

MESURES D'ÉTOILES DOUBLES VISUELLES PROCHES DU SOLEIL À L'OBSERVATOIRE DE BELESTA-EN-LAURAGAIS

Nearby visual double star measurements with the Belesta-en-Lauragais Observatory

Patrick WULLAERT(1) (2), Jean-François COLIAC(1) (2), André DEBACKERE(1) (3), Pierre DURAND(1) (2), Serge VASSEUR(1) (2).

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

2 - ADAGIO - Association pour le Développement Amateur d'un Grand Instrument d'Observation

3 - Utilisateur des Télescopes Faulkes



Résumé

Notre équipe a effectué une mission à l'Observatoire de Bélesta-en-Lauragais en octobre 2021 en utilisant le télescope de 82 cm de diamètre. En tenant compte du pouvoir séparateur limité à 6" et de la possibilité d'observer des étoiles de magnitude 17, l'équipe a sélectionné des doubles visuelles distantes de moins de 50 pc du Système solaire. 12 couples ont été mesurés et un couple non répertorié dans le WDS a été détecté. Une intégration au Washington Double Star Catalog est proposée pour ce nouveau couple. Une observation croisée avec le Faulkes Telescope North a permis de conforter la fiabilité des mesures obtenues.

Abstract

Our team used the 82 cm diameter telescope in the Bélesta-en-Lauragais Observatory in October 2021. The angular resolution, expected to be limited to 6 arcsec and a limiting magnitude beyond 17, led us to select nearby visual double stars at a distance of less than 50 pc. We measured 12 couples and detected one couple which is not registered in the WDS catalog. Integration of this new couple into the Washington Double Star Catalog is proposed. Independent measurements have been done with the Faulkes Telescope North in order to secure the measurements reliability.

Keywords: binaries : visual, astrometry



1 Introduction

L'Observatoire de Bélesta-en-Lauragais a été créé au début des années 1990 par des astronomes amateurs réunis au sein de l'association ADAGIO (Association pour le Développement Amateur d'un Grand Instrument d'Observation) [1]. Il a fait récemment l'objet d'un partenariat avec la SAF (Société astronomique de France) rendant possible son utilisation par les membres de ses commissions. Cette opportunité a été saisie par la Commission des étoiles doubles [2] pour tester les capacités de cet instrument à observer des étoiles doubles visuelles. Par ailleurs, le catalogue EDR3 du satellite astrométrique Gaia contient les mesures de parallaxe de plus d'un milliard huit cent millions d'étoiles [3] [4] et permet de sélectionner les couples sur critères astrométriques. Nous avons utilisé cette fonctionnalité pour sélectionner des couples à moins de 50 pc du Soleil dans le but de maximiser la probabilité d'observer des couples gravitationnellement liés. Après une description de l'Observatoire, nous exposons les méthodes que nous avons utilisées pour sélectionner les cibles, acquérir les images, étalonner les champs et réduire les données. Nous comparons ensuite les résultats obtenus par André Debackère avec le T200 du Faulkes Telescope North et le T40 de l'Observatoire de Teide. Enfin, nous abordons deux observations non planifiées : l'éclipse de STT 370 B et la détection d'un couple non répertorié dans

le WDS qui pourrait former un couple à mouvement propre commun.

2 L'Observatoire de Bélesta-en-Lauragais

L'Observatoire de Bélesta-en-Lauragais est situé à 35 km à vol d'oiseau de Toulouse. Son altitude est de 240 m, sa latitude 43° 26' 39" Nord et sa longitude 1° 48' 59" Est.

Il est enregistré sous le code UAI A05 auprès du Minor Planet Center [5]. Le télescope Newton de 82 cm de diamètre et de 3 200 mm de longueur focale a vu sa première lumière en 1996. Très ouvert (F/D = 3,8), il est principalement dédié à l'imagerie des objets faibles. Les travaux réalisés au T82 ont principalement porté sur des images de comètes et d'amas de galaxies, des recherches d'astéroïdes, des suivis photométriques de GRB, des mesures de transits d'exoplanètes. Les deux premiers astéroïdes découverts en 2008 à l'Observatoire de Bélesta ont été numérotés par le Minor Planet Center fin 2021 et sont dénommés (576901) Adagio et (597993) Bélesta [6].

La caméra de type CCD, de marque Moravian G4 est équipée d'un capteur carré de 4096 pixels de côté. Elle procure un champ de 40' sur 40' et permet un échantillonnage de 0,6"/pixel. La caméra est pourvue d'une roue à filtres de 50 mm x 50 mm équipée de filtres photographiques R, V, B, H alpha, O III, SII et luminance. Le pointage des cibles s'effectue à l'aide du logiciel PRISM 10 [7].



Figure 1. L'Observatoire de Bélesta-en-Lauragais
Photo : Pierre Durand



Figure 2. Le télescope T82
Photo : Pierre Durand

3 Préparation du programme d'observation

Avec son diamètre de 82 cm, l'instrument est pratique pour observer des étoiles peu lumineuses, cependant, l'échantillonnage de la caméra de 0,6" par pixel limite le pouvoir séparateur. L'expérience montre qu'un écart de 8 à 10 pixels est nécessaire entre les pics des deux images afin de permettre au logiciel de traitement de calculer avec précision la position des centroïdes.

Les couples écartés sont statistiquement ceux qui ont le moins de chance d'avoir des composantes liées gravitationnellement en raison de la distance qui sépare les deux étoiles. Ce sont donc ceux qui sont susceptibles d'être les moins intéressants d'un point de vue scientifique. Cependant, pour augmenter la probabilité d'observer des couples gravitationnellement liés, l'équipe a sélectionné ceux qui sont les plus proches du Système solaire. En utilisant les données du catalogue Gaia EDR3, nous avons retenu 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 18. Le choix des cibles parmi 70 possibles, a été contraint par les dates de la mission et la latitude de l'Observatoire, soit des couples situés entre 20 h et 23 h d'ascension droite et de déclinaison supérieure à -10° afin d'optimiser les conditions de seeing en pointant les couples à leur plus grande hauteur possible. Une dernière limitation en déclinaison inférieure à 43° a été appliquée pour éviter les rotations de la coupole du sud vers le nord.

L'acquisition des données Gaia a été effectuée avec l'outil VizieR du Centre de Données Stellaires de Strasbourg (CDS) [8] et le tri des couples avec le logiciel TOPCAT [9].

4 Acquisition des images

Les images ont été acquises dans la nuit du 23 au 24 octobre 2021. Nous avons choisi d'utiliser le filtre qui permettait de limiter au mieux l'écart de magnitude entre les composantes : R (rouge), B (bleu) ou luminance. Nous avons pris 10 images par couple, en limitant le champ à 10' x 10' dans le cas général, ou à 40' x 40' quand un autre couple était observé dans le même champ par l'équipe au cours de la nuit. Les temps de pose de 5 à 30 s ont été ajustés pour obtenir une image stellaire dont le diamètre à mi-hauteur mesure 5 à 7 pixels.

Les flats ont été pris pendant la période crépusculaire précédent la nuit d'observation et les darks à la fin des acquisitions, après fermeture de l'obturateur de la caméra.

5 Étalonnage des champs

Nous avons constaté, à l'aide du logiciel d'astrométrie PlateSolve2 distribué par PlaneWave Instruments [10], que l'orientation des images n'était pas constante d'un couple à l'autre et présentait des écarts à la moyenne pouvant atteindre 0,1°. L'origine de ces écarts pourrait provenir d'une imprécision de la mise en station du télescope. La méthode des couples étalons n'est donc pas adaptée pour cette séance d'acquisition. Par conséquent, nous avons effectué un étalonnage particularisé à chaque série de prise de vue en utilisant la méthode suivante :

- choix d'au moins 8 étoiles formant au moins 4 couples fictifs,
- relevé pour chaque étoile des ascensions droites et déclinaisons (époque 2016) dans le catalogue Gaïa EDR3,
- calcul des ascensions droites et déclinaisons pour l'époque de l'observation, en tenant compte des mouvements propres des étoiles donnés par Gaïa et de la précession des équinoxes,
- calcul pour chaque couple de la séparation (ρ) et de l'orientation (θ) des composantes,
- étalonnage avec le logiciel REDUC de Florent Losse [11] pour obtenir l'angle des lignes de pixels par rapport à la direction du Nord (Δ) et la taille angulaire du pixel (E).

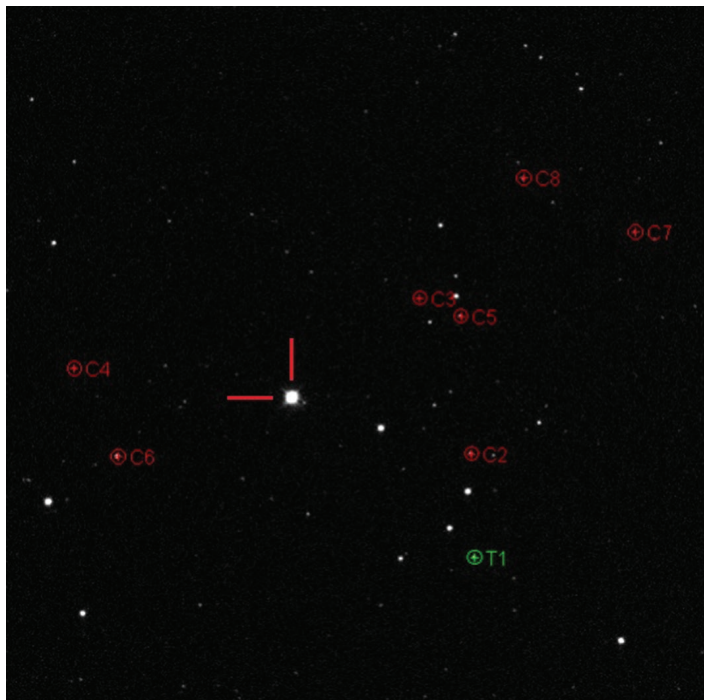


Figure 3. Les étoiles de comparaison utilisées pour le couple BAK1 sont repérées T1, C2 à C8, le couple BAK1 est signalé par deux tirets rouges.

Précisions sur le mode de calcul de l'astrométrie relative des composantes de chaque couple :

- Les étoiles de comparaison sont choisies autour de la cible, en veillant à ce que leurs images ne soient pas saturées et avec une valeur du RUWE (Renormalised unit weight error) inférieure à 1,4 afin de s'assurer que leurs mouvements propres sont uniformes et non perturbés par des sources voisines conformément aux recommandations de Lindegren [12].
- Les corrections de précession ont été effectuées à l'aide de la méthode qualifiée de « rigoureuse » par Jean Meeus [4].
- Les séparations angulaires sont calculées selon la formule (10-2) donnée par Jean Meeus [13], à savoir :
$$\rho^2 = (\Delta\alpha \cdot \cos\delta)^2 + (\Delta\delta)^2$$
- Les angles de position sont calculés selon la formule de trigonométrie sphérique donnée par Smolinsky, 2006 [14], c'est à dire :
$$\theta = q \cdot 90^\circ - \arctan(\sin \Delta\delta / (\cos \Delta\delta \cdot \sin (\Delta\alpha \cdot \cos \delta)))$$
$$q \text{ prenant la valeur } 1 \text{ ou } 3 \text{ selon le quadrant pour résoudre l'ambiguïté à } 180^\circ \text{ de la fonction arc tangente.}$$

La liste des étoiles de comparaison et les résultats des étalonnages sont donnés en annexe 1. Les incertitudes de mesures sont estimées par application de la loi de Student pour 98 % de confiance.

Le couple STF 370AB, qui avait initialement été imagé pour servir de couple étalon, a été mesuré de la même manière que les autres couples.

6 Réduction des données

Après traitement des darks et des flats, les 10 images de chaque couple ont été 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 1.

Les données de la table 1 sont les suivantes :

- référence dans le WDS,
- nom de l'étoile double,
- date de la mesure (années juliennes),
- 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 : « - » pour le filtre luminance, « R » pour rouge ou « B » pour bleu,
- nombre de nuits d'observation,
- notes.

Notes :

(1) utilisation de QuadPx deux fois de suite puis de Surface, logiciel conçu par Guy Morlet et Pierre Bacchus et qui est intégré à REDUC.

Index WDS	Nom	Époque	θ	$\Delta\theta$	ρ	$\Delta\rho$	ΔM	Filtre	n	Notes
19171+0920	STT 370 AB	2021,81	13,7	0,1	19,54	0,04	3,0	B	1	
20007+2243	BAK 1	2021,81	244,4	0,7	11,32	0,18	6,3	R	1	
20126-0904	SKF 444 AB	2021,81	39,4	0,4	8,47	0,06	3,3	R	1	
20567+3047	LDS 2935	2021,81	200,1	0,3	10,02	0,07	0,5	-	1	
20568-0449	LDS 6420	2021,81	309,5	0,2	15,14	0,09	4,9	-	1	
21174+2053	KUI 106	2021,81	340,9	0,4	4,42	0,01	1,1	-	1	(1)
21220+3106	KPP 3368	2021,81	40,9	1,5	8,89	0,44	5,1	B	1	
21403+0516	SKF 484	2021,81	23,0	0,4	14,92	0,10	3,5	-	1	
22263+0301	LDS 4967	2021,81	200,5	0,5	11,59	0,06	2,9	-	1	
22318+2528	LDS 4974	2021,81	328,2	0,3	14,45	0,16	4,8	-	1	
23389+2101	LDS 5108	2021,81	110,7	1,4	9,40	0,04	3,5	-	1	
23393+2116	COU 33	2021,81	325,7	0,7	5,41	0,02	2,3	-	1	

Table 1. Résultats de mesure au T82 de Bélesta

Les résultats ont été confrontés aux mesures effectuées par Debackère [15], pour 6 couples avec le T200 du Faulkes Telescope North (FTN) et sont représentés sur la figure 4 et pour le couple STT370 AB avec le télescope de 0,40 m de diamètre de l'Observatoire Teide de Tenerife représentés figure 5. On voit la bonne corrélation entre les mesures. Nous observons que les mesures faites au T82 de Bélesta présentent des incertitudes

généralement plus élevées que celles du T200, sans doute dues au fait que l'échantillonnage des images au T200 était de 0,27 "/pixel pour 0,6 "/pixel au T82. Toutefois, pour le couple STT 370 AB, les incertitudes sont plus faibles au T82 qu'au T40 ; l'échantillonnage des images au T40 était de 0,57 "/pixel pour 0,6 "/pixel au T82.

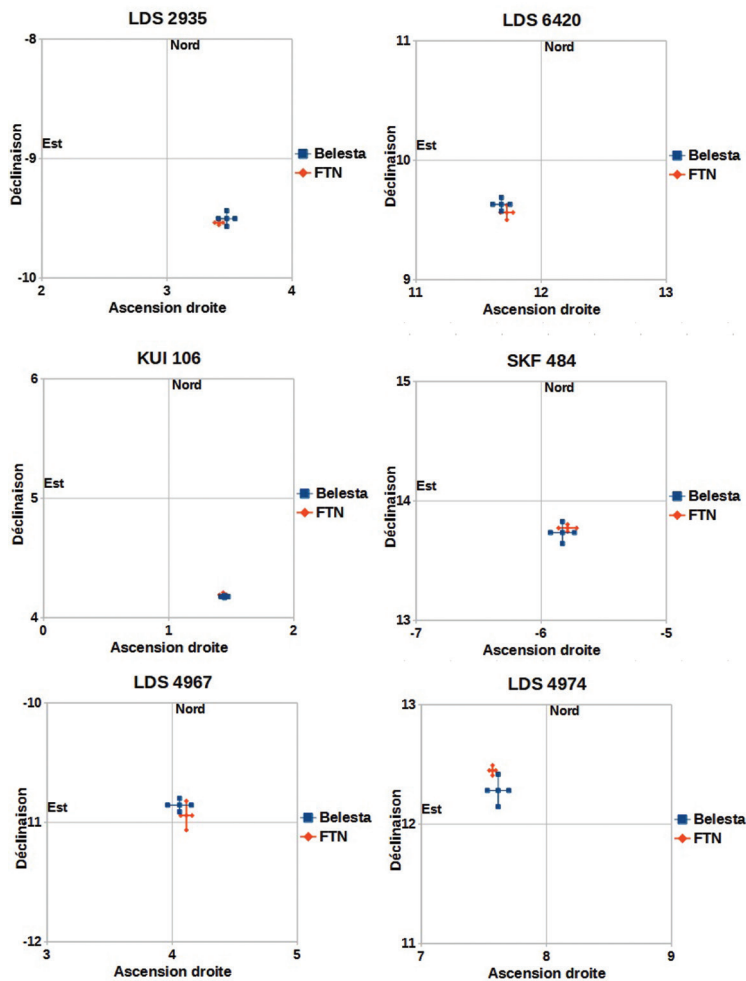


Figure 4. Comparaison des mesures faites au T82 de Bélesta avec celles faites au T200 du FTN. Les croix représentent les positions relatives des composantes secondaires par rapport à leur compagnon primaire. Les unités sont des secondes de degré. Les longueurs des segments représentent les incertitudes de mesure.

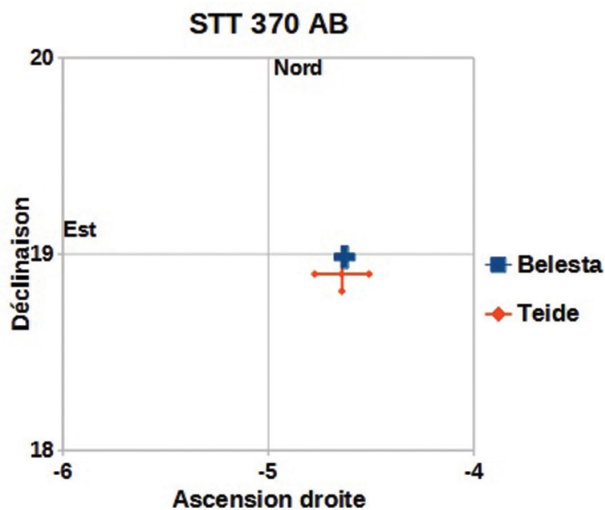


Figure 5. Comparaison des mesures faites au T82 de Bélesta avec celles faites au T40 de Teide. Les croix représentent les positions relatives des composantes secondaires par rapport à leur compagnon primaire. Les unités sont des secondes de degré. Les longueurs des segments représentent les incertitudes de mesure.

7 Une curiosité : l'éclipse de STT 370 B

Comme le montre la figure 6, sur nos images, STT 370 AB montre un écart de magnitude important entre les deux composantes A et B, écart qui ne se manifeste pas sur la vue Aladin. Nous avons mesuré avec REDUC un ΔM de 3 magnitudes en bande B alors que Gaïa donne un ΔM de 0,36 en bande bleu BP. Il est à noter que la composante B est la binaire à éclipses V342 Aql. La base VSX de l'AAVSO [16] nous indique que sa magnitude varie de 9,5 à 12,9 et que les éclipses durent 11,39 heures. La base TIDAK (Timing Database at Krakow) [17] nous donne la formule de calcul des instants des minima primaires :

$$HJD = 2452502,116 + E. 3,390944$$

Nous en déduisons que le minimum de l'éclipse était prévu le 23 octobre 2021 à 19h 43 TU. Les prises de vue ont eu lieu ce même jour entre 18h23 et 18h28 TU, ce qui confirme bien qu'une éclipse était en cours pendant l'observation.

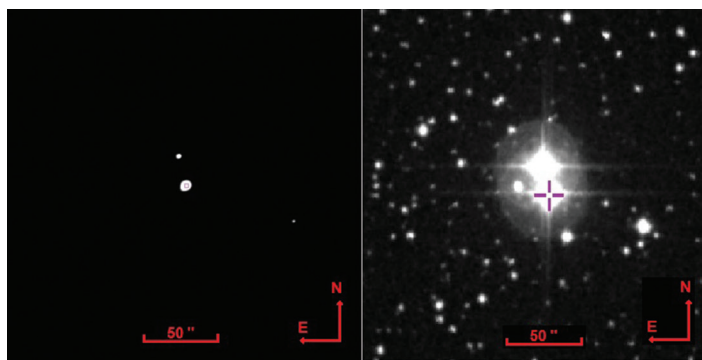


Figure 6. STT 370 AB, image de gauche prise au T82 à Bélesta lors de l'éclipse du 23-10-21 avec un filtre B, image de droite : vue Aladin avec la trame DSS2 blue.

Couple	AD J2000	DE J2000	Époque	θ	$\Delta\theta$	ρ	$\Delta\rho$	ΔM	Filtre	n
CED 1	21 25 02,84	-04 45 31.16	2021,81	359,1	0,3	10,56	0,05	0,7	R	1

Table 3. Mesure du nouveau couple identifié

8 Détection d'un nouveau couple

Lors de la nuit d'observation, l'équipe a constaté la présence d'un couple visuel dans le champ des cibles initialement visées et qui n'est pas répertorié dans le catalogue WDS. Il est visible sur la figure 7 et les paramètres Gaïa EDR3 sont rassemblés dans la table 2 où ils sont reproduits en l'état, tels que fournis par Vizier.

Les mesures que nous avons effectuées sont dans la table 3

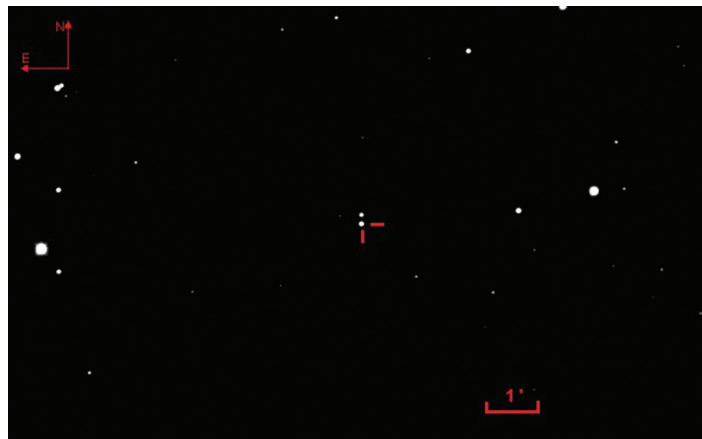


Figure 7. Le nouveau couple pris au T82 à Bélesta.

	Étoile primaire	Étoile secondaire
Code Gaïa EDR3	2672125104481607552	2672125108776556928
RA J2000	21 25 02.8363285381	21 25 02.8294149441
DE J2000	-04 45 31.164674537	-04 45 20.557271470
pmRA	-87.209	-90.469
pmDE	-47.263	-50.261
Gmag	12.931299	13.518297
Plx	18.5883	18.5501
e Plx	0.0285	0.0177

Table 2. Données Gaïa EDR3 du nouveau couple

dont les colonnes désignent :

- le numéro proposé du couple,
- l'ascension droite J2000 calculée par le CDS à partir des données Gaïa EDR3,
- la déclinaison J2000 calculée par le CDS à partir des données Gaïa EDR3,
- la date de la mesure (années juliennes),
- la valeur d'angle de position Thêta en degrés,
- l'incertitude de mesure d'angle de position Thêta en degrés à 98 % de confiance,
- la valeur de séparation Rhô en secondes d'arc,
- l'incertitude de mesure de séparation Rhô en secondes d'arc à 98 % de confiance,
- l'écart de magnitude mesuré avec Reduc,
- le filtre utilisé, « R » pour rouge,
- le nombre de nuits d'observation.

Les composantes A et B sont connues dans Simbad comme UPM J2125-0445 et UPM J2125-0445 B, toutes deux notées comme à fort mouvement propre. Seule la composante A est citée par Finch et al 2018 [18] qui donne une valeur de parallaxe de 41,9 mas, très différente de celle du catalogue Gaia EDR3 ; le couple ne figure pas dans la liste des couples à mouvements propres communs de cet article. Le couple est bien visible dans les images du SDSS DR13 (figure 8) [19].

Au vu des mesures du catalogue Gaia EDR3, les distances des deux étoiles au Système solaire sont respectivement 53,80 pc et 53,91 pc (écart de 0,11 pc) et les incertitudes sont voisines de $\pm 0,08$ pc et $\pm 0,06$ pc. L'hypothèse que ces deux étoiles soit à la même distance du Système solaire paraît vraisemblable.

Le catalogue Gaia DR2 indique une vitesse radiale de 7,37 km/s pour la composante B mais ne comporte pas de mesure de vitesse radiale pour la composante A. Nous ne pouvons donc pas comparer les composantes radiales des vecteurs vitesses des composantes. Les mouvements propres (pmRA et pmDE) du catalogue Gaia EDR3 ne présentent pas d'écarts importants entre les composantes, ce qui conduit à penser que ces deux étoiles pourraient former un couple à mouvement propre commun et serait donc probablement physique. Nous proposons l'intégration de ce nouveau couple au catalogue WDS sous le nom de CED 1.

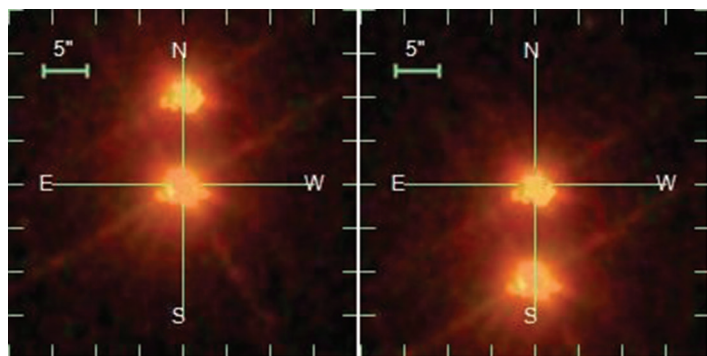


Figure 8. Pointage de chacune des composantes du nouveau couple, sur le site du SDSS DR 13.

Image de gauche : composante A, image de droite : composante B.

9 Conclusion

Cette mission était la première effectuée par les membres de la Commission des étoiles doubles à l'Observatoire de Bélesta-en-Lauragais. Le premier bilan est satisfaisant avec 12 couples mesurés et la détection d'un couple non répertorié dans le WDS.

Cette campagne a montré les bonnes capacités de l'instrument pour mesurer les couples écartés. Ce très beau télescope est capable de mesurer des couples avec des composantes au-delà de la magnitude 17 et avec des écarts de magnitude jusqu'à 5 ou 6. Mais le pouvoir de résolution est modeste ; en dessous de 6 secondes de degré de séparation entre les composantes, les incertitudes de mesures deviennent importantes. L'usage d'une caméra munie de pixels plus petits et l'adjonction d'une lentille de Barlow permettraient d'améliorer les possibilités de cet instrument pour mesurer les étoiles doubles visuelles, modifications que nous espérons pour le futur.

Nous avons détecté un couple non référencé dans le WDS, ses composantes présentent des mouvements propres voisins et sont situées respectivement à 53,80 pc et 53,91 pc du Système solaire. Il est probable que ce couple soit physique, la poursuite des observations dans les années qui viennent permettrait de le vérifier. C'est pourquoi nous proposons son intégration dans le catalogue du WDS.

10 Remerciements

Nous remercions Patrick Martinez et l'association Adagio pour avoir rendu possible cette mission et pour leur accueil chaleureux.

Nous remercions Florent Losse pour la mise à disposition du logiciel REDUC.

Nous remercions également Daniel Bonneau, Astronome honoraire à l'Observatoire de la Côte d'Azur et Collaborateur bénévole du Laboratoire Lagrange qui, dans le cadre du comité de relecture de la revue Etoiles Doubles, nous a aidé à améliorer la qualité de cet article.

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 ».

Ce travail a utilisé la base « International Variable Star Index » (VSX) exploitée par l'AAVSO, Cambridge, Massachusetts, USA.

11 Références

[1] <http://www.astrosurf.com/adagio/observatoire/belesta.html>

[2] <https://ced.saf-astronomie.fr/>

[3] Gaia Collaboration et al. (2016b) The Gaia mission. A&A 595, A1.

[4] Gaia Collaboration et al. (2020a) Gaia EDR3 : Summary of the contents and survey properties. A&A 649, A1.

[5] Codes observatoires du Minor Planet Center <https://www.minorplanetcenter.net/iau/lists/ObsCodesF.html>

[6] WG Small Body Nomenclature (WGSBN) Bulletin 2, #4 https://www.wgsbn-iau.org/files/Bulletins/V002/WGSBNBull_V002_004.pdf

[7] <https://www.prism-astro.com/>

[8] <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>

[9] 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

[10] <https://planewave.com/downloads/software/>

[11] <http://www.astrosurf.com/hfosaf/fr/tdownload.htm#reduc>

[12] L. Lindegren (2018) Re-normalising the astrometric chi-square in Gaia DR2. Technical Note, Lund Observatory. Note : Gaia Data Processing and Analysis Consortium (DPAC) technical note GAIA-C3-TN-LU-LL-124

[13] Jean Meeus 2014, Calculs astronomiques à l'usage des amateurs, éditions SAF

[14] Smolinsky, J., and Osborn, W., 2006, RevMexAA (Serie de Conferencias), 25, 65–68

[15] Debackère (2022), Observations croisées, mesures d'étoiles doubles du programme BELESTA 2021 avec des télescopes robotisés du réseau LCO. Revue Étoiles Doubles n°4.

[18] Finch, C.T., Zacharias, N. et Jao, W-C, 2018, AJ 155, 176, "URAT South Parallax Results"

[16] <https://www.aavso.org/vsx/>

[19] <https://skyserver.sdss.org/dr13/en/home.aspx>

[17] "Up-to-date Linear Elements of Close Binaries", J.M. Kreiner, 2004, Acta Astronomica, vol. 54, pp 207-210

ANNEXE 1 : Étalonnage des images

Étoiles	Code Gaïa 1ère étoile	Code Gaïa 2ème étoile	θ calculé	ρ calculé	Δ	E
étalonnage pour STT 370						
T1 C2	4308975834360450560	4308996828161477248	69,877	414,212	0,680	0,59887
C3 C4	4308999439501060352	4308972634598700288	208,017	281,602	0,670	0,59866
C5 C6	4308999400834916608	4308995380744950272	119,711	244,167	0,680	0,59809
C7 C8	4308972157868027264	4309000745171140096	3,200	521,736	0,700	0,59846
moyenne					0,6825	0,5985
écart type					0,0126	0,0003
incertitude à 98% de confiance					0,0286	0,0008
étalonnage pour BAK 1						
T1 C2	1827242266446049920	1827242713122661504	1,191	88,470	0,680	0,59877
C3 C4	1827243091079795072	1833246939954240512	100,850	302,172	0,650	0,59874
C5 C6	1827243121114533504	1833246596356853888	111,528	317,506	0,640	0,59877
C7 C8	1827246252175779712	1827246183456286720	63,861	106,434	0,640	0,59931
moyenne					0,6525	0,5989
écart type					0,0190	0,0003
incertitude à 98% de confiance					0,0430	0,0006
étalonnage pour SKF 444						
T1 C2	4215461751935617536	4215458419040974720	157,197	146,816	0,850	0,59837
C3 C4	4215458796998112896	4191439140856666880	195,256	239,414	0,850	0,59867
C5 C6	4191439243935888512	4191442748629295360	327,491	288,202	0,820	0,59905
C7 C8	4191442714269500032	4215459209314974976	73,537	380,651	0,860	0,59845
moyenne					0,8450	0,5986
écart type					0,0173	0,0003
incertitude à 98% de confiance					0,0393	0,0007
étalonnage pour LDS2935						
T1 C2	1858771861861871104	1858771793142405248	232,425	121,418	0,730	0,59854
C3 C4	1858771964941124736	1858772136739809792	45,732	114,461	0,730	0,59896
C5 C6	1858772205459310208	1858772411617685248	82,287	198,758	0,750	0,59865
C7 C8	1858772411617673984	1858771346465743360	170,393	156,634	0,710	0,59844
moyenne					0,7300	0,5986
écart type					0,0163	0,0002
incertitude à 98% de confiance					0,0371	0,0005
étalonnage pour LDS 6420						
T1 C2	6913810857273630464	6913811097792343936	89,047	182,047	0,860	0,59887
C3 C4	6913810964648650112	6913763582569431552	150,159	201,509	0,830	0,59877
C5 C6	6913763410770737152	6913808834344869248	255,446	355,240	0,860	0,59899
C7 C8	6913763273330504832	6913810827209698688	308,123	323,822	0,850	0,59863
moyenne					0,8500	0,5988
écart type					0,0141	0,0002
incertitude à 98% de confiance					0,0321	0,0003

Étoiles	Code Gaïa 1ère étoile	Code Gaïa 2ème étoile	θ calculé	ρ calculé	Δ	E
étalonnage pour KUI 106						
T1 C2	1791309951538746624	1791310634438240128	273,861	164,254	0,780	0,59871
C3 C4	1791309882819273728	1791309470502414592	234,929	112,505	0,770	0,59880
C5 C6	1791309779740057216	1791309092545282944	174,462	159,413	0,770	0,59878
C7 C8	1791309401782932992	1790558912082203904	105,981	143,696	0,790	0,59892
C9 C10	1790558847657989760	1790558504060608128	246,310	159,217	0,770	0,59880
C11 C2	1791309058185546368	1791309058185545600	77,398	26,341	0,670	0,59798
moyenne					0,7583	0,5987
écart type					0,0440	0,0003
incertitude à 98% de confiance					0,0737	0,0006
étalonnage pour KPP 3368						
T1 C2	1853358343335187456	1853361130774280704	269,383	248,324	0,740	0,59879
C3 C4	1853357900958807424	1853361577450835072	350,695	262,031	0,690	0,59897
C5 C6	1853358553793853696	1853361886688479488	301,570	251,888	0,750	0,59873
C7 C8	1853360989035043072	1853367723543758976	44,225	497,436	0,700	0,59905
moyenne					0,7200	0,5989
écart type					0,0294	0,0001
incertitude à 98% de confiance					0,0668	0,0003
étalonnage pour KPP 2698						
T1 C2	2672151600134832512	2672163037633200128	33,928	561,191	0,840	0,59869
C3 C4	2672159949551329152	2672157265197156224	155,829	268,740	0,870	0,59845
C5 C6	2672157986751661824	2672102878025819904	199,149	563,414	0,850	0,59907
C7 C8	2672110505887811584	2672152660991773824	262,918	1292,130	0,870	0,59818
moyenne					0,8575	0,5986
écart type					0,0150	0,0004
incertitude à 98% de confiance					0,0341	0,0009
étalonnage pour SKF 484						
T1 C2	2698694772902637568	2698682918792898432	165,820	132,570	0,800	0,59878
C3 C4	2698682197238389248	2698658901335773696	269,385	242,279	0,850	0,59886
C5 C6	2698682437756558080	2698695357018187776	314,300	282,457	0,830	0,59877
C7 C8	2698670652366331520	2698695799399112320	13,920	332,865	0,810	0,59886
moyenne					0,8225	0,5988
écart type					0,0222	0,0000
incertitude à 98% de confiance					0,0503	0,0001
étalonnage pour LDS 4967						
T1 C2	2703758161386983040	2703757233674070528	153,780	168,055	0,850	0,59871
C3 C4	2703754033923346560	2703756786997433088	273,436	286,295	0,860	0,59873
C5 C6	2703756305961095168	2703757813494864512	328,258	313,493	0,840	0,59869
C7 C8	2703758333185698944	2703759875078385536	41,769	153,819	0,850	0,59879
moyenne					0,8500	0,5987
écart type					0,0082	0,0000
incertitude à 98% de confiance					0,0185	0,0001
étalonnage pour LDS 4974						
T1 C2	1880317582470775552	1880317616830518400	27,846	93,737	0,770	0,59891
C3 C4	1880411247117450880	1880317238873369856	225,348	172,382	0,810	0,59869
C5 C6	1880316860916248064	1880318299729670656	346,602	212,638	0,790	0,59883
C7 C8	1880317101434415616	1880317685549994880	37,960	283,975	0,790	0,59882
moyenne					0,7900	0,5988
écart type					0,0163	0,0001
incertitude à 98% de confiance					0,0371	0,0002

Étoiles	Code Gaïa 1ère étoile	Code Gaïa 2ème étoile	θ calculé	ρ calculé	Δ	E
étalonnage pour LDS 5108						
T1 C2	2826468022735184768	2826277944662170752	146,687	533,310	0,830	0,59825
C3 C4	2826467198101177728	2826277120028451712	169,687	607,240	0,820	0,59837
C5 C6	2826273855853308288	2826440397505182208	266,320	881,637	0,840	0,59871
C7 C8	2826251865620682624	2826446822776246784	352,036	816,363	0,880	0,59819
moyenne					0,8425	0,5984
écart type					0,0263	0,0002
incertitude à 98% de confiance					0,0597	0,0005

Table 4. Étalonnage des images à partir d'étoiles connues.

θ et Δ sont exprimés en degrés, ρ en secondes de degré, E en secondes de degré par pixel.



Patrick WULLAERT

Je me suis mis sur le tard à l'astronomie, vers 55 ans. Dans le Loiret à l'Astro-Club d'Ouzouer sur Loire, j'ai appris les techniques de l'observation et j'y ai trouvé le goût pour les animations publiques. 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 des jeunes quand ils les découvrent 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.