

L'OBSERVATION DES ÉTOILES DE TYPES BINAIRES À ÉCLIPSES

ASPECTS PRATIQUES

Observation of Eclipsing Binary Stars - Practical aspects

Laurent Corp

AAVSO – GEOS – Commission Etoiles Doubles SAF
<http://www.astrosurf.com/lcorp/>
astro.laucorp@orange.fr



Résumé

Cet article a pour but d'expliquer comment observer les étoiles de types binaires à éclipses en décrivant les processus en mettre en œuvre, de la préparation des observations à l'envoi des données.

Abstract

This article aims to describe the different types of binary stars with eclipses, which are observable by amateurs and are part of a long-term monitoring.

Keywords: photometry, binaries: eclipsing



1 Introduction

Après avoir décrit les différents types de binaires à éclipses dans la Revue Etoiles Doubles n°1 [1], je vous propose maintenant de traiter des méthodes et outils à mettre en œuvre afin de réussir ses observations.

Nous allons passer en revue les 4 étapes essentielles :

La préparation : il est indispensable de savoir à quels instants vont se produire les minima et les maxima. Nous allons voir comment les rechercher,

L'acquisition : quelles sont les précautions à prendre afin de faire des images qui permettent d'enregistrer les instants des minima,

Le dépouillement : une fois l'acquisition de centaines d'images faite, un traitement est nécessaire afin d'obtenir une courbe de lumière,

L'envoi des données : après la réduction des images et l'obtention d'un jeu de données, il est très important de les diffuser. Nous verrons comment et à qui.

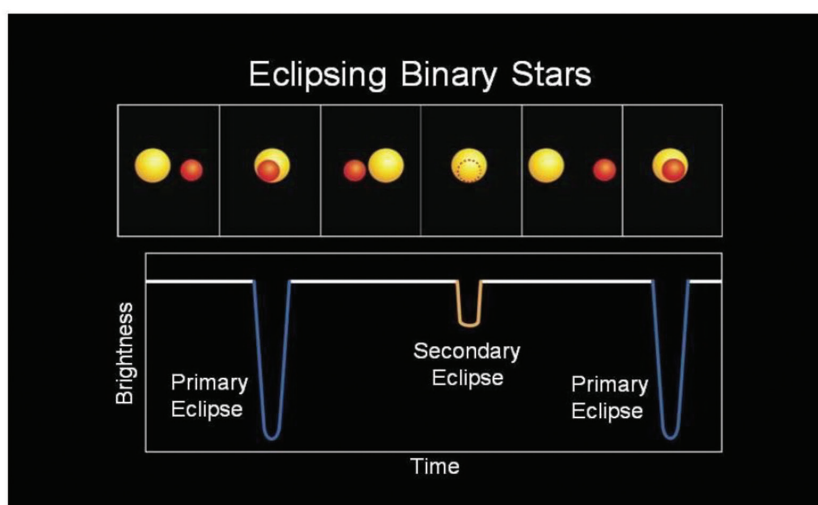


Figure 1 : Morphologie d'une courbe de lumière d'une binaire à éclipse

2 Rappels et prérequis

Une étoile binaire à éclipses est une étoile binaire dont le plan de révolution se trouve sensiblement sur la ligne de visée de l'observateur, les deux astres s'éclipsent ainsi mutuellement de façon périodique.

Bien que l'on puisse surveiller les variations de luminosité à l'oculaire de son instrument, il est quand même préférable d'utiliser une caméra (CCD ou CMOS) ou un appareil photo numérique afin de les enregistrer.

Il va de soi que pour s'adonner à ce genre de pratiques, la maîtrise de l'instrument doit être acquise, de la mise en station à la focalisation en passant par l'acquisition des images.

De la prédiction des minima à la mesure puis à l'interprétation des données, toutes les étapes sont importantes et requièrent le plus grand soin.

Il faut chercher impérativement à avoir des données de qualité plutôt que des quantités de données inexploitable.

3 Ephémérides

Les éphémérides permettent de déterminer l'instant des minima primaire et secondaire. Ils sont donnés par la formule suivante :

$$T = T_0 + P \times E$$

dans laquelle :

T_0 = Début de la phase en jour julien

P = Période en jours

E = Cycle : nombre sans unité représentant le nombre d'évènements – minima primaire ou secondaire

Chaque binaire à éclipses est caractérisée par les éléments ci-dessus. En revanche, il manque souvent un élément important : la durée du minima. Celle-ci est aussi un paramètre qui conditionne la mesure de l'instant du début du minima et la durée d'observation nécessaire.

Les prévisions de minima sont obtenues soit à l'aide de sites Internet dédiés qui fournissent des éphémérides d'éclipses en ligne soit à l'aide de logiciels spécialisés, pour lesquels le choix est assez restreint.

Une remarque très importante : les heures données par les différents sites internet ou logiciels sont fournies en Temps Universel (TU) ou en Temps Local. Il faut considérer ces prédictions comme une indication pour l'heure du minimum. Je conseille de travailler toujours en TU, une habitude à prendre dès aujourd'hui.

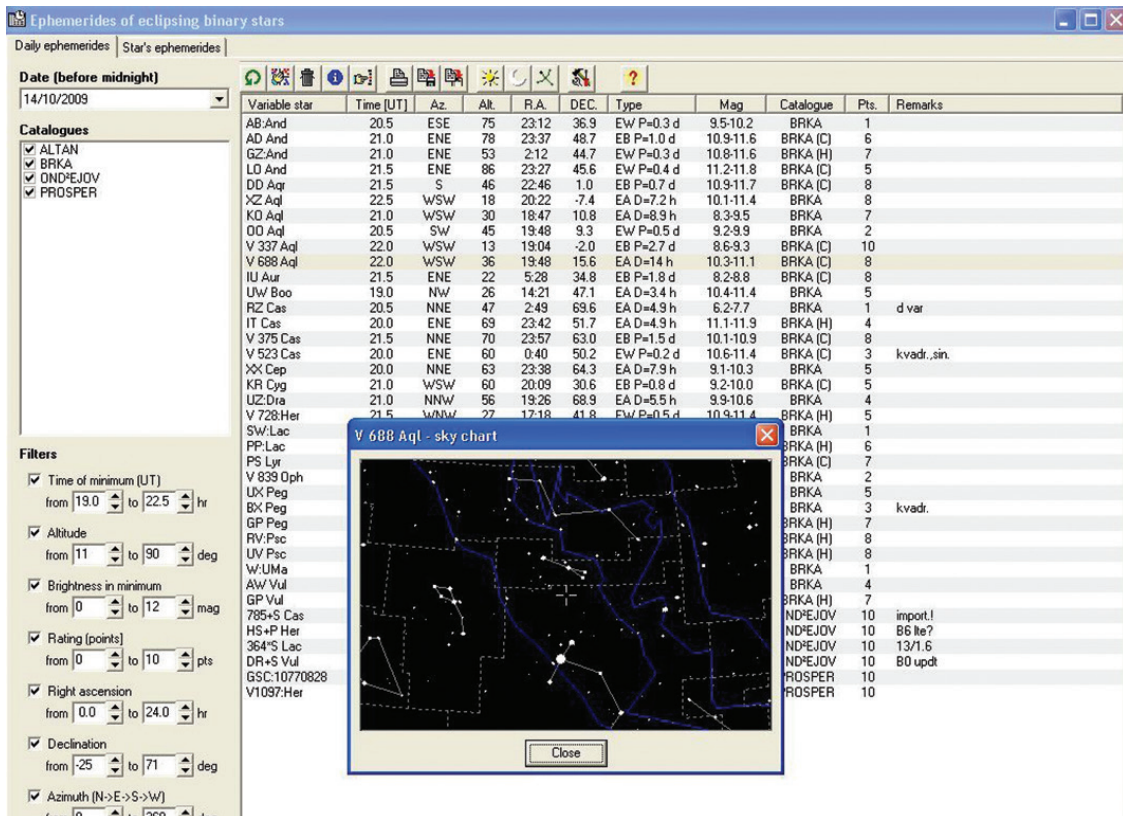


Figure 2 : Copie d'écran du logiciel EPHEMERIDES

3.1 Logiciel EPHEMERIDES

Ce logiciel écrit par David Motl [2], permet de faire des prédictions sur le terrain, même sans disposer d'une connexion internet (figure 2).

Il propose différents critères (magnitude, ascension droite, déclinaison, etc ...) et différents catalogues pour la sélection des étoiles à étudier.

Il est souvent très utile de constituer ses propres catalogues.

Un point important à noter est que les éphémérides sont indiquées à 30 minutes près.

3.2 Logiciel EBMIN 20

Ce logiciel est écrit par Bob Nelson [3], observateur assidu

de ce type d'étoiles. On notera que le temps indiqué est volontairement approximatif afin de ne pas influencer l'observateur.

3.3 Sites internet de prévision de minima

Le premier site proposé est celui de J.M. Kreiner, du Mt. Suhora Astronomical Observatory Cracow Pedagogical University [4].

Ce site présente les minima primaires et secondaires d'une étoile dont on connaît le nom et la constellation (figure 3) ainsi que le diagramme des O-C (figure 4).

Un diagramme des O-C représente la différence entre l'instant prévu du minima (théorique) et l'instant de son observation réelle. Chaque point sur la courbe représente un instant de

```

Light elements: HJD = 2452500.341 + E x 0.6289298
Current JD 2459505.36053
Current cycle (epoch) 11138
Current orbital phase 0.99908
Assumed eclipse duration : D= (in period unit)

Computed times of minima :
Date: Time: Type: HJD:

17-10-2021 07:34 pri 2459504.73218
17-10-2021 15:07 sec 2459505.04665
17-10-2021 22:40 pri 2459505.36111
18-10-2021 06:12 sec 2459505.67558
18-10-2021 13:45 pri 2459505.99004
18-10-2021 21:18 sec 2459506.30451
19-10-2021 04:51 pri 2459506.61897
19-10-2021 12:24 sec 2459506.93344
19-10-2021 19:56 pri 2459507.24790
20-10-2021 03:29 sec 2459507.56237
20-10-2021 11:02 pri 2459507.87683
20-10-2021 18:35 sec 2459508.19130
21-10-2021 02:08 pri 2459508.50576

```

Figure 3 : Ephémérides des minima primaires et secondaires d'une binaire à éclipses

Source : <http://www.as.up.krakow.pl/ephem>

minima.

Même si les heures sont indiquées de manière très précise, là aussi il faut considérer que celles-ci présentent une marge d'erreur.

Il existe aussi le site Eclipsing Binary Ephemeris Generator [5]. Ce site géré par Shawn Dvorak prend en compte plusieurs catalogues et les prévisions tiennent compte de la latitude, de la longitude, de la date et l'heure d'observation. Il est aussi possible de filtrer les résultats sur des critères de déclinaisons (maximales et minimales) et de magnitudes (maximales et minimales.)

4 Comment choisir sa cible ?

Le choix de l'étoile à observer dépend en premier lieu du temps disponible pour être opérationnel. En effet, le temps d'installation et de pointage sera beaucoup plus court pour un observateur qui possède un observatoire dans son jardin que pour un observateur itinérant qui doit faire deux heures de trajet et qui aura besoin d'une bonne heure supplémentaire avant d'être fin prêt.

Le choix dépend également des conditions d'observation (pollution lumineuse), de l'expérience de l'observateur (pour les premières mesures, on choisira des étoiles faciles à repérer et relativement lumineuses), des performances du matériel utilisé (caméra, télescope, monture) et du temps disponible. Pour obtenir des résultats probants, l'idéal est de commencer les mesures 1h30 avant le minima et de les continuer jusqu'à 1h30 après.

Pour celui qui n'a jamais mesuré ce type d'étoiles, je conseille de choisir des cibles dont l'écart en magnitude entre le minima et le maxima est important (plus d'une demie magnitude) afin d'avoir une courbe de lumière facile à construire.

Il est possible aussi de choisir une étoile qui a été observée depuis peu de temps afin de comparer les mesures trouvées à des mesures précédentes effectuées par d'autres.

Quand enfin la cible est choisie, il faut se procurer la carte de référence et la table photométrique qui sont téléchargeables sur le site internet de l'AAVSO [6].

Les cartes indiquent le nom de l'étoile, le numéro de la carte, le champ, l'orientation, les magnitudes mini et maxi, le type d'étoile ainsi que son type spectral (figure 5).

Les chiffres portés à côté des étoiles représentent les magnitudes des étoiles de comparaison. Les chiffres ne sont

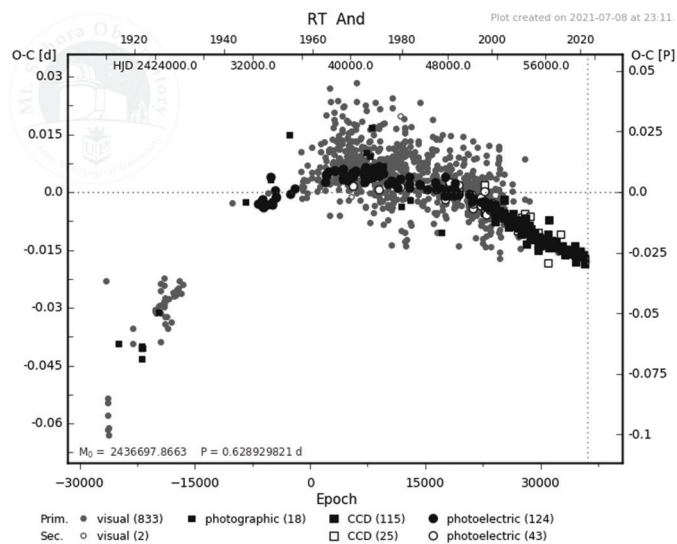


Figure 4 : Diagramme O-C de la binaire à éclipses RT Andromède
Source : <https://www.as.up.krakow.pl/minicalc/ANDRT.HTM>

pas séparés par des virgules ou des points pour éviter toute confusion. La carte photométrique indique les magnitudes des étoiles de comparaison avec de multiples bandes mais les plus utilisées sont U, B, V et R. Les autres ne sont pas nécessaires.

Une autre chose importante à vérifier sur la carte ou alors avec un logiciel de cartographie (tel que GUIDE 9, C2A, Carte du Ciel, Stellarium...) est que l'étoile à mesurer ne soit pas « polluée » par d'autres étoiles à proximité car il y aura alors le risque de mesurer le flux de l'étoile cible cumulé avec celui de l'étoile voisine.

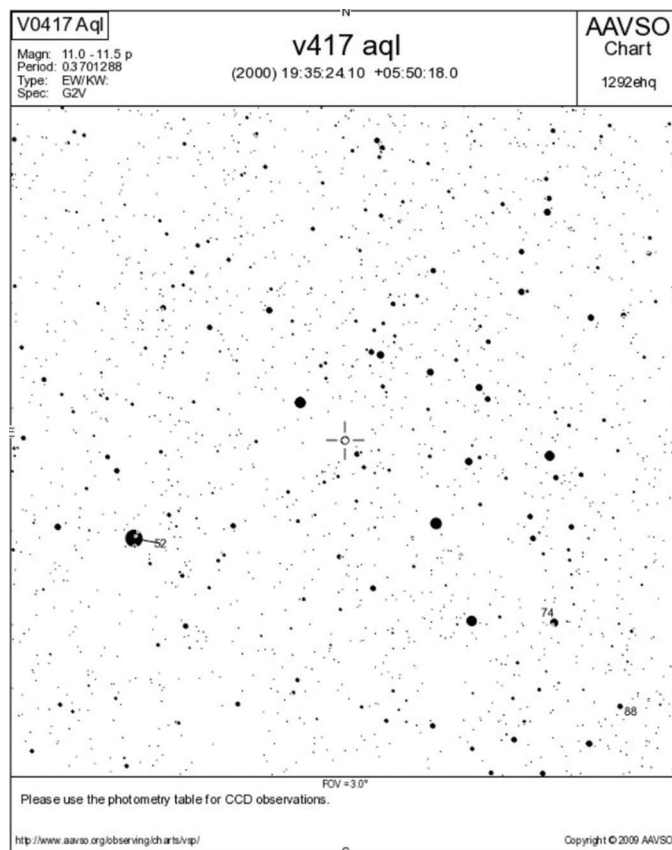


Figure 5 : Carte de champ de V417 Aql ©AAVSO

5 Choix du matériel

Je ne traiterai pas ici des réglages liés à l'utilisation du télescope : mise en station, collimation, guidage... Leur maîtrise est bien sûr nécessaire afin de réaliser avec succès vos images.

L'objectif est d'arriver à faire des mesures avec une précision de l'ordre du centième de magnitude. Seules les techniques d'imagerie numérique permettent d'atteindre cette précision. Il sera possible d'utiliser un appareil photo numérique ou une caméra CCD ou CMOS.

Concernant les optiques, de nombreuses combinaisons sont possibles. Un simple appareil photo numérique muni d'un téléobjectif de 200mm posé sur un trépied et le tout sans suivi est utilisable. Dans ce cas, le temps de pose ne devra pas dépasser 2 secondes avec un réglage à 800 ISO. Il est possible également d'utiliser une caméra avec un simple objectif de 135mm sur une monture motorisée.

Bien entendu toutes sortes d'instruments peuvent être utilisés (des Newtons aux Schmidt Cassegrain en passant par les lunettes), mais le champ couvert avec des instruments de plus longue distance focale sera beaucoup plus petit qu'avec un objectif de 135 à 300mm de distance focale et les étoiles de comparaison seront quelquefois plus difficiles à trouver.

Concernant l'utilisation d'une caméra CCD, voici les paramètres qui doivent être contrôlés : celle-ci doit être monochrome, thermo-régulée et de préférence Non AntiBleeding.

L'utilisation des télescopes on-line disponibles sur internet soit gratuitement, soit par abonnement est possible, à la condition d'obtenir le nombre d'images voulues sur la durée souhaitée. Il n'est pas acceptable que la prise d'images intervienne dans une période aléatoire. Il n'est pas trop pénalisant d'avoir des mesures échelonnées dans le temps pour suivre une étoile à grande période. Mais dans le cas d'une étoile à courte période (moins de 8h), il y aura une perte de points de mesures et le minima risque fort de ne pas être mesurable.

Certains organismes ou observatoires demandent à ce que les observations soient réalisées avec un filtre soit V (vert), soit R (rouge) de type photométrique. Il existe plusieurs types de filtres sur le marché, les plus anciens sont les filtres photométriques de type JOHNSON-COUSINS (figure 6).

Les filtres de type SLOAN, dont la bande passante n'est pas du tout la même, sont aussi utilisables (figure 7).

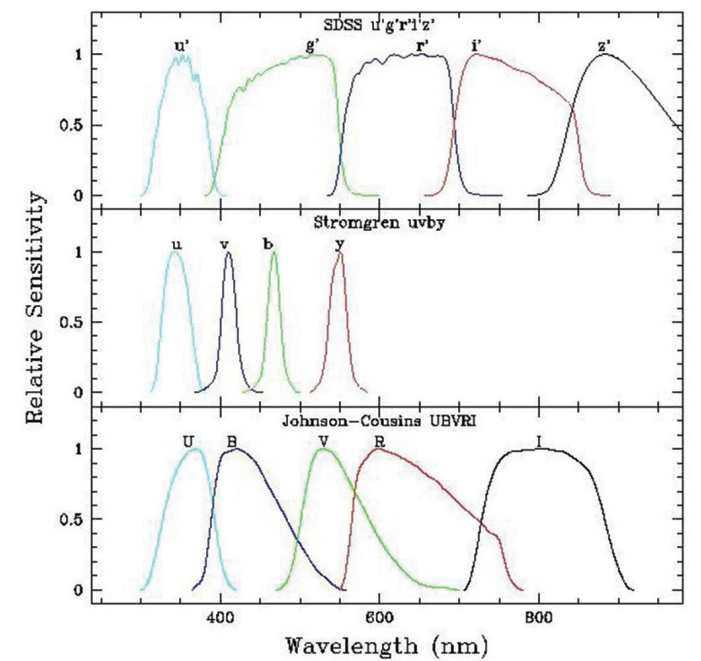


Figure 6: Transmission spectrale de différents filtres

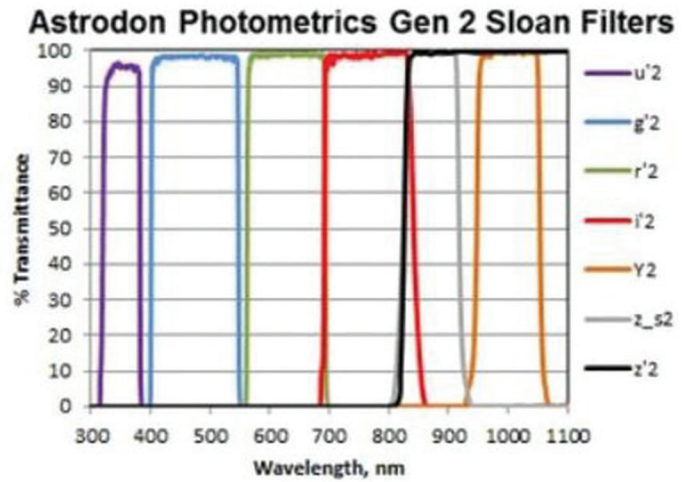


Figure 7: Transmission spectrale des filtres de type SLOAN © Astrodon

6 Acquisition

Une fois la cible et le matériel définis, je vais énoncer quelques conseils pour la phase d'acquisition d'images.

Sur le terrain, il faut veiller à ce que celles-ci fonctionnent correctement, c'est à dire que les étoiles ne soient pas saturées quels que soient les capteurs utilisés. Il faut aussi obtenir un rapport signal sur bruit (SNR) suffisant. Le SNR que vous devez obtenir doit être égal ou supérieur à 50. Le logiciel d'acquisition doit fournir cette valeur instantanément de manière à vérifier que cette condition soit remplie au cours de l'ensemble de la séquence d'acquisition.

Le logiciel doit pouvoir gérer le filtrage de manière automatique si vous en utilisez un, c'est à dire de faire des poses en V et R en alternance. Si cela n'est pas possible d'origine, il faudra alors programmer un script spécifique afin que cela soit réalisable.

Pour que les mesures soient exploitables, il faut également que l'ordinateur soit réglé de manière précise sur l'heure locale ou TU. Plusieurs logiciels peuvent remplir cette fonction et sont disponibles sur le WEB. Ils permettent de maintenir à l'heure votre ordinateur via une connexion Internet. Le logiciel NetTime [7] remplit pleinement cette fonction.

Sans disposer d'une telle connexion, il est impératif de s'assurer que l'ordinateur soit précisément à l'heure avant la première image. Il est nécessaire de disposer d'une précision inférieure à la seconde durant l'acquisition des images, l'horodatage étant stocké dans l'entête des fichiers images.

Dès que tous les réglages et contrôles sont terminés, il est temps de lancer une « time-serie », c'est à dire l'acquisition d'une série d'images. Je conseille de travailler en continu, en effectuant par exemple 300 poses de 30 secondes sans interruption, plutôt que 150 poses de 30 secondes espacées de 30 secondes.

Suivant la saison et l'étoile choisie, Il sera possible de faire des mesures sur une à trois étoiles par nuit au maximum pour rechercher exclusivement des minima mais il est souvent préférable d'avoir le plus de mesures possibles. Cela permettra ensuite d'aborder la modélisation 3D de ce type d'étoiles, mais c'est une autre histoire.

En effet, il faut avant tout privilégier la qualité à la quantité, le résultat final en dépend.

Certains professionnels souhaitent avoir la totalité de la phase plutôt que le minimum, dans ce cas il n'y aura qu'un seul objectif : une seule étoile durant toute la nuit et les nuits suivantes si besoin.

Bien entendu pour faire des mesures précises, il faut impérativement faire de bonnes images de calibration

(offset, darks et flats). Le prétraitement des images sera fait conformément aux règles de l'art et bien sûr il est totalement proscrit de faire un quelconque traitement « cosmétique » des images prétraitées.

Il ne faut surtout pas utiliser un logiciel de retouche d'image qui rendrait les images plus flatteuses à votre regard, car les résultats finaux en seraient faussés.

Les images de calibration influent sur le résultat final des mesures, il est donc indispensable de porter un grand soin à leurs réalisations.

Durant la première heure d'acquisition, il est souhaitable de faire une mini réduction des données pour savoir si une baisse de magnitude est constatée et d'avoir ainsi une courbe de lumière montrant effectivement un minima.

La sauvegarde des données est également un autre point important. Il n'est pas rare au cours d'une nuit de se retrouver avec plusieurs centaines d'images. Il est donc indispensable de les sauvegarder sur plusieurs supports informatiques et de les archiver.

Il se peut que quelques années après l'envoi des données, des images de la cible observée soient redemandées ou simplement vérifiées.

7 Dépouillement

La carte téléchargée sur le site de l'AAVSO comporte des étoiles de comparaison. Elles sont nécessaires pour mesurer la magnitude de l'étoile cible. Pour prendre la bonne valeur de magnitude de l'étoile de comparaison, la table photométrique qui est associée à la carte doit être utilisée.

La notice de votre logiciel vous indiquera comment extraire les données photométriques de vos propres images.

Le principe général de la méthode utilisée est celui de la photométrie différentielle : le flux de l'étoile à mesurer est comparé à celui d'une étoile de référence.

Voici quelques conseils :

- il est préférable d'utiliser des étoiles de référence de magnitudes proches de celle de la cible,

- il faut choisir une étoile de référence d'un indice de couleur « B-V » quasi identique à celui de la cible (ou « V-R » suivant les filtres utilisés),

- Attention : il faut vérifier avec une mesure sur une étoile « test » que les magnitudes des étoiles de références soient stables dans le temps !

Dans le cas où le logiciel d'acquisition n'intègre pas un module de photométrie, il est possible de trouver facilement plusieurs logiciels gratuits sur internet qui rempliront cette fonction. Pour ne citer que les plus connus, il existe Muniwin et AstroImageJ. Je conseille de se référer à leurs notices respectives pour en tirer le meilleur profit.

8 Envoi des données

Le format des données varie suivant l'organisme à qui elles sont envoyées. Je ne peux que conseiller de se référer au site internet de celui-ci. Le logiciel doit pouvoir réaliser une importation des données soit au format texte, soit au format d'un des organismes.

Dans la majorité des cas, il suffit d'envoyer un fichier comprenant la date d'observation en jour julien, la magnitude de l'étoile cible ainsi que celles des étoiles de comparaison.

En revanche, il est inutile d'envoyer vos propres instants de minima car ceux-ci seront calculés par la personne qui reçoit les données, afin d'avoir des résultats comparables entre les différents auteurs.

Il ne faut surtout pas garder jalousement les données. Au

contraire, il est très important de les diffuser même si les résultats peuvent sembler erronés. Si des erreurs sont constatées, le référent les signale et il faut recommencer soit l'acquisition, soit le dépouillement soit les deux. Je ne peux que conseiller de les envoyer à la commission des binaires à éclipses de l'AAVSO [8].

9 Conclusion

Vous avez maintenant tous les outils en main pour obtenir vos premières courbes de lumière. Ce domaine de l'astronomie est à la fois accessible aux amateurs et scientifiquement utile. Il est plus accessible que la détection des exoplanètes, basée sur les mêmes techniques, mais mettant en jeu des différences de magnitudes beaucoup plus faibles.

Chaque mesure est utile et permet de progresser dans la mise en œuvre des outils et des méthodes présentés ici et plus largement dans la connaissance des binaires à éclipses.

Bons ciels et bonnes observations !

10 Ressources

Sites internet :

- AAVSO - section des binaires à éclipses : <https://www.aavso.org/aavso-eclipsing-binary-section>

- Commission des Etoiles Doubles - SAF : <https://ced.saf-astronomie.fr/>

GEOS – Groupement Européen d'Observations Stellaires : <http://rr-lyr.irap.omp.eu/>

Logiciels:

- Muniwin : <http://c-munipack.sourceforge.net/>

- AstroimageJ : <https://www.astro.louisville.edu/software/astroimagej/>

- Stellarium : <https://stellarium.org/fr/>

- C2A : <http://astrosurf.com/c2a/>

- Guide 9 : <https://www.projectpluto.com/>

Livres :

Voici quelques titres qui ne traitent que de façon partielle des binaires à éclipses mais qui vous seront d'une aide précieuse :

- Astronomie et Astrophysique (5ème édition) – Agnès ACKER – Ed Dunod (2019)

- Étoiles et matières interstellaires -Collectif James LEQUEUX – Ed Ellipses (2008)

- Ce que disent les étoiles – Danielle BRIOT et Noël ROBICHON – Ed Belin (2013)

Mes publications (extrait) :

Double Star Astrometry – How to measure the minima of Eclipsing Binaries – some tips - Collectif WEISE GENET WALLEN – Ed Collins Foundation Press (2015)

Observing and measuring visual double stars How to measure the minima of Eclipsing Binaries – an amateurs's experiences – Collectif R.W. ARGILE Ed Springer (2012)

Références

[1] Article « L'OBSERVATION DES ÉTOILES DE TYPES BINAIRES À ÉCLIPSES - ASPECTS THÉORIQUES » - Revue Etoiles Doubles n°1 Décembre 2020 - <https://etoiledoubles.org/revue/ED-2020-01/ED-2020-01-Corp.pdf>

[2] Logiciel Ephémérides - Site de David Motl - <http://www.motl.cz/dmotl/predpovedi>

[3] Logiciel EBMIN20 - Site de Bob Nelson - <http://members.shaw.ca/bob.nelson/software1.htm>

[4] Site de prévision de minima de J.M. Kreiner - <http://www.as.up.krakow.pl/ephem>

[5] Site Eclipsing Binary Ephemeris Generator - <http://www.rollinghillsobs.org/perl/calcEBephem.pl>

[6] Association étatsunienne des observateurs d'étoiles variables - AAVSO - <https://app.aavso.org/vsp/>

[7] Logiciel NetTime - <https://www.timesynctool.com/>

[8] Commission des binaires à éclipses de l'AAVSO - <https://www.aavso.org/aavso-eclipsing-binary-section>



Laurent CORP

J'habite à Rodez et je pratique l'astronomie depuis l'âge de 13 ans. Voir les sondes Viking se posant sur la planète Mars fut une "révélation". Je pratique l'observation des étoiles variables depuis de nombreuses années et suis membre de l'AAVSO (commission "Binaires à Eclipses") ainsi que d'autres groupes tel que le GEOS ou la commission des étoiles doubles de la SAF. J'envoie mes mesures à diverses associations, instituts ou professionnels avec qui je collabore et j'ai écrit quelques chapitres dans des livres ou revues spécialisés