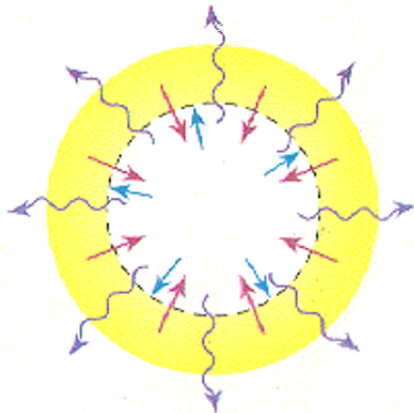


# La publication scientifique par les amateurs : une aventure de chercheurs

B. MAUCLAIRE



# Introduction

- Les mondes amateur et professionnel ne sont pas des vases clos

# Introduction

- Les mondes amateur et professionnel ne sont pas des vases clos
- Leur union a pu aboutir des travaux publiés

# Introduction

- Les mondes amateur et professionnel ne sont pas des vases clos
- Leur union a pu aboutir des travaux publiés
- Mais rarement avec intervention des amateurs dans l'analyse et la rédaction

# Introduction

- Les mondes amateur et professionnel ne sont pas des vases clos
- Leur union a pu aboutir des travaux publiés
- Mais rarement avec intervention des amateurs dans l'analyse et la rédaction
- Voyons cela au travers du récit d'une collaboration pro-am en spectroscopie sur RR Lyr

# Introduction

- Les mondes amateur et professionnel ne sont pas des vases clos
- Leur union a pu aboutir des travaux publiés
- Mais rarement avec intervention des amateurs dans l'analyse et la rédaction
- Voyons cela au travers du récit d'une collaboration pro-am en spectroscopie sur RR Lyr
- RR Lyr est une étoile pulsante de période 13,6 h

# Introduction

- Les mondes amateur et professionnel ne sont pas des vases clos
- Leur union a pu aboutir des travaux publiés
- Mais rarement avec intervention des amateurs dans l'analyse et la rédaction
- Voyons cela au travers du récit d'une collaboration pro-am en spectroscopie sur RR Lyr
- RR Lyr est une étoile pulsante de période 13,6 h
- Buts : étude de la dynamique atmosphérique et des ondes de choc

# Introduction

- Les mondes amateur et professionnel ne sont pas des vases clos
- Leur union a pu aboutir des travaux publiés
- Mais rarement avec intervention des amateurs dans l'analyse et la rédaction
- Voyons cela au travers du récit d'une collaboration pro-am en spectroscopie sur RR Lyr
- RR Lyr est une étoile pulsante de période 13,6 h
- Buts : étude de la dynamique atmosphérique et des ondes de choc
- Nous allons voir :



# Introduction

- Les mondes amateur et professionnel ne sont pas des vases clos
- Leur union a pu aboutir des travaux publiés
- Mais rarement avec intervention des amateurs dans l'analyse et la rédaction
- Voyons cela au travers du récit d'une collaboration pro-am en spectroscopie sur RR Lyr
- RR Lyr est une étoile pulsante de période 13,6 h
- Buts : étude de la dynamique atmosphérique et des ondes de choc
- Nous allons voir :
  1. Ce qu'est une étoile pulsante

# Introduction

- Les mondes amateur et professionnel ne sont pas des vases clos
- Leur union a pu aboutir des travaux publiés
- Mais rarement avec intervention des amateurs dans l'analyse et la rédaction
- Voyons cela au travers du récit d'une collaboration pro-am en spectroscopie sur RR Lyr
- RR Lyr est une étoile pulsante de période 13,6 h
- Buts : étude de la dynamique atmosphérique et des ondes de choc
- Nous allons voir :
  1. Ce qu'est une étoile pulsante
  2. Le contexte de cette collaboration pro-am

# Introduction

- Les mondes amateur et professionnel ne sont pas des vases clos
- Leur union a pu aboutir des travaux publiés
- Mais rarement avec intervention des amateurs dans l'analyse et la rédaction
- Voyons cela au travers du récit d'une collaboration pro-am en spectroscopie sur RR Lyr
- RR Lyr est une étoile pulsante de période 13,6 h
- Buts : étude de la dynamique atmosphérique et des ondes de choc
- Nous allons voir :
  1. Ce qu'est une étoile pulsante
  2. Le contexte de cette collaboration pro-am
  3. L'observation inédite de la 3<sup>e</sup> émission de  $H\alpha$  pour RR Lyr

# Introduction

- Les mondes amateur et professionnel ne sont pas des vases clos
- Leur union a pu aboutir des travaux publiés
- Mais rarement avec intervention des amateurs dans l'analyse et la rédaction
- Voyons cela au travers du récit d'une collaboration pro-am en spectroscopie sur RR Lyr
- RR Lyr est une étoile pulsante de période 13,6 h
- Buts : étude de la dynamique atmosphérique et des ondes de choc
- Nous allons voir :
  1. Ce qu'est une étoile pulsante
  2. Le contexte de cette collaboration pro-am
  3. L'observation inédite de la 3<sup>e</sup> émission de  $H\alpha$  pour RR Lyr
  4. L'étude de la dynamique atmosphérique

# Partie A :

# Qu'est-ce qu'une étoile pulsante ?

# Les étoiles sont variables

Les étoiles sont  
variables

Place de RR Lyr  
parmi les variables

Pulsations et  
ondes de choc

L'effet Blazho

Manifestations des  
pulsations dans le  
spectre

La publication scientifique par les amateurs : une aventure de chercheurs

B. MAUCLAIRE

Les étoiles sont variables

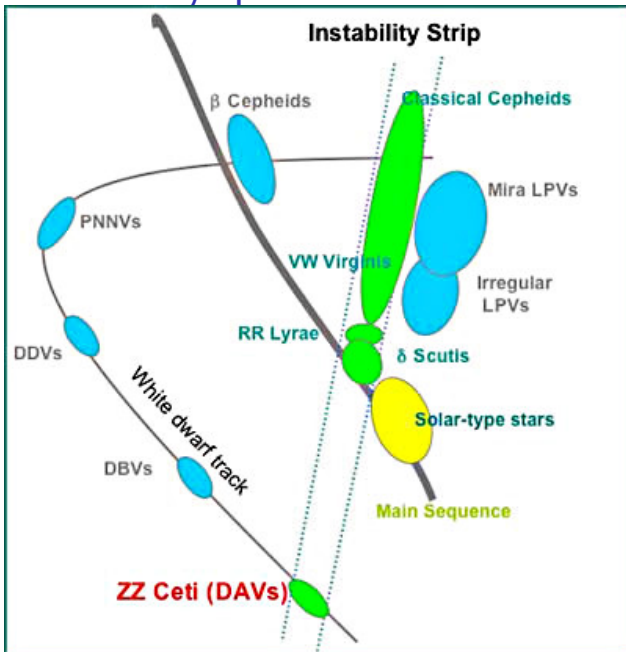
Place de RR Lyr parmi les variables

Pulsations et ondes de choc

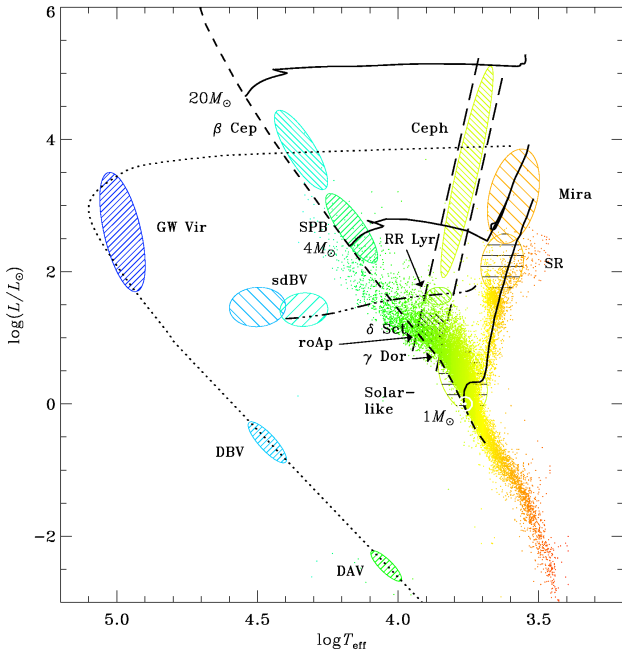
L'effet Blazho

Manifestations des pulsations dans le spectre

# Place de RR Lyr parmi les variables



# Place de RR Lyr parmi les variables





# 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 :



# 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

# 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

# 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

# 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  $\text{He}^+$  sont ionisés



## Pulsations et ondes de choc 2/2

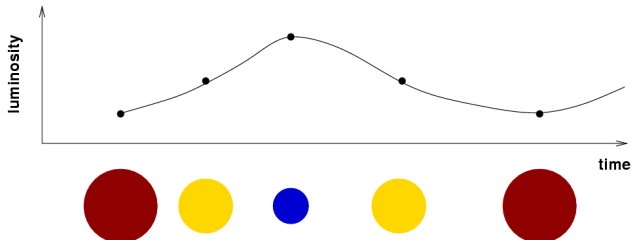
- La recombinaison des électrons ambiants sur ces ions produit des électrons rapides poussant les couches supérieures ( $\kappa$ -mécanisme)

## Pulsations et ondes de choc 2/2

- La recombinaison des électrons ambiants sur ces ions produit des électrons rapides poussant les couches supérieures ( $\kappa$ -mécanisme)
- Les couches externes de l'étoile se dilatent et donc se refroidissent (rougit)

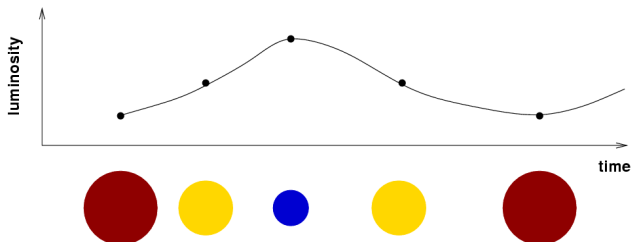
## Pulsations et ondes de choc 2/2

- La recombinaison des électrons ambiants sur ces ions produit des électrons rapides poussant les couches supérieures ( $\kappa$ -mécanisme)
- Les couches externes de l'étoile se dilatent et donc se refroidissent (rougit)



## Pulsations et ondes de choc 2/2

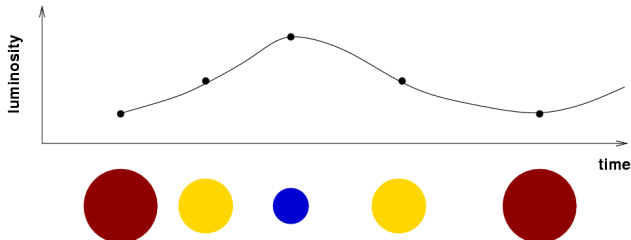
- La recombinaison des électrons ambiants sur ces ions produit des électrons rapides poussant les couches supérieures ( $\kappa$ -mécanisme)
- Les couches externes de l'étoile se dilatent et donc se refroidissent (rougit)



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

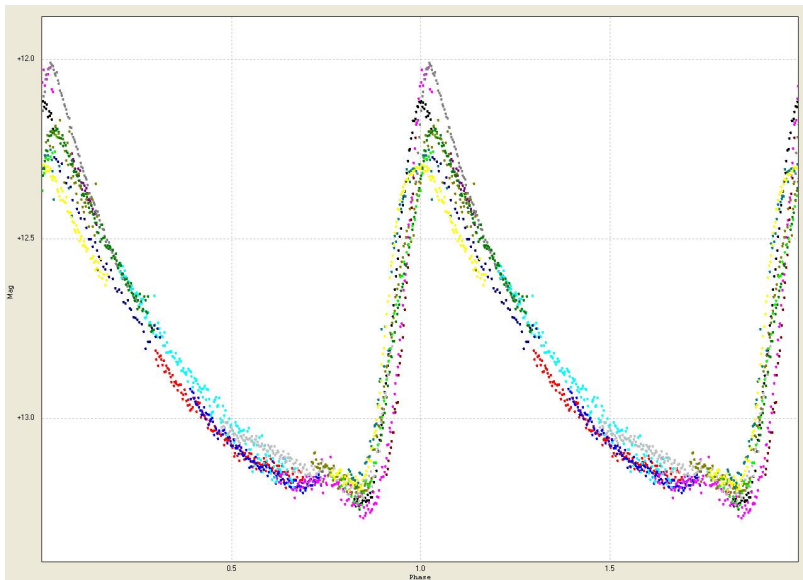
## Pulsations et ondes de choc 2/2

- La recombinaison des électrons ambiants sur ces ions produit des électrons rapides poussant les couches supérieures ( $\kappa$ -mécanisme)
- Les couches externes de l'étoile se dilatent et donc se refroidissent (rougit)

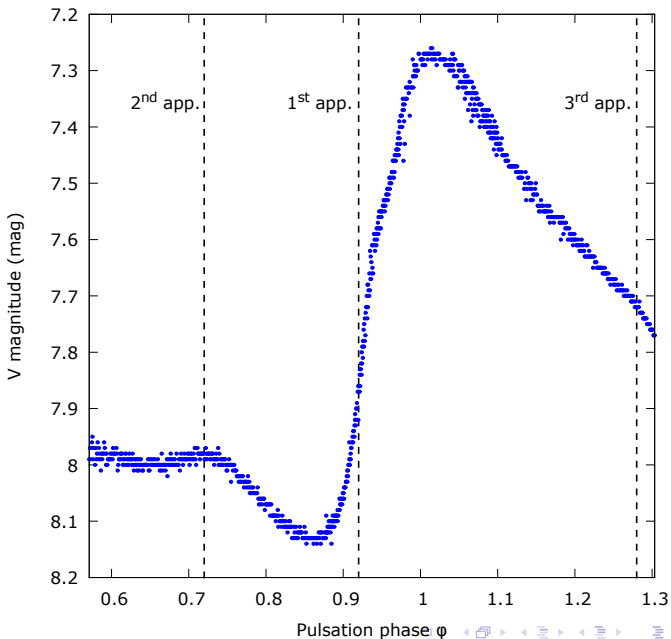


- Puis se contractent et se réchauffent alors (bleuit) : l'étoile se rétracte et gagne en luminosité
- Cette poussée d'électrons crée une onde de choc se propageant dans l'atmosphère

# L'effet Blazhko (CX Lyr)



# La courbe de lumière de RR Lyr

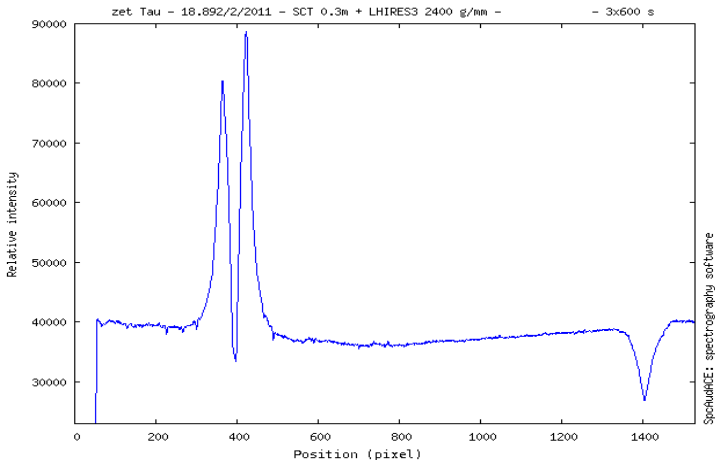


# En spectroscopie : le profil de raies





# En spectroscopie : le profil de raies



La publication scientifique par les amateurs : une aventure de chercheurs

B. MAUCLAIRE

Les étoiles sont variables

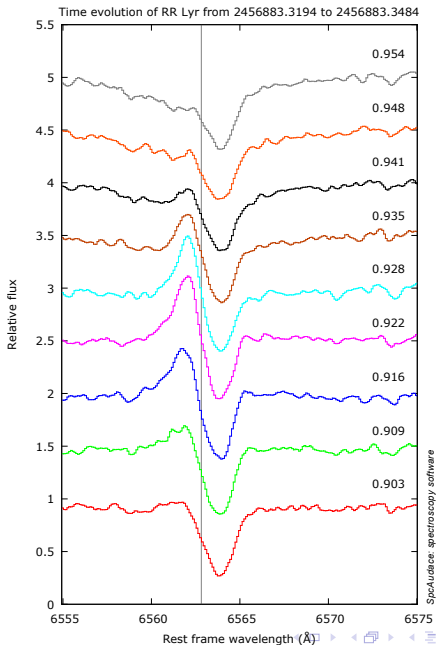
Place de RR Lyr parmi les variables

Pulsations et ondes de choc

L'effet Blazho

Manifestations des pulsations dans le spectre

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



La publication scientifique par les amateurs : une aventure de chercheurs

B. MAUCLAIRE

Les étoiles sont variables

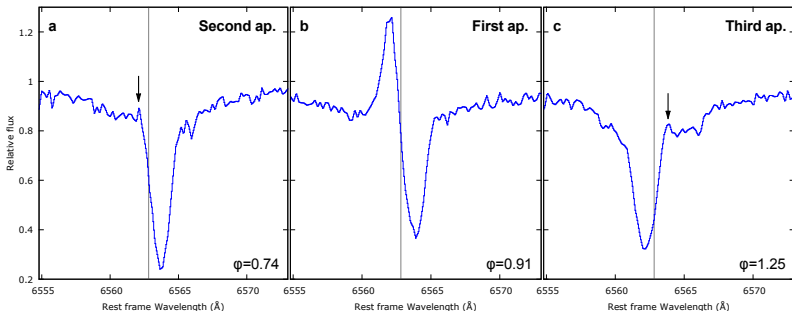
Place de RR Lyr parmi les variables

Pulsations et ondes de choc

L'effet Blazho

Manifestations des pulsations dans le spectre

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



La publication scientifique par les amateurs : une aventure de chercheurs

B. MAUCLAIRE

Les étoiles sont variables

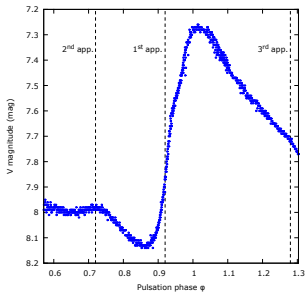
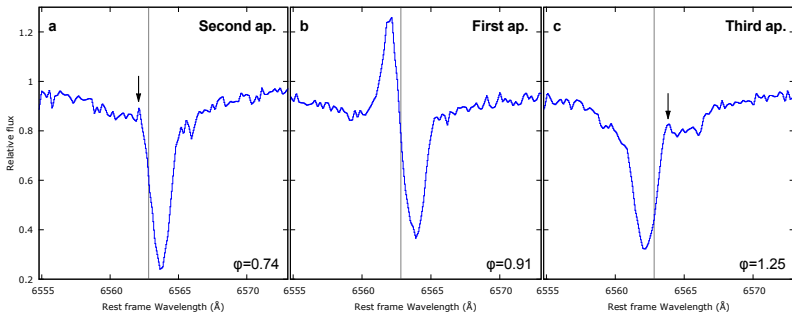
Place de RR Lyr parmi les variables

Pulsations et ondes de choc

L'effet Blazho

Manifestations des pulsations dans le spectre

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



# 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 ont convaincu ce  
chercheur

# Une collaboration pro-am insoupçonnée

- Lors des Spectro Star Party d'été à l'OHP :  
rencontre de Denis Gillet (CNRS-OHP)
- Nos premières observations ont convaincu ce  
chercheur
- Une collaboration pro-am sur les étoiles pulsantes  
est alors initiée en 2013



# Une collaboration pro-am insoupçonnée

- Lors des Spectro Star Party d'été à l'OHP :  
rencontre de Denis Gillet (CNRS-OHP)
- Nos premières observations ont convaincu ce  
chercheur
- Une collaboration pro-am sur les étoiles pulsantes  
est alors initiée en 2013
- But initial : observations des maxima de pulsation  
pour étudier l'effet Blazhko

# Une collaboration pro-am insoupçonnée

- Lors des Spectro Star Party d'été à l'OHP :  
rencontre de Denis Gillet (CNRS-OHP)
- Nos premières observations ont convaincu ce  
chercheur
- Une collaboration pro-am sur les étoiles pulsantes  
est alors initiée en 2013
- But initial : observations des maxima de pulsation  
pour étudier l'effet Blazhko
- Inédit : la 3<sup>e</sup> apparition en émission de la raie  $H\alpha$   
est observée pour la première fois pour RR Lyr

# Une collaboration pro-am insoupçonnée

- Lors des Spectro Star Party d'été à l'OHP :  
rencontre de Denis Gillet (CNRS-OHP)
- Nos premières observations ont convaincu ce  
chercheur
- Une collaboration pro-am sur les étoiles pulsantes  
est alors initiée en 2013
- But initial : observations des maxima de pulsation  
pour étudier l'effet Blazhko
- Inédit : la 3<sup>e</sup> apparition en émission de la raie  $H\alpha$   
est observée pour la première fois pour RR Lyr
- Un article est alors publié dans la revue A&A :

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

# Une collaboration pro-am insoupçonnée

- Lors des Spectro Star Party d'été à l'OHP :  
rencontre de Denis Gillet (CNRS-OHP)
- Nos premières observations ont convaincu ce  
chercheur
- Une collaboration pro-am sur les étoiles pulsantes  
est alors initiée en 2013
- But initial : observations des maxima de pulsation  
pour étudier l'effet Blazhko
- Inédit : la 3<sup>e</sup> apparition en émission de la raie  $H\alpha$   
est observée pour la première fois pour RR Lyr
- Un article est alors publié dans la revue A&A :  
<http://adsabs.harvard.edu/abs/2017A%26A...607A..51G>
- Mais il n'y pas eu que la "3<sup>e</sup> émission"

# Une collaboration pro-am insoupçonnée

- Lors des Spectro Star Party d'été à l'OHP :  
rencontre de Denis Gillet (CNRS-OHP)
- Nos premières observations ont convaincu ce  
chercheur
- Une collaboration pro-am sur les étoiles pulsantes  
est alors initiée en 2013
- But initial : observations des maxima de pulsation  
pour étudier l'effet Blazhko
- Inédit : la 3<sup>e</sup> apparition en émission de la raie  $H\alpha$   
est observée pour la première fois pour RR Lyr
- Un article est alors publié dans la revue A&A :  
<http://adsabs.harvard.edu/abs/2017A%26A...607A..51G>
- Mais il n'y pas eu que la "3<sup>e</sup> émission"
- Voyons d'abord quelles ont été les étapes menant à  
cet article

# 2013 : début d'une aventure intense

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

## 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 AURELIE

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



## 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 AURELIE
- Des observations sont réalisées en parallèle par chacun : T20 à T35 + LHIRES3 et ESHELL
- Entre 2014 et 2017, des workshops ont lieu chaque année :

## 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 AURELIE
- Des observations sont réalisées en parallèle par chacun : T20 à T35 + LHIRES3 et ESHELL
- Entre 2014 et 2017, des workshops ont lieu chaque année :
  - ▶ Bilan des observations

## 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 AURELIE
- Des observations sont réalisées en parallèle par chacun : T20 à T35 + LHIRES3 et ESHELL
- Entre 2014 et 2017, des workshops ont lieu chaque année :
  - ▶ Bilan des observations
  - ▶ Formation astrophysique avec des intervenants professionnels

## 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 AURELIE
- Des observations sont réalisées en parallèle par chacun : T20 à T35 + LHIRES3 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

## 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 AURELIE
- Des observations sont réalisées en parallèle par chacun : T20 à T35 + LHIRES3 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

# Partie C :

## Première observation de la 3<sup>e</sup> émission de H $\alpha$ dans RR Lyr

# 1. Deux observations décisives pour le modèle de D. Gillet

# Deux observations décisives

- En 1997<sup>1</sup>, D. Gillet et al. ont élaboré un modèle d'étoile pulsante

<sup>1</sup> Fokin, A. B. & Gillet, D. 1997, A&A, 325, 1013



# Deux observations décisives

- En 1997<sup>1</sup>, D. Gillet et al. ont élaboré un modèle d'étoile pulsante
- Un des points pour le vérifier : la 3<sup>e</sup> émission de  $H\alpha$

<sup>1</sup> Fokin, A. B. & Gillet, D. 1997, A&A, 325, 1013

# Deux observations décisives

- En 1997<sup>1</sup>, D. Gillet et al. ont élaboré un modèle d'étoile pulsante
- Un des points pour le vérifier : la 3<sup>e</sup> émission de  $H\alpha$
- Deux observations furent programmées au T152 :  
 $\varphi \sim 0.3$  et  $\psi \sim 0.9$

<sup>1</sup> Fokin, A. B. & Gillet, D. 1997, A&A, 325, 1013

# Deux observations décisives

- En 1997<sup>1</sup>, D. Gillet et al. ont élaboré un modèle d'étoile pulsante
- Un des points pour le vérifier : la 3<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> émission a lieu lors des maxima Blazhko ( $\psi \sim 1$ )

<sup>1</sup> Fokin, A. B. & Gillet, D. 1997, A&A, 325, 1013

# Deux observations décisives

- En 1997<sup>1</sup>, D. Gillet et al. ont élaboré un modèle d'étoile pulsante
- Un des points pour le vérifier : la 3<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> émission a lieu lors des maxima Blazhko ( $\psi \sim 1$ )
  - ▶ Victoire : le soir des observations, la 3<sup>e</sup> émission fut même détectable sur les données brutes !

<sup>1</sup> Fokin, A. B. & Gillet, D. 1997, A&A, 325, 1013

# Deux observations décisives

- En 1997<sup>1</sup>, D. Gillet et al. ont élaboré un modèle d'étoile pulsante
- Un des points pour le vérifier : la 3<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> émission a lieu lors des maxima Blazhko ( $\psi \sim 1$ )
  - ▶ Victoire : le soir des observations, la 3<sup>e</sup> émission fut même détectable sur les données brutes !
- Au 05/2016, la 3<sup>e</sup> émission fut observée 4 fois

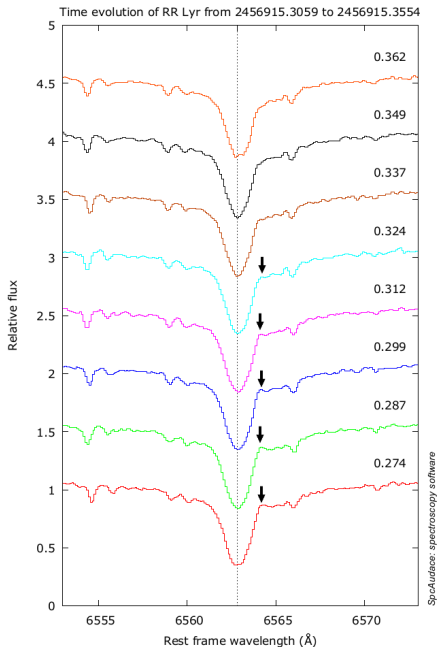
<sup>1</sup> Fokin, A. B. & Gillet, D. 1997, A&A, 325, 1013

# Deux observations décisives

- En 1997<sup>1</sup>, D. Gillet et al. ont élaboré un modèle d'étoile pulsante
- Un des points pour le vérifier : la 3<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> émission a lieu lors des maxima Blazhko ( $\psi \sim 1$ )
  - ▶ Victoire : le soir des observations, la 3<sup>e</sup> émission fut même détectable sur les données brutes !
- Au 05/2016, la 3<sup>e</sup> émission fut observée 4 fois
- Observations retenues (SNR) :  
le **2014/09/14** et **2013/09/04**

<sup>1</sup> Fokin, A. B. & Gillet, D. 1997, A&A, 325, 1013

# Observation du 2014/09/14 :



La publication scientifique par les amateurs : une aventure de chercheurs

B. MAUCLAIRE

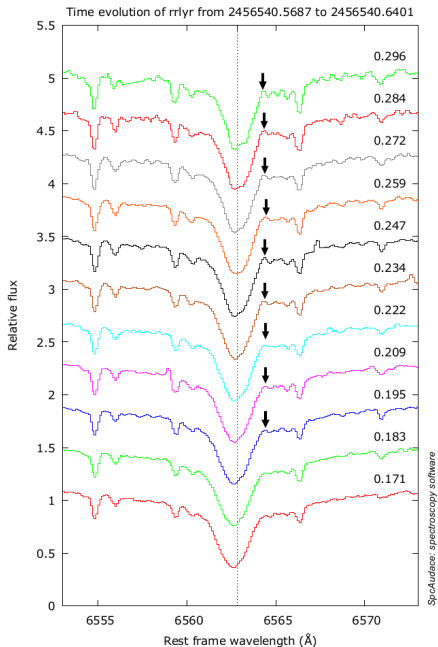
Deux observations décisives

Interprétation du phénomène

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

Bilan de l'étude de la 3<sup>e</sup> émission

# Observation du 2013/09/04 :





La publication scientifique par les amateurs : une aventure de chercheurs

B. MAUCLAIRE

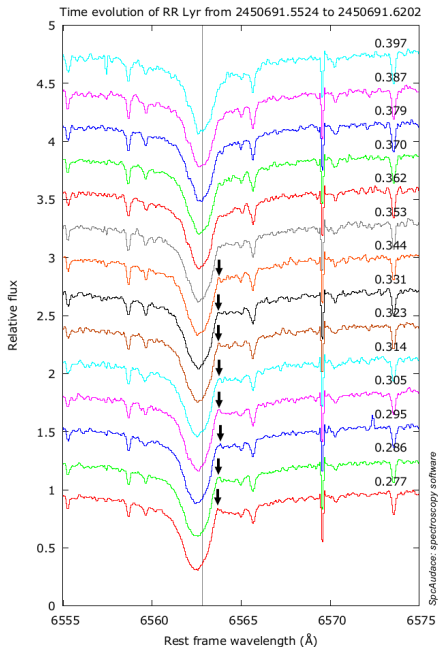
Deux observations décisives

Interprétation du phénomène

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

Bilan de l'étude de la 3<sup>e</sup> émission

# Mais aussi au T193 le 1997/8/30 !



## 2. Interprétation du phénomène

# Interprétation du phénomène :

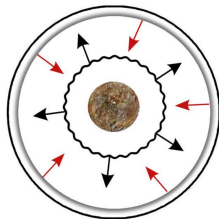
- La 3<sup>e</sup> émission est visible à chaque cycle de pulsation et est indépendante de la phase Blazhko

# Interprétation du phénomène :

- La 3<sup>e</sup> émission est visible à chaque cycle de pulsation et est indépendante de la phase Blazhko
- Explication de son origine :

# Interprétation du phénomène :

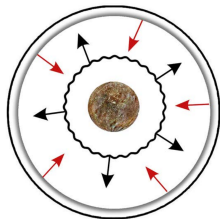
- La 3<sup>e</sup> émission est visible à chaque cycle de pulsation et est indépendante de la phase Blazhko
- Explication de son origine :
  1. L'onde de choc de la pulsation du cycle en cours est ascendante



~~~~~ : onde de choc  
———— : couche descendante

## Interprétation du phénomène :

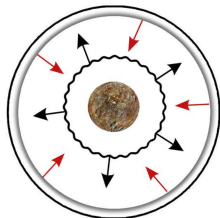
- La 3<sup>e</sup> émission est visible à chaque cycle de pulsation et est indépendante de la phase Blazhko
- Explication de son origine :
  1. L'onde de choc de la pulsation du cycle en cours est ascendante
  2. Les couches élevées dans la haute atmosphère au cycle précédent chutent vers le centre de l'étoile



~~~~~ : onde de choc  
———— : couche descendante

## Interprétation du phénomène :

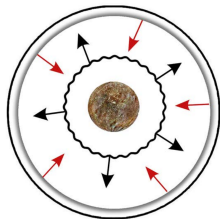
- La 3<sup>e</sup> émission est visible à chaque cycle de pulsation et est indépendante de la phase Blazhko
- Explication de son origine :
  1. L'onde de choc de la pulsation du cycle en cours est ascendante
  2. Les couches élevées dans la haute atmosphère au cycle précédent chutent vers le centre de l'étoile
  3. Création d'une zone de compression chauffée, précèdent l'onde de choc



~~~~~ : onde de choc  
——— : couche descendante

## Interprétation du phénomène :

- La 3<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> émission serait produite par cette mince couche chaude

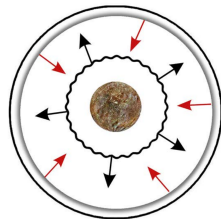


~~~~~ : onde de choc  
——— : couche descendante



# Interprétation du phénomène :

- La 3<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> émission serait produite par cette mince couche chaude
- Le modèle théorique<sup>1</sup> de D. Gillet et al. est en accord avec ces observations



~~~~~ : onde de choc  
— : couche descendante

# 3. 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  $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$

# 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

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

- J'avais déjà une expérience dans la rédaction
- Je connaissais le préparateur de texte L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X
- Du piano à 4 mains avec D. Gillet dans la bonne ambiance
- 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 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X
- Du piano à 4 mains avec D. Gillet dans la bonne ambiance
- Trois versions et aller-retours avec le relecteur A&A
- 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
- Trois versions et aller-retours avec le relecteur A&A
- De nouveaux constats ont modifiés l'interprétation
- Puis validé le 2017-08-22 !



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

**Astronomy  
&  
Astrophysics**

## First observation of H $\alpha$ redshifted emission in RR Lyr<sup>★</sup> Evidence of a supersonic infalling motion of the atmosphere

D. Gillet<sup>1</sup>, B. Maucilaire<sup>2</sup>, T. Garrel<sup>3</sup>, T. Lemoult<sup>4</sup>, Ph. Mathias<sup>5</sup>, T. de France<sup>6</sup>, J.-S. Devaux<sup>7</sup>, H. Boussier<sup>8</sup>,  
D. Verilhac<sup>9</sup>, G. Brabant<sup>10</sup>, J. Desbordes<sup>11</sup>, O. Garde<sup>12</sup>, and the GRRR Collaboration<sup>13,★★</sup>

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

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

<sup>3</sup> Observatoire de Fontcaude, 19 Av. du Hameau du golf, 34990 Juvignac, France

<sup>4</sup> Observatoire de Chelles, 23 Av. Hénin, 77500 Chelles, France

<sup>5</sup> Observatoire Midi-Pyrénées, IRAP, Université de Toulouse, CNRS, UPS, CNES, Tarbes, 31400 Toulouse, France

<sup>6</sup> Observatoire de Méze, 5 Imp. des Tourterelles, 34140 Méze, France

<sup>7</sup> Observatoire OAV, 13 rue du Moulin, 34290 Alignan-du-Vent, France

<sup>8</sup> 115 Av. du général de Gaulle, 84450 Saint-Saturnin-les-Avignon, France

<sup>9</sup> Les Trucs, 26420 Saint-Agnan en Vercors, France

<sup>10</sup> 42 chemin de la Beaume, 26190 Saint-Laurent-en-Royans, France

<sup>11</sup> 5 rue Edmond Gondinet, 75013 Paris, France

<sup>12</sup> Observatoire de la Tourbière, 45 chemin du Lac, 38690 Chabons, France

<sup>13</sup> Observatoire de Haute-Provence, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France

Received 14 October 2016 / Accepted 22 August 2017

# 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 $\alpha$ redshifted emission in RR Lyr<sup>★</sup> Evidence of a supersonic infalling motion of the atmosphere**

D. Gillet<sup>1</sup>, B. Maucclair<sup>2</sup>, T. Garrel<sup>3</sup>, T. Lemoult<sup>4</sup>, Ph. Mathias<sup>5</sup>, T. de France<sup>6</sup>, J.-S. Devaux<sup>7</sup>, H. Boussier<sup>8</sup>, D. Verilhac<sup>9</sup>, G. Brabant<sup>10</sup>, J. Desbordes<sup>11</sup>, O. Garde<sup>12</sup>, and the GRRR Collaboration<sup>13,★★</sup>

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

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

<sup>3</sup> Observatoire de Fontcaude, 19 Av. du Hameau du golf, 34990 Juvignac, France

<sup>4</sup> Observatoire de Chelles, 23 Av. Hénin, 77500 Chelles, France

<sup>5</sup> Observatoire Midi-Pyrénées, IRAP, Université de Toulouse, CNRS, UPS, CNES, Tarbes, 31400 Toulouse, France

<sup>6</sup> Observatoire de Méze, 5 Imp. des Tourterelles, 34140 Méze, France

<sup>7</sup> Observatoire OAV, 13 rue du Moulin, 34290 Alignan-du-Vent, France

<sup>8</sup> 115 Av. du général de Gaulle, 84450 Saint-Saturnin-les-Avignon, France

<sup>9</sup> Les Trucs, 26420 Saint-Agnan en Vercors, France

<sup>10</sup> 42 chemin de la Beaume, 26190 Saint-Laurent-en-Royans, France

<sup>11</sup> 5 rue Edmond Gondinet, 75013 Paris, France

<sup>12</sup> Observatoire de la Tourbière, 45 chemin du Lac, 38690 Chabons, France

<sup>13</sup> Observatoire de Haute-Provence, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France

Received 14 October 2016 / Accepted 22 August 2017

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<sup>e</sup> émission

- Les observations dictent la science et non l'inverse

# Bilan de l'étude de la 3<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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



# Partie D :

# Étude de la dynamique atmosphérique

Un nouvel axe de recherche est lancé...

# 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

- Période de pulsation de RR Lyr : 13,6 h  
⇒ 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  
⇒ 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  
⇒ 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 le spectrographe échelle

# Le film de l'atmosphère est dévoilé

- Période de pulsation de RR Lyr : 13,6 h  
⇒ 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 le 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  
⇒ 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 le 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  
⇒ 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 le 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 !**

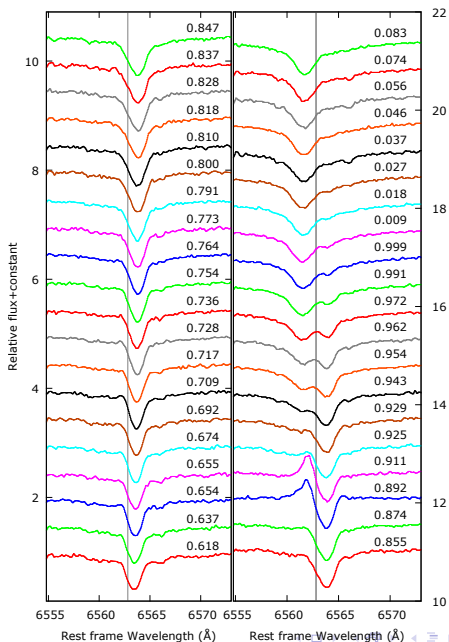
La publication scientifique par les amateurs : une aventure de chercheurs

B. MAUCLAIRE

Le film de l'atmosphère est dévoilé

Quelques résultats

# Film de H $\alpha$ durant avril 2017



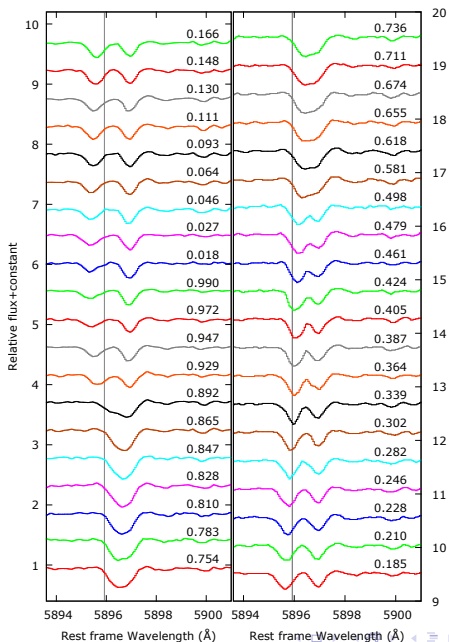
La publication scientifique par les amateurs : une aventure de chercheurs

B. MAUCLAIRE

Le film de l'atmosphère est dévoilé

Quelques résultats

# Film de Na durant avril 2017



## 2. Quelques résultats

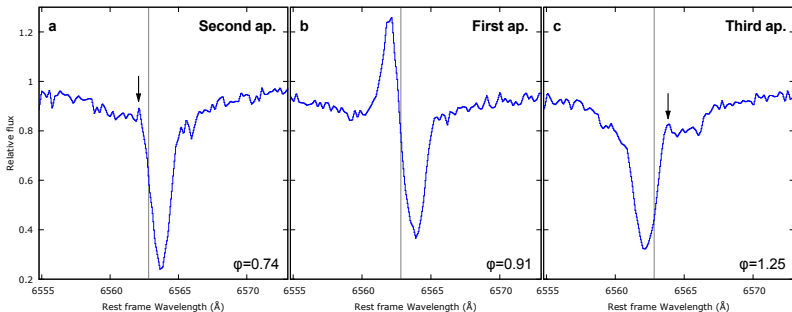
La publication scientifique par les amateurs : une aventure de chercheurs

B. MAUCLAIRE

Le film de l'atmosphère est dévoilé

Quelques résultats

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



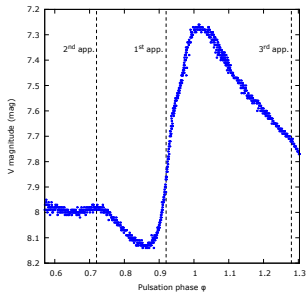
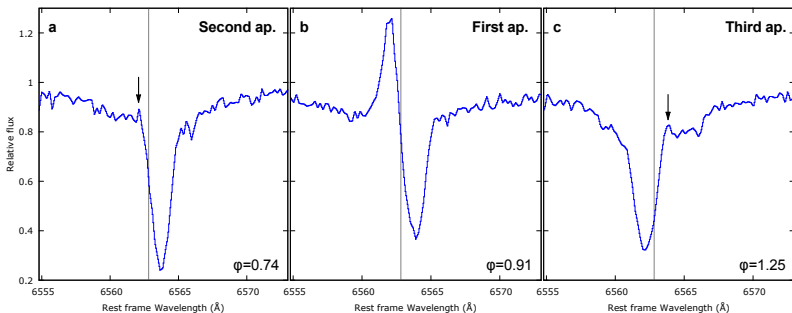
La publication scientifique par les amateurs : une aventure de chercheurs

B. MAUCLAIRE

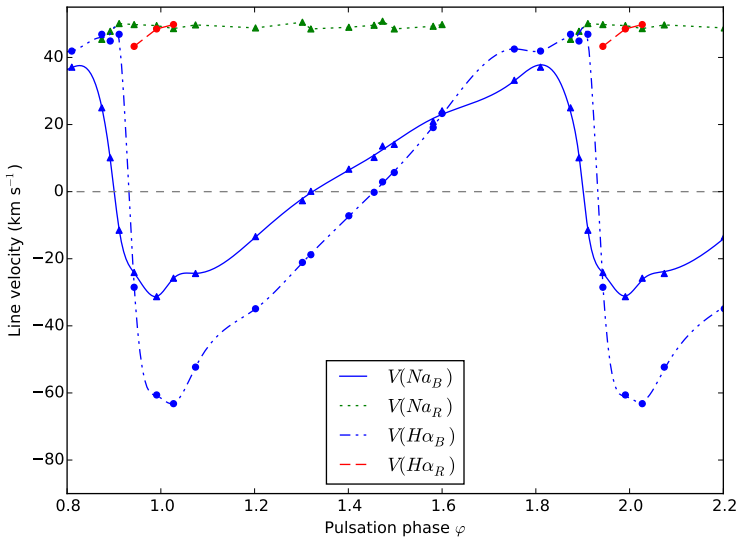
Le film de l'atmosphère est dévoilé

Quelques résultats

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



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



# Quelques explications

| Step | $\varphi$ interval | Phenomenon                  |
|------|--------------------|-----------------------------|
| 1    | 0.874 – 0.892      | Emergence of the main shock |



# Quelques explications

| Step | $\varphi$ interval | Phenomenon                  |
|------|--------------------|-----------------------------|
| 1    | 0.874 – 0.892      | Emergence of the main shock |
| 2    | 0.892 – 0.929      | Radiative shock wave phase  |

# Quelques explications

| Step | $\varphi$ 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 |

# Quelques explications

| Step | $\varphi$ 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 $\alpha$ layer |

# Quelques explications

| Step | $\varphi$ 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 $\alpha$ layer |
| 5    | 0.320 – 0.455      | A two-steps infalling motion              |

# Quelques explications

| Step | $\varphi$ 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 $\alpha$ layer |
| 5    | 0.320 – 0.455      | A two-steps infalling motion              |
| 6    | around 0.36        | A strong photospheric compression         |

# Quelques explications

| Step | $\varphi$ 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 $\alpha$ 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  $\kappa$ -mécanisme !

# Quelques explications

| Step | $\varphi$ 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 $\alpha$ 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  $\kappa$ -mécanisme !

Step 2 : l'intense 1<sup>re</sup> émission de H $\alpha$

# Quelques explications

| Step | $\varphi$ 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 $\alpha$ 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  $\kappa$ -mécanisme !

Step 2 : l'intense 1<sup>re</sup> émission de H $\alpha$

Step 6 : 3<sup>e</sup> émission de H $\alpha$



## Dynamical structure of the pulsating atmosphere of RR Lyrae

### I. A typical pulsation cycle

D. Gillet<sup>1</sup>, B. Mauclaire<sup>2</sup>, T. Lemoult<sup>3</sup>, Ph. Mathias<sup>4</sup>, J-S. Devaux<sup>5</sup>, Th. de France<sup>6</sup>, T. Garrel<sup>7</sup>, and the GRRR  
Collaboration<sup>7\*</sup>

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

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

<sup>3</sup> Observatoire de Chelles, 23 avenue Hénin, 77500 Chelles, France

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

<sup>5</sup> Observatoire OAV, 13 rue du Moulin, 34290 Alignan-du-Vent, France

<sup>6</sup> Observatoire des Tourterelles, 5 impasse Tourterelles, 34140 Mèze, France

<sup>7</sup> Observatoire de Fontcaude, 19 avenue du hameau du Golf, 34990 Juvignac, France

<sup>8</sup> Observatoire de Haute-Provence, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France \*\*

Received July 16, 2018; accepted xxxx

## Dynamical structure of the pulsating atmosphere of RR Lyrae

### I. A typical pulsation cycle

D. Gillet<sup>1</sup>, B. Mauclaire<sup>2</sup>, T. Lemoult<sup>3</sup>, Ph. Mathias<sup>4</sup>, J-S. Devaux<sup>5</sup>, Th. de France<sup>6</sup>, T. Garrel<sup>7</sup>, and the GRRR  
Collaboration<sup>7\*</sup>

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

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

<sup>3</sup> Observatoire de Chelles, 23 avenue Hénin, 77500 Chelles, France

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

<sup>5</sup> Observatoire OAV, 13 rue du Moulin, 34290 Alignan-du-Vent, France

<sup>6</sup> Observatoire des Tourterelles, 5 impasse Tourterelles, 34140 Mèze, France

<sup>7</sup> Observatoire de Fontcaude, 19 avenue du hameau du Golf, 34990 Juvignac, France

<sup>8</sup> Observatoire de Haute-Provence, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France \*\*

Received July 16, 2018; accepted xxxx

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

## Dynamical structure of the pulsating atmosphere of RR Lyrae

### I. A typical pulsation cycle

D. Gillet<sup>1</sup>, B. Mauclaire<sup>2</sup>, T. Lemoult<sup>3</sup>, Ph. Mathias<sup>4</sup>, J-S. Devaux<sup>5</sup>, Th. de France<sup>6</sup>, T. Garrel<sup>7</sup>, and the GRRR  
Collaboration<sup>7\*</sup>

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

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

<sup>3</sup> Observatoire de Chelles, 23 avenue Hénin, 77500 Chelles, France

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

<sup>5</sup> Observatoire OAV, 13 rue du Moulin, 34290 Alignan-du-Vent, France

<sup>6</sup> Observatoire des Tourterelles, 5 impasse Tourterelles, 34140 Mèze, France

<sup>7</sup> Observatoire de Fontcaude, 19 avenue du hameau du Golf, 34990 Juvignac, France

<sup>8</sup> Observatoire de Haute-Provence, 04870 Saint-Michel l'Observatoire, France \*\*

Received July 16, 2018; accepted xxxx

- Un cycle de pulsation de RR Lyr étudié en détail : une première !
- Le 2<sup>e</sup> volet de cet article est déjà en préparation. . .

# Partie E :

## D'autres étoiles pulsantes au programme

# D'autres étoiles pulsantes méconnues

- BW Vulpeculae :
  - ▶ Type  $\beta$  Cep
  - ▶ Période de pulsation :  $T_0 = 4.8$  h
  - ▶ Les chocs des pulsations sont énormes :  
 $\Delta V_{\text{radiale}} = 200 \text{ km s}^{-1}$  !
  - ▶ Est-ce que la période des maxima reste la même ?

# D'autres étoiles pulsantes méconnues

- BW Vulpeculae :
  - ▶ Type  $\beta$  Cep
  - ▶ Période de pulsation :  $T_0 = 4.8$  h
  - ▶ Les chocs des pulsations sont énormes :  
 $\Delta V_{\text{radiale}} = 200 \text{ km s}^{-1}$  !
  - ▶ Est-ce que la période des maxima reste la même ?
- $\sigma$  Scorpii
  - ▶ Pulsante de type  $\beta$  Cep et binaire SB2
  - ▶ Période de pulsation :  $T_0 = 5.9$  h
  - ▶ Mais basse sur l'horizon depuis l'hémisphère Nord

# D'autres étoiles pulsantes méconnues

- BW Vulpeculae :
  - ▶ Type  $\beta$  Cep
  - ▶ Période de pulsation :  $T_0 = 4.8$  h
  - ▶ Les chocs des pulsations sont énormes :  
 $\Delta V_{\text{radiale}} = 200 \text{ km s}^{-1}$  !
  - ▶ Est-ce que la période des maxima reste la même ?
- $\sigma$  Scorpii
  - ▶ Pulsante de type  $\beta$  Cep et binaire SB2
  - ▶ Période de pulsation :  $T_0 = 5.9$  h
  - ▶ Mais basse sur l'horizon depuis l'hémisphère Nord
- X Cygni :
  - ▶ Étoile de type Céphéide
  - ▶ Période :  $T_0 = 16.39$  jours

# Conclusion

- Cette aventure scientifique se poursuit encore aujourd'hui



# Conclusion

- Cette aventure scientifique se poursuit encore aujourd'hui
- Rester dans la méthode "recherche" :

# Conclusion

- Cette aventure scientifique se poursuit encore aujourd'hui
- Rester dans la méthode "recherche" :
  - ▶ Nécessité de garder un esprit critique sur ses méthodes d'analyse et leur interprétation

# Conclusion

- Cette aventure scientifique se poursuit encore aujourd'hui
- Rester dans la méthode "recherche" :
  - ▶ Nécessité de garder un esprit critique sur ses méthodes d'analyse et leur interprétation
  - ▶ Il faut faire évoluer ses outils et être soigneux

# Conclusion

- Cette aventure scientifique se poursuit encore aujourd'hui
- Rester dans la méthode "recherche" :
  - ▶ Nécessité de garder un esprit critique sur ses méthodes d'analyse et leur interprétation
  - ▶ Il faut faire évoluer ses outils et être soigneux
  - ▶ **Remettre l'ouvrage sur la table autant que nécessaire**

# Conclusion

- Cette aventure scientifique se poursuit encore aujourd'hui
- Rester dans la méthode "recherche" :
  - ▶ Nécessité de garder un esprit critique sur ses méthodes d'analyse et leur interprétation
  - ▶ Il faut faire évoluer ses outils et être soigneux
  - ▶ **Remettre l'ouvrage sur la table autant que nécessaire**
- Besoin de modèles d'atmosphère pulsante gérant la convection et les chocs pour aboutir

# Conclusion

- Cette aventure scientifique se poursuit encore aujourd'hui
- Rester dans la méthode "recherche" :
  - ▶ Nécessité de garder un esprit critique sur ses méthodes d'analyse et leur interprétation
  - ▶ Il faut faire évoluer ses outils et être soigneux
  - ▶ **Remettre l'ouvrage sur la table autant que nécessaire**
- Besoin de modèles d'atmosphère pulsante gérant la convection et les chocs pour aboutir
- L'études d'autres étoiles pulsantes de choix permettront d'étendre ou non les mécanismes de RR Lyr  
⇒ BW Vulpeculae,  $\sigma$  Scorpii et X Cygni

# Partie G :

# Compléments

# Le $\kappa$ -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  $\beta$  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  $\text{He}^+$  par collision avec les électrons ambiants



# Le $\kappa$ -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  $\beta$  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  $\text{He}^+$  par collision avec les électrons ambiants
2. Cette zone d'ionisation constituée alors d'ions  $\text{H}^+$ ,  $\text{He}^+$  et  $\text{He}^{++}$  est comme le couvercle dans la casserole

# Le $\kappa$ -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  $\beta$  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  $\text{He}^+$  par collision avec les électrons ambiants
2. Cette zone d'ionisation constituée alors d'ions  $\text{H}^+$ ,  $\text{He}^+$  et  $\text{He}^{++}$  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 $\kappa$ -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  $\beta$  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  $\text{He}^+$  par collision avec les électrons ambiants
2. Cette zone d'ionisation constituée alors d'ions  $\text{H}^+$ ,  $\text{He}^+$  et  $\text{He}^{++}$  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

# 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 ( $\varphi$ ,  $\psi$ ), de sélection de zone en longueur d'onde, de sélection à des phases de pulsation  $\varphi$ , de tracé de multiplotphasés, etc.

# Méthodes d'exploitation des spectres

- Développement de scripts (Audela) pour gérer les +3000 spectres :  
Calcul d'éphémérides ( $\varphi$ ,  $\psi$ ), de sélection de zone en longueur d'onde, de sélection à des phases de pulsation  $\varphi$ , 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 ( $\varphi$ ,  $\psi$ ), de sélection de zone en longueur d'onde, de sélection à des phases de pulsation  $\varphi$ , 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 ( $\varphi$ ,  $\psi$ ), de sélection de zone en longueur d'onde, de sélection à des phases de pulsation  $\varphi$ , 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 ( $\varphi$ ,  $\psi$ ), de sélection de zone en longueur d'onde, de sélection à des phases de pulsation  $\varphi$ , 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 ( $\varphi$ ,  $\psi$ ), de sélection de zone en longueur d'onde, de sélection à des phases de pulsation  $\varphi$ , 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

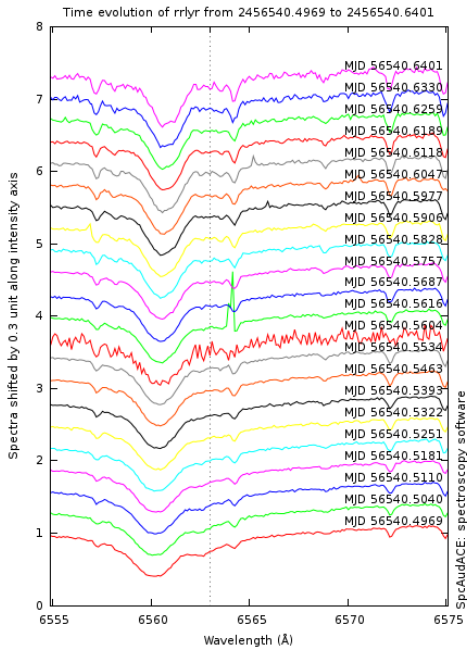
# Méthodes d'exploitation des spectres

- Développement de scripts (Audela) pour gérer les +3000 spectres :  
Calcul d'éphémérides ( $\varphi$ ,  $\psi$ ), de sélection de zone en longueur d'onde, de sélection à des phases de pulsation  $\varphi$ , 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 ( $\varphi$ ,  $\psi$ ), de sélection de zone en longueur d'onde, de sélection à des phases de pulsation  $\varphi$ , 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

