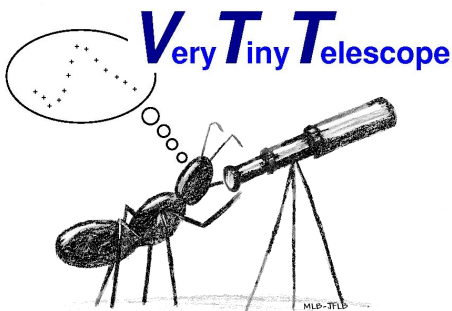


VTT : Automatisation de l'observation d'étoiles variables brillantes

J.F. Le Borgne et A. Klotz

Résumé

Nous décrivons des instruments constitués de téléobjectifs photographiques attachés à une caméra CCD et montés sur de petites montures équatoriales automatisées. Ils permettent l'observation automatique dans un champ de $2^\circ \times 3^\circ$ d'étoiles variables en photométrie différentielle. Avec des poses de l'ordre de 30s sans filtre, ils sont capables de faire plusieurs centaines de mesures au cours d'une nuit, sans intervention humaine. Deux de ces instruments, appelés VTT1 et VTT2 ont été mis en oeuvre en juin 2008 et dédiés essentiellement à l'observation de RR Lyr elle-même. On voit le potentiel de tels instruments pour l'observation des étoiles variables brillantes, jusqu'à la magnitude 11, non seulement pour les étoiles à variation rapide mais aussi pour les étoiles qui ne nécessitent qu'une mesure par nuit. Une amélioration du système actuel sera la robotisation complète (choix par l'instrument des étoiles à observer dans une liste, en comparaison avec l'automatisation qui suppose la fabrication par un humain de la liste des mesures à effectuer pendant la nuit suivante), ainsi que l'utilisation de filtres. Par leur légèreté et leur facilité de mise en oeuvre, ces expériences s'apparentent aux observations visuelles aux jumelles, traditionnelles au GEOS, dont elles couvrent le programme d'observation avec plus d'efficacité et de précision, et avec même une plus grande profondeur en magnitude. La campagne d'observation de l'été 2008, entre juin et octobre, a recueilli quelque 63000 mesures de RR Lyr elle-même. 57 maximums ont pu être déterminés, couvrant 3 périodes Blazhko. Les limites de l'expérience ont été testées sur 2 céphéides, faibles pour un tel montage : V572 Aql (mag. 11) et V439 Oph (mag. 12). La courbe de lumière de V572 Aql est tout à fait exploitable et celle de V439 Oph, quoiqu'à la limite, est bien reconnaissable. La surprise, toutefois, a été de mettre en évidence la variation de BD +04° 3503 (mag. 9), dans le champ de V439 Oph, qui s'avère être une céphéide multipériodique de 8 jours de période principale.



1 Introduction

Avec les télescopes automatiques TAROT nous avons inauguré le principe des observations robotisées d'étoiles variables au GEOS, leurs programmes étant partiellement dédiés à l'étude des étoiles RR Lyr et à quelques autres étoiles proposées par Roland Boninsegna, Michel Dumont et Anton Paschke. L'intervalle de magnitude d'étude de ces télescopes de 25cm va de la mag. 9 à 15 environ. De même qu'il n'est pas raisonnable de chercher à observer des étoiles brillantes avec un télescope de 20cm en visuel, il n'est pas non plus question d'observer ces étoiles avec les télescopes TAROT, à moins d'utiliser des filtres.

Nous nous sommes posé la question de la meilleure façon d'obtenir des observations suivies de RR Lyr elle-même. Avec des échelles de temps de variations qui vont de l'heure à la dizaine d'années, RR Lyr réclame un suivi particulièrement intense, et pendant longtemps. Nous aurions pu envisager de mettre au point un programme pour le télescope TAROT-Calern, avec des filtres. Mais ce télescope est déjà très occupé par divers programmes. En réalité, un télescope doit être dédié quasiment exclusivement à cette tâche si on veut obtenir un résultat nouveau, et cela pendant plusieurs années. L'éclat important de RR Lyr permet l'utilisation d'un objectif de petite taille ; un télescope de 20 ou 25cm est surdimensionné pour cette tâche. D'où l'idée d'associer un téléobjectif photographique à une caméra CCD. Monté sur une petite monture automatisée, un tel instrument permet de réaliser le programme. Alain Klotz a monté en 2008 2 de ces instruments que nous avons nommés VTT1 et VTT2 (VTT est l'acronyme de "Very Tiny Telescope"). Un 3^{eme} instrument, VTT3 vient d'être rendu opérationnel par Eric Denoux en mai 2009. Les expériences ASAS et ROTSE fonctionnent depuis déjà plusieurs années avec des optiques du même type, mais avec du matériel plus sophistiqué et dispendieux. Elles sont dédiées à une couverture du ciel entier et le suivi d'étoiles à variation rapide n'est pas assuré.

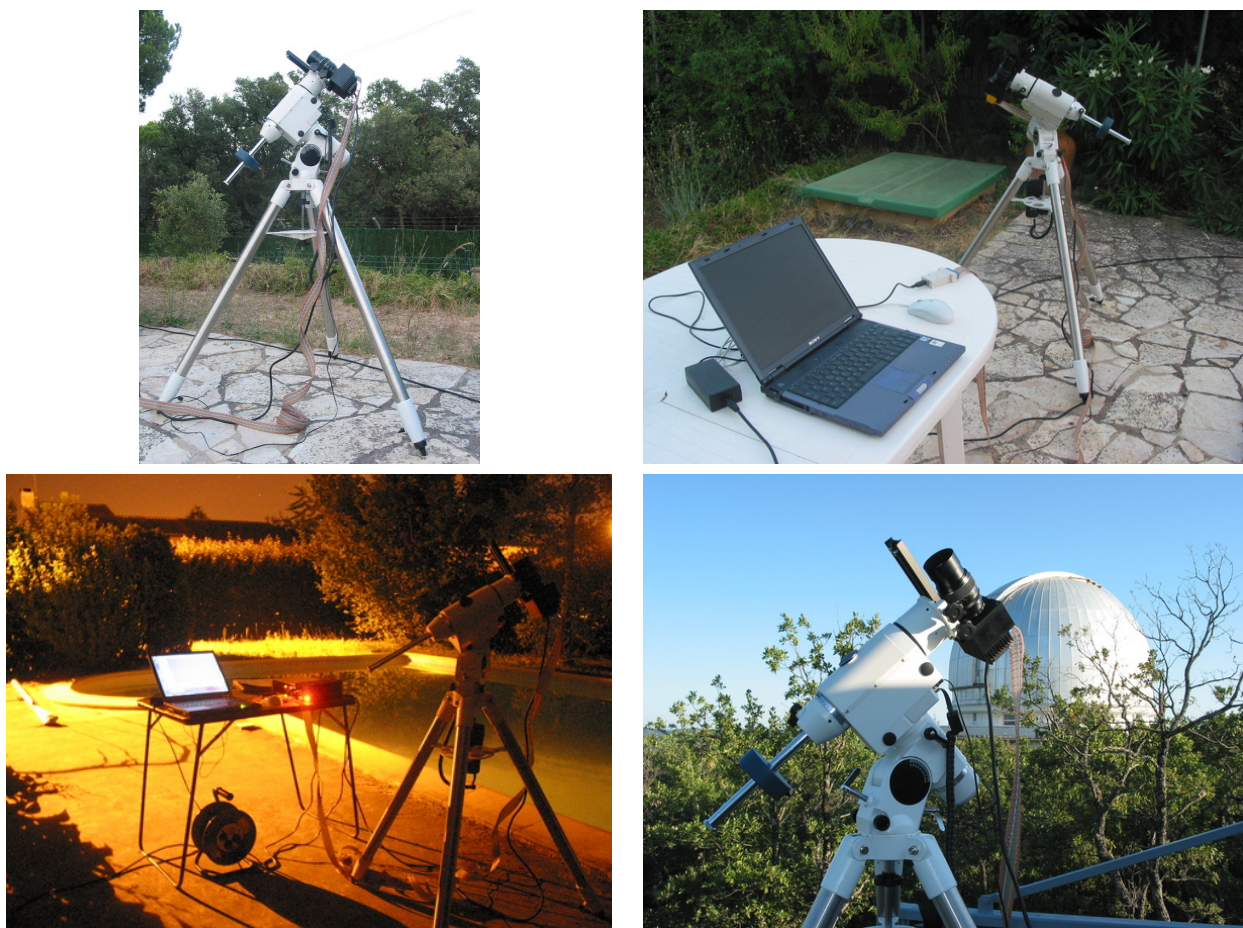


FIG. 1 – VTT1. En haut : en Catalogne. En bas, à gauche : de nuit à Escalquens (si on peut appeler cela, la nuit !), en bas, à droite : à l'OHP

2 Les instruments

Les 2 systèmes utilisent une monture allemande *Sky-Watcher HEQ5 Pro*. Cette monture peut supporter jusqu'à 13 kg tout en conservant une très bonne stabilité. Elle est donc largement sur-dimensionnée pour nos instruments mais reste suffisamment compacte pour tenir dans le coffre d'une voiture et être transportée facilement. La monture est équipée d'un système de pointage automatique *SynScan GoTo* contrôlable à distance par un ordinateur.

Les 2 systèmes optiques sont également identiques : un téléobjectif photographique de 135mm de focale à F/2.8 et une caméra Audine avec une cible kaf-401 768×512 pixels. Le champ obtenu est de $3^\circ \times 2^\circ$ et la taille du pixel sur le ciel est de $14''$.

Le contrôle de la monture se fait par l'intermédiaire d'une liaison série RS232 et l'acquisition des images ainsi que le contrôle de la caméra CCD (déclenchement de l'obturateur) utilisent le port parallèle de l'ordinateur. La plupart des ordinateurs portables ne possèdent pas de port série ni de port parallèle de nos jours. Il est alors nécessaire d'utiliser des interfaces pour ports USB. Le logiciel *Audela* gère l'acquisition des données et le contrôle de la monture et la stratégie d'observation de RR Lyr est écrite dans un script dédié pour *Audela*. Les systèmes d'exploitation des ordinateurs que nous utilisons pour cette tâche sont Windows XP et Vista.

Nous donnons, ci-dessous, le prix des composants constituant un VTT en 2009 :

- 1 monture HEQ 5 Pro (Goto) : 1039 €
- 1 bloc alimentation 220V vers 12V : 100 €
- 1 interface EDI EQ6 direct : 39 €
- 1 caméra Audine KAF 402ME avec obturateur : 1500 €
- 1 Module QuickAudine : 90 €
- 1 téléobjectif 135 mm d'occasion + bague allonge : 200 €
- 1 ordinateur portable de base : 500 €
- 1 Logiciel AudeLA + script : 0 €

Ainsi un VTT coûte environ 3500 €TTC.

La monture HEQ 5 Pro est dotée d'une raquette sur laquelle se branche un câble de liaison RS232 avec

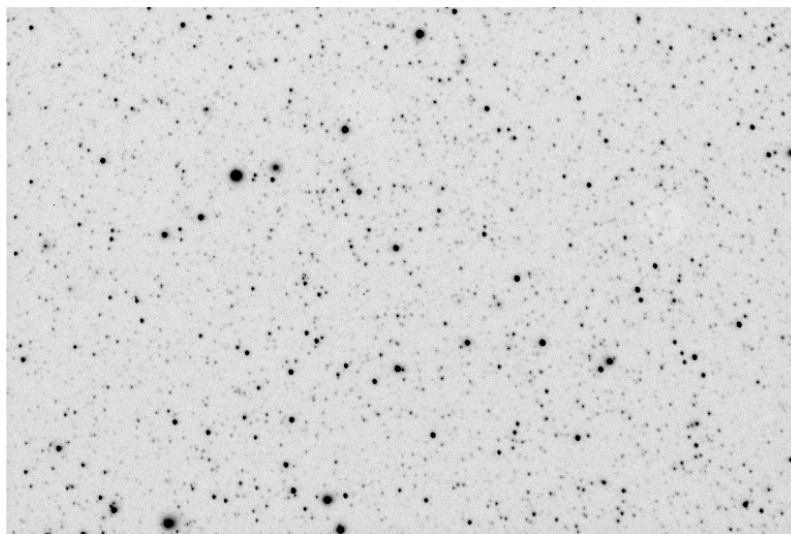


FIG. 2 – Une pose de 30s du champ de RR Lyr avec VTT1 le 3 août 2008. Le nord est à gauche, l'est en bas.

l'ordinateur. Le protocole Celestron utilisé est bien décrit mais nous avons noté que la transmission des

ordres n'est pas toujours fiable. Pour contourner ce problème, nous utilisons depuis 2009 l'interface "EDI EQ6 direct" qui est constituée d'un câble qui se branche entre la monture HEQ 5 Pro et l'ordinateur. La raquette n'est donc plus utilisée dans ces conditions. Dans le script d'acquisition nous avons gardé la possibilité d'utiliser l'une ou l'autre des connexions.

3 Mode opératoire : observations, réduction des données

L'ensemble étant léger (monture : 20kg, le reste : 5kg) et peu encombrant, il peut suivre son utilisateur n'importe où. Il faut seulement avoir accès à une prise de courant. La mise en station est aisée à réaliser : on utilise le viseur polaire intégré dans l'axe polaire. Une grande précision n'est pas requise, compte tenu de la taille du champ. Une fois la mise en station faite, il reste à aligner la monture sur une étoile brillante (Arcturus, Véga, ...) pour initialiser le système de pointage. Il faut également entrer la date et les coordonnées du lieu d'observation (qui est gardé en mémoire) et mettre à l'heure. L'ensemble des réglages ne demande pas plus de 10mn.

Les caméras Audine sont réputées pour leur manque d'étanchéité. Pour éviter le givrage de la cible CCD nous avons pris le parti de ne pas refroidir la caméra. La conséquence en est qu'il est nécessaire de faire fréquemment des darks¹. Le problème des flat-fields² s'est également posé. Compte tenu de la taille du champ, la prise de clichés dans le crépuscule est inefficace : nous obtenons systématiquement un gradient d'illumination quelle que soit la direction de prise de vue. Il faudrait éventuellement soustraire une composante à grande échelle des flat-fields moyens. La combinaison des images prises pendant la nuit est également une solution à condition d'utiliser des champs où les étoiles ne se retrouvent pas sur les mêmes pixels. Dans ce cas, il reste toujours des résidus dus aux étoiles.

Nous avons 2 modes opératoires possibles pour l'observation : le pointé "manuel" ou le contrôle par l'ordinateur. Dans le premier cas, les coordonnées sont entrées à la raquette de la monture et peuvent être éventuellement gardées en mémoire. On contrôle ensuite les prises de vue avec le logiciel Audela : on peut éventuellement démarrer une série de clichés suffisamment longue pour observer le même champ toute la nuit. Dans ce cas on aura fait une série de darks en début de nuit et leur soustraction aux clichés "scientifiques" ne sera pas de très bonne qualité en fin de nuit à cause de la variation de la température ambiante. L'autre inconvénient est que la monture continuera de tourner jusqu'à que quelqu'un l'arrête manuellement. Il faut faire attention que la caméra ne vienne pas en butée sur la monture.

Alain Klotz a écrit un script intégré dans Audela qui permet d'éviter ces inconvénients en contrôlant la monture par l'ordinateur. Dans sa forme de test, le script est adapté aux observations de RR Lyr : toutes les 5 images de RR Lyr, l'ordinateur fait l'acquisition d'un dark, ce qui permet de suivre l'évolution des pixels "chauds" et en fin de nuit (ou quand RR Lyr est basse sur l'horizon), la monture est parquée en position de repos. Par ailleurs, l'ordinateur profite du temps pendant les poses pour réduire les images. Il fait une moyenne glissante des darks par paquet de 5 et les retranche aux 5 clichés de RR Lyr concernés. Pour les clichés de RR Lyr réduits, il effectue la photométrie de toutes les étoiles du champ avec le logiciel SExtractor et recherche dans le catalogue produit les étoiles du catalogue Tycho-2 (il en trouve typiquement 1000) et calcule la conversion (x,y) en pixels en coordonnées équatoriales. Il ne lui reste plus alors qu'à rechercher dans le catalogue SExtractor la photométrie de RR Lyr et des étoiles de comparaison à partir de leurs coordonnées équatoriales. Le script affiche la courbe de lumière en temps réel, au fur et à mesure que les clichés sont réduits.

Au matin, l'astronome peut récupérer les images, le fichier des mesures réduites et la courbe de lumière.

¹Poses obturateur fermé de même durée que les poses "scientifiques" qu'on retranche aux poses "scientifiques" pour soustraire le signal de fond

²Poses "d'éclairage uniforme" par lesquelles les poses "scientifiques" sont divisées pour corriger les variations de sensibilité de pixel à pixel

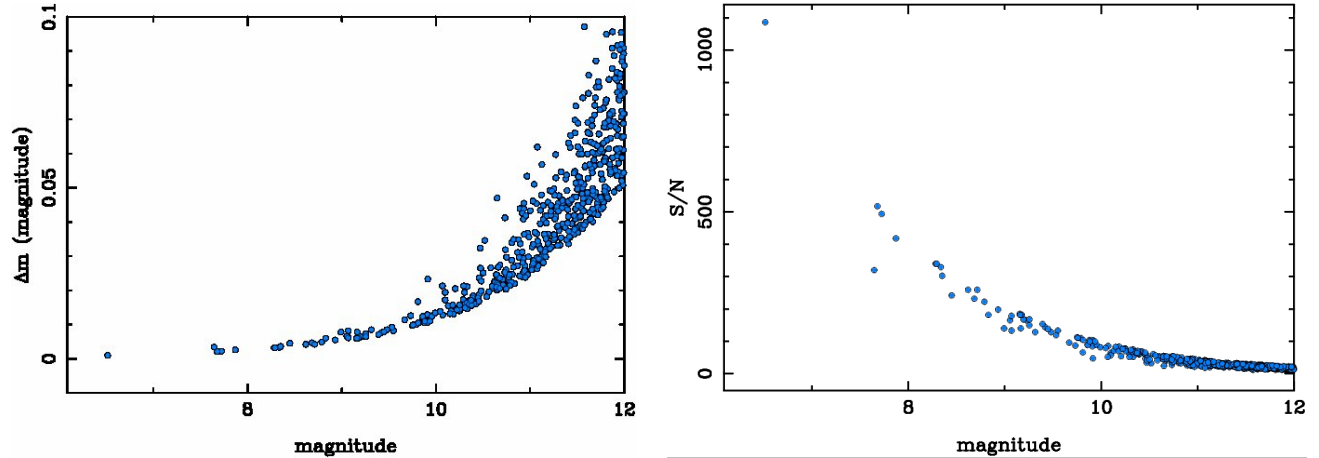


FIG. 3 – Erreur instrumentale Δm et Rapport S/N en fonction de la magnitude des étoiles. Pose de 30s sans filtre du champ de RR Lyr avec VTT1.

4 Performances

Pour estimer les performances intrinsèques des VTT's, nous avons tracé l'erreur instrumentale sur la détermination de la magnitude des étoiles (Δm) et le rapport signal sur bruit (S/N) calculés par le logiciel de réduction SExtractor pour chaque étoile du champ. La relation entre les 2 quantités est :

$$\Delta m = -2.5 \log \left(1 - \frac{1}{S/N} \right)$$

La figure 3 montre ces valeurs pour les étoiles du champ de RR Lyr sur une seule pose de 30s sans filtre. Nous avons une erreur inférieure à 0.01 mag pour les étoiles plus brillantes que la magnitude 9.8. A la magnitude 11, nous avons encore une incertitude de 0.04 mag. Il est évidemment plus important, pour connaître les performance réelles des instruments, de mesurer les fluctuations de magnitude des étoiles pendant une nuit, de préférence photométrique. Le FWHM³ des images stellaires est typiquement de 1.5 à 2 pixels (20-30"). Dans le cas de RR Lyr, les images sont légèrement défocalisées pour éviter la saturation tout en gardant un temps de pose optimal de 30s. Une amélioration importante serait d'utiliser un filtre IR pour éviter le halo que nous observons autour des étoiles rouges. L'optique des téléobjectifs que nous avons utilisés n'est pas conçue pour focaliser en même temps les longueurs d'onde visible et proche infrarouge. Cette aberration chromatique est notable car les ccd sont sensibles jusqu'à 1 μ m de longueur d'onde. La conséquence en est l'apparition d'un halo autour des étoiles les plus rouges.

5 Céphéides

Pour tester les limites en magnitude de ces instruments, nous avons choisi de faire quelques mesures de 2 céphéides, faibles pour un objectif de 50mm. Il s'agit de 2 étoiles bien connues des observateurs du GEOS : V572 Aql (CWB, 11.0-11.44V, GCVS) et V439 Oph (CWB, 11.73-12.7 V, GCVS)

5.1 V572 Aql

V572 Aql a été signalée pour la première fois par C. Hoffmeister ([1935]). Ses coordonnées J2000.0 sont $\alpha=20 :02 :32.685$, $\delta=+00 :42 :50.04$. Il s'agit d'une céphéide de type II (CWB) dont les éléments du

³Largeur à mi-hauteur d'intensité des images des étoiles

Date	Date julienne	Nombre d'images	Magnitude	σ_1	σ_2	Phase
2008-07-21	2454669.3883	2	11.241	0.064	0.016	0.213
2008-07-22	2454670.3717	2	11.465	0.074	0.005	0.474
2008-07-23	2454671.3663	2	11.231	0.064	0.036	0.738
2008-07-26	2454674.4638	2	11.326	0.061	0.030	0.561
2008-07-27	2454675.4466	8	11.047	0.012	0.007	0.821
2008-07-30	2454678.4360	5	11.282	0.026	0.020	0.615
2008-08-02	2454681.4104	5	11.356	0.026	0.028	0.404
2008-08-03	2454682.3530	5	11.251	0.024	0.011	0.654
2008-08-06	2454685.3546	5	11.358	0.028	0.023	0.451
2008-08-12	2454691.3578	5	10.994	0.023	0.007	0.044
2008-08-16	2454695.3705	5	11.109	0.020	0.006	0.109
2008-08-17	2454696.3908	5	11.402	0.038	0.020	0.380
2008-08-20	2454699.3388	2	11.149	0.039	0.006	0.162
2008-08-21	2454700.3365	5	11.376	0.018	0.007	0.427
2008-09-04	2454714.3606	10	11.165	0.018	0.009	0.149
2008-09-07	2454717.3146	10	10.967	0.014	0.015	0.933
2008-09-15	2454725.3012	5	11.082	0.032	0.022	0.053
2008-09-20	2454730.2905	5	11.362	0.027	0.026	0.377

TAB. 1 – Journal d’observation de V572 Aql. La phase est calculée avec les éléments de Schmidt et al. ([2005b])

GCVS sont $2441921.259 + 3.767697$ E (Szabados, [1977]). Il est possible que sa période varie (voir par exemple Szabados, [1991]).

L’étude photométrique la plus récente est celle de Schmidt et al. ([2005b]) qui donnent les éléments suivants : $24542852.49 + 3.76784$ E. D’après Schmidt et al. ([2005b]) la magnitude moyenne en V est 11.12 et 10.68 en R avec une amplitude de 0.35 mag. en V et 0.29 mag. en R. Les autres études aux quelles nous ferons allusion ici sont celle de Szabados ([1977]) et celle de Henden ([1980]). Nous avons obtenu 88 mesures de V572 Aql avec VTT1 pendant 18 nuits entre le 21 juillet et le 20 septembre 2008 (voir table 1). Les images soustraites du dark ont été analysées sous linux par le logiciel SExtractor (Bertin et Arnouts [1996]) pour en extraire les magnitudes des étoiles du champ. Nous avons choisi de mesurer la lumière des étoiles dans une ouverture de 5 pixels de diamètre.

Les étoiles de comparaison et de vérification ont été choisies grâce à la base de données SIMBAD du CDS en fonction de leur magnitude et de leur type spectral. Le type spectral de V572 Aql ne semble pas connu. Néanmoins, comme les céphéides ont des types spectraux G ou F, nous avons cherché des étoiles de ces types à proximité de V572 Aql. Le choix de ces étoiles est détaillé dans la table 2. Ce sont des étoiles de magnitude 9 à 11 en V. HD 357774 (V=9.38, sp. G0) à 21’ de la variable a été choisie comme étoile de comparaison (figure 4). La colonne de droite de la figure 5, montre les courbes de lumière des étoiles de vérification HD 357777 et HD 357782. On peut remarquer une bonne stabilité de ces courbes, justifiant le choix de l’étoile de comparaison. La table 2 donne la dispersion σ_m de leurs mesures qui est de 0.033 et 0.041 magnitude, qui sont des valeurs acceptables pour des étoiles de magnitude ~ 10.5 . Si on fait la comparaison avec la figure 3, il ne faut pas oublier que cette figure montre le rapport S/N sur une pose :

		α (J2000.0)	δ (J2000.0)	B	V	R	Sp.	$\overline{\Delta m}$	σ_m
comparaison	HD 357774	20 :03 :47.541	+00 :52 :52.30	9.92	9.38	9.07	G0		
vérification 1	HD 357777	20 :02 :51.762	+00 :45 :45.44	11.10	10.44		F5	1.041	0.033
vérification 2	HD 357782	20 :02 :22.319	+00 :40 :10.77	11.60	10.50		F8	0.995	0.041

TAB. 2 – Étoiles de comparaison et de vérification pour V572 Aql.

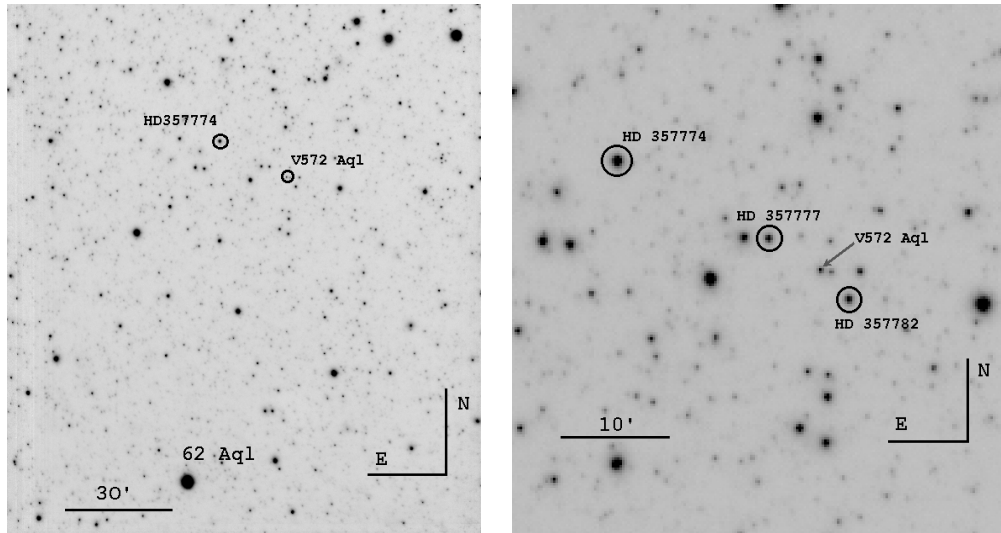


FIG. 4 – V572 Aql : Carte de champ avec les étoiles de comparaison et de vérification. L'image utilisée est la somme de toutes les images du champ correspondant à un temps de pose de 44mn.

la dispersion sur 88 images est nécessairement plus grande, d'autant plus que nous additionnons les effets de 2 étoiles. La table 2 donne également la valeur de la moyenne de l'écart de magnitude avec l'étoile de comparaison $\overline{\Delta m}$. Si on ajoute la valeur de ces écarts à la magnitude V de l'étoile de comparaison, on obtient pour les 2 étoiles de vérification 10.42 et 10.38 à comparer aux valeurs de SIMBAD de 10.44 et 10.50. La différence pour HD 357777 est négligeable, dans la barre d'erreur. La différence pour HD 357782, étant de spectre F8, plus bleue que l'étoile de comparaison, reste toutefois à expliquer. V572 Aql a été mesurée sur les 88 clichés et la différence de magnitude avec l'étoile de comparaison HD 357774 est utilisée pour la présente étude. La figure 5, en haut de la colonne de gauche, montre le compositage de toutes les mesures avec les éléments de Schmidt et al. ([2005b]). La série de mesures faite chaque nuit a été réalisée pendant un intervalle de temps de quelques minutes, le temps de pose individuel étant de 30 secondes. Les images ont été refaites plusieurs fois afin d'améliorer le rapport S/N. La durée des séries étant courte, comparée à la période de l'étoile, il est légitime de faire la moyenne des mesures d'une série. Ces valeurs moyennes sont reportées dans la colonne 4 de la table 1 ; le nombre d'images moyennées est dans la colonne 3. Nous avons calculé une incertitude sur la magnitude moyenne de 2 façons dont les résultats sont reportés dans les colonnes 5 et 6 de la table 1. σ_1 est la combinaison des rapports S/N : pour n mesures,

$$\sigma_1 = \frac{\sqrt{\sum (S/N)^2}}{n - 1}$$

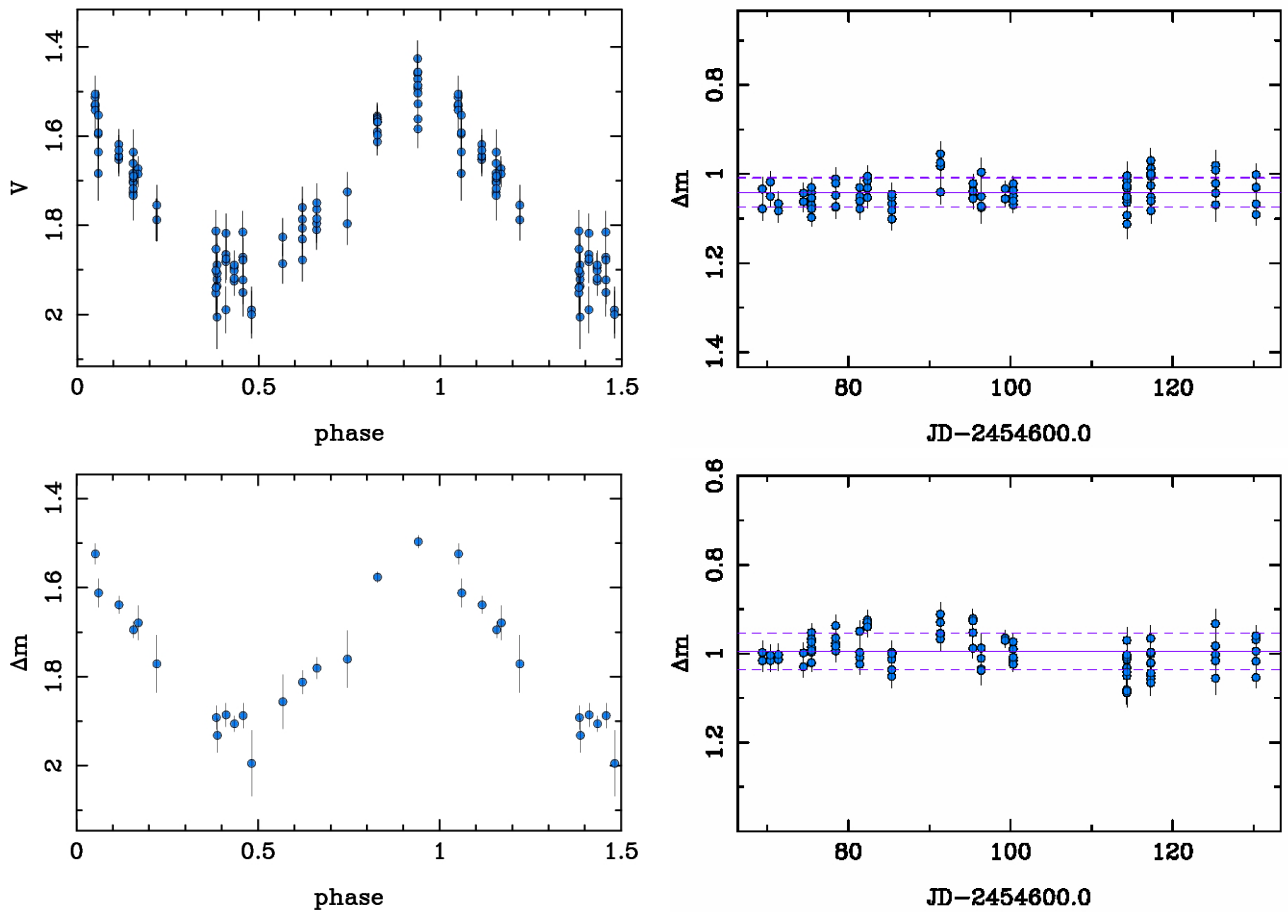


FIG. 5 – Photométrie de V572 Aql. Colonne de gauche : compositage des mesures de la variable, en haut, toutes les mesures, en bas, moyennes journalières. Colonne de droite : courbes de lumière des étoiles de vérification, en haut, HD 357777, en bas HD 357782.

S/N étant exprimé en magnitude comme dans le paragraphe 4. σ_2 est simplement l'écart-type des mesures d'une série divisée par la racine carré du nombre de mesures. Lorsqu'il n'y a que 2 mesures, l'écart-type est estimé par la différence des 2 mesures, divisée par 2. Le nombre de mesures par série étant faible, l'écart-type est un mauvais estimateur de l'incertitude. On voit que σ_2 est tout au plus du même ordre de grandeur que σ_1 et souvent plus petit. Dans la suite nous prenons σ_1 comme estimateur de l'incertitude. La figure 5, en bas à gauche, montre le compositage des mesures moyennes. Les barres d'erreur correspondent à σ_1 et reflètent le nombre d'images utilisées pour calculer la moyenne. D'après la figure 5, on peut dire que les observations faites par VTT1 relatent bien les variations de V572 Aql et que, d'autre part, les éléments de Schmidt et al. ([2005b]) sont bien vérifiés. Nous pouvons, d'autre part, comparer directement avec les observations de Schmidt et al. ([2005b]), Szabados ([1977]) et Henden ([1980]) avec les présentes observations. Les mesures de Schmidt et al. ont été faites en V et R tandis que celles de Szabados et celles de Henden en UBV. La réponse spectrale du CCD employé sans filtre couvre principalement les domaines des filtres V, R et I. Les spectres G ou F des céphéides et de l'étoile de comparaison font que les filtres V et R sont essentiellement concernés. Nous comparerons donc les mesures de VTT1 avec les mesures V des 3 articles et les mesures R de Schmidt et al. ([2005b]). Quand on superpose les mesures sans filtres de VTT1 sur les mesures V ou R publiées, après avoir ajouté la magnitude V ou R de l'étoile de comparaison HD 357774, il est attendu qu'il y ait un décalage. Pour compenser ce phénomène nous avons ajusté la

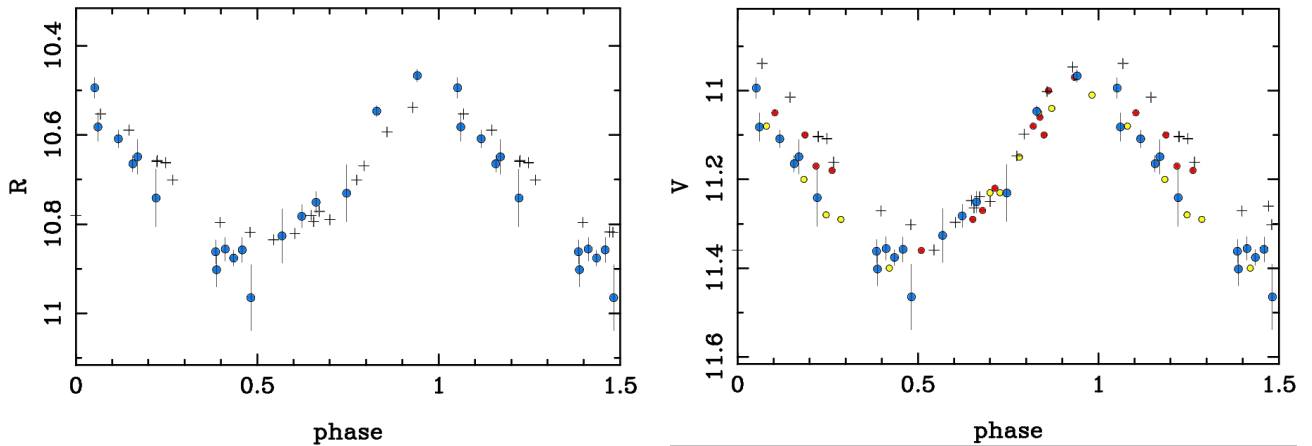


FIG. 6 – V572 Aql : comparaison des magnitudes sans filtre de VTT1, moyennées par séries (cercles bleus), avec les observations R et V de Schmidt et al. ([2005b]) (croix noires), Szabados ([1977]) (cercles jaunes) et Henden ([1980]) (cercles rouges).

magnitude moyenne de V572 Aql avec les magnitudes V ou R des 3 articles. La correction est de +0.09 mag. en V et de -0.10 mag. en R. Les compositages correspondants sont tracés sur la figure 6. Les éléments utilisés sont ceux de Schmidt et al. ([2005b]), avec, toutefois, une légère correction de période pour mieux faire correspondre les mesures, essentiellement celles de Szabados ([1977]) et de Henden ([1980]) :

$$24542852.49 + 3.76778 E$$

Les remarques que nous pouvons faire sont les suivantes : l'amplitude de la courbe de VTT1 s'accorde particulièrement aux mesures en V ; l'amplitude est plus grande que les mesures en R de Schmidt et al. ([2005b]). La forme de la courbe s'accorde bien avec les mesures de Szabados ([1977]) et de Henden ([1980]), y compris le décrochement de la courbe à la phase 0.7. L'accord est le meilleur avec les mesures de Szabados. Les écarts, que ce soit avec les mesures de Szabados ou celles de Schmidt et al., sont surtout dans la branche descendante. Schmidt et al. ([2005b]) ont déjà remarqué ce décalage entre leur mesures et celles de Szabados et de Henden, sans pouvoir y apporter une explication. Il se pourrait donc que V572 Aql subisse des variations de la forme de la courbe de lumière. A noter que les observations aux quelles nous comparons les nôtres ont été obtenues avec des télescopes de plus grande taille : Henden a utilisé un télescope de 41 cm.

5.2 V439 Oph

V439 Oph est également une céphéide de type II (CWB) trouvée par C. Hoffmeister ([1931]). Ses coordonnées J2000.0 sont $\alpha=17:43:33.28$, $\delta=+03:35:35.9$. D'après le GCVS, elle varie de 11.73 à 12.7 (V) avec les éléments : $2438943.002 + 1.89298 E$.

Comme V572 Aql, elle fait partie de l'étude récente des céphéides de type II de Schmidt et al. ([2005a]). Ils utilisent les mesures photométriques UBV de Sturch ([1966]), Diethelm & Tammann ([1982]), Harris & Wallerstein ([1984]) et Henden ([1980]) qui vont également nous servir à comparer nos observations. Schmidt et al. ([2005a]) donnent une magnitude moyenne de 12.16 en V, 11.65 en R et des amplitudes de 0.71 en V et 0.53 en R ainsi que les éléments : $2452801.63 + 1.89301 E$

On conviendra que l'observation de cette étoile est un challenge pour un objectif de 50mm. Elle permet toutefois de tester les limites extrêmes de l'expérience. Comme pour V572 Aql, nous avons fait des séries de mesures avec VTT1 pendant 17 nuits entre le 21 juillet et le 20 septembre 2008. Comme il s'agit d'une étoile très faible nous avons d'abord composité les images de 30s d'une série avant d'en

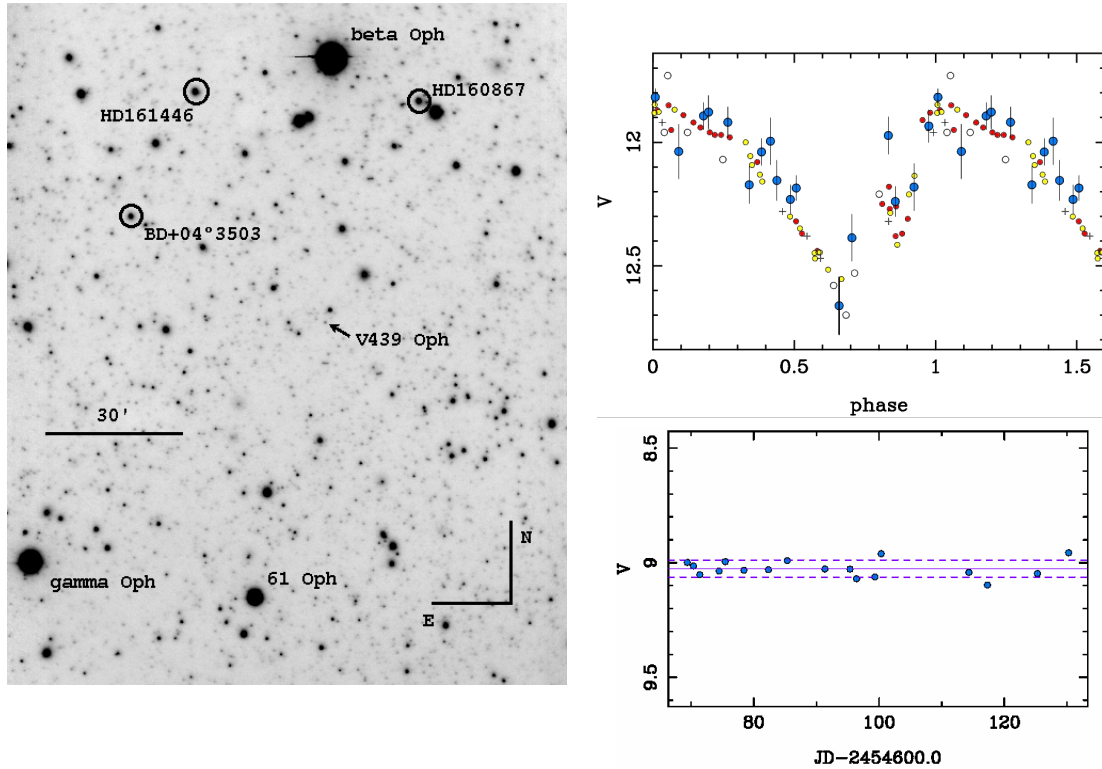


FIG. 7 – V439 Oph : A gauche, carte de champ avec les étoiles de comparaison et de vérification. L'image utilisée est la somme de toutes les images du champ, correspondant à un temps de pose de 45mn. A droite, courbes de lumière de V439 Oph et de l'étoile de vérification.

faire la photométrie. Pour cela nous avons utilisé la procédure IMCOMBINE du paquet de traitement astronomique IRAF (linux) en recentrant les images sur le système WCS précédemment calculé. Les temps de pose, correspondant à chaque série, vont de 1 à 5mn. Nous avons ensuite fait tourner SExtractor sur les images combinées. Le tableau 3 donne la liste des mesures ainsi obtenues. La phase est calculée avec les éléments de Schmidt et al. ([2005a]). Les étoiles de comparaison et de vérification sont listées dans la table 4.

La figure 7, montrant le compositage de nos mesures avec celles de la littérature, met en évidence les limites de l'exercice. Quoique nous retrouvions bien la forme de la courbe en bon accord avec les mesures précédemment publiées, la dispersion des points est très importante.

5.3 BD +04° 3503

En cherchant des étoiles de comparaison pour V439 Oph, nous avons remarqué que les mesures de l'étoile de spectre G0, BD +04° 3503 (SIMBAD ICRS coord. 2000 : 17 :46 :25.4415 +03 :58 :48.855), ont une dispersion anormale pour une étoile de magnitude 9 (figure 8, gauche). Pour tester l'hypothèse d'une variation périodique, nous avons utilisé un programme de recherche de période basé sur la méthode de A. Schwarzenberg-Czerny ajustant des séries de Fourier multiharmoniques (Schwarzenberg-Czerny, [1996]). Le résultat a montré un pic très clair à une période de 8.2156 jours. La figure 8, à droite, montre qu'il s'agit très probablement d'une étoile variable, soit pulsante (céphéide) avec la période trouvée, soit éclipsante avec une période double. Ce compositage a été fait avec les éléments :

$$2454682.72 + 8.2156 E$$

On trouvera dans la table 3 la photométrie de BD +04° 3503 utilisant la même étoile de comparaison

Date	Date julienne	Nombre d'images	V439 Oph			BD +04° 3503		
			Magnitude	σ	Phase	Magnitude	σ	Phase
2008-07-21	2454669.3852	2	12.762	0.115	0.657	9.626	0.010	0.377
2008-07-22	2454670.3696	2	11.993	0.054	0.177	9.675	0.009	0.497
2008-07-23	2454671.3640	2	12.487	0.095	0.702	9.606	0.010	0.618
2008-07-26	2454674.4619	2	12.272	0.074	0.339	9.411	0.009	0.995
2008-07-27	2454675.4399	4	12.340	0.061	0.855	9.405	0.007	0.114
2008-07-30	2454678.4326	5	12.255	0.081	0.436	9.739	0.012	0.478
2008-08-03	2454682.3479	6	12.285	0.050	0.505	9.383	0.007	0.955
2008-08-06	2454685.3468	7	12.137	0.110	0.089	9.493	0.014	0.320
2008-08-12	2454691.3540	5	12.019	0.062	0.262	9.371	0.009	0.051
2008-08-16	2454695.3655	5	12.139	0.054	0.381	9.655	0.009	0.539
2008-08-17	2454696.3865	5	12.281	0.095	0.921	9.556	0.011	0.663
2008-08-20	2454699.3444	10	12.332	0.058	0.483	9.390	0.008	0.024
2008-08-21	2454700.3325	5	11.917	0.034	0.005	9.409	0.007	0.144
2008-09-04	2454714.3538	10	12.096	0.095	0.412	9.454	0.013	0.850
2008-09-07	2454717.3071	10	12.034	0.065	0.972	9.467	0.010	0.210
2008-09-15	2454725.2969	5	11.978	0.067	0.193	9.387	0.009	0.182
2008-09-20	2454730.2864	5	12.072	0.075	0.829	9.462	0.010	0.790

TAB. 3 – Journal d’observation du champ de V439 Oph. La phase de V439 Oph est calculée avec les éléments de Schmidt et al. ([2005a]). La phase de BD +04° 3503 est calculée avec les éléments du présent article

que pour V439 Oph. Une recherche dans la littérature ne nous a pas permis de trouver une référence quelconque à la variabilité de cette étoile qui est donc possiblement une nouvelle étoile variable. Toutefois, les bases de données de ROTSE et de ASAS contiennent des mesures que nous allons analyser dans ce qui suit.

L’identifiant Rotse est NSVS 13729845 et celui d’ASAS est 174625+0358.8. ASAS a observé BD +04° 3503 pendant 8 ans, depuis 2001 et ROTSE un an, en 1999. La courbe de lumière montre une fluctuation de la mag moyenne ainsi qu’un changement de la dispersion des mesures d’année en année (figure 9). La figure 9 montre également le compositage de toutes les mesures sur la période trouvée avec les mesures de VVT1 ajustée à 8.446027 jours pour tenir compte de la longue base temps des mesures ASAS (points rouge : ROTSE, points verts : ASAS ; points bleus VTT.). Il est possible, à la vue de ces courbes, que BD +04° 3503 soit une céphéide multipériodique. L’amplitude de variation est modulée sur une longue période : la figure 13 montre les compositages par saison de visibilité. On voit clairement que l’amplitude est passée par un minimum aux alentours de 2004. Il semble aussi y avoir eu un inversement de phase entre 1999 et 2002. La variation de la phase du maximum (figure 10) pourrait indiquer que la période doit être révisée à la baisse. Toutefois il est plus probable que la période soit également modulée.

6 Programme d’étoiles brillantes pour un VTT

Chacun au GEOS peut imaginer tout ce que permet de faire un VTT dans le domaine des étoiles variables, en particulier dans le travail de routine : pour le suivi de céphéides, par exemple. Un VTT serait très bien adapté au suivi des semi-régulières et irrégulières. Toutefois, pour les variables les plus rouges, un filtre coupant l’infrarouge serait essentiel si l’optique du téléobjectif n’est pas achromatique de

		$\alpha(\text{J2000.0})$	$\delta(\text{J2000.0})$	B	V	Sp.	$\overline{\Delta m}$	σ_m
comparaison	HD 161446	17 45 28.985	+04 26 21.17	9.61	8.81	G5		
vérification	HD 160867	17 42 11.319	+04 24 25.32	9.68	9.10	G0	0.216	0.037

TAB. 4 – Étoiles de comparaison et de vérification pour V439 Oph.

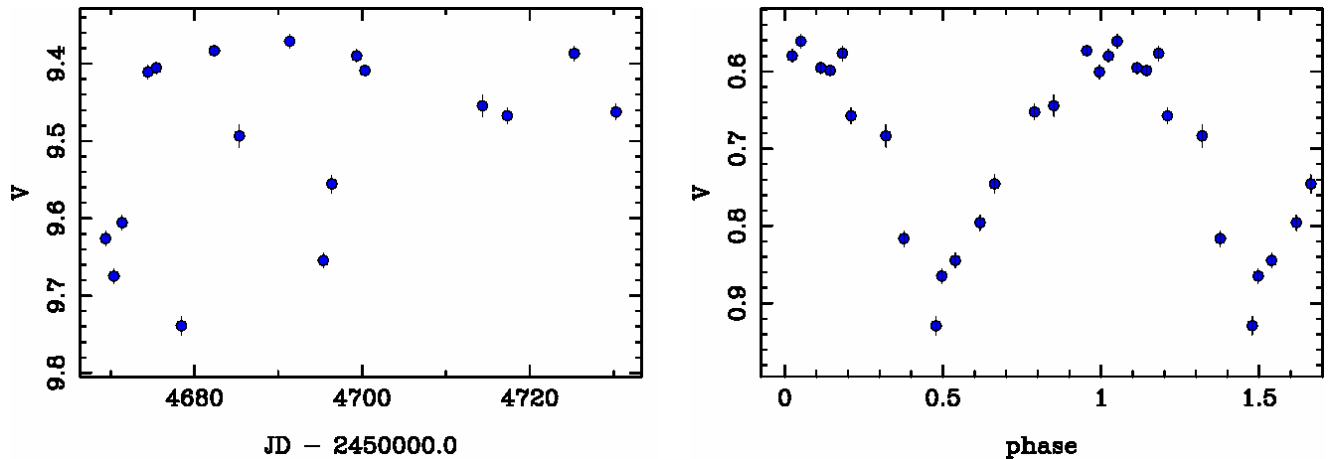


FIG. 8 – Courbes de lumière de BD +04° 3503

4000 à 10000Å. Si quelqu'un désirait essentiellement suivre ces variables rouges, l'utilisation d'un filtre I (8000-10000Å) serait particulièrement adéquat.

Nous nous contentons ici de donner une liste d'étoiles de type RR Lyr observables avec un VTT. Le tableau 6 liste les RR Lyr dont la magnitude au minimum est inférieure à 11. Le programme des RRab de cette liste est l'acquisition en routine d'instant de maximum, à l'instar de TAROT.

Celui des RRC est le suivi continue dans le but d'obtenir des courbes complètes dans un temps limité : l'idée est d'avoir des courbes composées sur une durée négligeable comparée à une éventuelle modulation d'amplitude et/ou de période. Cette durée pourrait être de une semaine à un mois. L'idéal serait évidemment d'obtenir une courbe complète en une ou deux nuits, répétée une fois par semaine.

Les étoiles du tableau 7 sont des étoiles du GCVS cataloguées RR à partir des observations du satellite Hipparcos (les magnitudes données dans le GCVS sont notées H pour "Hipparcos"), quoique certaines aient été connues précédemment. Ce sont des variables de faible amplitude dont 3 ont été identifiées comme binaires à éclipses a posteriori. C'est le cas de FT UMa (Pribulla et al., 2009), HV UMa (Czak et al., 2000) et NN Vir (Rucinski and Lu, 1999). NN Vir était toutefois considérée comme possible éclipsante par l'analyse de observations d'Hipparcos.

Il subsiste 3 étoiles qui ont été peu observées et pour lesquelles une campagne d'observations CCD pourrait apporter beaucoup. Le but est de trouver ou confirmer la période et de mettre en évidence d'éventuelles modulations :

- V463 Aur apparait dans Koen (2001) comme possible étoile pulsante de type spectral A ; il n'existe pas d'autre information sur cette étoile.
- EW Cam est décrite comme une étoile à courte période d'amplitude 0.7 mag dans Strohmeier and Knigge (2006). Wills et al. (2007) fournissent des éléments calculés à partir des données ROTSE : 2451606.77 +

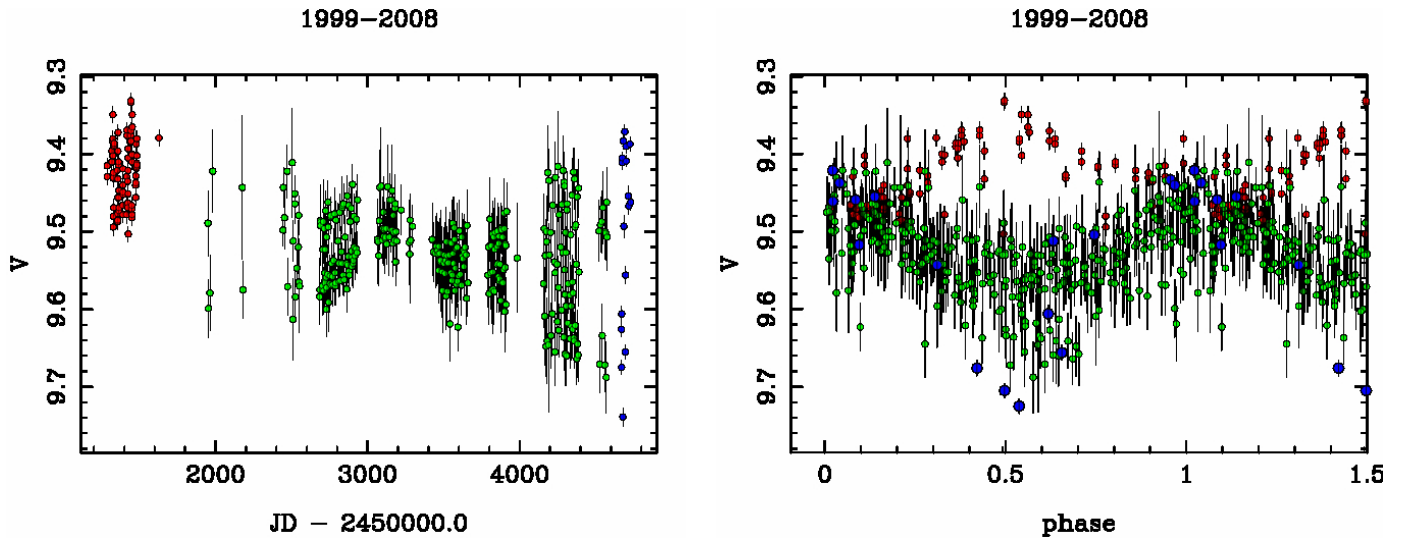


FIG. 9 – BD +04° 3503 : 1999-2008 ; Points rouge : ROTSE, points verts : ASAS ; points bleus VTT.

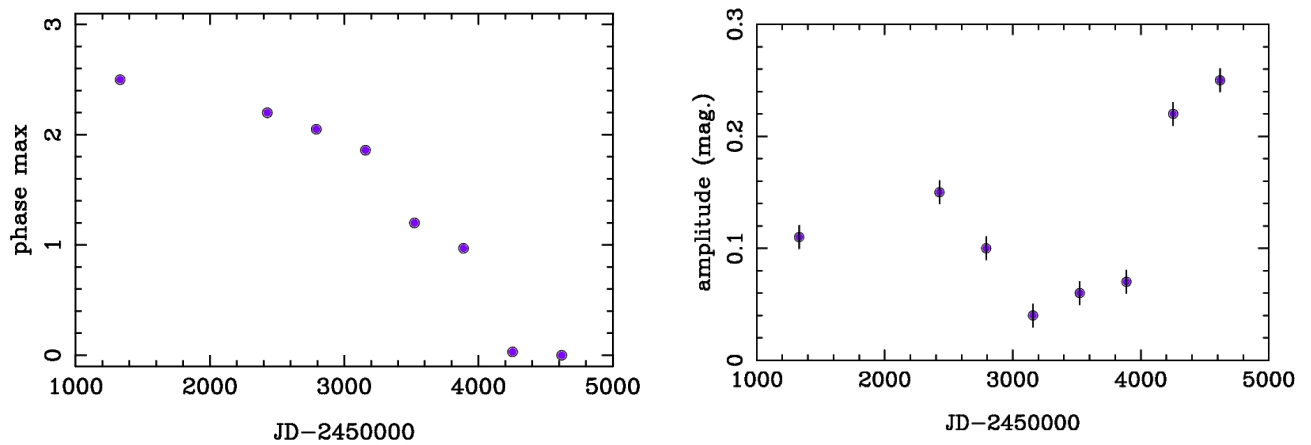


FIG. 10 – BD +04° 3503 : Variations de la phase du max et de l'amplitude.

0.62839 E. Franz Agerer (BAV) a observé un max (Hubscher and Walter, 2007).

- GN Cnc est identifiée RR à partir des observations d'Hipparcos dans la 74^{ieme} liste de variables du GCVS (Kazarovets et al. 1999) ; rien de plus.

7 RR Lyr : juin - octobre 2008

Entre juin et octobre 2008, nous avons obtenu 63231 clichés CCD exploitables de RR Lyr à l'aide des 2 instruments. Ils ont été installés dans les jardins des auteurs, à Escalquens (Haute-Garonne) et Guitalens (Tarn), mais aussi à Solenzara (Corse), Sant Feliu de Guixols (Catalogne), à l'observatoire de Calern et à l'OHP. Nous avons effectué 128 séries d'observations (65 JFLB et 63 AK) pendant 92 nuits dont 36 nuits communes aux 2 manips. 57 maximums ont été déterminés : 42 différents dont 15 doublés par les 2 instruments. Nous avons utilisé comme étoile de comparaison HD 183383 (sp. B9, V=7.57) dont les coordonnées J2000.0 sont $\alpha=19 :27 :24.4214$, $\delta=+42 :13 :45.464$. La figure 11 montre la courbe de

Année	Expérience	Intervalle de JD	Nombre de mesures
1999	ROTSE	2451286 - 2451483	87
2000	ROTSE	2451627	1
2001	ASAS	2451950 - 2452180	9
2002	ASAS	2452444 - 2452552	16
2003	ASAS	2452685 - 2452933	77
2004	ASAS	2453064 - 2453295	40
2005	ASAS	2453425 - 2453658	63
2006	ASAS	2453791 - 2453984	40
2007	ASAS	2454157 - 2454389	70
2008	ASAS+VTT	2454522 - 2454730	29

TAB. 5 – Distribution des mesures de BD +04° 3503.

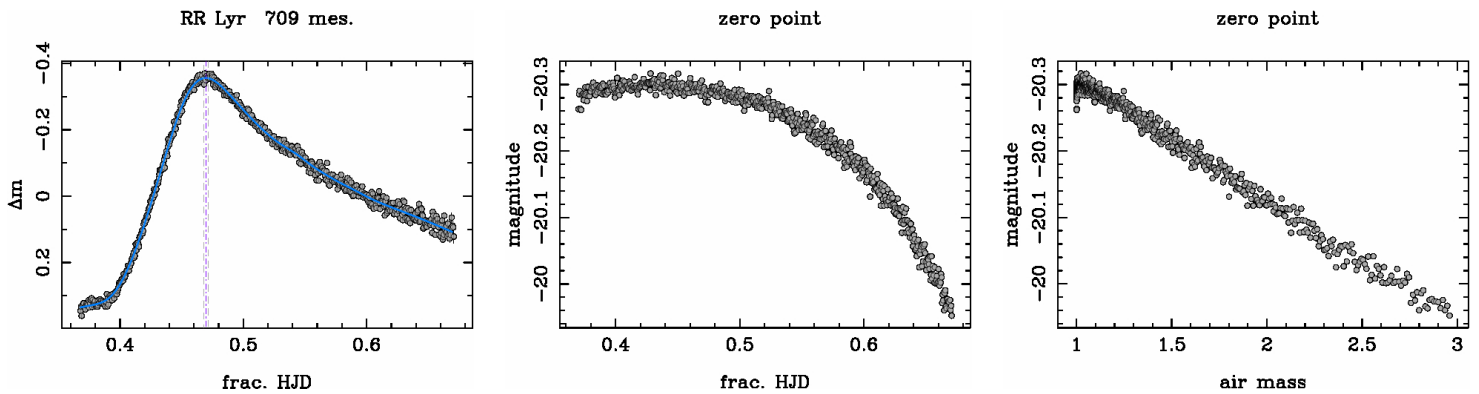


FIG. 11 – RR Lyr, VTT1, 20 août 2008, OHP.

lumière obtenue par une nuit photométrique, le 20 août à l'OHP. La courbe "zero point" est celle de la constante de calibration déterminée par la magnitude instrumentale de l'étoile de comparaison moins sa magnitude V. Le "zero point" est également tracé en fonction de la masse d'air : cette courbe montre une exceptionnelle stabilité photométrique de la nuit. Nous avons une "droite" de Bouguer entre 1 et 3 masses d'air. Cela ne se voit que dans les livres, normalement ! Le coefficient d'extinction mesuré sur cette courbe est 0.17/masse d'air, valeur standard à l'OHP en V.

Le traitement de ces données est loin d'être terminé mais nous pouvons déjà examiner les résultats de la détermination des instants de maximum. La première tâche a été de déterminer des périodes de pulsation et Blazhko qui rendent bien compte des observations de 2008. Nous avons ainsi calculé les éléments suivants :

$$\text{HJD} = 2454652.432 + 0.56687 E$$

La période Blazhko est évaluée à 38.3 jours. Cette valeur confirme la diminution de la période Blazhko observée ces dernières années. La figure 12 montre les variations du O-C de RR Lyr pendant la saison 2008. A gauche : variation avec le temps pendant les 3 cycles Blazhko observés. Les 3 cycles Blazhko sont identifiés par des couleurs différentes qui sont reproduites sur la figure de droite traçant le compositage avec la période Blazhko de 38.3 jours. Ces tracés incluent les 6 maximums visuels de Michel Dumont (Vandenbroere et Kleidis, [2008]) qui se placent de façon honorable sur les points CCD avec toutefois une

name	Coordonnées (J2000.0)	type	mag max-min	éléments	M-m	spectre
RS Boo	14 :33 :33.21 +31 :45 :16.6	RRAB	9.69 10.84 V	2441770.49 + 0.37733896 E	17	A7-F5
AE Boo	14 :47 :35.27 +16 :50 :43.5	RRC	10.44 10.88 V	2430388.203 + 0.3148921 E	45	F2
CN Cam	11 :36 :11.82 +81 :17 :37.1	RRAB	9.8 10.27 B			
W CVn	14 :06 :27.98 +37 :49 :41.5	RRAB	10.03 10.96 V	2421402.4238+ 0.551759337 E	15	F0-F7
BB CMi	07 :51 :24.55 +04 :54 :39.2	RRC	10 10.8 p	2425644.4 + 0.396424 E	40	A5
HY Com	12 :18 :16.02 +16 :09 :15.9	RRC	10.25 10.73 V			
SU Dra	11 :37 :56.61 +67 :19 :47.0	RRAB	9.18 10.27 V	2443902.0467+ 0.66042001 E	15	F2-F7
SW Dra	12 :17 :46.63 +69 :30 :38.2	RRAB	9.94 10.94 V	2426224.5876+ 0.56966993 E	17	A7-F8
TT Lyn	09 :03 :07.79 +44 :35 :08.1	RRAB	9.42 10.21 V	2436651.356 + 0.597434355 E	17	F0-F8
V680 Mon	06 :59 :30.71 +09 :18 :59.6	RR	9.6 10.1 p			
T Sex	09 :53 :28.40 +02 :03 :26.4	RRC	9.81 10.32 V	2441384.3 + 0.324698 E	42	A7II-F4III
TU UMa	11 :29 :48.49 +30 :04 :02.4	RRAB	9.26 10.24 V	2442831.4947+ 0.5576587 E	16	A8-F8

TAB. 6 – Liste d'étoiles de type RR Lyr du GCVS observables avec un VTT. Etoiles de routine. Les informations sont extraites du GCVS.

name	Coordonnées (J2000.0)	type	mag max-min	Commentaire
V463 Aur	07 :12 :01.08 +43 :50 :34.7	RRAB :	6.86 6.92 H	
EW Cam	07 :27 :27.99 +72 :42 :12.5	RRAB	9.33 9.83 H	type RR confirmé
GN Cnc	09 :16 :04.43 +20 :04 :23.4	RR :	8.8 8.89 H	
FT UMa	08 :54 :30.32 +51 :14 :40.3	RRC :	9.29 9.42 H	type EW confirmé
HV UMa	11 :55 :38.03 +47 :15 :26.6	RRC	8.6 8.89 H	type EW confirmé
NN Vir	14 :19 :37.74 +05 :53 :46.7	RRC :	7.6 8.02 H	type EW confirmé

TAB. 7 – Liste d'étoiles de type RR Lyr du GCVS observables avec un VTT. Etoiles Hipparcos. Hormis les commentaires, les informations sont extraites du GCVS.

tendance au retard systématique de l'ordre de 10mn en moyenne. Ils sont identifiés par les points jaunes. Le comportement du O-C semble changer d'un cycle à l'autre, en particulier durant les phases Blazhko 0 à 0.6, jusqu'au minimum du O-C. A noter la différence des valeurs du O-C au minimum du 2^{ème} cycle au JD ~2454720 et des 2 autres cycles aux JD ~2454640 et JD ~2454750.

8 Conclusion

L'expérience VTT s'est montrée efficace pour l'observation d'étoiles jusqu'à la magnitude 11.5 environ. On peut ainsi, à cette limite, atteindre des incertitudes de l'ordre de 0.03 mag en photométrie différentielle avec des temps de pose de 5mn. Ces temps de pose sont obtenus en combinant 10 poses de 30s. Compte tenu du temps de lecture du CCD, chacune de ces séries de poses durent entre 6 et 7mn. Cela fixe la résolution temporelle que nous pouvons attendre à cette limite de magnitude. A la magnitude 7, et avec des temps de pose de 30s, l'incertitude peut être de l'ordre de 0.01 mag.

Les limites de l'expérience ont été précisées grâce l'observation de céphéides faibles, V572 Aql et V439 Oph. Ces observations ont également permis de découvrir une nouvelle variable, probablement une céphéide. Cette étoile était seulement une candidate pour servir d'étoile de comparaison parmi 5 étoiles choisies pour leur couleur. Une analyse systématique de toutes les étoiles pourrait donner des résultats

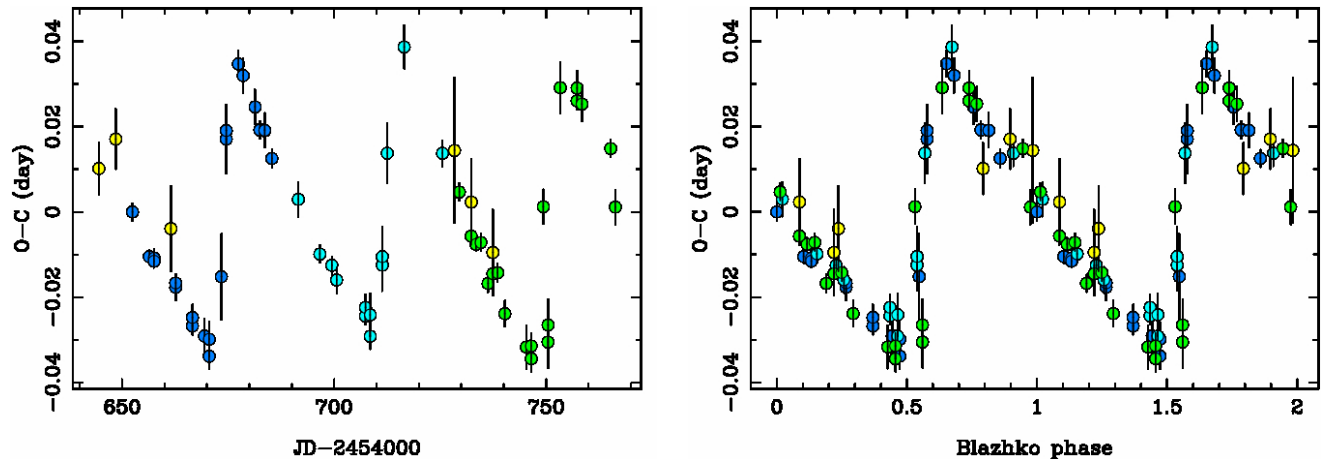


FIG. 12 – Variation des O-C de RR Lyr entre juin et octobre 2008. A gauche : variation avec le temps pendant les 3 cycles Blazhko observés. A droite : compositage avec la période Blazhko de 38.3 jours. Les tracés du bas montrent le détail pendant la montée du O-C.

intéressants.

Le but principal de l'expérience est le suivi de l'effet Blazhko de RR Lyr elle même. La fréquence des mesures obtenue (une pose de 30s toutes les ~ 45 s pendant 92 nuits) est adéquate et a permis de détailler le comportement de RR Lyr en 2008. Nous avons ainsi mis en évidence ce qui semble être des irrégularités de l'effet Blazhko, en particulier une fluctuation du O-C au minimum Blazhko d'un cycle à l'autre et une dispersion des O-Cs augmentant du maximum vers le minimum Blazhko. Il est indispensable que cette expérience se renouvelle tous les ans, et cela pendant de nombreuses années. On s'attend, en effet, compte tenu des observations des 50 dernières années, à que le comportement de l'effet Blazhko de RR Lyr change à l'échelle de quelques années.

Références

- [1996] Bertin E. & Arnouts S., 1996, *Astronomy & Astrophysics* 117, 393
- [2000] Csak B., Kiss L.L., Vinko J. and Alfaro E.J., 2000, *Astron. Astrophys.*, 356, 603
- [1982] Diethelm R. & Tammann G., 1982, *Astronomy & Astrophysics Supp.*, 47, 335
- [1984] Harris H. C., Wallerstein G., 1984, *Astron. J.* 89, 379
- [1980] Henden, A. A., 1980, *MNRAS* 192, 621
- [1931] Hoffmeister, C., 1931, *Astron. Nachr.*, 242, 129
- [1935] Hoffmeister C., 1935, *Astron. Nachr.*, 255, 401
- [2007] Hübscher J. and Walter F., 2007, *IAU Inform. Bull. Var. Stars*, 5761
- [1999] Kazarovets E.V., Samus N.N., Durlevich O.V., Frolov M.S., Antipin S.V., Kireeva N.N. and Paskhova E.N., 1999 *IAU Inform. Bull. Var. Stars*, 4659
- [2001] Koen C., 2001 *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 321, 44
- [2009] Pribulla T., Rucinski S. M., DeBond H., de Ridder A., Karmo T., Thomson J. R., Croll B., Ogłóza W., Pilecki B., Siwak M., 2009, *Astron. J.*, 137, 3646
- [1999] Rucinski S.M. and Lu W., 1999 *Astron. J.*, 118, 2451
- [2005a] Schmidt E.G., Johnston D., Langan S., Lee K.M., 2005, *Astron. J.*, 129, 2007

- [2005b] Schmidt E.G., Johnston D., Langan S., Lee K.M., 2005, *Astron. J.*, 130, 832
- [1996] Schwarzenberg-Czerny, A., 1996, *ApJ* 460, L107.
- [1961] Strohmeier W. and Knigge R., 1961, *Astronomische Nachrichten* 286, 133
- [1966] Sturch C. R., 1966, *PASP*, 78, 210
- [1977] Szabados L., 1977, *Bud. Mitt.* 70
- [1991] Szabados L., 1991, *Comm. Konkoly Obs.*, 96, 123
- [2008] Vandenbroere J., Kleidis S., 2008, *GEOS Circular RR* 36
- [2006] Wils P., Lloyd C. and Bernhard K., 2006, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 368, 1757

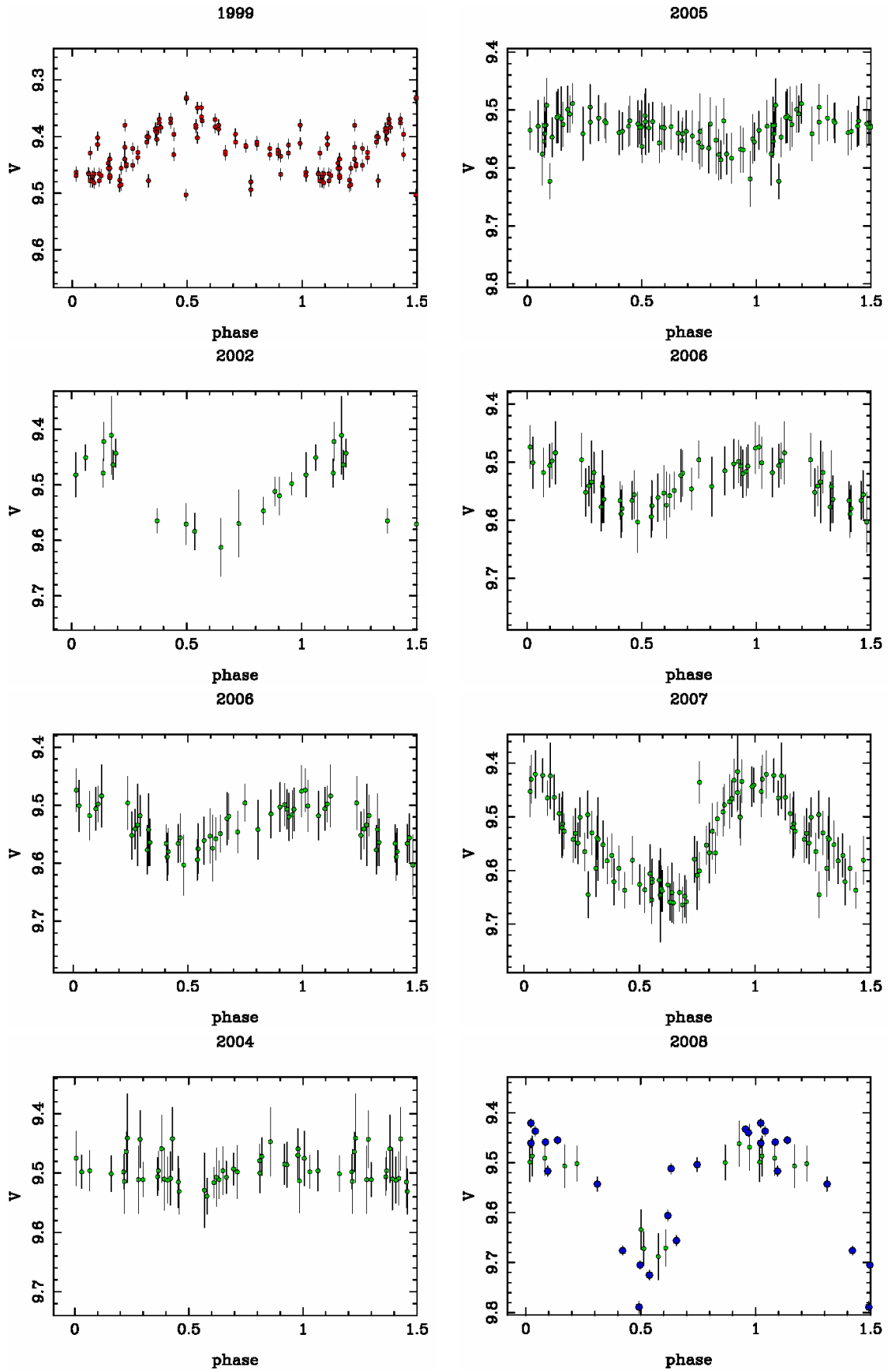


FIG. 13 – BD +04° 3503