

Les étoiles variables

Michel DUMONT, Variabiliste

Ancien démonstrateur au Palais de la découverte et ancien professeur de mathématiques

Après avoir rappelé la définition de la magnitude des étoiles et proposé quelques d'exercices simples d'application, l'auteur suggère une étude visuelle des étoiles variables, applicable à l'occasion d'une école d'astronomie ou dans le cadre d'un club.

Introduction

Une étoile est dite variable si son éclat est changeant. Cet éclat est représenté par sa magnitude m définie par la formule de Pogson : $m = -2.5 \log E + k$

k est une constante qui fixe le zéro de l'échelle des magnitudes ; E est l'éclat (la luminosité) de l'étoile. Il s'agit de logarithmes décimaux qui étaient beaucoup plus faciles à manipuler avant l'arrivée des petites calculatrices.

Les unités dans lesquelles s'expriment les grandeurs photométriques ne sont pas nécessaires dans cette introduction, puisque les magnitudes sont presque toujours définies de façon relative par la formule :

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log (E_1/E_2) \quad (1)$$

où m_i et E_i sont relatifs à l'étoile i . On notera que la magnitude d'une étoile est un nombre algébrique d'autant plus petit que l'étoile est brillante. La magnitude, définie par la formule de Pogson fut imaginée pour coïncider avec la « grandeur » de l'étoile utilisée autrefois ; les étoiles de première « grandeur » étant plus brillantes que les étoiles de deuxième « grandeur ».

Sur le ciel, on a défini un certain nombre d'étoiles standards dont la magnitude fut fixée ; toutes les autres magnitudes sont déterminées par comparaison avec des standards. Parmi les standards, on avait choisi l'étoile Polaire qui a l'avantage (très important) d'être toujours à la même hauteur d'un lieu donné ; malheureusement, l'étoile Polaire est légèrement variable !

Exercice 1 : (Classe terminale) : Retrouver la formule (1) à partir de la formule de Pogson.

Exercice 2 : Si la différence des magnitudes de deux étoiles est égale à 1, quel est le rapport des éclats ? (On constatera que ce rapport est voisin de 2,5 mais dans la formule de Pogson, c'est bien 2,5.

Le voisinage des deux nombres est une coïncidence numérique).

Exercice 3 : Lorsqu'une étoile est 100 fois plus brillante qu'une autre, quelle est la différence des magnitudes ?

Exercice 4 : La magnitude de Sirius est de -1,44, celle du Soleil est de -26,9. Calculer le rapport des éclats.

Exercice 5 : On observe une étoile dans une lunette. La quantité de lumière reçue est proportionnelle à la surface de l'objectif (de la lunette). On suppose que la pupille de notre œil (dans l'obscurité) fait 6 mm de diamètre et permet (dans des conditions normales, à la campagne) d'apercevoir les étoiles de magnitude 6.

Quelle magnitude peut-on apercevoir avec une lunette de 60 mm de diamètre, avec un télescope de 200 mm de diamètre ?

Supposons que la distribution des étoiles, au voisinage du Système solaire, soit aléatoire ; sachant que l'on peut voir 6 000 étoiles à l'œil nu, combien peut-on voir d'étoiles avec un télescope de 200 mm de diamètre ?

Les étoiles variables

Dans l'Antiquité, on avait noté l'apparition (rare) d'étoiles nouvelles qui avaient ensuite progressivement disparu (novae ou supernovae). Les variations de β Per (Algol) avaient été remarquées par les Arabes. La régularité du phénomène fut précisée par Goodricke en 1782. En 1596 Fabricius découvrit les variations de Mira Ceti. À partir du XIX^e siècle, les découvertes se sont succédées et l'on connaît aujourd'hui plus de 100 000 étoiles variables.

Il y a deux grandes familles d'étoiles variables :

- les variables à éclipses qui sont des étoiles doubles dont les composantes s'éclipsent mutuellement et régulièrement ;

- les variables intrinsèques qui, a priori, sont simples et dont les variations sont produites par des variations des paramètres de l'étoile, en général la température et le diamètre de l'étoile.

Il y a de nombreuses sortes de variables dans chacune de ces familles.

Avant l'arrivée de la photométrie photoélectrique (PPE) puis des CCD, les observations d'étoiles variables (i.e. la mesure de leur magnitude) se faisaient visuellement ou avec des photographies. La précision des mesures visuelles est sensiblement égale à celle des mesures photographiques, mais la PPE et les CCD sont 5 à 10 fois plus précises et même 100 plus pour les observations effectuées par les satellites hors de l'atmosphère.

Les amateurs ont joué un rôle important dans l'étude des variables au cours des deux siècles précédents. Aujourd'hui, l'avènement de télescopes automatiques capables d'observer plusieurs centaines de variables avec une précision 10 fois meilleure que les mesures visuelles sonne le glas des variabilistes visuels !

Une petite expérience

Dans chacune des deux familles, il y a des variables à évolution lente et d'autres très rapides. Parmi les variables intrinsèques, il y a des variations considérables, parfois de plus de 10 magnitudes. L'étoile est alors 10 000 fois plus brillante au maximum qu'au minimum ! Mais la période des variations est de plus d'un an.

La figure 1 montre la courbe de lumière de l'étoile CY Aqr dont les variations sont dues à une pulsation rapide de l'étoile, dont la période est de 1 h 28 min.

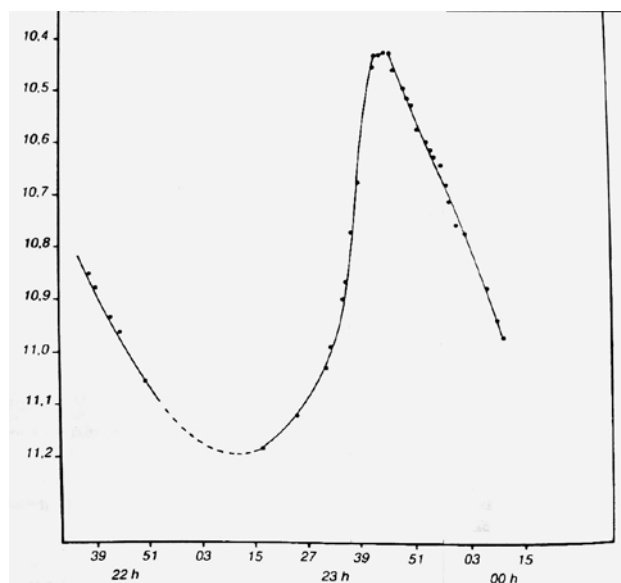


Fig.1. Courbe de lumière de CY Aqr obtenue pendant la nuit du 25-26 août 1982 avec le télescope photométrique de 76 cm de l'observatoire du Jungfraujoch.

La figure 2 montre la courbe de lumière de la variable à éclipses V566 Oph dont la période est de 9 h 50 min. Sur cette figure, toutes les observations effectuées en 2016 ont été composées sur un seul cycle. Soit T_0 l'instant du minimum de l'éclipse prévu par les éphémérides, T l'instant de l'observation et P la période ; la phase ϕ est donnée par :

$$\phi = \text{FRAC} \left((T - T_0) / P \right)$$

où $\text{FRAC}(x)$ est la partie décimale de x ; $\text{FRAC}(x) = x - (\text{partie entière de } x)$

ϕ est donc un nombre compris entre 0 et 1. Pour mieux visionner la courbe de lumière, en général, on trace 2 ou 3 cycles (identiques !).

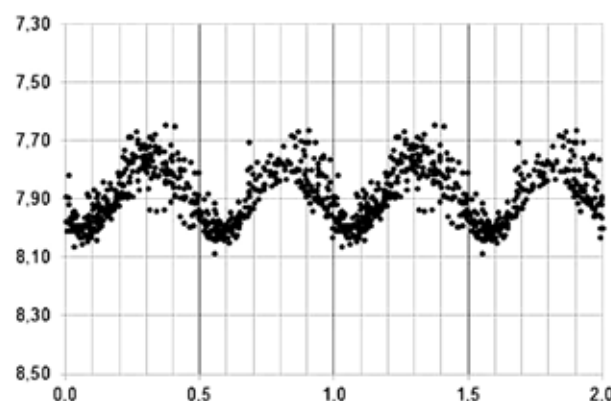


Fig.2. Courbe de lumière de V566 Oph tracée à partir de 511 observations visuelles faites par Stéphane Ferrand en 2016.

La figure 3 montre les 330 observations de la céphéide FF Aql effectuées par l'auteur de 2014 à 2018.

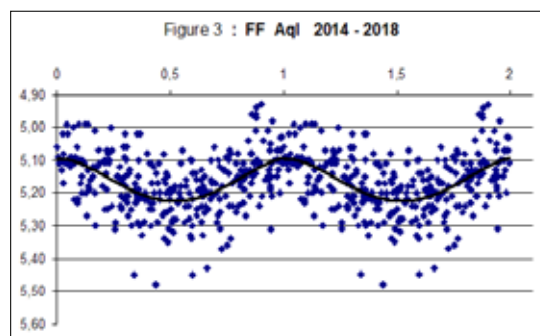


Fig.3. Courbe de luminosité d'une Céphéide dans l'Aigle.

Pour débiter dans l'observation des étoiles variables, FF Aql ne serait pas un bon choix, car son amplitude est faible (0,35 mag.)

Sur cette figure 3, on a tracé le graphe d'un polynôme déterminé par la méthode des moindres carrés et calculé par Excel. Toute fonction continue et périodique peut être approximée par un polynôme trigonométrique dont la détermination est une bonne application de l'usage des logiciels de calcul en vogue à l'Éducation nationale. La solution est la suivante :

$$m(\phi) = 5,17 - 0,063 \cos(2\pi\phi) - 0,008 \sin(2\pi\phi) - 0,005 \cos(4\pi\phi)$$

Les termes suivants sont négligeables. On constate que le maximum se produit à la phase

$\phi = 0,017$ soit 1,8 h plus tard que l'éphéméride donnée dans le GCVS (Catalogue Général des Étoiles Variables édité en Russie).

Pour un premier essai lors d'un stage ou d'une école d'astronomie, on peut essayer de reconstituer la courbe de lumière de la céphéide (variable pulsante) S Sge, dans la constellation de la Flèche. La figure 4 montre la carte de cette petite constellation visible en été et proche de la constellation du Cygne. Les étoiles à utiliser pour les comparaisons d'éclats sont A, B et F dont la magnitude et le spectre sont donnés **sous la carte**. S Sge varie de la magnitude 5,1 à 6,0 en 8,382 jours (8 j 9 h 10 min).

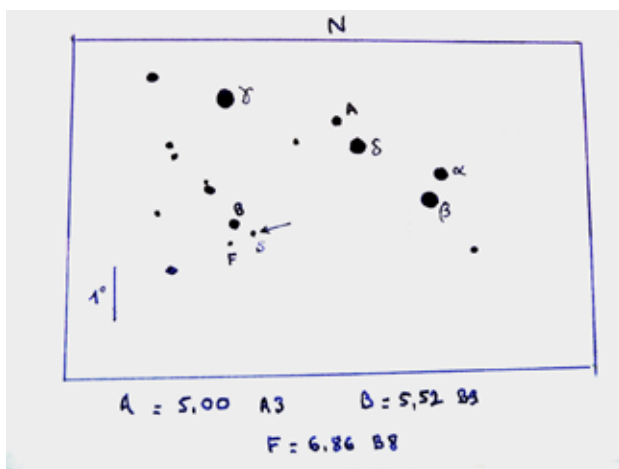


Fig.4. La variable S Sge dans la constellation de la Flèche.

La technique élémentaire pour effectuer les comparaisons est la « méthode des degrés » imaginée par Argelander (1799 – 1875) et décrite au paragraphe suivant.

Méthode des degrés

La méthode consiste à choisir dans le champ de l'étoile variable deux étoiles dont les éclats encadrent celui de la variable. Soient par exemple A une étoile plus brillante que la variable V et B une étoile plus faible que V. On cherche à obtenir une expression du genre A (a) V (b) B où a est le nombre de degrés qui séparent les éclats de A et de V et b le nombre de degrés qui séparent V de B. La magnitude m_V de V sera alors :

$$m_V = m_A + a/(a + b) \times (m_B - m_A)$$

où m_B et m_A sont les magnitudes respectives de B et A.

Les degrés sont définis de la façon suivante :

1 degré : Si A et V paraissent d'éclat identique au premier coup d'œil, mais si, après un examen attentif, il semble, sauf à de rares instants, que A est plus brillante que V, on dira que A est plus brillante que V de 1 degré. On écrira : A (1) V

2 degrés : Si A et V paraissent de même éclat au premier coup d'œil, mais si rapidement et sans hésitation, on estime que A est plus brillante que V, on écrira : A (2) V.

3 degrés : Si une légère différence d'éclat est décelable dès le premier coup d'œil, on dira que A est plus brillante que V de 3 degrés : A (3) V

4 degrés : Une nette différence d'éclat sensible au premier coup d'œil s'écrit A (4) V

5 degrés correspondent à une véritable disproportion d'éclat. On s'efforcera de choisir des étoiles de comparaison dont les différences d'éclat restent modestes.

Une observation visuelle d'étoile variable doit comporter : la date, l'heure (UT), le nom de l'étoile, la comparaison du genre A (a) V (b) B, la magnitude déduite de la comparaison, l'instrument utilisé (jumelles, lunette, télescope... avec diamètre et grossissement : pour l'observation des variables, les forts grossissements sont inutiles). On peut aussi noter la qualité auto-estimée de l'observation : fiable, moyenne, douteuse...

Conclusion

D'abord repérer la constellation de la Flèche (Sagitta Sge), puis l'étoile S grâce à la figure 4, avec une paire de jumelles, puis se lancer dans la comparaison. Attention, en cas d'observations en groupe, ne pas s'échanger d'information ! La suggestion est la première cause d'erreur lors des mesures visuelles. Bon courage !

■