

## Binary stars observations at the Saint-Véran Observatory

Maxence BAYLET(1) (3), Jean-François COLIAC(1), Batiste DELAVEAU(1) (3), Augustin LAOUISSSET(1) (3), Anica LEKIC(1) (3), Gabriel MALCHIRAND(1) (2), Thibaut PORTE(1) (3), Liv SIVET(1) (2), Serge VASSEUR(1) (2), Patrick WULLAERT(1)

1 - Commission des étoiles doubles de la Société Astronomique de France

2 - Commission Jeunes de la Société Astronomique de France

3 - IPSA-VEGA



### Résumé

Notre équipe a effectué une mission à l'Observatoire de Saint-Véran en octobre - novembre 2022 et a pu utiliser les trois télescopes de cet observatoire. Le télescope Cassegrain de 62 cm de diamètre a été utilisé pour mesurer des étoiles doubles visuelles. Les deux télescopes Ritchey-Chrétien de diamètre 50 cm ont permis d'enregistrer des courbes de lumière de binaires photométriques : à éclipses et symbiotiques. Nous présentons dans cet article les observations et les mesures réalisées sur la binaire à éclipses V811 Cep, la démarche adoptée pour l'observation des binaires symbiotiques ainsi que les mesures effectuées sur les étoiles doubles visuelles.

### Abstract

Our team stayed in the Saint-Véran Observatory (France) where we could use the three telescopes in this observatory. The Cassegrain telescope, diameter 62 cm, has been used to measure visual double stars. We also used both Ritchey-Chrétien telescopes to record light curves of photometric binaries : eclipsing and symbiotic. In this paper we describe observations and measurements we did on V811 Cep, our goals in observing symbiotic binaries and measurements we did on visual double stars.

**Keywords: binaries : photometry, visual, astrometry**



### 1 Introduction

La Commission des étoiles doubles de la SAF avait organisé une mission d'observation à l'Observatoire de Bélesta-en-Lauragais en 2021 pour observer des étoiles doubles visuelles [1]. Pour 2022, la Commission a choisi d'effectuer une mission à l'Observatoire de Saint-Véran, choisi pour la qualité de son ciel et de ses instruments. L'Observatoire de Saint-Véran permet aux astronomes amateurs, rassemblés en groupes de six à dix membres, d'utiliser les télescopes en séjournant pendant une semaine. Pour constituer une équipe de 10 membres, la Commission des étoiles doubles s'est associée avec la Commission jeunes de la SAF et l'Association IPSA-VEGA, deux organisations dont les membres avaient déjà participé à des observations d'étoiles binaires [2], [3]. Nous avons déposé une demande de mission auprès du « Comité des Programmes » d'AstroQueyras qui l'a acceptée.

Nous avons utilisé le télescope Cassegrain de 62 cm de diamètre et de 9 mètres de focale ( $F/D = 15$ ) pour mesurer des étoiles doubles visuelles. Les deux télescopes Ritchey-Chrétien de diamètre 50 cm (T500) et de 4 mètres de focale ( $F/D = 8$ ) ont été utilisés pour enregistrer les courbes de lumière de binaires à éclipses et de binaires symbiotiques.

Par ailleurs, le catalogue EDR3 du satellite astrométrique Gaia

contient les mesures de parallaxe de plus d'un milliard huit cents millions d'étoiles [4], [5] et permet de sélectionner les couples sur critères astrométriques. Nous avons utilisé cette fonctionnalité pour sélectionner des couples situés à moins de 50 pc du Soleil dans le but de maximiser la probabilité d'observer des couples gravitationnellement liés.

La période choisie, du 30 octobre au 6 novembre était la dernière semaine de la campagne d'été, permettant en principe d'atteindre l'observatoire et de transporter le matériel à l'aide d'un véhicule 4x4 par un chemin de montagne. Pendant cette période, la Lune était au premier quartier avec une illumination de 32 % en début de mission et de 92 % en fin de mission. La présence de la Lune n'a pas gêné les observations pendant les deux premières nuits cependant, à partir du 1er novembre, nous avons adapté la zone d'observation pour nous écarter de l'astre sélène.

Nous débutons cet article par une description de l'observatoire. Nous abordons ensuite les observations réalisées au T500 intérieur<sup>1</sup> sur la binaire à éclipses V811 Cep avec une présentation de ce système, l'obtention de la courbe de lumière et du diagramme de phase, les mesures effectuées puis la simulation

<sup>1</sup> Ce télescope est dit « intérieur » car il est accessible directement depuis le bâtiment central.

du système avec le logiciel Binary Maker 3 [6]. Le chapitre suivant est consacré aux binaires symbiotiques. Nous abordons le phénomène du flickering qui les affecte et expliquons comment nous comptons les mettre en évidence à partir des acquisitions réalisées sur le T500 extérieur<sup>2</sup> de Saint-Véran. Le dernier chapitre est consacré aux étoiles doubles visuelles. Nous abordons les méthodes utilisées pour sélectionner les cibles, acquérir les images, étalonner les champs et réduire les données puis nous présentons les résultats obtenus.

## 2 L'Observatoire de Saint-Véran

L'Observatoire de Saint-Véran est situé dans le Queyras au Pic de Châteaurenard à proximité de son sommet (altitude 2936 m, latitude 44° 41' 56" Nord, longitude 6° 54' 30" Est). Équipé d'une coupole initialement installée sur le toit du bâtiment Perrault de l'Observatoire de Paris, il a fonctionné de 1974 à 1982 à des fins de recherche scientifique sur le Soleil [7] au moyen d'un coronographe. A partir de 1989, sous l'impulsion de Paul Felenbok de l'Observatoire de Paris, l'observatoire trouve une nouvelle vocation : il est mis à la disposition des astronomes amateurs. Pour cela, il fut alors équipé d'un télescope de type Cassegrain de diamètre 62 cm préalablement prêté à l'Observatoire de Grenade (Espagne) par l'OHP (Observatoire de Haute-Provence). Deux coupoles sont bâties en 2005 puis en 2015 pour abriter chacune un télescope Ritchey-Chrétien de 50 cm de diamètre. En 2015, la base vie est reconstruite et agrandie pour offrir davantage de confort et accueillir le public.

Il est enregistré sous le code UAI 615 auprès du Minor Planet Center [8] et est exploité par l'Association AstroQueyras qui a été créée à cette fin.



Figure 1 - L'équipe devant la coupole du T620  
Photo : Sébastien Brouillard

<sup>2</sup> Ce télescope est dit « extérieur » car son accès nécessite de sortir du bâtiment central.

## 3 La binaire à éclipses V811 Cep

### 3.1 Présentation du système

V811 Cep est une étoile très peu étudiée, peut-être en raison de sa magnitude élevée : 14 en bande G. Hormis des mesures que nous avons effectuées en juillet 2022, aucune donnée n'existe sur ce système binaire dans la base de données de l'AAVSO (American Association of Variable Star Observers) [9].

Sokolovsky et al [10] l'a déclarée en 2007 comme binaire à éclipses de type EW, c'est-à-dire que les deux étoiles sont en contact et partagent une enveloppe commune. Xiang Gao et al [11] ont publié la première analyse photométrique en 2021 à partir des observations réalisées en 2018.

Nous avons choisi d'observer cette étoile en raison de sa période orbitale courte qui permet de mesurer un cycle complet en une seule nuit. Nous l'avons intégrée dans le projet « BOT 0.33 » de l'Observatoire OABAC (Observatoire pour l'Astronomie des Binaires et l'Astronomie Collaborative) [12].

### 3.2 Acquisition des images

Le télescope utilisé était le T500 intérieur équipé du filtre de couleur verte utilisé en imagerie. Nous n'avons pas pu utiliser de filtres photométriques Johnson-Cousins, ceux-ci étant seulement disponibles sur le T500 extérieur. Cependant, la bande passante du filtre TG est très proche du filtre V Johnson-Cousins.

L'observation a débuté à la date julienne JJ2459885,23 et s'est terminée à la date julienne JJ2459885,51, soit une durée de 6h 43 min couvrant la période de 0,250764 jour. 190 images ont été acquises en binning 2x2, pleine trame avec 120 secondes de pose. L'échantillonnage est de 0,89"/pixel en binning 2x2 et le champ est de 30'x30'. Les flats ont été acquis lors des périodes crépusculaires et les darks et offsets au moyen d'un obturateur placé sur la caméra.

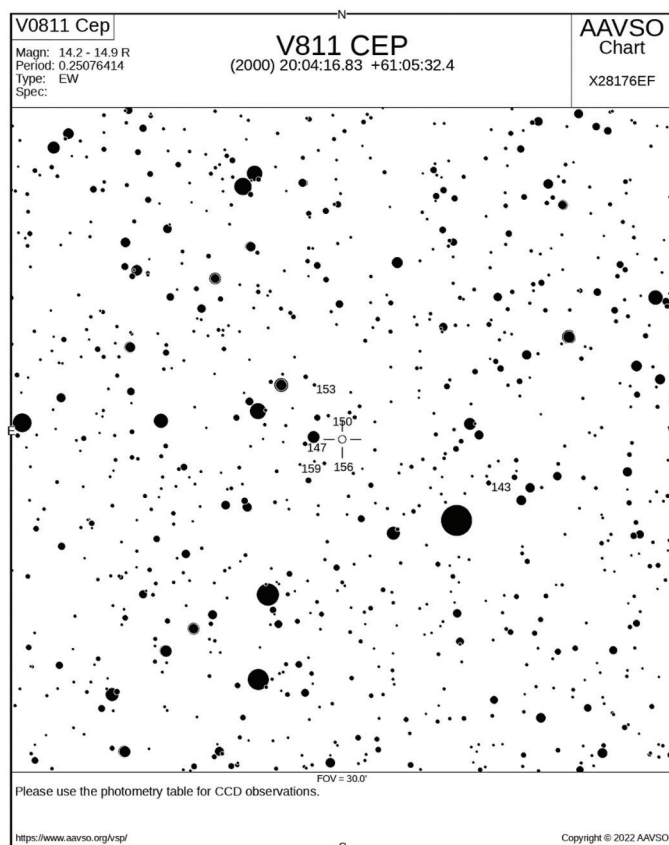


Figure 2 - Carte de champ de l'AAVSO

### 3.3 Construction de la courbe de lumière

Nous avons choisi deux étoiles de comparaison sur la carte de l'AAVSO (voir figures 2 et 3), celles portant les repères 159 et 156, l'étoile de contrôle (check) est celle portant le repère 153.

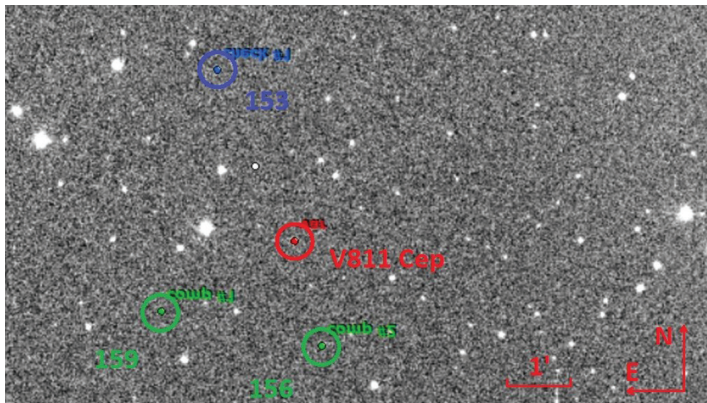


Fig. 3 – Champ d'observation de V811 Cep. V811 Cep est repérée en rouge, les étoiles de comparaison en vert et l'étoile de contrôle en bleu.

Nous avons utilisé le logiciel MUNIWIN [13] en photométrie différentielle. La FWHM moyenne obtenue est d'environ 2,4 pixels, soit 2,1 arcsec. Nous avons réglé le diamètre du cercle de mesure à 6 pixels, soit 5,3 arcsec, pour correspondre entre 2,5 et 3 fois la FWHM. L'incertitude moyenne obtenue est en moyenne de 0,008 mag pour un rapport signal sur bruit d'environ 110 pour toutes les images.

Le logiciel MUNIWIN effectue les calculs de correction de masses d'air et fournit la courbe de lumière en figure 4.

### 3.4 Analyse de la courbe de lumière

Nous avons utilisé le logiciel VSTAR [14] pour construire le diagramme de phase (voir figure 5) Celui-ci utilise un modèle d'ajustement des données avec un polynôme de degré 3.

Nous voyons aussi que la phase 0,5 (minimum secondaire) montre une zone plutôt plate, confirmée par l'article de Xiang Gao et al [11]. L'éclipse observée est donc totale, l'étoile la plus grosse cachant l'étoile la plus petite pendant environ 27 minutes. Nous mesurons la période et les amplitudes avec le logiciel PERANSO [15] (voir table 1)

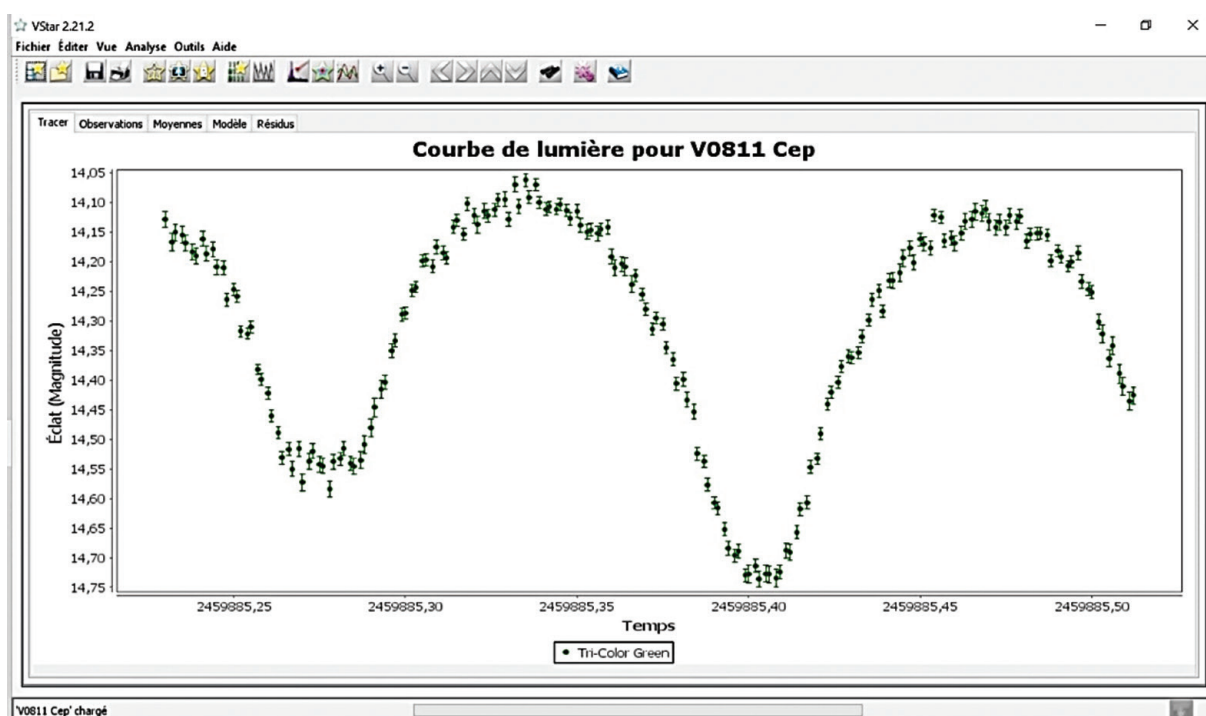


Figure 4 – Courbe de lumière de V811 Cep enregistrée durant la nuit du 1er novembre 2022 avec filtre TG (filtre vert imagerie)

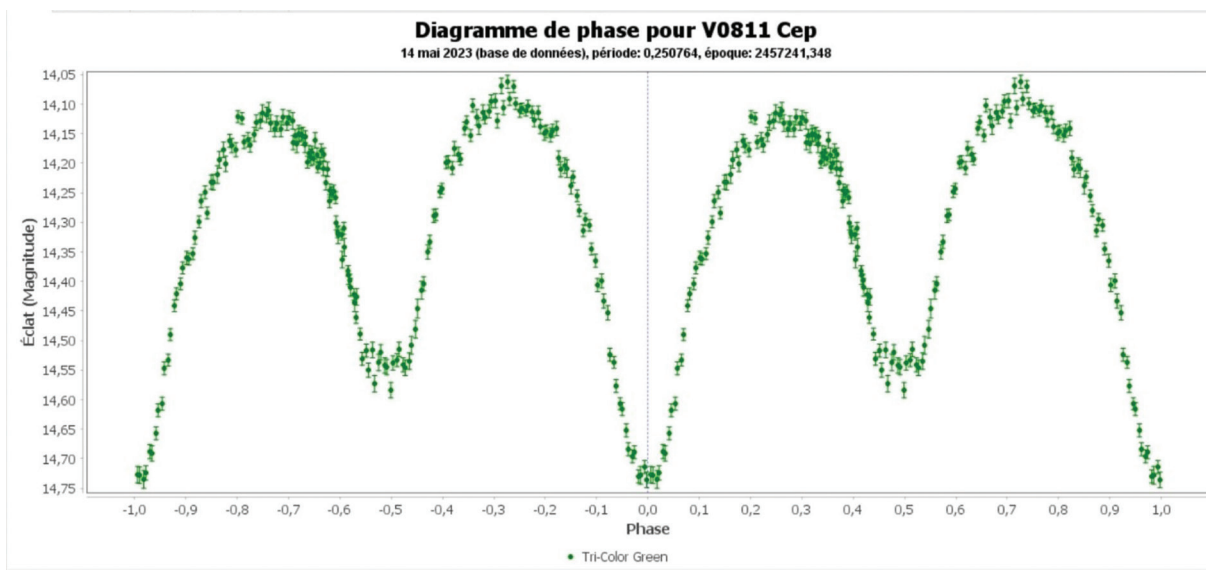


Figure 5 – Diagramme de phase pour V811 Cep

Table 1 – Mesures de période et de magnitude, comparaison avec les mesures de la littérature

	Sokolovsky et al [10]	Xiang Gao et al. [11]	Notre observation
Année d'observation	2007	2018	2022,8
Période (jour)	0,250762	0,250759986	0,25070618
Écart / précédente mesure (seconde)	/	-0,17	-4,6
Mag. max phase 0,75	/	/	14,099
Mag. max phase 0,25	/	/	14,122
Ecart de mag entre phases 0,25 et 0,75 et filtre utilisé	/	0,021 (V)	0,023 (TG)
Sens de l'effet O'Connell	/	phase 0,75 plus brillante que la phase 0,25	phase 0,75 plus brillante que la phase 0,25

La mesure de période est faite par PERANSO avec la méthode Lomb-Scargles. Il est étonnant de constater une diminution de la période de 4,5 secondes sur 4 ans environ alors qu'en 11 ans elle n'avait diminué que de 0,17 secondes. Il est à noter que le PC d'acquisition n'était pas pourvu de GPS et qu'il a pu être affecté d'une dérive temporelle. La mesure de période doit donc être prise avec précaution, elle est plus une estimation qu'une véritable mesure sachant qu'en plus, l'incertitude sur la mesure de la période n'est pas affichée par le logiciel PERANSO.

Les deux maximums (phase 0,25 et phase 0,75) de la courbe de lumière présentent un écart en magnitude qui est appelé « effet O'Connell ». Xiang Gao et al. [11] attribuent l'effet O'Connell sur V811 Cep à la présence d'un point chaud sur le composant le moins massif. Nous observons un écart de magnitude similaire à celui détecté par Xiang Gao.

### 3.5 Simulation du système

Le logiciel BINARY MAKER 3 a été utilisé pour simuler le système binaire et permettre de déterminer de nouvelles valeurs de paramètres physiques du système et ainsi de mettre en évidence une éventuelle évolution dans le temps. Dans un premier temps, nous introduisons dans le logiciel la courbe de phase issue de nos observations et les valeurs physiques déterminées par Xiang Gao et al. [11]. Le logiciel simule le système à partir des valeurs physiques puis calcule une courbe de lumière qu'il compare avec la nôtre. Le logiciel calcule la somme des résidus, c'est-à-dire la somme des écarts de flux entre la courbe issue des observations et celle provenant du calcul, pour chaque prise de vue ; le tout étant normalisé par rapport au flux maximum (le flux maximum est par convention égal à 1). Dans notre cas, la somme initiale des résidus est de 0,62 (figure 6). Dans un deuxième temps, nous ajustons les paramètres pour minimiser ces résidus. Après différentes itérations, nous obtenons une somme finale des résidus de 0,09 (figure 7), soit une division

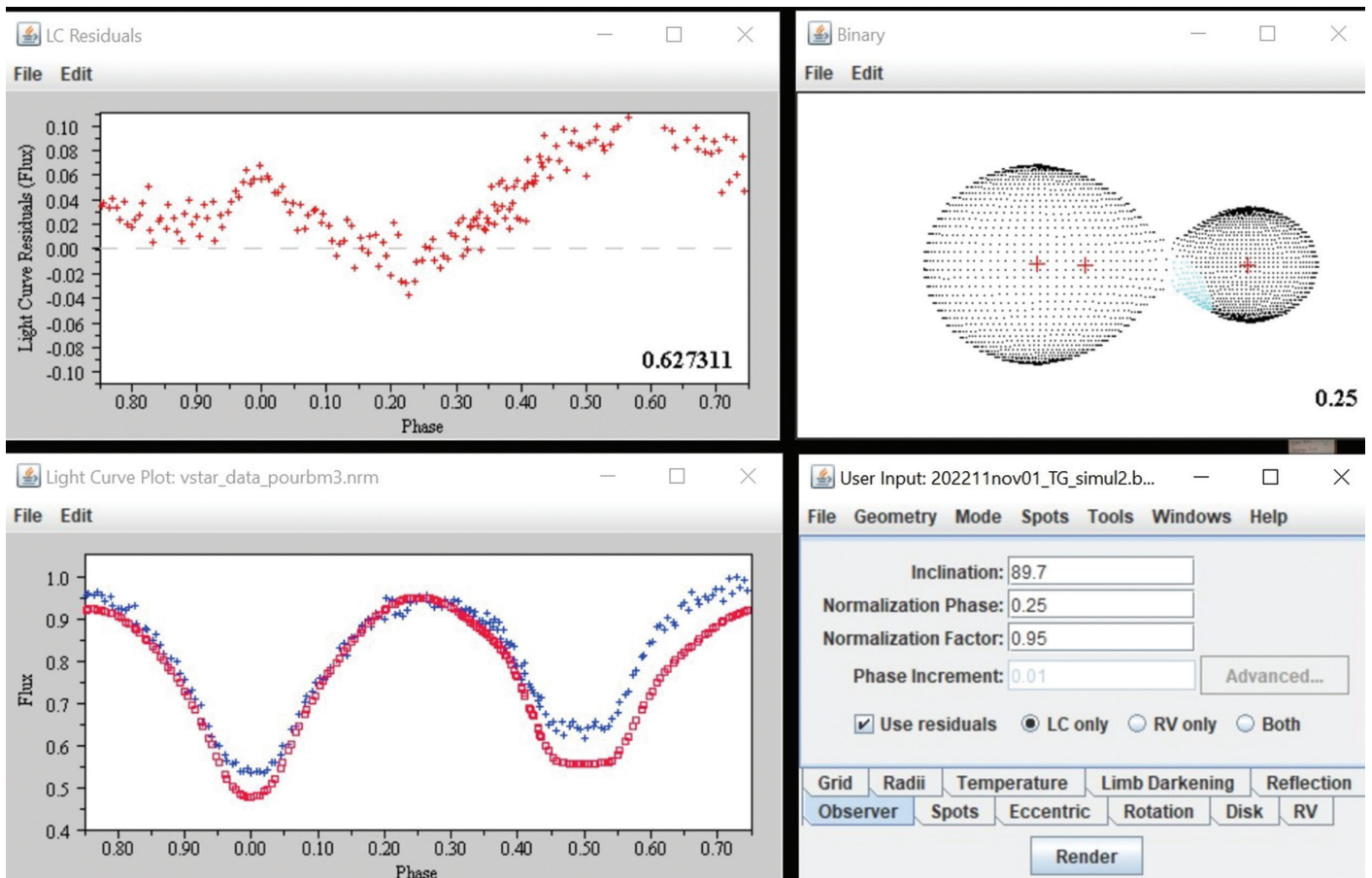


Figure 6 - Simulation à partir des données fournies par Xiang Gao et al. [11]. En haut à gauche : courbe des résidus, en haut à droite : forme 3D du système à la phase 0,25, en bas à gauche : courbe de lumière observée en bleu et calculée en rouge, en bas à droite : fenêtre d'ajustement des paramètres

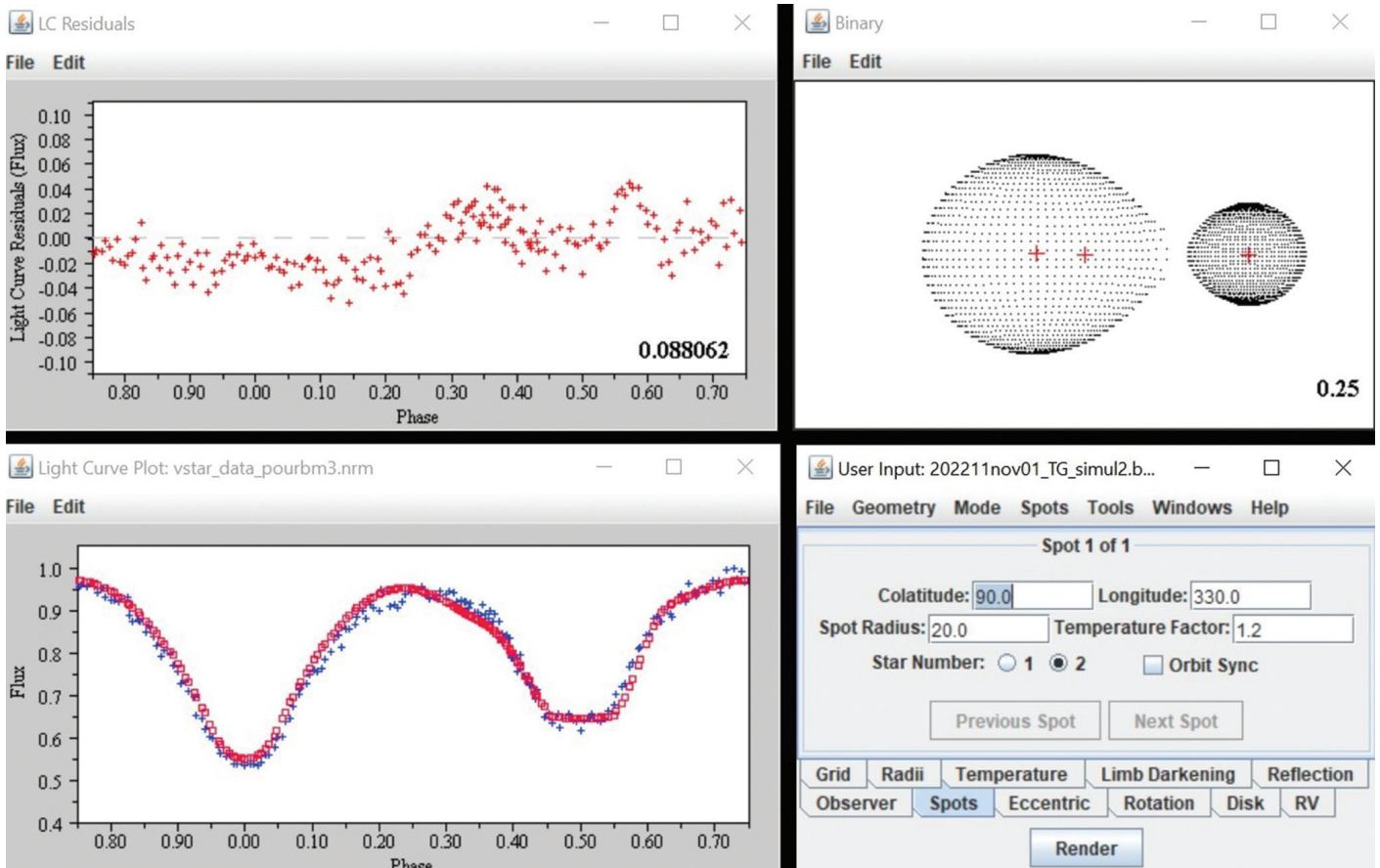


Figure 7 - Simulation après optimisation des paramètres. En haut à gauche : courbe des résidus, en haut à droite : forme 3D du système à la phase 0,25, en bas à gauche : courbe de lumière observée en bleu et calculée en rouge, en bas à droite : fenêtre d'ajustement des paramètres

Table 2 – Évolution des paramètres physiques entre 2018 et notre observation

	Xiang Gao et al. [11]	Notre observation	Évolution
Année d'observation	2018	2022,8	
Bande passante	Filtre V	Filtre TG 5500 A	
m1	0,7	environ 0,7	légère
m2	0,2	environ 0,2	légère
g1 = g2	0,32	0,32	Non
A1 = A2	0,5	0,5	Non
x1, x2	?	1 et 1,2	?
T1 (K)	5264	5150	-114 K
T2 (K)	5289	5150	-149 K
q = m2/m1	0,285	0,29	+0,05
Inclinaison (°)	89,7	89,7	Non
Rayon 1 (back)	0,541	0,54	0
Rayon 2 (back)	0,332	0,27	-0,06
Tache / T2 – latitude (°)	111	90	-21°
Tache / T2 – longitude (°)	27	330	-57°
Tache / T2 – rayon (degré)	18	20	+2°
Tache / T2 - facteur de température (T/T2)	1,2	1,2	0
Résidus de la simulation		0,08862	/

par un facteur 7. Cette simulation donne une représentation du système, mais celle-ci n'est peut-être pas unique. Les valeurs trouvées pour les variations des paramètres physiques sont donc à prendre comme des tendances plutôt que des mesures.

Nous constatons que les températures des deux étoiles ont peu varié, de l'ordre d'une centaine de kelvins en moins. Notre simulation semble montrer que les températures des deux corps ont tendance à s'égaliser. Le rayon de l'étoile 2 (la plus petite)

semble avoir légèrement diminué. Notre simulation indique toujours la présence d'une tache sur l'étoile 2, mais elle semble s'être déplacée, principalement en longitude. Cette tache est plus chaude que la température moyenne de l'étoile, de l'ordre de 20 %, rapport qui semble constant depuis l'observation de 2018 [11].

Notons que cette simulation reste imparfaite, nous n'avons pas réussi à trouver les paramètres qui permettraient d'ajuster la courbe de lumière à la phase 0,25 pour prendre en compte la légère asymétrie de pente de part et d'autre du maximum. Notons également qu'il est délicat d'apprécier l'ampleur des variations mises en évidence par rapport aux incertitudes, BINARY MAKER 3 fournissant des valeurs brutes sans estimation des incertitudes.

#### 4 Étoiles binaires symbiotiques

L'association IPSA Véga a reçu, de la part de M. Jaroslav Merc<sup>3</sup>, astronome tchèque, une série de 10 cibles d'étoiles binaires symbiotiques dans le but d'observer le phénomène de flickering au moyen du télescope Ritchey-Chrétien T500 extérieur.

Les binaires symbiotiques sont des systèmes dans lesquels deux étoiles en interaction présentent des éruptions irrégulièrement espacées dans le temps. Ces systèmes sont généralement constitués d'une géante froide et d'une naine blanche chaude [16] ou d'une étoile à neutrons. L'étude des binaires symbiotiques est scientifiquement intéressante car les composantes peuvent échanger de la matière entre elles, comme de l'hydrogène ou de l'hélium, ce qui peut affecter l'évolution de ces étoiles. Les binaires symbiotiques peuvent également produire des éruptions massives, des jets et des vents stellaires violents, ainsi que des phénomènes d'éclipse. Les binaires symbiotiques sont également des candidats potentiels pour la détection de la matière noire grâce à l'étude des effets gravitationnels entre les composantes et les corps célestes en orbite autour d'elles.

L'objet de notre étude, qui est toujours en cours d'analyse, est le « flickering ». C'est un phénomène courant observé dans

les binaires symbiotiques qui se manifeste par un scintillement de l'éclat de l'étoile dans l'ultraviolet, c'est-à-dire une variation aperiodique de l'éclat des étoiles qui composent le système. Ce phénomène est provoqué par des variations de température et de densité dans la surface de l'étoile, qui peuvent être causées par des échanges de matière entre les deux étoiles du système, ou par des perturbations gravitationnelles issues de l'autre étoile. Le flickering peut également être provoqué par des phénomènes tels que les éruptions massives, les jets ou les vents stellaires violents, qui peuvent affecter l'étoile et perturber sa surface. En général, le flickering est plus prononcé dans les binaires symbiotiques ou les étoiles de types différents ou très proches l'une de l'autre.

Comment étudions-nous ces cibles à partir des données acquises à Saint-Véran ? Par analyse photométrique avec le logiciel MUNIWIN [13] par exemple. En effet, la photométrie des binaires symbiotiques consiste à mesurer l'intensité de la lumière émise par les étoiles qui composent le système, ainsi que les variations de cette intensité dans le temps. Cette technique permet de déterminer des caractéristiques telles que les températures, les masses et les rayonnements des étoiles, ainsi que les paramètres orbitaux du système. La photométrie des binaires symbiotiques est utilisée pour étudier les échanges de matière entre les étoiles, les perturbations causées par les forces gravitationnelles, et les phénomènes tels que les éruptions massives, les jets et les vents stellaires violents. En utilisant des filtres pour sélectionner des longueurs d'onde spécifiques, on peut également utiliser la photométrie pour étudier les propriétés spectrales des étoiles, comme leur composition chimique. La photométrie des binaires symbiotiques est souvent combinée avec d'autres techniques, telles que la spectroscopie pour étudier les propriétés de ces systèmes étoilés complexes.

Les traitements d'image et les dépouillements sont en cours. Nous espérons mettre en évidence le phénomène de flickering à partir de nos données. Si tel est bien le cas, les résultats donneront lieu à une publication spécifique. Deux courbes de lumière « brutes » parmi les 8 obtenues, sont présentées dans les

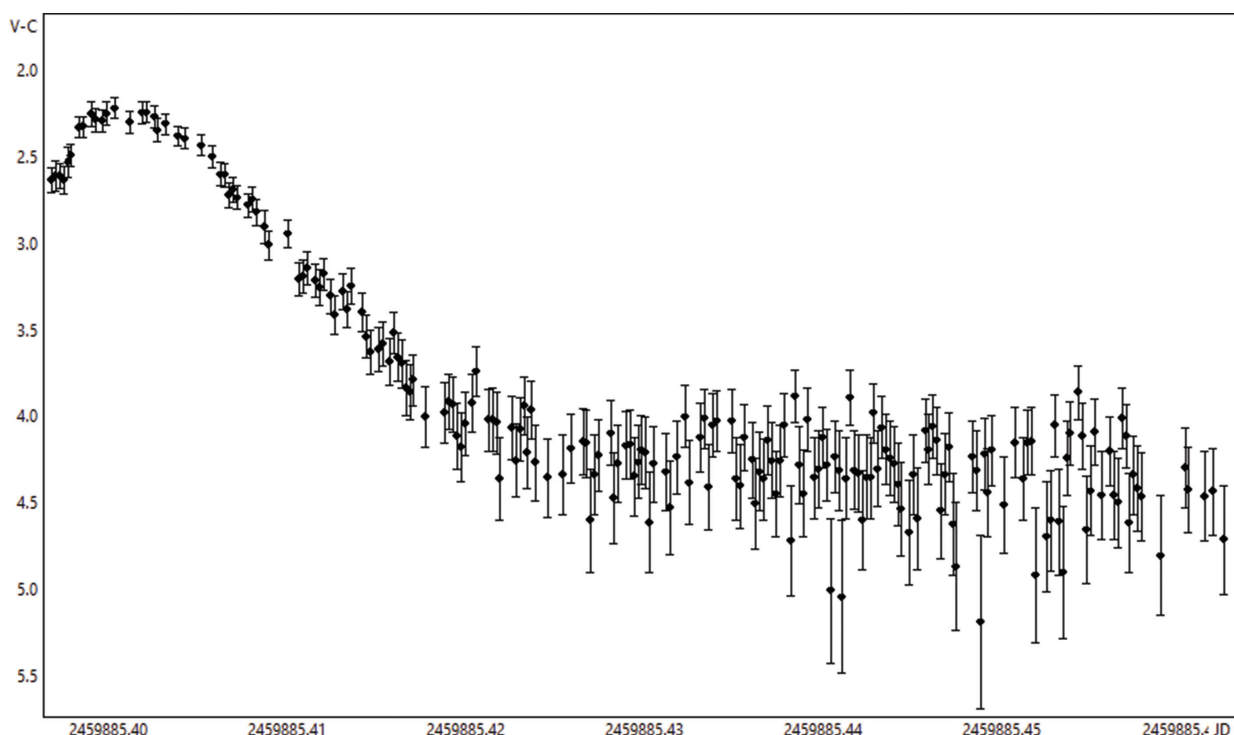


Figure 8.A - Courbe de lumière de V1760 Cyg, étoile symbiotique présentant du flickering en bande U. Mesure du 01/11/2022

<sup>3</sup> <https://sirrah.troja.mff.cuni.cz/~merc/>

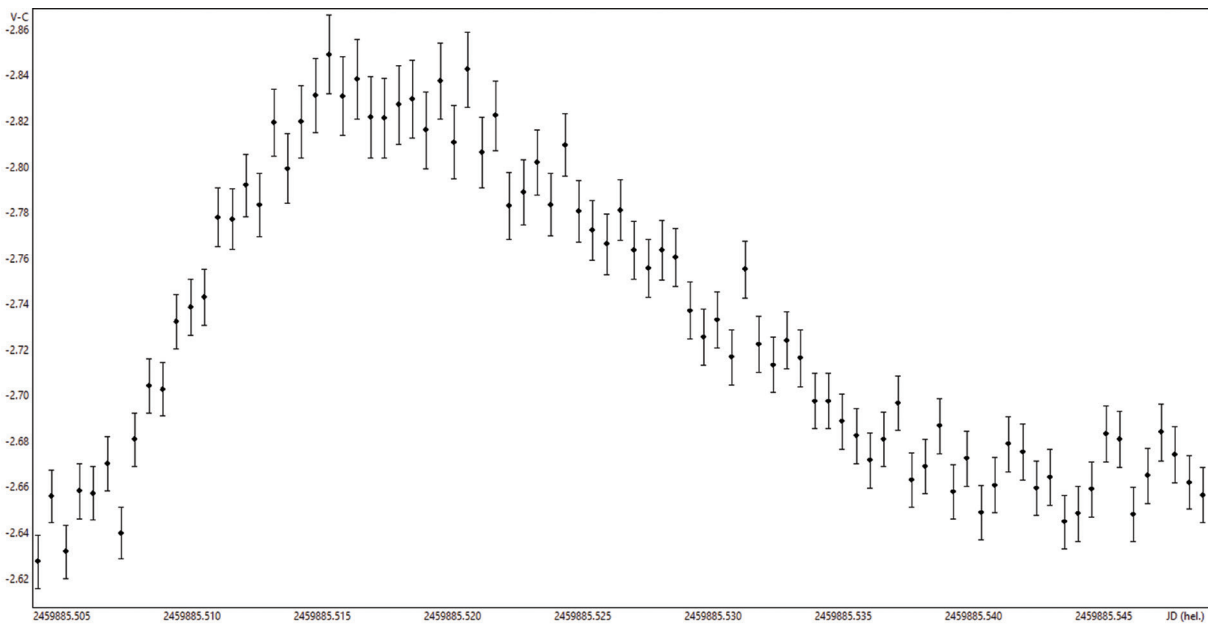


Figure 8.B - Courbe de lumière de DT Psc, étoile symbiotique présentant du flickering en bande U. Mesure du 02/11/22

figures 8.A et 8.B. Il s'agit de courbes « brutes » car la photométrie d'ensemble est en cours de réalisation et une analyse plus fine également. Les courbes de lumière ont été enregistrées avec un filtre U.

## 5 Étoiles doubles visuelles

### 5.1 Instrumentation et méthode de pointage

Nous avons utilisé le télescope de 620 mm de diamètre et de 9 mètres de focale ( $F/D = 15$ ) qui est doté d'un miroir primaire en "Zerodur". La monture est de type équatoriale allemande. Elle est pilotée depuis un PC situé dans la salle de commande, pièce jouxtant la coupole. Les coordonnées équatoriales de la cible sont saisies sur ce PC. Le pointage est ensuite ajusté au moyen d'une raquette de commande située à proximité du télescope et de l'un des deux chercheurs.

Nous avons utilisé une caméra ZWO ASI 178MM avec des pixels de  $2,4 \mu\text{m}$  placée au foyer du télescope donnant une résolution de  $0,055''$  par pixel. Le pic de sensibilité spectrale est à  $525 \text{ nm}$ .

Deux précédentes missions conduites en 2016 et 2017 par Jocelyn Sérot avaient été consacrées à l'observation des étoiles doubles à l'Observatoire de Saint-Véran [17]. Son expérience nous a conduit à interposer un flip-mirror équipé d'un oculaire de  $25 \text{ mm}$  pour faciliter le pointage des cibles. En effet, avec un champ de caméra d'environ  $2' \times 3'$ , trop peu d'étoiles étaient visibles pour identifier le champ aisément. Par contre, l'oculaire placé sur le flip-mirror, avec son champ de  $8'$  de diamètre s'est révélé plus efficace en comparant les champs avec ceux du logiciel « Carte du Ciel » de Patrick Chevalley [18] (voir figure 9) sur un PC situé sous la coupole, à proximité de celui dédié

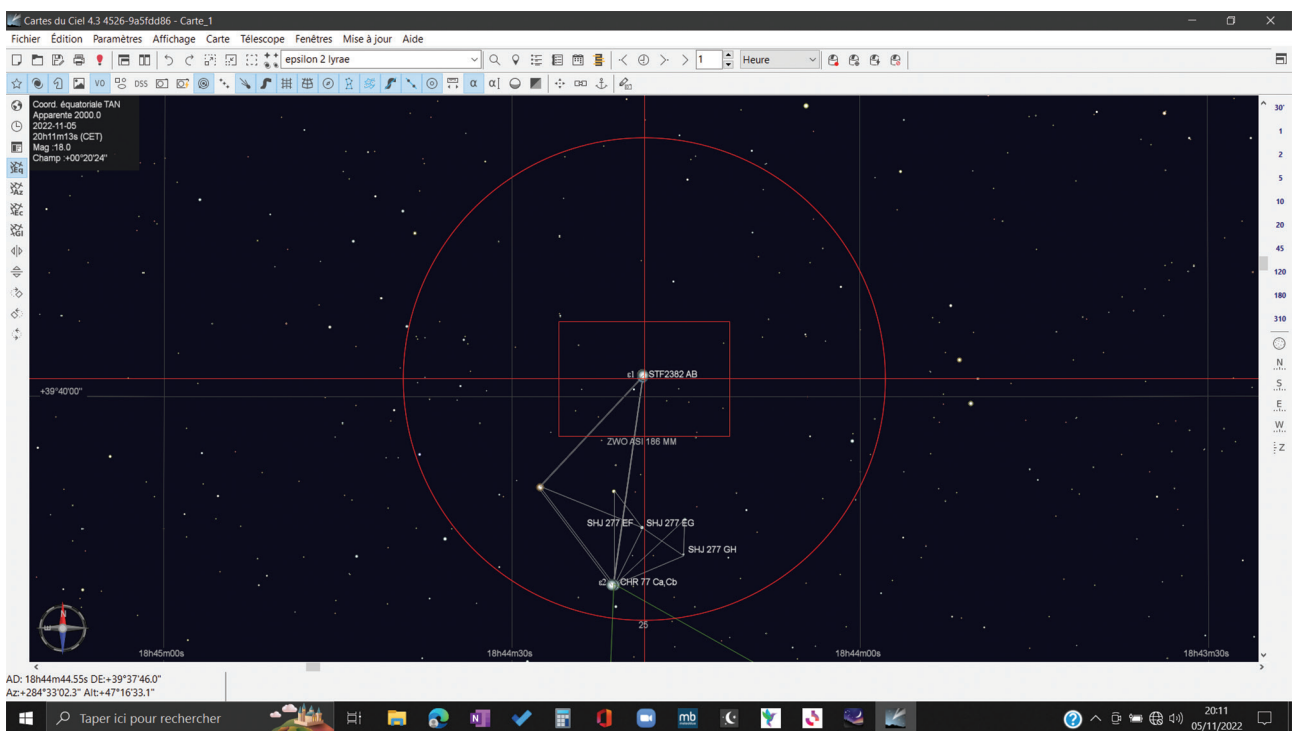


Figure 9 - Copie d'écran du logiciel « Carte du ciel » utilisé pour le pointage. Le cercle rouge représente le champ à l'oculaire et le rectangle rouge celui de la caméra

à l'acquisition des images. Ce logiciel « Carte du Ciel » avait été préalablement chargé avec :

- le catalogue Gaia EDR3 des étoiles jusqu'à la magnitude 17,
- le catalogue des étoiles doubles visuelles du WDS

## 5.2 Préparation du programme d'observation

Un programme d'observation des étoiles doubles visuelles a été établi pour la portion de ciel observable au méridien pendant la durée de la mission en respectant une hauteur des cibles au-dessus de l'horizon supérieure à 30°, soit :

- $21\text{h} < \alpha < 24\text{h}$  ou  $0\text{h} < \alpha < 8\text{h}$
- $\delta > -15^\circ$

Nous avons pris en compte les séparations limites théoriques liées à l'équipement. Celle liée à la diffraction par la formule :  $\rho = 1,22 \lambda / D$  nous a donné une limite théorique de 0,213" pour une longueur d'onde de 525 nm, longueur d'onde de la sensibilité maximale de la caméra. Pour effectuer des mesures correctes à partir des images numériques, nous souhaitons avoir un minimum de 10 pixels entre les centroïdes des deux composantes. La formule  $\tan \rho = 10 p / F$  nous donne une limite théorique de 0,55" (sans binning),  $p$  étant la taille du pixel.

Le programme d'observation a été établi à partir du catalogue du WDS. Nous l'avons complété, en utilisant les données du catalogue Gaia EDR3, en sélectionnant des couples à moins de 50 pc du système solaire dont les deux composantes ont des parallaxes de valeurs voisines et supérieures à 20 mas et des magnitudes en bande G inférieures à 17. L'acquisition des données Gaia a été effectuée avec l'outil VizieR du Centre de Données Stellaires de Strasbourg (CDS) [19] et le tri des couples avec le logiciel TOPCAT [20].

## 5.3 Acquisition des images

En vue des étalonnages, nous avons pris pour chaque couple 10 images plein champ avec des temps de pose suffisamment longs (entre 10 et 40 s) pour obtenir un maximum d'étoiles. Pour mesurer les couples, nous avons pris 2000 images en champ réduit (1' x 1') avec un temps de pose court (entre 15 et 40 ms) pour figer la turbulence. Les darks ont été pris après pose de l'obturateur sur le télescope.

Nous avons constaté à plusieurs reprises que les images des étoiles étaient fortement allongées. Un contrôle a posteriori, nous a permis de constater que les allongements étaient alignés verticalement et qu'ils augmentaient fortement avec la distance zénithale. D'autre part, la bande spectrale transmise par notre caméra est très large, d'environ 400 nm si on retient la largeur à mi-hauteur de la courbe de réponse spectrale fournie par le fabricant. La formule de Danjon [21] pour la dispersion des images par réfraction chromatique nous permet de calculer la dispersion :

$$dR / d\lambda = 5,36 \cdot 10^7 \tan z / \lambda.$$

Où la dispersion  $R$  est donnée en secondes de degré,  $\lambda$  en angströms et la distance zénithale  $z$  en degrés. Des mesures sur quelques images nous ont montré que les allongements sont sensiblement du même ordre de grandeur que les valeurs obtenues par le calcul. La grande largeur de la bande spectrale de la caméra est la cause de l'allongement vertical des images enregistrées, allongement qui limite la résolution angulaire effectivement atteinte, d'autant plus fortement que les étoiles observées sont basses sur l'horizon.

Ne disposant pas de correcteur de champ ou de filtre, nous avons dû nous résoudre à mesurer des cibles moins serrées que prévu. Les mesures publiées ci-après concernent des cibles d'au moins 34° de hauteur sur l'horizon.

## 5.4 Étalonage des champs

En règle générale, nous avons effectué un étalonage particularisé à chaque couple en s'appuyant sur les étoiles situées dans le champ selon la méthode décrite dans le compte rendu de notre précédente mission à Bélestat-en-Lauragais [1].

Pour certains couples, cette méthode n'a pas été possible en raison d'un manque d'étoile dans le champ. Nous avons alors utilisé la méthode de la dérive (drift) en arrêtant le moteur de suivi de la monture pour visualiser le déplacement de la cible vers l'ouest. Nous avons effectué 8 itérations traitées par le module « Synthetic Drift » de REDUC [22].

Dans les deux cas, les incertitudes de mesures ont été estimées par application de la loi de Student pour 98 % de confiance.

## 5.5 Réduction des données

Après traitement des darks, les images ont été traitées par la technique du lucky imaging qui permet de travailler avec les images les moins perturbées par la turbulence atmosphérique. Les 2000 images de chaque couple ont été traitées avec le module « ELI » (Easy Lucky Imaging) de REDUC, qui a sélectionné selon les couples entre 200 et 400 images. Ces images ont été ensuite traitées individuellement avec REDUC. Les incertitudes de mesures sont estimées par application de la loi de Student pour 98 % de confiance en intégrant les incertitudes provenant des étalonnages.

Les résultats de mesure sont synthétisés dans la table 3.

Les données de la table 3 sont les suivantes :

- référence dans le WDS,
- nom de l'étoile double,
- magnitude de la composante 1 (WDS),
- magnitude de la composante 2 (WDS)
- date de la mesure (année julienne),
- valeur de l'angle de position Thêta en degrés,
- incertitude de mesure d'angle de position Thêta en degrés à 98 % de confiance,
- valeur de la séparation Rhô en secondes d'arc,
- incertitude de mesure de séparation Rhô en secondes d'arc à 98 % de confiance,
- différence de magnitude mesurée avec Reduc dans la bande spécifiée dans la colonne suivante,
- filtre utilisé : « - » en absence de filtre,
- nombre de nuits d'observation,
- notes :
  - couple orbital
  - (1) couple non répertorié dans le WDS et répertorié dans le WDSS
  - (2) étalonage par drift
- référence de l'orbite du ORB6,
- grade de l'orbite,
- (O-C)  $\theta$ ,
- (O-C)  $\rho$ .

## 5.6 Discussion

### 5.6.1 Analyse des O-C

Le couple STF2382 AB est  $\epsilon^1$  Lyrae. C'est un couple orbital pour lequel deux orbites de grade 4 figurent au Sixth Catalog of Orbits of Visual Binary Stars de l'U.S. Naval Observatory [22] : l'une calculée par Masson et al (2004) [24], l'autre par Docobo et al (2020) [25].

Nous constatons que les (O-C) de nos mesures sont sensiblement plus petits (surtout pour la séparation) pour l'orbite de Docobo et al. Depuis 2017, les mesures de séparation archivées dans le WDSTOOL de David Chiron [26] penchent



Table 3 - résultats des mesures d'étoiles doubles visuelles faites au T620 de Saint-Véran

Index WDS	Nom	m 1	m 2	Epoque	$\theta$	$\Delta\theta$	$\rho$	$\Delta\rho$	$\Delta m$	filtre	n	Notes	Ref Orb6	grade	O-C ( $\theta$ )	O-C ( $\rho$ )
04308+0427	A 1838	10,34	10,49	2022,84	148,4	1,2	0,97	0,01	0,3	-	1					
05145-0812	STF668 A,BC	0,30	6,80	2022,84	204,0	0,6	9,47	0,03	6,5	-	1					
-	0533290+480925 BC	11,63	12,67	2022,84	16,1	0,1	2,46	0,01	1,2	-	1	(1)				
18443+3940	STF 2382 AB	5,15	6,10	2022,84	342,3	0,2	2,13	0,01	0,9	-	1	O	WSI2004b	4	-1.72	-0.15
													Doc2020e	4	-0.67	0.01
18443+3940	STF 2383 CD	5,25	5,38	2022,84	73,8	0,2	2,34	0,01	0,2	-	1	O	Doc2020e	4	0.82	-0.07
20467+1607	STF 2727 AB	4,36	5,03	2022,84	265,6	0,6	8,84	0,01	1,0	-	1	O	Hle1994	4	1,07	0,02
21024+3739	STF 2747	8,45	8,66	2022,84	266,9	0,2	4,67	0,01	0,3	-	1					
21105+1958	STF 2767	8,19	8,47	2022,84	28,1	0,1	2,47	0,01	0,3	-	1					
21208+3227	STT 437 AB	7,15	7,42	2022,84	18,6	0,2	2,50	0,01	0,3	-	1	O	lzm2019	4	0,22	0,04
21210+3304	J1229	10,69	11,20	2022,84	302,5	0,4	2,15	0,02	0,5	-	1					
21215+2443	COU730 AB	11,00	11,3	2022,84	282,3	0,5	2,36	0,02	0,3	-	1					
22288-0001	STF 2909 AB	4,34	4,49	2002,84	155,3	0,3	2,37	0,01	0,3	-	1	O (2)	lzm2019	3	0,82	-0,03
23326+3127	WNC 6 AB	8,30	9,91	2022,84	152,9	0,6	1,67	0,03	1,5	-	1					

également en faveur de l'orbite de Docobo et al. Par contre, les mesures récentes d'angle de position sont trop dispersées pour indiquer une préférence pour une des deux orbites. La poursuite des observations dans les prochaines années sera nécessaire pour confirmer que l'orbite prévue par Docobo est la plus proche des observations.

Le couple STF2383 CD est  $\epsilon^2$  Lyrae. L'écart O-C en  $\theta$  est relativement important ( $0,82^\circ$ ), il est cependant cohérent avec les mesures effectuées depuis 2012. Notre mesure de séparation est inférieure à la prévision de  $0,07''$ . Elle confirme en cela une tendance à l'augmentation des O-C en  $\rho$  en cours depuis 2017. Notons que ces mesures semblent indiquer une tendance à la diminution de la séparation alors que l'orbite prévoit son augmentation. De nouvelles observations seront utiles pour

confirmer cette tendance et peut-être un ajustement du calcul d'orbite.

Le couple STF2727 AB est  $\gamma$  Del. L'écart O-C en  $\theta$  semble relativement important ( $0,82^\circ$ ), il est cependant cohérent avec les mesures effectuées depuis 2012.

Le couple STF2909 AB est  $\zeta$  Aqr. L'écart O-C en  $\theta$  semble relativement important ( $1,07^\circ$ ), la mesure est cependant en ligne avec celles réalisées depuis 2012. De nouvelles observations seront utiles pour confirmer cette tendance à l'augmentation des O-C.

#### 5.6.2 WDSS 0533290+480925 BC

Notre équipe a observé un des couples que nous avons sélectionné à partir des données du catalogue Gaia EDR3 sur

Table 4 - données Gaia DR3 pour les deux composantes du couple 0533290+480925 BC

	étoile primaire	étoile secondaire
code Gaia DR3	209340936552687488	209340936550313856
RA J2000	05 34 10,6564	05 34 10,6994
DE J2000	+47 32 02,2573	+47 32 04,5406
pmRA	-58,351	-47,449
pmDE	36,851	39,679
RV	-5,06	-4,08
Gmag	11,63	12,67
Plx	30,0497	30,0393
e Plx	0,0267	0,0227

critère de parallaxe. Il s'avère que ce couple, absent du catalogue WDS figure dans le catalogue WDSS (Washington Double Star Supplemental Catalog) sous le nom de : 0533290+480925 BC. Ses caractéristiques sont données dans la table 4.

Au vu des mesures du catalogue Gaia DR3, les distances des deux étoiles au système solaire sont respectivement 33,278 pc et 33,290 pc (écart de  $0,012$  pc) et les incertitudes sont voisines de  $\pm 0,03$  pc. Ces deux étoiles sont donc quasiment à la même distance du Soleil.

Les mouvements propres (pmRA et pmDE) du catalogue Gaia DR3 ne présentent pas d'écarts importants entre les

composantes. Il en est de même pour les vitesses radiales (RV), ce qui conduit à penser que ces deux étoiles pourraient former un couple à mouvement propre commun qui serait donc probablement physique.

Au vu de la figure 10, on constate que la droite reliant les 2 points de mesures Gaia DR2 et EDR3 passe en dehors de la zone d'incertitude qui entoure notre mesure de position. Il est difficile de conclure à partir d'une seule mesure, néanmoins ce premier résultat semble suggérer que ce couple n'aurait pas un comportement linéaire et pourrait donc être orbital. D'autres observations seront nécessaires pour le confirmer.

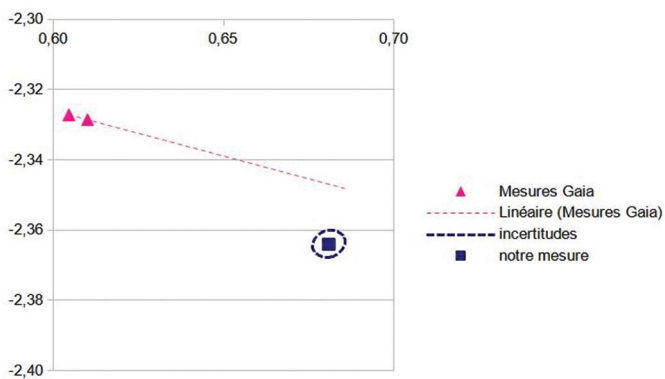


Figure 10 - Evolution de la position de l'étoile secondaire de 0533290+480925 BC par rapport à la primaire. Les mesures Gaia DR2 et EDR3, respectivement de 2015,5 et 2016,0 sont extraites du SDSS et sont symbolisées par les 2 triangles magenta. Notre mesure est en bleu et est entourée de tirets bleus représentant les incertitudes de mesure. Les différences en ascensions droites sont en abscisse, les différences en déclinaisons en ordonnée, l'unité est la seconde de degré.

## 6 Conclusion

Cette mission a permis d'effectuer des observations d'étoiles binaires, par méthodes photométriques et astrométriques. Nous avons pu construire une courbe de lumière de la binaire à éclipses V811 Cep et faire une simulation de ce système. Cette observation est la première réalisée par des astronomes amateurs et la deuxième depuis celle de Xiang Gao et al (2021). Cette simulation a permis de ré-observer la tache stellaire sur l'étoile 2 qui avait été mise en évidence par Xiang Gao et al, et notre étude indiquerait que cette tache se serait déplacée et que les températures des deux étoiles tendraient à s'équilibrer.

Nous avons effectué des mesures photométriques sur des binaires symbiotiques dont la liste nous avait été donnée par Jaroslav Merc de l'Astronomical Institute, Faculty of Mathematics and Physics de Prague. Les réductions des observations de ces binaires symbiotiques sont en cours avec l'objectif de mettre en évidence un phénomène de flickering.

Nous avons observé des étoiles doubles visuelles en lucky imaging, cependant, des déformations des images probablement dues à un phénomène de chromatisme atmosphérique n'ont pas permis de tirer profit du pouvoir séparateur théorique du T620. L'utilisation de filtres sera indispensable pour de futures missions. Toutefois, nous avons pu mesurer des couples jusqu'à 1" de séparation. Le couple STF 2382 AB fait officiellement l'objet de deux calculs d'orbite de grade 4 dans le 6th orbit catalog du WDS. Nous avons montré que notre mesure correspond mieux aux prévisions effectuées par Docobo et al, ce qui semble être également le cas pour les mesures les plus récentes de ce couple. Nous avons observé le couple 0533290+480925 BC dont les données Gaia semblent indiquer qu'il pourrait être physique et nos relevés de position semblent suggérer que ce couple serait orbital. Notons toutefois que pour ces deux derniers couples, de futures observations seront nécessaires pour confirmer ces tendances.

Nos observations réalisées sur une semaine sur plusieurs familles d'étoiles doubles, montrent que l'Observatoire de Saint-Véran possède un grand potentiel pour permettre aux amateurs d'approfondir la connaissance des binaires.

## 7 Remerciements

Nous remercions Sébastien Brouillard pour son accueil chaleureux au sein de l'observatoire et pour son aide précieuse pendant tout notre séjour. Nous remercions l'association AstroQueyras pour avoir rendu possible cette mission. Nous remercions M. Jaroslav Merc de l'Astronomical Institute, Faculty of Mathematics and Physics de Prague (République Tchèque) pour nous avoir fourni une liste de binaires symbiotiques scientifiquement intéressantes. Nous tenons à remercier Daniel Bonneau pour ses conseils et suggestions lors de la rédaction de cet article. Nous remercions également Florent Losse pour la mise à disposition du logiciel REDUC et David Chiron pour la mise à disposition de la plateforme WDSTOOL.

Ce travail a utilisé « Aladin sky atlas » et « VizieR » développés par le CDS de l'Observatoire de Strasbourg.

Ce travail a utilisé les données provenant de la mission Gaia (<https://www.cosmos.esa.int/gaia>) de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) et calculées par le « Data Processing and Analysis Consortium » (DPAC, <https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/dpac/consortium>). Le financement du DPAC provient d'institutions nationales, en particulier les institutions participant au « Gaia Multilateral Agreement ».

## Références

- [1] Wullaert P. et al.(2022), Mesures d'étoiles doubles visuelles proches du soleil à l'Observatoire de Belesta-en-Lauragais. Revue Étoiles Doubles n°4 p7.
- [2] Malchirand G. et Sivet L. (2022) Study of the motion evolution of a binary star over the years 2019-2022. CAS Winners 2021 eaae-astronomy.org
- [3] Wullaert P. et al.(2022), Astrometric measurements of the double star gamma Leo, STF 1424 AB at La Sorbonne observatory. SF2A-2022: Proceedings of the Annual meeting of the French Society of Astronomy and Astrophysics, pp.167-168
- [4] Gaia Collaboration et al. (2016b) The Gaia mission. A&A 595, A1.
- [5] Gaia Collaboration et al. (2020a) Gaia EDR3 : Summary of the contents and survey properties. A&A 649, A1.
- [6] <http://www.binarymaker.com/>
- [7] [www.astroqueyras.com](http://www.astroqueyras.com)
- [8] Codes observatoires du Minor Planet Center : <https://www.minorplanetcenter.net/iau/lists/ObsCodesF.html>
- [9] <https://www.aavso.org/vsx/>
- [10] Sokolovsky, K. V., Chekhovich, D. O., & Korotkiy, S. A. 2007, Peremennye Zvezdy Prilozhenie, 7, 26
- [11] Xiang Gao et al. The first photometric analysis of the totally eclipsing contact binary V811 Cep, 2021, Res. Astron. Astrophys. 21 193
- [12] [http://www.astrosurf.com/jfcoliac/11\\_projet\\_BOT0.33/bot0.33.html](http://www.astrosurf.com/jfcoliac/11_projet_BOT0.33/bot0.33.html)
- [13] <https://sourceforge.net/projects/c-munipack/files/>
- [14] <https://www.aavso.org/vstar>
- [15] <https://www.cbabelgium.com/peranso/index.html>

- [16] Merc et al., (2021a), Symbiotic binaries as ideal targets for amateur observers, *Open Eur. J. Var. Stars*, 220 (2021), pp. 11-25, 10.5817/OEJV2021-0220
- [17] Sérot J. Communal J.E. (2018), Measurements of Close Visual Binary Stars at the Observatory of Saint-Véran, *JDSO Vol. 14 No. 3* p476
- [18] <https://www.ap-i.net/skychart//fr/start>
- [19] <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>
- [20] Taylor MB (2005) *Astronomical Data Analysis Software and Systems XIV*, Astronomical Society of the Pacific Conference Series, vol 347, ed. by P. Shopbell, M. Britton, R. Ebert (2005), Astronomical Society of the Pacific Conference Series, vol. 347, p 29
- [21] Danjon, (1959), *Astronomie Générale*, Paris, ed impr. J. et R. Sennac
- [22] Logiciel REDUC conçu par Florent Losse <http://www.astrosurf.com/hfosaf/fr/tdownload.htm#reduc>
- [23] <http://www.astro.gsu.edu/wds/orb6.html>
- [24] Mason, B.D., Hartkopf, W.I., Wycoff, G.L., Rafferty, T.J., Urban, S., & Flagg, L. 2004AJ....128.3012M+orb AJ 128, 3012, 2004
- [25] Doc2020e orb - Docobo, J.A. & Campo, P. 2020IAUDS.202....1S Inf. Circ. 202, 1, 2020
- [26] <https://wdstool.com/> conçu par David Chiron



#### **Anica Lekic**

*Je suis enseignante en physique à l'IPSA, école d'ingénieurs de l'Air et de l'Espace. Titulaire d'un doctorat en physique, j'ai rejoint la SAF en 2018 et par ce biais, je rencontre des astronomes avec lesquels je monte des collaborations amateur-professionnel. Avec mes élèves, j'ai fondé l'association IPSA Véga en 2016. J'y anime des ateliers autour de la photométrie différentielle de transit d'exoplanète. Je fais partie également des Observateurs Associés au Télescope Bernard Lyot OATBL. Grâce à l'astronomie, je peux faire le lien dans mes enseignements entre la théorie et l'observation et je participe à des colloques sur l'astronomie dans l'éducation.*



#### **Liv Sivet**

*Je suis étudiante au lycée. J'ai d'abord été passionnée par les mathématiques, puis par l'astronomie. J'ai rejoint le club VEGA d'Ollioules, avec la conviction de faire de l'astrophysique ma vocation. Ce que j'aime dans l'astronomie, c'est la dimension de partage, la transmission de connaissances. J'ai rejoint la SAF après la 1ère édition du projet Younivers, auquel je participe chaque année. Je suis active dans mon club et dynamique en termes de projets (j'ai gagné le 2ème prix du concours Européen Catch a Star avec G. Machirand). Je suis membre du Conseil d'Administration et présidente de la Commission Jeunes au sein de la SAF.*



#### **Patrick WULLAERT**

*Je me suis initié à l'astronomie dans le Loiret à l'Astro-Club d'Ouzouer sur Loire, j'y ai trouvé notamment le gout pour les animations publiques. Puis la SAF m'a apporté les connaissances théoriques et le contact avec les astronomes professionnels. Je me suis intéressé aux étoiles doubles, à la fois source d'émerveillement du public quand on les découvre à l'oculaire, terrain de jeu PRO-AM pour y faire des mesures avec les calculs associés, sujet d'étude historique qui nous montre la science progresser au fil des observations et des améliorations d'orbites..*