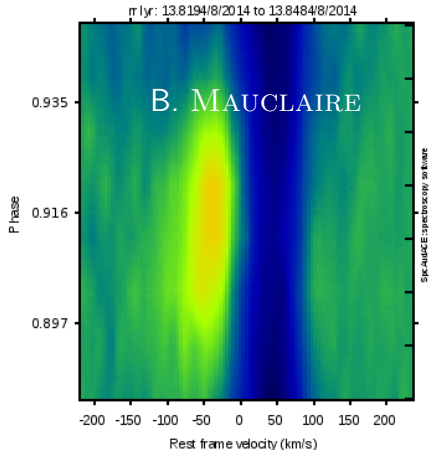


RR Lyræ :

AudeLa des observations spectroscopiques 2012-2015



Introduction

Introduction

- RR Lyræ est une étoile pulsante curieuse recellant de plusieurs mystères physiques

Introduction

- RR Lyræ est une étoile pulsante curieuse recellant de plusieurs mystères physiques
- Les étoiles pulsantes nécessitent des surveys d'envergure

Introduction

- RR Lyræ est une étoile pulsante curieuse recellant de plusieurs mystères physiques
- Les étoiles pulsantes nécessitent des surveys d'envergure
- Aujourd'hui, les professionnels utilisent les spectres des amateurs

Introduction

- RR Lyræ est une étoile pulsante curieuse recellant de plusieurs mystères physiques
- Les étoiles pulsantes nécessitent des surveys d'envergure
- Aujourd'hui, les professionnels utilisent les spectres des amateurs
- Mais cela nécessite méthode, soin et procédés informatiques

Introduction

- RR Lyræ est une étoile pulsante curieuse recellant de plusieurs mystères physiques
- Les étoiles pulsantes nécessitent des surveys d'envergure
- Aujourd'hui, les professionnels utilisent les spectres des amateurs
- Mais cela nécessite méthode, soin et procédés informatiques
- Nous allons voir :

Introduction

- RR Lyræ est une étoile pulsante curieuse recellant de plusieurs mystères physiques
- Les étoiles pulsantes nécessitent des surveys d'envergure
- Aujourd'hui, les professionnels utilisent les spectres des amateurs
- Mais cela nécessite méthode, soin et procédés informatiques
- Nous allons voir :
 1. État des lieux des données recueillies et exploitation

Introduction

- RR Lyræ est une étoile pulsante curieuse recellant de plusieurs mystères physiques
- Les étoiles pulsantes nécessitent des surveys d'envergure
- Aujourd'hui, les professionnels utilisent les spectres des amateurs
- Mais cela nécessite méthode, soin et procédés informatiques
- Nous allons voir :
 1. État des lieux des données recueillies et exploitation
 2. Origine physique de quelques phénomènes

Introduction

- RR Lyræ est une étoile pulsante curieuse recellant de plusieurs mystères physiques
- Les étoiles pulsantes nécessitent des surveys d'envergure
- Aujourd'hui, les professionnels utilisent les spectres des amateurs
- Mais cela nécessite méthode, soin et procédés informatiques
- Nous allons voir :
 1. État des lieux des données recueillies et exploitation
 2. Origine physique de quelques phénomènes
 3. RR Lyræ a-t-elle atteint un maximum d'émission ?

Introduction

- RR Lyræ est une étoile pulsante curieuse recellant de plusieurs mystères physiques
- Les étoiles pulsantes nécessitent des surveys d'envergure
- Aujourd'hui, les professionnels utilisent les spectres des amateurs
- Mais cela nécessite méthode, soin et procédés informatiques
- Nous allons voir :
 1. État des lieux des données recueillies et exploitation
 2. Origine physique de quelques phénomènes
 3. RR Lyræ a-t-elle atteint un maximum d'émission ?
 4. D'autres étoiles pulsent et nous attendent

État des lieux des
données recueillies

Gestion de données
très hétérogènes

Toutes les données
sont-elles
exploitables ?

Procédures
d'analyse des
spectres recueillis

Partie A :

Pour une bonne exploitation des données

État des lieux des
données recueillies

Gestion de données
très hétérogènes

Toutes les données
sont-elles
exploitables ?

Procédures
d'analyse des
spectres recueillis

1. État des lieux des données recueillies

État des lieux des
données recueillies

Gestion de données
très hétérogènes

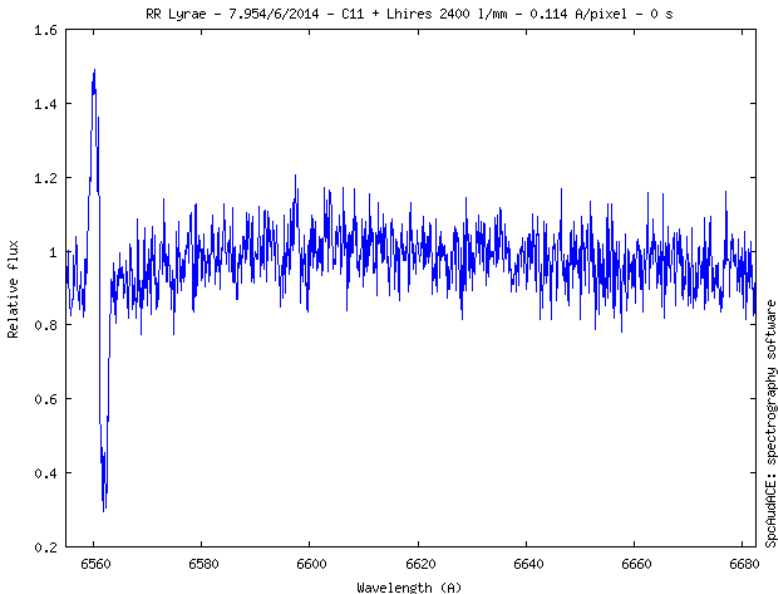
Toutes les données
sont-elles
exploitables ?

Procédures
d'analyse des
spectres recueillis

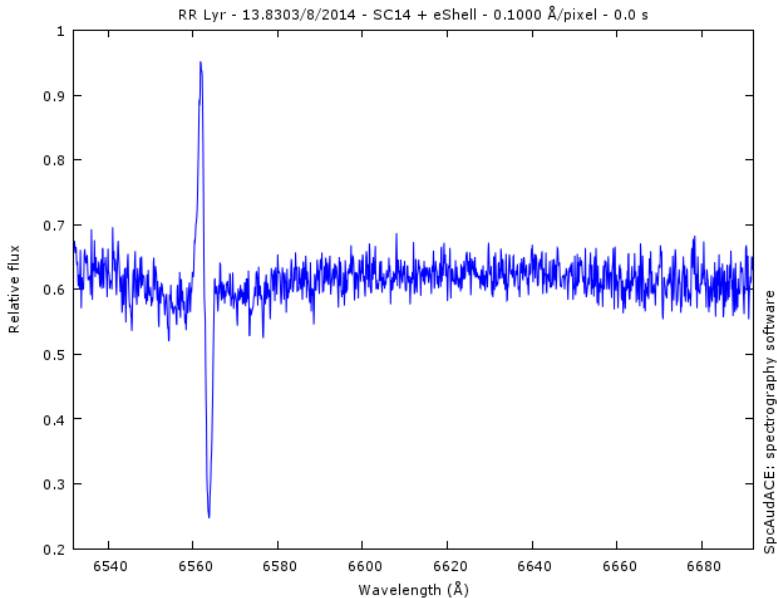
Un exemple de spectre de RR Lyræ



Un exemple de vrai spectre de RR Lyræ !



Un exemple de spectre au T035



État des lieux des données recueillies

État des lieux des données recueillies

Gestion de données
très hétérogènes

Toutes les données
sont-elles
exploitables ?

Procédures
d'analyse des
spectres recueillis

État des lieux des données recueillies

- Un nombre impressionnant de spectres sur 3 ans :

État des lieux des données recueillies

- Un nombre impressionnant de spectres sur 3 ans :
 - ▶ T152 : 450 spectres

État des lieux des
données recueillies

Gestion de données
très hétérogènes

Toutes les données
sont-elles
exploitables ?

Procédures
d'analyse des
spectres recueillis

État des lieux des données recueillies

État des lieux des
données recueillies

Gestion de données
très hétérogènes

Toutes les données
sont-elles
exploitables ?

Procédures
d'analyse des
spectres recueillis

- Un nombre impressionnant de spectres sur 3 ans :
 - ▶ T152 : 450 spectres
 - ▶ T. Garrel : 1080 spectres

État des lieux des données recueillies

État des lieux des
données recueillies

Gestion de données
très hétérogènes

Toutes les données
sont-elles
exploitables ?

Procédures
d'analyse des
spectres recueillis

- Un nombre impressionnant de spectres sur 3 ans :
 - ▶ T152 : 450 spectres
 - ▶ T. Garrel : 1080 spectres
 - ▶ B. Mauclaire : 260 spectres

État des lieux des données recueillies

État des lieux des
données recueillies

Gestion de données
très hétérogènes

Toutes les données
sont-elles
exploitables ?

Procédures
d'analyse des
spectres recueillis

- Un nombre impressionnant de spectres sur 3 ans :
 - ▶ T152 : 450 spectres
 - ▶ T. Garrel : 1080 spectres
 - ▶ B. Mauclaire : 260 spectres
 - ▶ Et tant d'autres participants...

État des lieux des données recueillies

État des lieux des
données recueillies

Gestion de données
très hétérogènes

Toutes les données
sont-elles
exploitables ?

Procédures
d'analyse des
spectres recueillis

- Un nombre impressionnant de spectres sur 3 ans :
 - ▶ T152 : 450 spectres
 - ▶ T. Garrel : 1080 spectres
 - ▶ B. Mauclaire : 260 spectres
 - ▶ Et tant d'autres participants...
 - ▶ TOTAL : **2800 spectres** individuels !

État des lieux des données recueillies

État des lieux des
données recueillies

Gestion de données
très hétérogènes

Toutes les données
sont-elles
exploitables ?

Procédures
d'analyse des
spectres recueillis

- Un nombre impressionnant de spectres sur 3 ans :
 - ▶ T152 : 450 spectres
 - ▶ T. Garrel : 1080 spectres
 - ▶ B. Mauclaire : 260 spectres
 - ▶ Et tant d'autres participants...
 - ▶ TOTAL : **2800 spectres** individuels !
- Un grand élan collectif des amateurs pour percer le mystère de l'effet Blazhko

État des lieux des données recueillies

État des lieux des
données recueillies

Gestion de données
très hétérogènes

Toutes les données
sont-elles
exploitables ?

Procédures
d'analyse des
spectres recueillis

- Un nombre impressionnant de spectres sur 3 ans :
 - ▶ T152 : 450 spectres
 - ▶ T. Garrel : 1080 spectres
 - ▶ B. Mauclaire : 260 spectres
 - ▶ Et tant d'autres participants...
 - ▶ TOTAL : **2800 spectres** individuels !
- Un grand élan collectif des amateurs pour percer le mystère de l'effet Blazhko
- Mais plus d'un an et demi pour mettre la main dessus !

État des lieux des données recueillies

État des lieux des
données recueillies

Gestion de données
très hétérogènes

Toutes les données
sont-elles
exploitables ?

Procédures
d'analyse des
spectres recueillis

- Un nombre impressionnant de spectres sur 3 ans :
 - ▶ T152 : 450 spectres
 - ▶ T. Garrel : 1080 spectres
 - ▶ B. Mauclaire : 260 spectres
 - ▶ Et tant d'autres participants...
 - ▶ TOTAL : **2800 spectres** individuels !
- Un grand élan collectif des amateurs pour percer le mystère de l'effet Blazhko
- Mais plus d'un an et demi pour mettre la main dessus !
- Cependant tous les spectres sont-ils exploitables ?

2. Gestion de données très hétérogènes

Gestion de données très hétérogènes

État des lieux des
données recueillies

Gestion de données
très hétérogènes

Toutes les données
sont-elles
exploitables ?

Procédures
d'analyse des
spectres recueillis

Gestion de données très hétérogènes

- Une grande disparité dans le SNR

État des lieux des
données recueillies

Gestion de données
très hétérogènes

Toutes les données
sont-elles
exploitables ?

Procédures
d'analyse des
spectres recueillis

Gestion de données très hétérogènes

- Une grande disparité dans le SNR
- Spectres du T152 :

Gestion de données très hétérogènes

- Une grande disparité dans le SNR
- Spectres du T152 :
 - ▶ Spectres acquis parfois en mode 2D, parfois 1D

Gestion de données très hétérogènes

- Une grande disparité dans le SNR
- Spectres du T152 :
 - ▶ Spectres acquis parfois en mode 2D, parfois 1D
 - ▶ Beaucoup de cospics souvent mal placés

Gestion de données très hétérogènes

- Une grande disparité dans le SNR
- Spectres du T152 :
 - ▶ Spectres acquis parfois en mode 2D, parfois 1D
 - ▶ Beaucoup de cosmics souvent mal placés
 - ▶ Calibration en longueur d'onde parfois délicate :
plantage PC acquisition, technicien distrait par nos bouteilles...

Gestion de données très hétérogènes

- Une grande disparité dans le SNR
- Spectres du T152 :
 - ▶ Spectres acquis parfois en mode 2D, parfois 1D
 - ▶ Beaucoup de cosmics souvent mal placés
 - ▶ Calibration en longueur d'onde parfois délicate :
plantage PC acquisition, technicien distrait par nos bouteilles...
- La contrainte fut sévère : échantillonnage temporel de 3 à 10 minutes et Mag $V \sim 7$!

Gestion de données très hétérogènes

- Une grande disparité dans le SNR
- Spectres du T152 :
 - ▶ Spectres acquis parfois en mode 2D, parfois 1D
 - ▶ Beaucoup de cosmics souvent mal placés
 - ▶ Calibration en longueur d'onde parfois délicate :
plantage PC acquisition, technicien distrait par
nos bouteilles. . .
- La contrainte fut sévère : échantillonnage temporel
de 3 à 10 minutes et Mag $V \sim 7$!
- Tri des spectres parmi une grande quantité

Gestion de données très hétérogènes

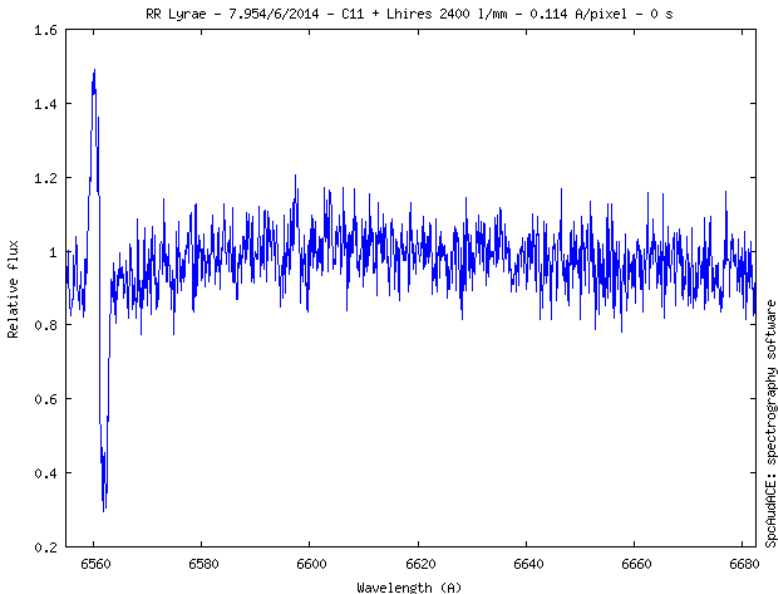
- Une grande disparité dans le SNR
- Spectres du T152 :
 - ▶ Spectres acquis parfois en mode 2D, parfois 1D
 - ▶ Beaucoup de cosmics souvent mal placés
 - ▶ Calibration en longueur d'onde parfois délicate :
plantage PC acquisition, technicien distrait par nos bouteilles...
- La contrainte fut sévère : échantillonnage temporel de 3 à 10 minutes et Mag $V \sim 7$!
- Tri des spectres parmi une grande quantité
- Nécessité de réduire l'information au nécessaire :
filtrage de Savitzky-Golay

Gestion de données très hétérogènes

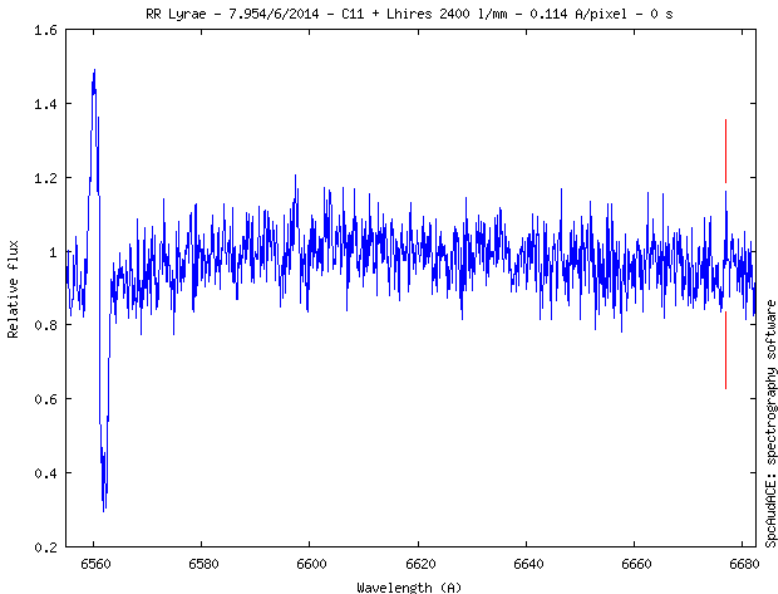
- Une grande disparité dans le SNR
- Spectres du T152 :
 - ▶ Spectres acquis parfois en mode 2D, parfois 1D
 - ▶ Beaucoup de cosmics souvent mal placés
 - ▶ Calibration en longueur d'onde parfois délicate :
plantage PC acquisition, technicien distrait par nos bouteilles...
- La contrainte fut sévère : échantillonnage temporel de 3 à 10 minutes et Mag $V \sim 7$!
- Tri des spectres parmi une grande quantité
- Nécessité de réduire l'information au nécessaire :
filtrage de Savitzky-Golay
- **Cela coûtera des bières !**

3. Toutes les données sont-elles exploitables ?

Un détail dans le bruit

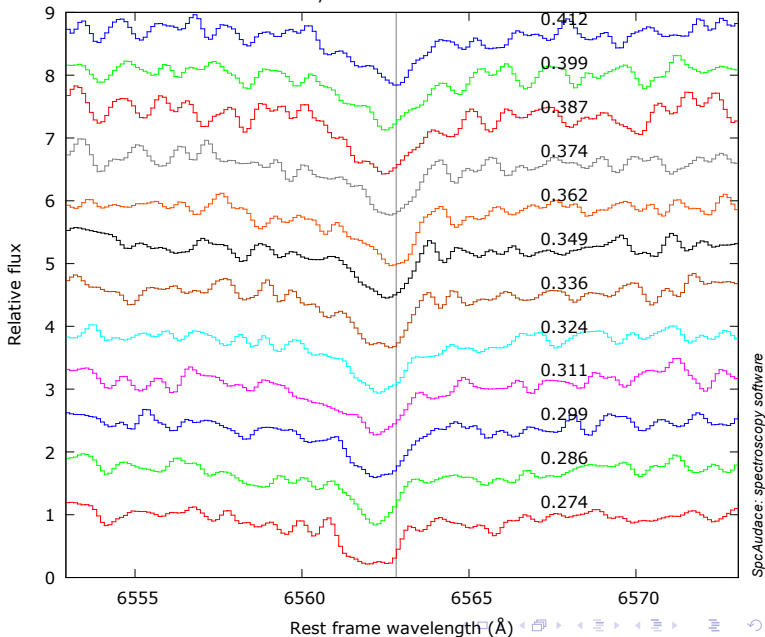


Un détail repérable si on le connaît

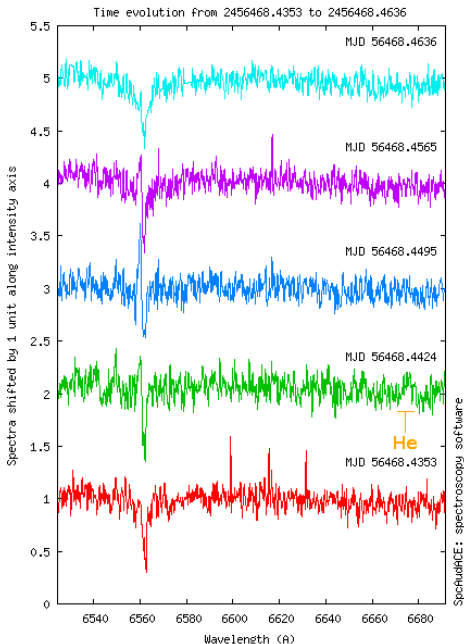


Ce que l'on recherche subit le bruit : T030

Time evolution of RR Lyrae from 2456555.3649 to 2456555.4430



Encore le bruit : T030



4. Procédures d'analyse des spectres recueillis

Procédures d'analyse des spectres recueillis

État des lieux des
données recueillies

Gestion de données
très hétérogènes

Toutes les données
sont-elles
exploitables ?

Procédures
d'analyse des
spectres recueillis

Procédures d'analyse des spectres recueillis

1. Recherche des spectres correspondant à la phase d'intérêt : `bm_findsphase 0.88 0.94`

Procédures d'analyse des spectres recueillis

1. Recherche des spectres correspondant à la phase d'intérêt : `bm_findsphase 0.88 0.94`
2. Recherche des spectres contenant la raie d'intérêt : `bm_findlzone 6563`

Procédures d'analyse des spectres recueillis

1. Recherche des spectres correspondant à la phase d'intérêt : `bm_findsphase 0.88 0.94`

2. Recherche des spectres contenant la raie d'intérêt :
`bm_findlzone 6563`

3. Correction de la vitesse héliocentrique :

```
bm_cmd "spc_corrvelio %s 6562.82 19 25 27.913 42 4
```

Procédures d'analyse des spectres recueillis

1. Recherche des spectres correspondant à la phase d'intérêt : `bm_findsphase 0.88 0.94`
2. Recherche des spectres contenant la raie d'intérêt :
`bm_findlzone 6563`
3. Correction de la vitesse héliocentrique :
`bm_cmd "spc_corrvehelio %s 6562.82 19 25 27.913 42 4"`
4. Passage dans le référentiel barycentrique de l'étoile :
`bm_cmd "spc_calibredecal %s -0.154"`

Procédures d'analyse des spectres recueillis

1. Recherche des spectres correspondant à la phase d'intérêt : `bm_findsphase 0.88 0.94`
2. Recherche des spectres contenant la raie d'intérêt : `bm_findlzone 6563`
3. Correction de la vitesse héliocentrique :
`bm_cmd "spc_corrvehelio %s 6562.82 19 25 27.913 42 4"`
4. Passage dans le référentiel barycentrique de l'étoile :
`bm_cmd "spc_calibredecal %s -0.154"`
5. Filtrage : le bruit n'est pas une information nécessaire
`bm_cmd "spc_smoothsg %s 6"`

Procédures d'analyse des spectres recueillis

1. Recherche des spectres correspondant à la phase d'intérêt : `bm_findsphase 0.88 0.94`
2. Recherche des spectres contenant la raie d'intérêt :
`bm_findlzone 6563`
3. Correction de la vitesse héliocentrique :
`bm_cmd "spc_corrvehelio %s 6562.82 19 25 27.913 42 4"`
4. Passage dans le référentiel barycentrique de l'étoile :
`bm_cmd "spc_calibredecal %s -0.154"`
5. Filtrage : le bruit n'est pas une information nécessaire
`bm_cmd "spc_smoothsg %s 6"`
6. Normalisation : `bm_cmd "spc_autonorma %s"`

Procédures d'analyse des spectres recueillis

Calcul de la phase de pulsation et Blazhko

État des lieux des
données recueillies

Gestion de données
très hétérogènes

Toutes les données
sont-elles
exploitables ?

Procédures
d'analyse des
spectres recueillis

Procédures d'analyse des spectres recueillis

Calcul de la phase de pulsation et Blazhko

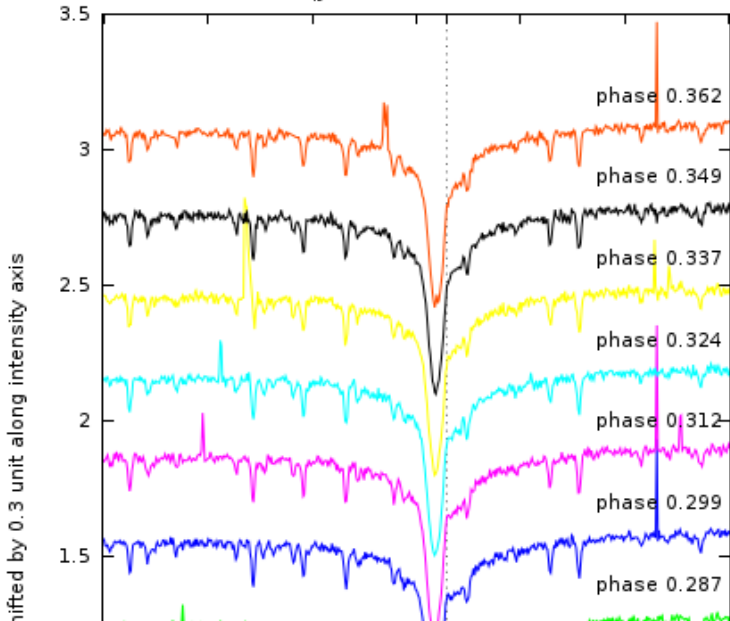
Fonction *bm_rrlyrjd2p* :

```
#--- Phase de pulsation :
#-- Gillet ephem 20150715 : HJD(max.)=2,456,578.450+0.56683561xE
set jd0p 2456578.450
set periodep 0.56683561
...
#--- Adapte l'ephem Blazhko selon l'annee : >=2014 Kolenberg
if { $jdate>=2456680 } {
  #-- Kolenberg et al. 2011, utilisee dans "First He detect"
  set jd0b 2455040.0
  set periodeb 39.1
} else {
  #-- Gillet ephem 20150715 : HJD(max.)=2,456,578.450+0.56683561xE
  set jd0p 2456578.450
  set periodep 0.56683561
}
#--- Phase de pulsation :
set phasep [ expr fmod(($jdate-$jd0p)/$periodep,1.) ]
if { $phasep<0 } { set phasep [ expr $phasep+1. ] }

#--- Phase Blazkho :
set phaseb [ expr fmod(($jdate-$jd0b)/$periodeb,1.) ]
if { $phaseb<0 } { set phaseb [ expr $phaseb+1. ] }
```

Puis, recherche du loup dans les données

Time evolution of rryr from 2456915.3059 to 2456915.3554



RR Lyræ :
AudeLa des
observations
spectroscopiques
2012-2015

B. MAUCLAIRE

État des lieux des
données recueillies

Gestion de données
très hétérogènes

Toutes les données
sont-elles
exploitables ?

Procédures
d'analyse des
spectres recueillis

Partie B :

Origine physique de quelques phénomènes

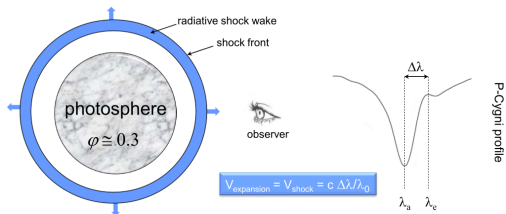
3^e émission de H_{α} : explication

3^e émission de
 H_{α} : explication

He II 4686 Å :
explication

RR Lyræ, une
histoire pas si
simple

3^e émission de H α : explication

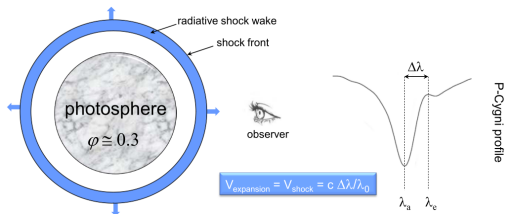


3^e émission de
H α : explication

He II 4686 Å :
explication

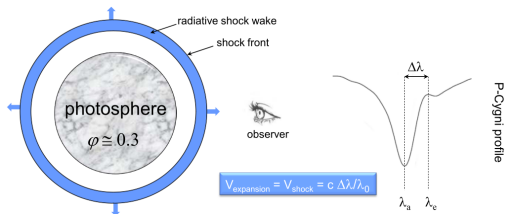
RR Lyræ, une
histoire pas si
simple

3^e émission de H_{α} : explication



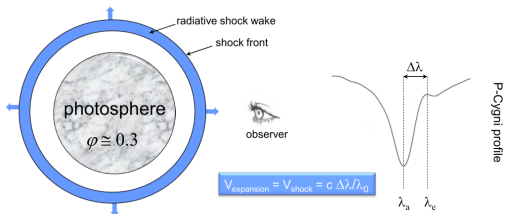
- À $\varphi \simeq 0.9$: le front de l'onde de choc est proche de la photosphère

3^e émission de H_{α} : explication



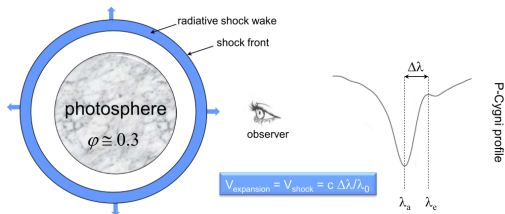
- À $\varphi \simeq 0.9$: le front de l'onde de choc est proche de la photosphère
- À $\varphi \simeq 0.3$: le front de l'onde de choc s'est détaché de la photosphère

3^e émission de H_{α} : explication



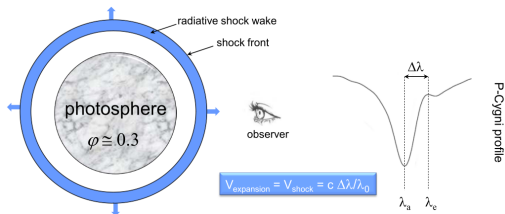
- À $\varphi \simeq 0.9$: le front de l'onde de choc est proche de la photosphère
- À $\varphi \simeq 0.3$: le front de l'onde de choc s'est détaché de la photosphère
- La coquille en expansion est la couche du choc dans laquelle la 3^e émission de la raie H_{α} se forme

3^e émission de H_α : explication



- À $\varphi \simeq 0.9$: le front de l'onde de choc est proche de la photosphère
- À $\varphi \simeq 0.3$: le front de l'onde de choc s'est détaché de la photosphère
- La coquille en expansion est la couche du choc dans laquelle la 3^e émission de la raie H_α se forme
- La photosphère produit toujours une contribution en absorption de la raie H_α

3^e émission de H_{α} : explication



- À $\varphi \simeq 0.9$: le front de l'onde de choc est proche de la photosphère
- À $\varphi \simeq 0.3$: le front de l'onde de choc s'est détaché de la photosphère
- La coquille en expansion est la couche du choc dans laquelle la 3^e émission de la raie H_{α} se forme
- La photosphère produit toujours une contribution en absorption de la raie H_{α}
- La somme des 2 contributions = **profil P-Cygni**

He II 4686 Å : explication

3^e émission de
H_α : explication

He II 4686 Å :
explication

RR Lyræ, une
histoire pas si
simple

He II 4686 Å : explication

3^e émission de
H α : explication

He II 4686 Å :
explication

RR Lyræ, une
histoire pas si
simple

- Argument supplémentaire - la phase Blazhko $\simeq 0$:
 $\phi_{2014/08/13} = 0.14$

He II 4686 Å : explication

3^e émission de
 H_{α} : explication

He II 4686 Å :
explication

RR Lyræ, une
histoire pas si
simple

- Argument supplémentaire - la phase Blazhko $\simeq 0$:
 $\phi_{2014/08/13} = 0.14$
- He II 4686 Å apparaît lorsque l'onde de choc est
très intense (Gillet 2014 : aa22938-13)

He II 4686 Å : explication

3^e émission de
H α : explication

He II 4686 Å :
explication

RR Lyræ, une
histoire pas si
simple

- Argument supplémentaire - la phase Blazhko $\simeq 0$:
 $\phi_{2014/08/13} = 0.14$
- He II 4686 Å apparaît lorsque l'onde de choc est très intense (Gillet 2014 : aa22938-13)
- Son apparition est rare et nécessite $T \sim 40\,000$ K!

He II 4686 Å : explication

3^e émission de
H α : explication

He II 4686 Å :
explication

RR Lyræ, une
histoire pas si
simple

- Argument supplémentaire - la phase Blazhko $\simeq 0$:
 $\phi_{2014/08/13} = 0.14$
- He II 4686 Å apparaît lorsque l'onde de choc est très intense (Gillet 2014 : aa22938-13)
- Son apparition est rare et nécessite $T \sim 40\,000$ K !
- Mais aussi une densité suffisante ($\sim 100\times$ couche devant le choc) dans la couche du choc (qqs km)

He II 4686 Å : explication

3^e émission de
H α : explication

He II 4686 Å :
explication

RR Lyræ, une
histoire pas si
simple

- Argument supplémentaire - la phase Blazhko $\simeq 0$:
 $\phi_{2014/08/13} = 0.14$
- He II 4686 Å apparaît lorsque l'onde de choc est très intense (Gillet 2014 : aa22938-13)
- Son apparition est rare et nécessite $T \sim 40\,000$ K !
- Mais aussi une densité suffisante ($\sim 100\times$ couche devant le choc) dans la couche du choc (qqs km)
- Ces conditions sont décrites par un mécanisme d'amplification des chocs (Gillet 2013)

RR Lyræ, une histoire pas si simple

3^e émission de
 H_{α} : explication

He II 4686 Å :
explication

RR Lyræ, une
histoire pas si
simple

RR Lyræ, une histoire pas si simple

- L'effet Blazkho est un phénomène photométrique uniquement observationnel

RR Lyræ, une histoire pas si simple

- L'effet Blazkho est un phénomène photométrique uniquement observationnel
- À ce jour : des modèles de pulsations mais pas de prédiction fiables des modulations

RR Lyræ, une histoire pas si simple

- L'effet Blazkho est un phénomène photométrique uniquement observationnel
- À ce jour : des modèles de pulsations mais pas de prédictions fiables des modulations
- He I plus difficile à exciter que ioniser II 4686

RR Lyræ, une histoire pas si simple

- L'effet Blazkho est un phénomène photométrique uniquement observationnel
- À ce jour : des modèles de pulsations mais pas de prédictions fiables des modulations
- He I plus difficile à exciter que ioniser II 4686
- Des constats restent inexplicables :

RR Lyræ, une histoire pas si simple

- L'effet Blazkho est un phénomène photométrique uniquement observationnel
- À ce jour : des modèles de pulsations mais pas de prédictions fiables des modulations
- He I plus difficile à exciter que ioniser II 4686
- Des constats restent inexplicables :
 - ▶ éphémérides

RR Lyræ, une histoire pas si simple

- L'effet Blazkho est un phénomène photométrique uniquement observationnel
- À ce jour : des modèles de pulsations mais pas de prédiction fiables des modulations
- He I plus difficile à exciter que ioniser II 4686
- Des constats restent inexplicés :
 - ▶ éphémérides
 - ▶ dédoublement de Fe II et pas de Fe I

RR Lyræ, une histoire pas si simple

- L'effet Blazkho est un phénomène photométrique uniquement observationnel
- À ce jour : des modèles de pulsations mais pas de prédiction fiables des modulations
- He I plus difficile à exciter que ioniser II 4686
- Des constats restent inexplicés :
 - ▶ éphémérides
 - ▶ dédoublement de Fe II et pas de Fe I
 - ▶ excès B-V
 - ▶ ...

RR Lyræ, une histoire pas si simple

- L'effet Blazkho est un phénomène photométrique uniquement observationnel
- À ce jour : des modèles de pulsations mais pas de prédiction fiables des modulations
- He I plus difficile à exciter que ioniser II 4686
- Des constats restent inexplicés :
 - ▶ éphémérides
 - ▶ dédoublement de Fe II et pas de Fe I
 - ▶ excès B-V
 - ▶ ...

RR Lyræ, une histoire pas si simple

- L'effet Blazkho est un phénomène photométrique uniquement observationnel
- À ce jour : des modèles de pulsations mais pas de prédictions fiables des modulations
- He I plus difficile à exciter que ioniser II 4686
- Des constats restent inexplicables :
 - ▶ éphémérides
 - ▶ dédoublement de Fe II et pas de Fe I
 - ▶ excès B-V
 - ▶ ...
- L'effet Blazhko est complexe et probablement de nature ératique

Partie C :

RR Lyræ a-t-elle atteint un maximum d'émission ?

1. Bilan de l'étude des maxima

1. Bilan de l'étude des maxima

- Les maxima de pulsation varient-ils d'amplitude ?

1. Bilan de l'étude des maxima

- Les maxima de pulsation varient-ils d'amplitude ?
- Y'a-t-il eut des maxima particulièrement intenses qui ont poncté les cycles de pulsation de RR Lyræ ?

1. Bilan de l'étude des maxima

- Les maxima de pulsation varient-ils d'amplitude ?
- Y'a-t-il eut des maxima particulièrement intenses qui ont poncté les cycles de pulsation de RR Lyræ ?
- L'étude reste à faire et pourrait produire des résultats inédits

1. Bilan de l'étude des maxima

- Les maxima de pulsation varient-ils d'amplitude ?
- Y'a-t-il eut des maxima particulièrement intenses qui ont poncté les cycles de pulsation de RR Lyræ ?
- L'étude reste à faire et pourrait produire des résultats inédits
- À suivre...

Partie D :

D'autres étoiles pulsent et nous attendent

Les autres cibles

σ Scorpii
BW Vulpecula
X Cygni

Protocole
d'observation

Conclusion

1. Les autres cibles

Les autres cibles

σ Scorpii :

Les autres cibles

σ Scorpii

BW Vulpecula

X Cygni

Protocole
d'observation

Conclusion

Les autres cibles

σ Scorpii :

- Pulsante de type β Cep

Les autres cibles

σ Scorpii :

- Pulsante de type β Cep
- $\langle MagV \rangle = 2.9$

Les autres cibles

σ Scorpii :

- Pulsante de type β Cep
- $\langle MagV \rangle = 2.9$
- $\alpha = 16\ 21\ 11.316, \delta = -25\ 35\ 34.05$

Les autres cibles

σ Scorpii :

- Pulsante de type β Cep
- $\langle MagV \rangle = 2.9$
- $\alpha = 16\ 21\ 11.316$, $\delta = -25\ 35\ 34.05$
- Système double : O9.5(V)+B7(V)

Les autres cibles

σ Scorpii :

- Pulsante de type β Cep
- $\langle MagV \rangle = 2.9$
- $\alpha = 16\ 21\ 11.316$, $\delta = -25\ 35\ 34.05$
- Système double : O9.5(V)+B7(V)
- Période très rapide : $T_0 = 5.9$ h (5.9241 h ; 0.246839 d)

Les autres cibles

σ Scorpii :

- Pulsante de type β Cep
- $\langle MagV \rangle = 2.9$
- $\alpha = 16\ 21\ 11.316$, $\delta = -25\ 35\ 34.05$
- Système double : O9.5(V)+B7(V)
- Période très rapide : $T_0 = 5.9$ h (5.9241 h ; 0.246839 d)
- Influence de la binarité sur l'amplitude des pulsations : deux ondes de choc par période de pulsation

Les autres cibles

σ Scorpii :

- Pulsante de type β Cep
- $\langle MagV \rangle = 2.9$
- $\alpha = 16\ 21\ 11.316$, $\delta = -25\ 35\ 34.05$
- Système double : O9.5(V)+B7(V)
- Période très rapide : $T_0 = 5.9$ h (5.9241 h ; 0.246839 d)
- Influence de la binarité sur l'amplitude des pulsations : deux ondes de choc par période de pulsation
- Effets de marée sur le κ -mécanisme de l'étoile

Les autres cibles

σ Scorpii :

- Pulsante de type β Cep
- $\langle MagV \rangle = 2.9$
- $\alpha = 16\ 21\ 11.316$, $\delta = -25\ 35\ 34.05$
- Système double : O9.5(V)+B7(V)
- Période très rapide : $T_0 = 5.9$ h (5.9241 h ; 0.246839 d)
- Influence de la binarité sur l'amplitude des pulsations : deux ondes de choc par période de pulsation
- Effets de marée sur le κ -mécanisme de l'étoile
- Voir P. Mathias (P. Mathias et al. 1991)

Les autres cibles

σ Scorpii :

- Pulsante de type β Cep
- $\langle MagV \rangle = 2.9$
- $\alpha = 16\ 21\ 11.316$, $\delta = -25\ 35\ 34.05$
- Système double : O9.5(V)+B7(V)
- Période très rapide : $T_0 = 5.9$ h (5.9241 h ; 0.246839 d)
- Influence de la binarité sur l'amplitude des pulsations : deux ondes de choc par période de pulsation
- Effets de marée sur le κ -mécanisme de l'étoile
- Voir P. Mathias (P. Mathias et al. 1991)
- Étude :
 - ▶ Quelle est l'influence de l'effet de marée sur l'intensité de la pulsation ?

Les autres cibles

σ Scorpii :

- Pulsante de type β Cep
- $\langle MagV \rangle = 2.9$
- $\alpha = 16\ 21\ 11.316$, $\delta = -25\ 35\ 34.05$
- Système double : O9.5(V)+B7(V)
- Période très rapide : $T_0 = 5.9$ h (5.9241 h ; 0.246839 d)
- Influence de la binarité sur l'amplitude des pulsations : deux ondes de choc par période de pulsation
- Effets de marée sur le κ -mécanisme de l'étoile
- Voir P. Mathias (P. Mathias et al. 1991)
- Étude :
 - ▶ Quelle est l'influence de l'effet de marée sur l'intensité de la pulsation ?
 - ▶ Est-ce que la période des maxima reste la même ?

σ Sco

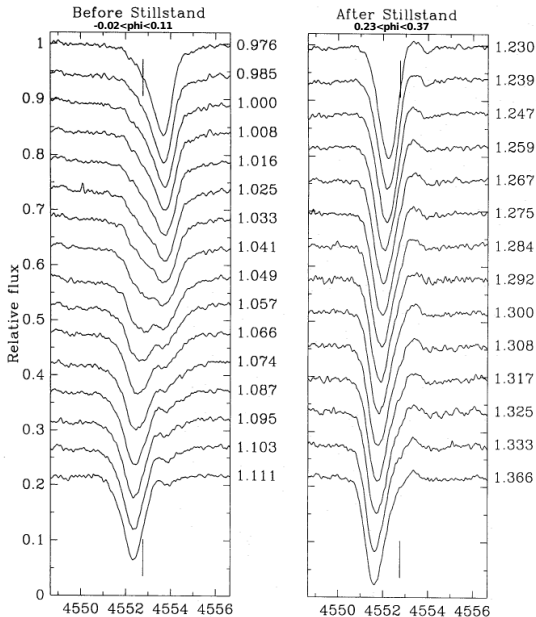
Le κ -mécanisme :

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).

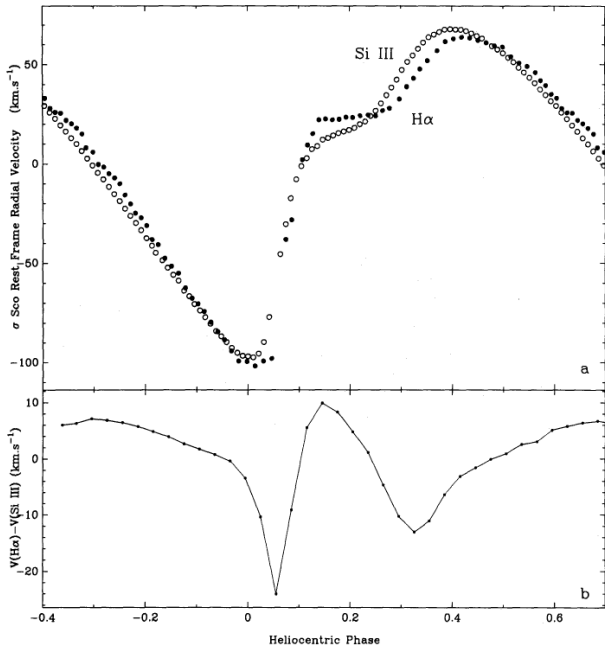
En résumé, lors de la compression, de l'énergie est stockée sous forme potentielle via l'ionisation d'un élément particulier (H, He ou, pour les β Céphéides en particulier, les éléments métalliques, et plus spécialement le fer), et cette énergie est relâchée lors de l'expansion avec juste ce qu'il faut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

P. Mathias

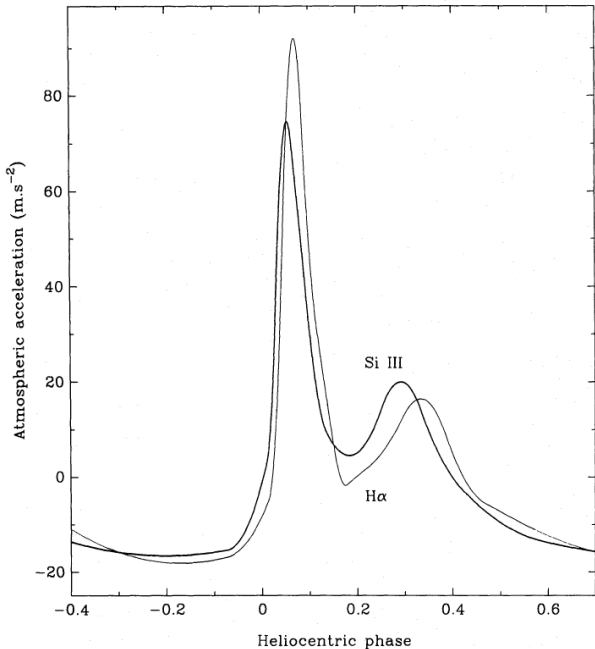
Time series de la raie Si III 4553



Évolution de Vradiale de Si III et H α



Évolution de l'accélération de Si III et H α



Les autres cibles

BW Vulpecula :

Les autres cibles

σ Scorpii

BW Vulpecula

X Cygni

Protocole
d'observation

Conclusion

Les autres cibles

BW Vulpecula :

- Pulsante de type β CMa : des ondes parcourent sa surface

Les autres cibles

BW Vulpecula :

- Pulsante de type β CMa : des ondes parcourent sa surface
- Étoile chaude de type B2III (V) : B1III-B2IIIeaV

Les autres cibles

BW Vulpecula :

- Pulsante de type β CMa : des ondes parcourent sa surface
- Étoile chaude de type B2III (V) : B1III-B2IIIeaV
- $\langle MagV \rangle = 6.5$

Les autres cibles

BW Vulpecula :

- Pulsante de type β CMa : des ondes parcourent sa surface
- Étoile chaude de type B2III (V) : B1III-B2IIIeaV
- $\langle MagV \rangle = 6.5$
- $\alpha = 20\ 54\ 22.395$, $\delta = +28\ 31\ 19.19$

Les autres cibles

BW Vulpecula :

- Pulsante de type β CMa : des ondes parcourent sa surface
- Étoile chaude de type B2III (V) : B1III-B2IIIeaV
- $\langle MagV \rangle = 6.5$
- $\alpha = 20\ 54\ 22.395$, $\delta = +28\ 31\ 19.19$
- Période de pulsation très rapide : $T_0 = 4.8\ \text{h}$ (0.20104117 d ; 4.824988 h)

Les autres cibles

BW Vulpecula :

- Pulsante de type β CMa : des ondes parcourent sa surface
- Étoile chaude de type B2III (V) : B1III-B2IIIeaV
- $\langle MagV \rangle = 6.5$
- $\alpha = 20\ 54\ 22.395$, $\delta = +28\ 31\ 19.19$
- Période de pulsation très rapide : $T_0 = 4.8\ \text{h}$ (0.20104117 d ; 4.824988 h)
- Les chocs lors des pulsations sont énormes :
 $V_{onde} = 200\ \text{km s}^{-1}$

Les autres cibles

BW Vulpecula :

- Pulsante de type β CMa : des ondes parcourent sa surface
- Étoile chaude de type B2III (V) : B1III-B2IIIeaV
- $\langle MagV \rangle = 6.5$
- $\alpha = 20\ 54\ 22.395$, $\delta = +28\ 31\ 19.19$
- Période de pulsation très rapide : $T_0 = 4.8\ \text{h}$ (0.20104117 d ; 4.824988 h)
- Les chocs lors des pulsations sont énormes :
 $V_{onde} = 200\ \text{km s}^{-1}$
- Étude : est-ce que la période des maxima reste la même ?

Time series sur BW Vul (D. Gillet)

Comparaison 15/08 – 20/08

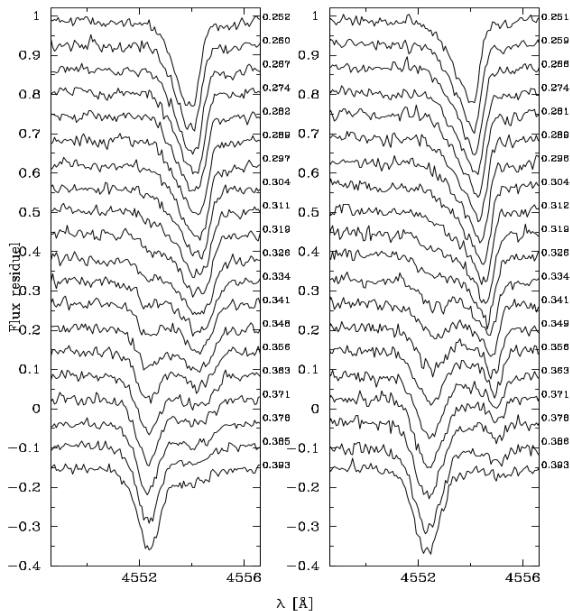
B. MAUCLAIRE

Les autres cibles

σ Scorpii
BW Vulpecula
X Cygni

Protocole
d'observation

Conclusion



Évolution de la Vrad de la raie Si III 4553

RR Lyræ :
AudeLa des
observations
spectroscopiques
2012-2015

B. MAUCLAIRE

Les autres cibles

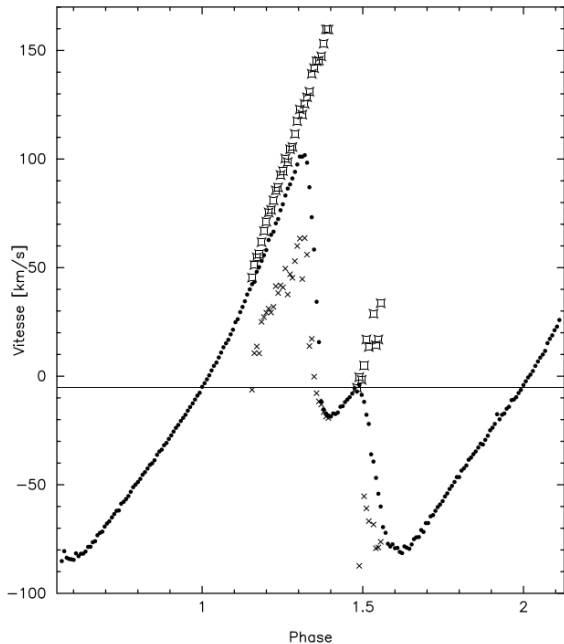
σ Scorpii

BW Vulpecula

X Cygni

Protocole
d'observation

Conclusion



Les autres cibles

X Cygni :

Les autres cibles

σ Scorpii

BW Vulpecula

X Cygni

Protocole
d'observation

Conclusion

Les autres cibles

X Cygni :

- Céphéide de type δ Ceph

Les autres cibles

X Cygni :

- Céphéide de type δ Ceph
- De type spectral F7Ib : possède de nombreuses raies métalliques

Les autres cibles

X Cygni :

- Céphéide de type δ Ceph
- De type spectral F7Ib : possède de nombreuses raies métalliques
- $\langle MagV \rangle = 6.5$

Les autres cibles

X Cygni :

- Céphéide de type δ Ceph
- De type spectral F7Ib : possède de nombreuses raies métalliques
- $\langle MagV \rangle = 6.5$
- $\alpha = 20\ 43\ 24.192$, $\delta = +35\ 35\ 16.08$

Les autres cibles

X Cygni :

- Céphéide de type δ Ceph
- De type spectral F7Ib : possède de nombreuses raies métalliques
- $\langle MagV \rangle = 6.5$
- $\alpha = 20\ 43\ 24.192$, $\delta = +35\ 35\ 16.08$
- Période $T_0 = 16.39$ jours

Les autres cibles

X Cygni :

- Céphéide de type δ Ceph
- De type spectral F7Ib : possède de nombreuses raies métalliques
- $\langle MagV \rangle = 6.5$
- $\alpha = 20\ 43\ 24.192$, $\delta = +35\ 35\ 16.08$
- Période $T_0 = 16.39$ jours
- Pulsations d'amplitude importante : $\Delta V_{mag} = 5.8-7.6$; l'atmosphère va loin

X Cygni : effet Schwarzschild

B. MAUCLAIRE

Les autres cibles

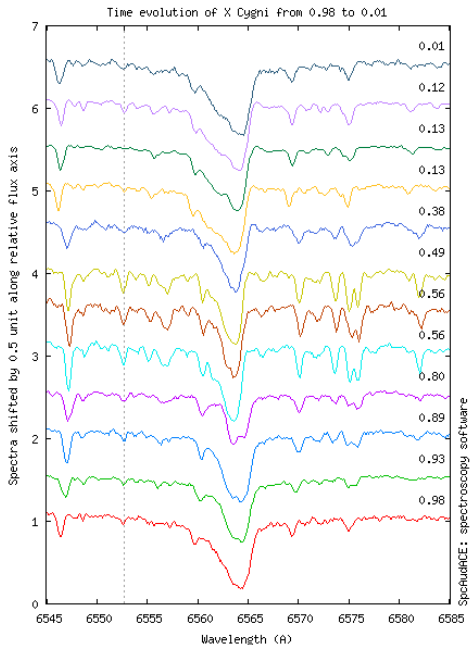
σ Scorpii

BW Vulpecula

X Cygni

Protocole
d'observation

Conclusion



Les autres cibles

X Cygni :

Les autres cibles

σ Scorpii

BW Vulpecula

X Cygni

Protocole
d'observation

Conclusion

Les autres cibles

X Cygni :

- Elle est sujette à la manifestation de l'effet Schwarzschild [Schwarzschild 1983] :

Les autres cibles

X Cygni :

- Elle est sujette à la manifestation de l'effet Schwarzschild [Schwarzschild 1983] :
 - ▶ Dédoublément des raies, notamment de H_{α} ;

Les autres cibles

X Cygni :

- Elle est sujette à la manifestation de l'effet Schwarzschild [Schwarzschild 1983] :
 - ▶ Dédoublément des raies, notamment de H_{α} ;
 - ▶ Émissions dans les raies métalliques (partout autour de H_{α}) ;

Les autres cibles

X Cygni :

- Elle est sujette à la manifestation de l'effet Schwarzschild [Schwarzschild 1983] :
 - ▶ Dédoublément des raies, notamment de H_{α} ;
 - ▶ Émissions dans les raies métalliques (partout autour de H_{α}) ;
 - ▶ Présence de profils P-Cygni inverses non permanents autour de la phase 0,458.

Les autres cibles

X Cygni :

- Elle est sujette à la manifestation de l'effet Schwarzschild [Schwarzschild 1983] :
 - ▶ Dédoublément des raies, notamment de H_{α} ;
 - ▶ Émissions dans les raies métalliques (partout autour de H_{α}) ;
 - ▶ Présence de profils P-Cygni inverses non permanents autour de la phase 0,458.
- Étude : est-ce que la période des maxima reste la même ?

2. Protocole d'observation

Les autres cibles : protocole

σ Scorpii :

Les autres cibles

Protocole
d'observation

σ Scorpii

BW Vulpecula

X Cygni

Conclusion

Les autres cibles : protocole

σ Scorpii :

- Durée d'acquisition : time series de 6h

Les autres cibles : protocole

σ Scorpii :

- Durée d'acquisition : time series de 6h
- Périodicité d'acquisition : tous les jours possibles pendant 6 mois (100 cycles)

Les autres cibles : protocole

σ Scorpii :

- Durée d'acquisition : time series de 6h
- Périodicité d'acquisition : tous les jours possibles pendant 6 mois (100 cycles)
- Raies préférentielle d'étude : H_{α}

Les autres cibles : protocole

σ Scorpii :

- Durée d'acquisition : time series de 6h
- Périodicité d'acquisition : tous les jours possibles pendant 6 mois (100 cycles)
- Raies préférentielle d'étude : H_{α}
- Résolution : $\geq 10\,000$

Les autres cibles : protocole

σ Scorpii :

- Durée d'acquisition : time series de 6h
- Périodicité d'acquisition : tous les jours possibles pendant 6 mois (100 cycles)
- Raies préférentielle d'étude : H_{α}
- Résolution : $\geq 10\,000$
- SNR : ≥ 30

Les autres cibles : protocole

σ Scorpii :

- Durée d'acquisition : time series de 6h
- Périodicité d'acquisition : tous les jours possibles pendant 6 mois (100 cycles)
- Raies préférentielle d'étude : H_{α}
- Résolution : $\geq 10\,000$
- SNR : ≥ 30
- Inconvénient : très basse sur l'horizon en France

Les autres cibles : protocole

BW Vulpecula :

Les autres cibles

Protocole
d'observation

σ Scorpii

BW Vulpecula

X Cygni

Conclusion

Les autres cibles : protocole

BW Vulpecula :

- Durée d'acquisition : time series de 5h

Les autres cibles : protocole

BW Vulpecula :

- Durée d'acquisition : time series de 5h
- Périodicité d'acquisition : tous les jours possibles pendant 6 mois (100 cycles)

Les autres cibles : protocole

BW Vulpecula :

- Durée d'acquisition : time series de 5h
- Périodicité d'acquisition : tous les jours possibles pendant 6 mois (100 cycles)
- Raie préférentielle d'étude : H_{α}

Les autres cibles : protocole

BW Vulpecula :

- Durée d'acquisition : time series de 5h
- Périodicité d'acquisition : tous les jours possibles pendant 6 mois (100 cycles)
- Raie préférentielle d'étude : H_{α}
- Résolution : $\geq 10\,000$

Les autres cibles : protocole

BW Vulpecula :

- Durée d'acquisition : time series de 5h
- Périodicité d'acquisition : tous les jours possibles pendant 6 mois (100 cycles)
- Raie préférentielle d'étude : H_{α}
- Résolution : $\geq 10\,000$
- SNR : ≥ 20

Les autres cibles : protocole

X Cygni :

Les autres cibles

Protocole
d'observation

σ Scorpii
BW Vulpecula

X Cygni

Conclusion

Les autres cibles : protocole

X Cygni :

- Durée d'acquisition : 40 à 60 mins

Les autres cibles : protocole

X Cygni :

- Durée d'acquisition : 40 à 60 mins
- Périodicité d'acquisition : tous les 2 jours

Les autres cibles : protocole

X Cygni :

- Durée d'acquisition : 40 à 60 mins
- Périodicité d'acquisition : tous les 2 jours
- Raie préférentielle d'étude : H_{α}

Les autres cibles : protocole X Cygni :

- Durée d'acquisition : 40 à 60 mins
- Périodicité d'acquisition : tous les 2 jours
- Raie préférentielle d'étude : H_{α}
- Résolution : $\geq 10\,000$

Les autres cibles : protocole X Cygni :

Les autres cibles

Protocole
d'observation

σ Scorpii
BW Vulpecula
X Cygni

Conclusion

- Durée d'acquisition : 40 à 60 mins
- Périodicité d'acquisition : tous les 2 jours
- Raie préférentielle d'étude : H_{α}
- Résolution : $\geq 10\,000$
- SNR : $\simeq 100$

Les autres cibles : protocole

X Cygni :

- Durée d'acquisition : 40 à 60 mins
- Périodicité d'acquisition : tous les 2 jours
- Raie préférentielle d'étude : H_{α}
- Résolution : $\geq 10\,000$
- SNR : $\simeq 100$
- Attention : $\Delta V_{\text{mag}}=5.8-7.6!$

Conclusion

Conclusion

- Une survey est une grande aventure humaine et scientifique

Conclusion

- Une survey est une grande aventure humaine et scientifique
- Les mécanismes des pulsantes se dévoilent de plus en plus

Conclusion

- Une survey est une grande aventure humaine et scientifique
- Les mécanismes des pulsantes se dévoilent de plus en plus
- Le mystère de l'effet Blazhko datant de 100 ans montre des signes de faiblesse

Conclusion

- Une survey est une grande aventure humaine et scientifique
- Les mécanismes des pulsantes se dévoilent de plus en plus
- Le mystère de l'effet Blazhko datant de 100 ans montre des signes de faiblesse
- **Vive les pulsantes !**

Quand se montrera notre étoile. . .

