

## **Chapitre 2 : Les étoiles variables : lesquelles choisir, comment et pourquoi les mesurer**

### *Que mesurez-vous avec la photométrie ?*

Les étoiles variables sont des étoiles dont l'éclat varie de façon notable. Ceci est dû à un phénomène physique qui se produit dans l'étoile, sur l'étoile, ou à sa proximité. Il y a de nombreuses classes d'étoiles variables. Chacune est caractéristique de la manière dont une étoile peut varier. Certaines étoiles peuvent voir leur taille, leur forme et leur température varier dans le temps (étoiles pulsantes). Elles peuvent aussi subir de rapides changements de luminosité provoqués par des phénomènes physiques ayant lieu autour de l'étoile (accrétion de matière et étoiles éruptives). Enfin, d'autres peuvent être sujettes à des éclipses par des étoiles ou des planètes en orbite autour d'elles (étoiles binaires et exo-planètes). Ce qu'il faut retenir, c'est que quelque chose se passe physiquement dans l'étoile ou dans son environnement immédiat. Lorsque vous voyez une étoile scintiller dans le ciel, la variation de luminosité est due à l'atmosphère de la Terre. Mais pour ce qui est des véritables étoiles variables, il s'agit d'une variation intrinsèque, indépendante de tout phénomène terrestre.

Chaque type d'étoile va avoir une période de variation différente. Pour certaines, il est nécessaire d'attendre plusieurs semaines, plusieurs mois, plusieurs années pour pouvoir y détecter un changement. Pour d'autres, il suffit de quelques jours, quelques heures, minutes ou secondes, voire beaucoup moins. Certaines étoiles varient de façon régulière, dessinant un motif se répétant périodiquement. D'autres subissent des changements chaotiques imprévisibles. Certaines étoiles varient de la même manière pendant des siècles, tandis que d'autres (comme les supernovæ) peuvent briller très fort un bref instant, puis disparaître à jamais.

Les étoiles variables peuvent avoir diverses luminosités apparentes (luminosité perçue depuis la Terre) ainsi que diverses luminosités absolues (quantité de lumière qu'elles émettent effectivement). Une étoile peut avoir une grande luminosité absolue, mais si elle se trouve à des centaines d'années lumière, elle apparaîtra peu brillante. Les étoiles variables peuvent aussi avoir des amplitudes différentes (la quantité de lumière varie avec une ampleur plus ou moins grande). Certaines étoiles variables peuvent varier de 10 magnitudes ou plus, ce qui représente une variation énorme (variation avec un facteur de 10000) ! D'autres étoiles variables varient d'une milli-magnitude, ou même moins, et leur variation peut parfois être impossible à détecter par un amateur. Il y a d'innombrables étoiles se plaçant entre ces deux extrêmes : vous ne manquerez jamais de cibles à traiter quelle que soit la taille de votre télescope.

### *Pourquoi faire de la photométrie ?*

Les étoiles variables sont intéressantes pour différentes raisons, mais on les étudie principalement parce que ce sont de véritables laboratoires de physique. Il nous est impossible de nous rendre près d'une étoile, de la toucher ou d'en modifier ses propriétés, afin de l'étudier. Mais si nous pouvons comprendre de quelle manière la lumière d'une étoile varie, nous pouvons en apprendre plus sur la manière dont l'univers fonctionne. Les mêmes processus physiques fondamentaux qui se produisent ici sur terre (la gravité, la

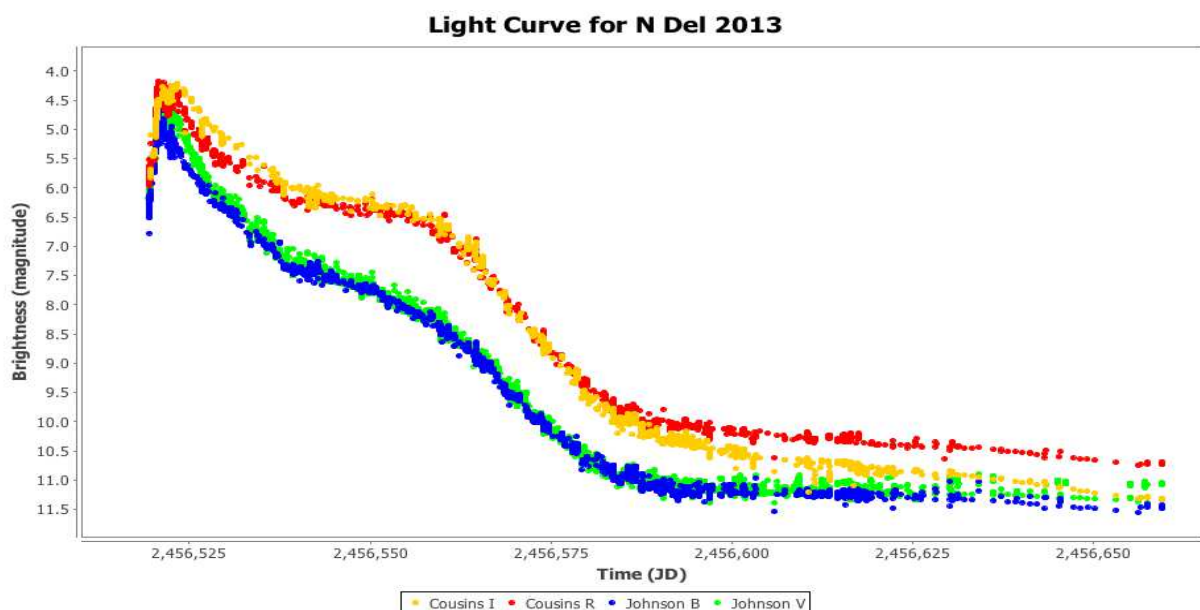
mécanique des fluides, l'électromagnétisme, la lumière et la chaleur, la chimie, la physique nucléaire) se comportent exactement de la même manière partout dans l'Univers. En observant comment les étoiles varient dans le temps, nous pouvons comprendre les origines de ces variations. Vos observations fournissent la matière première qui alimente la recherche scientifique. Les scientifiques peuvent spéculer sans fin sur les raisons de l'apparition de certains phénomènes et leur évolution. Mais à un moment ou à un autre, ces hypothèses doivent être validées afin de faire avancer significativement nos connaissances scientifiques. C'est là que rentrent en jeu les observations. Et c'est ici que vous avez le plus de chance d'apporter une contribution utile à la science des étoiles variables. Si vous fournissez aux chercheurs des données valides et précises, ils peuvent alors construire des modèles précis pour expliquer le fonctionnement de l'Univers et notre compréhension de celui-ci s'en trouvera grandie et améliorée. Au contraire, s'ils ont de mauvaises données, ces scientifiques peuvent construire de mauvais modèles, ce qui peut nous mettre sur de fausses pistes et empêcher toute progression dans ce domaine.

On peut aussi se demander si l'étude des étoiles variables est utile. Il faut savoir que l'étude d'une étoile variable nous dit souvent plus de choses que l'état actuel de l'étoile en question. Elle peut nous renseigner sur les circonstances dans lesquelles les étoiles se forment, les différentes étapes de leur vie, la manière dont elles évoluent puis meurent. En apprendre plus sur la nature des étoiles, et les raisons qui expliquent leur comportement, nous apporte une vision plus complète de l'Univers dans lequel nous vivons, aussi bien de nos jours qu'à des échelles de temps astronomiques. Cela nous offre un aperçu sur de nombreuses choses, des planètes et des étoiles jusqu'aux galaxies et au-delà. Voilà ce qu'est, au final, l'astronomie des étoiles variables.

Dans ce document, nous nous intéresserons principalement à la variabilité aux longueurs d'onde du visible (longueurs d'ondes observables par l'œil humain) mais gardez à l'esprit qu'il y a beaucoup d'étoiles variant sur des longueurs d'onde allant depuis les ondes radio jusqu'aux rayons X et rayons gamma.

Souvent, les étoiles sont variables à la fois dans le domaine visible et dans les autres longueurs d'onde. Mais la nature des variations sera différente dans chacune d'elles.

C'est un élément-clé à retenir, en particulier pour la photométrie à la CCD : souvent, le plus important n'est pas l'ampleur de la variation de lumière, mais les propriétés de cette variation en fonction de la longueur d'onde.



*Page précédente : Courbe de lumière Del 2013 (V339 Del) tracée avec l'outil Vstar. On observe une tendance globale dans la variation de la luminosité. Mais la luminosité relative entre les longueurs d'onde évolue également, du fait des différents processus physiques qui entrent en jeu dans l'évolution de la nova.*

A partir de la tendance globale de la variation et de son lien avec la longueur d'onde, on peut comprendre les processus physiques qui se déroulent à l'intérieur de l'étoile, ce qui est le but de l'étude des étoiles variables. Plus loin dans ce guide, nous décrirons la manière de mesurer (ou du moins de contraindre) les propriétés spectrales des étoiles que nous observons. Ainsi, nous aurons une meilleure compréhension de la manière dont certaines étoiles varient et pour quelles raisons elle le font.

*Comment effectuons-nous la photométrie?*

La réponse à cette question est détaillée dans les chapitres suivants. Pour résumer, il s'agit d'utiliser un appareil électronique appelé CCD ("Charged-Coupled Device" ou dispositif à transfert de charge) afin de mesurer la quantité de photons reçus par le télescope pour une étoile variable, ainsi que pour un ensemble « d'étoiles de comparaison ». En plus de l'acquisition de ces données, il faut réaliser un certain nombre de mesures de calibration. Ceci permet de transformer les données originales en données calibrées, mesure physique de la luminosité d'une étoile à un moment donné. En répétant cette opération, vous pourrez mettre en évidence la variation de lumière de l'étoile au cours du temps. C'est le principe même de la photométrie, quelque soit l'équipement utilisé pour effectuer les mesures. Mais il est utile de comprendre ce qui se passe dans une caméra CCD lorsqu'elle est exposée à la lumière.

A l'intérieur d'une caméra CCD, se trouve une plaque de semi-conducteur (constituée de silicium) qui a été compartimentée en un grand nombre d'unités chargées électriquement, des carrés isolés que nous appelons "photo-site". L'ensemble est appelé "capteur CCD". Lorsque le capteur est exposé à la lumière, des photons entrent en collision avec chacun des photo-sites, qui libère des électrons selon le principe de l'effet photoélectrique. Chaque photo-site, associé à d'autres composants électroniques, agit comme un petit condensateur, collectant ces électrons capturés lorsque la lumière les frappe. Chaque photo-site est relié à un processeur central. La charge collectée par les photo-sites s'accumule alors, jusqu'à ce que la puce soit « lue » par l'électronique de la caméra. Pendant l'opération de lecture, le processeur central mesure la charge collectée par chaque photo-site. Il s'agit d'une tension analogique, qui doit être convertie en un nombre, à l'aide d'un convertisseur analogique-numérique. L'information envoyée par le capteur CCD à l'ordinateur est la position du photo-site et une représentation numérique de la quantité de charge détenue au moment de la lecture. C'est ce qui constitue l'image qui résulte de ce système.



*Un exemple d'un capteur CCD (ancien). La zone de détection est le rectangle gris au centre. Remarquez le câblage sur les côtés. C'est lui qui permet la lecture du capteur. Les câbles sont connectés à un convertisseur analogique / numérique à l'intérieur de la caméra. (Photo : Arne Henden)*

Pour que l'image soit utilisable pour l'étude des étoiles variables, il est nécessaire qu'elle contienne des informations supplémentaires sur les conditions de la prise de vue (ces informations sont insérées automatiquement dans l'en-tête de l'image au moment de sa création).

Voilà, vous avez obtenu une mesure de la lumière à un moment donné. Cependant, ce n'est que la première étape. Il y a plusieurs autres choses importantes à faire après la prise de vue pour arriver à une série de données (comprenant la date, la magnitude, et l'incertitude de chacune des mesures).

Il faudra ainsi prendre en compte le fait que chaque capteur CCD possède une réponse spécifique et unique, qui varie également avec la longueur d'onde de la lumière reçue. Une étape de calibration est nécessaire. C'est une tâche assez simple à réaliser, mais qui prend un peu de temps. Elle est toutefois indispensable pour déduire des données brutes enregistrées les informations sur la nature physique de l'étoile.

Le processus de calibration consistera à mesurer :

- Le bruit inhérent à l'électronique de votre caméra.
- Les spécificités de votre chemin optique, depuis le tube jusqu'à la caméra.
- La réponse spectrale de votre système (c'est à dire sa sensibilité en fonction de longueurs d'onde reçue)
- L'influence de l'atmosphère sur le spectre reçu.

Chacune de ces étapes sera détaillée plus loin. Pour l'instant, il est important que vous compreniez que la photométrie d'étoiles variables ne se résume pas à la réalisation d'une seule mesure. Au bout d'un certain temps, vous serez habitué à cette opération de calibration. En attendant, nous allons vous expliquer comment la réaliser.

Le plus important à retenir dans ce chapitre est que le but de la photométrie n'est pas de sortir une série de nombres inutiles. L'objectif est de pouvoir exploiter scientifiquement ces nombres. Pour cela, vos résultats doivent refléter fidèlement une grandeur physique, et doivent être présentés de manière à être utilisables pour une analyse scientifique rigoureuse. Il s'agit là de notre objectif, que ce guide tentera de vous faire atteindre.

Dans le chapitre suivant, nous allons décrire le matériel et les logiciels dont vous avez besoin pour pouvoir démarrer en photométrie. Chaque télescope, chaque monture et chaque caméra CCD aura ses propres spécificités. Mais ils ont également énormément de points communs. Nous vous présenterons ainsi les différentes fonctionnalités auxquelles vous aurez forcément à faire face lors d'une nuit d'observation. De nombreux paramètres de votre matériel seront déterminants pour qualifier le type de cible qu'il sera possible d'observer efficacement. Aucun matériel n'est adapté pour observer avec précision la totalité des étoiles variables, quels que soit sa taille et son coût. Cependant, beaucoup d'objets peuvent être observés facilement avec grande précision indifféremment du matériel utilisé. Il suffit d'être capable d'identifier ces objets avant la nuit d'observation.