

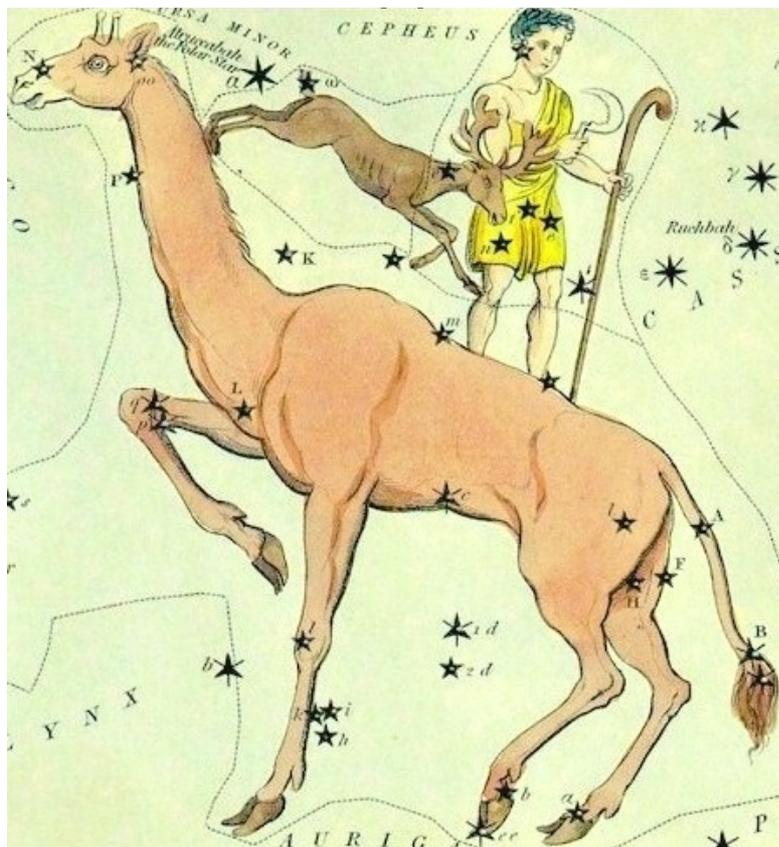
# PULSATIONS DANS LA GIRAFE

Etude de l'effet Blazhko de l'étoile variable AH Cam

LE LUEC Antoine, BUCHET Samuel et GAUTREAU Dylan

Concours C Génial

2013



# PULSATIONS DANS LA GIRAFE

Etude de l'effet Blazhko de l'étoile variable AH Cam

LE LUEC Antoine, BUCHET Samuel et GAUTREAU Dylan

2013

## Introduction

Notre projet consiste à étudier une étoile variable nommée AH Cam, de type RR Lyrae ayant une période de pulsation courte. On peut donc étudier une période de pulsation complète en une nuit. Pour l'avancement de notre projet, nous avons obtenu l'aide de l'astrophysicien Jean-François Le Borgne travaillant au laboratoire d'astrophysique de Toulouse (IRAP). Notre étude s'est portée sur la manière dont nous pouvions étudier cette étoile variable pour en déduire ses caractéristiques. Nous avons donc effectué des observations de notre étoile sur plusieurs nuits, pour acquérir et exploiter des mesures pour étudier sa variabilité.

## Remerciements

Nous remercions M. Le Borgne pour l'aide fournie tout au long de ce projet.

Jean François Le Borgne :

Astrophysicien

Observatoire de Toulouse (IRAP)

Site web : <http://www.ast.obs-mip.fr/rubrique53.html>



Nous remercions les professeurs de Physique-Chimie du lycée.

# Table des matières

1 Les étoiles	4
2 AH Cam	4
3 Acquisition	4
4 Nettoyage des clichés et création des courbes de luminosité	5
4.1 Prétraitement	5
4.2 Alignement des clichés	5
4.3 Photométrie	5
4.4 Courbes de luminosité	6
5 Exploitation des données	6
5.1 Détermination du maximum	6
5.1.1 Choix du logiciel	6
5.1.2 Utilisation de Polyreg	6
5.1.3 Détermination du maximum	7
5.2 Correction héliocentrique	7
5.3 Calcul des O-C	8
6 Essai d'interprétation	9
6.1 L'effet Blazhko	9
6.2 Comparaison avec les données des professionnels	10
6.3 Etude de la couleur de l'étoile	13
7 Conclusion	13
Bibliographie	14

## 1 Les étoiles

Les étoiles sont des objets célestes composés principalement d'hydrogène et d'hélium. On compte plusieurs types d'étoiles classés par catégories (O,B,A,F,G,K,M) en fonction de leur luminosité et de leur taille. La photométrie permet de les étudier en mesurant l'évolution du flux lumineux de l'étoile.

Il existe des étoiles variables dont la luminosité varie au cours du temps. Il y a plusieurs types d'étoiles variables classés dans différentes catégories. Parmi les variables intrinsèques, on trouve la catégorie des variables pulsantes de type RR Lyrae, dont la période est observable en une nuit.

## 2 AH Cam

Caractéristiques de l'étoile AH Cam [1] :

- Nom scientifique : GCV AH Cam (catalogue GCVS)
- Magnitude apparente : de 11.31 à 12.33
- Coordonnées J2000 :
  - $+55^{\circ} 30' 00''$
  - 04h 06m 38,9s



Fig. 1: Cliché d'AH Cam en négatif

## 3 Acquisition

Nous avons effectué 3 nuits d'acquisition par des températures pouvant atteindre jusqu'à  $-10,1^{\circ}\text{C}$  ! Il était difficile d'observer sur une nuit complète car la météo était parfois instable. Nous avons réalisé nos mesures grâce à un télescope C8, une monture CGEM et une caméra CCD ST7.

Avant de prendre nos photos, il a fallu installer le matériel :

- positionner le télescope vers le Nord
- installer la monture et le tube en équilibrant à l'aide de contre-poids
- installer la caméra CCD

Puis on lance l'acquisition.

Mais, avant cela, nous avons dû calibrer la monture avec des étoiles plus lumineuses. Ensuite, nous avons entré les coordonnées de notre étoile et nous avons recentré la monture en cas de besoin.

Après avoir calibré le télescope, la monture suit automatiquement notre étoile à l'aide d'une étoile guide. Cependant, des phénomènes perturbent l'autoguidage. Il faut donc le surveiller toute la nuit.

Pour effectuer nos mesures, nous avons utilisé un filtre vert (de 450 à 650 nm), un bleu (de 350 à 650 nm), un rouge (550 à 700 nm) et un filtre luminance (de 400 à 700 nm).



Fig. 2: Acquisition en cours

Cependant, la monture s'est désalignée lors d'une nuit suite à des problèmes de mise au point. Cela nous a fait perdre des valeurs car le réalignement a pris du temps (il en résulte quelque "trous" sur nos courbes).

Nous avons aussi dû faire face à la formation de givre sur la lame de fermeture du télescope. De plus, pour la nuit du 10/02/12, lors de la prise de la photo avec le filtre bleu, nous perdions le signal de l'étoile guide, nous avons donc décidé de réaliser les photos seulement avec le filtre luminance.

## 4 Nettoyage des clichés et création des courbes de luminosité

### 4.1 Prétraitement

Avant d'utiliser nos photos, il faut les rendre exploitables en supprimant les défauts. Cette étape est le prétraitement. [2]

Cela se déroule en plusieurs étapes. La première consiste à soustraire l'"offset" (les défauts du capteur CCD), puis on retire le "Dark" (le signal thermique de l'image), et enfin, on retire le flat, ou la PLU (les traces de poussières présentes sur l'objectif et le vignettage).

IRIS effectue ainsi le calcul :

$$\text{Image prétraitée} = \frac{\text{image brute} - \text{offset} - (\text{dark} - \text{offset})}{\text{PLU} - \text{offset}}$$

### 4.2 Alignement des clichés

Suite au prétraitement, nous devons faire l'alignement. Ce procédé consiste à modifier la position et l'orientation des images pour que l'étoile se retrouve exactement au même endroit sur chaque cliché.

### 4.3 Photométrie

Suite à cet alignement des clichés, nous devons réaliser la photométrie. Cela consiste à mesurer la luminosité de chaque pixel contenu dans une zone sélectionnée. Pour cela, nous utilisons une fonction d'IRIS appelée "photométrie d'ouverture".

## 4.4 Courbes de luminosité

Pour exploiter les données obtenues, nous utilisons un tableur.

En traçant une courbe à partir des données de flux lumineux d'AH Cam, le résultat n'est pas satisfaisant (Fig.3).

On remarque que la luminosité des étoiles de référence, censée être constante, décline au cours du temps. Cette diminution vient de l'extinction atmosphérique.

Le principe est d'obtenir des valeurs de flux lumineux relatives aux autres étoiles. Les phénomènes agissant sur toutes les étoiles disparaissent donc sur la courbe de luminosité et seule la pulsation de notre étoile reste visible.

Pour obtenir ce résultat, on effectue la moyenne des données des étoiles de référence, appelée "Super-étoile". Puis, nous calculons le quotient entre la luminosité de chaque étoile et la Super-étoile. Cela va nous permettre d'obtenir des courbes en valeurs relatives et de remarquer qu'AH Cam est variable.

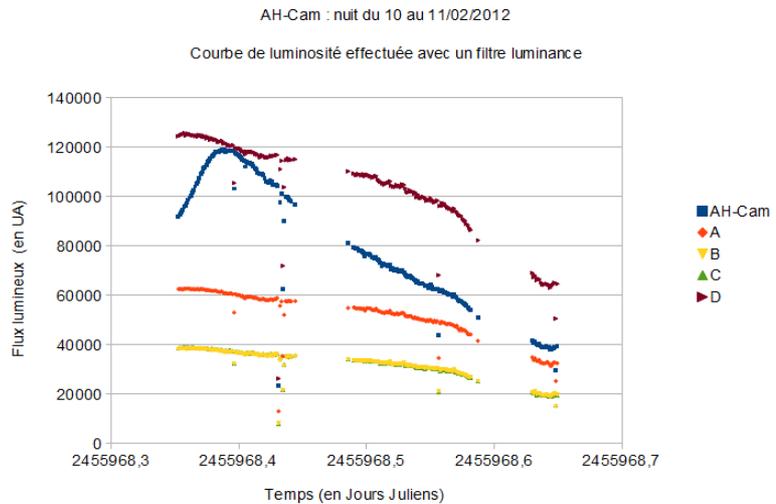


Fig. 3: Courbes de luminosité d'AH Cam et des étoiles de références en valeurs absolues.

## 5 Exploitation des données

### 5.1 Détermination du maximum

#### 5.1.1 Choix du logiciel

Une fois la courbe de luminosité tracée, il faut déterminer quand l'étoile brille le plus. Pour cela, nous utilisons un logiciel d'interpolation polynomiale. Nous avons choisi Polyreg qui nous donne une bonne précision.

#### 5.1.2 Utilisation de Polyreg

Nous avons choisi les valeurs proches du sommet pour pouvoir faire une interpolation plus précise, et le degré trois puisqu'il nous donnait une équation qui correspondait le plus à notre courbe.

A l'aide de Polyreg, nous avons donc déterminé pour chaque courbe un polynôme dont la courbe représentative était la plus proche de la progression des points du sommet.

### 5.1.3 Détermination du maximum

Pour déterminer la date du maximum, il faut dériver la fonction. Cela nous permet de trouver son maximum, correspondant au maximum de luminosité de l'étoile.

Nous avons créé une feuille de calcul permettant de nous donner les racines de la dérivée. Au final nous avons obtenu 9 dates de maximum chacun, en jours juliens :

Date	Luminance	Vert	Bleu	Rouge	Moyenne
03/02/2012	2455961,4245	2455961,4235	2455961,4244	2455961,4245	2455961,4243
10/02/2012	2455968,3967				
20/02/2012	2455978,3494	2455978,3495	2455978,3486	2455978,3497	2455978,3493

### 5.2 Correction héliocentrique

Après avoir trouvé l'instant du maximum en jours juliens, nous avons dû le convertir en jours juliens héliocentriques (HJD). En effet, la position de la Terre au moment de l'observation influence nos résultats et les rend incomparables avec ceux d'autres scientifiques. Il faut donc se référer à des valeurs qui auraient été mesurées au centre du soleil, la distance entre AH Cam et le Soleil ne changeant pas (Fig. 4).

Pour corriger nos instants de maximum, il faut prendre en compte la différence entre le temps que met la lumière pour parvenir à la Terre et celui qu'elle met pour parvenir au Soleil. En considérant les rayons lumineux d'AH Cam parvenant à la Terre et au Soleil parallèles, cette distance devient le côté d'un triangle rectangle formé par la Terre (T), le Soleil (S) et un point A qui est le projeté orthogonale du Soleil sur la droite formée par la Terre et AH Cam (Fig 5).

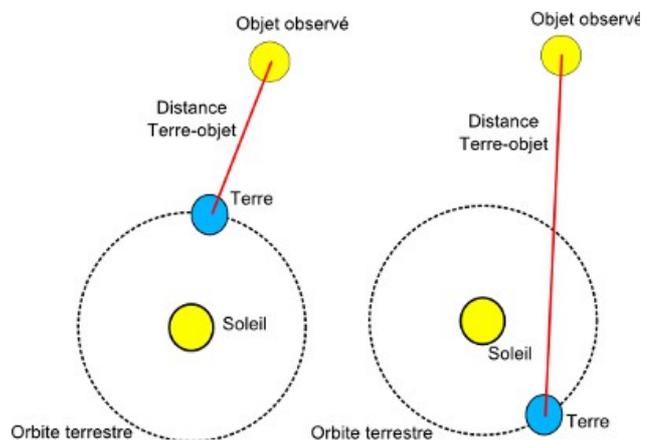


Fig. 4: Mise en valeur du retard de la lumière en fonction de la date d'observation

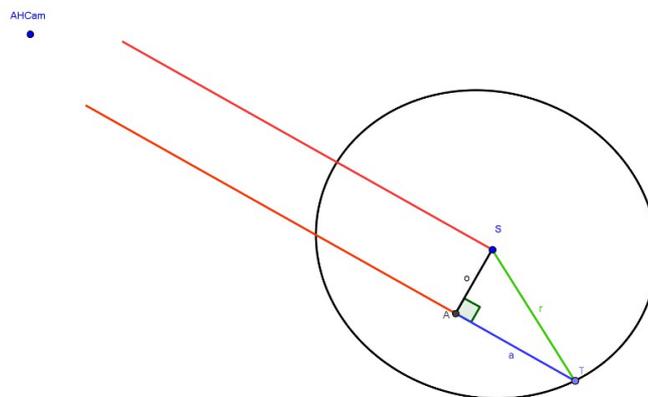


Fig. 5: Calcul de la correction héliocentrique.

Cette distance  $a$  peut donc se calculer en appliquant les formules trigonométriques :  $a = \cos(\widehat{ATS}) \times r$ .  
 On peut réécrire le calcul avec un produit scalaire entre un vecteur unitaire Terre-AH Cam ( $\vec{n}$ ) et un vecteur Terre-Soleil ( $\vec{r}$ ) :  $a = \vec{n} \cdot \vec{r}$ .  
 Ensuite, on doit diviser cette distance par la vitesse de la lumière  $c$  pour obtenir la valeur de la correction héliocentrique. Cela donne :  $HJD = JD + \frac{\vec{n} \cdot \vec{r}}{c}$

En exprimant le produit scalaire en fonction des coordonnées équatoriales de l'étoile et du Soleil, on a :

$HJD = JD - \frac{r}{c} [\sin(d) \times \sin(d_s) + \cos(d) \times \cos(d_s) \times \cos(a - a_s)]$  avec respectivement :  $d$  et  $d_s$  la déclinaison de l'étoile et du Soleil et  $a$  et  $a_s$  l'ascension droite de l'étoile et du Soleil.

Malheureusement, nos résultats n'étant pas assez précis, M.Le Borgne nous a proposé d'utiliser la page de calcul de son site internet (Fig.6). Ceci nous a permis de calculer nos O-C en gagnant du temps.

Fig. 6: Page de calcul de la correction héliocentrique [3]

### 5.3 Calcul des O-C

O-C signifie "Observé moins Calculé". Le calcul des O-C nous permet donc de comparer l'instant de maximum observé "O" d'une courbe de luminosité à celui prévu par le calcul "C". Ce maximum peut-être prévu en connaissant ce qu'on appelle les "éléments" : la période (P) et un maximum de référence (JJO).

Ainsi, pour calculer un maximum, nous devons d'abord calculer le nombre de cycles écoulés depuis le JJO (noté E). Pour cela, on soustrait la date du JJO à celle du maximum observé.

Par exemple, pour la nuit du 03/02/2012, l'instant de maximum observé vaut 2455961,4245 HJD. On cherche donc le nombre de jours écoulés depuis le JJO, qui vaut 2438729,458 HJD, selon le site du GEOS [4].

On effectue donc le calcul suivant :  $2455961,4245 - 2438729,458 = 17231,9665$  jours écoulés.

Pour avoir le nombre de cycles, il suffit de diviser par la période, de 0,3687346 jours pour AH Cam :  $17231,9665 / 0,3687346 = 46732,71$  cycles écoulés. Cependant, puisqu'on veut la date d'un maximum prévu, il faut un nombre de cycles entiers car le nombre de cycles écoulés d'un maximum à un autre est entier si le phénomène est périodique. Dans cet exemple,  $E = 46733$  cycles.

Maintenant, nous avons tous les éléments pour calculer le maximum prévu. En effet, il suffit

d'effectuer le calcul :  $JJO + P \times E$  . Ainsi,  $P \times E$  donne un nombre de jours théoriquement écoulés depuis JJO et, par addition, on obtient une date de maximum prévu. On a :  $2438729,458 + 0,3687346 \times 46733 = 2455961,532$  . L'instant de maximum calculé est de  $2455961,532 \pm 0,001$  jours. Par prudence, nous gardons autant de chiffres significatifs que les professionnels.

On soustrait ensuite ce maximum calculé au maximum observé et on obtient l'écart entre les deux : notre valeur d'O-C. Cela donne :  $2455961,4245 - 2455961,532 = -0,108 \pm 0,001$  jours. Cela signifie que le maximum est arrivé 0,108 jours en avance par rapport à celui prévu.

On a donc un écart entre le maximum prévu et celui observé, ce qui nous montre que l'étoile n'a pas une période stable. Un autre phénomène semble donc influencer sa variation.

On peut résumer cela par le calcul suivant :

$$O - C = JJH - (JJO + P \times E)$$

Avec :

–  $JJH$  : date en HJD du maximum observé

–  $JJO$  : date en HJD du Jour Julien d'Origine

–  $P$  : période moyenne de la luminosité de l'étoile en jours

–  $E$  : nombre de cycles écoulés depuis le JJO :  $E = \frac{JJH - JJO}{P}$

Voici les résultats de nos O-C pour chaque nuit :

Date	03/02/2012	10/02/2012	20/02/2012
O-C	-0,108	-0,141	-0,144

## 6 Essai d'interprétation

### 6.1 L'effet Blazhko

L'effet Blazhko concerne 45 % de étoiles de type RRab. Il se caractérise par une modulation de l'amplitude et de la période de la luminosité de l'étoile.

On ne connaît pas actuellement la cause de l'effet Blazhko. Plusieurs grandes hypothèses ont été évoquées. La plus plausible est celle de la présence de résonances entre les différents types de pulsation de l'étoile.

## 6.2 Comparaison avec les données des professionnels

Pour vérifier si nos valeurs étaient correctes, il a fallu les comparer à celles de professionnels. Nous avons donc réalisé le graphique des O-C en fonction du temps avec nos données et celles des professionnels.

Il a fallu prendre en compte les différentes possibilités avec lesquelles ce graphique pouvait être réalisé. En effet, nous pouvons calculer avec différents éléments, et une option *period shift* consiste à considérer une période de moins car l'O-C est trop important.

Sur ce graphique, on visualise nos données dans le nuage de points en bas à droite, et cela nous permet de savoir que nos valeurs sont bien dans la continuité de la période qui diminue. Elles n'ont pas la même valeur que celles données plus tôt (cf Tableau) car l'option "period shift" est activée. Cependant, nous ne visualisons pas la variation des O-C due à l'effet Blazhko car l'échelle est trop grande. On ne peut donc pas vraiment vérifier leur exactitude.

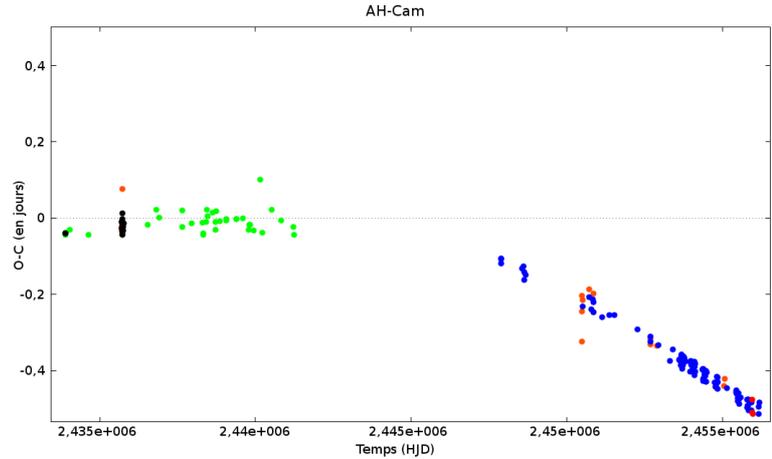


Fig. 7: Graphique des O-C en fonction du temps avec l'option *period shift* [4]. Couleurs : vert : photographique ; orange : visuel ; bleu : ccd ; noir : inconnu. Nos données sont en rouge.

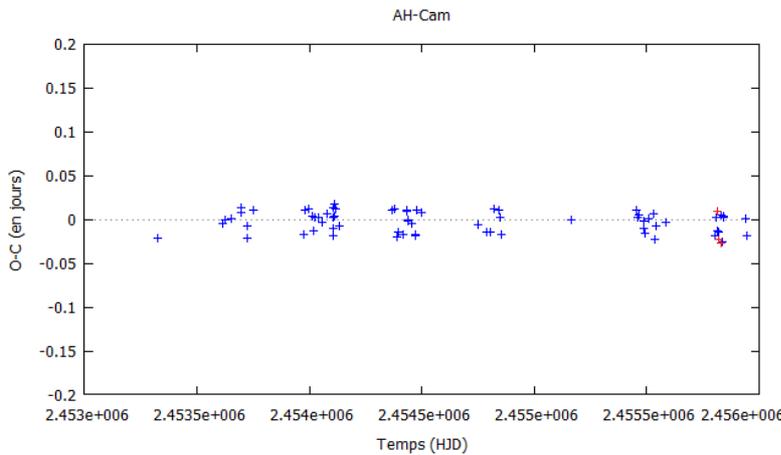


Fig. 8: Graphique des O-C, corrigés de la diminution de période, en fonction du temps obtenus sur un court intervalle de temps (entre 2453000HJD et 2456000 HJD). Nos mesures sont en rouge.

Nous avons alors sélectionné les données sur un intervalle plus court, pour plus de précision, et corrigé de la diminution de période (Fig. 8). Ce graphique nous permet de voir que nos points ne sont pas aberrants car ils suivent la progression de ceux des professionnels.

Nous avons alors envoyé ce graphique à M.Le Borgne afin qu'il vérifie nos données. Elles lui semblaient exactes, ce qui nous a encouragé à continuer.

Il nous a ensuite proposé de réaliser le graphique des O-C en fonction de la phase Blazhko afin d'observer le cycle de l'effet Blazhko.

Nous avons donc calculé l'instant de la phase Blazhko de nos dates de maximum ainsi que celles des professionnels. Pour calculer cette phase Blazhko, il faut connaître la période Blazhko, et définir un maximum de référence. Ensuite, il faut réaliser le calcul suivant et ne garder que la partie décimale du résultat :

$$\frac{JJH - JJ_{ref}}{T_{Blazhko}}$$

- Avec : –  $JJH$  : date en HJD du maximum concerné  
 –  $JJ_{ref}$  : date en HJD du maximum de référence  
 –  $T_{Blazhko}$  : période Blazhko en jours

Cependant, nous ne connaissons pas la période Blazhko. Nous avons trouvé une valeur de 10,9 jours dans la documentation américaine [5] mais cette période ne nous permettait pas d'obtenir une courbe (Fig. 9).

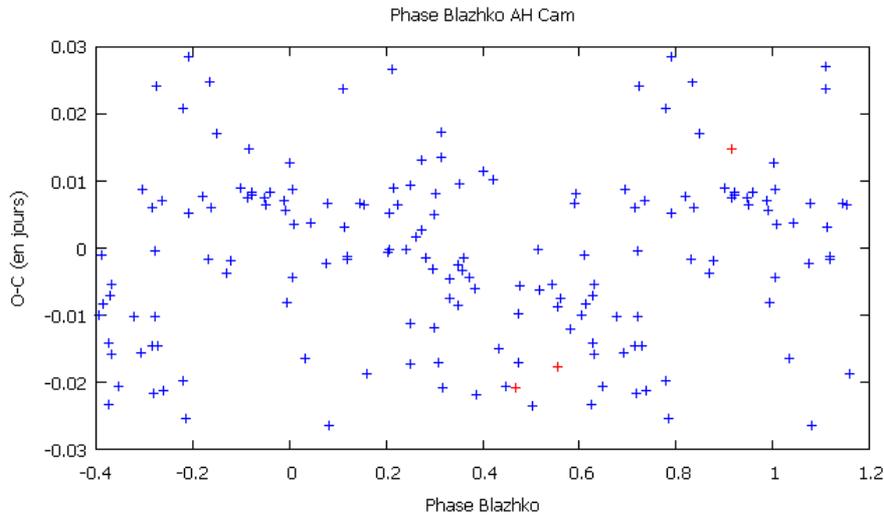


Fig. 9: Représentation des O-C en fonction de la Phase Blazhko avec une période Blazhko de 10,9 jours.

On observe un nuage de points diffus. Nous en avons déduit que la période Blazhko de 10,9 jours devait être erronée.

Nous avons donc essayé de faire apparaître une courbe, par tâtonnement, afin de trouver une période Blazhko qui donnait un résultat acceptable. Mais un changement de période au centième près nous donnait des résultats complètement différents (Fig. 10).

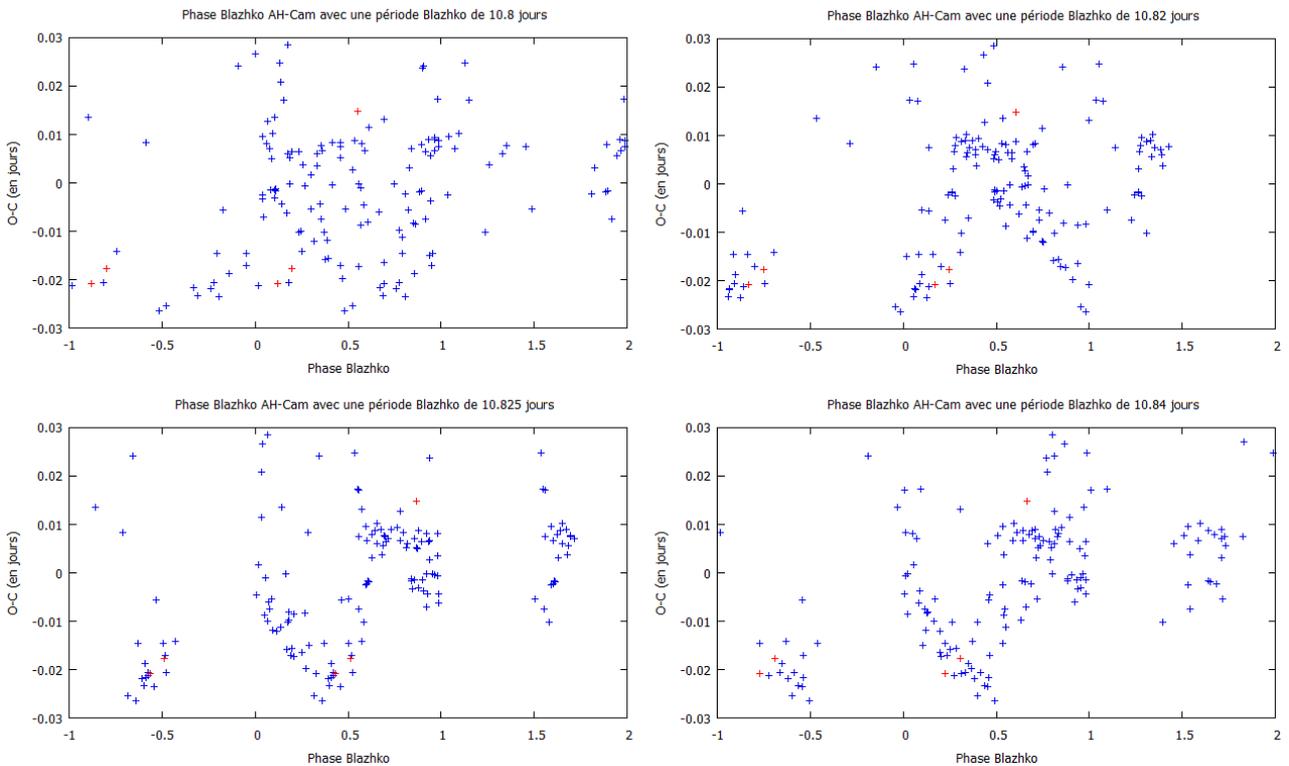


Fig. 10: Graphiques des O-C en fonction de la Phase Blazhko avec différentes périodes Blazhko.

Nous avons donc, après de nombreux essais, évalué cette période à 10,83 jours. Cela donne ce graphique :

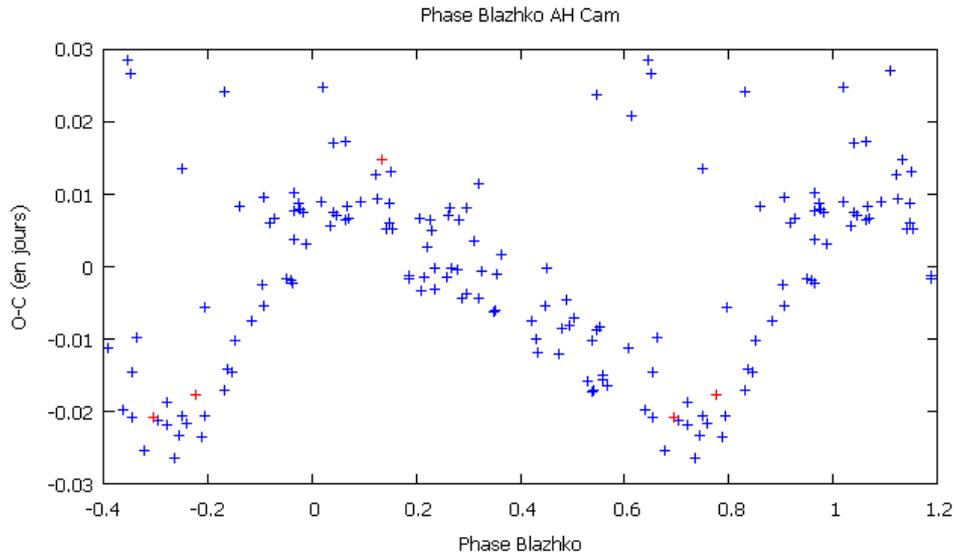


Fig. 11: Graphique obtenu avec une période de 10,83 jours.

On obtient donc une courbe montrant la progression de l'effet Blazhko et nos points correspondent à cette progression. Nos données semblent donc en accord avec celles des professionnels.

Nous avons montré ce résultat à M.Le Borgne qui nous répondit qu'une période de 10,829 jours [6] avait été publiée une semaine plus tôt par lui même et une équipe de scientifiques. Notre valeur est donc proche du résultat et du moment de la publication ! De plus, l'allure de notre courbe est très semblable à la sienne (Fig.13). M. Le Borgne a donc accepté nos données et les a publiées sur les bases de données des professionnels [4].

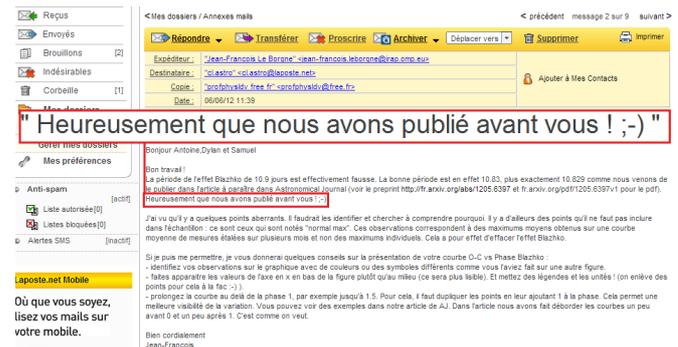


Fig. 12: Mail de M.Le Borgne sur la période Blazhko

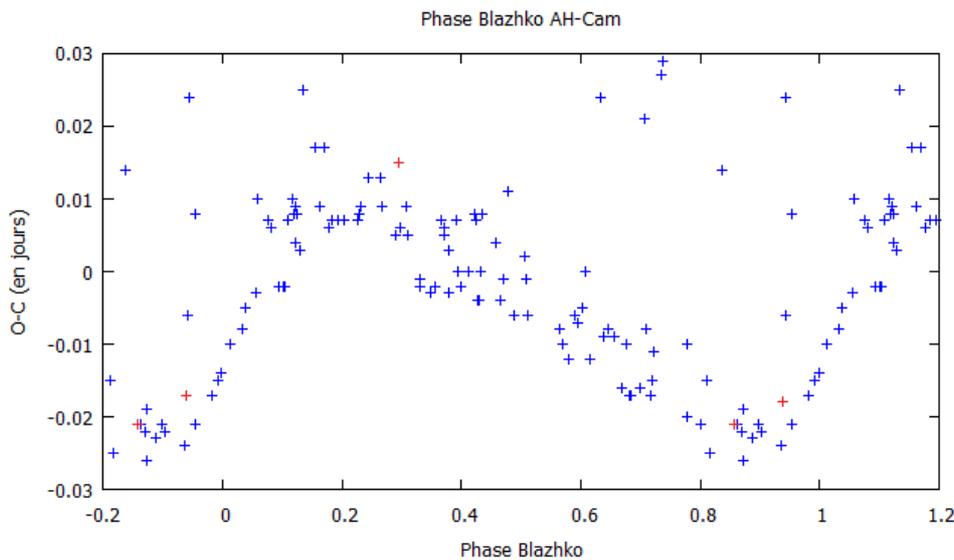


Fig. 13: Graphique des O-C en fonction de la phase Blazhko avec la période de 10,829 jours.

### 6.3 Etude de la couleur de l'étoile

Nous avons aussi cherché si l'effet Blazhko avait un effet sur le flux de l'étoile en amplitude. Nous avons donc fait le rapport entre les courbes de luminosité obtenues avec les filtres (B/V, V/R et B/R ; B, V et R correspondant respectivement au Bleu, Vert et Rouge).

On peut, grâce à ces courbes, affirmer que la balance des couleurs de l'étoile varie durant la pulsation. En effet, le rapport B/R au niveau du pic de luminosité est supérieur à 1. L'étoile est "plus bleue que rouge".

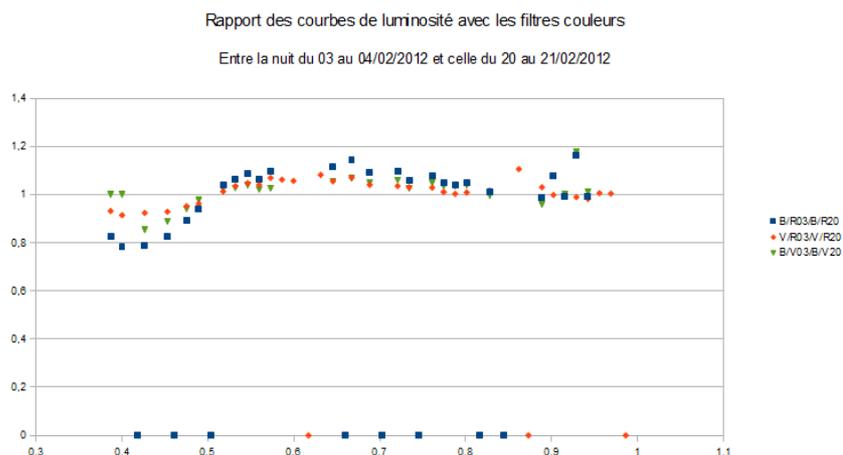


Fig. 14: Courbe des rapports des rapports de luminosité entre les nuits du 03/02/2012 et du 20/02/2012

On peut aussi dire que l'effet Blazhko agit sur la couleur de l'étoile, en comparant les courbes des deux nuits. On voit une différence entre les courbes B/R, perceptible au niveau du pic. En effet, les deux courbes n'ont pas la même allure. Pour vérifier l'hypothèse, on fait le rapport entre ces deux courbes. Celui-ci n'est pas constant donc l'hypothèse semble valide.

D'après M. Le Borgne, nous avons bien montré l'action de l'effet Blazhko sur la couleur. Mais afin d'exploiter nos données, il faut tracer les courbes en différence de magnitude plutôt qu'en rapport de flux, par exemple :  $B - V = -2,5 \times \log_{10} \left( \frac{\text{signal}B}{\text{signal}V} \right)$ . Il faut tracer les courbes  $(B-V)(03/02/2012) - (B-V)(20/02/2012)$ , ainsi que pour les autres nuits. Cependant, nous n'avons pas encore fait cette étude en faute de temps.

## 7 Conclusion

Ce projet nous a permis d'apprendre à étudier les étoiles variables, en nous montrant la difficulté, d'autant plus avec du matériel amateur.

Durant celui-ci, nous avons pu déterminer plusieurs caractéristiques de l'étoile. Nous avons d'abord estimé sa période de pulsation à environ 8 heures. Avec les O-C, nous avons vérifié la présence de l'effet Blazhko. Nous avons aussi déterminé avec seulement une semaine de retard sur les scientifiques que la période Blazhko de l'étoile n'était pas de 10,9 mais 10,83 jours.

Nous avons également prouvé que la période de pulsation est liée à une évolution de sa couleur, donc de sa température. L'étoile est plus chaude durant le pic de luminosité. On peut déceler une petite influence de l'effet Blazhko au niveau des pics.

Enfin, nous avons participé à la recherche, ce qui nous a motivés, et nos données sont publiées sur le site : [http://rr-lyr.ast.obs-mip.fr/dbrr/dbrr-V1.0\\_08.php?AH%20Cam](http://rr-lyr.ast.obs-mip.fr/dbrr/dbrr-V1.0_08.php?AH%20Cam).

Bien sûr, nous devons encore une fois remercier M.Le Borgne sans qui nous n'aurions rien découvert, et M.Rives, qui nous a permis de réaliser ce projet en nous guidant dans ce domaine, bien qu'il ait découvert certaines notions en même temps que nous.

Cependant, ce projet n'est pas terminé. Il faut continuer les recherches puisqu'il manque des valeurs

pour déterminer l'évolution de la période. Il faut aussi étudier AH Cam et d'autres RR Lyrae pour comprendre l'effet Blazhko, et son influence sur la couleur. C'est donc un sujet d'étude continue.

Pour connaître plus en détails notre projet, vous pourrez visiter notre site internet à partir du 15 mars : <http://ahcam.free.fr/>.

## Bibliographie

- [1] Logiciel "cartes du ciel". <http://www.ap-i.net/skychart/>
- [2] Tutoriel pour IRIS. [www.astrosurf.com/buil/iris/iris.htm#tutorial](http://www.astrosurf.com/buil/iris/iris.htm#tutorial)
- [3] Page de calcul de M.Le Borgne : <http://rr-lyr.ast.obs-mip.fr/astro/>
- [4] GEOS RR-Lyr database. [www.rr-lyr.ast.obs-mip.fr](http://www.rr-lyr.ast.obs-mip.fr). Base de donnée sur les RR Lyrae.
- [5] Horace A. Smith ET Al. *Ah-cam : A metal-rich rr lyrae star with the shortest known blazhko period. The Astronomical Journal*. Voir page 12. Disponible ici : <http://adsabs.harvard.edu/abs/1994AJ....107..679S>.
- [6] Jean François Le Borgne ET Al. *The all sky geos rr lyr survey with the tarot telescopes. analysis of the blazhko effect. The Astronomical Journal*. Voir page 4. Disponible ici : <http://fr.arxiv.org/pdf/1205.6397v1>.