Du piano à 4 mains avec D. Gillet dans la bonne ambiance
- De nouveaux constats ont modifiés l'interprétation :
 - ▶ L'analyse de jeux de données supplémentaires ont conduit à deux révisions de l'interprétation
 - ▶ Les observations dictent la science
 - ▶ Trois versions et aller-retours avec le relecteur A&A
- Puis validé le 22-08-2017 !

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

A&A 607, A51 (2017)
DOI: [10.1051/0004-6361/201629897](https://doi.org/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. Maucilaire², T. Garrel³, T. Lemoult⁴, Ph. Mathias⁵, T. de France⁶, J.-S. Devaux⁷, H. Boussier⁸,
D. Verilhac⁹, G. Brabant¹⁰, J. Desbordes¹¹, O. Garde¹², and the GRRR Collaboration¹³.^{★★}

¹ Observatoire de Haute-Provence – CNRS/PYTHEAS/Université d'Aix-Marseille, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France
e-mail: denis.gillet@osupytheas.fr

² Observatoire du Val de l'Arc, route de Peynier, 13530 Trets, France
e-mail: bma.ova@gmail.com

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 Mèze, 5 Imp. des Tourterelles, 34140 Mèze, 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 Vercors, 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

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

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

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. Maucilaire², T. Garrel³, T. Lemoult⁴, Ph. Mathias⁵, T. de France⁶, J.-S. Devaux⁷, H. Boussier⁸,
D. Verilhac⁹, G. Brabant¹⁰, J. Desbordes¹¹, O. Garde¹², and the GRRR Collaboration^{13, **}

¹ Observatoire de Haute-Provence – CNRS/PYTHEAS/Université d'Aix-Marseille, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France
e-mail: denis.gillet@osupytheas.fr

² Observatoire du Val de l'Arc, route de Peynier, 13530 Trets, France
e-mail: bma.ova@gmail.com

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 Mèze, 5 Imp. des Tourterelles, 34140 Mèze, 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 Vercors, 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

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

Originalité de cette publication :

**Premier article en spectroscopie avec un amateur
impliqué dans l'analyse et la rédaction !**

Bilan de l'étude de la 3^e émission

- Les observations dictent la science et non l'inverse

Bilan de l'étude de la 3^e émission

- Les observations dictent la science et non l'inverse
- Il faut garder un esprit critique sur ses méthodes d'analyse et leur interprétation

Bilan de l'étude de la 3^e émission

- Les observations dictent la science et non l'inverse
- Il faut garder un esprit critique sur ses méthodes d'analyse et leur interprétation
- Nécessité de faire évoluer ses outils et d'être soigneux

Bilan de l'étude de la 3^e émission

- Les observations dictent la science et non l'inverse
- Il faut garder un esprit critique sur ses méthodes d'analyse et leur interprétation
- Nécessité de faire évoluer ses outils et d'être soigneux
- Remettre l'ouvrage sur la table autant que nécessaire

Bilan de l'étude de la 3^e émission

- Les observations dictent la science et non l'inverse
- Il faut garder un esprit critique sur ses méthodes d'analyse et leur interprétation
- Nécessité de faire évoluer ses outils et d'être soigneux
- Remettre l'ouvrage sur la table autant que nécessaire
- Travail en étroite collaboration avec deux professionnels passionnés : D. Gillet et Ph. Mathias

Bilan de l'étude de la 3^e émission

- Les observations dictent la science et non l'inverse
- Il faut garder un esprit critique sur ses méthodes d'analyse et leur interprétation
- Nécessité de faire évoluer ses outils et d'être soigneux
- Remettre l'ouvrage sur la table autant que nécessaire
- Travail en étroite collaboration avec deux professionnels passionnés : D. Gillet et Ph. Mathias
- On apprend beaucoup et dans la bonne humeur

La saga des
pulsations de
RR Lyr : six ans
déjà !

B. MAUCLAIRE

Le film de
l'atmosphère est
dévoilé

Quelques résultats

La suite...

Partie D :

Étude de la dynamique atmosphérique

Un nouvel axe de recherche est lancé...

La saga des
pulsations de
RR Lyr : six ans
déjà !

B. MAUCLAIRE

Le film de
l'atmosphère est
dévoilé

Quelques résultats

La suite...

1. Le film de l'atmosphère est dévoilé

Le film de l'atmosphère est dévoilé

- Période de pulsation de RR Lyr : 13,6 h

Le film de
l'atmosphère est
dévoilé

Quelques résultats

La suite...

Le film de l'atmosphère est dévoilé

- Période de pulsation de RR Lyr : 13,6 h
⇒ Problème : impossible de couvrir rapidement un cycle en observant quelques h/nuit

Le film de l'atmosphère est dévoilé

- Période de pulsation de RR Lyr : 13,6 h
⇒ Problème : impossible de couvrir rapidement un cycle en observant quelques h/nuit
- Cela nécessite d'automatiser un observatoire :
le **T35cm (!)** de Thierry Lemoult

Le film de l'atmosphère est dévoilé

- Période de pulsation de RR Lyr : 13,6 h
⇒ Problème : impossible de couvrir rapidement un cycle en observant quelques h/nuit
- Cela nécessite d'automatiser un observatoire :
le **T35cm (!)** de Thierry Lemoult
- Large plage de longueurs d'ondes (4300 – 7100 Å)
couvertes par son spectrographe échelle

Le film de l'atmosphère est dévoilé

- Période de pulsation de RR Lyr : 13,6 h
⇒ Problème : impossible de couvrir rapidement un cycle en observant quelques h/nuit
- Cela nécessite d'automatiser un observatoire :
le **T35cm (!)** de Thierry Lemoult
- Large plage de longueurs d'ondes (4300 – 7100 Å)
couvertes par son spectrographe échelle
- Avril 2017 : **47 h d'observations en 11 jours !**

Le film de l'atmosphère est dévoilé

- Période de pulsation de RR Lyr : 13,6 h
⇒ Problème : impossible de couvrir rapidement un cycle en observant quelques h/nuit
- Cela nécessite d'automatiser un observatoire :
le **T35cm (!)** de Thierry Lemoult
- Large plage de longueurs d'ondes (4300 – 7100 Å)
couvertes par son spectrographe échelle
- Avril 2017 : **47 h d'observations en 11 jours !**
- Résolution temporelle importante : 15 min

Le film de l'atmosphère est dévoilé

- Période de pulsation de RR Lyr : 13,6 h
⇒ Problème : impossible de couvrir rapidement un cycle en observant quelques h/nuit
- Cela nécessite d'automatiser un observatoire :
le **T35cm (!)** de Thierry Lemoult
- Large plage de longueurs d'ondes (4300 – 7100 Å)
couvertes par son spectrographe échelle
- Avril 2017 : **47 h d'observations en 11 jours !**
- Résolution temporelle importante : 15 min
- On possède alors **le film des soubresauts de RR Lyr !**

La saga des pulsations de RR Lyr : six ans déjà !

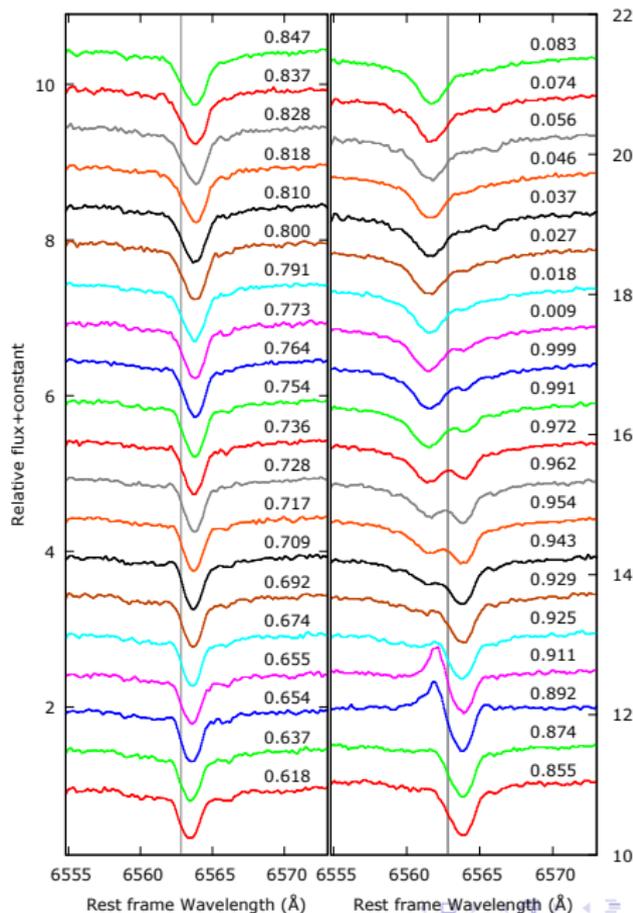
B. MAUCLAIRE

Le film de l'atmosphère est dévoilé

Quelques résultats

La suite...

Film de H α durant avril 2017



La saga des pulsations de RR Lyr : six ans déjà !

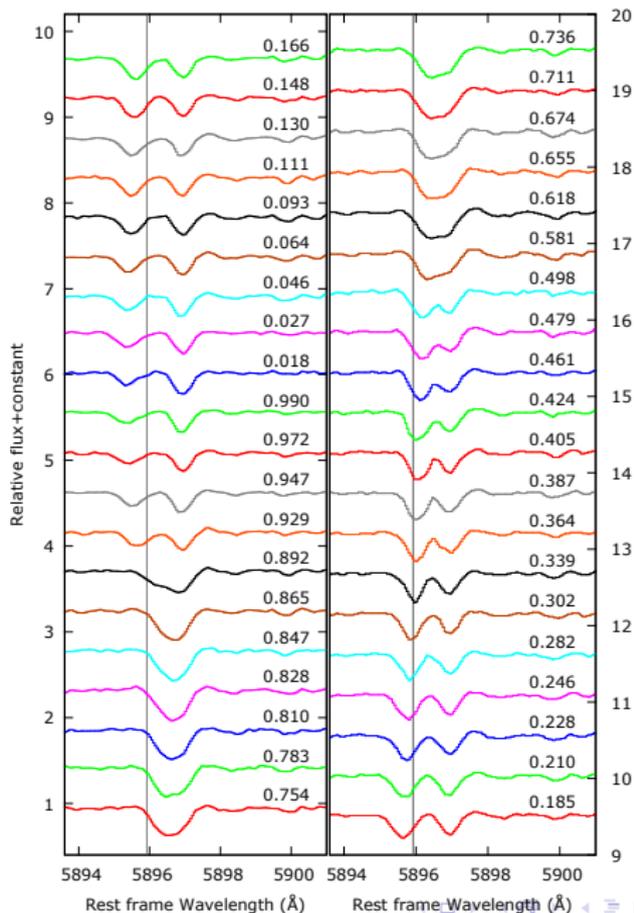
B. MAUCLAIRE

Le film de l'atmosphère est dévoilé

Quelques résultats

La suite...

Film de Na durant avril 2017



La saga des
pulsations de
RR Lyr : six ans
déjà !

B. MAUCLAIRE

Le film de
l'atmosphère est
dévoilé

Quelques résultats

La suite...

2. Quelques résultats

La saga des pulsations de RR Lyr : six ans déjà !

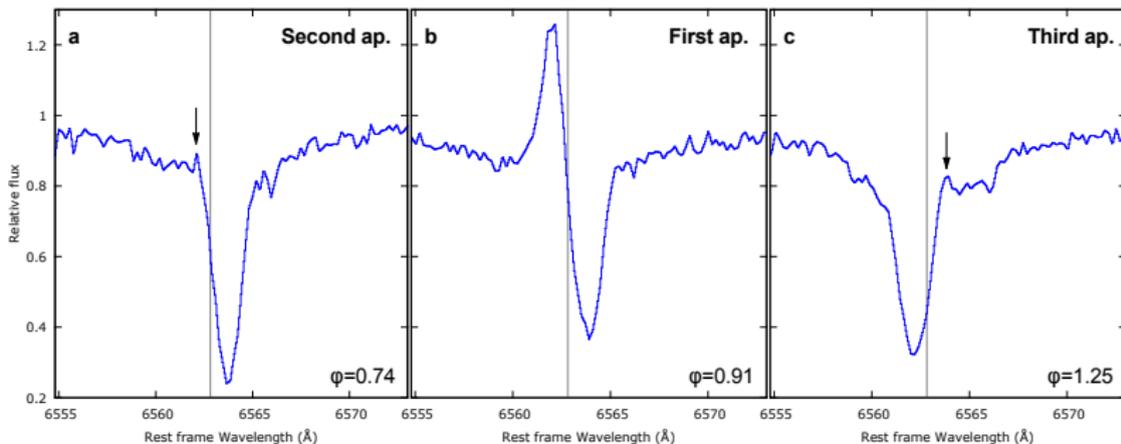
B. MAUCLAIRE

Le film de l'atmosphère est dévoilé

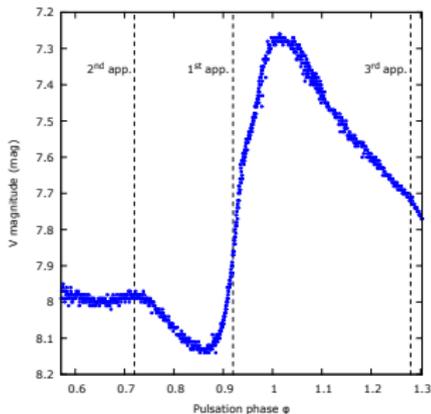
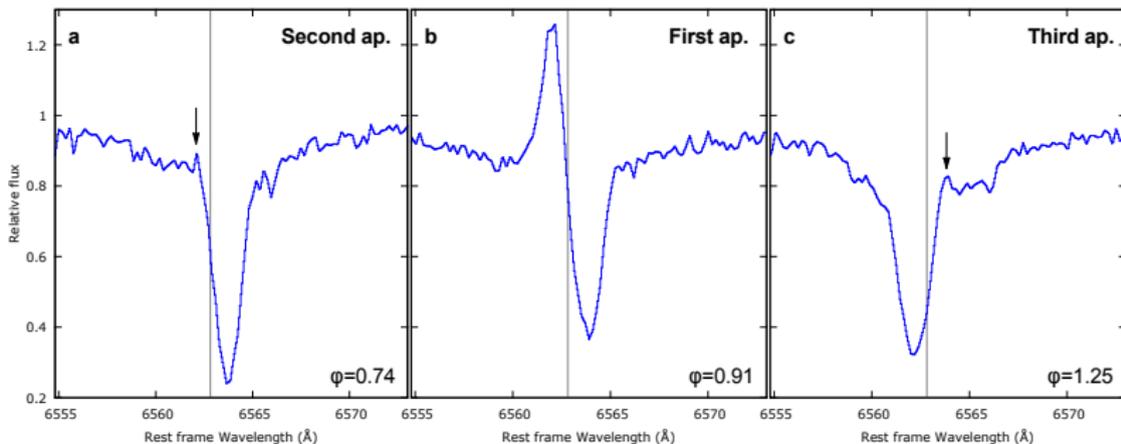
Quelques résultats

La suite...

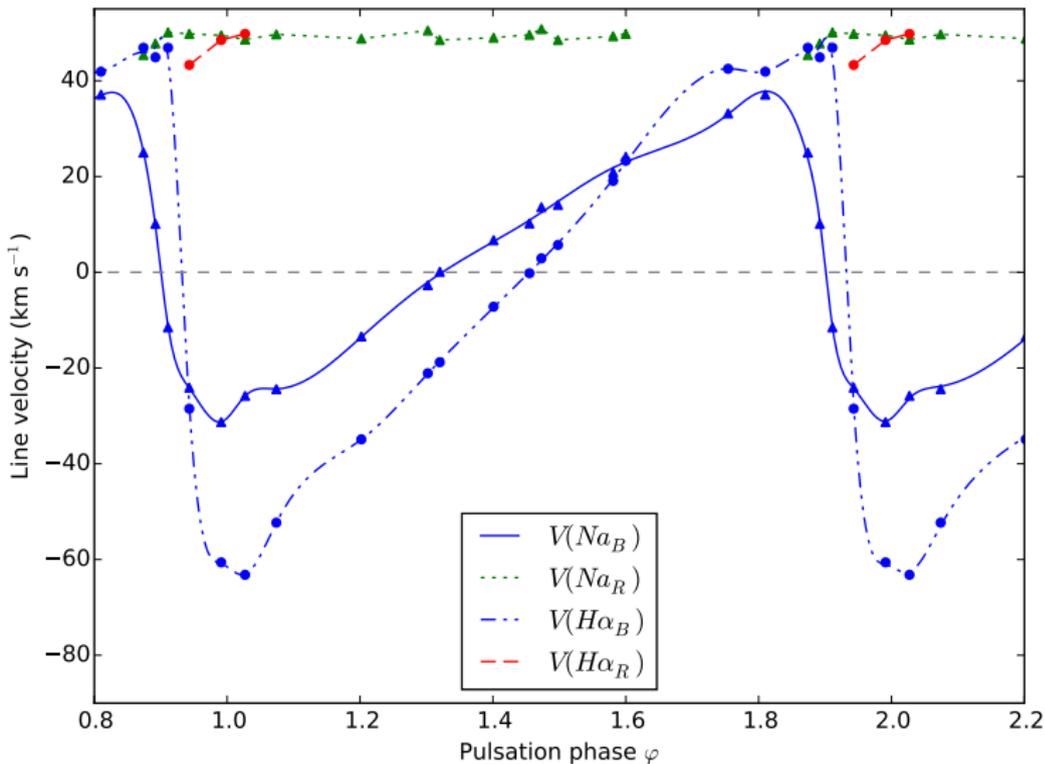
On y retrouve les 3 émissions de $H\alpha$



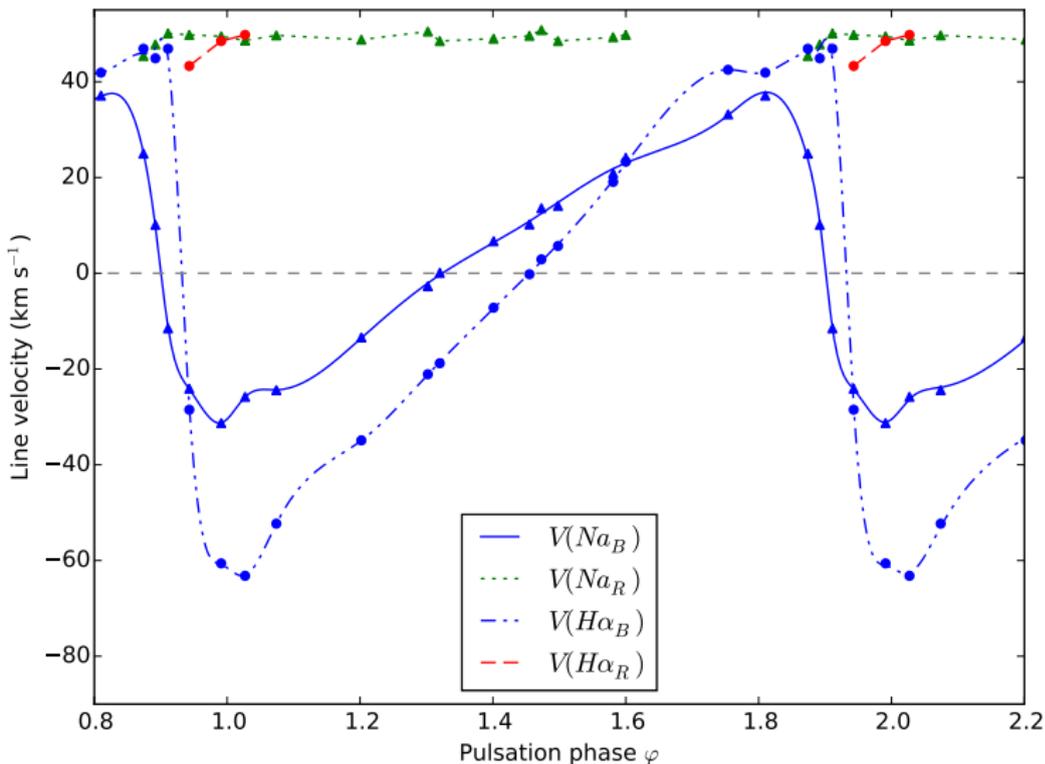
On y retrouve les 3 émissions de $H\alpha$



V_{radiale} de $H\alpha$ et Na (stellar rest frame)

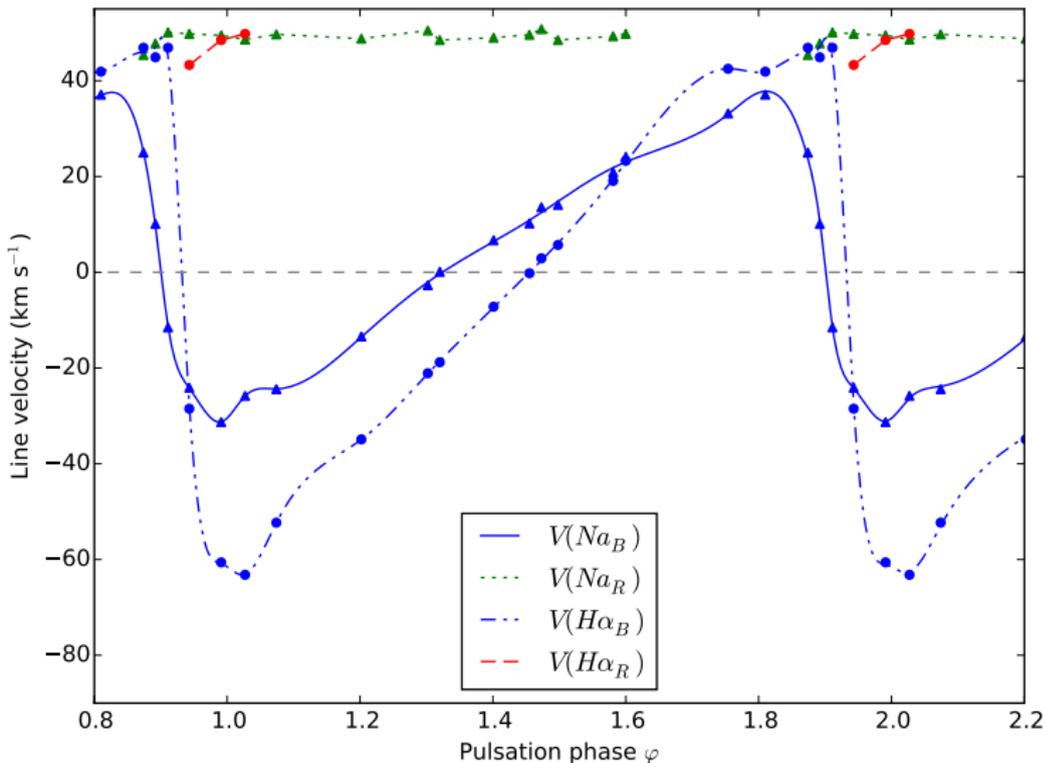


V_{radiale} de $H\alpha$ et Na (stellar rest frame)



- La vitesse traduit le mouvement des couches où se forment les raies :

V_{radiale} de $H\alpha$ et Na (stellar rest frame)



- La vitesse traduit le mouvement des couches où se forment les raies : $H\alpha$ en retard sur Na

La saga des pulsations de RR Lyr : six ans déjà !

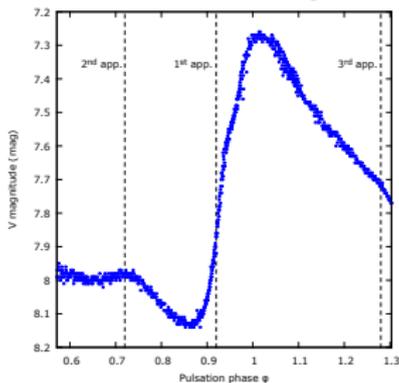
B. MAUCLAIRE

Le film de l'atmosphère est dévoilé

Quelques résultats

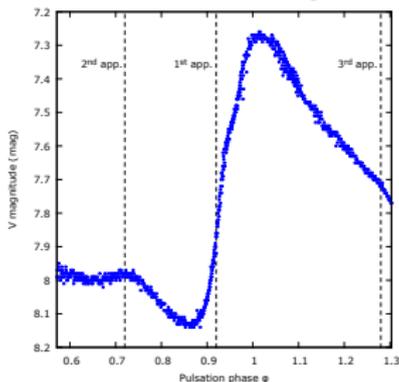
La suite...

Étapes notables dans le cycle :



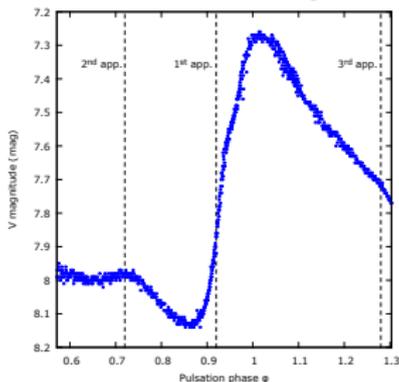
Step	ϕ interval	Phenomenon
------	-----------------	------------

Étapes notables dans le cycle :



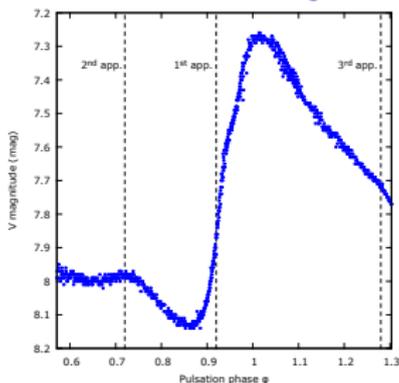
Step	φ interval	Phenomenon
1	0.874 – 0.892	Emergence of the main shock

Étapes notables dans le cycle :



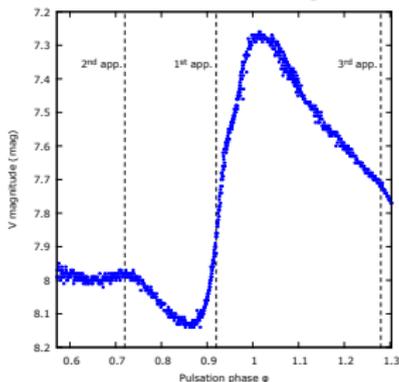
Step	φ interval	Phenomenon
1	0.874 – 0.892	Emergence of the main shock
2	0.892 – 0.929	Radiative shock wave phase

Étapes notables dans le cycle :



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

Étapes notables dans le cycle :



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

La saga des pulsations de RR Lyr : six ans déjà !

B. MAUCLAIRE

Le film de l'atmosphère est dévoilé

Quelques résultats

La suite...

La saga des
pulsations de
RR Lyr : six ans
déjà !

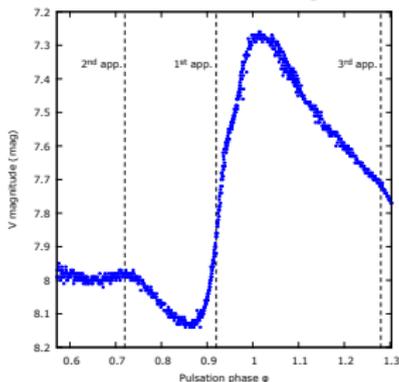
B. MAUCLAIRE

Le film de
l'atmosphère est
dévoilé

Quelques résultats

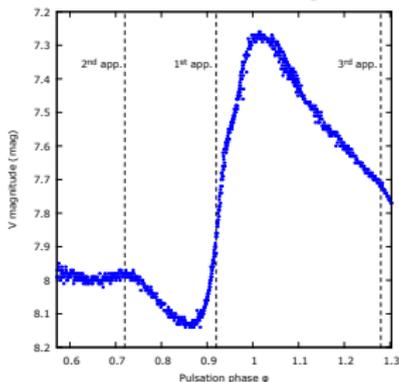
La suite...

Étapes notables dans le cycle :



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

Étapes notables dans le cycle :



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

Étapes notables dans le cycle :

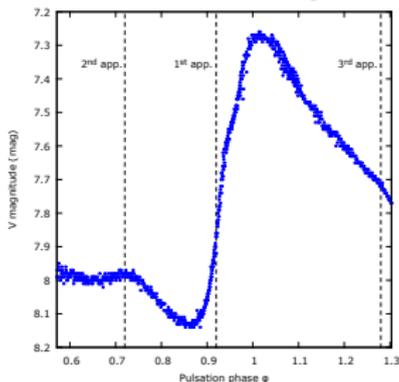
La saga des pulsations de RR Lyr : six ans déjà !

B. MAUCLAIRE

Le film de l'atmosphère est dévoilé

Quelques résultats

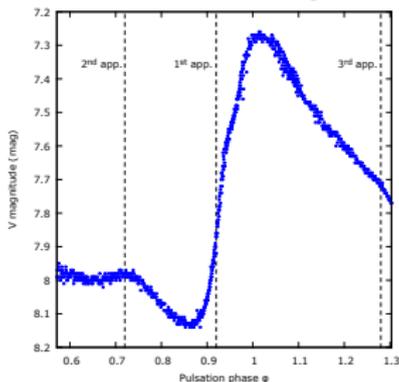
La suite...



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

- Step 1 : c'est le moment du κ -mécanisme !

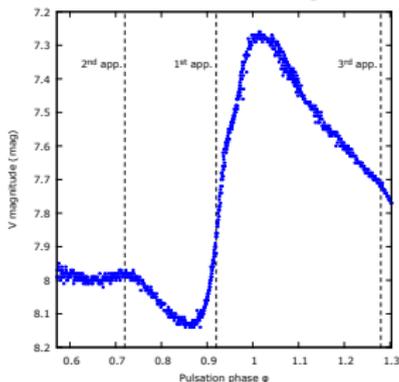
Étapes notables dans le cycle :



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

- Step 1 : c'est le moment du κ -mécanisme !
- Step 2 : $\phi \sim 0.91$ - l'intense 1^{re} émission de H α

Étapes notables dans le cycle :



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

- Step 1 : c'est le moment du κ -mécanisme !
- Step 2 : $\varphi \sim 0.91$ - l'intense 1^{re} émission de H α
- Step 6 : $\varphi \sim 0.3$ - 3^e émission de H α

Déroulement d'un cycle :

Table 7. Shock wave, and Na and H α layer movements in stellar rest frame during a typical pulsation cycle of RR Lyr, as described in Sect. 4. The given phase values may vary to within a few hundredths because the temporal reproducibility of the cycles is variable.

φ interval	Na movements	H α movements	Shock wave
0.874 – 0.90	Up to about $\varphi = 0.90$, the Na layer is receding. When it is traversed by the shock, it reverses its motion and starts an ascending motion in the atmosphere.	Highest layer receding at an average velocity near $+46 \text{ km s}^{-1}$	$s1$ and $s2$ shock waves are initiated below photosphere, but are not observed individually. When above the photosphere, the main shock ($s1+s2$) is crossing the Na layer.
0.90 – 0.943	Ascending acceleration from 0 to -24 km s^{-1}	Highest layer receding at $+46 \text{ km s}^{-1}$ throughout this phase interval and deepest layer ascending (producing emission in shock wake)	Deceleration of the main shock from 133 to about 100 km s^{-1} . First apparition of H α emission ($0.892 \lesssim \varphi \lesssim 0.911$).
0.943 – 1.074	The Na layer reaches its maximum ascending velocity (-31.3 km s^{-1}) at $\varphi = 0.991$	Ascending deceleration from -58 to -63 km s^{-1} . Short line doubling ($0.953 < \varphi < 1.027$)	Deceleration of the main shock followed by disappearance (radiative dissipation). The main shock leaves the H α layer around $\varphi = 1.05$.
1.074 – 1.302	Ascending deceleration from -24 to 0 km s^{-1} . The Na layer reaches its maximum radius.	Ascending deceleration from -52 to -21 km s^{-1}	The main shock has left the H α formation layer.
1.302 – 1.320	Maximum expansion of Na layer	The highest part of the H α layer is still ascending.	The main shock has left the atmosphere. Apparition of the third H α emission ($0.20 \lesssim \varphi \lesssim 0.40$) induced by the compression of the high atmosphere.
1.320 – 1.455	Receding acceleration from 0 to $+10 \text{ km s}^{-1}$. Two-step infalling motion. Strong compression of deep photospheric layers at $\varphi \sim 0.36$	Ascending deceleration from -19 to 0 km s^{-1} . Maximum expansion of H α layer.	The main shock has left the atmosphere.
1.455 – 1.600	Receding acceleration from 0 to $+10$ to $+24 \text{ km s}^{-1}$.	Receding acceleration from 0 to $+23 \text{ km s}^{-1}$	The main shock has left the atmosphere.
1.600 – 1.874	Receding acceleration from $+24$ to $+37 \text{ km s}^{-1}$ near $\varphi \sim 0.82$. Then slight slowdown until $+32 \text{ km s}^{-1}$ at $\varphi = 0.874$ just before the arrival of a new main shock.	Receding acceleration from $+23$ to $+42 \text{ km s}^{-1}$.	A new shock emerges from the photosphere near $\varphi = 0.874$. Apparition of second H α emission ($\varphi \sim 0.7$) due to atmospheric compression.

Le film de l'atmosphère est dévoilé

Quelques résultats

La suite...

A&A 623, A109 (2019)
<https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833869>
© D. Gillet et al. 2019

Dynamical structure of the pulsating atmosphere of RR Lyrae

I. A typical pulsation cycle

D. Gillet¹, B. Mauclaire², T. Lemoult³, Ph. Mathias⁴, J.-S. Devaux⁵, Th. de France⁶,
T. Garrel⁷, and the GRRR Collaboration^{8,***}

¹ Observatoire de Haute-Provence – CNRS/PYTHEAS/Université d'Aix-Marseille, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France
e-mail: denis.gillet@osupytheas.fr

² Observatoire du Val de l'Arc, route de Peynier, 13530 Trets, France

³ Observatoire de Chelles, 23 avenue Hénin, 77500 Chelles, France

⁴ IRAP, Université de Toulouse, CNRS, UPS, CNES, 57 avenue d'Azereix, 65000 Tarbes, France

⁵ Observatoire OAV, 13 rue du Moulin, 34290 Alignan-du-Vent, France

⁶ Observatoire des Tourterelles, 5 impasse Tourterelles, 34140 Méze, France

⁷ Observatoire de Fontcaude, 19 avenue du hameau du Golf, 34990 Juvignac, France

⁸ Observatoire de Haute-Provence, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France

Received 16 July 2018 / Accepted 16 January 2019

<http://adsabs.harvard.edu/abs/2019A%26A...623A.109G>

A&A 623, A109 (2019)
<https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833869>
© D. Gillet et al. 2019

Dynamical structure of the pulsating atmosphere of RR Lyrae

I. A typical pulsation cycle

D. Gillet¹, B. Mauclaire², T. Lemoult³, Ph. Mathias⁴, J.-S. Devaux⁵, Th. de France⁶,
T. Garrel⁷, and the GRRR Collaboration^{8,*}**

¹ Observatoire de Haute-Provence – CNRS/PYTHEAS/Université d'Aix-Marseille, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France
e-mail: denis.gillet@osupytheas.fr

² Observatoire du Val de l'Arc, route de Peynier, 13530 Trets, France

³ Observatoire de Chelles, 23 avenue Hénin, 77500 Chelles, France

⁴ IRAP, Université de Toulouse, CNRS, UPS, CNES, 57 avenue d'Azereix, 65000 Tarbes, France

⁵ Observatoire OAV, 13 rue du Moulin, 34290 Alignan-du-Vent, France

⁶ Observatoire des Tourterelles, 5 impasse Tourterelles, 34140 Méze, France

⁷ Observatoire de Fontcaude, 19 avenue du hameau du Golf, 34990 Juvignac, France

⁸ Observatoire de Haute-Provence, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France

Received 16 July 2018 / Accepted 16 January 2019

<http://adsabs.harvard.edu/abs/2019A%26A...623A.109G>

- **Un cycle de pulsation de RR Lyr étudié en détail : une première !**

A&A 623, A109 (2019)
<https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833869>
© D. Gillet et al. 2019

Dynamical structure of the pulsating atmosphere of RR Lyrae

I. A typical pulsation cycle

D. Gillet¹, B. Mauclaire², T. Lemoult³, Ph. Mathias⁴, J.-S. Devaux⁵, Th. de France⁶,
T. Garrel⁷, and the GRRR Collaboration^{8,*}**

¹ Observatoire de Haute-Provence – CNRS/PYTHEAS/Université d'Aix-Marseille, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France
e-mail: denis.gillet@osupytheas.fr

² Observatoire du Val de l'Arc, route de Peynier, 13530 Trets, France

³ Observatoire de Chelles, 23 avenue Hénin, 77500 Chelles, France

⁴ IRAP, Université de Toulouse, CNRS, UPS, CNES, 57 avenue d'Azereix, 65000 Tarbes, France

⁵ Observatoire OAV, 13 rue du Moulin, 34290 Alignan-du-Vent, France

⁶ Observatoire des Tourterelles, 5 impasse Tourterelles, 34140 Méze, France

⁷ Observatoire de Fontcaude, 19 avenue du hameau du Golf, 34990 Juvignac, France

⁸ Observatoire de Haute-Provence, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France

Received 16 July 2018 / Accepted 16 January 2019

<http://adsabs.harvard.edu/abs/2019A%26A...623A.109G>

- **Un cycle de pulsation de RR Lyr étudié en détail : une première !**
- Le volet II de cet article est déjà en préparation...

La saga des
pulsations de
RR Lyr : six ans
déjà !

B. MAUCLAIRE

Le film de
l'atmosphère est
dévoilé

Quelques résultats

La suite...

3. La suite...

3^e article : en explorant, il y a du nouveau !

Dynamical structure of the pulsating atmosphere of RR Lyrae

II. A variable pulsation cycle

D. Gillet¹, B. Maucilaire², Ph. Mathias³, T. Lemoult⁴, and the GRRR Collaboration^{5*}

¹ Observatoire de Haute-Provence – CNRS/PYTHEAS/Université d'Aix-Marseille, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France
e-mail: denis.gillet@osupytheas.fr

² Observatoire du Val de l'Arc, route de Peynier, 13530 Trets, France
e-mail: bma.ova@gmail.com

³ CNRS, UMR5277, Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie, 57 avenue d'Azereix, 65000 Tarbes, France

⁴ Observatoire de Chelles, 23 avenue Hénin, 77500 Chelles, France

⁵ Observatoire de Haute-Provence, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France **

Received July, 2019; accepted xxxx

ABSTRACT

Context. RRab stars are pulsating stars of large amplitude in which the pulsation wave is a progressive wave. Strong shocks are produced at each pulsation cycle and intense variations in spectral line profiles occur.

Aims. The objective of this study is to specify the magnitude of variations of the intensity of the main shock and to determine their effects on the dynamical structure of the atmosphere.

Methods. Hereafter, we analyse high resolution observations collected during 20 years, between 1997 and 2017, of the brightest RR Lyrae star of the sky: RR Lyr (HD 182989). A detailed analysis of line profile variations is done over many pulsation cycles to determine the range of shock velocities occurring in the atmosphere.

3^e article : en explorant, il y a du nouveau !

Dynamical structure of the pulsating atmosphere of RR Lyrae

II. A variable pulsation cycle

D. Gillet¹, B. Maucilaire², Ph. Mathias³, T. Lemoult⁴, and the GRRR Collaboration^{5*}

¹ Observatoire de Haute-Provence – CNRS/PYTHEAS/Université d'Aix-Marseille, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France
e-mail: denis.gillet@osupytheas.fr

² Observatoire du Val de l'Arc, route de Peynier, 13530 Trets, France
e-mail: bma.ova@gmail.com

³ CNRS, UMR5277, Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie, 57 avenue d'Azereix, 65000 Tarbes, France

⁴ Observatoire de Chelles, 23 avenue Hénin, 77500 Chelles, France

⁵ Observatoire de Haute-Provence, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France **

Received July, 2019; accepted xxxx

ABSTRACT

Context. RRab stars are pulsating stars of large amplitude in which the pulsation wave is a progressive wave. Strong shocks are produced at each pulsation cycle and intense variations in spectral line profiles occur.

Aims. The objective of this study is to specify the magnitude of variations of the intensity of the main shock and to determine their effects on the dynamical structure of the atmosphere.

Methods. Hereafter, we analyse high resolution observations collected during 20 years, between 1997 and 2017, of the brightest RR Lyrae star of the sky: RR Lyr (HD 182989). A detailed analysis of line profile variations is done over many pulsation cycles to determine the range of shock velocities occurring in the atmosphere.

- Est-ce que tous les cycles de pulsation sont identiques ?

3^e article : en explorant, il y a du nouveau !

Dynamical structure of the pulsating atmosphere of RR Lyrae

II. A variable pulsation cycle

D. Gillet¹, B. Maucilaire², Ph. Mathias³, T. Lemoult⁴, and the GRRR Collaboration^{5*}

¹ Observatoire de Haute-Provence – CNRS/PYTHEAS/Université d'Aix-Marseille, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France
e-mail: denis.gillet@osupytheas.fr

² Observatoire du Val de l'Arc, route de Peynier, 13530 Trets, France
e-mail: bma.ova@gmail.com

³ CNRS, UMR5277, Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie, 57 avenue d'Azereix, 65000 Tarbes, France

⁴ Observatoire de Chelles, 23 avenue Hénin, 77500 Chelles, France

⁵ Observatoire de Haute-Provence, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France **

Received July, 2019; accepted xxxx

ABSTRACT

Context. RRab stars are pulsating stars of large amplitude in which the pulsation wave is a progressive wave. Strong shocks are produced at each pulsation cycle and intense variations in spectral line profiles occur.

Aims. The objective of this study is to specify the magnitude of variations of the intensity of the main shock and to determine their effects on the dynamical structure of the atmosphere.

Methods. Hereafter, we analyse high resolution observations collected during 20 years, between 1997 and 2017, of the brightest RR Lyrae star of the sky: RR Lyr (HD 182989). A detailed analysis of line profile variations is done over many pulsation cycles to determine the range of shock velocities occurring in the atmosphere.

- Est-ce que tous les cycles de pulsation sont identiques ?
- Quelles sont les origines de ces variations ?

3^e article : en explorant, il y a du nouveau !

Dynamical structure of the pulsating atmosphere of RR Lyrae

II. A variable pulsation cycle

D. Gillet¹, B. Maucilaire², Ph. Mathias³, T. Lemoult⁴, and the GRRR Collaboration^{5*}

¹ Observatoire de Haute-Provence – CNRS/PYTHEAS/Université d'Aix-Marseille, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France
e-mail: denis.gillet@osupytheas.fr

² Observatoire du Val de l'Arc, route de Peynier, 13530 Trets, France
e-mail: bma.ova@gmail.com

³ CNRS, UMR5277, Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie, 57 avenue d'Azereix, 65000 Tarbes, France

⁴ Observatoire de Chelles, 23 avenue Hénin, 77500 Chelles, France

⁵ Observatoire de Haute-Provence, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France **

Received July, 2019; accepted xxxx

ABSTRACT

Context. RRab stars are pulsating stars of large amplitude in which the pulsation wave is a progressive wave. Strong shocks are produced at each pulsation cycle and intense variations in spectral line profiles occur.

Aims. The objective of this study is to specify the magnitude of variations of the intensity of the main shock and to determine their effects on the dynamical structure of the atmosphere.

Methods. Hereafter, we analyse high resolution observations collected during 20 years, between 1997 and 2017, of the brightest RR Lyrae star of the sky: RR Lyr (HD 182989). A detailed analysis of line profile variations is done over many pulsation cycles to determine the range of shock velocities occurring in the atmosphere.

- Est-ce que tous les cycles de pulsation sont identiques ?
- Quelles sont les origines de ces variations ?
- Et peut-être percer l'origine de l'effet Blazhko !

Un nouveau site pour le GRRR

La saga des pulsations de RR Lyr : six ans déjà !

B. MAUCLAIRE

Le film de l'atmosphère est dévoilé

Quelques résultats

La suite...

The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying "pulsatingstars.free.fr". The page features a blue and white header with the text "ÉTOILE PULSANTE" and "LETTRE D'INFORMATION DU GRRR". Below the header, the main heading reads "Pulsating Stars Homepage". A horizontal line separates the heading from a table of contents. The table of contents lists six items, each with a corresponding page number.

1. Édito	1
2. Les apports de la photométrie sur RR Lyr	1
3. Quand observer RR Lyr ?	3
4. Conseils d'observation en photométrie	3
5. Les dernières nouvelles de RR Lyr	4
6. Comment réaliser une time série spectrale sur RR Lyr ?	6

La saga des
pulsations de
RR Lyr : six ans
déjà !

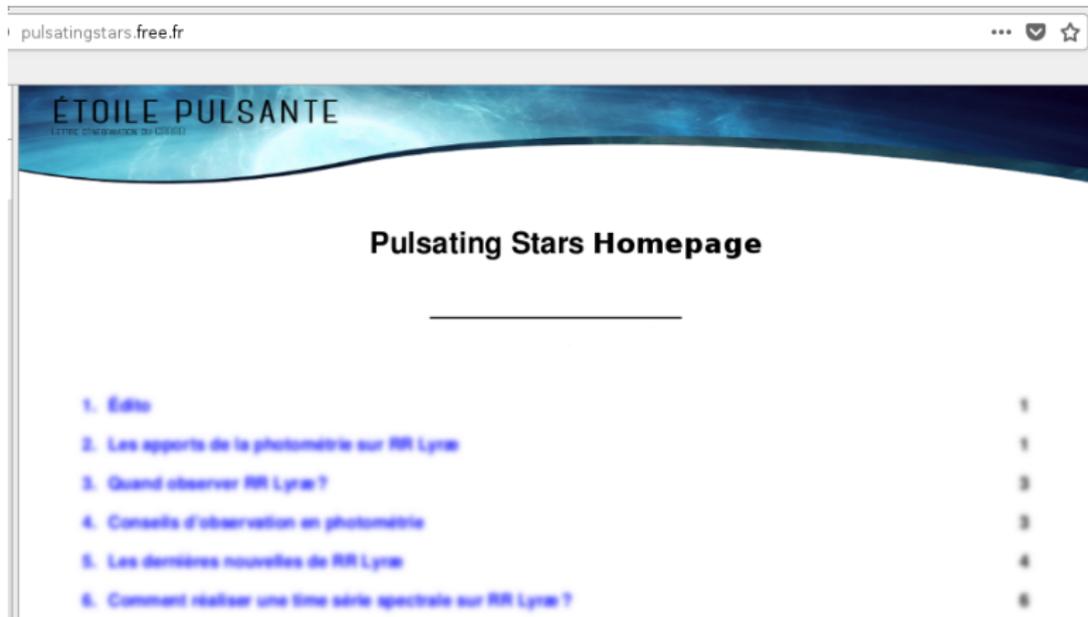
B. MAUCLAIRE

Le film de
l'atmosphère est
dévoilé

Quelques résultats

La suite...

Un nouveau site pour le GRRR



The screenshot shows a web browser window with the address bar containing 'pulsatingstars.free.fr'. The page features a blue and white header with the text 'ÉTOILE PULSANTE' and 'LETTRE D'INFORMATION DU GRRR'. Below the header, the main content area is titled 'Pulsating Stars Homepage' and contains a table of contents with six items, each with a corresponding page number.

1. Édito	1
2. Les apports de la photométrie sur RR Lyræ	1
3. Quand observer RR Lyræ ?	3
4. Conseils d'observation en photométrie	3
5. Les dernières nouvelles de RR Lyræ	4
6. Comment réaliser une time série spectrale sur RR Lyræ ?	6

- <http://pulsatingstars.free.fr>

La saga des pulsations de RR Lyr : six ans déjà !

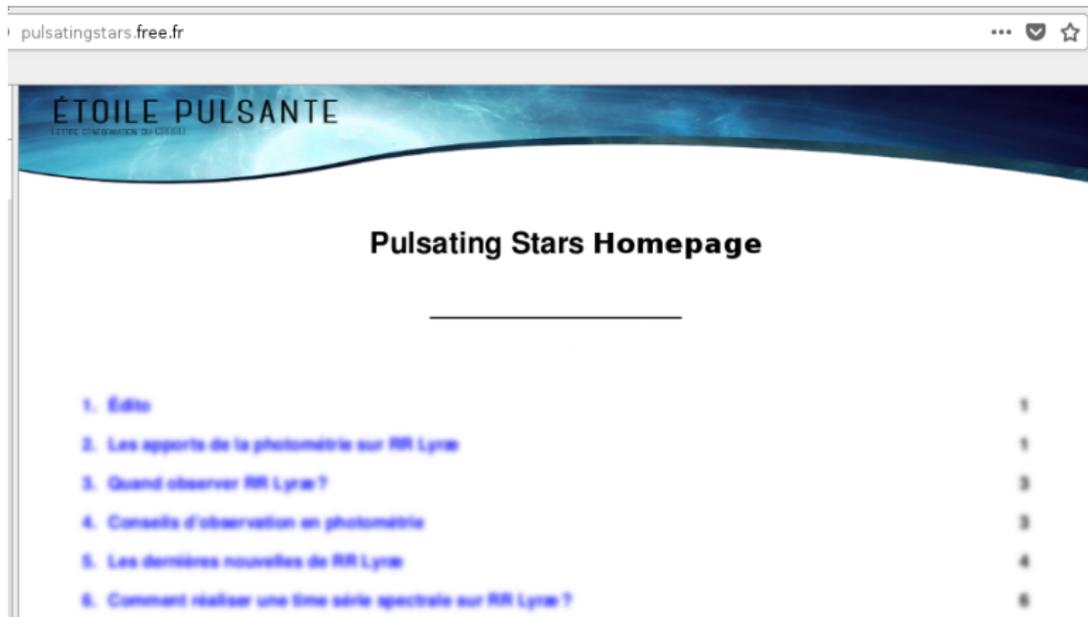
B. MAUCLAIRE

Le film de l'atmosphère est dévoilé

Quelques résultats

La suite...

Un nouveau site pour le GRRR



The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying 'pulsatingstars.free.fr'. The page features a blue header with the text 'ÉTOILE PULSANTE' and 'LETTRE D'INFORMATION DU GRRR'. Below the header, the main content area is titled 'Pulsating Stars Homepage' and contains a table of contents with six items, each with a corresponding page number.

1. Édito	1
2. Les apports de la photométrie sur RR Lyr	1
3. Quand observer RR Lyr ?	3
4. Conseils d'observation en photométrie	3
5. Les dernières nouvelles de RR Lyr	4
6. Comment réaliser une time série spectrale sur RR Lyr ?	6

- <http://pulsatingstars.free.fr>
- Quartier général du GRRR

La saga des
pulsations de
RR Lyr : six ans
déjà !

B. MAUCLAIRE

Le film de
l'atmosphère est
dévoilé

Quelques résultats

La suite...

Un nouveau site pour le GRRR

The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying 'pulsatingstars.free.fr'. The page features a blue and white header with the text 'ÉTOILE PULSANTE' and 'LETTRE D'INFORMATION DU GRRR'. Below the header, the main content area is titled 'Pulsating Stars Homepage' and contains a list of six items:

1. Édito
2. Les apports de la photométrie sur RR Lyr
3. Quand observer RR Lyr ?
4. Conseils d'observation en photométrie
5. Les dernières nouvelles de RR Lyr
6. Comment réaliser une time série spectrale sur RR Lyr ?

- <http://pulsatingstars.free.fr>
- Quartier général du GRRR
- Échanges et diffusion des informations et des savoirs

Conclusion

- Tout n'est pas résolu pour RR Lyr : l'aventure continue pour le GRRR

Conclusion

- Tout n'est pas résolu pour RR Lyr : l'aventure continue pour le GRRR
- *E pluribus unum* : un seul à partir de plusieurs

Conclusion

- Tout n'est pas résolu pour RR Lyr : l'aventure continue pour le GRRR
- *E pluribus unum* : un seul à partir de plusieurs
- Les axes à étudier sont :

Conclusion

- Tout n'est pas résolu pour RR Lyr : l'aventure continue pour le GRRR
- *E pluribus unum* : un seul à partir de plusieurs
- Les axes à étudier sont :
 - ▶ Repérer les périodes de cycles intenses

Conclusion

- Tout n'est pas résolu pour RR Lyr : l'aventure continue pour le GRRR
- *E pluribus unum* : un seul à partir de plusieurs
- Les axes à étudier sont :
 - ▶ Repérer les périodes de cycles intenses
 - ▶ Correlations entre intensité des chocs, physique des chocs et place de RR Lyr dans le HR

Conclusion

- Tout n'est pas résolu pour RR Lyr : l'aventure continue pour le GRRR
- *E pluribus unum* : un seul à partir de plusieurs
- Les axes à étudier sont :
 - ▶ Repérer les périodes de cycles intenses
 - ▶ Correlations entre intensité des chocs, physique des chocs et place de RR Lyr dans le HR
 - ▶ Évolution des modèles théoriques et numériques

Conclusion

- Tout n'est pas résolu pour RR Lyr : l'aventure continue pour le GRRR
- *E pluribus unum* : un seul à partir de plusieurs
- Les axes à étudier sont :
 - ▶ Repérer les périodes de cycles intenses
 - ▶ Correlations entre intensité des chocs, physique des chocs et place de RR Lyr dans le HR
 - ▶ Évolution des modèles théoriques et numériques
 - ▶ Percer le mystère de l'effet Blazhko

Conclusion

- Tout n'est pas résolu pour RR Lyr : l'aventure continue pour le GRRR
- *E pluribus unum* : un seul à partir de plusieurs
- Les axes à étudier sont :
 - ▶ Repérer les périodes de cycles intenses
 - ▶ Correlations entre intensité des chocs, physique des chocs et place de RR Lyr dans le HR
 - ▶ Évolution des modèles théoriques et numériques
 - ▶ Percer le mystère de l'effet Blazhko
- L'études d'autres étoiles pulsantes de choix permettront d'étendre ou non les mécanismes de RR Lyr : BW Vulpeculae, σ Scorpii et X Cygni

Conclusion

- Tout n'est pas résolu pour RR Lyr : l'aventure continue pour le GRRR
- *E pluribus unum* : un seul à partir de plusieurs
- Les axes à étudier sont :
 - ▶ Repérer les périodes de cycles intenses
 - ▶ Correlations entre intensité des chocs, physique des chocs et place de RR Lyr dans le HR
 - ▶ Évolution des modèles théoriques et numériques
 - ▶ Percer le mystère de l'effet Blazhko
- L'études d'autres étoiles pulsantes de choix permettront d'étendre ou non les mécanismes de RR Lyr : BW Vulpeculae, σ Scorpii et X Cygni
- **L'Univers reste à être exploré, vive les pulsations !**

Partie F :

Compléments

Méthodes d'exploitation des spectres

- Développement de scripts (Audela) pour gérer les
+3000 spectres :

Méthodes d'exploitation des spectres

- Développement de scripts (Audela) pour gérer les +3000 spectres :
Calcul d'éphémérides (φ , ψ), de sélection de zone en longueur d'onde, de sélection à des phases de pulsation φ , de tracé de multiplotphasés, etc.

Méthodes d'exploitation des spectres

- Développement de scripts (Audela) pour gérer les +3000 spectres :
Calcul d'éphémérides (φ , ψ), de sélection de zone en longueur d'onde, de sélection à des phases de pulsation φ , de tracé de multiplotphasés, etc.
- Préparation des spectres :

Méthodes d'exploitation des spectres

- Développement de scripts (Audela) pour gérer les +3000 spectres :
Calcul d'éphémérides (φ , ψ), de sélection de zone en longueur d'onde, de sélection à des phases de pulsation φ , de tracé de multiplotphasés, etc.
- Préparation des spectres :
 - ▶ Correction héliocentrique systématique

Méthodes d'exploitation des spectres

- Développement de scripts (Audela) pour gérer les +3000 spectres :
Calcul d'éphémérides (φ , ψ), de sélection de zone en longueur d'onde, de sélection à des phases de pulsation φ , de tracé de multiplotphasés, etc.
- Préparation des spectres :
 - ▶ Correction héliocentrique systématique
 - ▶ Tracé dans le référentiel de l'étoile (Rest frame) permettant la mesure de vitesses liées à l'atmosphère

Méthodes d'exploitation des spectres

- Développement de scripts (Audela) pour gérer les +3000 spectres :
Calcul d'éphémérides (φ , ψ), de sélection de zone en longueur d'onde, de sélection à des phases de pulsation φ , de tracé de multiplotphasés, etc.
- Préparation des spectres :
 - ▶ Correction héliocentrique systématique
 - ▶ Tracé dans le référentiel de l'étoile (Rest frame) permettant la mesure de vitesses liées à l'atmosphère
- Mise en place de choix pour les tracés graphiques :

Méthodes d'exploitation des spectres

- Développement de scripts (Audela) pour gérer les +3000 spectres :
Calcul d'éphémérides (φ , ψ), de sélection de zone en longueur d'onde, de sélection à des phases de pulsation φ , de tracé de multiplotphasés, etc.
- Préparation des spectres :
 - ▶ Correction héliocentrique systématique
 - ▶ Tracé dans le référentiel de l'étoile (Rest frame) permettant la mesure de vitesses liées à l'atmosphère
- Mise en place de choix pour les tracés graphiques :
 - ▶ Tracés **sans lissage** pour discerner l'information du bruit

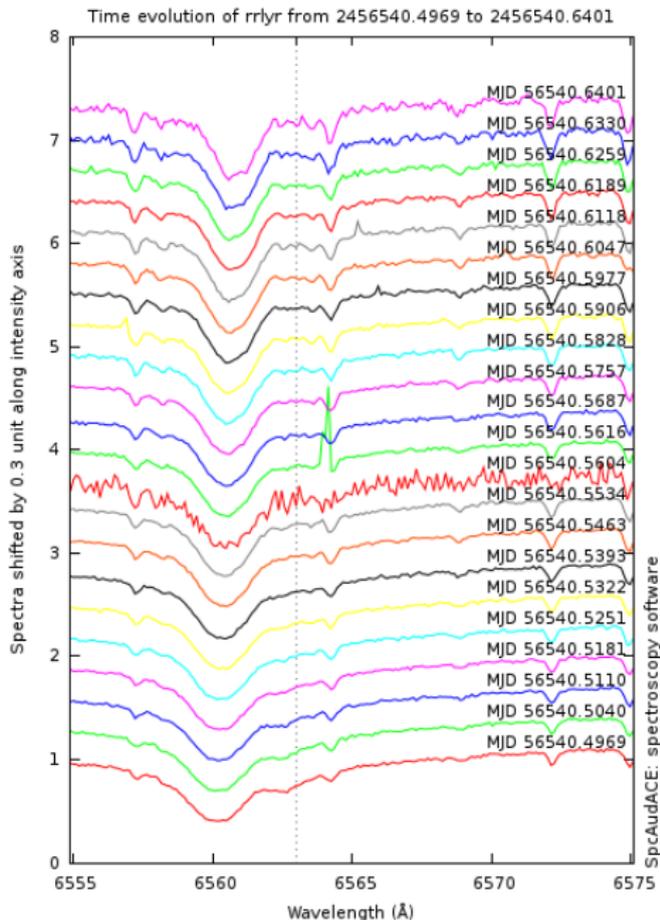
Méthodes d'exploitation des spectres

- Développement de scripts (Audela) pour gérer les +3000 spectres :
Calcul d'éphémérides (φ , ψ), de sélection de zone en longueur d'onde, de sélection à des phases de pulsation φ , de tracé de multiplotphasés, etc.
- Préparation des spectres :
 - ▶ Correction héliocentrique systématique
 - ▶ Tracé dans le référentiel de l'étoile (Rest frame) permettant la mesure de vitesses liées à l'atmosphère
- Mise en place de choix pour les tracés graphiques :
 - ▶ Tracés **sans lissage** pour discerner l'information du bruit
 - ▶ Affichage de la phase de pulsation

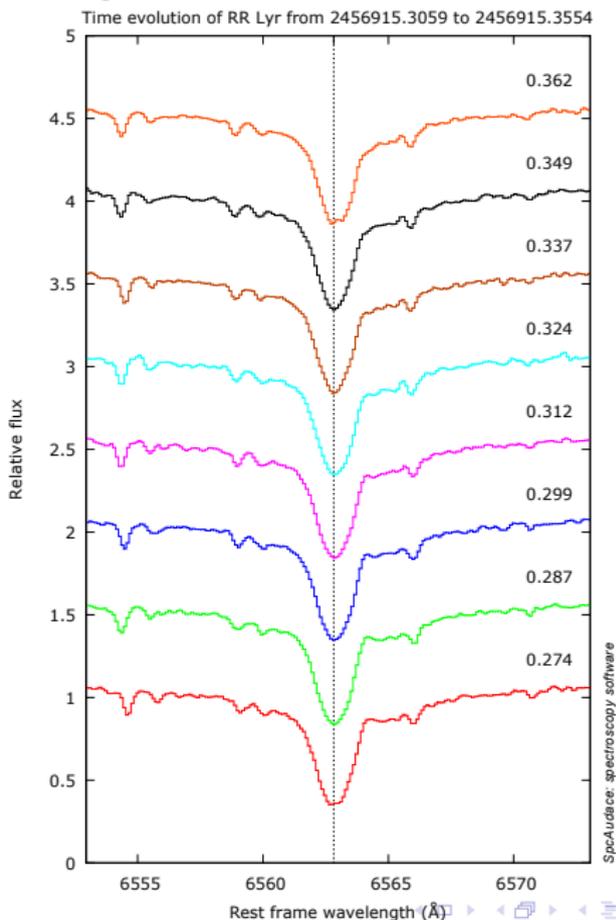
Méthodes d'exploitation des spectres

- Développement de scripts (Audela) pour gérer les +3000 spectres :
Calcul d'éphémérides (φ , ψ), de sélection de zone en longueur d'onde, de sélection à des phases de pulsation φ , de tracé de multiplotphasés, etc.
- Préparation des spectres :
 - ▶ Correction héliocentrique systématique
 - ▶ Tracé dans le référentiel de l'étoile (Rest frame) permettant la mesure de vitesses liées à l'atmosphère
- Mise en place de choix pour les tracés graphiques :
 - ▶ Tracés **sans lissage** pour discerner l'information du bruit
 - ▶ Affichage de la phase de pulsation
 - ▶ Sortie PDF supportant le zoom et prête à la publication

Exemple de graphique : avant



Exemple de graphique : après



Le κ -mécanisme

Il s'agit d'un phénomène lié à la variation de l'opacité des gaz dans une couche située ni trop haute (pour éviter les phénomènes de dilution) ni trop basse (pour ne pas amortir l'effet).

En résumé, lors de la compression, de l'énergie est stockée sous forme potentielle via l'ionisation d'un élément particulier (H, He ou, pour les β Céphéides en particulier, les éléments métalliques, et plus spécialement le fer), et cette énergie est relâchée lors de l'expansion avec juste ce qu'il faut pour entretenir le mouvement de pulsation.

Le κ -mécanisme

Il s'agit d'un phénomène lié à la variation de l'opacité des gaz dans une couche située ni trop haute (pour éviter les phénomènes de dilution) ni trop basse (pour ne pas amortir l'effet).

En résumé, lors de la compression, de l'énergie est stockée sous forme potentielle via l'ionisation d'un élément particulier (H, He ou, pour les β Céphéides en particulier, les éléments métalliques, et plus spécialement le fer), et cette énergie est relâchée lors de l'expansion avec juste ce qu'il faut pour entretenir le mouvement de pulsation.

1. Ionisation de H, He et He^+ par collision avec les électrons ambiants

Le κ -mécanisme

Il s'agit d'un phénomène lié à la variation de l'opacité des gaz dans une couche située ni trop haute (pour éviter les phénomènes de dilution) ni trop basse (pour ne pas amortir l'effet).

En résumé, lors de la compression, de l'énergie est stockée sous forme potentielle via l'ionisation d'un élément particulier (H, He ou, pour les β Céphéides en particulier, les éléments métalliques, et plus spécialement le fer), et cette énergie est relâchée lors de l'expansion avec juste ce qu'il faut pour entretenir le mouvement de pulsation.

1. Ionisation de H, He et He^+ par collision avec les électrons ambiants
2. Cette zone d'ionisation constituée alors d'ions H^+ , He^+ et He^{++} est comme le couvercle dans la casserole

Le κ -mécanisme

Il s'agit d'un phénomène lié à la variation de l'opacité des gaz dans une couche située ni trop haute (pour éviter les phénomènes de dilution) ni trop basse (pour ne pas amortir l'effet).

En résumé, lors de la compression, de l'énergie est stockée sous forme potentielle via l'ionisation d'un élément particulier (H, He ou, pour les β Céphéides en particulier, les éléments métalliques, et plus spécialement le fer), et cette énergie est relâchée lors de l'expansion avec juste ce qu'il faut pour entretenir le mouvement de pulsation.

1. Ionisation de H, He et He^+ par collision avec les électrons ambiants
2. Cette zone d'ionisation constituée alors d'ions H^+ , He^+ et He^{++} est comme le couvercle dans la casserole
3. Le mécanisme de recombinaison électronique à 3 corps produit des électrons rapides poussant vers les couches moins denses : les couches supérieures

Le κ -mécanisme

Il s'agit d'un phénomène lié à la variation de l'opacité des gaz dans une couche située ni trop haute (pour éviter les phénomènes de dilution) ni trop basse (pour ne pas amortir l'effet).

En résumé, lors de la compression, de l'énergie est stockée sous forme potentielle via l'ionisation d'un élément particulier (H, He ou, pour les β Céphéides en particulier, les éléments métalliques, et plus spécialement le fer), et cette énergie est relâchée lors de l'expansion avec juste ce qu'il faut pour entretenir le mouvement de pulsation.

1. Ionisation de H, He et He^+ par collision avec les électrons ambiants
2. Cette zone d'ionisation constituée alors d'ions H^+ , He^+ et He^{++} est comme le couvercle dans la casserole
3. Le mécanisme de recombinaison électronique à 3 corps produit des électrons rapides poussant vers les couches moins denses : les couches supérieures
4. Cette poussée d'électrons crée une onde de choc