

MESURES D'ÉTOILES DOUBLES AVEC UN INSTRUMENT DE 25 CM DE DIAMÈTRE

Double stars measurements with a 25-cm instrument

Simon de Visscher

E-mail: simon.devisscher@protonmail.com



Résumé

Cette note présente les mesures d'une vingtaine de couples d'étoiles dont la séparation varie entre approximativement 15 et 0.4 secondes d'arc. Les observations ont été faites en 2017 et 2018 avec un instrument de 25 cm de diamètre de type Dall-Kirkham depuis la Suisse. La réduction des données est entre autres basée sur l'utilisation du lucky imaging afin de réduire l'impact de la turbulence atmosphérique sur les mesures.

Abstract

This note documents the measurements of separation and orientation for 21 couples of stars. The separation ranges from roughly 15 to 0.4 arcsec. The observations were performed in Switzerland with a 25 cm f/12 Dall-Kirkham reflector, in 2017 and 2018. The data reduction is (among others) based on lucky imaging technique to mitigate the effect of turbulence.

Keywords: binaries : visual, atmospheric effects, astrometry



1 Introduction

Cette note constitue ma première présentation de mesures d'étoiles doubles, mesures basées sur de courtes observations effectuées les 15 et 16 octobre 2017, ainsi que le 23 mars 2018, depuis la région Nord-Vaudoise en Suisse (46.75° N, 6.72° E).

1.1 Instrumentation

L'instrumentation utilisée, mobile, est constituée d'un télescope de type Dall-Kirkham¹ de 250 mm de diamètre à f/12 (Takahashi Mewlon 250) installé sur une monture équatoriale motorisée (Takahashi EM-400). L'instrumentation n'étant pas installée dans un observatoire fixe, l'alignement polaire est effectué lors de l'installation du matériel à l'aide de la méthode de la dérive, permettant de minimiser l'angle entre l'axe polaire de la Terre et l'axe d'ascension droite de la monture. Cet angle est inférieur à la minute d'arc. Le capteur utilisé pour les acquisitions est le SONY IMX174 équipant la caméra Basler 1920-155um, qui compte 1936×1216 pixels de 5.86 microns de côté. Le rendement quantique est maximal autour de 500 nm, et reste supérieur à 30% entre ~360 et 750nm. L'échantillonnage est optimisé grâce à l'emploi d'une Powermate² x4 de Televue, ce qui permet d'obtenir une focale de 12 mètres. L'échantillonnage est alors de 0.1 seconde d'arc par pixel, ce qui correspond à un bon compromis entre résolution et magnitude limite des étoiles observables. Aucun correcteur de dispersion atmosphérique (ADC) ni filtrage particulier n'a été utilisé.

Le champ couvert par le capteur est de 3.2×2.0 minutes carrées d'arc. Si le Dall-Kirkham est une configuration optique très performante sur l'axe, la coma devient significative en dehors du

champ limité par la diffraction (C) et peut poser des problèmes lors de mesures de couples dont une voire deux composantes se retrouvent en dehors de C , en particulier à cause de l'étalement radial de la figure de diffraction dû à la coma. Dans le cas du Mewlon 250, les simulations montrent que C a un diamètre proche de 5 minutes d'arc (la Powermate n'ayant pas d'influence sur la coma), soit une valeur supérieure au champ couvert par le capteur avec un rapport F/D aussi important que celui utilisé pour ces mesures (diagonale de 3.8 minutes d'arc). Il n'y a donc aucune contre-indication à son utilisation dans le cas présent.

L'absence d'encodeurs sur la monture associée à un champ couvert par le capteur de 3.8 minutes d'arc de diagonale rend la précision de pointage de la monture trop faible pour permettre aux cibles de se retrouver centrées sur le capteur, surtout lors de déplacements de plusieurs dizaines de degrés. Un flip-mirror associé à un oculaire de focale moyenne est donc systématiquement utilisé pour identifier et centrer manuellement le couple à mesurer après le pointage automatique effectué à l'aide du logiciel libre Cartes du Ciel [1] et du driver ASCOM pour piloter le système électronique de pointage Temma équipant la monture [2].

1.2 Choix des cibles

Le choix des cibles est fait à partir du WDS [3] et du logiciel WdsPick [4], ce dernier permettant de filtrer les cibles selon plusieurs critères :

- En l'absence d'ADC et de filtrage je n'ai considéré que des cibles ayant une hauteur minimale de l'ordre de 60 degrés afin de minimiser l'effet de la dispersion atmosphérique. Quelques essais, non retenus dans cette note, effectués sur des cibles plus basses ont montré que l'étirement des taches de diffraction est très significatif et rend la mesure de couples serrés plus délicate.

¹ Télescope catadioptrique dont le primaire et le secondaire sont respectivement de formes ellipsoïdale et sphérique.

² Formule à 4 lentilles pouvant être considérée comme une évolution de la barlow classique qui est basée sur un doublet.

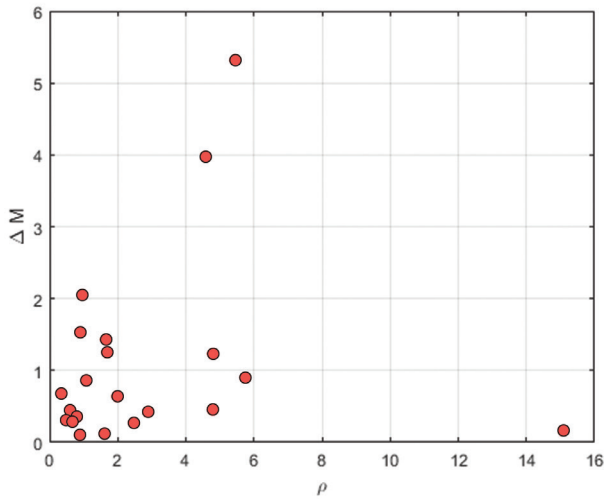


Figure 1 - Distribution des cibles dans le plan $\rho - \Delta m$.

- L'écartement minimal des composantes a été choisi en fonction de l'optique instrumentale qui a une résolution théorique proche de 0.5 secondes d'arc dans le vert (maximum de sensibilité du capteur IMX174). Une seule cible sous cette limite a été tentée.

- La différence de magnitude (Δm) des composantes a aussi été un critère de sélection, quelques essais ayant clairement montré que pour les couples serrés, la brillance du premier anneau de la figure de diffraction du composant le plus lumineux (assez importante du fait de l'obstruction centrale supérieure à 30%) posait une contrainte assez forte sur la différence de magnitude maximale. La figure 1 montre la liste des cibles reprises dans cette note dans le plan $\rho - \Delta m$: pour l'essentiel, les cibles ont un $\Delta m < 2$. Seules deux cibles ont un Δm largement supérieur, leur observation étant rendue possible grâce au fait que $\rho > 4$.

1.3 Acquisition, calibration et traitement

La turbulence atmosphérique est un des facteurs limitant les possibilités d'atteindre la résolution instrumentale. Pour contourner le problème, et de ce fait réduire l'impact de cette turbulence sur les incertitudes entachant les mesures, les moyens modernes d'acquisition et de traitement permettent l'utilisation du lucky imaging[5]. Cette technique consiste premièrement en l'acquisition de plusieurs milliers d'images avec des temps d'exposition courts, typiquement inférieurs à la demi-seconde. Dans le cas présent cette étape est effectuée avec le logiciel Genika[6], et l'enregistrement se fait en format brut avec une résolution dynamique de 8 bits, dans un fichier SER. Ensuite, un filtrage de ce lot d'images est appliqué selon des

critères de qualité idéalement non-corrélés avec les mesures de ρ et θ , et produit un sous-échantillon d'images (Ω), à partir duquel les mesures sont faites. Ce filtrage ainsi que l'extraction des valeurs de ρ et θ sont entièrement effectués à l'aide du logiciel REDUC [7].

La procédure de calibration permet de définir le repère dans lequel la séparation (ρ) ainsi que l'orientation (θ) du vecteur entre les composantes sont calculées. Cette opération est basée sur la mesure de couples étalons (D_{ref}) dont la séparation angulaire (ρ_{ref}) et l'orientation (θ_{ref}) sont tirées de la liste de 32 couples étalons mesurés par Hipparcos et actualisées avec les données de Gaïa DR2 par Philippe Laurent [8]. L'acquisition de D_{ref} est faite au moins au début et à la fin de chaque session, soit à quelques heures d'intervalle. Ceci permet de détecter un problème évident de faiblesse dans la mécanique instrumentale, en particulier une rotation de la caméra par rapport au ciel, mais c'est aussi une des sources d'erreurs systématiques à prendre en compte.

2 Réduction des données et erreurs systématiques

Comme expliqué dans la Section 1, la réduction des données et l'évaluation des valeurs ρ et θ sont faites à partir du sous-échantillon Ω . Deux méthodes de réduction sont utilisées en parallèle afin de minimiser le risque de biais éventuel.

Méthode 1 : alignement des images suivi par leur empilement et moyenne, qui fournit une estimation peu bruitée du couple stellaire. Les valeurs de ρ et θ sont évaluées en utilisant les centroïdes des étoiles.

Méthode 2 : autocorrélation, l'estimation de ρ et θ est faite à partir des centroïdes des pics secondaires de l'autocorrélation.

En règle générale la différence entre les deux méthodes est très petite si ρ est supérieur à ~ 1 seconde d'arc.

Les mesures de ρ (resp. θ) sur des mesures individuelles sont entachées d'incertitudes/erreurs expérimentales (ou systématiques) $\Delta\rho$ (resp. $\Delta\theta$) provenant de différentes sources. Celles-ci sont décrites dans la Table 1.

Les sources dominantes d'erreurs expérimentales sont liées à l'échantillonnage, i.e. la limitation liée à la taille du pixel projeté sur le ciel. Comme la procédure inclut deux mesures (D_{ref} et cible), leur valeur est doublée.

Viennent ensuite les erreurs sur ρ_{ref} et θ_{ref} , ainsi que la différence entre les résultats fournis par les deux méthodes.

Dans une approche conservatrice, les différentes erreurs systématiques sont simplement sommées, c'est à dire sans tenir compte d'éventuelles corrélations résiduelles. L'erreur finale est calculée comme la déviation standard des erreurs sur les mesures individuelles.

Erreur	Valeur	Remarque
Echantillonnage sur la mesure de D_{ref}	0.1"	Dominante
Echantillonnage sur la mesure de la cible	0.1"	Dominante
ρ_{ref} et θ_{ref}	Variable	Généralement très petite
Différences entre les méthodes 1 et 2	Variable	Très petite si $\rho \gtrsim 1$ seconde d'arc

Table 1 - Liste des sources d'erreurs systématiques prises en compte pour chaque mesure individuelle.

3 Résultats

Les résultats des mesures sont données dans la Table 2. La première colonne indique l'index WDS, la seconde donne le nom du couple stellaire, la troisième indique, si nécessaire, le label des composantes mesurées. Les colonnes suivantes donnent l'époque de la mesure en format décimal, θ , $\Delta\theta$, ρ , $\Delta\rho$, ainsi que le nombre d'observations (N). La dernière colonne indique si le couple possède une orbite calculée.

Il est intéressant de comparer les mesures présentées dans cette note avec les valeurs prédites sur la base des observations précédentes. Cela permet par exemple de vérifier la présence

de biais instrumental évident. Idéalement la comparaison ne doit se faire qu'avec des couples dont les orbites sont définitives (grade 1) ou très bien déterminées (grade 2), mais le faible nombre de mesures dont il est question dans cette note est dominé par des couples de grade 4.

La Table 3 présente les résidus o-c sur les couples orbitaux. Les colonnes indiquent le nom du système mesuré, les valeurs o-c sur θ et ρ , la référence de l'orbite et le grade de cette dernière. L'examen de ces résidus, bien que ne permettant pas de conclure concernant l'étalement des mesures, montre néanmoins qu'il n'y a pas de biais évident dans la prise de mesure et son traitement.

Table 2 - Mesures									
WDS Idx	Nom	Comp	Epoque	θ ["]	$\Delta\theta$ ["]	ρ ["]	$\Delta\rho$ ["]	N	Orbite
05293+2509	STF 716	AB	2018.224	210.75	0.71	4.79	0.23	2	
07223+5009	STF1065	-	2018.224	255.91	0.04	15.09	0.28	2	
09103+5223	STF1312	-	2018.224	148.81	0.11	4.79	0.21	2	
09104+6708	STF1306	AB	2018.224	347.61	0.01	4.58	0.21	2	O
09256+5401	STF1346	AB	2018.224	314.88	0.44	5.75	0.23	2	
10057+4103	A 2142	-	2018.224	291.45	0.51	1.07	0.21	2	
10260+5237	STF1428	-	2018.224	89.08	0.07	2.88	0.21	2	
10480+4107	STT 229	-	2018.224	256.55	3.34	0.69	0.26	2	O
11291+3920	STF1543	AB	2018.224	354.72	0.04	5.44	0.24	2	
11308+4117	STT 234	-	2018.224	181.27	3.92	0.34	0.25	2	O
13377+5043	STF1770	-	2018.224	122.67	1.00	1.68	0.24	2	
20020+2456	STT 395	-	2017.790	126.78	0.23	0.81	0.21	2	O
20035+3601	STF2624	AB	2017.790	174.12	0.32	1.98	0.2	5	
20396+4035	STT 410	AB	2017.790	2.85	0.33	0.88	0.21	5	O
20474+3629	STT 413	AB	2017.790	0.43	1.14	0.90	0.22	3	O
21208+3227	STT 437	AB	2017.790	19.26	0.14	2.47	0.21	3	O
21441+2845	STF2822	AB	2017.790	320.00	0.71	1.65	0.21	2	O
22029+4439	BU 694	AB	2017.790	6.45	0.87	0.96	0.22	3	
22044+1339	STF2854	-	2017.790	83.81	0.01	1.61	0.21	2	
22431+4710	STT 476	A,BC	2017.790	290.48	0.34	0.51	0.22	3	
23340+3120	BU 720	-	2017.790	106.16	0.70	0.62	0.22	2	O

Table 2 - Liste des couples stellaires mesurés.

Table 3 - Résidus				
Système	o-c θ ["]	o-c ρ ["]	Référence	Grade
STF1306 AB	+0.8	+0.09	Izm2019	4
STT 229	+0.7	+0.05	Alz2020c	3
STT 234	-3.5	-0.07	Doc2009g	2
STT 395	-0.3	-0.04	Zir2013a	4
STT 410 AB	-0.7	+0.02	Izm2019	4
STT 413 AB	-0.9	-0.00	Izm2019	4
STT 437 AB	+0.2	+0.03	Izm2019	4
STF2822 AB	-0.4	+0.08	Izm2019	3
BU 720	+0.5	+0.04	Mut2010e	4

Table 3 - Résidus sur les couples orbitaux.

4 Conclusion et perspectives

Ces résultats sont mes premières mesures d'étoiles doubles. La quantification des valeurs θ et ρ est abordable pour le débutant qui observe des étoiles doubles peu serrées avec les moyens modernes dont dispose désormais l'astronome amateur. Cela concerne en particulier l'utilisation de capteurs à bas bruit, de suites informatisées de traitement et de réduction des séquences. Mais d'un autre côté, cette première expérience en tant que dupliciste fait aussi ressortir la complexité des mesures concernant les couples dont l'écartement est suffisamment petit pour que les figures de diffraction se superposent de manière significative, et ce d'autant plus que l'instrument est obstrué et que le Δm est grand.

Les perspectives pour les duplicistes ont été fortement impactées par les données (DR2) de GAIA, de par la précision avec laquelle la position de millions d'étoiles a pu être quantifiée, précision absolument indépassable avec les moyens classiques d'observation. Ceci étant, ces mesures ont été faites sur un laps de temps court en comparaison aux périodes typiques de révolution de couples orbitaux visuels, et ne garantissent de ce fait pas forcément l'établissement d'orbites précises. De plus, la limite inférieure sur la résolution angulaire de GAIA est de l'ordre de 0.4 voire 0.5 secondes d'arc. Ceci laisse une belle marge de manœuvre pour des instruments de plus de 300mm de diamètre.

L'été 2021 verra la mise en place d'un télescope de Newton de 400 mm en remplacement du Dall-Kirkham de 250 mm. L'utilisation d'une caméra basée sur le capteur IMX290 ou IMX178 dont le bruit RMS de lecture proche de 1 ou 2 e^- permettra d'aller chercher des couples de magnitude bien plus faible que ceux discutés dans cette note. Si la turbulence le permet, un filtrage vert ou bleu pourrait également être utilisé afin d'affiner la figure de diffraction. En outre, l'utilisation d'un correcteur de dispersion atmosphérique sera systématique afin de ne pas réduire le champ d'investigation à la région zénithale ± 30 degrés. L'utilisation du lucky imaging devrait permettre d'exploiter les 400 mm de diamètre sous un ciel de plaine tel que celui considéré dans cette note. L'évaluation des erreurs systématiques doit aussi passer par une compréhension fine des biais de mesures dans le plan $\rho-\Delta m$, qui, s'ils sont faibles pour les couples bien écartés au sens de la résolution de l'instrument, sont certainement très significatifs pour les couples serrés, d'autant plus si Δm est grand.

Cela complexifie les opérations et prend du temps sur les mesures des cibles intéressantes (d'autant plus que les couples étalons ne sont pas légion), mais c'est probablement inévitable si l'on veut rendre les mesures robustes.

5 Remerciements

Mes remerciements vont d'abord à Jocelyn Sérot : nos conversations en 2016 à propos de l'observation et des mesures d'étoiles doubles ont piqué ma curiosité et m'ont donné l'envie d'essayer de faire quelques mesures. Son expérience, ses conseils avisés et sa patience face à mes nombreuses questions ont permis d'accélérer mon apprentissage dans le domaine. Je remercie aussi Florent Losse pour son aide précieuse concernant l'utilisation de son excellent logiciel REDUC, qui simplifie considérablement cette étape délicate qu'est la réduction des données, et pour son aide dans l'obtention des valeurs O-C actualisées en date des observations. Cette recherche a été faite sur base du Washington Double Star Catalog [3] maintenu par l'U.S. Naval Observatory, ainsi que du site web "Stelle doppie" de Gianluca Sordiglioni [9].

Références

- [1] P. Chevalley. <https://www.ap-i.net/skychart/fr/start>.
- [2] CCDAstro. <https://ccdaastro.net/temma.html>.
- [3] USNO. <https://www.usno.navy.mil/USNO/astrometry/optical-IR-prod/wds/WDS>
- [4] J. Sérot. <http://www.astrosurf.com/legalet/AstroFR/WdsPICK.html>
- [5] D. L. Fried, Probability of getting a lucky short-exposure image through turbulence, J. Opt. Soc. Am., vol. 68, pp. 1651-1658, Dec 1978.
- [6] AiryLab. <http://airylab.fr/solution-dimagerie/introduction-de-genika/>.
- [7] F. Losse, "REDUC." <http://www.astrosurf.com/hfosaf>.
- [8] Eklablog. <http://etoiledoubles.eklablog.com>.
- [9] G. Sordiglioni. <https://www.stelledoppie.it>.



Simon de Visscher

Les yeux tournés vers le ciel depuis le début des années 90, ma pratique de l'astronomie est multiple. Cela va de l'observation visuelle avec de "gros dobs" ou de belles lunettes, à l'imagerie lunaire, planétaire ou solaire, en passant par des mesures photométriques, spectroscopiques et bien sûr celles d'étoiles doubles !