Par Bernard Côté

Qu'est-ce qui se cache dans la courbe de lumière d'un système binaire à éclipse ?

Je me lance dans l'observation des binaires

Depuis l'été dernier, à l'invitation du Professeur Lorne Nelson de l'Université Bishop's, avec plusieurs membres du CAAS, j'ai joint un groupe d'astronomes amateurs qui observe des systèmes binaires. Le professeur Nelson nous a chargé d'observer et confirmer des cibles identifiées par le programme Gaia DR3 comme étant possiblement des systèmes binaires à éclipses. L'étude du professeur Nelson vise particulièrement à valider si ces systèmes binaires sont composés d'étoiles rapprochées au point où elles se touchent.

Pour les fins de ce projet, j'ai dû me familiariser avec la collecte et le traitement de données sur l'intensité lumineuse des étoiles. Cette discipline s'appelle « astrophotométrie ». Elle consiste à mesurer, dans une bande spectrale donnée, l'intensité de la lumière d'une étoile ou de tout autre objet céleste, et de sa variation dans le temps. Dans une image donnée, j'établis la luminosité d'une étoile en la comparant à une ou plusieurs étoiles dont la luminosité est connue.

Pour les fins de l'étude du professeur Nelson, je dois analyser la variation de luminosité d'une cible sur une période donnée et en tracer un graphique qui constitue une courbe de luminosité.

Pourquoi une courbe de lumière?

La forme de cette courbe fourni une quantité impressionnante d'information sur le système binaire notamment :

- La masse totale du système binaire (les 2 étoiles) peut être calculée à partir de la période entre 2 éclipses ;
- Le diamètre des étoiles peut être calculé en fonction de la durée des éclipses ;
- la forme de la courbe de lumière permet de déduire l'inclinaison de l'orbite des étoiles du système ;
- la durée des éclipses et leur position relative permettent de calculer l'excentricité orbitale, l'argument du périastre et la somme des rayons des deux composantes en unités de leur séparation ;
- Le ratio des profondeurs des deux éclipses indique le degré de couverture de la surface et la relation entre les températures de surface individuelles des deux composantes ;
- Le moment des éclipses permet de calculer la période orbitale et, si elle est significative, le taux de changement de période et/ou la multiplicité stellaire.

L'étude des systèmes binaires

Les étoiles binaires constituent des modèles idéaux pour de nombreuses études astrophysiques. Représentant une part importante des objets célestes, elles sont présentes dans toute notre galaxie, dans les amas ouverts et globulaires, dans le halo et dans d'autres galaxies. De nombreuses études ont été menées sur les étoiles binaires et de nouvelles études voient constamment le jour.

La lumière des étoiles révèle leurs secrets. Contempler le ciel peut satisfaire nos aspirations romantiques. Mais lorsqu'on se pose des questions essentielles – Que sont les étoiles ? Quelle est leur température ? Quel est leur âge ? De quoi sont-elles faites ? À quelle distance se trouvent-elles ? – les regarder ne suffit pas. Pour les comprendre, il faut analyser leur lumière.

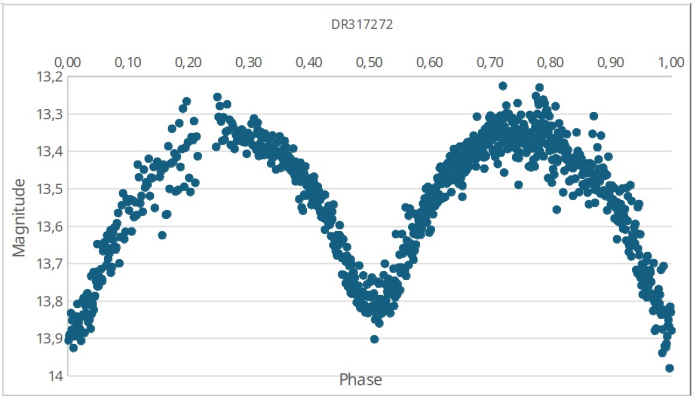
Pourquoi les binaires à éclipses sont importantes?

En raison de leur orientation géométrique, les binaires à éclipses présentent des caractéristiques spécifiques dans les données observées. Lorsqu'une partie de la lumière est bloquée pendant qu'une étoile passe devant l'autre, la luminosité observée diminue. Cette variation temporaire de la luminosité permet de déterminer les paramètres physiques du système binaire.

Ma courbe de lumière de DR317272

Tel que mentionné précédemment, une courbe de lumière est une représentation graphique de la variation de la luminosité d'une étoile ou d'un système binaire en fonction du temps. C'est-à-dire que la luminosité est évaluée périodiquement pendant un laps de temps et les données recueillies sont présentées sur un graphique.

Voici la courbe de lumière du système DR317272 que j'ai observé en octobre dernier :



Les étoiles de ce système complètent une orbite en 0.35 jour (8.4 heures). On voit que la luminosité du système a varié entre

13.2 et 14.0 de magnitude. Ayant soumis ma courbe de lumière au Professeur Nelson, j'avais sa confirmation que DR317272 était bien une étoile binaire en contact. La courbe caractéristique en forme du « M » de McDonald confirme qu'il s'agit bien d'un système binaire dans lequel les 2 étoiles sont en contact.

Je me suis demandé si, au-delà de ce constat, il y avait des informations que je pouvais déduire à propos de DR317272? Je me suis donc lancé dans une quête pour mieux comprendre les systèmes binaires en contact.

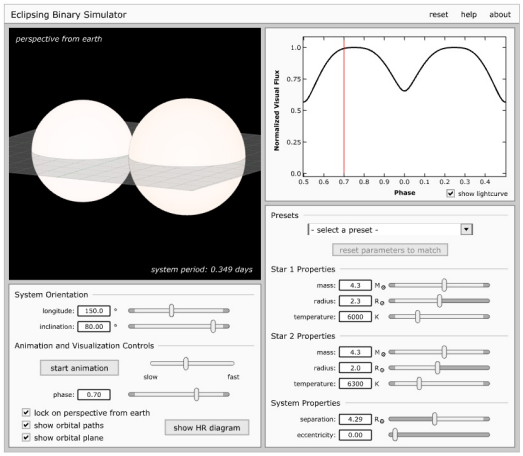
Un simulateur très utile pour comprendre la courbe de lumière

Il n'est pas si simple de comprendre le phénomène de l'éclipse en regardant la courbe de lumière. Qu'est-ce qui produit cette variation de la magnitude de l'étoile et cette courbe en particulier? Il y a un grand nombre de facteurs qui influence la forme et l'amplitude de la courbe notamment : La masse des étoiles, leur température, l'angle avec lequel on observe le système, le rayon des étoiles, la distance qui les sépare et l'excentricité de leurs orbites.

Au fil de mes recherches pour mieux comprendre mon sujet, je suis arrivé sur un outil très intéressant. L'Université du Nebraska à Lincoln (UNL) a développé un programme de simulation des étoiles binaires à éclipses (https://astro.unl.edu/naap//ebs/animations/ebs.html). Grâce à cet outil, on peut visualiser plus clairement l'interaction entre les 2 étoiles du système et interpréter la courbe de lumière obtenue.

J'ai utilisé ce simulateur pour essayer de mieux comprendre et analyser mon observation de DR317272. J'ai joué avec les paramètres du simulateur afin de reproduire le mieux possible le visuel de la courbe que j'avais obtenue. Après de nombreuses itérations, je suis parvenu à créer une courbe assez proche de mon observation.

Voici ma simulation de DR317272 faite à l'aide du programme de l'UNL :



Le résultat est arbitraire mais il permet de déduire certaines informations que je vous partage.

La masse totale des étoiles du système binaire DR317272

Dans ma simulation, il faut que les étoiles soient très proches pour se toucher. En utilisant le simulateur de l'UNL, j'ai recherché, par essai et erreur, quelle masse totale permettrait d'obtenir une période de 0.35 jour pour 2 étoiles qui seraient en contact. Le simulateur m'a permis de déterminer que la masse totale des étoiles du système pourrait être aux alentours de 8.6 masses solaires. Une masse plus grande donnerait une période plus courte tandis qu'une masse plus faible donnerait une période plus longue. Posant comme hypothèse que les étoiles de DR317272 sont de masse similaire, j'ai assigné une masse égale aux 2 étoiles soit 4.3 masses solaires.

Le diamètre des étoiles de DR317272

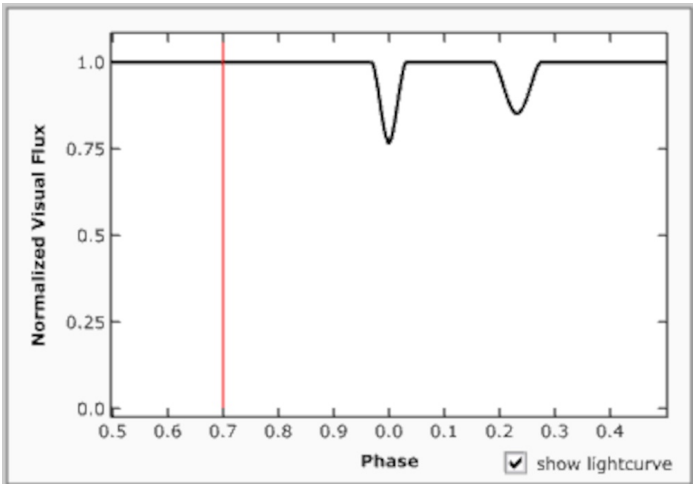
Par tâtonnement, on peut reproduire une courbe similaire à celle que j'avais obtenue en observant DR317272. On voit que les étoiles sont de dimensions à peu près similaires (2.3 et 2.0 fois le rayon du Soleil). Les étoiles sont en contact donc, la distance qui les sépare est de 2.3 fois le rayon du Soleil.

L'inclinaison de l'orbite des composantes de DR317272

Afin de reproduire la courbe de lumière observée, je déduis que l'inclinaison du plan orbital des composantes est d'environ 80 degrés par rapport à notre point de vue.

L'excentricité de l'orbite des composantes du système

La courbe que j'obtiens est symétrique. Ceci mène à conclure que l'excentricité des orbites des composantes de DR317272 est très faible ou nulle. Si l'orbite était significativement excentrique, l'intervalle entre les 2 éclipses ne serait pas de même durée. La courbe aurait un aspect comme celle-ci :

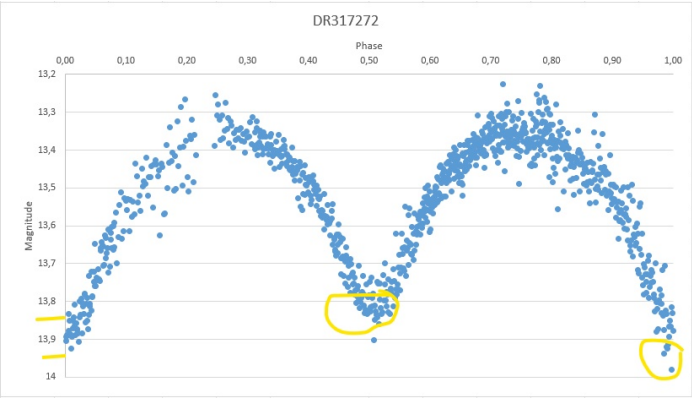


La température et luminosité relative

Sur la courbe de lumière de l'observation, on peut voir qu'une des éclipses est plus profonde que l'autre. Dans un cas, on voit que l'éclipse atteint la magnitude de 13.85 tandis que l'autre dépasse un peu 13.9. Ceci implique donc que les 2 étoiles ont des températures et, par conséquent, des luminosités très similaires. J'estime qu'il pourrait y avoir environ 5% d'écart de température entre les 2 étoiles. Je leur ai assigné des valeurs arbitraires de 6000 et 6300 degrés. Ceci permet, encore une fois, de respecter la forme de la courbe de lumière de mon observation.

Le rayon relatif des composantes

Le rapport des profondeurs des éclipses indique aussi le degré de couverture de la surface d'une étoile par rapport à l'autre, confirmant que les rayons de l'une et l'autre des étoiles sont relativement similaires.



En conclusion

Mon implication dans le projet du Professeur Nelson m'a amené dans un champ d'exploration de l'astronomie nouveau et très enrichissant. En plus d'apprendre des techniques de photographie nouvelles et l'utilisation de logiciels de traitement d'astrophotométrie, le projet m'a permis de me familiariser des objets célestes très intéressants que sont les binaires en contact. À ce jour, j'ai pu observer plus d'une quinzaine de cibles assignées par le Professeur Nelson. Pour chaque nouvelle cible, je suis toujours aussi curieux de voir si mon observation me permettra de confirmer s'il s'agit bien d'un système binaire en contact. Le projet continue. Le Professeur Nelson a encore une centaine de cible à faire observer. Pour ma part, j'ai toujours hâte au prochain dégagement pour reprendre mes observations de ces systèmes fascinants.

Si vous aimeriez joindre le projet du Professeur Nelson de Bishop's

Ce que vous devrez faire :

1. Remplir le document d'invitation du Professeur Nelson ;
2. Prendre des photos d'une cible assignée par le Professeur Nelson ;
3. Traiter ces photos en soustrayant les Darks, Flats, Biais dans un logiciel comme Siril, DeepSkyStacker, AstroSurface, etc. ;
4. Générer les données d'astrophotométrie (luminosité de la cible) à l'aide d'un logiciel comme Siril ou AstroImageJ ;
5. Produire une courbe de lumière à partir des données avec Siril, AstroImageJ ou en exportant les données dans Excel ;
6. Soumettre le résultat au Professeur Nelson pour approbation ;
7. Sur approbation du Professeur Nelson, il vous assignera une cible à observer de la même façon que ci-haut.

Si vous avez des questions, n'hésitez pas à m'envoyer un courriel. Il me fera plaisir de vous fournir des précisions au besoin.

Bernard Côté
bcote@approetik.ca