

LDS 169 UN SYSTÈME QUADRUPLE ?

LDS 169 a quadruple system?

André Debackère

dbrstars@gmail.com

Commission des étoiles doubles de la SAF



Résumé

Le catalogue *Gaia DR3* a considérablement enrichi la connaissance des étoiles du voisinage solaire, en particulier des systèmes multiples, grâce à une astrométrie et une photométrie de haute précision. Dans le cadre du programme Pro-Am consacré aux étoiles situées à moins de 10 pc, une étude photométrique et astrométrique du système LDS 169 a été menée afin de caractériser la nature du couple et d'examiner son environnement proche. Les observations ont été réalisées en février 2025 à l'aide de télescopes de 0,35 m du réseau Las Cumbres Observatory, en bandes photométriques B , V , g' , r' , i' et zs' . Les données ont été traitées avec les logiciels *REDUC* et *ASTROMETRICA* afin de déterminer les coordonnées équatoriales et polaires, ainsi que les magnitudes relatives des composantes. Les mesures obtenues, comparées aux données historiques du *Washington Double Star Catalog*, suggèrent que le mouvement relatif du couple n'est pas strictement rectiligne, renforçant l'hypothèse d'un système physique. Une analyse complémentaire d'objets faibles proches angulairement des composantes principales montre toutefois que ces sources ne sont probablement pas liées gravitationnellement au système. LDS 169 ne peut ainsi être considéré comme un système quadruple.

Abstract

The *Gaia DR3* catalogue has significantly improved our knowledge of the solar neighbourhood, particularly of multiple stellar systems, through high-precision astrometric and photometric data. As part of a Pro-Am programme dedicated to stars within 10 pc, a photometric and astrometric study of the system LDS 169 was carried out to investigate the nature of the pair and its immediate environment. Observations were obtained in February 2025 using 0.35 m telescopes of the Las Cumbres Observatory network, in the B , V , g' , r' , i' and zs' photometric bands. The data were processed with the *REDUC* and *ASTROMETRICA* software packages to derive equatorial and polar coordinates, as well as relative magnitudes of the components. The resulting measurements, compared with historical data from the *Washington Double Star Catalog*, indicate that the relative motion of the pair is not strictly linear, supporting the physical nature of the LDS 169 system. A complementary analysis of faint objects located close to the main components shows that these sources are unlikely to be gravitationally bound. Consequently, LDS 169 cannot be classified as a quadruple system.

Keywords: Red dwarfs – Stars: distances – Hertzsprung-Russell diagram – solar neighbourhood – Astrometry – Photometry – Galaxy: stellar content



1 Introduction

Cette étude s'inscrit dans un contexte plus large d'observation des étoiles situées à moins de 10 parsecs du Soleil afin de mieux les connaître. En effet de par leur proximité ces étoiles constituent un laboratoire unique pour notre compréhension de la physique stellaire et de la Galaxie.

Le catalogue *Gaia-DR3* [1] a apporté des contributions significatives à la connaissance des étoiles proches du Soleil. Il a permis un recensement très précis de ces étoiles dont des étoiles de faible magnitude non détectées ou non mesurées avec précision par la précédente mission *Hipparcos* [2]. Le catalogue fournit des mesures astrométriques de haute précision dont les parallaxes et mouvements propres, données cruciales à la compréhension de la cinématique et de la dynamique des étoiles du voisinage solaire. Ce catalogue *Gaia-DR3* inclut des informations sur les propriétés physiques des étoiles comme leur luminosité, leur couleur et, pour certaines, leur température et leur composition chimique permettant ainsi une étude détaillée de la population stellaire dans le voisinage immédiat du Soleil (différentes classes d'étoiles, distribution

et évolution). Toutes ces données sont essentielles pour la recherche et la caractérisation des exoplanètes. Le catalogue contient également des données sur les systèmes stellaires binaires et multiples fréquents dans notre environnement stellaire. L'exploitation de cette énorme masse de données permet en particulier la complétude de l'inventaire des étoiles jusqu'à 10 pc du Soleil, travail entrepris par Céline Reylé de l'Observatoire de Besançon avec un catalogue de 541 étoiles, naines brunes et exoplanètes dans 336 systèmes, à moins de 10 parsecs du Soleil (Reylé et al. 2021) [3]. Les astronomes amateurs peuvent participer à ce travail en photométrie, astrométrie et spectroscopie dans le cadre du projet ProAm lancé en juin 2024 [4]. La commission des étoiles doubles de la SAF propose à ses membres de rejoindre ce projet en observant des cibles figurant dans les listes d'objets à étudier établies par Pierre Durand. Il se trouve que, pour ma part, j'ai déjà étudié l'un de ces objets proches, bien avant le lancement du projet ProAm de Céline Reylé, il s'agit de la binaire LUH 16 située à seulement 2 parsecs du Soleil et constituée de deux naines brunes (Debackère A, et al., 2021) [5]. Cette nouvelle étude concerne un système situé à



Fig.1- Un télescope et sa monture

un peu moins de 9 parsecs du Soleil constitué de deux naines rouges figurant dans le catalogue « Luyten Double Star » [6] sous la désignation LDS 169. L'objectif de ce nouveau travail est la caractérisation de ce système.

Cet article est structuré comme ce qui suit. La section 2 présente mes observations de LDS 169. Les sections 3 et 4 fournissent les mesures photométriques et astrométriques des composantes de LDS 169. La section 5 concerne la recherche d'informations dans les publications et catalogues. La section 6 présente une analyse du champ observé mettant en évidence la présence d'étoiles très faibles à proximité de chacune des composantes de l'étoile double LDS 169 AB en faisant l'hypothèse que ces étoiles faibles sont situées à la même distance que LDS 169, l'exploitation des données recueillies et en particulier le calcul des masses des compagnons supposés de chacune des composantes de LDS 169. La section 7 présente la méthode de l'anomalie de mouvement propre pour détecter des objets faibles perturbant le mouvement propre de l'étoile observée. J'applique cette méthode pour déterminer l'anomalie de mouvement propre des composantes de LDS 169 AB provoquée par les deux étoiles faibles dans l'hypothèse précédente et je

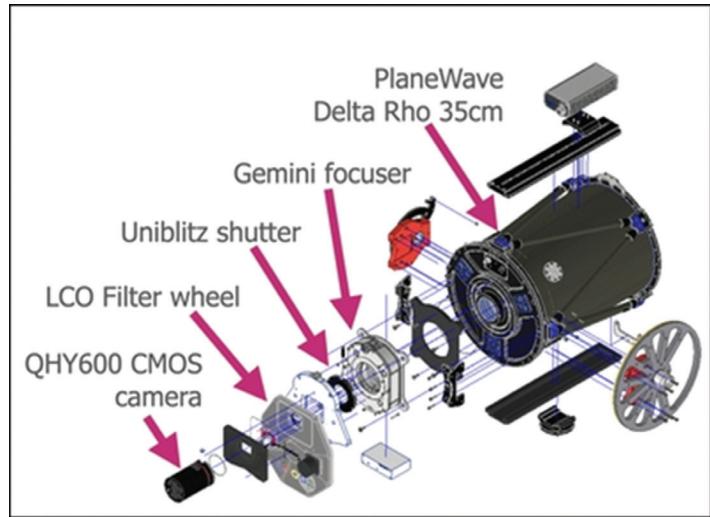


Fig.2- Vue éclatée du système imageur

compare avec les résultats de Kervella P., et al., 2022 [18]. Enfin la section 8 donne mes conclusions.

2 Observations

L'objectif est d'acquérir des images du système LDS 169 à l'aide de télescopes robotisés du réseau « Las Cumbres Observatory » (LCO) [7]. J'ai obtenu 14 images au cours de 3 nuits en février 2025 malheureusement avec un mauvais seeing. Les télescopes utilisés sont situés à l'observatoire de Siding Spring (Australie), altitude 1116m, latitude 31°16'23,88"Sud et longitude 149°04'15,6" Est ainsi qu'à l'observatoire Interaméricain du Cerro Tololo (Chili), altitude 2198m, latitude 30°10'02,64"Sud et longitude 70°48'17,28" Ouest. Ces télescopes sont des « Planewave Delta Rho » de 0,35m de diamètre avec des montures équatoriales spécifiques de type « C-ring » (Figure 1) et des caméras QHY600 munies d'un capteur CMOS de haute qualité Sony IMx455, pixels de 3,76µm, gain 0,7 e-/ADU. La Figure 2 présente l'ensemble d'acquisition des images.

Les télescopes utilisés possèdent un code répertorié au « Minor Planet Center » MPC [8]. La qualité des images qui est affectée par la turbulence atmosphérique est caractérisée par le « seeing » exprimé en secondes de degré. Le FWHM « Full Width at Half Maximum » mesure la largeur en pixel de la tache d'étalement de l'image stellaire due à la turbulence atmosphérique en déterminant la largeur du pic de luminosité à la moitié de son intensité maximale. Le seeing est le produit de FWHM par l'échantillonnage de l'image E exprimé en secondes de degré par pixel.

Le journal des observations est présenté dans la table 1.

Explication de la table 1

Col.1, Date de l'observation

Col.2, Code MPC des télescopes utilisés

Col.3, Seeing

Col.4 à 15, Filtre utilisé, nombre d'images et temps d'exposition en secondes.

La Figure 3 montre une image obtenue à l'observatoire Interaméricain du Cerro Tololo le 18 février 2025.

Table 1- Informations concernant les observations.

Date	Code MPC	Seeing (")	Cousins B		Cousins V		SDSS g'		SDSS r'		SDSS i'		SDSS zs'	
			n _{ima}	t _(s)	n_{ima}	t_{(s)}	n_{ima}	t_{(s)}	n_{ima}	t_{(s)}	n_{ima}	t_{(s)}	n_{ima}	t_{(s)}
15/02/2025	Q59	3,7	1	4	1	4								
16/02/2025	Q59	3,0	1	5	1	4	1	4	1	3	1	2	1	3
18/02/2025	W79	3,0	1	10	1	8	1	8	1	6	1	4	1	6



Fig.3- Image fournie par le télescope LCO de Cerro Tololo en bande SDSS g'; le champ est d'environ 30'x30'

3 Mesures photométriques des composantes de LDS 169 AB

Dans cette section j'aborde la question des mesures photométriques au sol qui complètent celles contenues dans les catalogues existants comme notamment le catalogue HIP et surtout le catalogue Gaia-DR3. Les données photométriques fournies par les catalogues sont dites « hors atmosphère » c'est-à-dire corrigées de l'absorption atmosphérique pour celles obtenues à partir des observatoires terrestres ou directement mesurées à partir des observations depuis l'espace faites par les deux satellites Hipparcos et Gaia.

3.1 Mesures des magnitudes instrumentales des composantes de LDS 169 AB

Il s'agit des magnitudes mesurées depuis le sol affectées par la réponse aux différentes longueurs d'onde du matériel utilisé et par l'absorption atmosphérique de la lumière parvenant à l'instrument (Debackère A., ED 6, 2023) [9].

Les mesures de magnitudes instrumentales sont effectuées avec le logiciel ASTROMETRICA [10] et les catalogues UCAC4 [11] (images des 3 nuits en B et V) et ATLAS-REFCAT2 [12] (images des 16 et 18 février en r', g', i' et zs').

La photométrie a été faite sur les 13 images exploitables en suivant la procédure qui consiste à pointer-cliquer sur les composantes, la mesure de magnitude dans la bande choisie est fondée sur toutes les étoiles de référence utilisées dans l'image. L'erreur sur la magnitude est calculée à partir de

l'erreur moyenne dans la bande choisie des étoiles de référence utilisées et du rapport signal/bruit des composantes. La Figure 4 donne l'exemple de mesure photométrique sur une image en bande V du 18 février 2025 à l'observatoire Interaméricain du Cerro Tololo ouverte dans ASTROMETRICA avec les 237 étoiles de référence cerclées de vert du catalogue UCAC4 et la mesure de la magnitude V (10,5) de la composante A et son incertitude (0,07).

La table 2 donne les mesures photométriques des composantes de LDS 169 AB lors de 3 nuits d'observation en février 2025. La table 3 donne les moyennes des mesures.

Explication des Tables 2 & 3.

Col.1, Nom de l'étoile

Col.2, Composante

Col.3, Date moyenne des mesures

Col.4, Nombre de nuit d'observation

Col.5, Nombre d'images

Col.6, magnitudes en bande Johnson-Kron-Cousins B et incertitude

Col.7, magnitudes en bande Johnson-Kron-Cousins V et incertitude

Col.8, Indice de couleur (B-V) et incertitude

Col.9, Différence de magnitudes en bande V des composantes et incertitude

Col.10 à 13, magnitudes en bandes Sloan SDSS r', g', i' et zs' et incertitudes

Table 2. Mesures photométriques

Étoile	Comp.	Date	n	Im.	mB e_mB	mV e_mV	B-V e_(B-V)	δV e_δV	mr' e_mr'	mg' e_mg'	mi' e_mi'	mzs' e_mzs'
LDS 169	A	2025,1247	1	2	11,9 0,09	10,4 0,10	1,5 0,13	1,0 0,14	-	-	-	-
	B				12,9 0,09	11,4 0,10	1,5 0,13		-	-	-	-
	A	2025,1271	1	6	12,0 0,11	10,4 0,10	1,6 0,15	1,0 0,14	9,9 0,12	11,1 0,11	8,7 0,13	7,9 0,20
	B				13,0 0,11	11,4 0,10	1,6 0,13		10,9 0,12	12,1 0,11	9,5 0,13	8,6 0,20
	A	2025,1316	1	5	12,0 0,09	10,5 0,07	1,5 0,11	1,0 0,10	9,9 0,12	11,1 0,11	8,7 0,13	non mesurable
	B				13,0 0,09	11,5 0,07	1,5 0,11		10,9 0,12	12,1 0,11	9,6 0,13	non mesurable

Table 3. Moyenne des mesures photométriques

Étoile	Comp.	Date	n	Im.	mB e_mB	mV e_mV	B-V e_(B-V)	δV e_δV	mr' e_mr'	mg' e_mg'	mi' e_mi'	mzs' e_mzs'
LDS 169	A	2025,1309	3	13	11,97 0,10	10,43 0,09	1,54 0,13	1,00 0,13	-	-	-	-
	B				12,97 0,10	11,43 0,09	1,54 0,13		-	-	-	-
	A	2025,1271	1	1	-	-	-	-	-	-	-	7,9 0,20
	B				-	-	-		-	-	-	8,6 0,20
	A	2025,1321	2	6	-	-	-	-	9,90 0,12	11,10 0,11	8,70 0,13	-
	B				-	-	-		10,90 0,12	12,10 0,11	9,55 0,13	-

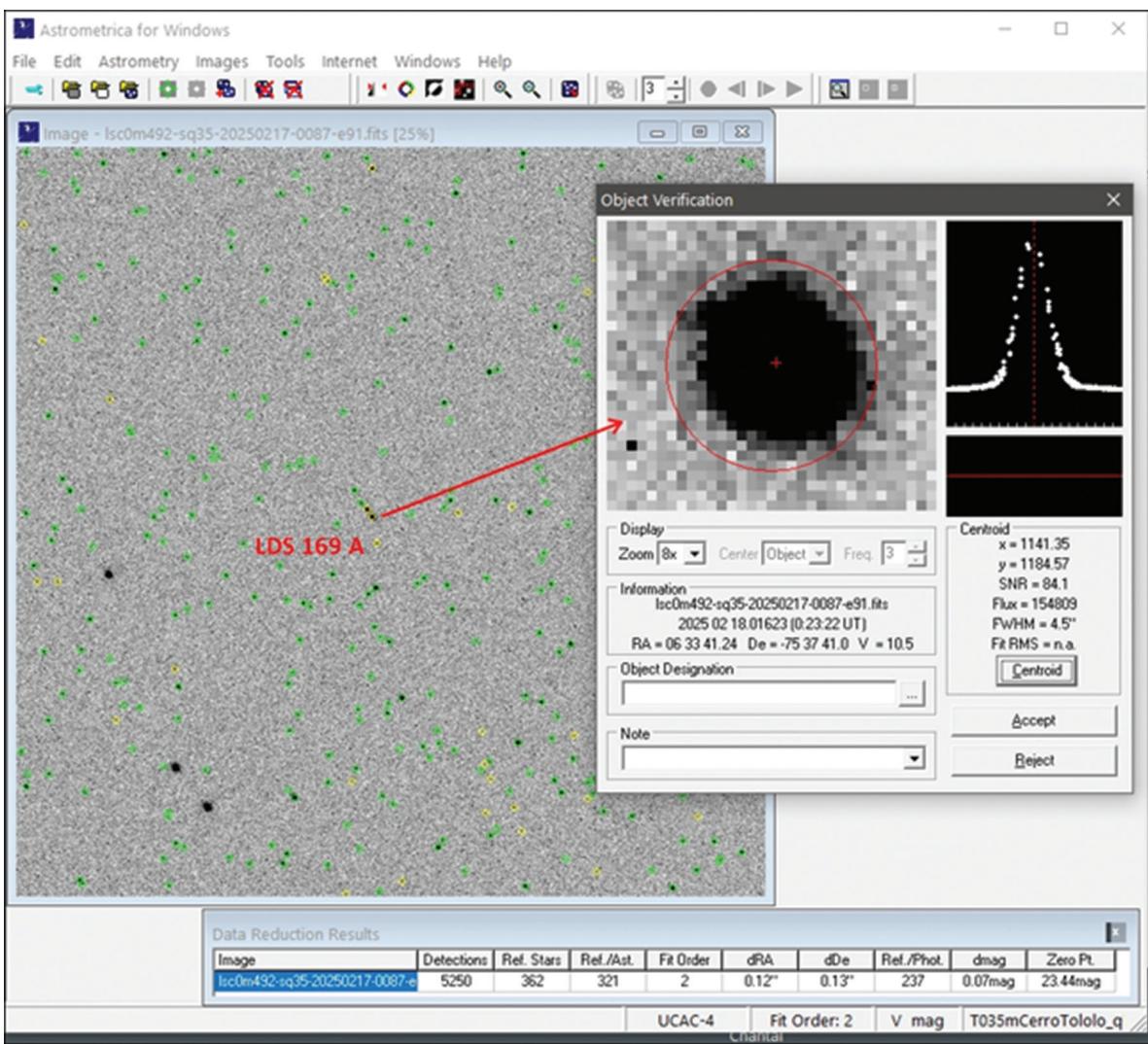


Fig.4- Analyse par Astrometrica de l'image en bande V du 18 février 2025

3.2 Corrections de magnitude

3.2.1 Extinction atmosphérique

Les catalogues photométriques donnent les magnitudes standards des étoiles, magnitudes corrigées de l'extinction atmosphérique et ajustées à un système standard comme le système Johnson-Kron-Cousins par exemple.

L'extinction atmosphérique "k" se décompose en deux termes k' et k'' . Le terme de premier ordre k' est lié à la masse d'air X et insensible à la couleur. Le second k'' dépend de la couleur. Nous avons $k = k' + k''$ (Debackère A., ED 9, 2024) [13].

La correction d'extinction du premier ordre est égale à $k'_\lambda \cdot \Delta X$ avec k'_λ coefficient d'extinction du premier ordre et ΔX masse d'air différentielle entre les masses d'air des étoiles de référence et de l'étoile observée. Ici $\Delta X = 0$ (étoiles de référence et étoiles cibles dans le même champ de 30'x30') donc la correction du premier ordre est nulle en bandes B et V.

La correction d'extinction du second ordre ou de couleur est égale à $k''_\lambda \cdot X_{moyen} \cdot \Delta(B-V)$ avec k''_λ coefficient d'extinction de second ordre et X_{moyen} masse d'air moyenne des étoiles. Il est communément admis que k''_B varie de -0,03 à -0,04 et que $k''_V \sim 0$ (la correction de couleur en bande V est donc nulle).

Dans cette étude X_{moyen} est la masse d'air moyenne du seul champ observé (masse d'air moyenne en bande B des 3 images des 15, 16 et 18 février 2025 est égale à $1,431466 \pm 0,0156406$) et $\Delta(B-V)$ la différence de couleur entre l'étoile cible et les étoiles de référence. Ici l'indice de couleur moyen des étoiles de référence est d'environ 0,78 mag (valeur obtenue à partir des magnitudes B et V des étoiles du champ de 30'x30' du catalogue UCAC4 utilisé dans ALADIN [14], outil « Édition, Sélectionner tous les objets, Copier toutes les mesures pour Excel ») et avec l'indice de couleur de chaque composante de LDS 169 mesuré plus haut ($B-V=1,54$ j'obtiens $\Delta(B-V)=0,76$). En prenant $k''_B=0,035$ la correction de magnitude en bande B est de 0,04 mag, négligeable par rapport à l'incertitude de 0,10 mag sur les mesures de magnitude en bande B des deux composantes. Il n'y a donc pas de correction de magnitude due à l'extinction atmosphérique à apporter aux mesures de magnitude des deux composantes de LDS 169 AB.

3.2.2 Absorption interstellaire

Dans une conversation privée au sujet de l'extinction interstellaire éventuelle des étoiles proches, George Gontcharov [15] indique : « Certaines étoiles situées à 10 parsecs peuvent être affectées par l'extinction ou le rougissement, mais les méthodes actuelles de détermination de cette extinction/rougissement ne fonctionnent pas à moins de 40 parsecs. Nous devons donc le considérer comme nul pour ces étoiles ». Il n'y a pas de correction de magnitude due à l'absorption interstellaire à apporter aux mesures de magnitude des deux composantes de LDS 169 AB.

3.2.3 Comparaison des mesures aux données des catalogues UCAC4 et Gaia-DR3

La table 4 présente les écarts et leurs incertitudes entre mesures en bandes B et V des composantes de LDS 169 et leurs valeurs dans les catalogues UCAC4 et Gaia-DR3.

Explication de la table 4.

Col.1, Nom de la composante

Col.2&3, Magnitudes mesurées en bandes B et V et incertitudes

Col.4 & 5, Magnitudes en bandes B et V et incertitudes dans le catalogue UCAC4

Col.6 & 7, Différences en bandes B et V entre mesures et les données du catalogue UCAC4 et incertitudes

Col.8 & 9, Magnitudes en bandes B et V et incertitudes dans le catalogue Gaia-DR3

Col.10 & 11, Différences en bandes B et V entre mesures et les données du catalogue Gaia-DR3 et incertitudes

Mes mesures semblent très cohérentes avec les données des catalogues puisque les écarts obtenus n'affectent que le centième de magnitude. Les deux composantes de LDS 169 AB ont le même indice de couleur ($B-V = 1,54$) ce qui correspond pour des étoiles de la séquence principale au type spectral M3V (Mamajek E.E., 2022) [24].

4 Mesures astrométriques des composantes de LDS 169 AB

L'objectif est ici d'effectuer une nouvelle mesure précise de la position relative des composantes du couple LDS 169 AB à partir des images enregistrées en février 2025.

Les mesures de coordonnées équatoriales α et δ sont effectuées avec le logiciel ASTROMETRICA [10] et les catalogues UCAC4 [11] (images des 3 nuits) et GAIA-DR3 [1] (images des 16 et 18 février), les mesures de coordonnées polaires θ et ρ sont faites avec le logiciel REDUC [16]

4.1 Coordonnées équatoriales à la date des observations des composantes de LDS 169 AB

L'astrométrie a été faite sur les 13 images exploitables en suivant la procédure qui consiste à pointer-cliquer sur les composantes dans l'image ce qui donne les coordonnées équatoriales α et δ (Figure 3) et les erreurs en α et en δ en seconde de degré, l'erreur en α est convertie en seconde temps avec la relation $t(s)=a(')/15 \cos \delta$.

La Figure 4 montre également la mesure de position à l'aide d'ASTROMETRICA sur l'image en bande V du 18 février 2025 (321 étoiles de référence) de l'ascension droite (RA=06h33m41,24s et son incertitude $dRA=0,12''$ soit 0,03s) ainsi que de la déclinaison ($De=-75^{\circ}37'41,0''$ et son incertitude $dDe=0,13''$) de la composante A de LDS169 AB.

4.2 Coordonnées polaires de LDS 169 AB

La mesure de l'angle de position θ et de la séparation ρ a été réalisée en suivant la procédure de mesure dans REDUC [17]. Les valeurs de θ et ρ sont obtenues en faisant la moyenne des mesures. Les erreurs en θ et ρ sont les écarts-type des mesures. La Figure 5 montre l'exemple de l'image en bande V du 15 février de LDS 169 ouverte dans REDUC avec dans la fenêtre « Réduction » l'échantillonnage (E en "/pix) et l'orientation (Δ en $^{\circ}$) donnés par l'outil « calibration des images » d'ALADIN [14].

La Figure 6 présente une image de LDS 169 AB obtenue dans REDUC afin de mesurer l'angle de position et la séparation angulaire de ce système.

Table 4. Comparaison des mesures de magnitude en bandes B et V aux données des catalogues UCAC4 et Gaia-DR3.

Comp.	mes mesures		UCAC4				Gaia-DR3 Part.6 Synt. Phot.			
	B	V	B	V	ΔB	ΔV	B	V	ΔB	ΔV
LDS169 A L 32-9	11,97 0,10	10,43 0,09	11,958 0,00	10,484 0,02	+0,012 0,100	-0,054 0,092	11,980 0,009	10,474 0,004	-0,010 0,100	-0,044 0,090
LDS 169 B L 32-8	12,97 0,10	11,43 0,09	13,011 0,02	11,419 0,01	-0,041 0,102	+0,011 0,091	13,003 0,009	11,440 0,005	-0,060 0,100	-0,010 0,090

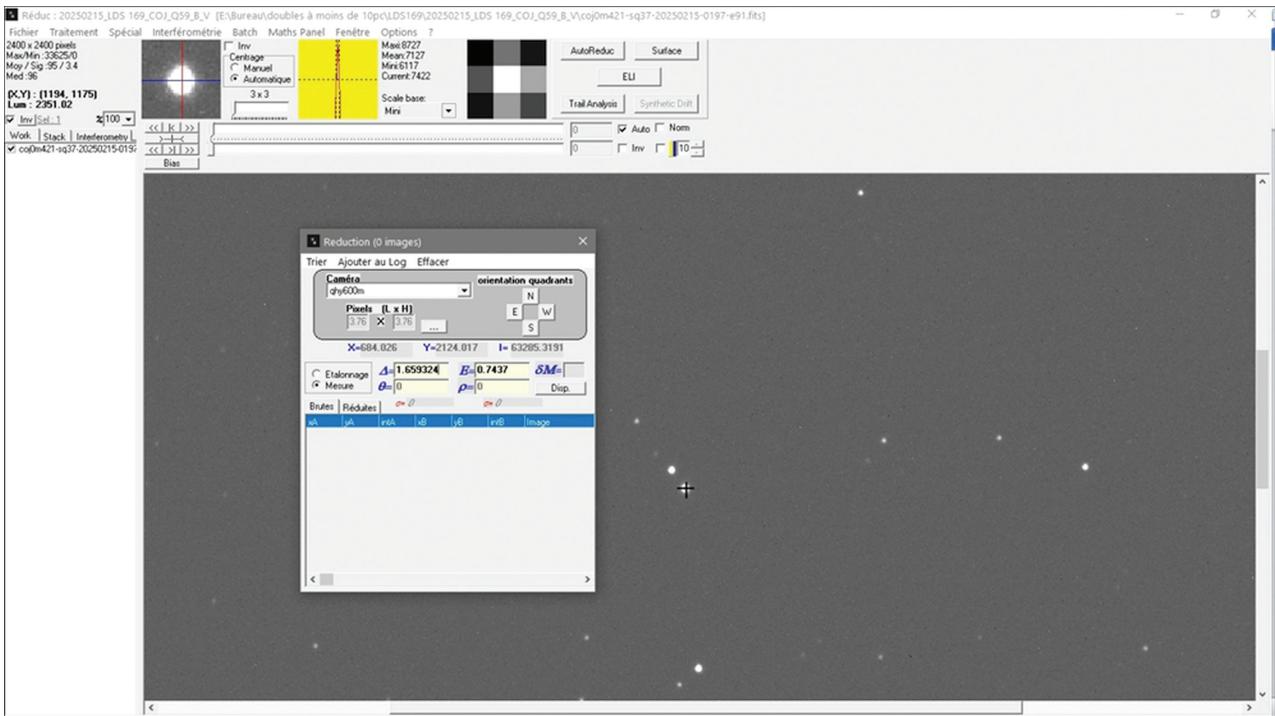


Fig 5.- Paramétrage de REDUC pour l'analyse de l'image en bande V du 18 février 2025

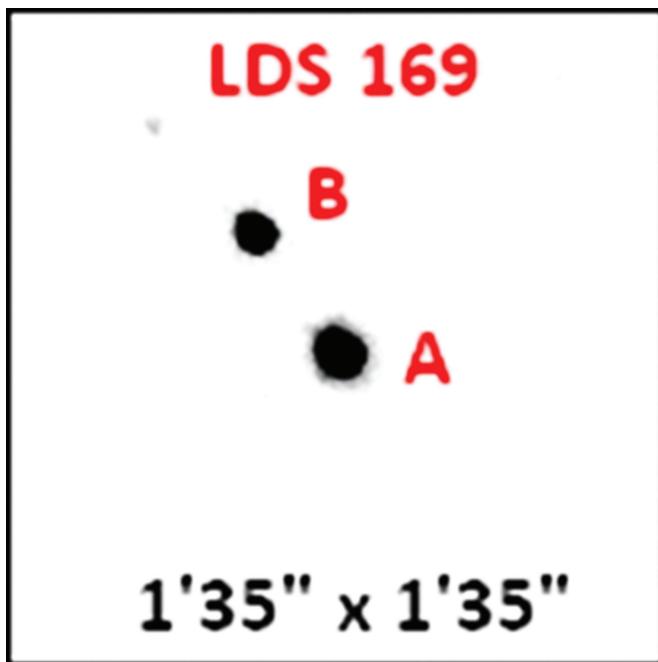


Fig.6- Extrait dans REDUC (Nord en haut
Est à gauche) du couple LDS 169 dans
l'image en bande V du 18 février 2025

La table 5 donne les mesures astrométriques de la binaire LDS 169 AB lors de 3 nuits d'observation en février 2025. La période d'observation (3 nuits en février 2025) étant très courte par rapport à la période de révolution, environ 2126 ans de LDS 169, je retiens donc la moyenne pondérée de mes mesures (Table 6).

Explication des tables 5 & 6.

Col.1, Nom de l'étoile

Col.2, Composante

Col.3, Date moyenne des mesures

Col.4, Nombre de nuit d'observation

Col.5, Nombre d'images

Col.6, ascension droite de la composante et incertitude

Col.7, déclinaison de la composante et incertitude

Col.8, angle de position en degrés et incertitude

Col.9, séparation angulaire en secondes de degré et incertitude

Mes mesures d'ascension droite et de déclinaison à la date moyenne des observations sont très cohérentes avec les données de Gaia-DR3 tenant compte des mouvements propres de chaque composante de LDS 169 AB. Le calcul de la correction (hors anomalie) des mouvements propres à partir des coordonnées J 2000,0 de Gaia-DR3 à la date moyenne d'observation 2025,1309 donne pour la composante A : $\alpha = 6h\ 33m\ 41,266s$ $\delta = -75^\circ 37' 40,91''$ et pour la composante B : $\alpha = 6h\ 33m\ 44,547s$ $\delta = -75^\circ 37' 23,29''$.

Table 5. Mesures astrométriques de LDS 169 AB

Étoile	Comp.	Date	n	im.	α (h:m:s) e_α (s)	δ (±d:m:s) e_δ (s)	θ (°) e_θ (°)	ρ (") e_ρ (")
LDS 169	A	2025,1247	1	2	06 33 41,27 0,04	-75 37 40,9 0,15	34,61 0,01	21,506 0,077
	B				06 33 44,52 0,04	-75 37 23,3 0,15		
LDS 169	A	2025,1271	1	6	06 33 41,26 0,04	-75 37 41,0 0,14	34,86 0,22	21,440 0,078
	B				06 33 44,54 0,04	-75 37 23,4 0,14		
LDS 169	A	2025,1316	1	5	06 33 41,24 0,03	-75 37 41,0 0,13	34,97 0,17	21,438 0,039
	B				06 33 44,51 0,03	-75 37 23,4 0,13		

Table 6. Moyennes des mesures astrométriques de LDS 169 AB en février 2025

Étoile	Comp.	Date	n	im.	α (h:m:s) e_α (s)	δ (±d:m:s) e_δ (s)	θ (°) e_θ (°)	ρ (") e_ρ (")
LDS 169	A	2025,1309	3	13	06 33 41,25 0,04	-75 37 41,0 0,14	34,86 0,18	21,449 0,066
	B				06 33 44,53 0,04	-75 37 23,4 0,14		

5 Recherche d'informations sur LDS 169

5.1 Dans les publications

LDS 169 AB est un système constitué de deux naines rouges de type spectral M2V ($M = 0.43 M_{\odot}$ et $T_{\text{eff}} = 3300 \text{ K}$) pour la primaire et de type spectral M3V ($M = 0.32 M_{\odot}$ et $T_{\text{eff}} = 3100 \text{ K}$) pour la secondaire (Kervella et al., 2022) [18] & (Verberne et al., 2024) [19].

5.2 Dans les catalogues

5.2.1 Catalogues Gaia-DR3 et UCAC4

Les paramètres trouvés au CDS au moyen de SIMBAD et concernant les positions astrométriques, les mouvements propres, les distances, les vitesses radiales et mesures photométriques pour les composantes L32-9 et L32-8 de LDS 169 AB figurent dans la table 7. La Figure 7 montre les positions des étoiles du catalogue Gaia-DR3 [1] superposées à l'image du DSS [20] fournie par ALADIN [14]. J'observe que sur cette image du DSS figurent deux étoiles très faibles identifiées dans le catalogue Gaia-DR3 angulairement proches des composantes

A et B de LDS 169. Ces données sont reportées dans la table 7.

Remarque : Les deux objets proches de chaque composante de LDS 169, trop faibles, ne sont pas visibles sur mes images (Fig. 3).

Explication de la table 7

Col.1, Désignation au WDS (fondée sur les coordonnées 2000)

Col.2, Composante

Col.3, Identification croisée UCAC4/Gaia-DR3

Col.4, Ascension droite α J2000.0 dans Gaia-DR3

Col.5, Déclinaison δ J2000.0 dans Gaia-DR3

Col.6, Parallaxe ϖ (millièmes de seconde de degré) & incertitude dans Gaia-DR3

Col.7, Mouvement propre en ascension droite μα (millièmes de seconde de degré par an) & incertitude dans Gaia-DR3

Col.8, Mouvement propre en ascension droite μδ (millièmes de seconde de degré par an) & incertitude dans Gaia-DR3

Col.9, Vitesse radiale (kilomètres par seconde) & incertitude

Col.10, Note dans le WDS. Note « O » Orbite brièvement décrite dans les notes du WDS. Possède une entrée dans le 6ème catalogue des orbites.

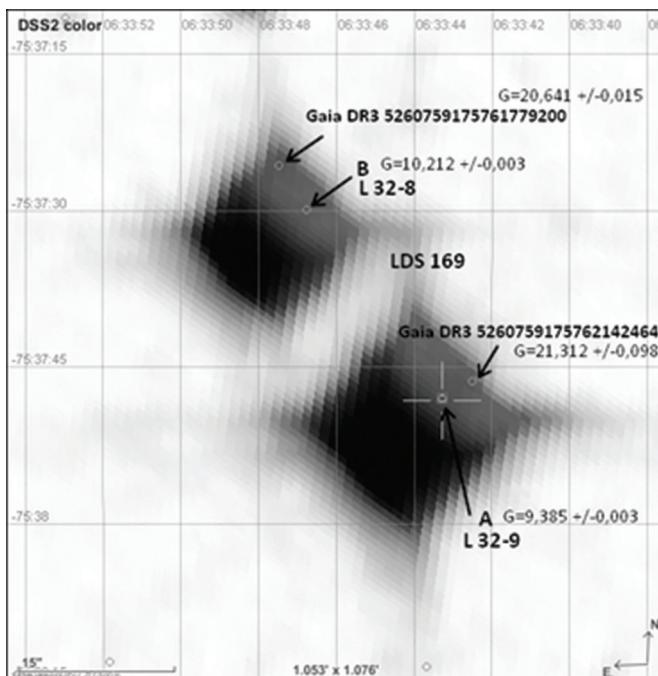


Fig 7.- Le système LDS 169 : positions des étoiles du catalogue Gaia-DR3 superposées à l'image du DSS fournie par ALADIN

Table 7- Données astrométriques des étoiles cataloguées dans Gaia-DR3 dans un champ de 20" centré sur les composantes du couple LDS 169

WDS nom Id.	Comp	UCAC4 Gaia-DR3 Id.	α h:m:s J2000.0	δ d:m:s J2000.0	ϖ e_{ϖ} mas	$\mu\alpha$ $e_{\mu\alpha}$ mas/an	$\mu\delta$ $e_{\mu\delta}$ mas/an	V_r e_{V_r} km/s	N
LDS 169 0633433-753748	A L 32-9	072-005867 5260759175761501696	06 33 43,277	-75 37 47,96	113,1304 0,0169	-297,955 0,020	280,587 0,020	11,73 0,14	O
	-	- 5260759175762142464	06 33 42,513	-75 37 46,34	-	-	-	-	
	B L 32-8	072-005869 5260759175761502976	06 33 46,765	-75 37 29,90	113,1318 0,0176	-328,763 0,022	263,117 0,021	12,67 0,14	
	-	- 5260759175761779200	06 33 47,468	-75 37 25,68	-	-	-	-	

L'analogie des parallaxes, mouvements propres et vitesses radiales de ces deux étoiles laisse penser qu'il s'agit bien d'un couple physique à mouvement propre commun.

La Figure 8 représente les vecteurs mouvements propres des étoiles, on note les mouvements propres importants (plus de 400 mas par an) des composantes de LDS 169 AB sur une image du DSS2 générée dans ALADIN en utilisant le catalogue Gaia-DR3. L'échelle angulaire utilisée est celle donnée dans l'image, la norme de ces vecteurs correspond au déplacement angulaire en un an.

5.2.2 Catalogues WDS et WDS-ORB6

Dans le catalogue d'étoiles doubles de Washington (WDS) [21] on trouve 18 mesures depuis 1893 dont celles obtenues avec Hipparcos et Gaia évidemment plus précises que celles obtenues depuis le sol. La dernière mesure de Knapp date de 2019,89927 avec $\theta=35,007^\circ \pm 0,251^\circ$ et $\rho=21,06120'' \pm 0,09220''$. Ma mesure de 2025,13 complète cette série avec $\theta=34,86^\circ \pm 0,18^\circ$ et $\rho=21,449'' \pm 0,066''$. Dans le 6ème catalogue des orbites de binaires visuelles WDS-ORB6 [22], cette orbite, évaluée de grade 5, doit être considérée comme très préliminaire sinon indéterminée, compte tenu du petit nombre de mesures disponibles et ne couvrant qu'un très petit arc de l'orbite. La Figure 9 présente l'orbite de LDS 169 AB et les mesures en rouge.

Cette orbite a été calculée par l'astronome autrichien Wilfried R.A. Knapp et publiée en 2020 [23]. À noter que les éphémérides de l'orbite de Knapp prévoient pour 2025,0 : $\theta=35,7^\circ$ et $\rho=21,140''$ (légèrement différentes de mes mesures en 2025,1 : $\theta=34,9^\circ$ et $\rho=21,449''$).

L'annexe 1 présente toutes les informations concernant LDS 169 AB répertoriées au WDS. Un extrait de l'orbite montrant la portion couverte par l'ensemble des mesures enregistrées au WDS où l'on voit la première mesure de 1893,11, les deux mesures publiées par Luyten en 1920 et 1960, la dernière mesure de Knapp en 2019,90 et enfin la mienne en 2025,13 comme le montre la Figure 10. À noter l'écart important de la mesure de θ publiée par Luyten en 1920 et 1960 par rapport à l'ensemble des autres mesures.

La table 8 présente les éléments orbitaux de LDS 169.

Explication de la table 8.

Col.1, Période orbitale en années

Col.2, Demi grand axe en secondes de degré

Col.3, Inclinaison du plan orbital par rapport au plan du ciel en degrés

Col.4, Longitude du nœud ascendant en degrés

Col.5, Époque de passage au périastre

Col.6, Excentricité de l'orbite

Col.7, Argument du périastre en degrés

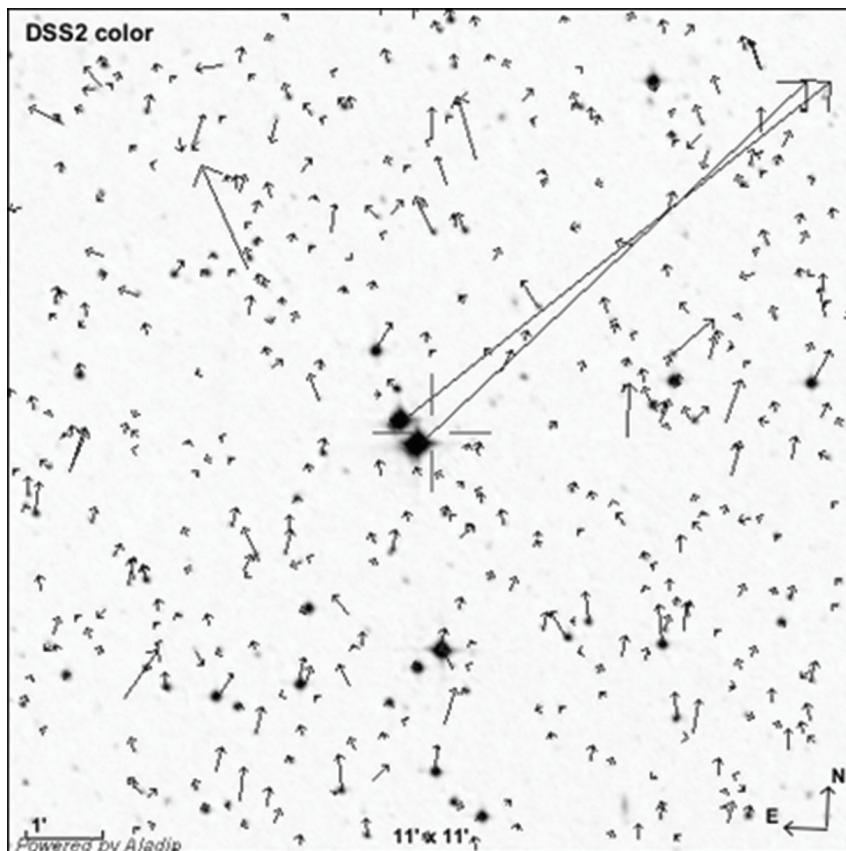


Fig. 8- Mouvements propres des composantes de LDS 169 AB

Table 8- Éléments orbitaux de LDS 169 AB dans le catalogue WDS-ORB6.

P (an)	a('')	i(°)	Ω(°)	T0(an)	e	ω(°)
2126,0	36,3	94,4	31,3	2175,89	0,877	102,6

Table 9- Éphémérides de LDS 169 AB calculées par Knapp

Nom	Grade	Référence	θ(°)	ρ('')	θ(°)	ρ('')	θ(°)	ρ('')	θ(°)	ρ('')	
			2023,0			2024,0			2025,0		
LDS 169	5	Kpp2020f	35,7	21,237	35,7	21,189	35,7	21,140	35,7	21,091	

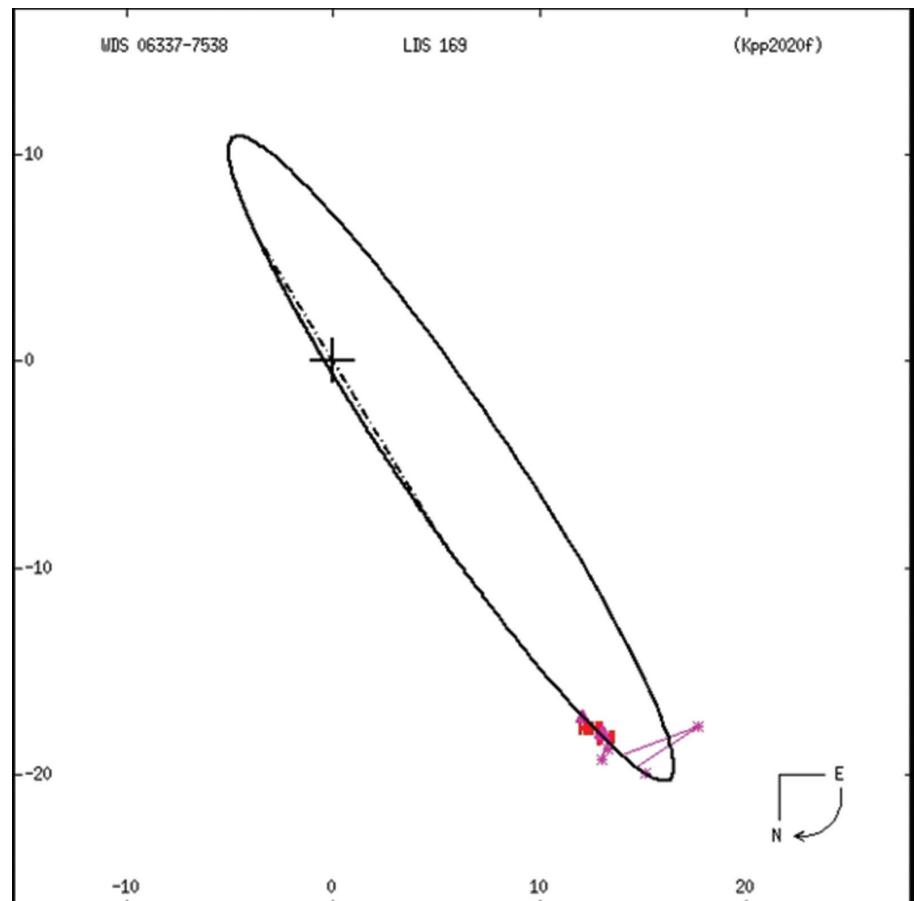


Fig.9- Tracé de l'orbite et mesures du couple LDS 169 dans le 6ème catalogue d'orbites (WDS-ORB6)

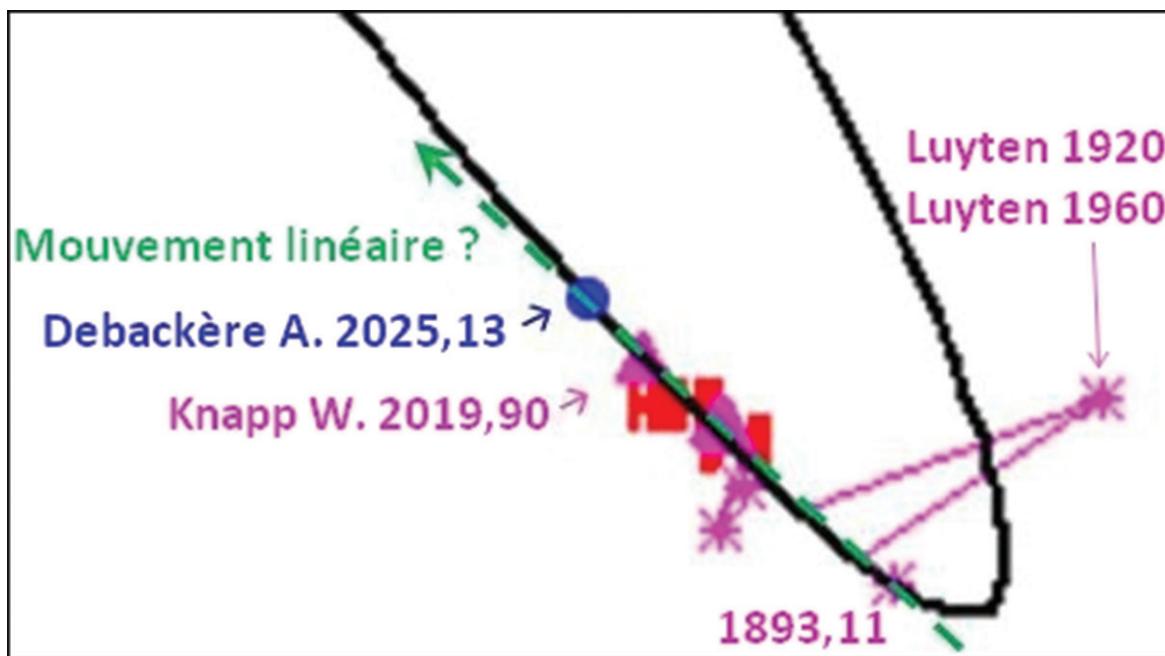


Fig.10- Extrait de l'orbite de LDS 169 et dernières mesures de Knapp et Debackère

La table 9 présente les éphémérides de LDS 169 AB calculées par Knapp.

Explication de la table 9.

Col.1, Nom de l'étoile

Col.2, Grade de l'orbite

Col.3, Référence de la publication de l'orbite

Col.4 à 11, Angle de position en degrés et séparations en secondes de degré calculés pour les époques 2023,0 à 2026,0

La vingtaine de mesures enregistrées depuis 1893 jusqu'à nos jours soit 132 ans au regard de la longue période de 2000 à 3000 ans rendent le calcul d'une orbite plutôt discutable comme l'indique Knapp [23]. À ce stade nous pouvons nous interroger sur cette orbite préliminaire, en effet si l'on exclut les mesures de Luyten publiées en 1920 et 1960, la droite tracée en vert sur la Figure 10 passant par la première mesure de 1893,11 et la dernière de 2025,13 suggère un mouvement linéaire. Cependant les éphémérides calculées par régression linéaire (méthode des moindres carrés) à partir des mesures de LDS 169 AB les plus fiables figurant au WDS (voir Annexe 2) montrent des valeurs légèrement différentes des mesures de Knapp et Debackère ce qu'avait déjà remarqué Knapp (2020)[23] concernant un léger changement en séparation depuis 2015. Il semble donc que le mouvement linéaire ne permet pas de décrire correctement le déplacement apparent de LDS 169 B par rapport à LDS 169 A ajoutant ainsi un argument à la nature physique du couple LDS 169 AB.

6 Analyse de l'image du champ de LDS 169 fournie par le « Deep Sky Survey » (DSS).

La Figure 7 présente une image du DSS (champ d'environ 1'x1') où figurent deux étoiles très faibles identifiées dans le catalogue Gaia-DR3 angulairement proches des composantes A et B de LDS 169. Malheureusement le catalogue Gaia-DR3 ne donne pas la parallaxe ni le mouvement propre, ni la vitesse radiale de ces deux objets. Ces étoiles faibles situées dans le voisinage des composantes de LDS 169 AB (à 3,3 " de LDS 169 A et à 1,8 " de LDS 169 B) sont-elles liées gravitationnellement aux composantes de LDS 169 AB ou s'agit-il de couples optiques ? Dans ce qui suit je note LDS 169 Aa la composante principale A de l'étoile double LDS 169 AB (encore appelée L 32-9) et LDS 169 Ab l'étoile faible dans son voisinage. De la même manière je note LDS 169 Ba la composante principale B de LDS 169 AB (encore appelée L 32-8) et LDS 169 Bb l'étoile faible dans son voisinage.

6.1 Calcul de la probabilité que ces couples soient optiques

La probabilité d'avoir au moins une étoile de magnitude apparente m dans l'élément de surface $\pi\rho^2$ autour d'une étoile donnée s'obtient à partir de la loi de Poisson. $P(\rho, m) = 1 - \exp(-\pi\rho^2\sigma)$ avec ρ séparation angulaire en seconde d'arc, et σ densité surfacique uniforme (nombre d'étoiles jusqu'à la magnitude m par seconde d'arc carré). Le catalogue UCAC4 donne 1428 étoiles ($m < 18$) dans le champ de LDS 169 de 30' carré (ALADIN, VizieR, outil « Sélection de tous les objets du champ ») soit 0,0004 étoile par seconde d'arc carré. Ainsi, la probabilité d'avoir deux étoiles alignées de manière fortuite est de 0,41% pour une séparation angulaire de 1,8" et de 1,36% pour une séparation de 3,3". Dans les deux cas la probabilité d'avoir un couple optique est faible. Et se pose alors la question de savoir si ces étoiles faibles peuvent être associées aux compagnons détectés à partir de la mesure de l'anomalie de mouvement propre (Kervella et al., 2022) [18].

6.2 Caractérisation des étoiles du système LDS 169 Aa-Ab Ba-Bb dans l'hypothèse d'un lien physique

Dans ce qui suit je fais l'hypothèse que les étoiles faibles LDS 169 Ab et LDS 169 Bb sont situées à la même distance que LDS 169 AB soit en moyenne $d \sim 8,84$ pc. L'absorption interstellaire étant négligeable (voir section 3.2), le module de distance M_d permet de calculer la magnitude absolue en bande V à partir de la relation $M_d = V - M_V = 5 \log d - 5$. J'obtiens le module de distance $M_d = -0,2677$. La magnitude absolue de chaque composante s'obtient avec $M_V = V - M_d$. Les magnitudes en bande V des composantes Ab et Bb n'étant pas connues, je les calcule à partir des magnitudes en bande G et V de Aa et Ba et en bande G de Ab et Bb en faisant l'hypothèse que la différence de magnitude en bandes G et V de la composante principale s'applique à la composante secondaire ($\Delta G = \Delta V$).

L'utilisation de la table établie par Éric Mamajek version 2022.04.16 [24] permet à partir de la magnitude absolue de trouver pour les étoiles de la séquence principale, en particulier le type spectral et la température effective. Ces caractéristiques concernant les quatre composantes étudiées (notées Aa = L 32-9, Ab, Ba = L 32-8 et Bb) sont reportées dans la table 10.

D'autre part les types spectraux et températures effectives sont également fournis par Kervella P., et al., 2022 [18] et Verberne S., et al., 2024 [19] en ce qui concerne les composantes les plus brillantes Aa et Ba et sont reportés dans la table 10.

6.3 Masse des composantes LDS 169 Ab et LDS 169 Bb

Les astres de type spectral L sont des objets substellaires très froids et peu massifs, leur température de surface est généralement comprise entre 1300 et 2000 K ce qui les rend très sombres et difficiles à observer dans le visible. La classe de luminosité V indique que ces objets sont des naines et la question est de savoir si leur masse est suffisante pour entretenir des réactions nucléaires stables auquel cas l'objet est considéré comme une étoile de la séquence principale, sinon il s'agit de naine brune trop massive pour être une planète mais de masse insuffisante pour être une étoile. L'obtention du spectre des objets faibles vus par Gaia permettrait évidemment de connaître leur nature stellaire ou substellaire.

Les travaux de Gilles Chabrier et d'Isabelle Baraffe (2000) [25] sur les étoiles de faible masse (LMS) et les objets substellaires (SSO) permettent d'estimer la masse des composantes Ab et Bb de LDS 169 AB. L'utilisation de la relation masse-T_{eff} (Figure 11) pour les étoiles à faible masse et les objets substellaires établie dans cet article permet d'avoir pour T_{eff} ~ 1900 K une estimation de la masse M/M_⊕ 0,076. L'utilisation du diagramme H-R théorique du même article donne une estimation de masse M/M_⊕ 0,075 avec T_{eff} ~ 1900 K et log L/L_⊕ ~ -4,0 (Figure 12).

Les données concernant les composantes Ab et Bb déterminées à partir de Chabrier G. et Baraffe I., 2000 [25] sont consignées dans la table 10.

Explication de la table 10.

Col.1, Composante du système LDS 169

Col.2, Identifiant de la composante dans Gaia-DR3

Col.3, Parallaxe ϖ (millièmes de seconde de degré) & incertitude dans Gaia-DR3

Col.4, Magnitude en bande G dans Gaia-DR3 et incertitude

Col.5, Magnitude en bande V dans Gaia-DR3 (Part.6 Synt. Phot.) pour la composante primaire ou calculée ($\Delta G = \Delta V$) pour la composante secondaire et incertitude

Col.6, Magnitude absolue en bande V calculée (section 5.2.1)

Col.7, Type spectral et classe de luminosité

Col.8, Température effective en Kelvin

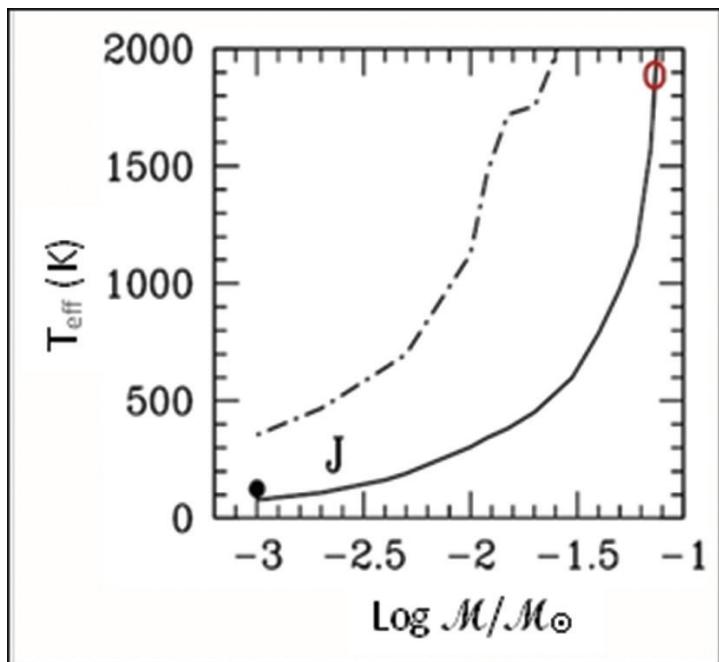


Fig. 11- Position d'un objet pour $M/M_{\odot} \sim 0,075$ et $T_{\text{eff}} \sim 1900$ K (cercle rouge) sur la Relation Masse - T_{eff} des objets LMS et SSO (encart fig. 4, Chabrier & Baraffe, 2000)

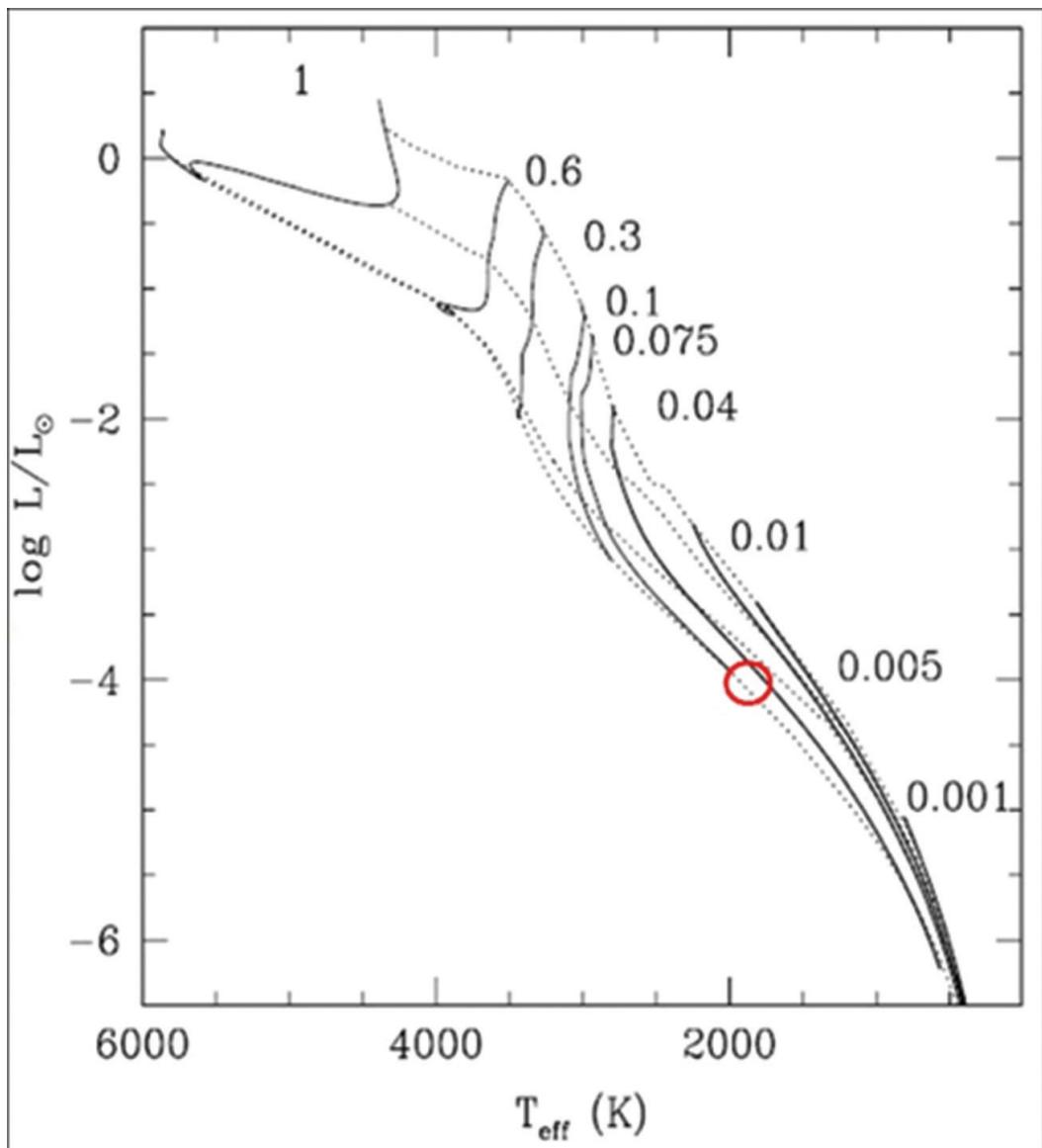


Fig. 12- Position d'un objet pour $M/M_{\odot} \sim 0,075$ et $T_{\text{eff}} \sim 1900$ K (cercle rouge) sur le diagramme H-R théorique des objets LMS et SSO de différentes masses M/M_{\odot} (fig. 7, Chabrier & Baraffe, 2000)

Table 10- Données relatives aux 4 composantes du système LDS 169

Comp.	Gaia_DR3 Id.	ϖ e. ϖ mas	G e_G mag	V e_V mag	MV	Sp.	T _{eff} K	Log L/L _o	R e_R R _o	M e_M M _o	M MJup
Aa L32-9	5260759175761501696	113,1304 0,0169	9,3847 0,003	10,474 0,004	10,74	M2,5V (1) M2V (2)	3470 (1) 3300 (2)	-1,64 (1)	0,421 (1) 0,43 (2) 0,01	0,43 (2) 0,01	450 (2)
Ab	5260759175762142464	- -	21,342 0,098	22,431 0,098	22,70	L4V (1)	1870 (1)	-4,01 (1)	0,0940 (1)	0,076 (3)	80 (3)
Ba L32-8	5260759175761502976	113,1318 0,0176	10,212 0,003	11,440 0,005	11,71	M3V-3,5V (1) M3V (2)	3400 (1) 3100 (2)	-1,83 (1)	0,331 (1) 0,33 (2) 0,01	0,32 (2) 0,01	335 (2)
Bb	5260759175761779200	- -	20,641 0,015	21,869 0,0017	22,14	L3V (1)	1920 (1)	-3,96 (1)	0,0942 (1)	0,075 (3)	79 (3)

(1) données de Mamajek E., (2) données de Kervella P., et al. et Verberne S., et al., (3) données de Chabrier G., Baraffe I.

Col.9, Luminosité de la composante par rapport à la luminosité du Soleil

Col.10, Rayon de la composante par rapport au rayon du Soleil et incertitude

Col.11, Masse de la composante par rapport à la masse du Soleil et incertitude

Col.12, Masse de la composante par rapport à la masse de Jupiter

L'Union Astronomique Internationale a défini en 2003 la limite en masse entre naine brune et exoplanète : une naine brune a une masse supérieure à environ 13 masses de Jupiter, masse nécessaire pour déclencher la fusion du deutérium mais insuffisante pour entretenir la fusion de l'hydrogène comme dans les étoiles de 0,07 masse solaire soit environ 70 masses de Jupiter. Une exoplanète a une masse inférieure à 13 masses de Jupiter.

Les deux étoiles faibles Ab et Bb de LDS 169 AB, de masse limite entre étoile et naine brune ($M \sim 0,075 M_{\odot}$) pourraient donc être des naines brunes ou des étoiles de faible masse, l'obtention du spectre de ces objets permettrait évidemment de connaître avec certitude leur nature.

7 Anomalie du mouvement propre

7.1 La méthode

La méthode de l'anomalie de mouvement propre est une méthode particulièrement sensible à la détection des compagnons de faible masse des étoiles proches du type exoplanète, naine brune ou étoile de très faible masse. Dans cette section j'utilise les définitions et le formalisme établis dans l'article de Kervella P. et al., (2019) [26]. Le photocentre d'une étoile isolée dont les caractéristiques astrophysiques ne varient pas est rectiligne et uniforme. C'est-à-dire que la direction et la norme du vecteur μ (mouvement propre) sont constantes. Dans le cas d'une étoile double, l'étoile principale et son compagnon tournent autour du centre de masse G, barycentre du système, qui se déplace à vitesse rectiligne et constante sur le ciel; c'est que l'on appelle le mouvement propre à long terme (μ LT). Il en résulte que les mouvements propres de l'étoile principale ainsi que de son compagnon subissent des variations. Les images des deux composantes semblent se déplacer suivant un mouvement qui combine leur mouvement orbital et le mouvement propre du barycentre. Le déplacement des composantes sur le ciel n'est donc plus uniforme mais présente des accélérations ; c'est ce que l'on appelle le mouvement propre à court terme (μ CT). La recherche d'accélérations dans le mouvement propre observé d'une étoile est donc un indice de son appartenance à un système binaire, comme cela est expliqué dans l'article de Kervella et al. (2019) [26].

7.2 Anomalie du mouvement propre de l'étoile principale.

Si l'on considère que le compagnon décrit une orbite circulaire de rayon r autour de l'étoile principale et que le plan de cette orbite est perpendiculaire à la ligne de visée on peut écrire :

$$M_2/r^{1/2} = (M_1/G)^{1/2} \cdot v_1 \text{ où } M_1 \text{ est la masse (kg) de la composante principale, } M_2 \text{ la masse (kg) de la composante secondaire, } v_1 \text{ la vitesse orbitale (ms}^{-1}\text{), } r \text{ le rayon de l'orbite (m), } G \text{ la constante de gravitation universelle (6,67430.10-11 m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}\text{).}$$

Pour une étoile simple, les vecteurs μ LT et μ CT sont identiques. La présence d'un deuxième corps en orbite autour de l'étoile produit une séparation variable entre le barycentre de l'étoile et celui du système se traduisant par une différence variable entre les vecteurs μ LT et μ CT.

L'anomalie du mouvement propre $\Delta\mu$ est la différence entre le mouvement propre à court terme et le mouvement propre à long terme $\Delta\mu = \mu$ CT - μ LT.

L'anomalie du mouvement propre $\Delta\mu$ permet d'obtenir une approximation de la vitesse orbitale de la primaire.

On peut écrire : $M_2/r^{1/2} = (M_1/G)^{1/2} \cdot v_1 = (M_1/G)^{1/2} \cdot (\Delta\mu/\varpi) \cdot 4740,470$ (Kervella P. et al., 2019) [26].

où $\Delta\mu$ est l'anomalie de mouvement propre (mas/a), ϖ la parallaxe (mas) et 4740,470 le coefficient d'ajustement des unités.

L'anomalie de mouvement propre $\Delta\mu$ peut être déterminée à partir de r , M_1 , M_2 et ϖ .

La Figure 13 est extraite de l'article de Kervella et al. (2019) [26]. Elle illustre le principe de la détermination de l'anomalie de mouvement propre $\Delta\mu$ à partir d'observations d'Hipparcos et de Gaia sur une période de près de 25 ans d'où la notation $\Delta\mu$ H/G3 en supposant que l'objet secondaire B a une contribution photométrique négligeable et que le photo-centre du système se trouve à la position de l'étoile principale A.

L'anomalie de mouvement propre s'écrit $\Delta\mu$ H/G3 = μ H/G3 - μ HG

Avec :

μ H/G3 vecteur mouvement propre à court terme (μ CT) des catalogues HIP2 ou Gaia-DR3

μ HG vecteur mouvement propre à long terme (μ LT) déterminé à partir de la différence des positions astrométriques (α , δ , ϖ) entre les deux époques de comparaison 1991,25 et 2016,0.

7.2.1 Calcul de la séparation des paires LDS 169 AaAb et LDS 169 BaBb et estimation du rayon de l'orbite

Dans cette section je suppose que les étoiles LDS 169 Aa (L32-9) et LDS 169 Ba (L32-8) sont physiquement liées aux étoiles faibles observées par Gaia (5.1.1). Les compagnons Ab et Bb sont donc supposés être situés à la même distance que leur étoile principale. Je convertis les coordonnées équatoriales J2000.0 du catalogue Gaia-DR3 [1] des composantes en degrés décimaux.

L 32-9 LDS 169 Aa-Bb

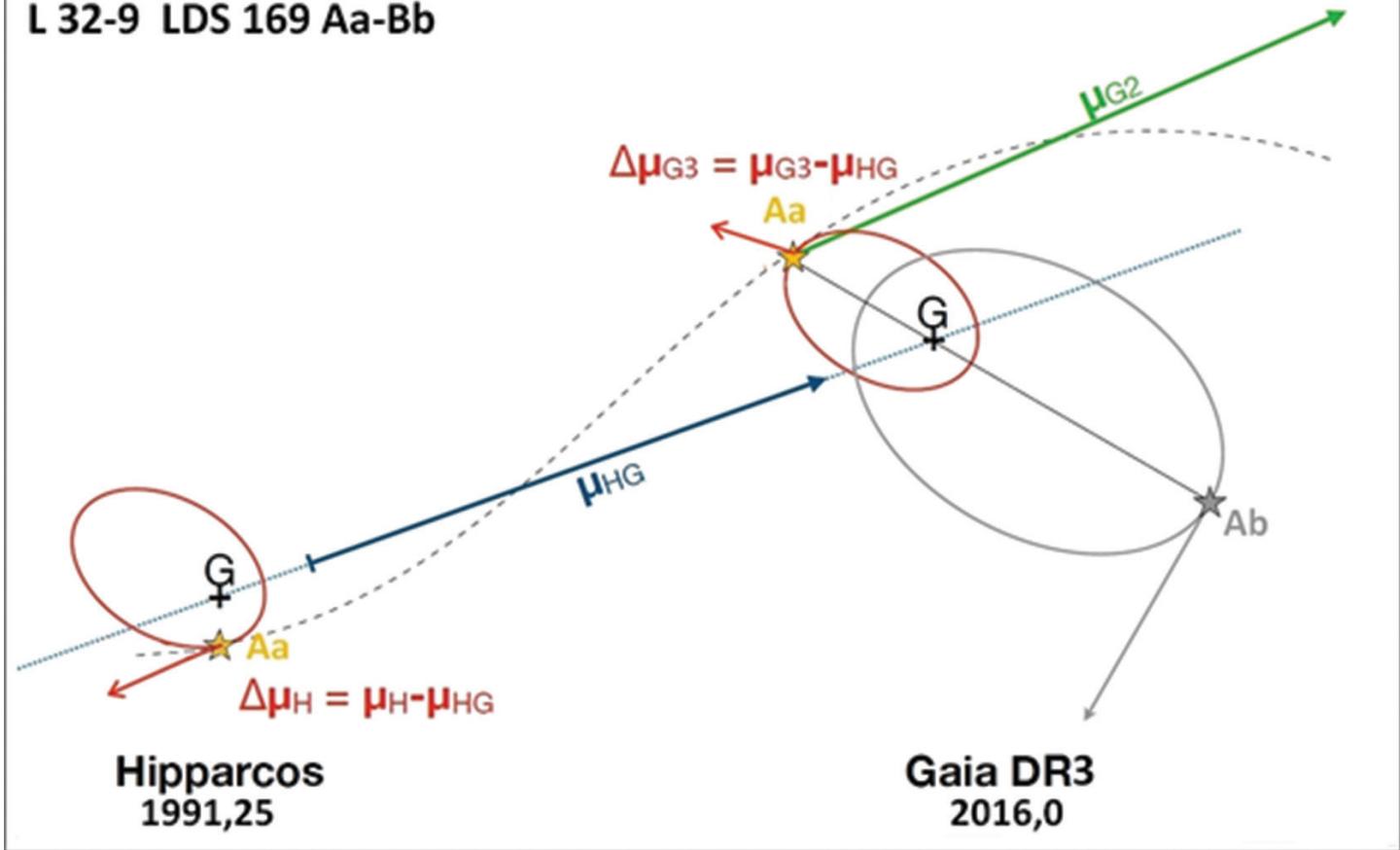


Fig.13- Principe de la détermination de l'anomalie de mouvement propre d'après Fig. 1 de Kervella et al. (2019) [26]

LDS 169 Aa $\alpha=98,430321^\circ$ et $\delta=-75,629989^\circ$

LDS 169 Ab $\alpha=98,427137^\circ$ et $\delta=-75,629539^\circ$

Soit une séparation angulaire $\rho=3,274''$ des composantes Aa et Ab (WDSTOOL) [27]

De même

LDS 169 Ba $\alpha=98,444854^\circ$ et $\delta=-75,624972^\circ$

LDS 169 Bb $\alpha=98,447784^\circ$ et $\delta=-75,623800^\circ$

Soit une séparation angulaire $\rho = 4,966''$ des composantes Ba et Bb (WDSTOOL) [27]

Dans le livre « L'observation des étoiles doubles visuelles » (Couteau P., 1978) [28], au chapitre VII on trouve un sous-chapitre intitulé Temps de révolution probable d'une étoile double (p. 191) dans lequel il y donne une formule donnant une estimation du demi-grand axe apparent a'' à partir de la séparation angulaire mesurée au moment de la découverte du couple ρ'' : $a'' = g \cdot \rho''$)

Le coefficient g est déterminé en fonction du paramètre $h = 1,08 + 1,5 \cdot \log g$ et la valeur de h est donnée en fonction du type spectral de l'étoile principale.

Pour L169 Aa et Ba, les types spectraux sont voisins de M2 et $h \sim 1,90$ ce qui donne pour g la valeur $g \sim 3,52$.

Avec cette détermination du demi-grand axe orbital et les masses attribuées aux composantes de chaque couple, on estime une valeur approximative de leurs périodes orbitales (Table 11).

Explication de la table 11.

Col.1, Couple étudié

Col.2, Séparation angulaire en secondes de degré

Col.3, Distance à l'observateur en parsecs

Col.4, Demi-grand axe de l'orbite supposée en secondes de degré

Col.5, Demi-grand axe de l'orbite supposée en unités astronomiques

Col.6, Masse totale des composantes en masse solaire

Col.7, Période orbitale

7.2.2 Détermination du mouvement propre de la composante principale LDS 169 Aa ou LDS 169 Ba à partir de la masse de la composante secondaire LDS Ab ou LDS Bb

Le demi grand axe de l'orbite a est assimilé au rayon de l'orbite r avec l'hypothèse d'une orbite circulaire retenue à la section 5.2.2.3.

Comme indiqué à la section 6.3, les relations établies par Chabrier G., Baraffe I., 2000 [25] pour les étoiles de faible masse permettent d'estimer les masses M_2 des composantes secondaires LDS 169 Ab et LDS 169 Bb.

En utilisant la relation $(M_2/r)^{1/2} = (M_1/G)^{1/2} \cdot (\Delta\mu/\varpi) \cdot 4740,470$ (Kervella P. et al., 2019) [26] je calcule l'anomalie de mouvement propre $\Delta\mu$ de LDS 169 Aa (L 32-9) et de LDS 169 Ba (L 32-8) dans l'hypothèse que les étoiles faibles de leur voisinage détectées par Gaia soient effectivement liées gravitationnellement.

Table 11- Estimation des périodes orbitales des couples LDS 169 AaAb et LDS 169 BaBb

Couple	ρ''	d (pc)	a''	a (ua)	$(M_{Aa}+M_{Ab})/M_\odot$	P (a)
AaAb	3,274	8,839	11,52	101,8	0,506	1444
BaBb	4,966	8,839	17,48	154,5	0,395	3055

Table 12- Évolution des anomalies de mouvement propre des composantes de LDS 169 AB

Étoile	M_1/M_\odot	M_2/M_\odot M_2/M_{Jup}	ϖ mas	r UA	$\Delta\mu HG$ mas/a
LDS 169 Aa	0,43	0,076 80	113,1304 0,0169	102	9,33
LDS 169 Ba	0,32	0,075 79	113,1318 0,0176	154	7,695

La table 12 donne l'anomalie de mouvement propre calculée à partir de M_1 , M_2 , ϖ et r.

Explication de la table 12

Col.1, désignation de l'étoile

Col.2, masse de la composante principale en masses solaires (Kervella, 2022)

Col.3, masse de la composante secondaire en masses solaires (Kervella, 2022) et en masses de Jupiter

Col.4, parallaxe de la composante principale en millièmes de seconde de degré et incertitude (Gaia-DR3)

Col.5, rayon de l'orbite en unités astronomiques

Col.6, anomalie de mouvement propre en millièmes de seconde de degré par an

Les anomalies de mouvements propres calculées sont significativement différentes de celles obtenues par Kervella et al., 2022 [18], les étoiles faibles notées Ab et Bb ne peuvent être responsables de ces anomalies et ne sont donc pas liées physiquement aux composantes Aa et Ba de LDS 169 AB. Les objets engendrant les anomalies de mouvement propre obtenues par Kervella et al., 2022 sont de très faible masse et pourraient donc être des exoplanètes, mais leur existence reste à confirmer.

8 Conclusion

Ce travail a permis de déterminer les caractéristiques photométriques et astrométriques de l'étoile double LDS 169 AB constituée de deux étoiles naines rouges de spectre M3.

La qualification de l'orbite de grade 5 n'a pas pu être améliorée car la période orbitale est très grande (plus de 2000 ans) et la vingtaine de mesures enregistrées au WDS ne couvrent qu'une durée d'un peu plus d'un siècle. Même si ces mesures suggèrent pour l'instant une faible déviation par rapport à la trajectoire rectiligne, ce qui penche en faveur de la nature physique du couple, il semble toutefois prématûr de calculer une orbite.

Les périodes estimées (Table 11) et les anomalies de mouvement propre obtenues à partir de la détermination de r, M_1 , M_2 et ϖ (section 7.2) (Table 12) sont très différentes des résultats obtenus par Kervella et al., 2022 [18]. Les objets faibles identifiés par Gaia au voisinage de chacune des composantes de LDS 169 AB ne sont pas liées à celles-ci.

Les observations détaillées de ce système depuis le sol sont difficiles, mais établir la nature exacte de ces deux étoiles faibles n'est peut-être pas impossible en utilisant les bons moyens (spectroscopie avec de grands télescopes, imagerie par optique adaptative,...). Nous pouvons cependant espérer que les futures versions DR4 ou DR5 du catalogue GAIA fourniront les mouvements propres et les parallaxes de ces deux étoiles. LDS 169 ne peut donc pas être qualifié de « système quadruple » car ce terme est réservé à la désignation d'un système composé d'étoiles et de naines brunes. Les anomalies de mouvement propre mises en évidence par Kervella et al., 2022 [18] suggèrent la présence d'exoplanètes gravitant autour de chaque composante de LDS 169 AB et de masses comparables à celle de Jupiter. La détection de ces exoplanètes par les différentes techniques d'observation de ce type d'objets, les missions TESS, JWST et les futurs télescopes devraient permettre d'en savoir plus.

Rémerciements

L'auteur remercie tout particulièrement Pierre Durand qui a établi des listes des étoiles doubles et multiples situées à moins de 10 pc sélectionnées à partir des travaux de Céline Reylé, astronome à Besançon qui a recensé les étoiles situées à moins de 10 pc du Soleil afin de mieux connaître cette population d'astres. Il remercie très chaleureusement Daniel Bonneau pour les conseils avisés, les corrections et les compléments qu'il a apportés à la rédaction de cet article.

Cette recherche a utilisé :

Les données de la mission Gaia de l'Agence Spatiale Européenne (ESA), (<https://www.cosmos.esa.int/gaia>), traitées par le Consortium de traitement et d'analyse des données Gaia (Gaia Data Processing and Analysis Consortium (DPAC), <https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/dpac/consortium>). Le financement du DPAC a été assuré par des institutions nationales, en particulier les institutions participant à l'accord multilatéral Gaia (Gaia Multilateral Agreement).

- L'atlas du ciel Aladin (Aladin sky atlas) développé au CDS, Observatoire de Strasbourg, France, 2000A&AS..143...33B (Aladin Desktop), 2014ASPC..485..277B (Aladin Lite v2), and 2022ASPC..532....7B (Aladin Lite v3).

- L'outil d'accès aux catalogues "VizieR catalogue access tool", CDS, Strasbourg, France (DOI : 10.26093/cds/vizier). La description originale du service VizieR a été publiée en 2000, A&AS 143, 23

- Des observations réalisées avec des télescopes du réseau éducatif du « Las Cumbres Observatory » qui ont été modernisés grâce au soutien généreux de la Fondation Gordon et Betty Moore.

- Le catalogue d'étoiles doubles de Washington (WDS) ainsi que le 6ème catalogue d'orbites d'étoiles doubles visuelles (WDS-ORB), maintenus à l'Observatoire Naval de Washington

- Le logiciel ASTROMETRICA d'Herbert Raab
- Le logiciel REDUC de Florent Losse
- Le logiciel WDSTOOL de David Chiron

Références

- [1] Gaia Collaboration 2022, Gaia DR3 Part 1. Main source : <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2022yCat.1355....0G/abstract>
- [2] Hipparcos : <https://wwwhip.obspm.fr/hipparcos/les-donnees/article/le-catalogue-hipparcos>
- [3] Reylé C. et al., "The 10 parsec sample in the Gaia era", A&A 650, A201, May 2021: <https://arxiv.org/pdf/2104.14972.pdf>
- [4] API ProAm Gemini, Collaborations ProAm en Astronomie : <https://gemini.obspm.fr/20240616-catalogue-10pc/>
- [5] Debackère A. et al., "LUHMAN 16 : UNE BINAIRE CONSTITUÉE DE DEUX NAINES BRUNES ET SITUÉE À 2 PC DU SOLEIL", Étoiles Doubles, Revue francophone des observateurs d'étoiles doubles, Numéro 2, Juin 2021 : <https://etoilesdoubles.org/revue/ED-2021-02/ED-2021-02-DEBACKERE-LUH16.pdf>

- [6] Luyten, W. J., "LDS Catalogue: Doubles with Common Proper Motion (Luyten 1940-87), Astr. Obs. Univ. Minnesota III, part 3, 35;, Proper motion survey with the 48-inch Schmidt Telescope, , XXI, XXV, XIX, XL, L, LXIV, LV, LXXI, Univ. Minnes. (1940-1987)", February 1997 :
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1997yCat.1130....0L/abstract>
- [7] Las Cumbres Observatory LCO : <https://lco.global/>
- [8] Codes des observatoires répertoriés au Minor Planet Center
<https://lco.global/observatory/sites/mpccodes/>
- [9] Debackère A., "ASTROMÉTRIE ET PHOTOMÉTRIE D'ÉTOILES DOUBLES 1ÈRE PARTIE ÉTUDE DES PAIRES VISUELLES BAILLAUD 805 ET BAILLAUD 806", Étoiles Doubles, Revue francophone des observateurs d'étoiles doubles, Numéro 7, Décembre 2023
<https://etoilesdoubles.org/revue/ED-2023-07/ED-2023-07-DEBACKERE.pdf>
- [10] Raab H., ASTROMETRICA v4.16.0.460 2025:
<http://www.astrometrica.at/>
- [11] Zacharias, N. et al., "The fourth US naval observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC4)", The Astronomical Journal, 145:44 (14pp), February 2013 :
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0004-6256/145/2/44/pdf>
- [12] The ATLAS ALL-Sky Stellar Reference Catalog (ATLAS-REFCAT2):
<https://archive.stsci.edu/hlsp/atlas-refcat2>
- [13] Debackère A., "ASTROMÉTRIE ET PHOTOMÉTRIE D'ÉTOILES DOUBLES 3ÈME PARTIE ÉTUDE DES LIMITES ASTROMÉTRIQUES ET PHOTOMÉTRIQUES DES TÉLESCOPIES DE CLASSE 1M ET 2M DU RÉSEAU LCO ", Étoiles Doubles, Revue francophone des observateurs d'étoiles doubles, Numéro 9, Décembre 2024 :
<https://etoilesdoubles.org/revue/ED-2024-09/ED-2024-09-DEBACKERE.pdf>
- [14] Bonnarel, F. et al., "The ALADIN interactive sky atlas. A reference tool for identification of astronomical sources", Astronomy and Astrophysics Supplement, v.143, p.33-40, April 2000: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2000A%26AS..143..33B/abstract>
- [15] Gontcharov G.A. et al., "New Interstellar Extinction Maps Based on Gaia and Other Sky Surveys", Astronomy Letters, 2023, Vol. 49, No. 11, pp. 666-689, astro-ph.GA 9 February 2024:
<https://arxiv.org/pdf/2402.06474>
- [16] Losse F, REDUC v5.42 2025: <http://www.astrosurf.com/hfosaf/fr/tdownload.htm#reduc>
- [17] Tutoriel REDUC: <http://www.astrosurf.com/hfosaf/reduc/tutoriel.htm>
- [18] Kervella P., Arenou F, Thévenin F., "Stellar and substellar companions from Gaia EDR3. Proper-motion anomaly and resolved common proper-motion pairs", Astronomy & Astrophysics, vol 657, id.A7, 26pp. January 2022: <https://arxiv.org/pdf/2109.10912>
- [19] Verberne S., et al., "Radial velocities from Gaia BP/RP spectra", Astronomy and Astrophysics, vol 684, 15pp. April 2024 : https://www.aanda.org/articles/aa/full_html/2024/04/aa48406-23/aa48406-23.html
- [20] Digitized Sky Survey (DSS): https://gsss.stsci.edu/zzzOldWebSite/DSS/dss_home.htm
- [21] Washington Double Star catalog: <https://www.astro.gsu.edu/wds/>
- [22] Sixth Catalog of Orbits of Visual Binary Stars: <http://www.astro.gsu.edu/wds/orb6.html>
- [23] Knapp, W.R.A, JDSO 16, 229, 2020 ; 229 "Star Systems in the Solar Neighborhood up to 10 Parsecs Distance": http://www.jdso.org/volume16/number3/Knapp_229_288.pdf
- [24] Mamajek E. E., "A Modern Mean Dwarf Stellar Color and Effective Temperature Sequence", Version 2022.04.16 : http://www.pas.rochester.edu/~emamajek/EEM_dwarf_UBVIJHK_colors_Teff.txt
- Travail faisant suite à l'article de Pecaut, M. J., Mamajek, E. E., 2013, ApJS, 208, 9 :
<http://adsabs.harvard.edu/abs/2013ApJS..208....9P>
- [25] Chabrier G., Baraffe I., "Theory of Low-Mass Stars and Substellar Objects", Annual Review of Astronomy and Astrophysics, Vol. 38, p. 337-377 (2000):
https://www.oa.uj.edu.pl/J.Krzesinski/WG2025/PUBLIKACJE/07_gwiazdy_o_min_masach.pdf
- [26] Kervella, P. et al., "Stellar and substellar companions of nearby stars from Gaia DR2, Binarity from proper motion anomaly", A&A, volume 623, March 2019:
<https://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2019/03/aa34371-18.pdf>
- [27] Chiron D, WDS TOOL
- [28] Couteau P., "L'observation des étoiles doubles visuelles", Édition Flammarion-Sciences humaines, Paris, 1978 :
https://ced.saf-astronomie.fr/documents/Observation_des_etoiles_doubles_visuelles_PAUL_COUTEAU.pdf



André Debackère

Astronome amateur depuis l'âge de 18 ans. Je suis membre de la commission des étoiles doubles depuis 1981. C'est Pierre Durand qui m'a initié aux méthodes d'observation et de mesures. J'ai découvert plus de 300 étoiles doubles. Depuis janvier 2010, j'utilise des télescopes robotisés du réseau LCO et de l'université de l'Iowa. Je participe à des projets Pro/Am. Plus récemment j'ai commencé à observer les binaires à éclipses dans le cadre d'une collaboration internationale.

Annexe 1

USNO Double Star data for WDS 06337-7538																
MEASURES																
LDS 169 1893 2019 18 37 35 25.0 21.1 10.49 11.18 M2V -298+285 -329+273 O 063343.27-753747.9																
	1893.11	37.1	.	25.033	.	.	.	.	.	.	.	0.3	1	WFC1998	Pa	6
	1920	e 45.	.	25	.	12.4	.	12.9	.	B	0.6	1	Luy1941	Po	L6	
	1960	45	.	25	.	12.3	.	12.8	.		1.2	1	Luy1979	Po	2	
	1977.11	35.3	0.3	23	0.6	.	.	.	.		1.2	1	WDK2015	P	7	
	1989.997	34	0.3	23.22	0.6	.	.	.	.		1.2	1	WDK2015	P	7	
	1991.25	35.8	.	22.51	.	10.499	0.041	11.49	0.082	511	222	0.3	1	HIP1997a	Hh	5
	1991.25	35.9	.	22.509	.	10.499	.	11.49	.	511	222	0.3	1	HIP1997a	Hh	7
	1991.74	.	.	.	.	12.276	0.173	12.903	0.283	430	90	0.3	1	TYC2000b	Ht	7
	1991.74	36.3	.	22.56	.	10.491	0.046	11.179	0.088	530	100	0.3	1	TYC2000b	Ht	7
	1991.75	36.1	.	22.554	.	10.491	0.046	11.179	0.088	530	100	0.3	1	TYC2000b	Ht	5
	1991.75	.	.	.	.	12.276	0.173	12.903	0.283	430	90	0.3	1	TYC2000b	Ht	7
	1998.2	35.8	0	22.279	0.013	10.16	0.01	11.08	0.03	609	70	0.2	4	UC_2013b	Eu	7
	1998.92	35.9	.	22.39	.	6.725	0.023	7.41	0.03	1256	245	1.3	1	TMA2003	E2	7
	1998.92	.	.	.	.	6.146	0.026	6.85	0.031	1633	160	1.3	1	TMA2003	E2	7
	1998.92	.	.	.	.	5.862	0.024	6.558	0.021	2210	300	1.3	1	TMA2003	E2	7
	2000.928	35.8	0	22.221	0.034	.	.	.	.	609	70	0.2	2	UC_2013b	Eu	7
	2010	.	.	.	.	10.484	0.02	11.419	0.01	550	89	0.2	1	AAV2012	Zc	7
	2010	.	.	.	.	10.019	0.06	10.825	0.01	623	137	0.2	1	AAV2012	Zc	7
	2010	.	.	.	.	11.479	0.02	12.163	0.01	477	139	0.2	1	AAV2012	Zc	7
	2010	.	.	.	.	8.742	0.03	9.458	0.01	763	153	0.2	1	AAV2012	Zc	7
A	2010.07	.	<	0.03	.	.	.	.	.	550	24	4	1	Msn2018a	Su	7
B	2010.07	.	<	0.03	.	.	.	.	.	550	24	4	1	Msn2018a	Su	7
	2010.5	35.5	0.3	21.86	0.12	5.697	0.058	6.408	0.036	3350	.	0.4	1	WIS2012	Hw	7
	2010.5	.	.	.	.	5.456	0.027	6.216	0.021	4600	.	0.4	1	WIS2012	Hw	7
	2010.5	.	.	.	.	5.552	0.014	6.166	0.014	11.6	u	0.4	1	WIS2012	Hw	7
	2010.5	.	.	.	.	5.377	0.028	6.016	0.034	22.1	u	0.4	1	WIS2012	Hw	7
	2015	34.57	.	21.612	.	9.21	.	10.026	.	673	440	1	1	K_p - p2018m	Hg	7
	2015	.	.	21.76	.	.	.	.	.	673	440	1	1	Gai2017	Hg	7
	2015.5	35.126	0	21.74094	0.00006	10.795	.	11.65	.	673	440	1	1	Kpp2019a	Hg	7
	2015.5	.	.	.	.	10.707	.	11.701	.	502	228	1	1	EIB2018	Hg	7
	2015.5	.	.	.	.	8.258	.	9.045	.	759	294	1	1	EIB2018	Hg	7
	2015.5	35.13	0	21.74217	0.00004	9.371	.	10.205	.	584	436	1	1	EIB2018	Hg	7
	2015.5	.	.	21.74217	.	9.371	.	10.205	.	584	436	1	1	Tia2020	Hg	7
	2016	.	.	.	.	10.694	.	11.677	.	502	228	1	1	EIB2021	Hg	7
	2016	35.11	0	21.72627	0.00002	9.385	.	10.212	.	584	436	1	1	EIB2021	Hg	7
	2016	.	.	.	.	8.246	.	9.025	.	759	294	1	1	EIB2021	Hg	7
	2019.89927	35.007	0.251	21.0612	0.0922	10.603	0.084	11.782	0.084	550	89	0.6	1	Kpp2020f	C	7

Annexe 2

J'utilise les 8 mesures les plus fiables (avec incertitudes) publiées à l'Observatoire Naval des États-Unis (USNO) pour calculer les éphémérides à la date 2019,89927 (dernière mesure de Knapp) et à la date 2025,1309 (Debackère) pour comparaison avec les mesures.

J'obtiens :

date	θ ($^{\circ}$) calcul	ρ ('') calcul	θ ($^{\circ}$) mesure	ρ ('') mesure	O-C (θ)($^{\circ}$)	O-C (ρ)('')
2019,89927	35,32	21,566	35,01	21,061	-0,31	-0,505
2025,1309	35,35	21,363	34,86	21,449	-0,49	+0,086

