

Etude de l'étoile double DBR 89

Study of the double star DBR 89

EPIC ID 211089792

TYC ID 1818-1428-1

AD gaia $62.6704194^\circ \pm 0.3$ mas DE gaia $+24.4016589^\circ \pm 0.2$ mas

André Debackère

Commission des étoiles doubles de la Société Astronomique de France

andre.debackere@free.fr

Avril 2017

Abstract :

This paper presents a work aiming at the determination of the nature, either physical or optical, of a double star called DBR 89, one of the components of which has a planet (exoplanet). The photometric distances of the two components are estimated and found to be very close. This result supports the hypothesis that this pair constitutes a physical binary. This hypothesis is confirmed by a statistical test and by the fact that the two stars have common proper motions, in agreement with the detailed study carried out by other authors.

Key words : double stars, distances.

La lecture de l'article¹ de Marie-Claude Paskoff publié dans la revue Observations et Travaux n°52 Spécial Etoiles Doubles (pages 59 à 62) intitulé « Des Lycéens dans les étoiles...doubles » m'a conduit à m'intéresser à la détermination de la distance des étoiles observées. La méthode a pour objectif d'essayer d'apporter une réponse à la question suivante : le couple observé est-il un couple physique ou un couple optique ? Si les distances des composantes à l'observateur sont très différentes, le couple est optique ; sinon il est probable qu'il s'agit d'un couple physique dont les composantes sont liées par la gravitation. J'ai présenté une première ébauche de ce travail lors de la réunion de la commission qui fut tenue à Lille en septembre 2016. Fort des remarques faites par les conseillers scientifiques de la commission présents à cette réunion, j'ai affiné la méthode. Bien entendu, ce critère de distance n'est pas suffisant à lui seul pour trancher ; il faut le compléter avec d'autres éléments lorsqu'ils sont connus - la parallaxe trigonométrique, les mouvements propres, les vitesses radiales - sans oublier l'aspect statistique en déterminant la probabilité qu'un objet se trouve à la séparation angulaire donnée de l'étoile considérée.

¹ <http://articles.adsabs.harvard.edu/full/seri/O+T../0052/0000059.000.html>

I) Choix de la cible

J'ai choisi l'étoile EPIC-211089792, répertoriée DBR 89 dans le WDS² (The Washington Visual Double Star Catalog (Mason+ 2001-2014)) et particulièrement bien étudiée depuis la détection d'une nouvelle exoplanète par l'observatoire Super-WASP puis par la mission spatiale K2³ au cours de sa quatrième campagne : un Jupiter chaud EPIC-211089792b. Un appel aux observations a été lancé par Alexandre Santerne au début de janvier 2016. J'ai participé à ce travail en fournissant des images dans les bandes B, V et R de la cible, obtenues le 8 janvier 2016 avec le Faulkes Telescope North⁴ (FTN) situé au sommet de l'Haleakala à Hawaii (3 images en B, 3 images en V et 3 images en R, à 20s de pose chacune). En effet, il y a un « contaminant » à 4,3 " au NE de la cible, les images BVR sont utilisées pour estimer la contamination par la présence de la deuxième composante qui ne pouvait pas être résolue par les données enregistrées par la mission Kepler K2. Les résultats sont publiés dans l'article d'Alexandre Santerne : « EPIC211089792 B: AN ALIGNED AND INFLATED HOT JUPITER IN A YOUNG VISUAL BINARY » publié dans « The Astrophysical Journal, Volume 824, Number 1 »⁵.

J'ai également réalisé des images en B et V le 19 janvier 2017 avec le FTN et le FTS (Faulkes Telescope South⁶) ainsi que les 2 et 3 février 2017 avec le FTN.

II) Méthode du module de distance

- 1) Mesures de position des composantes A et B du couple DBR 89 sur les images obtenues le 8 janvier 2016 au FTN (Astrometrica⁷ et catalogue GAIA-DR1).

Voir figure 1 et tableau 1.

- 2) Mesure de l'angle de position θ (°) et de la distance angulaire ρ (") des composantes du couple DBR 89 (REDUC⁸, calibration des images avec deux couples d'étoiles de référence donnant l'orientation Δ (°) du capteur CCD et l'échantillonnage E ("/pix))

Dans notre étude les deux couples d'étoiles choisies pour la calibration sont :

C1 = UCAC4 573-010526

AD = 04h10m32.57s DEC = +24°28'28.0"

C2 = UCAC4 573-010525

AD = 04h10m31.09s DEC = +24°28'16.8"

et

C'1 = UCAC4 573-010519

AD = 04h10m25.88s DEC = 24°24'36.4"

C'2 = UCAC4 573-010520

AD = 04h10m26.37s DEC = 24°24'38.8"

² <http://www.usno.navy.mil/USNO/astrometry/optical-IR-prod/wds/WDS>

³ <http://keplerscience.arc.nasa.gov/objectives.html>

⁴ <https://lco.global/observatory/2m/fulkes-telescope-north/>

⁵ <https://arxiv.org/pdf/1601.07680.pdf>

⁶ <https://lco.global/observatory/2m/fulkes-telescope-south/>

⁷ <http://www.astrometrica.at/>

⁸ <http://www.astrosurf.com/hfosaf/fr/tdownload.htm#reduc>

Les coordonnées de ces étoiles sont mesurées sur une image du 8 janvier 2016 à l'aide du logiciel Astrometrica et du catalogue GAIA-DR1 permettant de calculer les coordonnées polaires des deux couples de référence.

Voir figure 1 et tableau 1.

3) Mesures photométriques des composantes du couple DBR 89 (SUBARU Image Processor⁹: Makali'i avec deux étoiles de référence).

Les deux étoiles de référence utilisées sont :

R1 = UCAC4 573-010534

Bmag = 13.564+/-0.059 ; Vmag = 12.729+/-0.034 ; Rmag = 12.408+/-0.044

R2 = UCAC4 572-010342

Bmag = 13.131+/-0.044 ; Vmag = 12.389+/-0.043 ; Rmag = 12.134+/-0.048

Les données proviennent du catalogue APASS (AAVSO Photometric All Sky Survey DR9 (Henden+, 2016))

Les mesures de magnitudes des composantes A et B du couple DBR 89 sont réalisées en photométrie d'ouverture à 3 cercles.

Voir Figure 1 et tableau 2.

4) Correction de l'extinction interstellaire

$$a) E(B-V) = (B-V)_{\text{mesuré}} - (B-V)_{\text{corrigé}}$$

L'extinction dépend de la longueur d'onde λ , elle est plus forte dans le bleu ce qui a pour conséquence que les objets paraissent plus rouges qu'ils ne le sont en réalité.

$$m_{\text{corrigée}} = m_{\text{réelle}} - A$$

où « A » est l'extinction mesurée en magnitude

$A_{\lambda} = R_{\lambda} \times E(B-V)$ d'après « Les Cahiers Clairaut¹⁰ printemps 2008 n°121 page 4)

les valeurs suivantes sont communément admises :

- Pour le bleu $A_B = 4.315 \times E(B-V)$
- Pour le vert $A_V = 3.315 \times E(B-V)$
- Pour le rouge $A_R = 2.673 \times E(B-V)$

b) Détermination de la magnitude absolue de chaque composante du couple DBR 89

Nous utilisons les tables établies par Frédéric Arenou liant indice de couleur, type spectral, classe de luminosité et magnitude absolue. L'étude d'Alexandre Santerne⁵ page 4 nous renseigne sur le type spectral et la classe de luminosité des deux composantes du couple DBR 89.

Voir tableau 2- les valeurs utilisées sont extraites de la table de Frédéric Arenou.

Dans notre cas $E(B-V) = 0.19$ (voir l'article d'Alexandre Santerne⁵ page 7 : Reddening $E(B-V)$ [mag] 0.19 ± 0.02), nous avons donc :

- $A_B = 0.81985$
- $A_V = 0.62985$
- $A_R = 0.50787$

⁹ <https://makalii.mtk.nao.ac.jp/>

¹⁰ http://accens-lyon.fr/clea/archives/cahiers-clairaut/CLEA_CahiersClairaut_121_02.pdf

Les mesures de magnitudes des deux composantes dans les 3 bandes B, V et R précédentes sont ainsi corrigées de l'extinction.

Voir tableau 3.

5) Indices de couleur corrigés

Après avoir calculé les moyennes pondérées des magnitudes des deux composantes en B et en V, nous calculons ensuite les indices de couleur corrigés pour chaque composante du couple étudié en tenant compte de l'extinction dans le bleu et dans le vert.

Voir tableau 3.

6) Calculs de distance des composantes A et b du couple étudié

La loi de Pogson permet de calculer la distance d'un objet connaissant sa magnitude apparente et sa magnitude absolue :

$$\log d = (m_V - A_V - M_V + 5) / 5$$
$$d = 10^{((m_V - A_V - M_V + 5) / 5)}$$

Voir tableau 4.

7) Calcul d'erreur

a) Sur les magnitudes de chaque composante en bande V mesurées sur les images obtenues aux Faulkes Telescopes.

$$V_{\text{mag A}} = 12.520 \pm 0.013$$

$$V_{\text{mag B}} = 14.690 \pm 0.031$$

b) Sur l'absorption en bande V

$$A_V = 0.630 \pm 0.066 \quad (3.315 \times 0.02 \text{ mag})$$

c) Sur la magnitude absolue M

L'incertitude sur la magnitude absolue est estimée par Frédéric Arenou lors de l'établissement de ses tables à 0.3 mag pour chaque composante. On voit donc que cette dernière incertitude est significativement plus importante que les erreurs sur les magnitudes apparentes et sur l'absorption.

On a finalement

$$\sigma_d / d = \sigma_M \times \ln(10) / 5$$

Soit une incertitude d'environ 14% sur la distance de chaque composante. La différence des distances de chaque composante est inférieure à l'erreur sur ces distances ce qui permet de supposer que les deux étoiles peuvent être à la même distance et donc constituer un couple physique.

Voir tableau 4

III) Mouvements propres des composantes

1) Ma recherche auprès du dernier catalogue UCAC5 (Zacharias+ 2017) me donne les mouvements propres en ascension droite et en déclinaison des deux composantes :

Composante A : Src ID gaia 150054784248952576

pmAD (UCAC/Gaia mouvement propre en AD*cosDE) 15,2 mas/an +/- 1,2 mas/an

pmDE (UCAC/Gaia mouvement propre en DE) -22,8 mas/an +/- 1,2 mas/an

Composante B : Src IDGaia 150054784249943040

pmAD (UCAC/Gaia mouvement propre en AD*cosDE) 16,4 mas/an +/- 2,0 mas/an

pmDE (UCAC/Gaia mouvement propre en DE) -25,5 mas/an +/- 2,0 mas/an

Les deux composantes ont des mouvements propres proches qui confirment la nature binaire physique de DBR 89.

2) Images d'archive

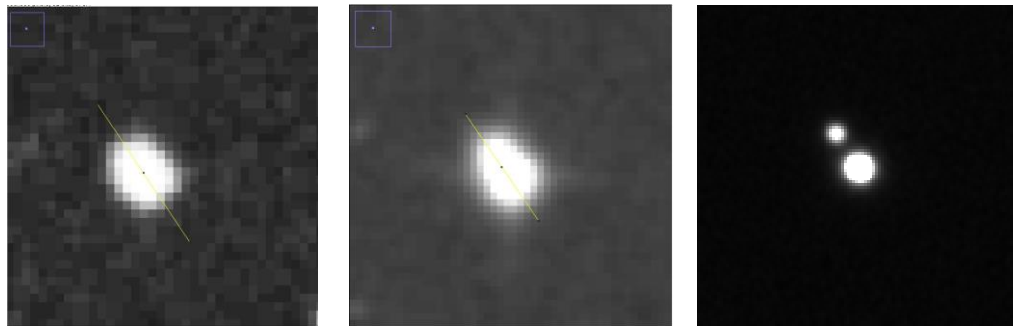
- Le portail du CDS¹¹ nous donne :

Survey POSSI du 1949/12/21, échantillonnage 1,6"/pix

Survey POSSII du 1993/12/11, échantillonnage 1,0"/pix

- D'autre part mes observations au Faulkes Telescope North du réseau Las Cumbres Observatory fournissent par exemple cette image :

FTN bande V du 2016/01/08, échantillonnage 0.3"/pix



1949

$\theta \sim 35^\circ$

$\rho \sim 3''$

1993

$\theta \sim 37^\circ$

$\rho \sim 4.5''$

2016

$\theta = 34.15^\circ$

$\rho = 4.32''$

Les images de 1949, 1993 et les nôtres de 2016 montrent les deux composantes se déplaçant ensemble au cours du temps présentant ainsi des mouvements propres communs ce qui renforce la réalité physique du couple.

IV) Test statistique

J'ai utilisé la relation donnée dans le « wiki »¹² écrit par Frédéric Arenou.

On peut évaluer quelle est la probabilité d'avoir un objet à la séparation angulaire ρ (en secondes d'arc) d'une étoile considérée, sa présence étant due au hasard seul.

La probabilité d'avoir au moins une étoile de magnitude m dans l'élément de surface $\pi \rho^2$ autour d'une étoile donnée est obtenue avec la loi de Poisson par :

$$P(\rho, m) = 1 - \exp(-\pi \rho^2 D)$$

Le champ des images obtenues avec les Faulkes Telescope de 2mètres est d'environ 10'x10' soit une surface de 600''x600''.

L'utilisation d'ALADIN et du service des catalogues VizieR (choix du catalogue NOMAD) permet de compter le nombre d'étoiles du champ dont la magnitude en bande V est inférieure ou égale à une magnitude donnée.

¹¹ <http://cdsweb.u-strasbg.fr/index-fr.gml>

¹² https://fr.wikipedia.org/wiki/Double_optique

J'ai compté 7 étoiles répertoriées de magnitude plus brillante que 14.06 dans un champ de 10' x 10'.

Soit $D=7/(600) \times (600) = D/360000$

$P(4.3 ; 14.06) = 1 - \exp(-\pi \times 4.3^2 \times 7/360000) = 0.0011$

Soit 1 chance sur 886 d'avoir au moins une étoile par hasard à 4.3'' de la composante A soit 0.1%.

Ce qui conforte l'option « couple physique »

Remarque : A titre d'exemple historique, la notion d'utilisation de la séparation pour estimer la probabilité de « physicité » a été utilisée depuis longtemps. Par exemple, Robert Aitken¹³ en discute et donne une formule dans l'introduction à son catalogue ADS de 1932 (ancêtre du WDS).

V) Conclusion

La différence entre les distances des composantes obtenues ici et les résultats d'Alexandre Santerne s'explique par la prise en compte, pour effectuer le calcul de distance, de toutes les magnitudes disponibles (du bleu à l'infrarouge thermique en passant par le proche infrarouge). Avec ces données, un modèle de distribution spectrale d'énergie (SED) ont été ajustés. Les paramètres principaux de ce modèle sont la distance et l'extinction (en supposant qu'on connaît bien les propriétés stellaires, notamment la température effective T_{eff}). Le modèle fournit une distance avec une précision de 3pc par qu'il exploite les informations fournies par plusieurs bandes et non par une seule bande comme c'est le cas dans cet article.

Voir tableau 5

Les différentes méthodes utilisées montrent qu'il s'agit certainement d'un couple physique, ce que confirme l'article d'Alexandre Santerne. DBR 89 serait donc une binaire orbitale à longue période (plusieurs siècles) située entre les Pléiades et les Hyades.

¹³ Science, Volume 76, Issue 1961, pp. 103-104, " New General Catalogue of Double Stars within 120 degrees of the North Pole"

Fig. 1 - Dans ALADIN, champ de DBR 89, étoiles de calibration pour l'astrométrie et étoiles de référence pour la photométrie.

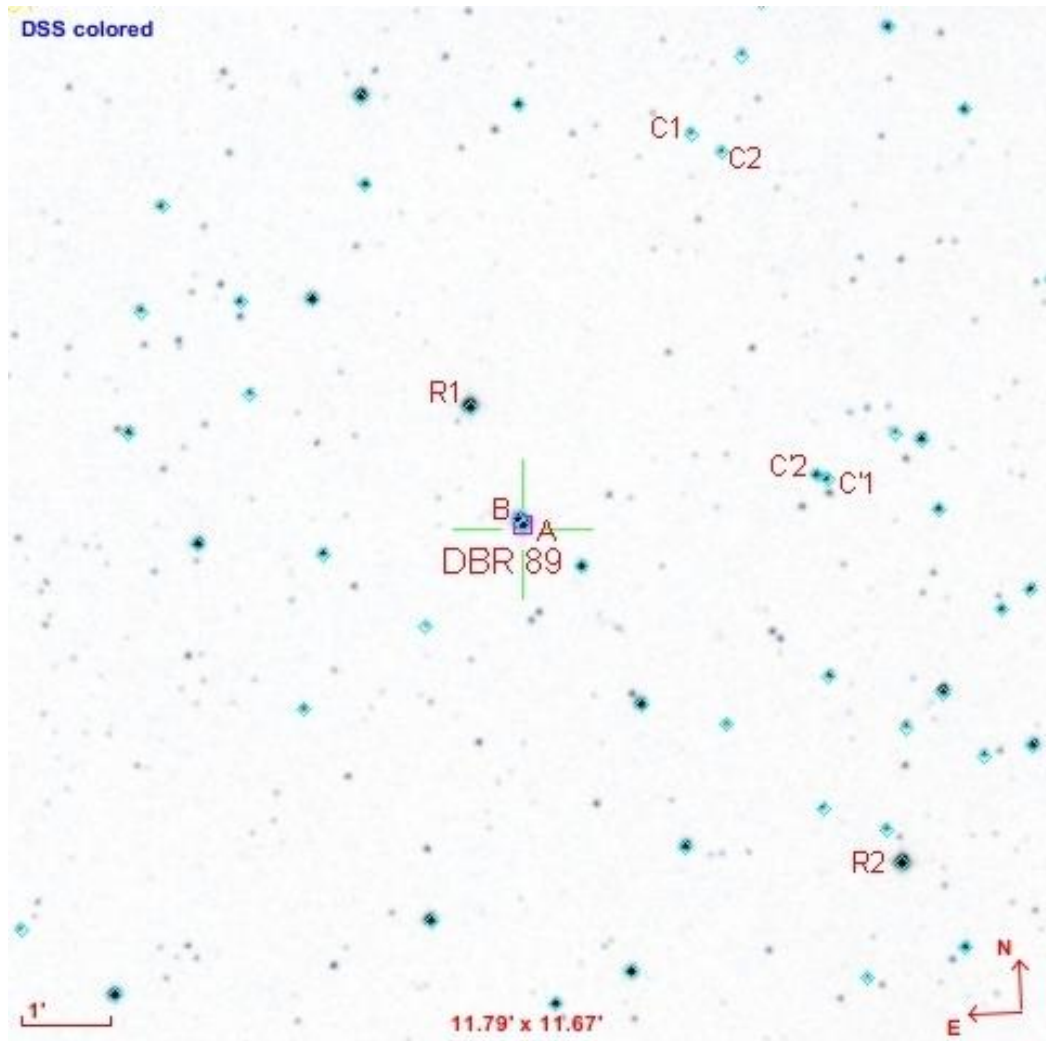


Tableau 1 - Données et journal d'observation du couple stellaire DBR 89

	DBR 89 = EPIC 211089792 = UCAC4 573-010529	
Position (J2000)	AD = 04h10m40.91s	DEC = +24°24'05.9''
WDS id	04107+2424	
Couples pour la calibration	C_1C_2	$C'_1C'_2$
$\theta(^{\circ})$	241.00049	70.27287
$\rho(^{\circ})$	23.101991	7.1102648
Dates	08/01/2016 2016.024	19/01/2017 2017.053
$\Delta(^{\circ})$	-0.065	0.400
$E(^{\circ}/\text{pix})$	0.304200	0.300365
Angle de position $\theta(^{\circ})$	34.1	34.2
Séparation angulaire $\rho(^{\circ})$	4.33	4.31
Airmass moyen	1.03	1.09

Tableau 2 – Types spectraux, classes de luminosité, indices de couleur et magnitudes absolues.

Composante A				Composante B			
Type	Classe	(B-V)	M	Type	Classe	(B-V)	M
G7	V	0.72	5.4	K5	V	1.15	7.4

Tableau 3 - Magnitudes apparentes des deux composantes du couple DBR 89 et corrections dues à l'extinction aux différentes longueurs d'onde.

date	site	Nombre d'observations			Composante A			Composante B		
		B	V	R	B_{magA}	V_{magA}	R_{magA}	B_{magB}	V_{magB}	R_{magB}
20160108	FTN	3	3	3	13.489	12.519	12.100	16.019	14.704	13.920
20170119	FTN	5	5		13.485	12.517		15.946	14.693	
20170131	FTN	10	10		13.479	12.513		15.990	14.706	
20170131	FTS	5	5		13.463	12.499		15.994	14.679	
20170202	FTN	15	14		13.482	12.521		15.987	14.702	
20170203	FTN	10	10		13.511	12.538		15.954	14.654	
Moyennes pondérées		48	47	3	13.486 +/- 0.019	12.520 +/- 0.013	12.100 +/- 0.002	15.979 +/- 0.053	14.690 +/- 0.031	13.920 +/- 0.005
Correction extinction		$a_B = -0.820$	$a_V = -0.630$	$a_R = -0.508$	B_{magA} corrigée	V_{magA} corrigée	R_{magA} corrigée	B_{magB} corrigée	V_{magB} corrigée	R_{magB} corrigée
Magnitudes corrigées					12.666	11.890	11.592	15.159	14.060	13.412
Indice de couleur $(B-V)_{corrigé}$					0.776 +/-0.023			1.099 +/-0.061		

Tableau 4 – Calculs de distance

Composante A	Composante B
$M=5.4\pm 0.3$	$M=7.4\pm 0.3$
$m=11.890\pm 0.067$	$m=14.060\pm 0.099$
d=199 pc +/-28 pc	d=215 pc +/-28 pc

Tableau 5 – Tableau comparatif

DBR 89	Nos résultats	Valeurs article A. Santerne
Angle de position θ	34.15°	-
Séparation angulaire ρ	4.32''	4.3''
magnitudes V	11.890/14.060	12.526/14.666
Classes spectrales et types	-	G7V/K5V
Distance moyenne	200 pc	185 pc
Distance des composantes	864 UA	800 UA

Remerciements

L'auteur remercie chaleureusement Alexandre Santerne du Laboratoire d'Astrophysique de Marseille (France) qui a organisé cette fructueuse collaboration entre professionnels et amateurs ainsi que l'équipe du réseau LCOGT qui me permet d'accéder au Faulkes Telescope. Il remercie également Frédéric Arenou de l'Observatoire de Paris (France), William Harthopf de l'US Naval Observatory (USA) pour leurs conseils et encouragements. Enfin il exprime ici sa reconnaissance envers Edgar Soulié et Daniel Bonneau, respectivement président et conseiller scientifique de la Commission des Etoiles Doubles de la Société Astronomique de France, pour la relecture de cet article.

``This research has made use of the Washington Double Star Catalog maintained at the U.S. Naval Observatory."`

"This research has made use of the VizieR catalogue access tool, CDS, Strasbourg, France. The original description of the VizieR service was published in A&AS 143, 23"