

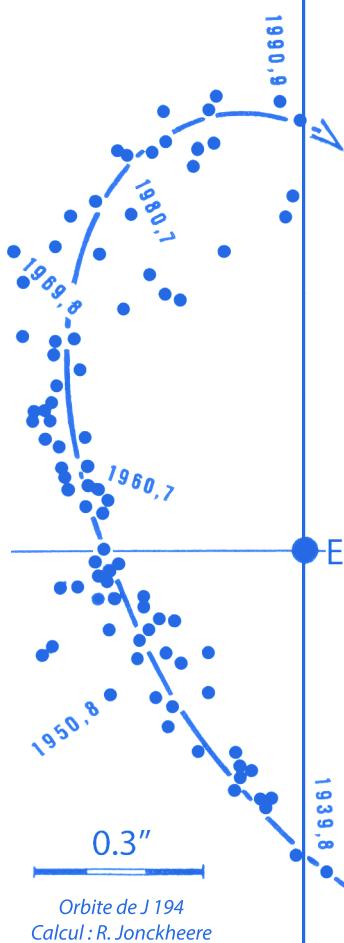


# ÉTOILES DOUBLES

Revue francophone des observateurs d'étoiles doubles

N° 11 - Décembre 2025

## SOMMAIRE



Page 01 : Edito

*Par le comité de rédaction*

Page 02 : Mesures d'étoiles doubles visuelles avec un réfracteur de 152mm en mai et juin 2025

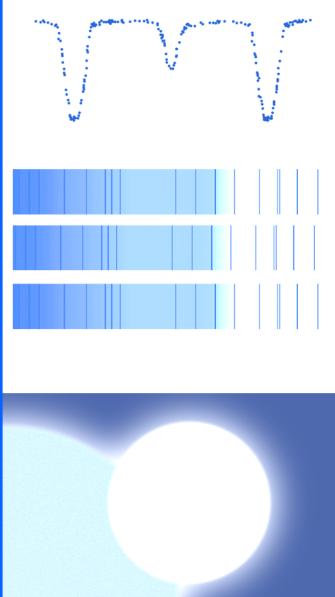
*Par Claude Schuhmacher*

Page 06 : LDS 169 un système quadruple ?

*Par André Debackère*

Page 22 : Camille Flammarion, un des premiers contributeurs à la connaissance générale des étoiles doubles et multiples

*Par Pierre Durand*



Éditée par l'association Jonckheere avec le soutien de l'observatoire de l'université de Lille

ISSN 2742-7358

# ÉTOILES DOUBLES

Revue francophone des observateurs d'étoiles doubles



## Editorial

Voici maintenant cinq ans (déjà !) que la revue ED poursuit son but de diffuser les travaux, études et observations sur les étoiles doubles de tous types. Cette thématique attire toujours de nouveaux observateurs. C'est ainsi que Claude Schuhmacher publie son premier compte-rendu de mesures d'étoiles doubles visuelles effectuées ce printemps 2025. Il teste son matériel d'acquisition et nous montre qu'il est toujours possible de réaliser des observations intéressantes avec une lunette de 152mm. Nous espérons vivement qu'il n'en reste pas là et que d'autres comptes-rendus suivront !

André Debackère continue ses études de caractérisation de couples proches de l'environnement solaire. Dans le cadre d'un programme "Pro-am" initié par Céline Reylé, astronome à l'Observatoire de Besançon, il a sélectionné LDS 169 afin de savoir s'il constitue un système quadruple.

Pierre Durand, l'un des membres fondateurs de la commission des étoiles doubles de la Société Astronomique de France, nous fait le plaisir de nous rappeler que Camille Flammarion, dont on commémore le centenaire de la disparition, se préoccupait déjà à la fin des années 1870 de savoir quels couples il était intéressant de suivre et a publié le premier *Catalogue d'étoiles doubles et multiples à mouvement relatif certain*.

Les étoiles doubles restent un sujet d'actualité puisqu'une nouvelle revue dédiée vient de voir le jour en langue espagnole. En novembre, Nicolas Arias (Argentine) nous a annoncé la sortie du premier numéro. On peut le consulter ici : <https://estrellasdoblesrevista.blogspot.com>. Nous souhaitons longue vie à cette nouvelle publication !

Nous espérons que vous trouverez de l'intérêt à lire ces articles et nous vous souhaitons une très bonne année 2026 !

Le comité de rédaction.



## ÉTOILES DOUBLES

Décembre 2025 - numéro 11

ISSN 2742-7358

Revue éditée par

### **l'Association Jonckheere**

les amis de l'observatoire de Lille  
1, Impasse de l'observatoire 59000 LILLE  
<https://asso-jonckheere.wixsite.com/accueil>



et soutenue par

### **l'Observatoire de l'Université de Lille**

1, Impasse de l'observatoire 59000 LILLE  
<http://astronomie.univ-lille.fr/>



## Comité de rédaction

André Amossé  
Philippe Laurent  
Florent Losse

## Comité scientifique

Frédéric Arenou  
Daniel Bonneau  
Patricia Lampens  
Josefina F. Ling  
Alain Vienne

**Notes aux auteurs sur**  
<https://etoilesdoubles.org>

**Contact**  
[contact@etoilesdoubles.org](mailto:contact@etoilesdoubles.org)

© 2025 Étoiles Doubles



Robert JONCKHEERE a été l'astronome français des étoiles doubles du début du XXème siècle et le maître à penser de Paul COUTEAU. Son patrimoine astronomique est à l'observatoire de Lille. Cette publication trouve naturellement sa place à Lille où « l'association Jonckheere, les amis de l'observatoire de Lille » valorise et entretient ce patrimoine scientifique et avec lequel elle réalise des mesures d'étoiles doubles visuelles.

# MESURES D'ÉTOILES DOUBLES VISUELLES AVEC UN RÉFRACTEUR DE 152MM EN MAI ET JUIN 2025

Visual double star measurements with a 6 inches refractor in May and June 2025

Claude Schuhmacher

Astronome amateur à Pringy 77310 France - [bluesky77310@gmail.com](mailto:bluesky77310@gmail.com)



## Résumé

Ce travail présente une première campagne de mesures d'étoiles doubles visuelles réalisée en mai et juin 2025 à l'aide d'un réfracteur apochromatique de 152 mm de diamètre. Vingt couples ont été observés, dont quinze binaires orbitales, sélectionnés principalement pour leurs séparations angulaires comprises entre 1,5" et 10" et pour leurs orbites bien déterminées. Les acquisitions ont été effectuées par imagerie rapide à l'aide d'une caméra CMOS monochrome. L'observation régulière d'étoiles étalons a permis de calibrer l'orientation et l'échelle des images. Les incertitudes estimées sont de l'ordre de  $\pm 0,5^\circ$  pour l'angle de position et  $\pm 0,1''$  pour la séparation. Ces résultats démontrent que des observations amateurs minutieuses, réalisées avec des instruments d'ouverture moyenne, peuvent fournir des données astrométriques utiles pour la surveillance continue des étoiles doubles visuelles.

## Abstract

We report on a first series of visual double star measurements conducted in May and June 2025 using a 152-mm apochromatic refractor. 20 systems were observed, including 15 orbital binaries selected primarily for separations between 1.5" and 10" and for the availability of well-determined reference orbits. Observations were obtained through high-resolution imaging with a monochrome CMOS camera. Calibration of scale and orientation was achieved through repeated observations of standard calibration pairs acquired at regular intervals during each observing session. Typical uncertainties are estimated at  $\pm 0.5^\circ$  in position angle and  $\pm 0.1''$  in separation, consistent with instrumental resolution and seeing conditions. These results demonstrate that careful amateur observations with moderate-aperture instruments can provide useful astrometric data for the continued monitoring of visual double stars.

**Keywords :** astrometry, binaries: visual, Cmos, CCD



Après avoir, pendant quelques années, photographié pour le plaisir quelques étoiles doubles visuelles, afin d'évaluer la qualité du pouvoir séparateur de mes instruments d'observation, avec notamment quelques binaires proches de leurs pouvoirs séparateurs, je me suis décidé à pratiquer des mesures d'angles et de séparations. De manière assez artisanale au début, puis, ayant obtenu gracieusement le logiciel REDUC [1], j'ai contacté l'Association Jonckheere à Lille. Son président, André Amossé, m'a apporté son aide. Sans cette aide essentielle, ce document n'aurait probablement pas abouti.

## Introduction

Il s'agit d'une première campagne de mesures. Une sorte de test que je me fixe afin de savoir si, à terme, il y aura une suite. Ce document présente les mesures de 20 étoiles doubles visuelles dont 15 couples orbitaux, une entrée en matière en quelque sorte.

Comme je le disais plus haut, je ne suis aucunement spécialisé dans l'étude des étoiles doubles visuelles et n'appartiens à aucune organisation ni association spécialisée dans le domaine. J'ai connu André Amossé lorsque j'étais, pendant une courte période, président de l'Association Astronomique du Nord, il y a un peu plus de deux décennies. Pour des raisons professionnelles, j'ai quitté la région lilloise pour la région parisienne, le sud de la Seine-et-Marne pour être plus précis.

Jusqu'à présent, je me consacrais à l'observation des planètes, de la Lune et du Soleil, ainsi qu'à la photographie de ces mêmes astres. J'ai d'ailleurs un blog sur Astrosurf qui regroupe mes

observations[2]. Je suis arrivé par hasard aux étoiles doubles visuelles par l'étude du pouvoir séparateur des instruments d'optique. J'ai eu l'occasion de présenter cette théorie, ainsi que celle du comportement des différents types de réfracteurs sur le pouvoir séparateur instrumental, au club d'astronomie auquel j'appartiens à Challans en Vendée (85), mon lieu de villégiature.

Je possède plusieurs instruments, avec notamment un réfracteur apochromatique de conception russe, une LZOS de 152mm de diamètre et de 1208mm de focale. La correction chromatique est exceptionnelle dans sa catégorie avec un indice de Strehl de l'ordre de 0,97 à 540 nm. Le Polystrehl serait donné supérieur à 0,95 sur la plage visuelle.

Le pouvoir séparateur de cet instrument approche de 0,91 seconde de degré à 550 nm. C'est l'instrument utilisé pour les mesures d'angles et de séparations.

Je pourrais de même utiliser en réflecteur de conception russe un Rumak Maksutov de 200mm de diamètre, mais sa conception demande plus d'attention lors de l'utilisation. Je ne lui ai pas donné la priorité, même si son pouvoir séparateur est supérieur. En effet, la mise au point se faisant par le déplacement du miroir primaire, comme sur les Schmidt-Cassegrain de marques Celestron et Meade, la focale change par la même occasion, et donc l'échantillonnage sur les clichés obtenus. Cela peut avoir des conséquences sur les mesures entre le début et la fin de la séance de mesure. En revanche, si la mise au point peut se limiter avec un porte-oculaire, la focale résultante n'est pas modifiée.

Un choix définitif, je pense, vers le réfracteur, même s'il est moins performant optiquement parlant du fait de son diamètre.

## La chaîne de mesure

Le réfracteur est installé sur une monture Celestron CGE Pro Goto. La stabilité instrumentale est excellente. Cette monture a été conçue pour porter un Celestron 14 de 355mm de diamètre. La monture est pilotée par Eqmod et un logiciel de planétarium nommé HNSKY North. Les étoiles doubles visuelles sont directement indiquées par le logiciel. La recherche des cibles à photographier est extrêmement facile. Le réfracteur est sous abri, mais il n'est pas en poste fixe. Il est mobile sur des rails pour le dégager de l'abri (photo 1).

Je suis souvent étonné par la mise en température assez rapide du réfracteur et j'en suis venu à me demander si le triplet apochromatique n'a pas été conçu pour être athermal, car la focale est relativement stable quelle que soit la température. Le tube métallique de l'instrument est certainement à mettre en cause lors des modifications de la mise au point. J'observe cet effet régulièrement en photographie solaire, mais la focale ne change pas, ou très peu. Ce n'est du moins pas détectable.

J'utilise depuis de nombreuses années une caméra CMOS rétroéclairée de ZWO, une ASI 290 MM avec un maximum de sensibilité à 600nm et des pixels carrés de 2,9 micromètres. Depuis peu aussi, un miroir basculant de chez Baader, le Flip Mirror II, spécialement acheté pour l'occasion. Le centrage de la cible à photographier se fait avec un oculaire de chez APM Allemagne, un SWA de 26mm de focale et un FOV 70°, au coulant de 50mm, donnant un grossissement de 46 X. L'oculaire est réticulé et éclairé. Il a aussi été acheté pour l'occasion. Il facilite grandement le centrage des cibles à photographier, tout en ayant un grossissement et un champ visuel qui permettent à chaque fois de repérer la cible dans le champ avec les déplacements GOTO de la monture.

Une Barlow achromatique de courte focale de marque TAL, marque très connue dans les pays de l'Est et en Russie, fabriquée en Russie à Novosibirsk, est installée en amont de la caméra sur le chemin optique et permet au final un échantillonnage de 0,21 seconde de degré par pixel. L'avantage est d'avoir un filetage T2 en sortie pour être directement fixé sur la caméra d'acquisition, soit une excellente immobilité en rotation. (photo 2)

Sur les conseils d'André, j'ai remplacé la fenêtre du capteur de la caméra par une fenêtre coupant l'UV et l'IR. Le produit est d'origine chinoise. Elle ne coûte que quelques euros. La transmission est supérieure à 95 % sur la bande passante de 440 à 620 nm. Il reste encore 50 % de transmission à 650nm. À 700 nm, la transmission est inférieure à 1 %. La perte de luminosité est certaine, mais le gain en finesse des images doit être appréciable, non pas du fait d'un chromatisme de l'instrument, mais simplement des lois de l'optique. En effet, et pour rappel, la résolution instrumentale est une fonction directe de la longueur d'onde enregistrée sur le capteur CCD. Ici, elle varie de 1,3" de degré à 0,7" de 800 à 400 nm, pratiquement du simple au double.

## Les mesures et la précision

Le choix des cibles est établi au préalable en consultant le site de David Chiron « WDSTOOL » [3]. Sur les conseils d'André, je me suis limité majoritairement aux couples ayant une séparation angulaire comprise entre 1,5" et 10" d'arc, avec des orbites connues, de grade 1 à 5, dans l'éventualité de voir si mes mesures sont crédibles. De plus, j'ai concentré mes mesures sur des couples orbitaux de faible écart de magnitude (0 à 2 Mg), même si j'ai exploré d'autres couples plus exotiques comme STF 2590 AB. La table 1 et la figure 2 montrent les résultats.

Hormis la mesure du couple STF 1415 AB de grade 1, ma première mesure faite la nuit du 5 mai 2025 avec 3 étoiles étalons, les fichiers .ser pris les nuits du 11 au 12, et du 21 au 22

juin 2025 ont été réalisés comme suit :

- 5 étoiles étalons [4] prises à intervalles réguliers, avec une étoile étalon en début de séance et une à la fin.
- un fichier .ser de 1000 images pour chacune d'elles. Je n'ai sélectionné que les 500 meilleures images pour le calcul avec REDUC en auto-réduction en pratiquant un best of au préalable.

Pour les couples à mesurer, 3 fichiers .ser de 500 images en sélectionnant pour chacun d'eux le best of des 250 images.

J'ai constaté effectivement, et pour tous les fichiers, qu'en général, 50 % des images sont exploitables, ou du moins comparables à la meilleure image, sauf pour les couples plus proches, où je me suis limité à 25 % (couple de séparation inférieure à 2"). L'information est donnée dans les tables 1 et 2. Les dernières images sont à mon sens inutilisables, même si je n'ai pas constaté de gros écarts de valeur en ne faisant pas de best of avec 100 % des images, sauf pour les couples ayant une séparation inférieure à 2" de degré. Ces dernières images sont souvent fortement déformées durant l'acquisition par la turbulence atmosphérique ou instrumentale et par les vibrations de la monture équatoriale.

À noter que certaines images subissent parfois une déformation de la tache d'Airy par effet de la dispersion atmosphérique. En effet, lorsque la prise du fichier .ser est faite avec une hauteur réduite sur l'horizon, l'atmosphère allonge la tache de diffraction. L'ajout d'un correcteur de dispersion atmosphérique, très utilisé en photographie planétaire, serait-il souhaitable ? Je ne le pense pas.

En conclusion, et après réflexion, en considérant le travail effectué pour cette première publication, j'envisagerai de doubler la taille des fichiers .ser, et de faire par la même occasion 5 fichiers .ser au lieu de 3 pour les couples orbitaux (1000 images et calcul sur le Best of des meilleures images). Vous trouverez d'ailleurs dans la table 2 un calcul d'écart type pour l'orientation angulaire et la séparation des couples.

En moyenne, je considère que l'incertitude des mesures serait, pour être pessimiste, de +/- 0.5° pour l'orientation et +/- 0.1" pour la séparation.

## Description du tableau des mesures

**Index WDS** : Identification dans l'index du WDS

**Nom** : Nom du couple

**MgP/MgS** : Magnitude des étoiles primaire et secondaire dans l'index du WDS

**Époque J** : date julienne

**Époque B** : date besselienne (utilisée pour le calcul des O-C° et O-C")

**θ °** : mesure de l'angle du couple en degrés

**σ θ** : Calcul de l'écart type des mesures d'angle

**ρ" d'arc** : mesure de la séparation en secondes de degré

**σ ρ** : Calcul de l'écart type des mesures de séparation

**Mtd** : méthode traitement

**AB250/500** : auto-réduction Best of 250 images sur 500.

**AB125/500** : auto-réduction Best of 125 images sur 500.

**Grade** : grade de l'orbite de référence pour le calcul des O-C° et O-C"

**Orbite** : nom de l'orbite de référence pour le calcul des O-C° et O-C"

**O-C°** : écart sur l'angle en degrés sur l'orbite de référence

**O-C"** : écart sur la séparation en " d'arc sur l'orbite de référence

**O-Cx"** : Abscisse de l'O-C° convertie en coordonnées rectangulaires et exprimée en seconde de degré

**O-Cy"** : Ordonnée de l'O-C" convertie en coordonnées rectangulaires et exprimée en seconde de degré

## Couples orbitaux à mesurer chaque année

J'envisage de vérifier chaque année deux orbites à la même période : STF 2140 AB et STF 2382 AB. Cette dernière est l'une des composantes du célèbre couple Epsilon 1 et 2 de la Lyre que j'ai maintes fois observé visuellement avec ma lunette achromatique Perl Vixen de 100mm et de 1000 mm de focale. La composante inégale semble se rapprocher rapidement, voire très rapidement selon l'orbite de référence Doc 2020e, et ne sera plus observable par la prochaine génération dans un petit instrument. C'est une découverte pour moi.

En photo 3, nous avons l'image de l'étoile multiple STF 2590AB (WDS19523+1021) qui se caractérise par de forts écarts de magnitude, avec respectivement 7 magnitudes entre les composantes A et E, et 3.19 entre B et E. Sur le cliché obtenu après empilement de 10% des meilleures images (50/500), le diamètre des taches lumineuses sur le cliché est de 10.5" pour A et 4.2" pour B. La tache d'Airy est de 0.8" pour E. Ceci implique qu'il est important de se limiter à des écarts de magnitude réduits à 2 magnitudes maximum pour les composantes proches (2 à 10" de séparation) sous peine de voir la composante secondaire disparaître sous le flux lumineux de la principale.

## Conclusion et remerciements

Ces premiers travaux m'ont été profitables, même si je suis loin d'avoir exploré toutes les fonctionnalités du logiciel REDUC.

Un regret en revanche est de n'avoir pas pu compléter cette première publication par d'autres mesures, du fait de certaines obligations familiales. Ce n'est que partie remise, je l'espère.

Je remercie Monsieur Florent Flosse d'avoir eu la gentillesse de mettre à ma disposition gracieusement son logiciel REDUC. Il est d'un grand secours, indispensable à mon avis.

Je remercie vivement Monsieur André Amossé de m'avoir fourni les outils Excel nécessaires à l'accomplissement de ces calculs. Sans lui, je n'aurais probablement pas rédigé ce premier article. Je le remercie pour sa patience et sa réactivité.

L'Observatoire de l'Université de Lille vit une belle aventure avec l'Association Jonckheere, baptisée du nom d'un non moins célèbre observateur des étoiles doubles de la région lilloise. Je lui souhaite une longue et heureuse vie.

## Références

- [1] Logiciel REDUC : <http://www.astrosurf.com/hfosaf/>
- [2] Blog Astrosurf Optiques de Russie de l'auteur : <http://www.astrosurf.com/blogs/blog/9-optiques-de-russie/>
- [3] <https://wdstool.com/>
- [4] Liste des étoiles doubles étalons à télécharger ici : <https://ced.saf-astronomie.fr/> (rubrique documents/Etalons\_Gaia\_DR2\_Philippe\_LAURENT.xlsx)

Table I. Couples orbitaux

Index WDS	Nom	MgP/MgS	Epoque J	Epoque B	$\theta^\circ$	$\sigma \theta$	$\rho''$	$\sigma \rho$	Mtd	Grade	Orbite	$O-C^\circ$	$O-C''$	$O-Cx''$	$O-Cy''$	Notes
11182+3132	STF1523 AB	4,33/4,80	2025,340	2025,342	135,39	0,29	2,69	0,03	AB250/500	1	Izm2019	0,071	0,072	0,072	0,000	3 étoiles étalons/ moyenne et écart type de 3 mesures
18055+0230	STF2272 AB	4,22/6,17	2025,444	2025,446	117,35	0,10	6,77	0,01	AB250/500	1	Izm2019	0,143	0,037	0,037	0,000	5 étoiles étalons par la suite/ moyenne et écart type de 3 mesures
16289+1825	STF2052 AB	7,69/7,91	2025,444	2025,446	116,33	0,12	2,53	0,00	AB250/500	2	Izm2019	-0,166	-0,040	-0,040	0,000	
17053+5428	STF2130 AB	5,66/5,69	2025,444	2025,446	353,25	0,08	2,66	0,00	AB250/500	3	Izm2019	-0,071	0,015	0,015	0,000	
16133+1332	STF2021 AB	7,43/7,48	2025,444	2025,446	359,29	0,15	4,05	0,00	AB250/500	4	Izm2019	-0,112	0,015	0,015	0,000	
16147+3352	STF2032 AB	5,62/6,49	2025,444	2025,446	239,78	0,05	7,37	0,00	AB250/500	4	Izm2019	-0,165	0,011	0,011	-0,002	
17146+1423	STF2140 AB	3,48/5,40	2025,444	2025,446	101,87	0,12	4,81	0,01	AB250/500	4	Baz1978	-0,253	0,172	0,167	-0,043	Couple à surveiller chaque année
18455+0530	STF2375 AB	6,34/6,73	2025,444	2025,446	120,59	0,26	2,58	0,01	AB250/500	4	Tok2020k	-0,235	-0,033	-0,032	0,008	
15264+4400	STT 296 AB	7,83/9,09	2025,444	2025,446	271,87	0,19	2,09	0,03	AB125/500	4	Pko2018b	0,022	-0,100	-0,100	-0,002	
17403+6341	STF2218	7,08/8,37	2025,472	2025,473	303,99	0,40	1,37	0,03	AB125/500	4	Izm2019	-0,654	0,013	0,013	0,000	
18443+3940	STF2382 AB	5,15/6,10	2025,472	2025,473	342,45	0,34	2,12	0,02	AB250/500	4	Nov2006e	0,064	0,000	0,000	0,000	Orbite Nov2006e plus conforme que Doc2020e : A confirmer chaque année
18443+3940	STF2382 AB	5,15/6,10	2025,472	2025,473	342,45	0,34	2,12	0,02	AB250/500	4	Doc2020e	0,291	0,073	0,073	0,000	Orbite Doc2020e moins conforme que Nov2006e : A confirmer chaque année
18443+3940	STF2383 CD	5,27/5,38	2025,472	2025,473	72,13	0,09	2,40	0,01	AB250/500	4	Doc2020e	0,022	-0,017	-0,017	0,000	
19121+4951	STF2486 AB	6,54/6,67	2025,472	2025,473	202,37	0,09	7,01	0,00	AB250/500	4	Izm2019	-0,396	0,007	0,000	0,000	
19482+7016	STF2603	4,01/6,87	2025,472	2025,473	20,35	0,24	3,17	0,03	AB250/500	5	Izm2019	-2,044	-0,045	0,021	0,040	

Table II. Couples mesurés

Index WDS	Nom	MgP/MgS	Epoque J	Epoque B	$\theta^\circ$	$\sigma \theta$	$\rho''$	$\sigma \rho$	Mtd
16332+3054	STF2061	7,92/10,44	2025,472	2025,473	28,32	0,12	2,16	0,02	AB125/500
16458+3538	STF2101 AB	7,51/9,39	2025,472	2025,473	45,93	0,08	4,04	0,00	AB250/500
19523+1021	STF2590 AB	6,50/10,31	2025,472	2025,473	309,55	0,17	14,02	0,05	AB250/500
19523+1021	GMC 1 AE	6,50/13,50	2025,472	2025,473	342,98	0,08	15,57	0,04	AB250/500

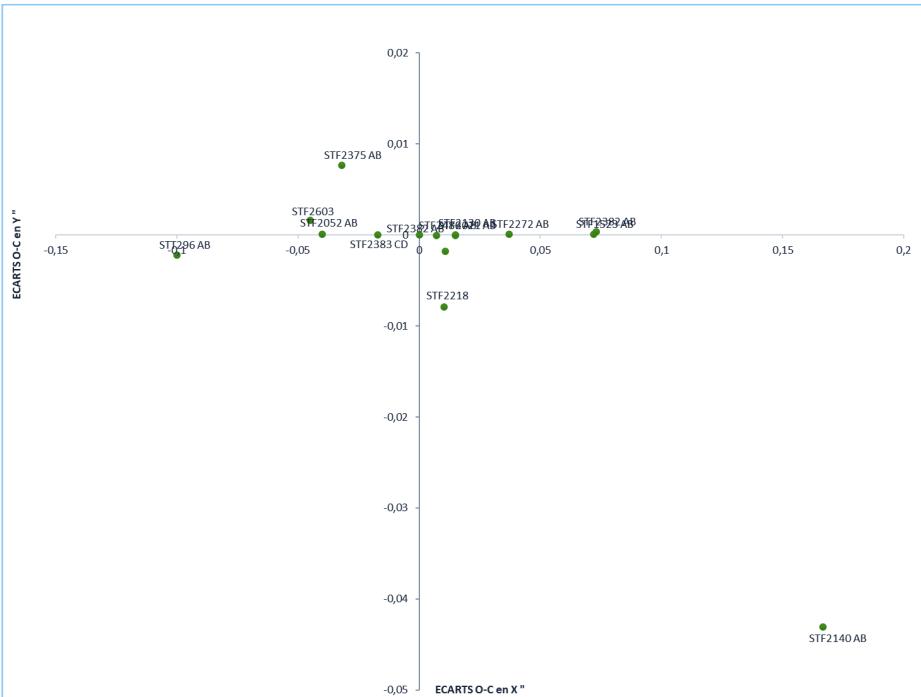


Figure 2 : Présentation des O-C en coordonnées rectangulaires des 11 mesures de couples orbitaux



Photo 1



Photo 2

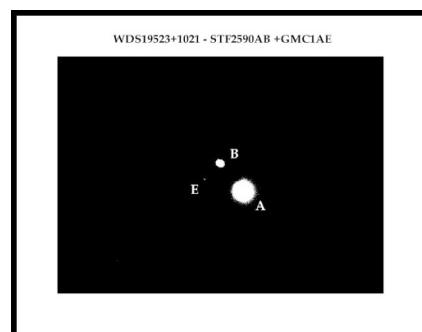


Photo 3



**Claude Schuhmacher**

Formation d'ingénieur chimiste. Ancien salarié des groupes chimiques British Petroleum et BASF. Retraité. Astronome amateur depuis l'adolescence. Membre de l'Astro Club Challandais (85)

# LDS 169 UN SYSTÈME QUADRUPLE ?

LDS 169 a quadruple system?

André Debackère

[dbrstars@gmail.com](mailto: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

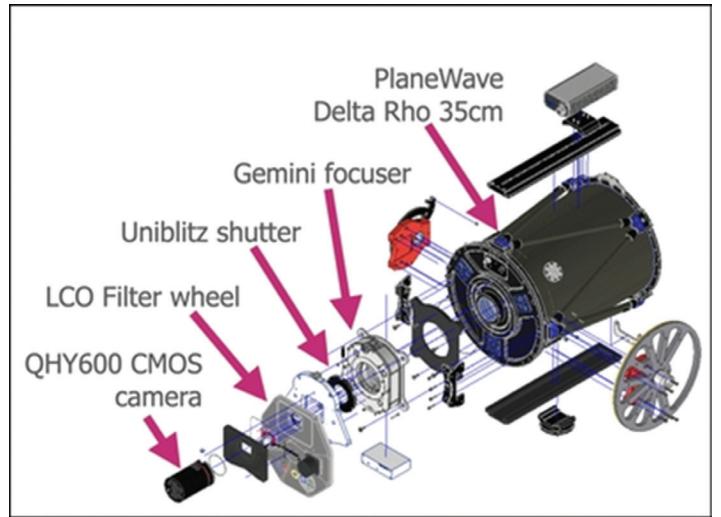


Fig.2- Vue éclatée du système imageur

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 <sub>ima</sub>	t <sub>(s)</sub>										
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

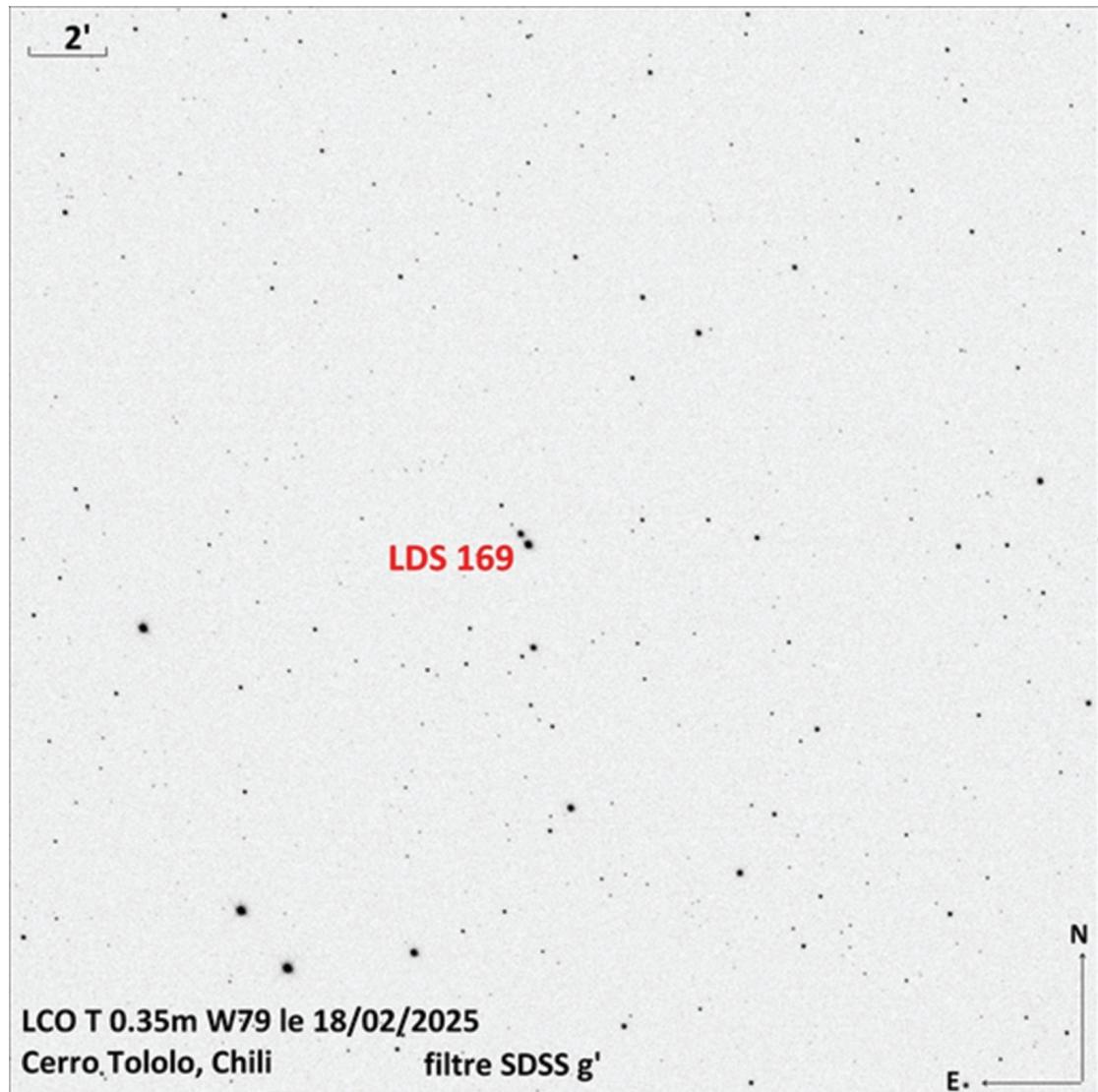


Fig.3- Image fournie par le télescope LCO de Cerro Tololo en bande SDSS g'; le champ est d'environ 30'x30'

### 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	-

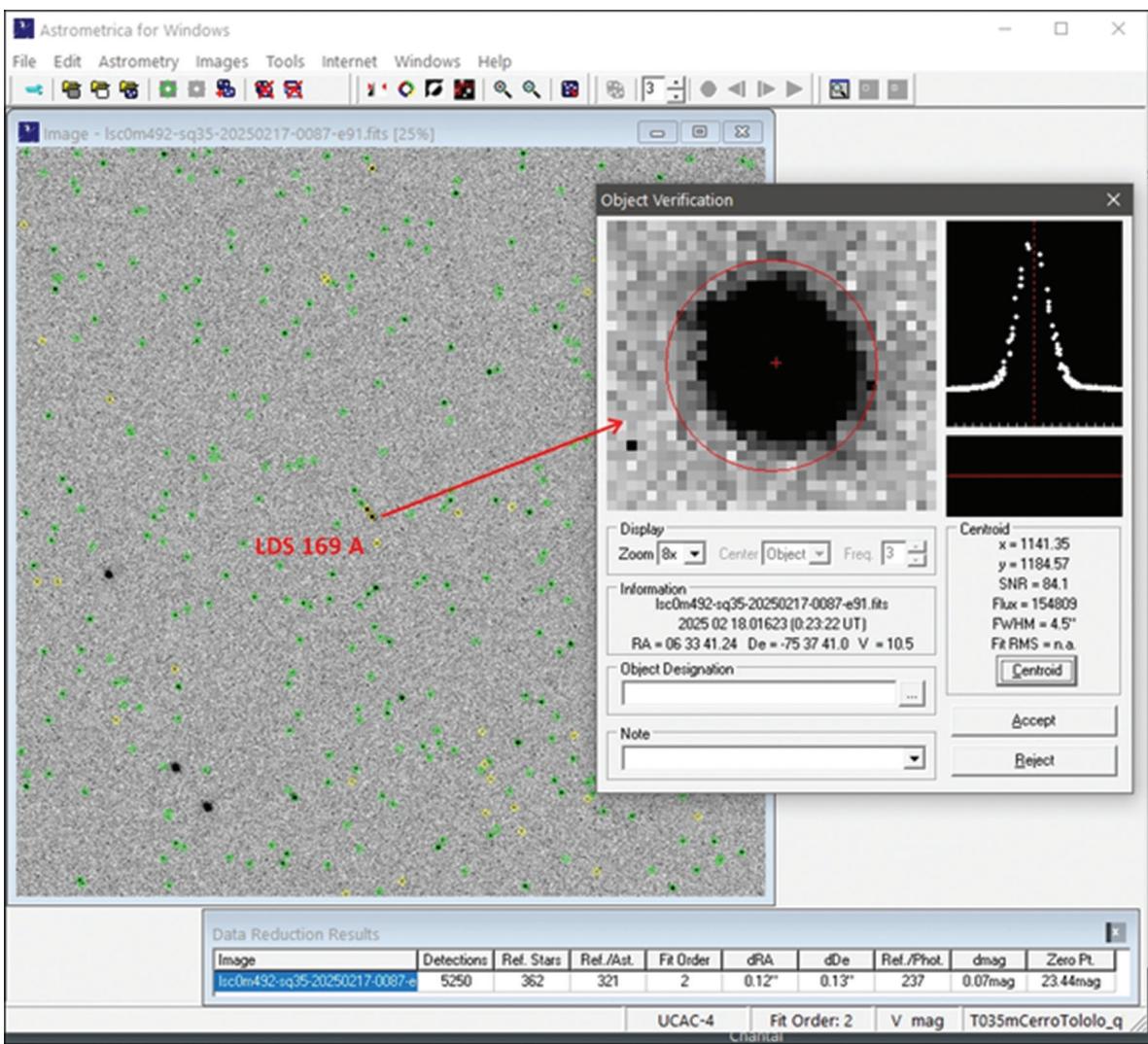


Fig.4- Analyse par Astrometrica de l'image en bande V du 18 février 2025

## 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  $k'_{\lambda}$  coefficient d'extinction du premier ordre et  $\Delta X$  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  $k''_{\lambda} \cdot X_{\text{moyen}} \cdot \Delta(B-V)$  avec  $k''_{\lambda}$  coefficient d'extinction de second ordre et  $X_{\text{moyen}}$  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  $X_{\text{moyen}}$  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  $\alpha$  et  $\delta$  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  $\theta$  et  $\rho$  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  $\alpha$  et  $\delta$  (Figure 3) et les erreurs en  $\alpha$  et en  $\delta$  en seconde de degré, l'erreur en  $\alpha$  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  $\theta$  et de la séparation  $\rho$  a été réalisée en suivant la procédure de mesure dans REDUC [17]. Les valeurs de  $\theta$  et  $\rho$  sont obtenues en faisant la moyenne des mesures. Les erreurs en  $\theta$  et  $\rho$  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 ( $\Delta$  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	$\Delta B$	$\Delta V$	B	V	$\Delta B$	$\Delta V$
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

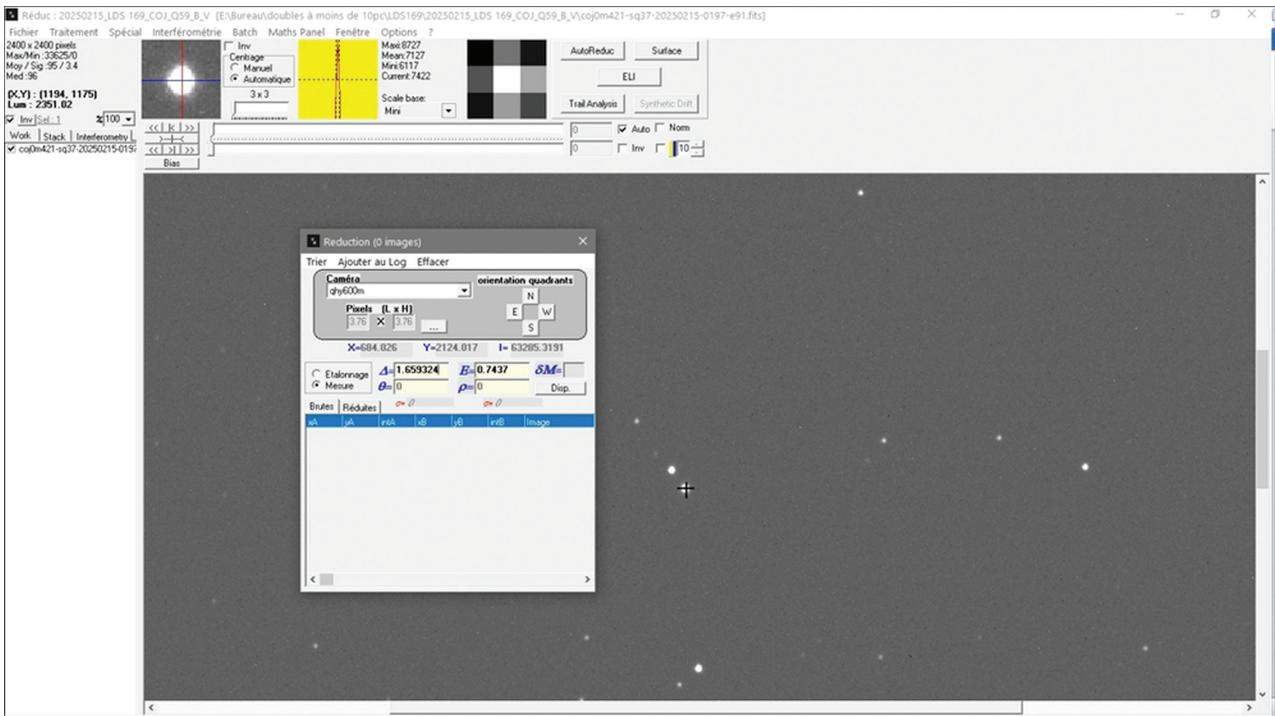


Fig 5.- Paramétrage de REDUC pour l'analyse de l'image en bande V du 18 février 2025

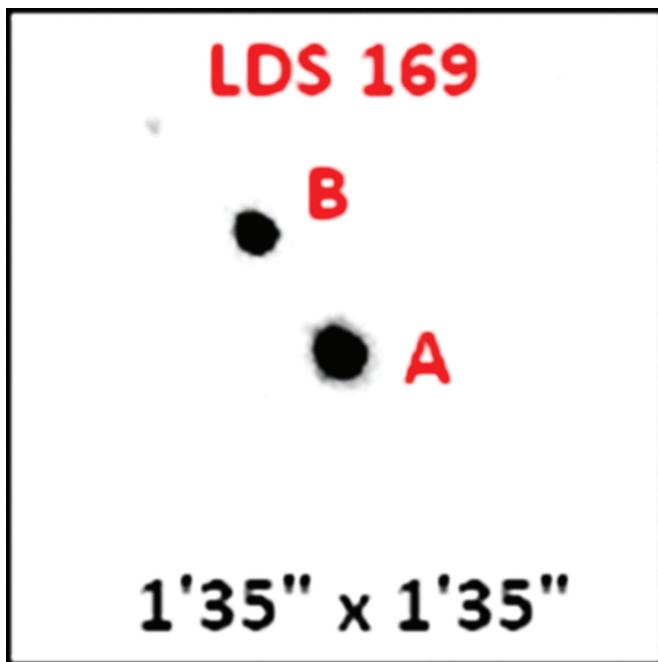


Fig.6- Extrait dans REDUC (Nord en haut Est à gauche) du couple LDS 169 dans l'image en bande V du 18 février 2025

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.	$\alpha$ (h:m:s) $e_{\alpha}$ (s)	$\delta$ ( $\pm$ d:m:s) $e_{\delta}$ (s)	$\theta$ ( $^{\circ}$ ) $e_{\theta}$ ( $^{\circ}$ )	$\rho$ (") $e_{\rho}$ (")
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.	$\alpha$ (h:m:s) $e_{\alpha}$ (s)	$\delta$ ( $\pm$ d:m:s) $e_{\delta}$ (s)	$\theta$ ( $^{\circ}$ ) $e_{\theta}$ ( $^{\circ}$ )	$\rho$ (") $e_{\rho}$ (")
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  $T_{\text{eff}} = 3300$  K) pour la primaire et de type spectral M3V ( $M = 0.32 M_{\odot}$  et  $T_{\text{eff}} = 3100$  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  $\alpha$  J2000.0 dans Gaia-DR3

Col.5, Déclinaison  $\delta$  J2000.0 dans Gaia-DR3

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

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

Col.8, Mouvement propre en ascension droite  $\mu\delta$  (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.

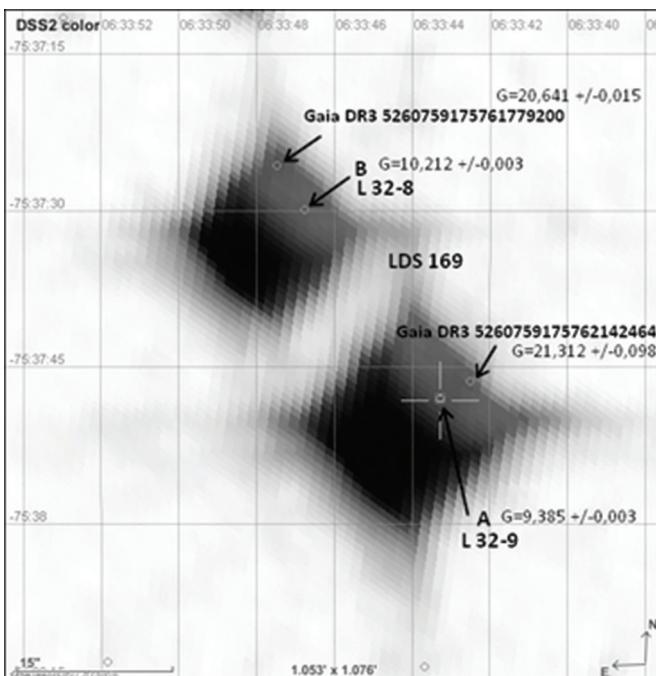


Fig 7.- Le système LDS 169 : positions des étoiles du catalogue Gaia-DR3 superposées à l'image du DSS fournie par ALADIN

**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.	$\alpha$ h:m:s J2000.0	$\delta$ d:m:s J2000.0	$\varpi$ e.. $\varpi$ 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  $\theta$  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

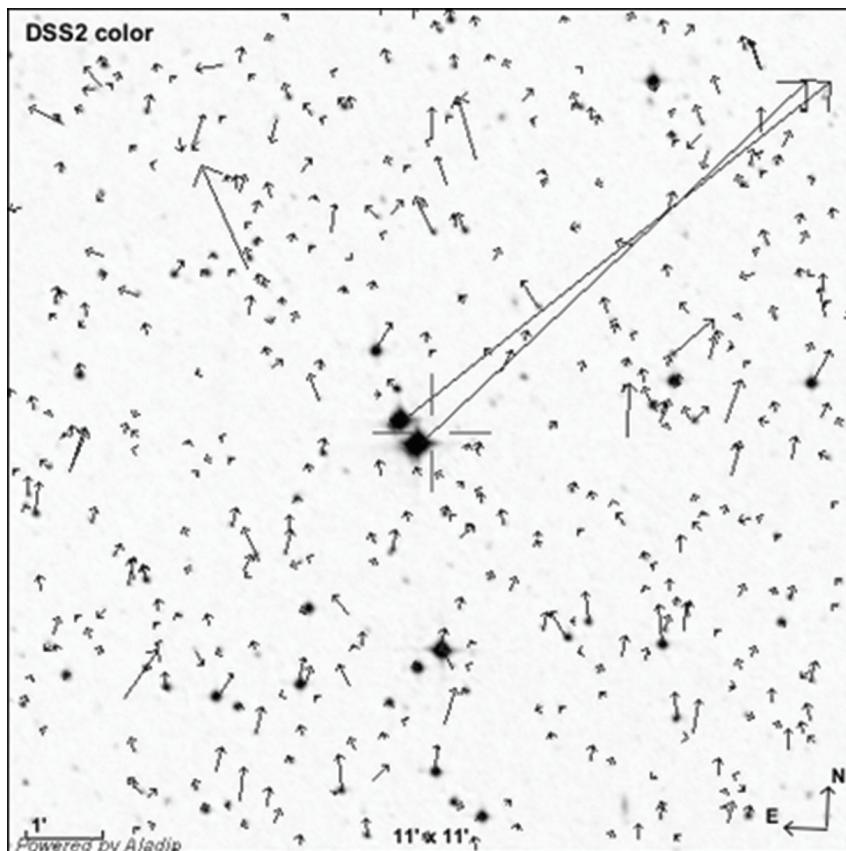


Fig. 8- Mouvements propres des composantes de LDS 169 AB

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('')
LDS 169	5	Kpp2020f	35,7	21,237	35,7	21,189	35,7	21,140	35,7	21,091

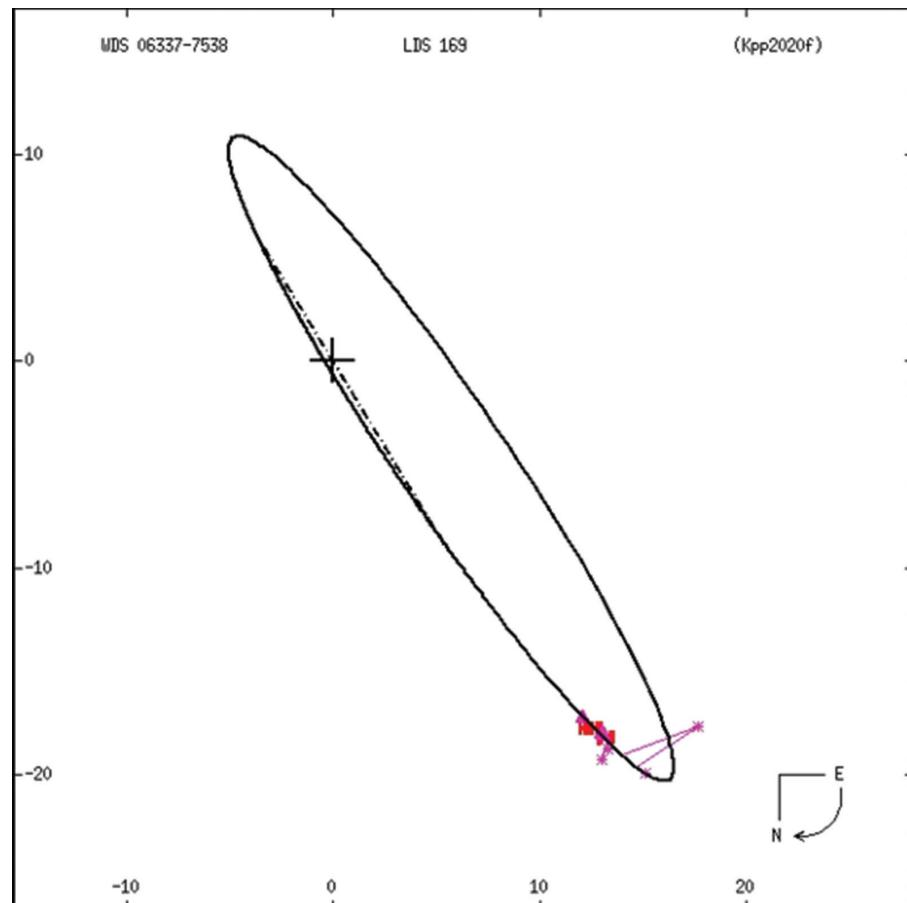


Fig.9- Tracé de l'orbite et mesures du couple LDS 169 dans le 6ème catalogue d'orbites (WDS-ORB6)

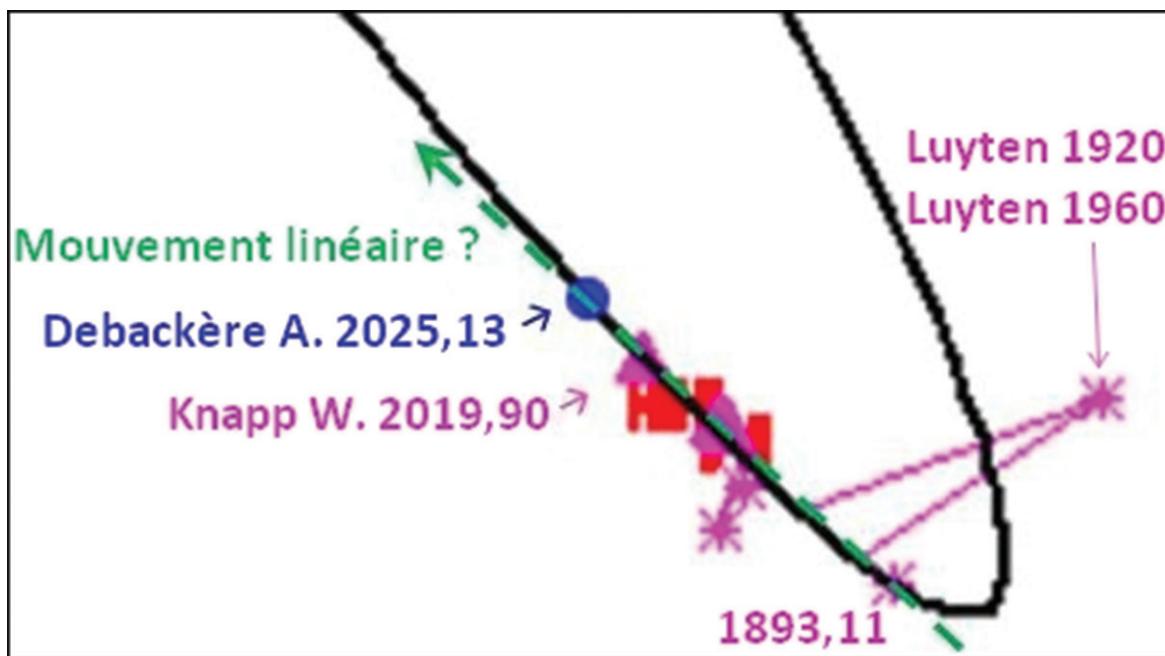


Fig.10- Extrait de l'orbite de LDS 169 et dernières mesures de Knapp et Debackère

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  $\rho$  séparation angulaire en seconde d'arc, et  $\sigma$  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- $T_{\text{eff}}$  (Figure 11) pour les étoiles à faible masse et les objets substellaires établie dans cet article permet d'avoir pour  $T_{\text{eff}} \sim 1900$  K une estimation de la masse  $M/M_{\odot} 0,076$ . L'utilisation du diagramme H-R théorique du même article donne une estimation de masse  $M/M_{\odot} 0,075$  avec  $T_{\text{eff}} \sim 1900$  K et  $\log L/L_{\odot} \sim -4,0$  (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  $\varpi$  (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

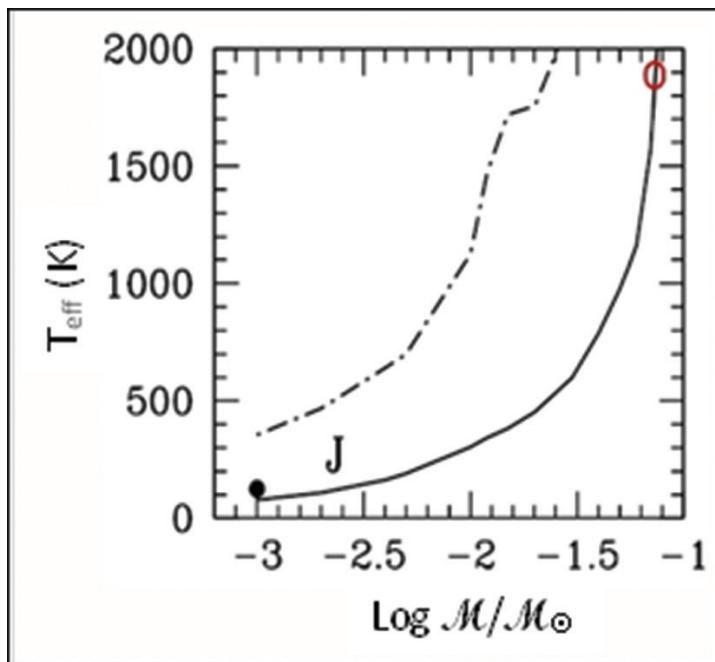


Fig. 11- Position d'un objet pour  $M/M_{\odot} \sim 0,075$  et  $T_{\text{eff}} \sim 1900$  K (cercle rouge) sur la Relation Masse -  $T_{\text{eff}}$  des objets LMS et SSO (encart fig. 4, Chabrier & Baraffe, 2000)

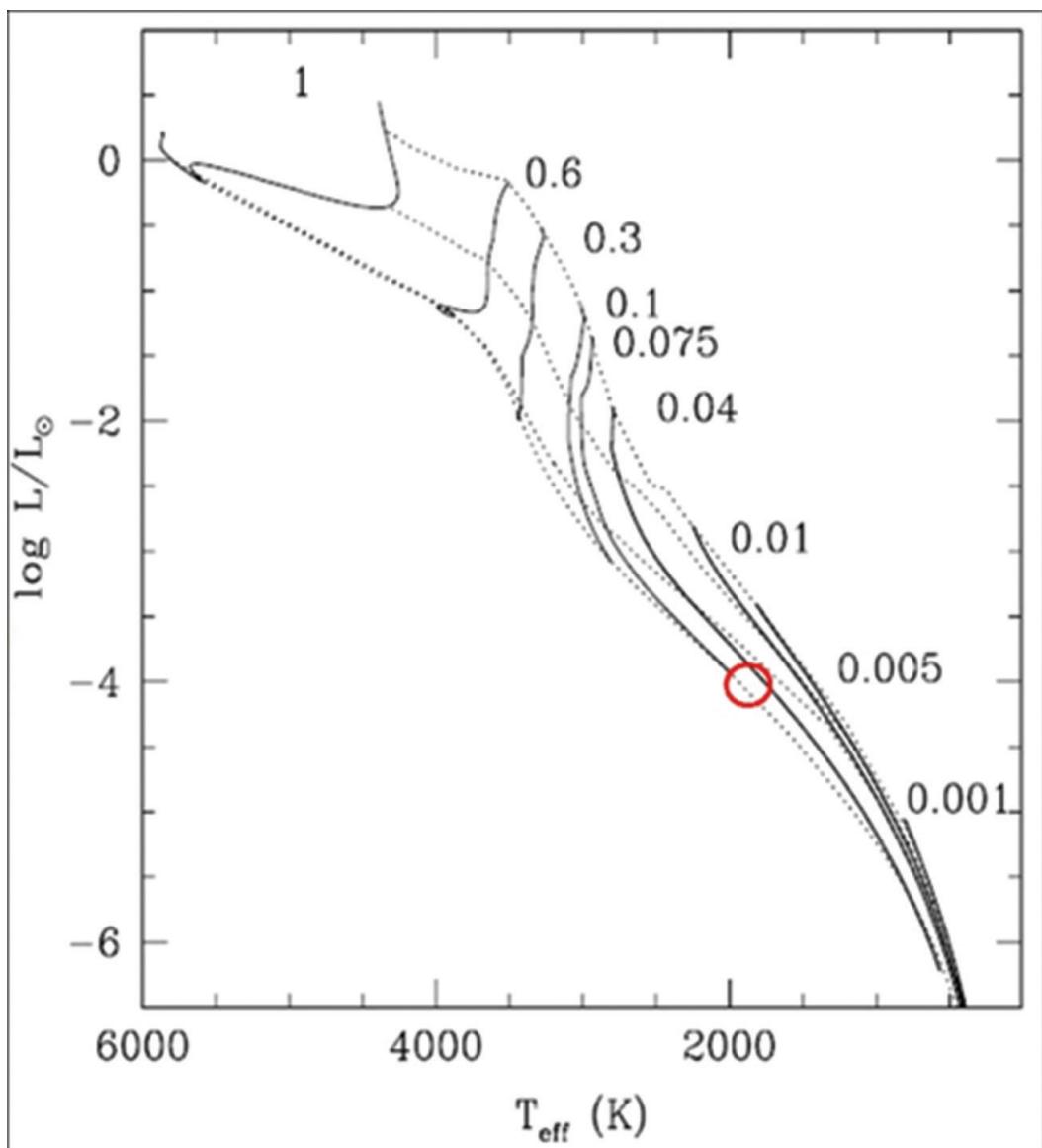


Fig. 12- Position d'un objet pour  $M/M_{\odot} \sim 0,075$  et  $T_{\text{eff}} \sim 1900$  K (cercle rouge) sur le diagramme H-R théorique des objets LMS et SSO de différentes masses  $M/M_{\odot}$  (fig. 7, Chabrier & Baraffe, 2000)

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

Comp.	Gaia_DR3 Id.	$\varpi$ e. $\varpi$ mas	G e. G mag	V e. V mag	MV	Sp.	T <sub>eff</sub> K	Log L/L <sub>o</sub>	R e. R R <sub>o</sub>	M e. M M <sub>o</sub>	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  $\mu$  (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 ( $\mu$ 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 ( $\mu$ 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 :

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

Pour une étoile simple, les vecteurs  $\mu$ LT et  $\mu$ 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  $\mu$ LT et  $\mu$ 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 -  $\mu$ 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),  $\varpi$  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  $\varpi$ .

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 =  $\mu$ H/G3 -  $\mu$ HG

Avec :

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

$\mu$ HG vecteur mouvement propre à long terme ( $\mu$ LT) déterminé à partir de la différence des positions astrométriques ( $\alpha$ ,  $\delta$ ,  $\varpi$ ) 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

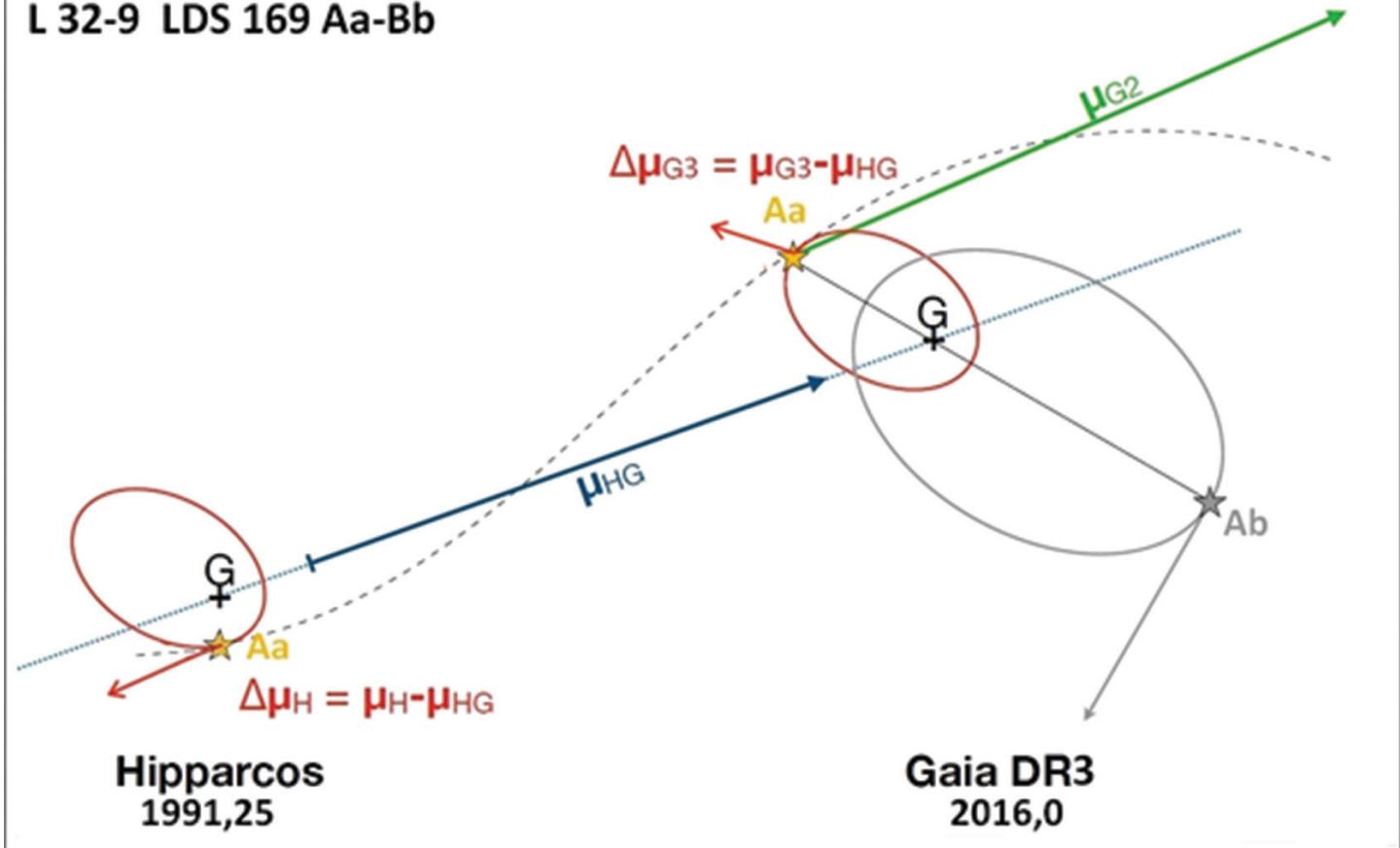


Fig.13- Principe de la détermination de l'anomalie de mouvement propre d'après Fig. 1 de Kervella et al. (2019) [26]

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  $\rho''$  :  $a'' = g \cdot \rho''$

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	$\rho$ (")	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	$M_1/M_\odot$	$M_2/M_\odot$ $M_2/M_{Jup}$	$\varpi$ 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  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $\varpi$  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  $\varpi$  (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](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](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](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](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](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](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 <sub>p</sub> - 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	$\theta$ ( $^{\circ}$ ) calcul	$\rho$ ('') calcul	$\theta$ ( $^{\circ}$ ) mesure	$\rho$ ('') mesure	$\theta$ ( $^{\circ}$ ) O-C	$\rho$ ('') O-C
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



# CAMILLE FLAMMARION : UNE CONTRIBUTION BRÈVE MAIS INNOVANTE À L'ÉTUDE DES ÉTOILES DOUBLES

Camille FLAMMARION : A BRIEF BUT ORIGINAL CONTRIBUTION TO THE STUDY OF BINARY STARS

Pierre Durand

S.A.F. Commission des étoiles doubles

[pierre.durand6@wanadoo.fr](mailto:pierre.durand6@wanadoo.fr)



## Résumé

À partir des années 1870, Camille Flammarion (1842-1925) s'intéresse aux étoiles doubles et recueille de nombreuses mesures sur plusieurs paires afin de déterminer celles qui présentent un mouvement orbital. Il mesure 160 paires en 1877 à l'aide du télescope de 38 cm de l'Observatoire de Paris et publie en 1878 le premier catalogue d'étoiles binaires. Nous expliquerons tout d'abord quelles études en astronomie des étoiles doubles ont précédé les recherches de Flammarion, puis nous présenterons ses propres observations ainsi que l'intérêt et la qualité du « Catalogue d'étoiles doubles et multiples en mouvement relatif certain ». Enfin, nous tenterons de comprendre pourquoi il a été oublié pendant si longtemps.

## Abstract

From the 1870s, Camille Flammarion (1842-1925) became interested in double stars and he collected many measurements on many pairs to determine which ones exhibited orbital motion. He measured 160 pairs in 1877 with the 38 cm telescope of Paris Observatory and he published in 1878 the first binary stars catalogue.

We will first explain which studies in double stars astronomy preceded the search for Flammarion, then his own observations and the interest and quality of the "Catalogue d'étoiles doubles et multiples en mouvement relatif certain". Finally, we will try to understand why it was forgotten for so long.

**Keywords:** Stars: binaries: visual, history of astronomy



## 1 Préambule

Un siècle après la disparition de Camille Flammarion (1842-1925), il est utile de rappeler ses recherches dans le domaine de l'étude des étoiles multiples. Les commémorations à la mémoire de ce grand homme tout au long de cette année 2025 ont montré surtout la puissance du vulgarisateur. Il fut aussi un chercheur original liant la popularisation de l'astronomie et l'approfondissement des connaissances. C'est l'objet de cet article : montrer son rôle et son implication, même brève dans une première synthèse des connaissances sur la binarité stellaire. Paul Couteau, qui a consacré sa carrière à cette branche de l'astronomie, écrit au sujet de son catalogue de 1878 : « ... ouvrage remarquable par sa présentation, le souci du détail et la somme de travail qu'il représente »[1]. Bel hommage qu'il nous convient d'analyser !

## 2 Une culture scientifique précoce

Toujours à l'affût des nouveautés et des découvertes, les travaux sur les étoiles binaires ont attiré l'attention particulière de Camille Flammarion sur ce pan tout nouveau de l'astronomie à une époque que l'on peut dater du début des années 1870. C'est l'effet d'un long chemin.

Le jeune Flammarion commence ses études secondaires à Langres en 1853, en 1856 il fréquente les cours du soir à Paris de l'Association polytechnique car il n'a pu s'inscrire dans un lycée parisien. L'éducation, alors sous le régime de la loi Falloux

de 1850, n'institue pas encore la gratuité de l'enseignement secondaire qui ne le sera qu'en 1933. Sa formation en astronomie, il va la poursuivre "sur le tas" à l'observatoire de Paris à partir de 1858 puis au Bureau des Longitudes à partir de 1862 grâce à l'astronome Charles-Eugène Delaunay (1818-1872), mais aussi en dispensant un cours d'astronomie au profit de l'Association polytechnique. Tout cela montre l'adaptation et les capacités intellectuelles du jeune homme.

Son activité de rédacteur dans différents périodiques ("Le Cosmos", "le Magasin pittoresque"), la fréquentation de la bibliothèque de l'Observatoire de Paris, du Bureau des longitudes et des membres de ces institutions lui permettent de se tenir au courant des nouvelles scientifiques. Il pratique aussi l'observation du ciel qu'il avait épisodiquement pratiquée à l'Observatoire grâce à l'achat d'une première lunette, une 108 Secrétan, en 1866. Avec cet instrument, observant un phénomène particulier sur la Lune, il commence à transmettre des notes à l'Académie des sciences qui sont publiées. Rappelons que l'impression de ces comptes-rendus vient de la décision de François Arago qui permet en 1835 de diffuser ces connaissances. Etre publié par l'Académie contribue à l'autorité scientifique du jeune astronome et l'engage dans une participation active à la recherche astronomique de manière rigoureuse.

La sinistre période 1870-71 met un coup d'arrêt provisoire à cette trajectoire ascendante. Engagé comme capitaine du génie, il est observateur et repère la position des batteries ennemis.

Heureusement, l'après-guerre va marquer un renouveau avec une installation de son domicile rue Cassini, près de l'Observatoire. Il s'équipe d'un télescope de Foucault de 20 cm d'ouverture, instrument performant pour l'époque, qu'il installe sur son balcon pour des observations stellaires. Il y observe la planète Mars mais aussi l'étoile double ξ UMa, binaire en mouvement rapide. Cette étoile découverte en 1780, présente une séparation en 1872-73 un peu en dessous de 1". La vision de ces deux diamants brillants observés dans un instrument de 20 cm, collés l'un contre l'autre, n'a pu qu'impressionner fortement Flammarion. C'est, curieusement, à partir de cette époque qu'il se met à s'intéresser particulièrement aux étoiles doubles en tant qu'objets en mouvement orbital et à amasser de la documentation.

### 3 L'observation des étoiles doubles au 19<sup>ème</sup> siècle : un nouveau domaine de l'astronomie

Après plus de vingt ans d'observations, et la découverte de près de 700 couples stellaires, l'Anglais William Herschel (1738-1822) annonce en 1803 (*Account of the Changes that have happened during the last Twenty-five Years of the relative Situation of Double Stars – Phil. Trans.*) que certains des couples qu'il a observés et catalogués présentent un mouvement orbital, en particulier les étoiles α Gem, γ Vir, ζ Her. C'était la preuve que la force de gravitation étudiée par Newton pour le système solaire s'applique aussi au monde sidéral, justifiant ainsi le terme de gravitation universelle.

Curieusement, ce sont des astronomes non officiels qui défrichent ce nouveau domaine : c'était le cas pour William Herschell. En Europe, Ercole Dembowski (1812-1881), William Dawes (1799-1868), en Amérique Sherburne Burham (1838-1921) observent les étoiles doubles en dehors des observatoires nationaux. Le seul duplique pionnier venant d'un observatoire impérial est le russe Wilhelm Struve (1793-1864) suivi par son fils Otto (1819-1905). Les découvertes d'objets nouveaux affluent, excitant des recherches nouvelles. Dans les observatoires d'état, l'intérêt n'est pas encore à l'astrophysique. Cela laisse le champ libre aux astronomes indépendants. Camille Flammarion s'inscrit dans cette lignée.

W. Struve a reçu une solide formation universitaire. Il arrive à l'observatoire de Dorpat en Estonie en 1813. Sa méthode de travail et d'observation est rigoureuse, favorisée à partir de 1824 par une lunette de 24 cm d'ouverture, instrument puissant et moderne pour l'époque, monté en équatorial, facile à pointer. Il publie en 1827 un premier catalogue (*Catalogus Novus Stellarum Duplicium Dorpatiensis*) de positions précises des couples connus mais aussi découverts par lui-même et en 1837, il le complète par le détail des observations de plus de 3100 objets. Il initie ainsi la première prospection systématique et rigoureuse des couples stellaires. Ce premier catalogue d'objets stellaires doubles, bien construit, pratique à utiliser, devient un outil de base pour les nouveaux observateurs d'étoiles doubles.

Ainsi, peu à peu, des relevés de positions du mouvement des couples découverts sont obtenus et publiés selon une méthode imaginée par W. Herschel, normalisée par Struve sur le principe des coordonnées polaires pour repérer la position du compagnon par rapport à la principale considérée comme origine. Cela permet en 1828 à l'astronome français Félix Savary (1797-1841), membre du Bureau des longitudes, de collationner les diverses observations du compagnon de l'étoile ξ UMa et de calculer la forme de l'orbite elliptique du couple, sa dimension et la période du mouvement. John Herschel (1792-1871) a continué l'œuvre de découverte de son père pour l'hémisphère sud et, de son côté, a mis au point une autre méthode de calcul

des orbites qui a peu été utilisée.

### 4 Le projet de Camille Flammarion pour les couples d'étoiles

Nous avons brossé le tableau de la situation de la recherche dans ce domaine de l'astronomie stellaire quand Flammarion commence à s'intéresser aux étoiles doubles. Au début des années 1870, il commence à rassembler des informations sur les découvertes et travaux en cours et constate une situation confuse, une dispersion des observations. En effet, les découvertes se sont poursuivies, les calculs d'orbites se sont multipliés, chacun a travaillé dans son observatoire, les listes se sont allongées mais il ne trouve aucun bilan d'ensemble.

Son épouse, Sylvie Petiaux (1836-1919) résume bien l'état de la recherche dans ce domaine. « Jusqu'en 1873, les observations faites sur ces lointains systèmes stellaires étaient en nombre considérables mais non classées. On ne savait point quelles étaient les étoiles doubles véritables, c'est-à-dire les systèmes physiques et quelles étaient les apparentes, c'est-à-dire les groupes optiques dus seulement à la perspective... Les immenses travaux de William Herschel, de William Struve, de Dawes, de Dembowski, et des autres observateurs d'étoiles doubles, représentaient autant de mines très riches, très variées, très étendues, où des pépites d'or et d'argent étaient accumulées. Mais il fallait qu'un ingénieur vint examiner ces richesses, les analyser et les classer. » (in Camille Flammarion, sa vie, son œuvre : à propos des fêtes de Montigny le Roi, Sylvie Hugo 1891). Ainsi, le jeune astronome élabora son projet qu'il décrit dans l'avertissement de son « Catalogue des étoiles doubles et multiples ».

Ce projet a progressivement muri depuis ses premiers intérêts pour les étoiles doubles, probablement depuis l'observation de ξ UMa au télescope de 20 cm puisqu'il prépare une note. Il commence alors à rassembler les mesures de ce couple et établit une nouvelle orbite apparente qu'il publie en novembre dans les communications à l'Académie des sciences (24 novembre 1873) par l'entremise de l'astronome Hervé Faye (1814-1902). Concernant les étoiles doubles, c'est la première publication d'une longue série (figure 1).

Dès lors, en cinq années, il va murir son projet, rassembler les données nécessaires, observer les couples qui demandent vérification, calculer des orbites, synthétiser ces données ; bref se livrer à une œuvre astronomique complète à laquelle beaucoup d'astronomes aspireraient. Cela tombe bien car l'aventure de l'étude des étoiles doubles a commencé il y a tout juste un siècle : c'est la bonne période pour faire un bilan d'étape !

Les questions qu'il se pose sont celles d'une démarche moderne : « Combien connaît-on d'étoiles doubles ou multiples ? Quelle est leur proportion relativement aux étoiles simples ? Dans le nombre total des groupes découverts, lesquels sont simplement optiques, dus au hasard de la perspective, et lesquels sont réels, formés par plusieurs étoiles associées ensemble ? Parmi les groupes réels ou physiques, combien en sont-ils qui manifestent, par le déplacement relatif des astres qui les composent, le témoignage de l'action de la gravitation dans ces lointains systèmes ? Quels sont les couples en mouvement orbital certain ? Quels sont ceux en mouvement orbital probable ? En est-il aussi dont le mouvement ne soit pas orbital ? Par quel mouvement propre ces systèmes sont-ils emportés dans l'espace ? Découvre-t-on quelque loi dans leur distribution comme dans leurs marches, ainsi que dans l'éclat relatif des composantes et dans leur brillante association de couleurs ? (in Avertissement, Catalogue des Etoiles Doubles et Multiples [2] ). Il détaille ensuite sa démarche : analyser les nombreuses observations existantes, établir des listes selon leur

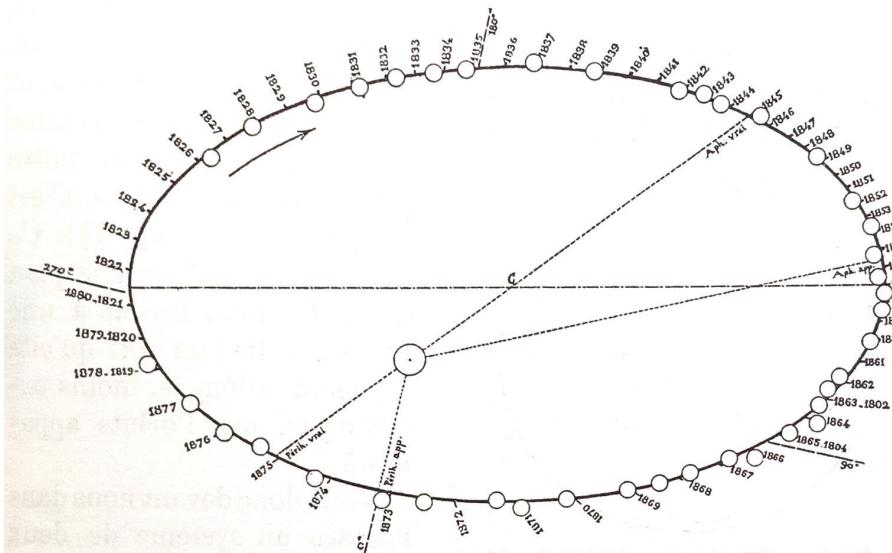


Figure 1 : Orbite apparente de l'étoile double  $\xi$  UMa calculée par Camille Flammarion (Note à l'Académie des sciences du 24 novembre 1873).

— Orbite apparente de l'étoile double ξ Grande Our certitude de mouvement, leur évidence de mouvement propre commun, mesurer les couples négligés et surtout, trouver quels sont les systèmes en mouvement orbital. C'est ce qui donnera le titre du catalogue qui paraîtra à la fin de 1878 (figure 2).

Suède, Engelmann en Allemagne, entre autres.

Il tente aussi des mesures avec son télescope de 20 cm, au printemps 1876, mais il ne dispose pas de monture équatoriale ni de micromètre adapté. Sa ressource serait-elle l'observatoire de Paris ? Urbain Le Verrier (1811-1877), ancien directeur démis de ses fonctions est revenu aux affaires suite au décès accidentel de Charles Delaunay (1816-1872). Finalement, apprenant que son ancien élève recherche des observations de couples stellaires, Le Verrier lui propose d'utiliser la grande lunette de l'Observatoire pour réaliser les mesures nécessaires. Jamais ce type de mesures n'a été fait sur cet instrument. C'est donc une première. Ce genre de lunette s'apparente au 38 cm de Pulkovo qu'utilisait Otto Struve en 1843 ; il est bien adapté à la mesure des étoiles doubles : ouverture suffisante et distance focale importante pour obtenir une bonne définition des images, monture équatoriale permettant de conserver l'orientation du champ et assurer automatiquement le suivi de l'astre, micromètre à l'oculaire pour effectuer les mesures (figure 3).

## La méthode de travail pour les mesures, pratiquée par Camille

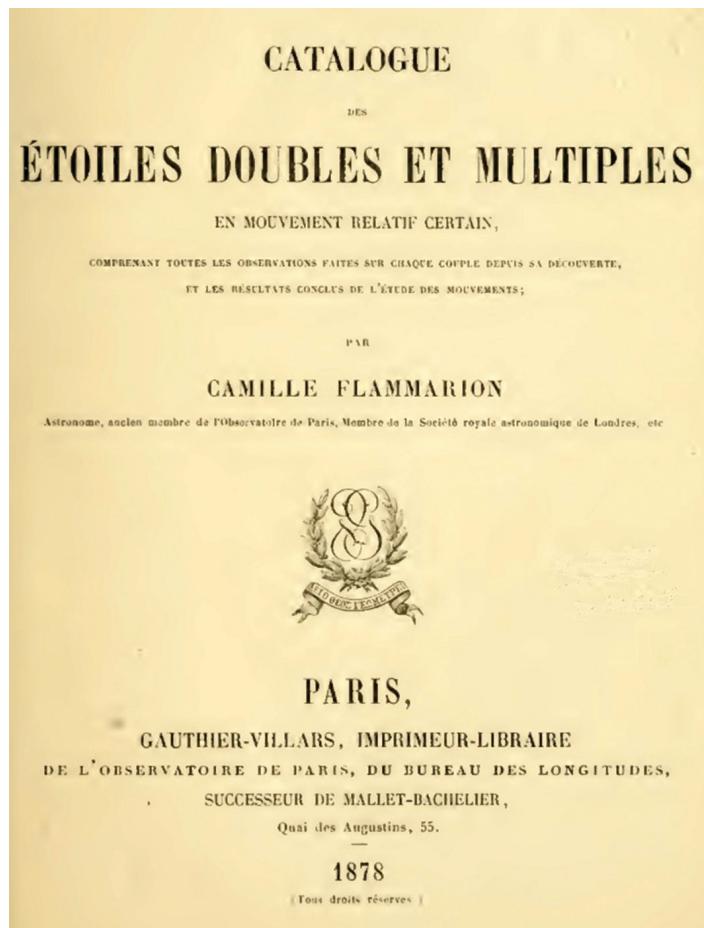


Figure 2 : Couverture du catalogue

## 5 Un long recueil de données

Camille Flammarion commence par utiliser les publications existantes. C'est le cas des catalogues de William Herschel et de Wilhelm Struve. Il doit entrer en contact avec les observateurs reconnus comme Ercole Dembowski, déjà cité, Giovanni Schiaparelli (1835-1910), Angelo Secchi (1818-1878), Nobile en Italie ; Gledhill (1837-1906), G.M. Wilson et Seabroke, Knott, Lindsay, Barclay en Angleterre ; S. Burnham, Hall, Holden aux USA, William Doberck (1852-1941) en Irlande ; N. Dunér en

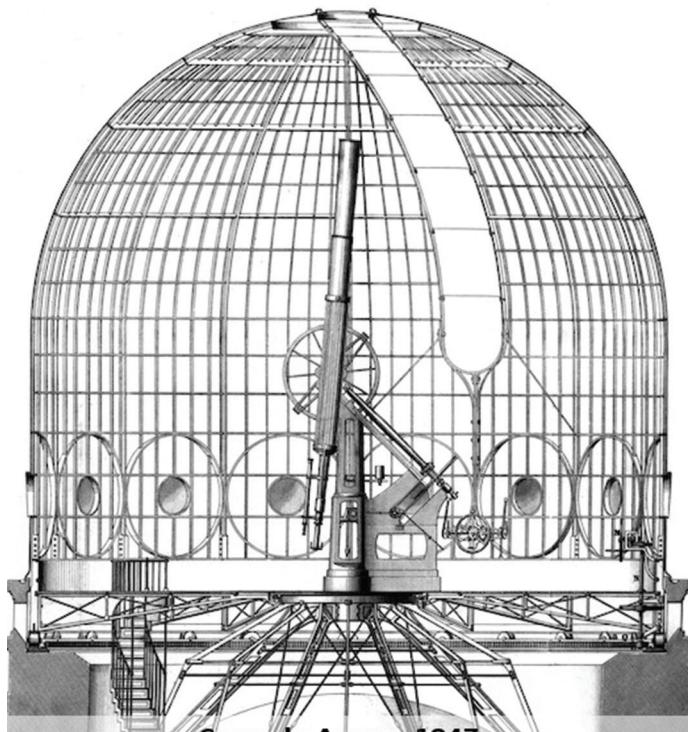


Figure 3 : La coupole et la lunette de 38 cm de l'Observatoire de Paris. Projet de François Arago (gravure issue de l'Astronomie populaire de 1858).

Flammarion, telle qu'on la lit dans le préambule du catalogue est classique : détermination du "tour de vis" (étalonnage : ici 12,17" par mm, donnant une longueur focale de 8,477 m), détermination de la direction du nord, bisection en gardant les yeux parallèles à la ligne des étoiles, réalisation de quatre doubles mesures au minimum pour la séparation. Lorsque l'on étudie la date des mesures et le choix des cibles, on constate que notre observateur réalise ses mesures plutôt en début de nuit, de 2 à 7 couples par soirée, sur une bonne cinquantaine de nuits. C'est une belle assiduité pour un instrument peu aisés d'utilisation eu égard aux conditions météorologiques parisiennes (figure 4).

Du fait de la piètre qualité de l'objectif de la lunette, il n'y a pas de mesures proches du pouvoir séparateur théorique (0,31")

## MESURES MICROMÉTRIQUES D'ÉTOILES DOUBLES

Etoiles.	N° S.	R. 1880.	D. P. 1880.	Grandeurs.	Angle.	Distance.	Date.
$\alpha$ Andromède.	[797]	0. 2. 11. 24	61.24	2,3—11	271,0	71,10	1877,08
Céphée 316...	2	0. 2. 42	11. 0	6,3—6,5	all.	m. i.	6,85
Andromède...	[6]	0.13. 7	52.32	7,4—9,5	15,1	62,50	7,13
$\alpha$ Poissons...	27	0.16. 12	77.11	6,8—11	337,9	28,5	7,08
P. o. 251....	80	0.53. 14	89.52	7—8	313,3	20,9	7,06
$\alpha$ Petite Ourse.	93	1.13.45	1.20	2,5—9,5	213,3	18,62	7,31
$\psi$ Cassiopée...	117	1.17.27	22.39	AB 4,7—9,5	105,7	28,95	7,34
Poissons.....	125	1.20.50	90.46	BC 9,5—10	256,1	2,96	7,34
Poissons.....	132	1.25.35	73.40	7,9—10	353,3	28,82	7,08
Poissons.....	142	1.33.28	75.22	7—10	353,6	33,88	7,08
$\chi^1$ Baleine....	147	1.35.49	101.55	8,2—8,5	326,8	18,51	7,08
$\gamma$ Bélier.....	180	1.46.56	71.38	5,5—7	89,7	3,50	7,70
$\gamma$ Andromède.	205	1.56.32	48.15	4,2—4,5	359,1	9,0	7,75
66 Baleine....	231	2. 6.39	92.57	AB 2,5—5,5	62,9	10,08	7,75
$\alpha$ Baleine....	—	2.13.17	93.31	6,5—7,8	231,0	15,55	7,80
0 Persée.....	296	2.35.99	41.17	var—9,5	82,2	118,2	7,12
Persée.....	328	2.49.48	45.58	AB 4,0—10	298,0	15,3	7,63
Eridan.....	436	3.35.11	103. 0	AC 4,0—10	218,5	68,0	7,63
Persée.....	434	3.36. 6	52. 0	8,5—9	300,0	23,70	7,65
40 0° Eridan..	518	4. 9.49	97.49	7,2—8,5	234,3	34,15	7,08
Aldebaran ...	11,2	4.29. 2	73.41	BC 9,5—10,5	130,0	4 ±	7,12
				AD 4,5—12	148,0	37,2	7,12
				AE 4,5—11,4	339,2	109,9	7,12
				1,6—11	35,5	114,5	7,06
				35,0	114,9	7,99	

Figure 4 : Première page du catalogue des mesures (in Catalogue des étoiles doubles et multiples en mouvement relatif certain.).

pour un instrument de 38 cm d'ouverture. D'ailleurs Flammarion signale avoir diaphragmé l'ouverture à 20 ou 25 cm pour garder de bonnes images, donc quasiment de moitié. La plus petite séparation mesurée est  $\psi$  Cas BC à 2,96". On présume les mêmes limitations en magnitude. Néanmoins, les étoiles les plus faibles observées sont autour de la magnitude 10 (STF 1161), car il faut prendre en compte l'éclairage du champ pour réaliser les pointés en manœuvrant les fils du micromètre, ce qui limite la vision des étoiles faibles.

On peut évaluer la qualité des observations effectuées en s'intéressant aux couples mesurés pour lesquels nous disposons aujourd'hui d'éléments orbitaux fiables. Un calcul des O-C évaluant les écarts des mesures observées par rapport à l'orbite calculée pour cette époque montre globalement une bonne qualité des observations (Voir la table I). Pour les mesures d'angle, l'incertitude des pointés est de l'ordre du degré avec une moyenne de 0,26° sur les 14 couples mesurés, ce qui est honorable. Concernant les mesures de séparation, la plupart des écarts sont insignifiants, la moyenne est de 0,04", ce qui est encore honorable. Camille Flammarion s'est donc montré ici comme un observateur rigoureux et fiable dans cet exercice absorbant et exigeant, demandant beaucoup de patience.

### 6 Un catalogue bien construit

Il faut imaginer la somme de travail pour rassembler les données de 819 couples regroupant environ 14 000 mesures, concevoir la forme du document, rédiger la synthèse pour chaque entrée et de plus, tenter par divers tableaux figurant dans la dernière partie du catalogue, d'établir des lois "naturelles" qui ressortent des données. Concernant les étoiles doubles, nous pouvons estimer que cet ouvrage est un travail original de synthèse qui n'avait pas encore été réalisé avant lui mais dont la structure sera reprise en 1906 par Thomas Lewis (1858-1927) pour le répertoire des observations des couples catalogués par FGW. Struve, puis pour les catalogues généraux de Sherburne Burnham en 1902 et enfin de William Aitken (1864-1951) en 1932. C'est aussi le premier catalogue d'orbites pour les binaires et de trajectoires rectilignes pour des couples optiques (figure 5).

Table I : Calcul des O-C pour 14 couple orbitaux du programme de Camille Flammarion.

Couple	Magnitude	Mes. $\Theta^{\circ}$	Mes. $p''$	O-C : $\Theta$	O-C : $p$	Note
$\theta$ Per	4,2 - 10	298,0	15,3	-0,2	+1,4	
12 Lyn AC	5,4 - 7,0	304,4	8,5	-0,5	-0,1	
Castor	1,9 - 3,0	235,1	5,52	+0,5	-0,15	
$\gamma$ Leo	2,4 - 3,6	112,1	3,32	-0,2	0	
$\gamma$ Vir	3,5 - 3,5	318,4	4,96	+0,9	-0,04	
$\zeta$ Uma	2,2 - 3,9	148,7	14,55	0	0	non orbitale.
$\xi$ Boo	4,7 - 6,9	282,7	4,28	+1,1	-0,12	
$\iota$ Boo	4,4 - 6,6	241,8	4,71	+1,9	-0,27	
$\gamma$ CrB	4,0 - 5,6	Simple				0,09"
$\alpha$ Her	3,5 - 5,4	115,3	4,67	-0,4	-0,01	
70 Oph	4,2 - 6,2	78,1	3,22	+1,9	-0,04	la plus serrée
$\beta$ Cyg	3,2 - 4,7	55,8	34,3	+1,4	0	non orbitale.
$\gamma$ Del	4,4 - 5,0	270,8	11,25	-1,0	0	non orbitale.
61 Cyg	5,2 - 6,0	116,2	19,76	-1,1	-0,07	
$\mu$ Cyg	4,7 - 6,2	118,4	3,76	+0,5	+0,03	
$\Sigma$ 1161	10,1 - 10,2		22,4			

# CATALOGUE

des

## ÉTOILES DOUBLES ET MULTIPLES

EN MOUVEMENT RELATIF CERTAIN.

OBSERVATIONS ET RÉSULTATS CONCLUS.

Baleine. 3063.

$\alpha = 0^{\text{h}}1^{\text{m}}27^{\text{s}}$ . D.P. =  $95^{\circ}12'$ .

Gr. =  $8^{\circ}8 - 10^{\circ}$  : blanches.

Date. Angle. Distance. Obs.

1831,50 232,9 1,78  $\Sigma$ .  
64,84 223,7 1,85  $\Sigma$ .  
65,55 224,4 1,84  $\Sigma$ .  
77... ....

Mouvement rétrograde très-lent. Probablement orbital : faible distance angulaire des composantes. Il est singulier que cette étoile n'ait été observée ni par Md, ni par Da, ni par Sc, ni par Du, ni par  $\Sigma$ , qui ont retrouvé presque toutes les autres du même ordre.

α Andromède. H. v. 32 [797].

$0^{\text{h}}2^{\text{m}}11^{\text{s}}$ .  $61^{\circ}24'$ .

$2^{\text{s}},3 - 11^{\circ}$  : blanches.

1781,56 259,4 59,50 H.  
1830,68 264,2 66,57  $\Sigma$ .  
34,64 267,1 65,9  $\Sigma$ .  
36,38 266,8 64,94  $\Sigma$ .  
37,74 266,9 64,8 Sc.  
51,93 269,4 66,92  $\Sigma$ .  
66,68 270,7 69,20  $\Sigma$ .  
76,07 269,8 n. m. G.  
77,08 271,0 71,10 Fl.

Mouvement rectiligne, dirigé

vers  $321^{\circ}$ . Sa valeur annuelle

=  $0''188$  et se décompose ainsi :

$\Delta = 0''124$ ; D.P. =  $0''151$ ;

ce qui est précisément égal et de signe contraire au lent mouvement propre reconnu à  $\alpha$ . (Voy. mon Catalogue spécial des mouvements propres.) Donc  $\alpha$  fixe au fond du ciel. Conclusion de  $\Sigma$  confirmée. — Groupe de perspective.

Céphée 316. 2.

$0^{\text{h}}2^{\text{m}}42^{\text{s}}$ .

$6^{\circ},3$  jaune —  $6^{\circ},5$  verte.

Date. Angle. Distance. Obs.

1828,25 342,9 0,78  $\Sigma$ .  
31,00 339,7 1,70  $\Sigma$ .

32,56 340,5 0,83  $\Sigma$ .

38,63 338,7 0,69  $\Sigma$ .

39,67 336,0 n. m.  $\Sigma$ .

41,56 336,3 0,66  $\Sigma$ .

42,63 335,6 0,64  $\Sigma$ .

43,30 341,2 0,60  $\Sigma$ .

47,77 340,1 0,48  $\Sigma$ .

52,21 338,6 0,47  $\Sigma$ .

57,52 329,0 0,38  $\Sigma$ .

62,83 320,4 0,3  $\Sigma$ .

63,60 simple.

65,70 293,5 0,38  $\Sigma$ .

65,76 295,6 0,30  $\Sigma$ .

66,95 136,87 0,25  $\Sigma$ .

67,00 simple.

69,75 all. n. m.  $\Sigma$ .

72,92 all. n. m.  $\Sigma$ .

75,71 34,2 all. n. m.  $\Sigma$ .

76,85 1 all. n. m.  $\Sigma$ .

Couple brillant et délicat. Système orbital très-serré. Mouve-

ment rétrograde rapide. Si  $\alpha$  ne devait être alors à  $0''38$ , ce n'est pas la une raison suffisante pour que nous la jugions variable, car la disparition peut tenir au rapprochement et aux conditions atmosphériques. En 1867, elle était encore plus rapprochée.

Andromède. H. 1007. (2).

$0^{\text{h}}7^{\text{m}}26^{\text{s}}$ .

Triple.

$A = \alpha$ ;  $B = \beta$ ;  $C = \gamma$ : blanches.

AB.

Date. Angle. Distance. Obs.

1843,93 61,6 0,6  $\Sigma$ .

58,43 51,4 0,68  $\Sigma$ .

66,64 47,4 0,5  $\Sigma$ .

69,78 44,8 0,72  $\Sigma$ .

72,67 44,6 0,5  $\Sigma$ .

74,71 43,8 0,88  $\Sigma$ .

AC.

Fixe à  $225^{\circ} \pm 1^{\circ}$  et  $17^{\circ},6 \pm 0^{\circ},2$ .

AB forment certainement un système orbital très-serré, en mouvement rétrograde. Quant à l'étoile C, elle reste fixe depuis la première mesure en 1828, sans laisser présumer aucun sens de mouvement.

Figure 5 : Première page de la partie catalogue des 819 couples en mouvement relatif.

En parcourant ce catalogue, on voit que la présentation est structurée et rigoureuse. L'observation attentive de la figure ci-dessus montre que l'essentiel de l'information se trouve dans chaque entrée de ce catalogue, en une forme résolument moderne : identifications de l'objet, caractéristiques à l'observation, détails et auteurs de toutes les mesures recueillies. Suit un commentaire détaillé incluant les données des calculs d'orbite ou de trajectoire des couples optiques. On apprécie les remarques esthétiques pour  $\alpha$  And et des informations plus personnelles comme ses propres observations de la binaire BC à une séparation de  $0,5''$  avec son télescope de Foucault au début des années 1870, prouvant la qualité de cet instrument qui lui a peut-être permis de s'intéresser aux couples célestes. On trouve aussi un long commentaire sur le compagnon de Sirius découvert en 1862 et la possibilité de son mouvement orbital : le futur lui a donné raison. On lit enfin, concernant le système triple  $\zeta$  Cnc, l'insuffisante étude sur le mouvement erratique de la composante C et son dépôt d'un pli cacheté à l'Académie pour exposer sa découverte... clairement expliquée par Otto Struve par l'existence d'un quatrième corps invisible<sup>1</sup>.

### 7 Une classification naturelle qui est en fait une première étude statistique de la population des étoiles doubles

La dernière partie de l'ouvrage, occultée par une partie intruse sur les nébuleuses doubles est sans doute la plus intéressante. En quelques années, comme nous venons de le voir, Camille Flammarion a rassemblé un large ensemble d'objets. Il aurait

<sup>1</sup> Voir l'article de Jean-Claude Thorel "Évolution de l'étoile dzéta Cancri - Un pli cacheté à l'académie des sciences relance l'étude des compagnons invisibles" - ED3 - Décembre 2021

pu clore son travail après la dernière page du catalogue. Mais il va poursuivre son étude, il va passer au crible de divers critères de sélection son large échantillon. Cette étude représente l'ébauche d'une première étude statistique. On peut voir dans cette démarche la conséquence de ses rencontres avec Adolphe Quetelet (1796-1874) à partir de 1868, un des fondateurs de la statistique.

Quetelet était à cette époque directeur de l'Observatoire de Belgique dont il était le fondateur. Mathématicien, ami d'Arago, il avait une large culture scientifique qui l'a amené à s'intéresser aux populations en tant qu'objet d'études mathématiques. Leurs échanges précèdent tout juste l'intérêt pour les étoiles doubles du jeune astronome. « Quetelet... est une légende vivante pour Flammarion qui admire tout particulièrement les travaux que le savant a effectués sur les statistiques... » écrit Philippe de La Cotardière [3]. Cette "Classification naturelle" qui termine le catalogue, de par son souci du détail dans le tri et la classification, est tout à fait dans cette démarche de considérer la population "étoiles doubles" comme un objet d'études statistiques. Aucun autre travail de ce type n'avait été réalisé auparavant.

Les couples orbitaux certains (à cette époque) sont l'objet du premier tableau I, classés en sept catégories selon la fiabilité de l'orbite, la complétude de celle-ci en étant le critère : de A à G. Cela évoque le critère actuel de qualité des orbites : les 5 grades de 1 à 5, dans l'ordre de leur qualité décroissante. Treize objets seulement ont une orbite complète à cette époque avec des périodes qui vont de 5 à 169 ans, sur les 358 objets listés. Mais, plus intéressant, Flammarion note le sens du mouvement orbital. Cette caractéristique a longtemps intéressé Jean Dommange (1924-2014), astronome belge, ancien président de la Commission 26 de l'UAI (figure 6).

Les couples orbitaux probables de la Table II sont déclinés en trois classes de A à C. Le cas de  $\alpha$  Cru est noté orbital presque certaine. C'est toujours son statut : système physique alors que ses composantes sont connues pour être des binaires spectroscopiques.

La Table III renferme les systèmes présumés physiques, c'est-à-dire liés par la force de gravité avec deux classes : certains ou probables. On y trouve 61 Cyg qui est connue maintenant pour être une binaire véritable dont la période de 619 ans n'est toujours pas couverte par les observations.

La Table IV rassemble les systèmes à trois corps, certains (A) et probables (B). On y note  $\xi$  Sco indiqué « presque certain ». On est maintenant sûr qu'il s'agit d'un système quintuple associant STF 1998 et STF 1999. Après les systèmes ternaires, les systèmes triples (non liés par la gravité), sont rassemblés les systèmes quaternaires, les étoiles quadruples parmi lesquelles est cité le système  $\theta$  Ori.

Les tableaux suivants recensent les groupes de perspective (optiques), dont le XII avec 15 doubles écartées à mouvement propre commun (ébauche des recherches sur les CPM) (figure 7). Pour prolonger le travail, Flammarion ajoute une dernière liste (tableau XVI) de couples physiques peu écartés sans mouvement, qui complètent le catalogue principal de couples orbitaux, tel  $\psi$  Psc d'une remarquable stabilité à  $30''$  de séparation. Il semble bien que Flammarion soit le premier à établir cette classification des paires d'étoiles selon leur statut gravitationnel : binaires orbitales, binaires physiques, couples à mouvement propre commun, couples optiques avec calcul du mouvement propre de l'astre proche. Ces dénominations sont encore utilisées actuellement.

# CLASSIFICATION NATURELLE

## DES ÉTOILES DOUBLES ET MULTIPLES.

### I. — Systèmes orbitaux certains.

A. — Ayant accompli une ou plusieurs révolutions depuis leur découverte.

Étoiles.	Grandeurs.	Couleurs.	Temps gr. ann.	Période calculée.	Années d'obs., moins
* $\delta$ Petit Cheval	4,5 — 5	blanches	0 <sup>8</sup> ,10	7 ou 14 ans	2,5 P
* 310 $\Sigma$ , (365) $\Sigma$ , Lyre	7,1 — 11	blanches	0,25	16 : 1	37 P
* $\delta$ Chevelure	6 — 6	blanches	0,50	25 <sup>1</sup> ,59	56 P
$\zeta$ Hercule	3 — 6	jaune et rougeâtre	1,36	34,58	95 R
* 3121 $\Sigma$ , Cancer	7,2 — 7,5	blanche et jaune	0,50	39,18	45 P
$\eta$ Couronne boréale	5,5 — 6,0	jaunes d'or	0,98	10,17	96 D
* 2173 $\Sigma$ , Ophiuchus	6 — 6	jaunes	1,01	47,13	48 P
$\gamma$ Couronne australe	5,5 — 5,5	jaunes d'or	2,40	55,58	42 R
Créan AB	5,5 — 6,2	jaunes	0,91	60,45	95 R
* Grande Ourse	4 — 5	jaune et cendrée	2,10	60,63	96 R
$\alpha$ Centaure	1 — 2	blanche et jaune	21,80	85,04	169 D
7 Ophiuchus	4,5 — 6	jaune et rose	1,88	92,77	98 R
Scorpius AB	5,0 — 5,2	jaunes	1,26	95,90	95 D
Total du premier groupe : 13.					

B. — Ayant parcouru plus des trois quarts d'une révolution : 270° à 360°.

Étoiles.	Grandeurs.	Couleurs.	Arc parcouru.	Temps gr. ann.	Période calculée.	Années d'obs., moins
3062 $\Sigma$ , Cassiopée	6,5 — 7,5	jaune et olive	318°	17,27	104 ans	95 D
* $\alpha$ Lion	6 — 7	jaunes	326	0,89	111	95 D
* 2 Chiens de Chasse	6 — 7	blanche et bleue	281	0,65	124	70 P
$\gamma$ Vierge	3 — 3	jaunes	352	3,38	175	159 R
* $\zeta$ Ophiuchus	5 — 6	blanches	279	1,10	218	94 D
Total des groupes A et B : 18.						

C. — Ayant parcouru plus d'une demi-révolution : 180° à 270°.

Étoiles.	Grandeurs.	Couleurs.	Arc parcouru.	Distance moy.	Temps pour 360°	Années d'obs., moins
8 Sextant A.C.	5 — 6 — 6,5	blanches	260°	0 <sup>7</sup> ,4	33 ans	2,5 R
* $\delta$ Bouvier	6,5 — 8	blanches	226	1,17	980	96 R
$\zeta$ Couronne boréale	6 — 7	jaune et verdâtre	214	2,5	846	96 D
(89) $\Sigma$ , Girafe	6,2 — 7,6	blanches	209	0,4	52	30 D
(527) $\Sigma$ , Petit Cheval	7 — 8	bleuâtre et blanche	207	0,1	54	31 R
* $\delta$ Eridan BC	9,5 — 10,5	jaunes	196	1,0	200	94 R
(234) $\Sigma$ , Gr. Ourse	7 — 7,8	blanches	187	0,3	68	35 D
* $\zeta$ Versace	6 — 7	jaunes	181	0,1	184	94 D
* $\gamma$ Couronne boréale	5 — 7	jaune et pourpre-plan	0,70	9,5	52	P
Céphée 316, $\Sigma$	6,3 — 6,5	jaune et verte	?	0,3	9	18 R
Total des groupes ABC : 38.						

D. — Ayant parcouru plus du quart d'une révolution : 90° à 180°.

Étoiles.	Grandeurs.	Couleurs.	Arc parcouru.	Distance moy.	Temps pour 360°	Années d'obs., moins
* $\zeta$ Hercule BC.	9,4 — 10	bleues	17 <sup>1</sup> °	1 <sup>0</sup> ,1	318 ans	21 P
* 2100 $\Sigma$ , Hercule	7 — 9	jaune et bleue	146	3 $\pm$ 23	91	R (?)
(235) $\Sigma$ , Gr. Ourse	6 — 7,8	blanches	132	0,7	100	34 D
(298) $\Sigma$ , Bouvier	7 — 7,4	blanches	130	1,0	97	35 D
(251) $\Sigma$ , Chevelure	7,4 — 9,1	blanches	127	0,3	32	D
	ou 307					
Castor, AB	2,5 — 2,8	blanches	123	5,0	1000	158 R
(387) $\Sigma$ , Cygne	7,5 — 8	blanches	112	0,4	108	33 R
* $\zeta$ Grande Ourse	5 — 5,5	blanches	111	0,3	100	33 D
* $\delta$ Ophiuchus	4 — 6	blanche et cendrée	110	1,2	300	94 D
$\beta$ Eridan	6 — 6	blanches	106	4,0	200	52 R
* $\delta$ Bouvier	4,5 — 6,5	jaune et rouge	101	4,9	127	95 R
* $\delta$ Cygne	3 — 8	blanche et bleue	101	1,7	336	94 R
* 41 Bouvier	5,3 — 6	blanche et cendrée	plan	3,1	261	96 P
(536) $\Sigma$ , Pégase	7,5 — 7,8	blanches	plan	0,3	?	25 P
(65) $\Sigma$ , Taureau	6,2 — 6,8	blanche et rougeâtre	?	0,6	?	28 P
Total des groupes ABCD : 43.						

E. — Ayant parcouru de 45° à 90°.

Étoiles.	Grandeurs.	Couleurs.	Arc parcouru.	Distance moy.	Temps pour 360°	Années d'obs., moins
% Cassiopée	4 — 7	jaune et pourpre	89°	9 <sup>0</sup> ,0	38 ans	95 D
* 186 $\Sigma$ , Poissons	7,3 — 7,3	blanches	86	1,0	200	52 P
(119) $\Sigma$ , Gémeaux	6,5 — 8,5	blanches	83	0,6	130	30 R
(121) $\Sigma$ , Orion	6 — 7,8	blanches	82	0,4	133	30 R
(285) $\Sigma$ , Bouvier	7 — 7,6	blanches	82	0,4	145	33 R
* 1819 $\Sigma$ , Vierge	7 — 7,6	blanches	70	1,1	251	49 R
(100) $\Sigma$ , Cygne	8,1 — 8,4	rougeâtres	67	0,4	161	30 R
H. 5014, Télescope	6,5 — 6,5	blanches	65	0,7	112	21 D
2107 $\Sigma$ , Hercule	6,5 — 8,5	jaune et bleue	65	1,0	268	48 D
* $\zeta$ Dragon	5 — 5	blanches	62	3,0	562	96 R
* P. XIII, 127, $\Sigma$ 1757	8 — 9	blanche et jaune	55	1,9	340	52 D
* Céphée	5 — 10	jaune et pourpre	54	1,2	226	33 D
1210 $\Sigma$ , Licorne	7 — 7,5	blanches	52	0,5	300	44 D
36 Andromède	6 — 7	orange et jaune	51	1,2	350	47 D
* 228 $\Sigma$ , Andromède	6,5 — 7	blanches	51	1,0	300	46 D
14 $\zeta$ Orion	6 — 7	blanches	50	1,0	213	31 R
12 Lynx AB	6 — 6,5	blanche et rougeâtre	50	1,6	676	94 R
P. XII, 128 (224) $\Sigma$ , Lion	7,3 — 8,5	blanches	48	0,3	154	31 R
* 1755 $\Sigma$ , Bouvier	7 — 7,4	blanche et verte	48	3,9	400	53 D
6 Dauphin	4 — 6	blanches	47	0,4	30	4 D
5 Verseau	4 — 4,5	blanche et verte	45	3,5	800	100 R
Total des groupes ABCDE : 64.						

Figure 6 : Tableau I. Systèmes orbitaux certains.

XII. — Systèmes stellaires [ $> 1'$ ] (emportés par un mouvement propre commun); le mouvement relatif observé est rectiligne ou nul.

17 $\zeta$ Cygne et $\Sigma$ 2576,.....	1 <sup>7</sup>	Régulus et $\tau$ 1759 Lalande,.....	177 <sup>9</sup>
50 Persée et P. III, 242,.....	1 <sup>5</sup>	$\mu^1$ et $\mu^2$ Bouvier,.....	168 <sup>9</sup>
Mizar et Alecr.,.....	1 <sup>2</sup>	$\delta$ Bouvier,.....	167 <sup>9</sup>
* $\zeta$ Verseau et $\Sigma$ 2993,.....	1 <sup>0</sup>	$\zeta$ Eridan, AB,.....	85 <sup>9</sup>
36 Ophiuchus et 30 Scorpion,.....	1 <sup>2</sup>	3 Hercule,.....	81 <sup>9</sup>
* $\zeta$ et $\zeta^2$ Réticule,.....	8 <sup>1</sup>	Castor, AC,.....	7 <sup>9</sup>
$\zeta^1$ et $\zeta^2$ Lyre,.....	6 <sup>1</sup>	$\zeta^2$ Dragon,.....	62 <sup>9</sup>

XIII. — Distances angulaires minima observées sur les groupes optiques certains.

2 <sup>0</sup> ,6 sur $\Sigma$ 1516,.....	6 <sup>9</sup>	sur 30 Pégase, $\Sigma$ 23, $\Sigma$ 2708,.....
2,9 — 45 Gémeaux,.....	7	— $\Sigma$ 2877,.....
5,5 — $\Sigma$ (477),.....	8	— $\Sigma$ 175, $\Sigma$ 2760,.....
5,7 — So 503,.....	10	— $\Sigma$ Dauphin, $\Sigma$ 651, $\Sigma$ , (297),.....

XIV. — Plus grandes vitesses (annuelles) observées dans les mouvements relatifs des groupes de perspective.

1 <sup>8</sup> ,10 sur les compagnons D et E de $\zeta$ Eridan,.....	0 <sup>8</sup> ,36	sur le comp. de 1911 <sup>4</sup> Girafe,.....
1,35 sur le comp. de 85 Pégase,.....	0,36	— $\zeta$ Cygne,.....
1,21 sur le comp. de Procyon,.....	0,35	— II. V, 85,.....
1,21 (problématique) sur le comp. de $\gamma$ Lion,.....	0,34	— Véga,.....
0,93 (problématique) sur le comp. de 9 Persée,.....	0,34	— Mira Ceti,.....
0,82 sur le comp. de $\zeta$ Cocher,.....	0,34	— 33 Pégase AC,.....
0,74 —	0,32	— 2914 AC,.....
0,67 —	0,30	— 1604 AC,.....
0,66 —	0,27	— 35 Lion,.....
0,65 —	0,26	— 651,.....
0,47 —	0,26	— 111 Taureau,.....
0,44 —	0,25	— 2708,.....

XV. — Directions.

Sens des mouvements dans les systèmes orbitaux (certains ou probables).

Directs (D). Sens : N-E-S-W,.....	248
Rétrogrades (R). Sens : N-W-S-E,.....	280
Systèmes dont le plan passe par le Soleil ou qui sont très-inclinés. (P.)	30

XVI. — Couples physiques [ $< 1'$ ] dont les composantes sont animées d'un mouvement propre commun dans l'espace, mais sont restées fixes l'une relativement à l'autre. (Étoiles non inscrites dans ce Catalogue).

Étoile.	N° $\Sigma$ .	Grandeurs	Angle	1 <sup>st</sup> , 1 <sup>st</sup>	Première mesure
38 Poissons...	22	7,10 — 8,08	23 <sup>0</sup> et 1 <sup>0</sup> ,5	1783	
Andromède...	42	7,9 — 8,7	33	5,5	1832
26 Bélier...	81	6,6 — 9,0	253	16	1782

$\zeta$  et  $\zeta^2$  Poissons

88 4,9 — 5,0 160 30 1755 Bradley est erroné de - 1° et Herschel

Figure 7 : Tableau XII. Couples à mouvement propre commun.

L'index qui clôt l'ouvrage permet de retrouver par constellation, l'ensemble des objets traités dans le catalogue.

## 8 Une étude originale d'une grande acuité... mais une portée et une influence limitée de ce catalogue

On demeure étonné et impressionné par cet ouvrage de 200 pages de facture très nouvelle pour l'époque, dépassant, pour l'étude des étoiles doubles, les simples publications de mesures et les tris par classes d'objets fondés sur la séparation apparente, comme l'avait initié William Herschel et qui se poursuivent jusqu'à Sherburne Burnham. Flammarion s'est concentré sur le suivi dans le temps des nombreux couples d'étoiles découverts avec un but : la mise en évidence d'un mouvement orbital, pressentant que derrière la manifestation de la force de gravité se cachaient des informations sur la vie des étoiles et leur nature profonde. Mais peut-être que le souci de rechercher les catégories l'a empêché de voir que derrière le calcul d'orbite se profilait aussi la possibilité de calculer les masses des composantes.

Camille Flammarion a échangé avec de nombreux astronomes anglais, allemands, italiens, de l'Europe du Nord, mais aussi des U.S.A. Les astronomes du nouveau continent vont prendre une place hégémonique dans ce domaine scientifique. En retour, on trouve peu de citations du travail de notre compatriote, malgré des échanges nombreux avec Burnham. En Grande-Bretagne, Thomas Lewis cite seulement ses mesures dans son catalogue de 1906 [4]. Ni Burnham, dans son catalogue général sur les étoiles doubles, ni plus tard Aitken dans l'A.D.S. ne font mention de ce tout premier catalogue d'orbites. Pourtant Flammarion a fait un effort pour

Faye "Classification des étoiles doubles" qui résume l'essentiel de son travail. Cette note sera aussi publiée sous son nom dans une revue scientifique internationale, en langue anglaise. Ses conclusions n'auront pas d'écho. Il faut attendre le W.D.S. pour trouver la référence de son travail. Les calculateurs d'orbites patienteront jusqu'en 1918 pour trouver dans le livre "Binary stars" d'Aitken, un nouveau catalogue de binaires orbitales, puis en 1934, pour lire une nouvelle mise à jour des orbites publiées, réalisé par W.S. Finsen (1905-1979).

En France, les observateurs d'étoiles doubles n'ont vraiment été actifs dans la recherche internationale qu'au cours du 20ème siècle, mis à part Guillaume Bigourdan (1851-1932). La contribution de Flammarion a été oubliée. Paul Baize en 1930 relevait l'intérêt du catalogue de Flammarion et Paul Couteau, dans la seconde moitié du 20ème siècle, fut l'un des rares utilisateurs de cet ouvrage de 1878 qui lui permettait de préparer des calculs d'orbites en utilisant le large échantillon de mesures anciennes recueillies de 1873 à 1877.

Flammarion est donc peu cité à cette époque dans les publications concernant les étoiles doubles. Comment expliquer cette absence ? Il se peut que la facture nouvelle de son travail, la présentation des données, le manque d'informations pratiques (éphémérides d'orbites) aient pu rebuter les lecteurs ou les chercheurs. À cette époque, c'est surtout la recherche d'étoiles doubles nouvelles qui concentrerait toutes les énergies, ainsi que leur suivi par la mesure. Peut-être alors que cette synthèse des observations arrive trop tôt et dans une forme trop moderne ?

Plus sûrement, on peut penser que Flammarion s'est rapidement détaché de ses travaux sur les étoiles doubles pour se consacrer à son grand œuvre, "L'Astronomie Populaire", dont la première édition date de 1879. Après cela, ce domaine de l'astronomie sort du champ d'intérêt du vulgarisateur. Nous n'avons pas connaissance que des mesures d'étoiles doubles aient été réalisées et publiées à l'observatoire de Juvisy. Pourtant, une lunette de 24 cm d'ouverture avec un pouvoir séparateur de 0,5" et de 3600 mm de longueur focale se prêtait bien à ce type d'étude, à cette époque. Mais c'est la planète Mars qui passionne l'astronome à la fin des années 1880. Et aussi un nouveau projet : la création de la Société Astronomique de France.

Cette grande association sera en fait l'outil de la continuité, car certains de ses membres prestigieux continueront utilement et efficacement son œuvre dans le domaine des étoiles doubles et multiples. Citons André Danjon (1890-1967), Robert Jonckheere

(1888-1974), Jean Dommange (1924-2014) et surtout les trois Paul : Paul Baize (1901-1995), Paul Muller (1910-2000), Paul Couteau (1923-2014).

## 9 Pour conclure

C'est peu dire que Camille Flammarion fut un visionnaire à l'esprit large. Un peu comme François Arago, son prédécesseur en astronomie populaire, il était capable de s'attaquer à des interrogations variées en Astronomie, couvrant divers domaines : planètes, étoiles, nébuleuses, influence de la lumière solaire sur les plantes. L'étude des systèmes d'étoiles l'a occupé plus de cinq années. S'il n'a pas révolutionné les recherches dans ce domaine, il a néanmoins livré un bilan précis des connaissances après un siècle d'études, après les découvertes majeures de William Herschel et de Christian Mayer (1719-1783). Il nous a offert là un état des lieux complet valable pour 1880, un siècle après la découverte des étoiles doubles, mettant en relief l'intérêt majeur des recherches : le rôle de la force de gravité dans les systèmes stellaires. Il pressentait que ce serait sans doute un moyen de mieux connaître les étoiles, mais aussi de sonder notre Galaxie. L'on sait en effet que la connaissance de l'orbite fut le premier moyen direct de calculer les masses stellaires en jeu mais aussi de déterminer des parallaxes dynamiques [5]. Un catalogue d'orbites était donc la base indispensable pour faire avancer les recherches ; et pour parodier son auteur : « C'est ce qu'il a fait ».

## Références

- [1] Couteau, P, 1988, Ces astronomes fous du ciel, EDISUD
- [2] Flammarion, C., 1878, Catalogue des étoiles doubles et multiples en mouvement relatif certain, Gauthier-Villars
- [3] De la Cotardière, Ph., Fuentes, P, 1994, Camille Flammarion, Flammarion Ed.
- [4] Lewis, T., 1906, Memoirs of the Royal Astronomical Society, Vol. LVI., London RAS, Burlington House.
- [5] Couteau, P, 1978, L'observation des étoiles doubles visuelles, Flammarion Ed.



### Pierre DURAND

Né en 1944, professeur honoraire. Ancien président et fondateur de la Commission des étoiles doubles de la S.A.F. A mesuré les couples stellaires aux observatoires de Bordeaux, Nice, Pic du Midi sous la direction de Guy Soulié, Paul Muller et Paul Couteau.