PROJET OLED – OCCULTATIONS D'ÉTOILES DOUBLES PAR LA LUNE
RAPPORT OLED #2 – JUIN 2026

OLED PROJECT – LUNAR OCCULTATIONS OF DOUBLES STARS
OLED REPORT #2 – JUNE 2026

Philippe Laurent[1], Enrique Velasco[2], Gonzalo Arrarás, Pedro Benedicto, Ricard Casas, Jean-François Coliac, Esteban Donate, Javier de Elías, Faustino García, Bernat Garreta, Konrad Guhl, Jaime Izquierdo, Rosendo Jorba, Jordi Marco, Josep Masalles, Pablo Molina, Patrick Wullaert, Niko Wünsche

1 Société Astronomique de France - Commission des Étoiles Doubles, apilaure_astro@yahoo.fr
2 Agrupación Astronómica de Madrid - Universidad Autónoma de Madrid, enrique.velasco@uam.es

Résumé

Ce rapport présente les résultats des observations réalisées par les membres du projet OLED (Occultations Lunaires d'Étoiles Doubles) du 1/05/2024 au 30/04/2026.

Ces résultats sont classés en 5 groupes :

- Couples référencés dans le WDS n'ayant montré aucun signe de duplicité,
- Couples référencés dans le WDS mettant en évidence la duplicité au travers d'une observation unique. La position de la composante secondaire est alors incomplètement définie et située dans un espace à 1 dimension (autrement dit, une « ligne »). Ces observations sont conservées pour une éventuelle utilisation ultérieure,
- Couples référencés dans le WDS pour lesquels le projet a pu réaliser plusieurs observations. La position relative de la composante secondaire par rapport à la composante principale (ρ, θ) est déduite des observations et sera intégrée au WDS,
- Étoiles simples, figurant au catalogue Gaia DR3 « Non Single Star » et présentant un mouvement accéléré. En cas d'observations multiples, la position (α, δ) de ces étoiles peut être déduite des observations et comparée à la position théorique déduite des données Gaia,
- Étoiles connues comme simples, observées pour mettre en évidence une éventuelle duplicité.

Abstract

This report presents the results of observations carried out by members of the OLED (Lunar Occultations of Double Stars) project from 1 May 2024 to 30 April 2026. These results are classified into five groups:

- Pairs listed in the WDS that showed no signs of duplicity,
- Pairs listed in the WDS showing evidence of duplicity based on a single observation. The position of the secondary component is then incompletely defined and located in a one-dimensional space (a single 'line'). These observations are retained for possible future use,
- Pairs listed in the WDS for which the project was able to carry out several observations. The relative position of the secondary component with respect to the primary (ρ, θ) is deduced from the observations and will be incorporated into the WDS,
- Single stars listed in the Gaia DR3 'Non-Single Star' catalogue and exhibiting accelerated motion. In the case of multiple observation, the position (α, δ) of these stars can be derived from the observations and compared with the theoretical position derived from Gaia data,
- Stars known to be single and observed to highlight any possible duplicity.

1- Introduction

Le présent rapport consigne les observations réalisées dans le cadre du projet OLED (Occultations Lunaires d'Étoiles Doubles) du 1/05/2024 au 30/04/2026. Il fait suite à un premier rapport paru dans la revue Étoiles Doubles[1], qui rassemblait les observations depuis l'origine du projet (2021) jusqu'au 30/04/2024 [1].

Le projet se consacre à l'observation des occultations d'étoiles doubles par la Lune et à l'analyse des données issues de ces observations, afin de produire des données astrométriques sur les couples stellaires.

Il réunit un réseau de 39 observateurs majoritairement espagnols mais aussi français, allemands et du Royaume Uni.

Les organisations fondatrices en 2022 sont :

- Pour la France, la Commission des étoiles doubles de la Société Astronomique de France,
- Pour l'Espagne, l'Agrupación Astronómica de Madrid, avec le soutien de la Federación Española de Asociaciones Astronómicas (FAAE) et de la Sociedad Española de Astronomía (SEA).

Début 2026, des membres de l'IOTA basés en Allemagne et au Royaume Uni ont rejoint le projet.

L'ensemble des acteurs fonctionnent aujourd'hui dans le cadre d'un projet unifié, animé par deux coordonnateurs.

Les efforts du projet ont porté principalement sur les couples référencés dans le Washington Double Star Catalog (WDS) [2], pour lesquels des mesures astrométriques ont déjà été réalisées par le passé par des techniques diverses : observations visuelles, interférométriques, spectroscopiques, … Au vu des résultats obtenus à ce jour, il semble possible de viser des couples de séparation aussi faible que 10mas, ce qui est hors de portée des autres techniques accessibles aux amateurs.

Certains de ces couples désignés par le préfixe OCC méritent quelques explications complémentaires : ces couples ont été découverts par la technique d'occultation par la Lune mais doivent, pour la plupart, faire l'objet d'une confirmation de duplicité. En grande majorité, ils n'ont fait l'objet à ce jour d'aucune mesure astrométrique (ρ, θ) et sont caractérisés dans le WDS par un nombre de mesure égal à zéro.

Plus récemment, le projet a intégré à son programme des étoiles appartenant au catalogue Gaia « Non Single Stars » et plus particulièrement celles appartenant à la table des étoiles dites « accélérées ». Il s'agit de déduire d'une occultation la position exacte de l'étoile (α, δ) et de la comparer à sa position théorique déduite de la position 2016.0 et des mouvements propres Gaia DR3. Cet écart « O-C » met alors en évidence le mouvement dit accéléré détecté par Gaia. Des premiers résultats encourageants ont été obtenus pour ce type de couples jusque-là ignorés par les autres techniques.

En complément, des étoiles connues comme simples sont observées pour mettre en évidence une éventuelle duplicité inconnue jusqu'alors. Il s'agit de mettre en évidence une occultation qui intervient en deux étapes (correspondant aux deux composantes) ou de déterminer une position sur le ciel différente de celle attendue à partir des données Gaia, orientant vers un possible second corps.

Rappelons brièvement, dans cette introduction, les principes de mesure appliqués dans la technique d'occultations par la Lune :

- C'est le mouvement de révolution de la Lune autour de la Terre qui provoque l'occultation d'une étoile. La vitesse apparente de déplacement de notre satellite est variable et se situe aux environs de 0.4 seconde d'arc par seconde de temps,
- L'enregistrement d'images successives de l'occultation d'une étoile permet de produire une courbe de lumière précisément horodatée dans laquelle la disparition (ou la réapparition) d'une étoile sur le bord sombre de la Lune produit une variation brutale du signal lumineux. Dans le cas d'une étoile double, on observe deux variations brutales successives séparées par un palier, comme illustré par la figure 1,
- La mesure de l'instant de l'occultation permet de positionner l'étoile occultée sur une ligne. On parle de solution « 1D ». Si cette même occultation est enregistrée par un autre observateur, suffisamment distant du premier, les deux observations interviennent à deux endroits distincts du limbe lunaire et permettent alors de connaitre précisément la position (α, δ) de l'étoile. On parlera alors de solution astrométrique complète ou « 2D »,
- Dans le cas d'une étoile double, le raisonnement exposé plus haut s'applique à chaque composante et la position relative du compagnon (ρ, θ) par rapport à l'étoile principale se déduit aisément des 2 jeux de coordonnées. Notons que les deux observations nécessaires à l'astrométrie complète peuvent intervenir lors d'occultations successives, suffisamment proches dans le temps en regard de la vitesse du mouvement orbital du couple.

[1] https://etoilesdoubles.org/

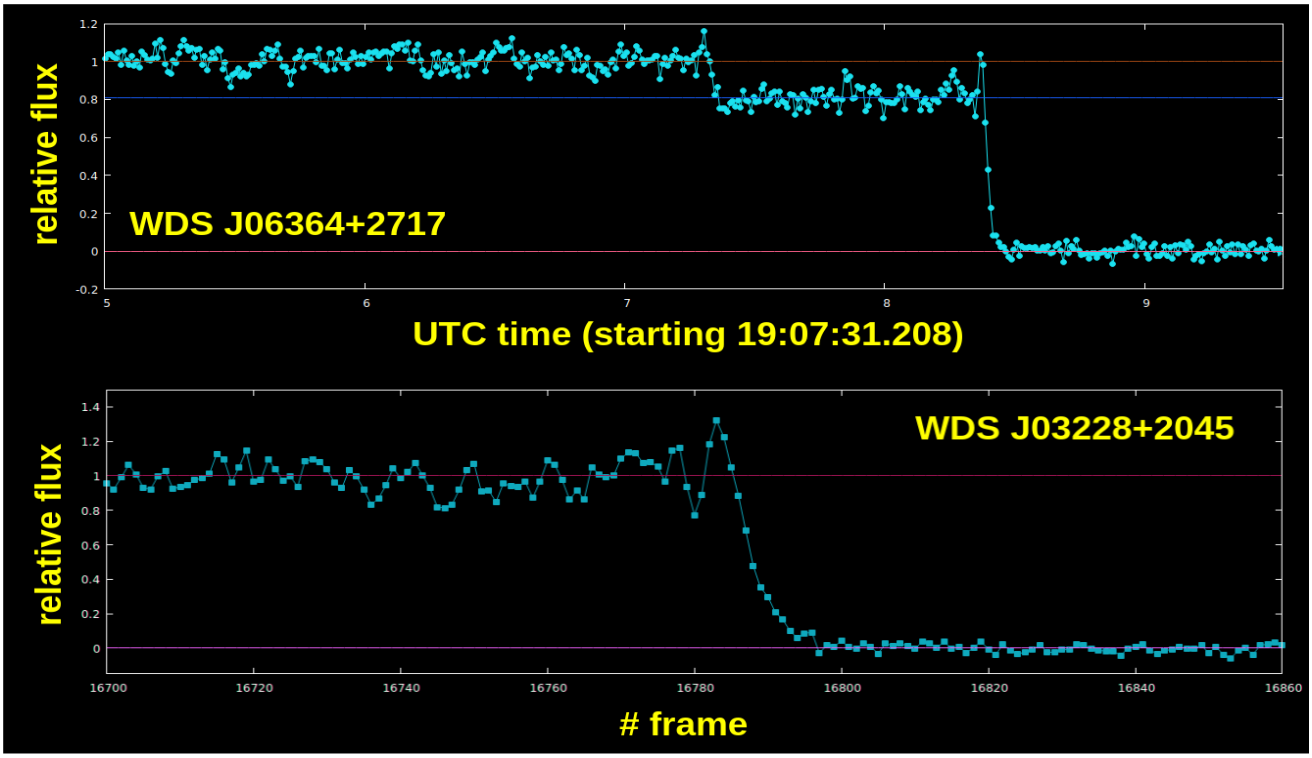


Figure 1. Deux exemples de courbes de lumière en bande optique obtenues lors d'occultations d'étoiles doubles par la Lune. Panneau supérieur : une étoile double écartée, WDS J06364+2717, présentant un palier clairement visible, correspondant à une distance de séparation projetée entre les composantes (séparation absolue r = 0,7", contraste de magnitude Δm = 1,8). Observation réalisée par P. Laurent (Barjols, France) à une fréquence de 100 Hz. Panneau inférieur : courbe de lumière d'une paire rapprochée, WDS J03228+2045 (r = 0,2", Δm = 2,9), obtenue à une fréquence d'échantillonnage de 200 Hz. Observation réalisée par E. Velasco (Becerril de la Sierra, Espagne). Une structure subtile visible à la fin de la rampe de diffraction est produite par la composante secondaire. Dans les deux cas, les effets de la diffraction sont clairement visibles, et les temps de contact doivent donc être déterminés par ajustement à des modèles de diffraction appropriés.

Les nouvelles données astrométriques produites concourent bien sûr au calcul de nouvelles orbites ou à l'amélioration d'orbites existantes.

Pour une introduction générale aux occultations par la Lune, et aux méthodes utilisées dans le projet pour analyser les observations, le lecteur est renvoyé à la référence [3]. Pour des explications plus détaillées, incluant notamment des informations sur les procédures et les calculs, le lecteur pourra se reporter à la référence [4].

Le projet est doté d'un site internet[2] qui propose principalement :

- Une présentation générale des techniques d'occultation d'étoiles par la Lune,
- Des programmes d'observations mensuels ainsi que des formulaires pour des recherches spécifiques d'évènements,
- La base de données complète des observations réalisées au sein du projet ainsi que leur analyse et les données astrométriques déduites.

Le présent rapport présente les résultats obtenus par le projet. Les solutions astrométriques complètes seront intégrées au catalogue WDS. Les solutions astrométriques « 1D » sont conservées et peuvent permettre de produire une solution 2D ultérieurement [4]. Elles peuvent également permettre de contraindre une orbite existante pour l'améliorer. Au-delà de ce rapport, certaines études détaillées pourront faire l'objet d'articles spécifiques à paraître ultérieurement.

Le projet OLED a pour ambition de produire dans l'avenir un plus grand nombre de mesures astrométriques complètes, ce qui pourra être obtenu grâce à un accroissement du nombre de membres du réseau, sur un périmètre géographique plus étendu. Le projet espère également produire des données utiles dans l'analyse des étoiles « Non Single Stars » du catalogue Gaia, en particulier dans la caractérisation des mouvements accélérés.

[2] https://sites.google.com/aam.org.es/oled

2. Rapport d'observations

Les observations réalisées par le projet OLED sont présentées de manière synthétique dans les tables qui suivent. Le lecteur qui souhaitera approfondir une observation pourra se reporter au site internet du projet, dans lequel il trouvera la courbe de lumière, des informations sur la réduction des données et l'analyse du résultat obtenu.

2.1 Étoiles sans solution astrométrique

La Table I présente les résultats obtenus à partir d'occultations par la Lune observées sur des étoiles qui n'ont montré aucun palier dans leur courbe de lumière. Plusieurs raisons peuvent expliquer ces résultats négatifs :

- La séparation projetée des deux composantes, même si celles-ci sont bien séparées et accessibles à notre instrumentation, est trop faible en raison d'un alignement du système par rapport au limbe lunaire local,
- Le bruit de la courbe de lumière est trop important pour produire un palier clairement visible dans la courbe de lumière et/ou la différence de flux entre les deux composantes est trop faible pour être détectée,
- La séparation entre les composantes est trop faible pour être résolue par notre instrumentation, même dans le cas de contacts présentant une géométrie favorable.

Un sous-ensemble important de ces étoiles appartient à la classe OCC, qui sont des étoiles doubles découvertes par la technique des occultations par la Lune (occultation binaries). La plupart de ces étoiles restent non confirmées, bien que certaines aient fait l'objet de plusieurs observations au fil des années. Les raisons pouvant expliquer l'absence de détection de duplicité dans les observations, mentionnées au paragraphe précédent, restent valables pour ces étoiles.

La table I contient le cas d'une étoile, OCC 721, avec deux courbes de lumière obtenues depuis des sites d'observation différents par des observateurs différents, qui présentent ce qui semble être des paliers nets et constitueraient ainsi une confirmation de la duplicité (figure 2). Les deux courbes de lumière indiquent une séparation projetée cohérente entre les composantes, d'environ 20 mas. Cependant, les paliers sont trop brefs et, plus important encore, l'identification des composantes ne peut être établie avec certitude. Toute tentative d'estimation de l'astrométrie relative de l'étoile conduirait à plusieurs solutions possibles et, de plus, la faible distance séparant les stations d'observation entraînerait de très grandes incertitudes. En conséquence, nous nous abstenons pour l'instant de pousser l'analyse plus avant et nous nous contentons de signaler la possibilité que les observations rapportées constituent une confirmation de la duplicité de cette étoile, découverte en 1987 et restée non confirmée jusqu'à ce jour.

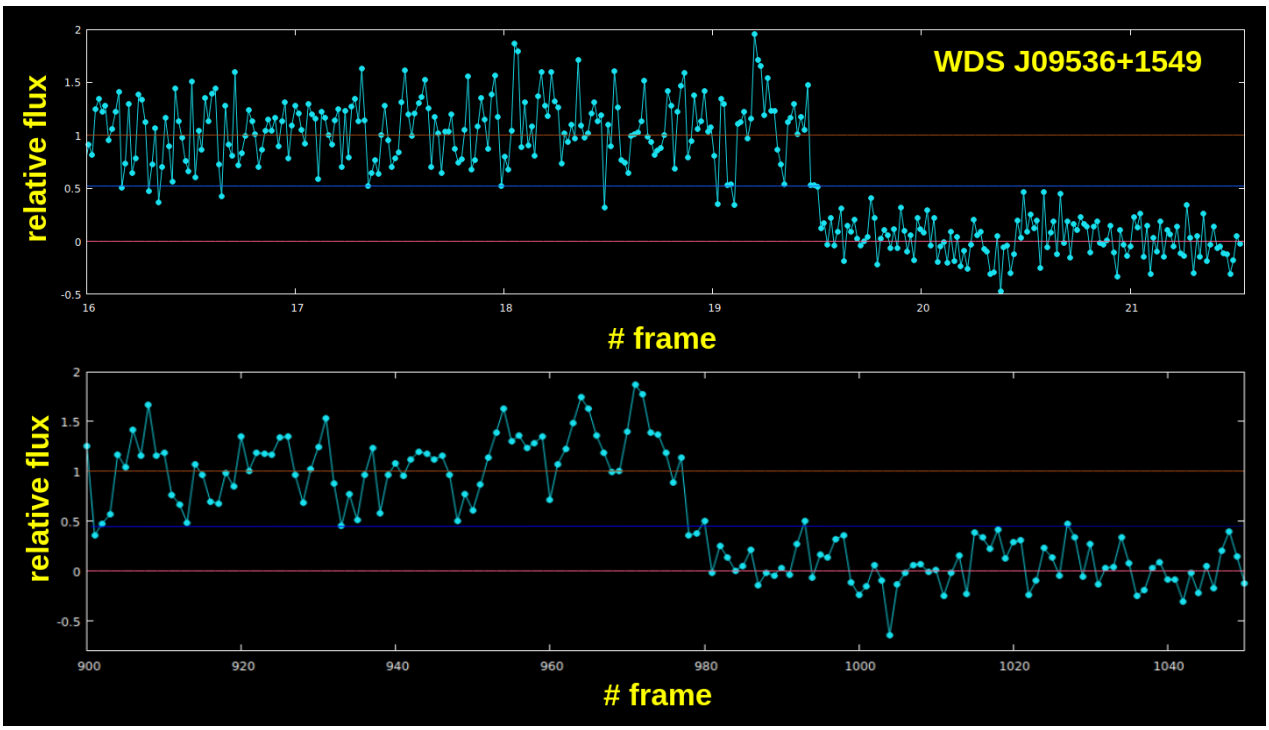


Figure 2. Courbes de lumière de WDS J09536+1549 (OCC 721), obtenues par J. de Elías (en haut), depuis Majadahonda (Espagne), et par E. Velasco (en bas), depuis Miraflores de la Sierra (Espagne), montrant des structures intermédiaires indiquant l'existence d'un compagnon. La proximité des deux stations d'observation, ainsi que l'incertitude liée à l'identification des composantes (les paliers correspondent à un niveau de flux proche de 50 %), ne permettent pas d'estimer l'astrométrie relative de l'étoile. Ces observations pourraient constituer une confirmation de la duplicité de cette étoile, restée jusqu'à présent non confirmée.

Cependant, le cas qui vient d'être mentionné constitue une exception, et, le taux global de détection de paliers dans les courbes de lumière est beaucoup trop faible par rapport à celui observé pour les autres étoiles du catalogue WDS. Cette situation est d'autant plus surprenante que ces étoiles ont précisément été découvertes grâce à la technique des occultations par la Lune.

La valeur moyenne des O-C (en prenant la valeur absolue des résidus et en excluant les deux résidus les plus élevés) pour les observations d'étoiles OCC est toutefois de 53mas, valeur nettement supérieure à celle attendue pour des étoiles simples, évaluée à 19mas en tenant compte des incertitudes observationnelles actuelles et de la précision des calculs du projet OLED.

Il existe donc des raisons de penser qu'une partie des étoiles OCC ne sont pas de véritables étoiles doubles (physiques ou optiques), en particulier celles découvertes visuellement dans les années 1930. En revanche, les autres sont probablement hors de portée de nos moyens d'observation actuels. Il faut en effet rappeler qu'un grand nombre de ces étoiles ont été découvertes dans les années 1970 et 1980 à l'aide de grands télescopes et d'instruments professionnels.

Même lorsqu'aucune duplicité n'est visible dans la courbe de lumière, celle-ci peut néanmoins laisser une signature dans la valeur O-C, c'est-à-dire dans le décalage entre la position mesurée de l'étoile et sa position catalogue ajustée à l'époque d'observation en appliquant un mouvement rectiligne uniforme.

Légende de la Table I :
WDS : index du couple dans le WDS Catalog
Nom : Nom « découvreur » du couple
Époque J : époque julienne de l'observation
Obs : trigramme des observateurs
O-C : distance angulaire en seconde d'arc entre la position observée (O) et la position catalogue (C)
Date : date de la dernière mesure dans le WDS Catalog
Rhô : séparation du couple pour la dernière mesure du WDS Catalog
Notes : commentaires sur l'observation.

Notes types :

(1) Couple OCC figurant dans le WDS avec un nombre de mesure égal à 0, signifiant que la duplicité est supposée sans qu'aucune mesure astrométrique n'ait pu être réalisée
(2) Pas encore confirmée comme étoile double
(3) Résidus anormalement élevés
(4) Seule la composante A est observée
(5) Extinction progressive de la courbe de lumière

Table I : Étoiles sans solution astrométrique

WDS	Nom	Époque J	Obs	O-C (")	Année	Rhô (")	Notes
J03489+2351	OCC9085	2024.127 2024.651	PM1 RJL	-0.002 -0.016	2010	0.019	(1), (2), Δm=2.9
J08560+2142	OCC 716	2024.292 2024.292	RJL PMP	-0.041 -0.026	1987		(1), (2)
J09396+1823	COU 387	2024.294	JAI	-0.014	2022	0.56	
J07403+2621	COU1248	2024.363	PM3	+0.239	2018	0.351	(3)
J13070-0802	OCC 143	2024.382	PMP	-0.045	1931		(2)
J09067+2031	OSO 25	2024.442	FGA	+0.026	2015	81.81	(4), Composante B trop faible (mag 16.4).
J09536+1549	OCC 721	2024.445 2024.445	EVC JDE	-0.009 -0.006	1987		Paliers très brefs dans les deux courbes de lumière ; possible première confirmation de la duplicité.
J13152-1004	A 2781	2024.532	EV1	-0.011	2023	0.72	(4), composante B trop faible (mag 12.3).
J21406-1854	OCC9197	2024.557 2024.557	JAI EV1	+0.012 -0.003	2001		(2)

WDS	Nom	Époque J	Obs	O-C (")	Année	Rhô (")	Notes
J00254+0156	STT 8	2024.566 2024.566	RJL JMR	-0.008 +0.003	1840		(2), Δm=3.2, étoile double douteuse découverte en 1840.
J18050-2935Aa,Ab	BLM 5	2024.622	PWU	-0.054	2022	0.165	
J03492+2403Aa1,2	MKT 12	2024.651	RJL	+0.019	2000	0.013	(5)
J03492+2403Aa,Ab	STF 453	2024.651	RJL	+0.019	1929	0.46	(5), Δm=3.0
J14575-2125AB	HN 28	2024.688	JMR	+0.004	2020	26.194	(4), composante B non observée.
J15481-2513	HDS2226	2024.691	JMR	+0.017	2022	0.18	Conditions médiocres dues au crépuscule
J06333+2805	OCC 737	2024.733	JMR	-0.007	1988		(1),(2)
J03284+2248Aa,Ab	BAG 2	2025.025	RCA	-0.001	2008	0.081	
J06456+2740	OCC 233	2025.033	JMR	-0.027	1968	0.12	(1),(2)
J01326+1153	OCC 426	2025.094	RC1 PLA FGA	-0.043 +0.016 -0.018	1976	0.06	(1),(2), un palier incertain dans l'observation de PLA.
J01320+1150AB	OCC 391	2025.094	FGA JDE PLA	-8.114 -2.851 -0.708	2020	2.914	(3)
J01322+1142	A 2215	2025.094	FGA	-0.053	2016	1.68	(4), composante B trop faible (mag 11.8)
J08077+2444	OCC 715	2025.186	FGA	-0.018	1987	0.1	(1),(2)
J08081+2443	OCC 159	2025.187	FGA	-0.016	1932		(1),(2)
J03463+2411AB,C	S 437	2025.249	FGA	+0.054	2017	38.8	Non physique. Seule la composante C observée
J03448+2417 AC	HL 6 AC	2025.249	FGA	+0.009	2011	217.622	(4), composante B trop faible (mag 11.5)
J03456+2420Ba,Bb	COU 560	2025.250	FGA	+0.017	2015	0.151	
J03458+2422Aa,Ab	OCC 248	2025.250	FGA	+0.026	1988	0.016	(1),(2)
J11082+0634	HJ 839	2025.270	JAI	-0.037	2016	12.375"	(4)
J06330+2750	OCC 720	2025.332 2025.332 2025.855	JDE PM4 RJL	+0.129 -0.026 -0.118	1987		(1),(2),(3)
J06333+2741	OCC 719	2025.332	PM4	-0.043	1987		(1),(2), palier possible dans la courbe de lumière
J12521-0831	OCC 451	2025.427	PLA	-0.018	1976	0.2	(1),(2)
J17133-2908	OCC 744	2025.592	PM5	-0.039	1988		(1),(2)
J17148-2855	OCC 745	2025.592	PM5	-0.005	1988		(1),(2)
J02551+2048	OCC 749	2025.696	RJL	+0.014	1988		(1),(2)
J05420+2746	OCC 738	2026.153	FGA RC1	+0.006 +0.015	1988		(1),(2)
J05346+2754	OCC 711	2026.153	PLA JFC	-0.056 -0.031	1986		(1),(2)
J05444+2744AB	STF 779	2026.153	FGA RJ1	+0.003 +0.028	2015	8.588	Non physique, (4)
J15555-2616	TOK 790	2026.261	FGA	-0.005	2022	0.801	Δm=3.8
J09090+1728	ONL 1	2026.312	PLA	-0.026	1970	0.005	Une seule observation sans mesure dans le WDS

2.2 Étoiles avec solution astrométrique unidimensionnelle

Durant la période couverte par ce rapport, neuf étoiles doubles ont été observées à une seule reprise et ont présenté des courbes de lumière avec un palier, permettant d'obtenir une solution 1D (Table II). Cinq d'entre elles correspondent à des étoiles doubles dont l'orbite est connue (deux de grade 2 et trois de grade 4). Ces solutions ne fournissent pas directement une position astrométrique dans le plan xy (Nord–Est), mais imposent une contrainte sur les deux coordonnées sous la forme d'une droite. La distance angulaire minimale entre cette droite et la position orbitale prédite permet de définir une valeur de O-C. Celle-ci est indiquée dans la colonne « Notes ». Des graphiques de ces étoiles, extraits du catalogue ORB6 [6], avec la solution unidimensionnelle superposée, sont présentés à la suite du tableau.

Comme mentionné dans l'introduction, les solutions 1D sont importantes, car elles peuvent être combinées avec de futures solutions pour fournir des positions astrométriques complètes en deux dimensions. Elles peuvent également être utilisées pour contraindre l'orbite lors d'analyses ultérieures.

Les faibles valeurs de O-C obtenues témoignent de la qualité des observations et de leur analyse. On remarque que les valeurs de O-C ainsi définies sont plus faibles pour les orbites de grade 2 que pour celles de grade 4, ce qui est également cohérent avec la qualité élevée de nos résultats et avec la précision généralement meilleure des orbites de grade 2 par rapport à celles de grade 4.

Légende de la Table II :
WDS : index du couple dans le WDS Catalog
Nom : Nom « découvreur » du couple
Époque J : époque julienne de l'observation
Rhô min : distance angulaire minimale en seconde d'arc entre la solution 1D et la position calculée
Thêta : intervalle possible de l'angle de position déduit de la solution 1D, lequel couvre un demi-cercle
Obs. : trigramme des observateurs
Orb. : valeur du grade de l'orbite si celle-ci existe
Notes : commentaires sur l'observation : physique ou non (d'après le WDS), dernière mesure du WDS, O-C dans le cas de double ayant fait l'objet d'un calcul d'orbite.

Table II : Étoiles avec solution astrométrique unidimensionnelle

WDS	Nom	Époque J	Rhô min (")	Thêta (°)	Obs.	Orb.	Notes
J06389+2748AB	STT 151	2024.360	25.232 ± 0.972	16.0-196.0	JDE	-	Non physique, dernière mesure : 2015, 28.709", 130.5°
J07128+2713AB	STF 1037	2024.810	0.406 ± 0.037	154.4-334.4	JMR	2	Physique, dernière mesure : 2024, 0.690", 298.50° O-C=17 mas.
J23092-0719	STF 2980	2025.011	2.146 ± 0.107	356.3-176.3	BGA	-	Physique, dernière mesure : 2016, 4.613", 107.9°
J02411+1848	STF 291	2025.022	3.231 ± 0.054	39.1-219.1	FGA	-	Physique, dernière mesure : 2020, 3.388", 117.8°
J06200+2826AB	BU 895	2025.107	0.057 ± 0.018	128.3-308.3	JDE	2	Physique, dernière mesure 2023, 0.129", 277.2°
J05270+2737AB	HO 226	2025.329	0.5020258 ± 0.046	43.2-223.2	RCA	4	Physique, dernière mesure : 2025, 0.590", 95.70°, O-C=29 mas.
J03463+2411	BU 536	2025.699	0.317 ± 0.028	354.6-174.6	WUE	4	Physique, dernière mesure : 2016, 1.090", 177.80° O-C= 247 mas
J04385+2656AB	STF 572	2026.151	0.138 ± 0.123	186.9-6.9	RJ1	4	Physique, dernière mesure : 2021, 4.469", 188.30° O-C=62 mas.
J06034+2738AB	STF 830	2026.303	11.122 ±- 0.324	187.1-7.1	PLA	-	Non physique, dernière mesure : 2019, 11.412", 263.70°
J06034+2738AC	STF 830	2026.303	0.967 ± 0.928	186.0-6.0	PLA	-	Physique, dernière mesure : 2017, 25.51", 188.8°

La figure 3 illustre le cas de 4 couples orbitaux pour lesquelles une solution unidimensionnelle a pu être déduite des observations d'occultations par la Lune. Ces graphiques ont été élaborés à partir de ceux contenus dans le catalogue Orb6 [6].

La position possible du compagnon figure sous la forme d'une ligne verte.

Le symbole carré orange indique la position de l'étoile secondaire à l'époque de l'observation, telle qu'elle est donnée par l'orbite théorique.

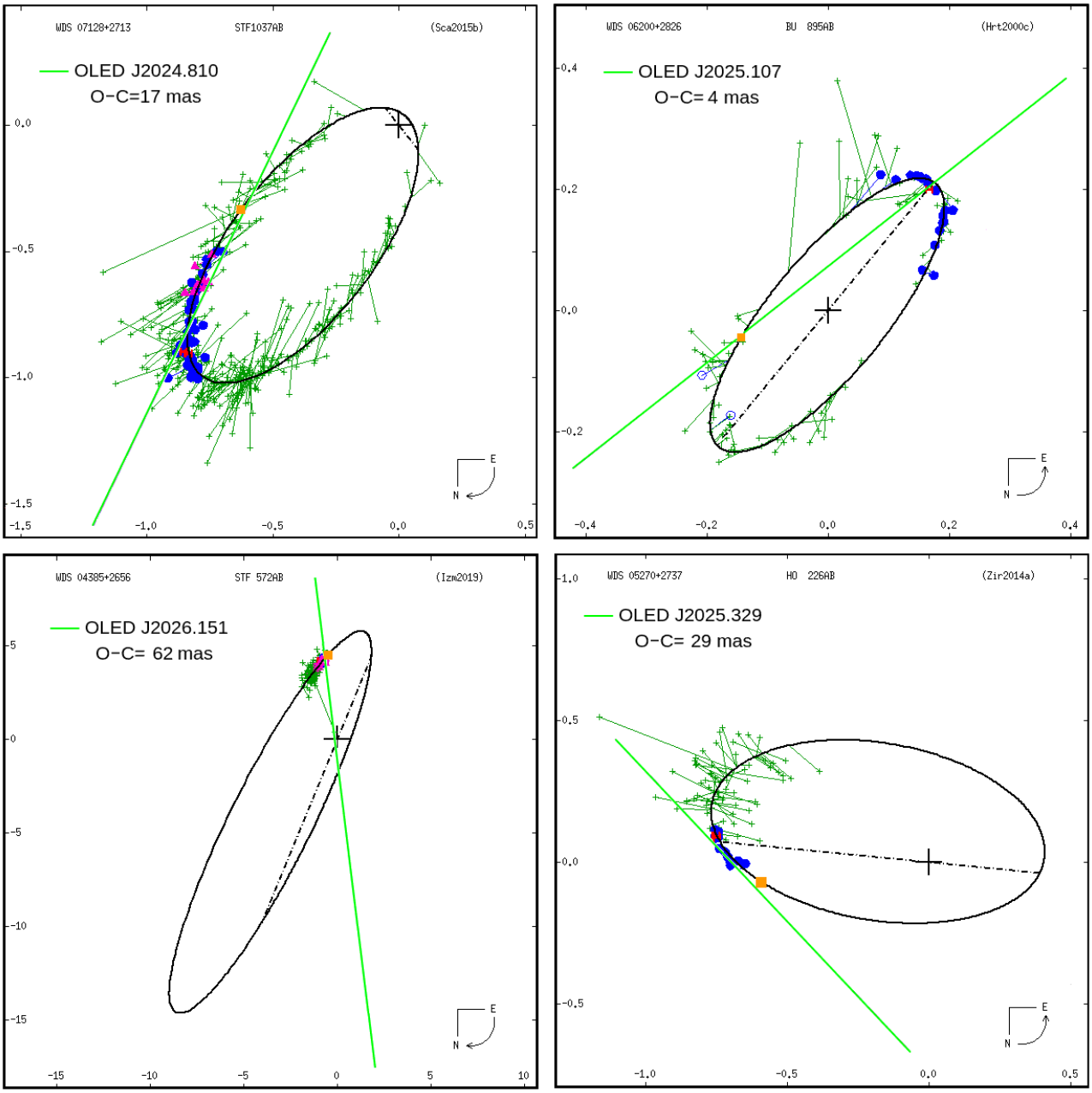


Figure 3. Graphiques montrant les mesures et les orbites telles qu'elles apparaissent dans le catalogue WDS pour quatre des étoiles étudiées : WDS J07128+2713 (observateur : JMR), J06200+2826 (JDE), J04385+2656 (RJ1) et J05270+2737 (RCA). Les solutions unidimensionnelles obtenues à partir de nos observations d'occultations par la Lune sont superposées (ligne verte). Le symbole carré orange indique la position de l'étoile secondaire à l'époque de l'observation, telle qu'elle est donnée par l'orbite calculée. La valeur de O–C est définie comme la distance angulaire minimale entre la position calculée et la solution unidimensionnelle. Les deux étoiles de la rangée supérieure possèdent des orbites de grade 2, tandis que celles de la rangée inférieure ont des orbites de grade 4. Comme on pouvait s'y attendre, les valeurs de O–C sont plus grandes pour ces dernières (voir la table VII pour les noms complets et la localisation des stations des observateurs).

2.3 Étoiles avec solution astrométrique bidimensionnelle

La table III ci-dessous regroupe les étoiles pour lesquelles une astrométrie complète (séparation relative et angle de position) a pu être déterminée grâce à un nombre suffisant d'observations. Bien que cette liste soit encore courte, nous souhaitons souligner l'intérêt de la technique des occultations par la Lune, qui permet de mesurer des séparations très faibles, inaccessibles aux techniques d'imagerie directe et d'interférométrie des tavelures réalisées avec une instrumentation d'amateur.

Nous espérons que, grâce à la poursuite des observations par les membres du projet OLED, certaines des solutions 1D présentées dans la Table II pourront être utilisées ultérieurement et ainsi d'obtenir l'astrométrie complète de ces couples.

Légende de la Table III :
WDS : index du couple dans le WDS Catalog
Nom : Nom « découvreur » du couple
Époque J : époque julienne de l'observation
Obs. : trigramme des observateurs
Rhô : distance angulaire mesurée entre les composantes
Thêta : angle mesuré entre le Pôle Nord Céleste et la ligne reliant les deux composantes
Notes : commentaires sur l'observation.

Table III : Étoiles avec solution astrométrique bidimensionnelle

WDS	Nom	Époque J	Obs.	Rhô (")	Thêta (°)	Notes
J05450+2812	COU 762	2024.133	JAI, JDE	0.23 ± 0.03	79.9 ± 4.6	Nature incertaine, dernière mesure : 2016 : 0.15", 51.7° 18 observations
J09415+1753	A 2481	2024.294	JAI, JDE, ASC, PBE, PLA	0.32 ± 0.06	330.8 ± 8.6	Nature incertaine, dernière mesure : 2017, 0.361", 339.7° 23 observations
J11061+0702	STF 1507	2024.524	JDE, JAI, JMA, JMR	9.34 ± 0.73	185.3 ± 22.4	Binaire physique sans orbite, dernière mesure : 2016, 8.454", 165.1° 39 observations
J19025-2839AB	HLD 33	2024.850	FGA, JDE, RJL	2.160 +/- 0.030	57.49 ± 2.0	Nature incertaine, dernière mesure : 2016, 2.183", 52.8°, 26 observations
J21537-1645AB	HJ 615	2024.858	EV1, GAV, PM4	11.97 ± 1.17	65.0 ± 2.0	Binaire physique sans orbite, dernière mesure : 2016, 12.459", 66.1°, 21 observations
J03334+2322AC	STT 57	2025.025	JDE, RCA	69.418 ± 0.008	33.3 ± 0.1	Nature incertaine, dernière mesure : 2017, 68.7", 33.1°, 43 observations
J02589+2137	BU 525	2025.697 2025.697 2025.997	EV1 RJL JMR	0.48 ± 0.05 (J2025.797)	284.3 ± 5.0 (2025.797)	Binaire physique avec orbite de grade 4, O-C (ρ)= -55 mas, O-C (θ) = 5.3° 196 observations
J02592+2120AB	STF 333	2025.697 2025.697 2025.997 2025.997	EV1 RJL JMR KGU	1.40 ± 0.12 (J2025.847)	210.3 ± 11.1 (J2025.847)	Binaire physique avec orbite de grade 4, O-C (ρ) = 125 mas, O-C (θ) = -0.2° 471 observations
J18560-2808	SEE 364	2025.82	FGA, RJ1, GAV	0.93 ± 0.13	128.7 ± 8.3	Nature incertaine, dernière mesure : 2016, 0.915",126.5°, 21 observations
J06364+2717	STT 149	2026.155	FGA, GAV, PLA	0.66 ± 0.06	266.2 ± 1.8	Binaire physique avec orbite de grade 2, O-C (ρ) = -33 mas, O-C (θ) = -4.5° 179 observations

Quelques explications peuvent être données pour justifier les incertitudes élevées de certaines mesures. La cause majeure réside dans la proximité géographique des stations d'observations. L'occultation intervient alors sur des zones voisines du limbe lunaire qui se présente aux deux observateurs sous des inclinaisons peu différentes. Parfois les irrégularités du relief lunaire peuvent malencontreusement aussi aboutir au même effet, même pour des stations éloignées.

La figure 4 montre l'astrométrie de WDS J02589+2137, un couple dont l'orbite est de grade 4 et qui nécessite de nouvelles mesures susceptibles de conduire à son amélioration.

La figure 5 présente une nouvelle mesure de J06364+2717, une étoile double dont l'orbite, de grade 2, est bien déterminée. Cette étoile avait déjà été mesurée par notre groupe il y a trois ans (J2023.163), mais les courbes de lumière étaient affectées par un niveau de bruit élevé, ce qui avait dégradé la qualité de la mesure et conduit à une valeur de O–C de 199 mas. La nouvelle observation ramène cette valeur à 61 mas. Notons qu'entre les deux observations, l'orbite calculée prédit une diminution de 25 mas de la séparation ρ et de 3° de l'angle de position θ, des variations largement supérieures aux incertitudes estimées pour la mesure de J2023.163.

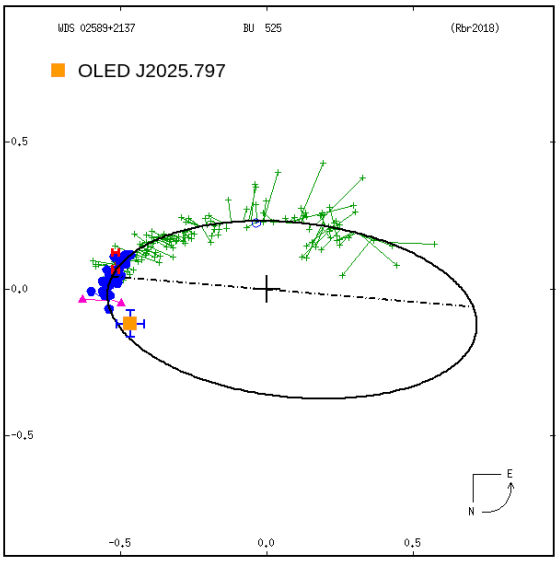
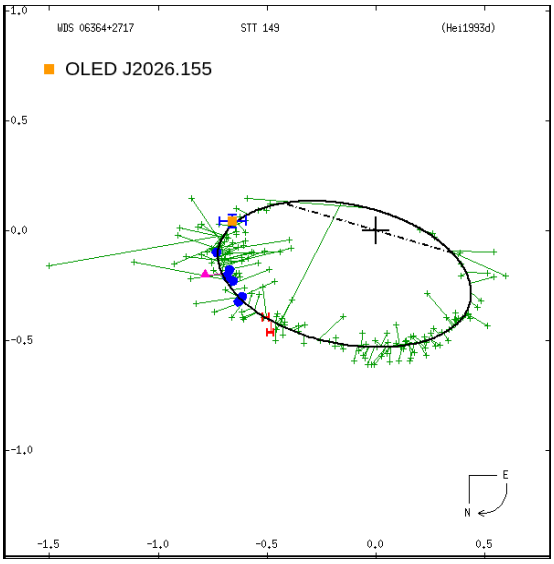


Figure 4. Orbite de WDS J02589+2137, montrant l'ensemble des mesures astrométriques obtenues à ce jour ainsi que l'orbite actuellement adoptée, classée au grade 4. La période orbitale est de 505 ± 126 ans. La nouvelle mesure issue du projet OLED est indiquée par un carré orange, accompagné de son incertitude estimée. Cette mesure, ainsi que de futures observations, contribuera à une meilleure détermination des paramètres orbitaux.



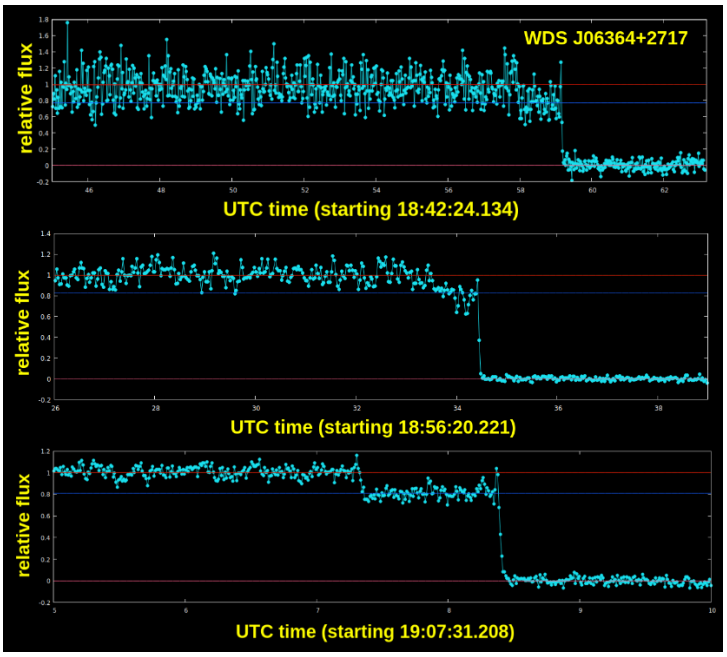


Figure 5. À gauche, orbite de WDS J06364+2717, une étoile double dotée d'une orbite bien déterminée de grade 2. La nouvelle mesure obtenue dans le cadre du projet OLED est indiquée par un carré orange, avec les incertitudes associées. La mesure OLED est très proche de la position orbitale prédite (O-C=61 mas). À droite : les 3 courbes de lumière ayant permis de produire la mesure, obtenues respectivement par FGA, GAV et PLA (voir la table VII pour les noms complets et la localisation des stations des observateurs).

2.4 Étoiles du catalogue Gaia DR3 Non-Single-Star

La Table IV résume les résultats obtenus pour des étoiles figurant dans le catalogue Gaia DR3 des étoiles non simples (Gaia DR3 NSS). Ces étoiles constituent un ensemble d'objets non résolus par Gaia mais présentant un mouvement accéléré, ainsi que d'étoiles non résolues dont les observations ont néanmoins permis un ajustement orbital. Ces étoiles sont d'excellentes candidates pour une confirmation de duplicité par la technique des occultations par la Lune.

Malheureusement, parmi les 12 étoiles observées, une seule des courbes de lumière obtenues a montré une duplicité. Dans le cas favorable de cette étoile, PPM157155, nous avons pu obtenir une solution 1D qui a fourni une limite inférieure pour la séparation entre les composantes de seulement 7 mas (figure 6).

Cependant, la valeur moyenne de O–C (en prenant la valeur absolue des résidus) pour les 11 observations restantes est de 41 mas, soit plus du double de la valeur attendue pour des étoiles simples ne présentant aucune accélération (19 mas compte tenu des incertitudes observationnelles actuelles et de la précision des calculs du projet OLED).

Même lorsqu'aucune duplicité n'est visible dans la courbe de lumière, celle-ci peut néanmoins laisser une signature dans la valeur de O–C, en raison du décalage de l'étoile par rapport à sa position de catalogue, laquelle est calculée en supposant un mouvement rectiligne uniforme.

Ce résultat suggère que la plupart des étoiles observées présentent effectivement un mouvement accéléré, comme l'indique l'analyse détaillée des mesures de Gaia (catalogue Gaia DR3 NSS), et que le modèle standard de mouvement rectiligne uniforme adopté dans le catalogue principal Gaia DR3 n'est pas adapté à ces étoiles.

Malheureusement, il semble que notre précision actuelle ne soit pas suffisante pour détecter la duplicité de la plupart de ces étoiles, soit parce que leur séparation est beaucoup trop faible, soit parce que les compagnons sont invisibles ou trop faibles pour laisser une trace détectable dans nos courbes de lumière.

Les occultations d'étoiles du catalogue Gaia DR3 NSS continueront à être suivies par le projet OLED. Une analyse fondée sur un ensemble plus important d'occultations sera présentée ultérieurement dans un article spécifique.

Légende de la Table IV :
Gaia DR3 : Identification dans le catalogue Gaia DR3
Autre désignation : désignation dans le catalogue PPM
Mag. : magnitude dans la bande V issue du catalogue Tycho-2
Époque J : époque julienne de l'observation
Obs. : trigramme des observateurs
O-C : distance angulaire entre la position observée et la position catalogue corrigée linéairement pour l'époque d'observation. Permet de confirmer le mouvement accéléré de l'étoile, signe d'une possible duplicité.
Notes : commentaires sur l'observation.

Notes types :

(1) Aucune duplicité n'a été mise en évidence sur la courbe de lumière
(2) La valeur O-C est anormalement élevée ce qui peut indiquer un mouvement fortement accéléré
(3) La valeur O-C est modérément élevée ce qui peut indiquer un mouvement accéléré

Table IV : Étoiles du catalogue Gaia DR3 Non-Single-Star

Gaia DR3	Autre désignation	Mag.	Époque J	Obs.	O-C (")	Notes
2552505046902931456	PPM 143909	+9.84	2023.968	PLA JFC	+0.006 +0.023	(1)
6281196847844716288	PPM 229373	+8.23	2024.089	RJL	-0.013	(1)
621234686852604800	PPM 126703	+9.76	2024.294	PLA	-0.093	(1), (2)
2547462686579647488	PPM 143536	+9.33	2024.566	RJL	-0.002	(1)
3443303009514918784	PPM 094795	+8.42	2025.031	RJL	-0.055	(1), (3)
62595098187250048	PPM 092444	+8.62	2025.099	PLA	+0.025	(1), (3)
108606322618018432	PPM 092117	+9.43	2025.697	RJL	-0.024	(1), (3)
6833012455032730240	PPM 238645	+8.73	2025.904	PLA	+0.041	(1), (3)
2741005178634577664	PPM 143326	+9.14	2025.989	PLA	+0.022	(1), (3)
150694566874541824	PPM 093355	+7.18	2026.224	PLA	-0.149	(1), (2)
676485975078637056	PPM 098528	+8.34	2026.309	PLA	-0.108	(1), (2)
3865532551368281984	PPM 157155	+8.20	2026.317	WUE	-0.055	Duplicité mise en évidence, solution 1D obtenue : séparation projetée de 0.007" ± 0.004"

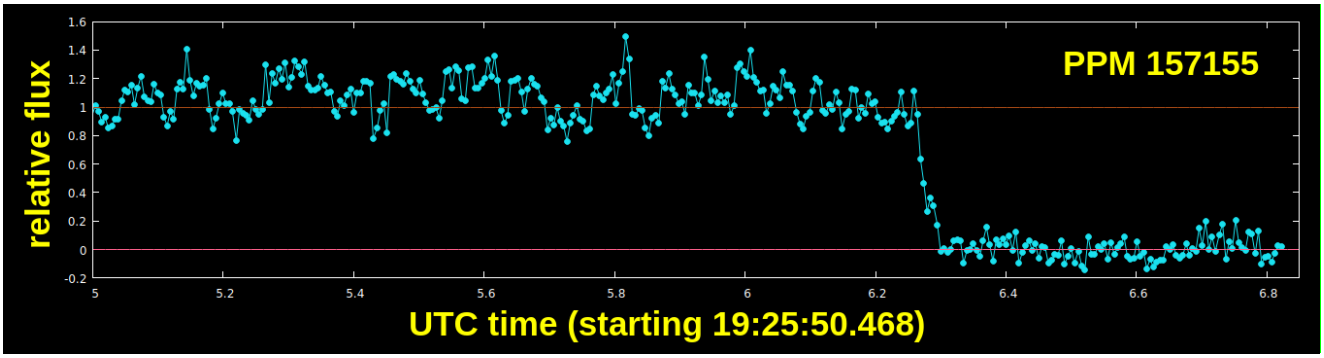


Figure 6. Courbe de lumière obtenue pour PPM157155 (WUE), montrant un discret palier. L'étoile n'est pas référencée dans le WDS en tant que couple, mais contenue dans la base de données de l'IOTA par suite d'une précédente observation par occultation. Le projet OLED a pu confirmer sa duplicité, et proposer une solution 1D avec une séparation minimale de seulement 7mas.

2.5 Étoiles simples

La table V regroupe l'ensemble des occultations d'étoiles simples observées, aucune d'entre elles ne montrant le moindre signe de duplicité. La plupart de ces étoiles appartiennent au catalogue PPM (*Position and Proper Motion*). Pour les rares étoiles qui n'y figurent pas, c'est la référence du catalogue Tycho qui est fournie.

Le suivi des étoiles simples présente un réel intérêt, car certaines d'entre elles pourraient révéler des indices de duplicité. De plus, plusieurs observations réalisées sur une période de quelques années peuvent conduire à une mesure astrométrique précise. Celle-ci peut, dans certains cas, mettre indirectement en évidence la présence possible d'un compagnon non résolu ou invisible si l'étoile présente un mouvement accéléré. C'est notamment le cas lorsque la position déduite de l'observation n'est pas compatible avec celle prédite par le modèle de mouvement rectiligne uniforme adopté par le catalogue Gaia.

Légende de la Table V :
Identifiant : identifiant dans le catalogue PPM ou, à défaut, dans le catalogue Tycho
Mag. : magnitude dans la bande V issue du catalogue Tycho-2
Époque J : époque de l'observation en date julienne
Obs. : trigramme des observateurs
O-C : distance angulaire entre la position observée et la position catalogue corrigée linéairement pour l'époque d'observation. Permet de détecter un mouvement accéléré de l'étoile.
Notes : (1) dans le cas où la valeur O-C est significativement élevée, ce qui peut mettre en évidence un mouvement accéléré. La valeur seuil adoptée est de 50mas.

Table V : Étoiles simples

Identifiant	Mag.	Époque J	Obs.	O-C (")	Notes
PPM 117669	+7.05	2023.897	RJL	-0.006	
PPM 117672	+8.77	2023.897	RJL	+0.000	
PPM 126511	+9.00	2023.920	RJL	+0.021	
PPM 239845	+7.31	2023.960	RJL	-0.038	
PPM 239849	+9.06	2023.960	RJL	-0.018	
PPM 208117	+9.19	2023.965	RJL	-0.060	(1)
PPM 208164	+10.08	2023.965	RJL	-0.031	
PPM 143903	+9.86	2023.968	PLA	-0.001	
PPM 117500	+8.38	2023.971	RJL	+0.006	
PPM 092249	+7.50	2024.050	FGA	-0.015	
PPM 144274	+8.66	2024.119	FGA	-0.028	
PPM 092822	+8.45	2024.127	FGA	+0.071	(1)
PPM 092855	+8.67	2024.127	FGA	+0.103	(1)
PPM 098501	+9.20	2024.215	JFC	-0.016	
PPM 098550	+9.36	2024.215	JFC	+0.218	(1)
PPM 095386	+8.64	2024.283	FGA	-0.023	
PPM 095409	+9.51	2024.283	FGA	+0.088	(1)
PPM 126914	+8.54	2024.445	EVC	+0.005	

Identifiant	Mag.	Époque J	Obs.	O-C (")	Notes
PPM 195845	+6.26	2024.456	EVC	+0.000	
PPM 157512	+7.27	2024.524	JMR	-0.004	
PPM 157485	+4.62	2024.524	JMR	+0.001	
PPM 195582	+8.95	2024.529	EV1	+0.007	
PPM 269427	+8.60	2024.625	EV1	-0.012	
PPM 269382	+9.15	2024.625	EV1	-0.019	
PPM 271594	+8.87	2024.705	FGA	-0.094	(1)
PPM 736411	+10.32	2024.705	FGA	+0.000	
PPM 271596	+7.52	2024.705	FGA	-0.031	
PPM 098263	+8.18	2024.812	FGA	+0.028	
PPM 269223	+8.84	2024.849	FGA	-0.001	
PPM 269241	+10.06	2024.849	EV1	-0.030	
PPM 270566	+7.94	2024.852	EV1	-0.040	
PPM 270566	+7.94	2024.852	FGA	+0.058	(1)
PPM 270516	+4.85	2024.852	JMR	+0.043	
PPM 270516	+4.85	2024.852	FGA	+0.076	(1)
PPM 270571	+9.77	2024.852	EV1	+0.020	
PPM 270612	+8.27	2024.852	EV1	+0.013	
PPM 239467	+7.93	2024.852	EV1	+0.011	
PPM 239502	+8.59	2024.852	EV1	-0.020	
PPM 239091	+6.88	2024.932	EV1	-0.021	
PPM 239074	+8.92	2024.932	EV1	-0.012	
PPM 239101	+7.17	2024.932	EV1	+0.004	
PPM 117774	+7.45	2024.945	FGA	-0.014	
PPM 174650	+7.27	2025.014	FGA	+0.018	
PPM 181730	+6.84	2025.014	FGA	+0.028	
PPM 143942	+7.49	2025.017	FGA	-0.010	
PPM 144008	+8.87	2025.017	FGA	-0.032	
PPM 117606	+8.58	2025.019	FGA	-0.012	
PPM 117613	+9.25	2025.020	FGA	+0.016	
PPM 092667	+6.73	2025.025	FGA	-0.022	
TYC 617-186-1	+10.34	2025.093	FGA	+0.027	
TYC 617-1049-1	+10.29	2025.093	FGA	+0.014	
TYC 617-366-1	+10.76	2025.093	FGA	-0.010	
TYC 617-63-1	+10.47	2025.093	FGA	+0.030	
PPM 117936	+9.67	2025.170	FGA	+0.041	
PPM 092783	+8.22	2025.249	FGA	+0.009	
PPM 092795	+9.11	2025.249	FGA	-0.093	(1)
PPM 092843	+7.92	2025.250	FGA	+0.000	
PPM 096884	+8.96	2025.258	FGA	+0.015	
PPM 099039	+8.64	2025.263	FGA	-0.001	
PPM 127417	+6.63	2025.269	FGA	-0.024	
PPM 157349	+7.38	2025.345	FGA	-0.016	
PPM 195907	+9.60	2025.427	JDE	-0.012	
PPM 228288	+8.58	2025.507	EV1	-0.006	
PPM 228298	+7.68	2025.507	EV1	-0.042	
PPM 264656	+7.74	2025.512	EV1	-0.036	
PPM 267274	+7.89	2025.668	EV1	-0.013	
PPM 267279	+8.31	2025.668	EV1	-0.030	
PPM 267271	+8.28	2025.668	EV1	-0.068	(1)
PPM 269119	+9.43	2025.821	RJ1	-0.047	
PPM 143221	+7.51	2025.838	RJ1	+0.027	
PPM 143220	+8.16	2025.838	RJ1	-0.007	
PPM 095875	+8.34	2025.855	RJL	-0.026	
PPM 238645	+8.73	2025.904	PLA	+0.041	
PPM 094560	+8.25	2026.153	FGA	+0.002	
PPM 094237	+9.32	2026.227	FGA	-0.015	
PPM 094254	+8.68	2026.227	GAV	+0.019	
PPM 094294	+6.33	2026.227	FGA GAV	-0.024 -0.044	
TYC 1855-232-1	+9.92	2026.227	FGA	+0.039	
PPM 094231	+9.07	2026.227	FGA	-0.009	
PPM 095838	+9.84	2026.229	JAI	-0.029	

Identifiant	Mag.	Époque J	Obs.	O-C (")	Notes
PPM 095875	+8.34	2026.230	EV1	-0.085	(1)
PPM 095463	+9.49	2026.304	FGA	+0.020	
PPM 098432	+8.03	2026.309	PLA	-0.014	
PPM 098470	+9.29	2026.309	PLA	-0.052	(1)
PPM 098488	+8.78	2026.309	PLA	+0.004	
PPM 098545	+8.46	2026.309	PLA	-0.054	(1)
TYC 1927-1035-1	+10.30	2026.309	PLA	-0.009	
PPM 126124	+8.17	2026.312	PLA	-0.015	
PPM 126146	+9.03	2026.312	PLA	-0.045	

2.6 Contributeurs

Table VI : liste des observateurs ayant contribué aux mesures présentées dans ce rapport et localisation de leurs stations d'observation

Acronyme	Nom	Lieu
ASC	Esteban Donate	Vega del Codorno, Cuenca (Espagne)
BGA	Bernat Garreta	Sant Guim de Freixenet, Lleida (Espagne)
EVC	Enrique Velasco	Miraflores de la Sierra (Espagne)
EV1	Enrique Velasco	Becerril de la Sierra (Espagne)
FGA	Faustino García	Valdés, Asturias (Espagne)
GAV	Gonzalo Arrarás	Arizaleta, Navarra (Espagne)
JAI	Jaime Izquierdo	Madrid (Espagne)
JDE	Javier de Elías	Majadahonda, Madrid (Espagne)
JFC	Jean-François Coliac	Marseille (France)
JMA	Josep Masalles	Vilanova i la Geltrú, Barcelona (Espagne)
JMR	Jordi Marco	Barcelona (Espagne)
KGU	Konrad Guhl	Brandenburg (Allemagne)
PBE	Pedro Benedicto	Madrid (Espagne)
PMP	Pablo Molina	Tenerife (Espagne)
PM1	Pablo Molina	Universidad de La Laguna, Tenerife (Espagne)
PM3	Pablo Molina	Santa Úrsula, Tenerife (Espagne)
PM4	Pablo Molina	Madrid (Espagne)
PM5	Pablo Molina	Tenerife (Espagne)
PLA	Philippe Laurent	Barjols (France)
PWU	Patrick Wullaert	Châtillon-sur-Loire (France)
RCA	Ricard Casas	Torroella, Girona (Espagne
RC1	Ricard Casas	Sabadell, Barcelona (Espagne)
RJL	Rosendo Jorba	Caraquiz, Guadalajara (Espagne)
RJ1	Rosendo Jorba	Caraquiz, Guadalajara (Espagne)
WUE	Niko Wünsche	Biesenthal (Allemagne)

3. Conclusion

Le lecteur aura certainement constaté le nombre réduit de mesures complètes (ρ, θ) obtenues par le projet sur la période couverte par ce rapport. Cela résulte d'une baisse significative du nombre des observations, constatée notamment en 2025. Heureusement, nous constatons sur le début de l'année 2026 une hausse de celles-ci ainsi que l'arrivée de nouveaux observateurs en France, en Allemagne et au Royaume Unis. Nous pensons donc que l'année 2026 permettra de recueillir un nombre de mesures en hausse significative et nous espérons que cette tendance se maintiendra les années suivantes.

Ce second rapport montre encore le grand potentiel de la méthode d'observation d'étoiles doubles (ou potentiellement doubles) par occultation par la Lune. Rappelons que s'il ne faut pas en attendre la fourniture de résultats en masse, elle reste néanmoins très pertinente pour :

- Obtenir des mesures de couples très serrés inaccessibles par d'autre méthodes en utilisant une instrumentation d'amateur,
- Révéler des positions (α, δ) d'étoiles incompatibles avec un mouvement linéaire déduit des données Gaia DR3, ce qui peut être un signe de duplicité pour des couples trop serrés pour être mise évidence au travers de leur courbe de lumière.

Remerciements

Des ressources informatiques essentielles au projet OLED ont été mises à disposition par l'Universidad Autónoma de Madrid, que nous remercions chaleureusement.

La base de données astronomiques Simbad (CDS, Strasbourg) et les archives Gaia ont été largement utilisées pour la préparation des résultats présentés dans ce document. Le moteur de recherche du catalogue WDS et d'autres bases de données (https://www.stelledoppie.it ou https://wdstool.com/) ont également été très utiles à différents stades du projet. De même, ce travail a utilisé le catalogue d'étoiles doubles de Washington et le sixième catalogue d'orbites d'étoiles binaires visuelles, maintenus à l'USNO (United States Naval Observatory).

Enfin, nous aimerions remercier tout particulièrement les observateurs du projet OLED, sans les efforts et le dévouement desquels il aurait été impossible d'obtenir les résultats présentés dans ce rapport.

Références

[1] Projet OLED : Occultations d'étoiles doubles par La Lune - Rapport annuel #1 (2021-2024), E. Velasco et P. Laurent, Étoiles Doubles 8, 1 (Juin 2024)

[2] The Washington Double Star Catalog, https://crf.usno.navy.mil/wdstext

[3] Projet OLED : occultations d'étoiles doubles par la Lune, E. Velasco et P. Laurent, Étoiles Doubles 7, 2 (Décembre 2023)

[4] Projet OLED. Rapport technique n° 1. Méthodes d'analyse. E. Velasco
https://astroserver.ftmc.uam.es/oled/projectOLED_procedures.pdf

[5] Catalogue of Lunar Occultations-1D Solutions, https://astro-oled.es/clo1d.html

[6] Sixth Catalog of Orbits of Visual Binaries, https://www.astro.gsu.edu/wds/orb6.html

Enrique Velasco

Professeur titulaire de physique théorique de la matière condensée à l'Universidad Autónoma de Madrid, mes recherches couvrent la physique statistique des liquides complexes et la simulation informatique de systèmes dynamiques de particules et de champs. Je suis astronome amateur, membre de l'Agrupación Astronómica de Madrid depuis 1979 (actuellement responsable de la section de recherche). J'anime des cours sur le calcul astronomique pour les amateurs et j'observe le ciel, notamment les occultations lunaires.

Philippe Laurent

Ingénieur en électronique de formation, je suis astronome amateur depuis mon plus jeune âge. Membre de la Commission des étoiles doubles de la SAF depuis 2010, j'ai pu approfondir ce domaine de l'astronomie qui m'a toujours passionné et me consacrer à des travaux apportant une contribution scientifique, même modeste. Récemment, j'ai porté un intérêt particulier aux occultations d'étoiles doubles par la Lune.