

Classification des étoiles variables et courbes de lumière

Cours de l'AAVSO pour le
Carolyn Hurless Online Institute for
Continuing Education in Astronomy (CHOICE)



Ce matériel est protégé par droit d'auteur et est uniquement à l'attention des personnes inscrites officiellement à ce cours en ligne. Veuillez ne pas partager ce document avec d'autres personnes. Veuillez ne pas en citer des extraits sans une autorisation préalable de l'AAVSO.

Traduit par Jean-Bruno Desrosiers en 2020
avec l'autorisation de l'AAVSO
Version FR-1.1
Révision Manon Bouchard et Damien Lemay

Table des matières

Table des matières.....	2
Description du cours et exigences pour son achèvement.....	5
Chapitre I.....	6
Introduction.....	6
C'est quoi une étoile variable?.....	6
Les premières étoiles variables connues.....	7
La nomenclature des étoiles variables.....	8
Nom des constellations.....	8
Noms en lettres grecques (désignations de Bayer).....	10
Le système d'Argelander pour nommer les étoiles variables.....	11
Autres conventions de nomenclature.....	11
Nomenclature des types d'étoiles variables.....	15
Principaux types de variabilité.....	16
L'arbre de la variabilité.....	17
<i>Boîte d'informations sur les courbes de lumière 1 (LCIB_1): Principes de base de la courbe de lumière...</i>	18
Chapitre II.....	22
Variables en rotation.....	22
Le Soleil.....	22
Les étoiles de type BY Dra.....	23
<i>Boîte d'informations sur la courbe de lumière 2 (LCIB_2): Caractéristiques BY Dra</i>	24
Les étoiles RS CVn.....	25
<i>Boîte d'informations sur la courbe de lumière 3 (LCIB_3): caractéristiques RS CVn</i>	26
Les variables ellipsoïdales rotatives (ELL).....	26
<i>Boîte d'informations sur la courbe de lumière 4 (LCIB_4): ELL caractéristiques</i>	27
Les variables à éclipses.....	28
Les variables Algol (EA).....	29
<i>Boîte d'informations sur la courbe de lumière 5 (LCIB_5): EA Caractéristiques</i>	30
Les variables de type Beta Lyrae (EB).....	31
<i>Boîte d'informations sur la courbe de lumière 6 (LCIB_6): EB caractéristiques</i>	31
Les variables de type W Ursae Majoris (EW).....	32
Les variables à transit (EP).....	34
<i>Boîte d'informations sur la courbe de lumière 8 (LCIB_8): EP caractéristiques</i>	34
Lobes de Roche.....	35
Chapitre III.....	36
Les variables pulsantes.....	36
Les céphéides classiques (DCEP).....	36

<i>Boîte d'informations sur la courbe de lumière 9 (LCIB_9): DCEP caractéristiques</i>	37
Les Céphéides de type II - alias étoiles W Virginis (CW)	39
Les W Virginis (CW)	39
<i>Boîte d'informations sur la courbe de lumière 10 (LCIB_10): CW caractéristiques</i>	40
Les étoiles RV Tau	41
<i>Boîte d'informations sur la courbe de lumière 11 (LCIB_11): RV Tau caractéristiques</i>	42
Les étoiles RR Lyr	43
<i>Boîte d'informations sur la courbe de lumière 12 (LCIB_12): RR Lyr caractéristiques</i>	43
Les étoiles Delta Scuti (DSCT)	45
<i>Boîte d'informations sur la courbe de lumière 13 (LCIB_13): DSCT caractéristiques</i>	45
Les variables de type Mira (M)	46
<i>Boîte d'informations sur la courbe de lumière 14 (LCIB_14): Mira caractéristiques</i>	46
Les étoiles semi-régulières (SR).....	47
<i>Boîte d'informations sur la courbe de lumière 15 (LCIB_15): Semi-régulières (SR) caractéristiques</i>	47
Les variables éruptives	48
Les jeunes objets stellaires (YSO).....	48
Les étoiles de type T Tauri (TTS)	49
Les variables FU Orionis (FUOR)	50
Le groupe des EXors (EXOR).....	51
<i>Boîte d'informations sur la courbe de lumière 16 (LCIB_16): EXOR caractéristiques</i>	51
LCIB_16.Figure 1 - Courbe de lumière historique AAVSO de l'EX Lupi	51
Le groupe des UXor (UXOR)	52
<i>Boîte d'informations sur la courbe de lumière 17 (LCIB_17): UXOR caractéristiques</i>	52
Les étoiles de type UV.....	53
Les étoiles de type Gamma Cas (GCAS)	53
Les étoiles de type S Doradus (S DOR).....	53
<i>Boîte d'informations sur la courbe de lumière 18 (LCIB_18): SDOR caractéristiques</i>	54
Les étoiles R Corona Borealis (R CRB- RCB).....	55
<i>Boîte d'informations sur la courbe de lumière 19 (LCIB_19): RCB caractéristiques</i>	56
Chapitre IV	57
Les variables cataclysmiques (CV)	57
Novae naine (DNe) ou étoiles variables de type U Geminorum (UG)	57
<i>Boîte d'informations sur la courbe de lumière 20 (LCIB_20): UG caractéristiques</i>	58
Les Novae.....	63
Les Novæ récurrentes (NR).....	64
CV magnétique	66
Les supernovæ	69

Autres types de variables	71
Bursters de rayons gamma (GRB)	71
Noyaux galactiques actifs (AGN - Active Galactic Nuclei)	72
Remerciements	75

Description du cours et exigences pour son achèvement

Ce cours donne un aperçu des types d'étoiles variables observées le plus souvent par les membres de l'AAVSO. Nous discutons des processus physiques et spécifiques qui rendent particulier chaque type de variables et comment ceci est démontré à travers leurs courbes de lumière. La nomenclature des étoiles variables est mise dans un contexte historique afin d'aider à comprendre les systèmes de classification.

Ce cours durera quatre semaines. Il y a quatre chapitres, nous allons donc progresser rapidement, soit un chapitre par semaine, plus ou moins. Il y aura des sujets de discussion pour chaque chapitre et un quiz ou un exercice chaque semaine les vendredis.

Nous souhaitons que les sujets de discussion soient amusants et éclairants. Souvent, il n'y aura pas de bonne ni de mauvaise réponse. Les questions seront conçues pour vous faire réfléchir et regarder la variabilité des étoiles d'une manière critique ou non conventionnelle.

Vous serez également invité à faire le résumé d'un article de journal sur la classification d'une étoile variable ou sur un sujet relié à la courbe lumineuse. Vous partagerez ceci avec la classe sous la forme d'une description de l'article et des principaux points traités par celui-ci dans le forum de discussion. Les documents peuvent être sélectionnés à partir d'arXiv ou tout journal astronomique auquel vous avez accès gratuitement. Vous pouvez aussi choisir un document disponible sur le site web de l'AAVSO, dans la section Imprimer, et nous décrire comment les données de l'AAVSO ont été utilisées pour faire avancer la recherche présentée.

À la fin du cours, vous passerez ou échouerez. Il n'y a pas de notes. Ceux qui passent obtiendront un certificat d'achèvement et le profil de votre site Web de l'AAVSO ainsi que votre dossier d'adhésion dans notre DB affichera que vous êtes un diplômé du cours.

Pour réussir ce cours, vous devrez réussir tous les quiz, exercices et participer aux forums en ligne. Vous ne pourrez pas passer si vous ne participez pas aux discussions.

On peut aussi demander à un ou plusieurs d'entre vous d'être l'instructeur de la prochaine cohorte d'étudiants qui s'inscriront à ce cours. Ceux qui œuvrent en tant qu'enseignants pourront s'inscrire gratuitement à autre cours offert ultérieurement par CHOICE.

Chapitre I

Introduction

C'est quoi une étoile variable?

Lorsque nous regardons le ciel nocturne, nous le voyons parsemé d'étoiles scintillantes au-dessus assemblées en motifs qui sont restés les mêmes pour des milliers d'années. Le Soleil, la Lune et les planètes exécutent leur danse céleste dans le ciel sur un fond fixe d'étoiles. Pour l'observateur occasionnel, ces étoiles semblent parfaites, stables, pacifiques, sereines et immuables.

En fait, rien ne pourrait être plus éloigné de la vérité. L'Univers que nous connaissons aujourd'hui en est un qui est très dangereux, avec des nuages sombres de poussière et de gaz, si froids que des atomes cessent presque de se mouvoir et des explosions si extrêmes que des systèmes entiers d'étoiles sont effacés en un clin d'œil.

Alors, qu'est-ce qu'une étoile? Limitée à ses composantes les plus simples, une étoile est une boule géante de gaz se trouvant dans un équilibre délicat entre la force de la gravité essayant de réduire toutes les masses dans une plus petite boule au centre de l'étoile et la force de la combustion nucléaire au cœur de l'étoile essayant de la faire sauter.

Comme l'étoile évolue tout au long de sa vie, il y a parfois des combats entre ces deux forces gravitationnelles qui influencent la vie, le comportement mais aussi la fin de l'étoile. Si l'une ou l'autre de ces forces gagne finalement la bataille, l'étoile s'éteint et soit qu'elle se débarrasse de son enveloppe et devienne une naine blanche comme le fera notre Soleil, soit qu'elle explose dans l'espace comme une supernova ou, selon sa grosseur, sa masse et son volume, elle deviendra une étoile à neutron ou encore un trou noir.

Ce ne sont là que quelques-unes des raisons pour lesquelles une étoile puisse varier ou paraître variable vue de notre position sur la Terre. Et il y a beaucoup plus, comme vous êtes sur le point d'apprendre. Chaque étoile a été ou sera variable dans par son intensité de lumière à un moment ou un autre. C'est inévitable. Si vous pouviez juste vivre assez longtemps, vous verriez que chaque étoile est en fait une étoile variable.

En effet, nous pouvons apprendre beaucoup sur les étoiles par leur variabilité, comme par exemple, leur distance, leur âge, quelle est leur masse ou leur volume. Voilà précisément pourquoi les étoiles variables sont si importantes dans l'étude de notre Univers. Comprendre les étoiles variables revient à comprendre la vie secrète des étoiles.

Les étoiles sont les éléments de base de la construction des plus grandes structures de notre Univers. Elles forment des groupes et des grappes par milliards pour former des galaxies, qui forment alors encore de plus grands groupes et structures. Elles jouent également un rôle important à des échelles plus petites comme hôtes pour les planètes, astéroïdes et comètes. À l'échelle moléculaire, les étoiles sont les usines de l'Univers. Elles créent la substance de notre Terre, de quoi vous et moi sommes composés. Où que se trouve la vie dans l'Univers, vous pouvez être sûr qu'il y aura une étoile pas trop loin, en fournissant les matières premières et l'énergie nécessaires à la vie.

Pour connaître notre place dans le cosmos, nous devons comprendre les étoiles.
Pour connaître les étoiles, que nous devons comprendre leur variabilité.

Les premières étoiles variables connues

Les peuples anciens étaient beaucoup plus en harmonie avec le ciel nocturne que nous le sommes aujourd'hui. Probablement parce que, sans être entravés par notre pollution lumineuse actuelle, ils pouvaient réellement voir les étoiles de leur domicile la nuit, et, soyons francs, ils n'avaient pas la télévision ou l'Internet pour les distraire!

Ils ont utilisé le Soleil, la lune et les étoiles pour indiquer l'heure, planter et récolter leur nourriture, préparer l'hiver, célébrer le printemps et prévoir les inondations et les migrations annuelles des animaux qu'ils chassaient pour leur survie. Les anciens Égyptiens ont inclus Algor dans le calendrier du Caire et ont dénoté une période de 2,8 jours (<https://arxiv.org/abs/1204.6206>).

Ils étaient bien conscients du mouvement des planètes parmi les étoiles de fond, des éclipses solaires et lunaires, des éclairs de météores et de la visite occasionnelle d'une comète brillante, mais pour la plupart des civilisations, pendant des milliers d'années, les étoiles étaient considérées comme fixes et immuables. En fait, il était ancré dans certaines cultures que les étoiles étaient « parfaites » et ne pouvaient donc pas varier.

Les cultures orientales n'étaient pas si restrictives et des enregistrements existent aujourd'hui de leurs observations de supernovae, novae, grandes comètes et éclipses. Parmi ceux-ci, il y a environ 80 « nouvelles étoiles » avant l'an 1600 de notre ère. Bien que d'autres cultures aient pu en noter certaines, ce sont les meilleurs témoignages que nous ayons de ces événements. Nous les connaissons aujourd'hui sous le nom de supernovae et novae, étoiles variables à l'extrême.

Le XVI^e siècle a non seulement apporté l'illumination et une renaissance à l'Occident, mais par hasard, deux supernovas ont explosé dans notre galaxie en l'espace d'une trentaine d'années. La première a éclaté en novembre 1572 et était presque aussi brillante que la planète Vénus! Tycho Brahé a non seulement établi sa position avec une grande précision, mais il a situé l'évènement à distance d'étoiles. C'était en effet une « nouvelle étoile », pas un phénomène atmosphérique ni un phénomène planétaire inconnu. Il a également enregistré sa luminosité décroissante par rapport aux planètes et autres étoiles brillantes avec autant de précision (SN 1572).

En 1596, David Fabricius a découvert l'omicron Ceti, maintenant connu sous le nom de Mira, et en 1638, Johannes Holwarda a déterminé qu'il s'agissait d'une variable périodique, s'éclaircissant et s'assombrissant dans un cycle d'environ 11 mois. Mira était probablement le premier cas connu.

La supernova de Tycho fut suivie en 1604 par une autre « nouvelle étoile » dont la position fixe parmi les étoiles a été déterminée par Johannes Kepler. L'étoile de Kepler était aussi brillante que Jupiter mais également la dernière supernova visible dans notre galaxie depuis lors. Nous sommes dus depuis longtemps pour un événement spectaculaire de supernova galactique (SN 1604).

Une fois que Galilée a tourné son télescope vers le ciel, les vannes à la connaissance astronomique se sont ouvertes, mais il a fallu cent ans pour que les étoiles variables commencent à prendre leur place dans les études des astronomes.

William Herschel a découvert la variabilité de l'alpha Herculis et 44i Bootis au XVIII^e siècle. Plus tard durant ce siècle, deux Anglais, John Goodricke et Edward Pigott, ont fait avancer l'étude des étoiles variables. Pigott a découvert Eta Aquilae, R Corona Borealis et R Scuti, tandis que Goodricke a découvert la variabilité de Delta Cephei et de Bêta Persei (Algor). Ensemble, ils ont proposé la théorie selon laquelle la variabilité d'Algor pourrait être causée par des éclipses de l'étoile par un compagnon planétaire, une vision étonnante très proche de la vérité!

Vers le milieu du XIX^e siècle, il n'y avait qu'environ 18 étoiles variables connues et plusieurs dizaines de variables suspectes. L'étude organisée et l'enregistrement des observations ont mené à la création de la « **Variable Star Section of the British Astronomical Association** » (BAAVSS) en 1890, suivies peu après par l'établissement d'études sur les étoiles variables à l'Observatoire du Collège de Harvard, qui a créé l'AAVSO (American Association of Variables Stars) en 1911.

Il existe maintenant des centaines de milliers d'étoiles variables connues, et on en découvre encore toujours. Le tri des noms et de la taxonomie de ce zoo que constituent les étoiles variables est l'objet de ce cours.

La nomenclature des étoiles variables

Nom des constellations

Les noms d'étoiles variables traditionnels sont une combinaison d'un préfixe de combinaison de lettres et/ou de chiffres et un nom de constellation sous forme génitive (possessive), comme R Leonis ou V849 Herculis. Il est donc utile de comprendre les noms des constellations ainsi que leurs origines et leur utilisation.

Aujourd'hui, 88 constellations sont officiellement reconnues par l'« **International Astronomical Union** » (IAU), l'organisme chargé de nommer les étoiles, les planètes, les lunes, les comètes et les étoiles variables. Mais ceci est une situation récente. Les gens ont attribué des noms aux étoiles, aux groupes d'étoiles ainsi qu'aux constellations depuis plus de 6 000 ans, et franchement, c'était un peu n'importe quoi! Jusqu'au XX^e siècle, les cartographes célestes étaient libres de constituer des constellations et des limites basées sur des personnes, les animaux ou les bêtes mythiques dont ils pouvaient rêver.

Les astronomes et les cultures antiques avaient des noms pour les groupes d'étoiles le long de l'écliptique, car c'était le chemin par lequel le Soleil, la Lune et les planètes connues de l'époque voyageaient, et ils ont attribué des qualités de prédiction magiques et futures à ces mouvements cycliques. Presque aucun des noms de constellation très anciens n'a survécu jusqu'à aujourd'hui. Ce n'est qu'en 150 av. que Claudius Ptolemy a publié l'Almagest, son célèbre traité de mathématiques et d'astronomie dont les noms de constellation que nous reconnaissons aujourd'hui ont été formalisés par écrit. Sur les 48 motifs d'étoiles d'origine qu'il a décrits, seuls deux, les Pléiades et l'Argo Navis, ne sont plus reconnus comme constellations.

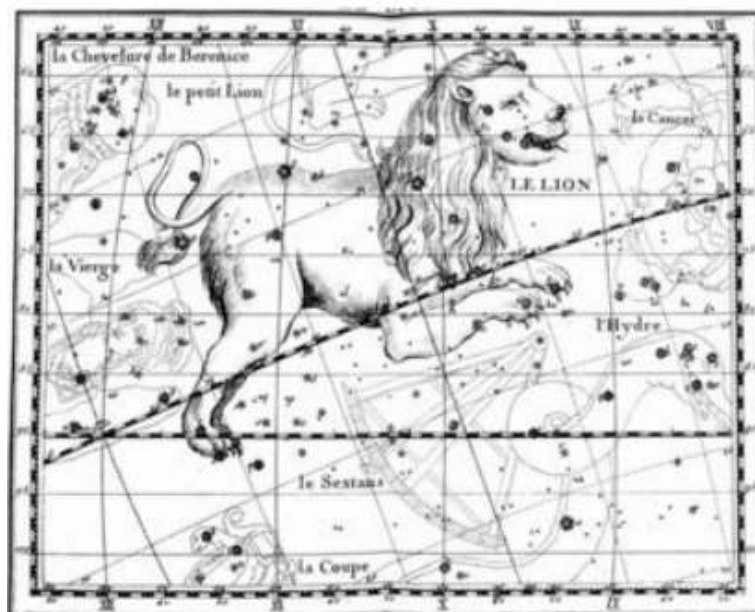


Figure 1. Une carte étoilée de Lion le Lion, une des rares constellations qui ressemble en fait à son homonyme aux observateurs modernes.

Dans les années 1500, les navigateurs explorant l'hémisphère sud ont commencé à nommer les nouvelles constellations qu'ils voyaient. Le navigateur italien Amerigo Vespucci fut le premier à décrire la Croix (Crux) et le Triangle austral. Les navigateurs hollandais Frederick de Houtman et Pieter Dirksz Keyser ont nommé d'autres constellations Apus, Chamaeleon, Dorado, Grus, Hydrus, Indus, Musca, Phoenix, Tucana et Volans.

Deux cartographes du XVI^e siècle, Gerard Mercator et Petrus Flemish, ont nommé respectivement les constellations Coma Berenices et Columba. En 1690, l'astronome allemand Johannes Hevelius a ajouté Canes Venatici, Lacerta, Lion Minor, Lynx, Scutum, Sextans et Vulpecula dans son atlas des cieux.

Pour ne pas être en reste, en 1756, l'astronome français Nicolas Louis de Lacaille a inventé 14 nouvelles constellations illustrant l'équipement scientifique du jour : Antlia, Caelum, Circinus, Fornax, Horologium, Mensa, Microscopium, Norma, Octans, Pictor, Pyxis, Reticulum, Sculpteur et Telescopium. Puis en 1764, le cartographe français Gilles Robert de Vaugondy a séparé l'Argo Navis de Ptolémée en Carina, Puppis et Vela.

Dans un effort pour mettre l'ordre dans ce chaos, l'astronome américain Henry Norris Russell a proposé un système d'abréviations de trois lettres pour identifier les constellations lors de la première assemblée générale de l'« IAU » en 1922. Puis en 1928, l'« IAU » a établi des frontières officielles pour délimiter les constellations que nous connaissons aujourd'hui.

Ce processus a laissé quelques étoiles orphelines dans son sillage. L'étoile variable T Leo n'est plus dans la constellation de Leo et a été renommée QZ Virginis, et l'étoile 10 Ursae Majoris de 4^e magnitude, fait désormais partie du Lynx (cherchez 10 UMa dans Stellarium pour le vérifier...).

L'« IAU » maintient une excellente page qui énumère les 88 constellations, leurs abréviations, les prononciations, et comprend des cartes d'étoile avec les frontières bien définies de chaque constellation.

Voici le lien : <https://www.iau.org/public/themes/constellations/>

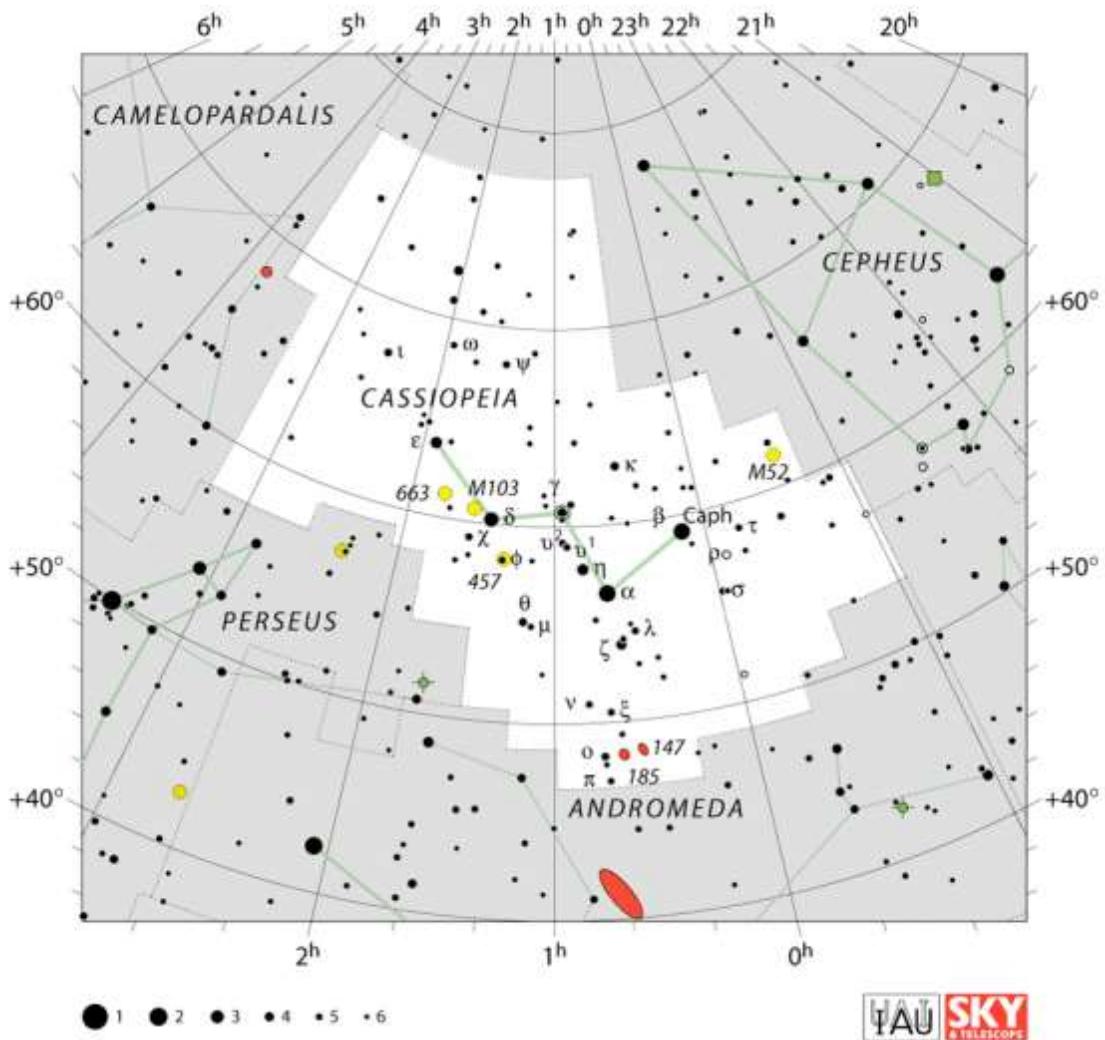


Figure 2. Carte d'une constellation de l'IAU : Cassiopeia / Sky & Telescope

Noms en lettres grecques (désignations de Bayer)

Une désignation Bayer est une désignation stellaire dans laquelle une étoile spécifique est identifiée par une lettre grecque, suivie de la forme génitive du nom latin de sa constellation parente. La liste originale des désignations Bayer contenait 1 564 étoiles.

La plupart des étoiles les plus brillantes se sont vu attribuer leur premier nom systématique par l'astronome Johann Bayer en 1603, dans son atlas d'étoiles Uranometria. Bayer a associé une lettre grecque dans sa forme minuscule, telle qu'alpha (α), β (β), gamma (γ), etc., à chaque étoile qu'il a cataloguée, combiné avec le nom latin de la constellation mère de l'étoile, déclinée dans sa forme génitive. Par exemple, Aldebaran est désignée α Tauri (alpha Tauri), qui signifie "alpha du taureau".

Une seule constellation peut contenir cinquante étoiles ou plus, mais l'alphabet grec n'a que vingt-quatre lettres. Lorsque ces dernières sont épuisées, Bayer a commencé à utiliser des lettres latines minuscules: d'où s Carinae et e Centauri. Dans les constellations ayant un très grand nombre d'étoiles, Bayer finalement eu recours aux lettres majuscules latines, comme dans G Scorpii et N Velorum. La dernière lettre majuscule utilisée par Bayer était Q.

Comme, par chance, beaucoup de ces étoiles brillantes se sont avérées des étoiles variables, ainsi elles sont souvent connues par leurs désignations Bayer. Les exemples sont Alpha-Orionis, Bêta-Lyrae, Delta Cephei et Eta Aquilae.

Le système d'Argelander pour nommer les étoiles variables

Généralement considéré comme le père de la science des étoiles variables, Frederick W. A. Argelander a inventé le système traditionnel utilisé aujourd'hui pour nommer des étoiles variables. Dans ce système, les étoiles variables sont nommées en utilisant une variante du format de désignation Bayer, identifiant le label avec le génitif latin du nom de la constellation où est située l'étoile. Il a commencé par la lettre R pour éviter toute confusion avec la liste d'étoiles déjà désignées par Bayer. Depuis, chaque nouvelle variable découverte dans une constellation a reçu la combinaison de lettres qui suivait.

Les règles pour nommer les étoiles dans l'ordre de leur découverte sont les suivantes :

- Les étoiles avec les lettres grecques existantes dans le système de Bayer n'ont pas reçu de nouvelle désignation.
- Autrement, commencer par la lettre R jusqu'à Z.
- Continuer avec RR jusqu'à RZ, puis utiliser SS jusqu'à SZ, TT jusqu'à TZ et ainsi de suite jusqu'à ZZ.
- Puis on revient au début de l'alphabet, de AA à AZ, de BB à BZ, de CC à CZ et ainsi de suite jusqu'à QZ, en omettant J dans les premières et secondes positions.
- Noter que la première lettre n'est jamais plus au début de l'alphabet que la seconde, c'est-à-dire qu'aucune étoile ne peut être BA, CA, CB, DA, etc.

Cette méthode offre 334 combinaisons possibles par constellation, mais comme on se sait, il en fallait plus... Depuis on utilise la lettre V pour Variable, puis des chiffres à partir de 335 et plus (Ex. V0335 Cep)

*Dans le catalogue, VSX et plusieurs autres (exemple, le GCVS – (General Catalog of Variables Stars)) maintiennent la nomenclature à quatre chiffres après le V.

* Pour aller plus loin : <http://omsj.info/index.php/activites/chroniques/73-les-noms-des-variables>

Cela semble une façon compliquée de nommer les choses, mais vous devez réaliser qu'à l'époque d'Argelander, la variabilité stellaire était considérée comme un phénomène rare. Sans doute, les astronomes pensaient qu'ils ne seraient jamais à court de combinaisons de lettres. Ils seraient surpris d'apprendre que nous avons maintenant des noms comme V2346 Cyg et V5558 Sgr!

Autres conventions de nomenclature

Comme si ce n'était pas assez déroutant, il y a maintenant une foule d'autres préfixes et numéros attribués à des étoiles et à des objets variables. Ce qui suit est un guide pour vous aider à comprendre ce que ces noms signifient et d'où ils sont venus.

NSV xxxxx – (New Catalogue of Suspected Variables) Ce catalogue des étoiles nouvelles et soupçonnées, accompagne le Catalogue général des étoiles variables de Moscou (GCVS) par B.V. Kukarkin et al. Toutes les étoiles du NSV ont affiché une variabilité non confirmée, particulière, manquant de courbes complètes de lumière. Certaines étoiles NSV finiront par se révéler variables, d'autres seront fausses. Les informations à ce sujet et sur le Catalogue général des étoiles variables peuvent être trouvées à :

<http://www.sai.msu.su/groups/cluster/gcvs/gcvs/intro.htm>

VSX Jhhmss.s + ddmss- Il s'agit du système utilisé par « **International Variable StarIndex (VSX)** », maintenu par l'AAVSO. Ces coordonnées J2000 sont appliquées aux objets nouvellement catalogués dans VSX. <Http://www.aavso.org/vsx/>

De nombreuses étoiles et objets variables se voient attribuer des préfixes basés sur des noms d'astronomes, d'enquête ou de projet (Exemple Projet Gaia). Beaucoup sont des désignations temporaires jusqu'à ce qu'un nom conventionnel leur soit attribué dans le GCVS.

3C xxx - Ce sont des objets du troisième catalogue de Cambridge (3C) (Edge et al., 1959) Sur la base d'observations de longueur d'onde radio à 158 MHz. Il y a 471 sources 3C, numérotées séquentiellement par ascension droite. Toutes les sources 3C sont au nord de la déclinaison -22. Les objets 3C d'intérêt pour les observateurs étoiles variables sont toutes les galaxies actives (quasars, BL Lacs, etc.).

Antipin xx- Étoiles variables découvertes par Sergej V. Antipin, chercheur junior travaillant pour le Catalogue général des étoiles variables.

HadVxxx - Cela représente les variables découvertes par Katsumi Haseda. La plus récente découverte par Haseda a été Nova 2002 dans Ophiuchus, V2540 Oph.

LD xxx – Les variables découvertes par Lennart Dahlmark, un retraité suédois vivant dans le sud de la France, reçoit ce préfixe. Dahlmark mène une recherche photographique sur des nouvelles étoiles variables et en a découvert plusieurs centaines à ce jour.

He-3 xxxx - variables de Henize, K. G. 1976, "Observations de Southern EmissionLine Stars ", Ap. J. Suppl. 30, 491.

HVxxxxx - Désignations préliminaires des variables découvertes à l'Observatoire de Harvard.

Lanning xx - Découvertes d'objets stellaires brillants aux UV par H. H. Lanning à partir de plaques de Schmidt centrées principalement sur le plan galactique. En tout, sept articles intitulés "Une liste de découverte d'étoiles faiblement brillantes UV dans le plan galactique" ont été publiés.

Markarian xxxx - L'abréviation largement utilisée pour les objets Markarian est Mrk. Ce sont des galaxies actives à partir de listes publiées par l'astrophysicien soviétique arménien B.E. Markarian. Markarian a recherché des galaxies qui émettent un rayonnement UV inhabituellement fort, qui provient soit de régions omniprésentes de formation d'étoiles HII, soit de noyaux actifs. En 1966, Markarian publie «Galaxies With UV Continua». À cette époque, il a commencé le premier Byurakan Spectral Sky Survey (FBS), qui est maintenant terminé. En 1975, Markarian a lancé une deuxième enquête Byurakan (SBS). Ses collaborateurs ont poursuivi le SBS après sa mort. Pour plus d'informations, voir «Active Galactic Nuclei», par Don Osterbrock.

MisVxxxx - Les étoiles sont nommées MisV d'après les étoiles variables du projet MISAO. Le projet MISAO utilise des images prises du monde entier pour rechercher et suivre des objets astronomiques remarquables. Le nombre de variables découvertes jusqu'à présent a atteint 1171 le 15 mai 2002. Peu de ces étoiles ont des

courbes de lumière, et le type et la gamme de nombreuses sont encore indéterminés.. L'URL du site du projet est: <http://www.aerith.net/misao/>

S xxxxx - Il s'agit de désignations préliminaires de variables découvertes à l'Observatoire de Sonneberg.

SVS xxx - Étoiles variables soviétiques, indiquant les désignations préliminaires de découvertes soviétiques variables.

TKx - TK signifie T.V. Kryachko. Les nombres TK de nouvelles variables poursuivent un système de numérotation introduit pour la première fois dans Kryachko et Solovyov (1996). Les auteurs ont inventé cet acronyme.

Un autre groupe d'objets est étiqueté avec le préfixe O, puis une lettre, puis un nombre (OJ 287 par exemple). Ces objets ont été détectés par la radio de l'Ohio State University Télescope "Big Ear" dans une série d'enquêtes connues sous le nom Ohio Surveys.

De nombreuses variables sont nommées avec des préfixes associés aux sondages ou satellites, combinés avec les coordonnées de l'objet.

2QZ Jhhmss.s-ddmss - Objets découverts par le 2dF QSO Redshift Survey.

Le but est d'obtenir des spectres de QSOs à redshifts si élevés que la lumière visible émise par ces objets s'est déplacée dans l'infrarouge lointain. Les observations sont en fait de l'ultra-violet parti du spectre qui a été redshifted dans le visible. Comme dans la plupart des suivis du QSO, un sous-produit fortuit est la découverte de CV et d'autres étoiles bleues.

Une description et des images impressionnantes de l'équipement peuvent être trouvées ici:

[Http://www.2dfquasar.org/Spec_Cat/basic.html](http://www.2dfquasar.org/Spec_Cat/basic.html)

Accueil du site: <http://www.2dfquasar.org/index.html>

ASAS hhmss + ddmm.m - Il s'agit de l'acronyme de All Sky Automated Survey, qui est une enquête continue qui surveille des millions d'étoiles jusqu'à la magnitude 14. Les caméras de surveillance sont situées à l'Observatoire de Las Campanas au Chili, donc elles couvrent le ciel du pôle Sud jusqu'à environ +28 degrés de déclinaison.

FBS hhmm + dd.d - Pour le First Byurakan Survey et les coordonnées de l'objet.

Le First Byurakan Survey (FBS), également connu sous le nom d'enquête Markarian, couvre environ 17 000 degrés carrés.

EUVE Jhhmm + ddmm - Ce sont des objets détectés par le « NASA's Extreme Ultraviolet Explorer », un satellite dédié à l'étude des objets dans les longueurs d'onde ultraviolet lointaine. La première partie de la mission a été consacrée à un relevé du ciel en utilisant les instruments d'imagerie qui ont catalogué 801 objets. La deuxième phase comportait des observations pointues, principalement avec des instruments spectroscopiques. L'un des points saillants de la mission a été les oscillations quasi périodiques (QPO) dans SS Cyg.

FSVS Jhhmm + ddmm - Découvertes du Faint Sky Variability Survey, le premier levé de photométrie CCD multicolore à champ large et échantillonné dans le temps. Il visait spécifiquement à détecter des sources ponctuelles aussi faibles que la 25e magnitude en V et I et 24,2 en B. Les cibles étaient des CV faibles, d'autres binaires en interaction, des naines brunes et des étoiles de faible masse et des objets de la ceinture de Kuiper.

HS hhmm + ddmm- Le Hamburg Quasar Survey est un levé à prisme objectif grand-angle recherchant des quasars dans le ciel du nord, en évitant la Voie lactée. La magnitude limite est d'environ 17,5B. La prise des plaques a été achevée en 1997.

PG hhmm + DDd- Palomar Green Survey mené pour rechercher des objets bleus couvrant 10714 degrés carrés à partir de 266 champs pris sur le télescope Schmidt Palomar de 18 pouces. Les grandeurs limites varient d'un champ à l'autre, allant de 15,49 à 16,67. Les objets bleus détectés ont tendance à être des quasars et des variables cataclysmiques. Les CV ont été documentés dans Green, R. F., et al. 1986, «Candidats à la variable cataclysmique du Palomar Green Survey», Ap. J. Suppl. 61, 305.

PKS hhmm + ddd - Il s'agissait d'une vaste étude radio (Ekers 1969) du ciel austral réalisée à Parkes (PKS), Australie, à l'origine à 408 MHz puis à 1410 MHz et 2650 MHz. Ces sources sont désignées par leur position tronquée de 1950. Par exemple 3C 273 = PKS 1226 + 023. C'est toujours le système le plus courant et le plus utile pour nommer les quasars.

ROTSE1 à 3 Jhhmss.ss + ddmss.s - La recherche sur les transitoires optiques robotiques. L'expérience (ROTSE) est dédiée à l'observation et à la détection de transitoires optiques sur des échelles de temps de secondes à jours. L'accent est mis sur les rayons gamma (GRB). Objets détectés par cette enquête sont désignés avec des positions à 0 ".1 de précision.

ROSAT est l'acronyme de ROentgen SATellite. Le ROSAT était un observatoire radiologique développé dans le cadre d'un programme de coopération entre l'Allemagne, les États-Unis

Royaume-Uni. Le satellite a été conçu et exploité par l'Allemagne et a été lancé par les États-Unis le 1er juin 1990. Il a été fermé le 12 février 1999.

Les préfixes pour les sources de rayons X détectés par ROSAT incluent 1RXS, RXS et RX. Le J2000

Les coordonnées de la source sont ensuite indiquées en fonction de la précision de la position des rayons X et la densité des étoiles dans le champ.

Précision arcseconde ---> RX J012345.6-765432

Précision du dixième arcmin ---> RX J012345-7654.6

Précision arcmin ---> RX J0123.7-7654

Distressingly, ceux-ci peuvent tous se rapporter à un objet unique!

Rosino xxx ou N xx - Variables découvertes par l'astronome italien L. Rosino, principalement dans amas d'étoiles et galaxies par le biais d'enquêtes photographiques.

SBS hhmm + dd.d - Indique les objets découverts par le deuxième sondage Byurakan Sky, Plus les coordonnées de l'objet.

SDSSp Jhhmss.ss + ddmss.s - Ce sont des découvertes du Suivi Sloan Digital Sky . Les positions des objets sont données dans les noms. SDSS- (Sloan Digital Sky Survey), p- (astrométrie préliminaire), Jhhmss.ss + ddmss.s (l'équinoxe J2000 coordonnées). Dans les articles suivants sur les CV détectés par SDSS (Szkody et al), le p était et les noms sont devenus simplement SDSS Jhhmss.ss + ddmss.s.

TAV hhmm + dd - Le magazine Astronomer, en Angleterre, a un programme qui surveille des étoiles variables et des étoiles variables suspectes. TAV signifie The Astronomer Variable, plus les coordonnées 1950.

TASV hhmm + dd - TASV signifie « The Astronomer Suspected Variable », plus de 1950 coordonnées. La page Astronomer Variable star se trouve sur cette url:

[Http://www.theastronomer.org/variables.html](http://www.theastronomer.org/variables.html)

XTE Jhhmm + dd - Ces objets sont détectés par l'Explorateur de synchronisation X-Ray de Rossi Mission. L'objectif principal de la mission est l'étude des systèmes stellaires et galactiques. Contenant des objets compacts. Ces systèmes comprennent des naines blanches, des étoiles à neutrons et éventuellement des trous noirs.

CSS yymmdd: hhmmss + ddmss- Ce système a été inventé par les génies du Catalina Sky Survey pour vous faire perdre la tête et de garantir les fautes de frappe et les erreurs. Le préfixe signifie Catalina Sky Survey suivi de la date en forme yymmdd, puis les coordonnées dans un format très non scientifique et insatisfaisant. Avec de plus en plus d'enquêtes menées et de nouvelles variables à découvrir, cette liste de noms non conventionnels va sans aucun doute croître. Les supernovas ont leur propre nom. Vous pouvez lire plus sur ce sujet ici:

[Http://simostronomy.blogspot.com/2011/01/supernovae-alphabet-soup.html](http://simostronomy.blogspot.com/2011/01/supernovae-alphabet-soup.html)

Nomenclature des types d'étoiles variables

Dans un monde parfait, le schéma de classification des étoiles variables n'utiliserait que des étoiles en quantités directement observables, distinguerait facilement les types entre des systèmes physiquement différents et classerait des objets similaires dans des groupes bien définis. Malheureusement, nous ne vivons pas dans un monde complètement parfait, pas plus que les observations sont toujours possibles dans un Univers parfaitement ordonné enfin, rarement si jamais c'est possible. En fait, le plus souvent, nous classons les étoiles et donnons leurs noms avant de comprendre les processus qui les rendent justement, variables. Bien sûr, l'observation, l'étude et l'apprentissage solutionneront les problèmes sur la route à mesure que de meilleures informations sont disponibles et validées.

D'autres classifications, telles que celles des Céphéides, regroupent les étoiles en fonction des populations stellaires, en fonction de l'âge, de la masse, de la métallicité, des vitesses plus élevées dans la galaxie et des concentrations plus faibles le long du plan de la Voie lactée. Et encore, d'autres problèmes se posent lorsque nous étudions des systèmes binaires, dont la binarité peut avoir un effet profond sur la variabilité stellaire. Donc, dans de nombreux cas, nous devons maintenant également classer le système stellaire.

De plus, certaines étoiles présentent plus d'un type de variabilité en même temps, donc des éclipses, des activités de rotation et des éruptions peuvent se produire simultanément!

L'une des façons les plus courantes de nommer les types d'étoiles variables consiste à nommer le groupe d'après le premier cas découvert ou le plus connu. Ces noms sont ensuite souvent raccourcis, ce qui les rend un peu plus confus.

Par exemple, les fichiers binaires à éclipses sont classés en tant que variables de type Algol (abrégé EA) ou variables de type Beta Lyrae (abrégé EB) ou variables de type W Ursae Majoris (abrégé EW) d'après leurs homonymes. Les sous-types de novae naines portent le nom de l'étoile prototypique de leur classe. UG pour U Geminorum, UGSS pour SS Cygni, UGSU pour SU Ursae Majoris, UGZ pour Z Camelopardalis et UGWZ pour WZ Sagittae.

Certaines classifications sont subdivisées en sous-groupes, tels que les Étoiles RR Lyrae (RR, RRAB, RRC et RRD) et les étoiles RV Tauri (RV, RVA et RVB).

D'autres classes sont nommées d'après leurs comportements ou certaines caractéristiques. Tel que les variables semi-régulières sont nommées SR avec des sous-types de SRA, SRB, SRC et SRD.

D'autres acronymes représentent tout simplement ce qu'ils sont, comme HADS, qui signifie "High Amplitude Delta Scuti Stars".

Non seulement le système de dénomination de ces types ne sont pas cohérent, mais il n'est pas non plus bien formaté. Depuis de nombreuses décennies, le « General Catalog of Variable Stars » définit le système de classification « officiel », basé sur la courbe de la lumière, la température, la luminosité et le type de population. Mais ce système a besoin d'être révisé et mis à jour, car les astronomes ont continué de subdiviser les sous-groupes en groupes de plus en plus spécialisés et ont introduit de nouveaux noms et acronymes dans la littérature. Comme toutes les sciences, l'astronomie est en mouvement et en développement constant.

Pour terminer, le CBAT a créé des classements temporaires : PSN = (possible) supernova; PNV = (possible) nova; TCP = autre type de variable (ou inconnu).

http://www.cbat.eps.harvard.edu/unconf/tocp_key.html

Pour ce cours, nous nous appuyerons sur les désignations et définitions des types de variables VSX.

<https://www.aavso.org/vsx/help/VariableStarTypeDesignationsInVSX.pdf>

Ce document à télécharger en format PDF, est fourni avec le manuel du cours comme source d'information supplémentaire. S'il y a une question ou un débat sur les types, nous utiliserons ce document pour en déterminer la réponse. C'est votre « Pierre de Rosette ».

Principaux types de variabilité

Il existe deux types principaux de variabilité, **extrinsèque** et **intrinsèque**.

Les variables extrinsèques sont des étoiles où la variabilité est causée par des propriétés externes comme rotation ou éclipses. La puissance énergétique totale de l'étoile ne varie pas (ou ce n'est pas la principale raison de sa variabilité), mais la quantité de lumière que nous voyons, de notre point de vue sur la Terre varie. Les principaux types de variabilité extrinsèque sont:

Les variables à éclipses varient parce que le plan orbital de l'étoile et son compagnon coïncident avec notre ligne de vue au système. Comme un composant passe devant l'autre, à partir de notre point de vue, nous voyons un creux dans la sortie de lumière.

Les variables rotatives peuvent avoir un certain nombre de raisons de varier. Il peut y avoir des taches qui tournent en et hors de vue, l'étoile alors semble s'effacer et varier plus ou moins cycliquement. Une paire d'étoiles peut être si proche qu'elles sont verrouillées par l'effet de marée et une étoile surchauffe une partie de l'autre étoile qui lui fait face, qui est ensuite réfléchié dans l'espace une énergie supplémentaire que nous percevons comme une augmentation de luminosité chaque fois qu'elle tourne en vue. D'autres variables tournantes peuvent être en orbite l'une de l'autre si près que les composants sont étirés par gravité dans des formes non sphériques. Comme les étoiles tournent la partie de leur surface présentée vers l'observateur, change et cela à son tour influe sur leur luminosité vue de la Terre.

Les variables de microlentillage augmentent, puis baisse d'éclat, lorsqu'un objet agissant comme une lentille gravitationnelle qui passe devant l'étoile depuis notre point de vue, augmentant la luminosité de l'objet le plus distant. *<https://www.planetary.org/explore/space-topics/exoplanets/microlensing.html>

Les variables intrinsèques sont des étoiles où la variabilité est causée par des changements dans leurs propriétés physiques elles-mêmes. Les principaux types de variabilité intrinsèque sont:

Les variables pulsantes varient à mesure que leur rayon stellaire augmente et se rétrécissent, entraînant des variations dans leur magnitude et des différences dans leurs spectres. Elles peuvent être périodiques, semi-

périodiques ou des variables irrégulières.

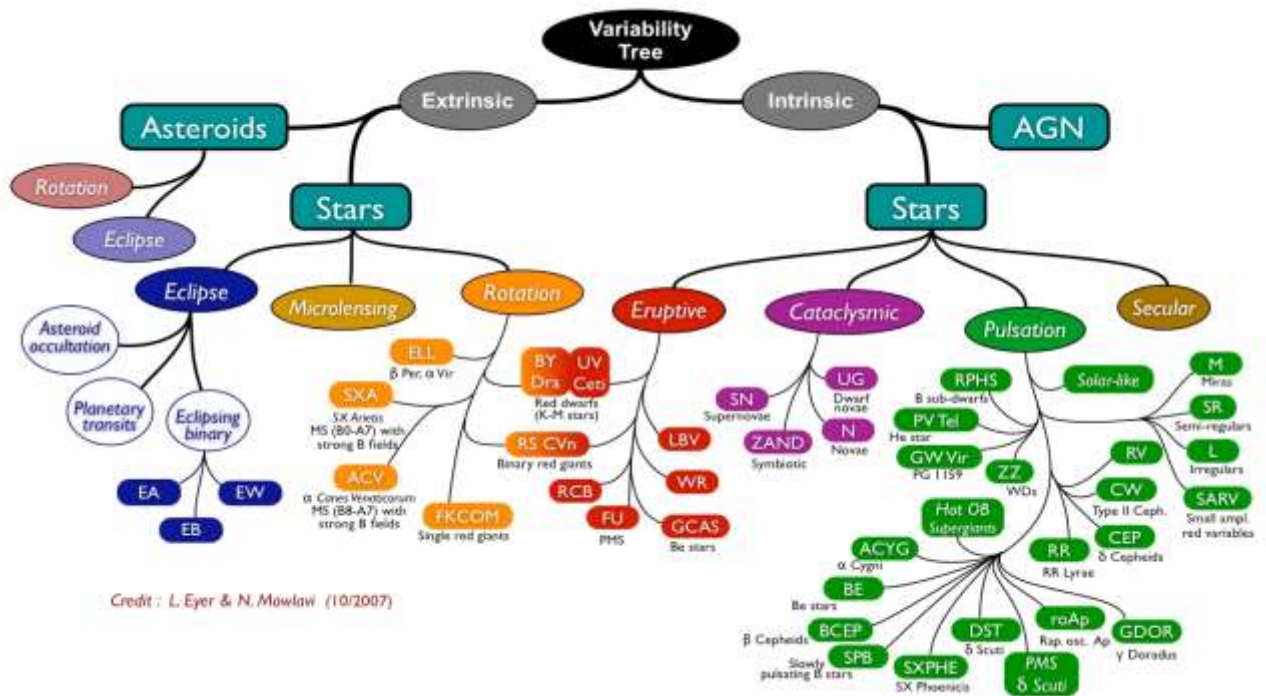
Les variables éruptives subissent des épisodes irréguliers de variabilité dus à l'éjection de masse ou activité chromosphérique.

Les variables cataclysmiques sont généralement des systèmes binaires qui interagissent et contenant des naines blanches ou systèmes qui subissent des explosions de grande amplitude.

Les variables de rayons X sont des systèmes binaires contenant des étoiles à neutrons ou des trous noirs.

L'arbre de la variabilité

Le diagramme ci-dessous est un guide utile à tous les types de variabilité qui, plus ou moins, suit le schéma de variabilité présenté dans ce cours. Vous ne serez pas tenu d'apprendre tous les types indiqués ici. Ce cours se concentre sur ces étoiles variables observées le plus typiquement par les observateurs de l'AAVSO.



Credit : L. Eyer & N. Mowlavi (10/2007)

Figure 3. De "Variable stars across the observational HR diagram "

Laurent Eyer et Nami Mowlavi

2008JPhCS.118a2010E

*Boîte d'informations sur les courbes de lumière 1 (LCIB_1):
Principes de base de la courbe de lumière*

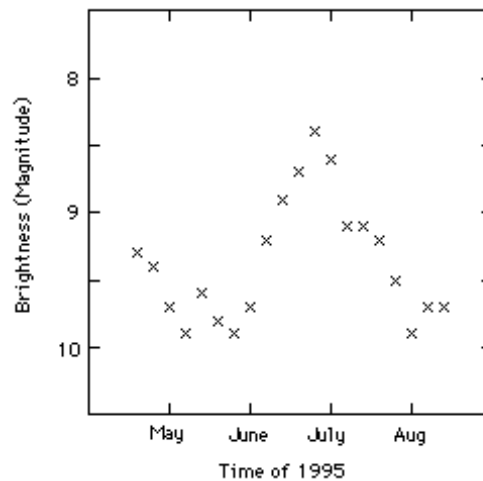
Les courbes de lumière sont des affichages graphiques de la luminosité d'un objet au fil du temps. Les courbes de lumière intéressent les astronomes, car elles peuvent révéler des caractéristiques difficiles à discerner à partir des seules données. Le tableau ci-dessous contient un exemple de données pouvant être collectées par un observateur.

Date	Magnitude	Date	Magnitude
Avril 21	9.2	Juin 20	8.7
Avril 27	9.3	Juillet 26	8.3
Mai 3	9.7	Juillet 2	8.6
Mai 9	9.9	Juillet 8	9.1
Mai 15	9.6	Juillet 14	9.1
Mai 21	9.8	Juillet 20	9.2
Mai 27	9.9	Juillet 26	9.5
Juin 2	9.7	Aout 1	9.9
Juin 8	9.1	Aout 7	9.7
Juin 14	8.8	Aout 13	9.7

LCIB_1.Table 1

Données hypothétiques de <https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/timing1.html>

Ces données peuvent ensuite être tracées avec la luminosité sur l'axe des y et l'heure (date) sur l'axe des x. Notez que l'échelle de magnitude est inversée (c'est-à-dire que les points de données les plus brillants correspondent à des magnitudes inférieures). Pour plus d'informations, voir: [https://en.wikipedia.org/wiki/Magnitude_\(astronomy\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Magnitude_(astronomy))



LCIB_1.Figure 1

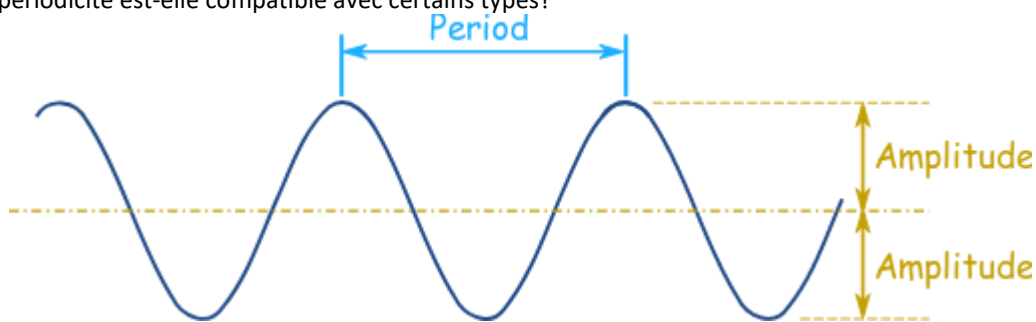
Courbe de lumière de base construite à partir des données de LCIB_1.Table
[1https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/timing1.html](https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/timing1.html)

L'enregistrement de la courbe de lumière du changement de luminosité d'un objet au fil du temps peut fournir des indices sur les processus qui sous-tendent la variation. De plus, la courbe de lumière peut être comparée à des courbes de lumière standard pour potentiellement identifier l'objet d'intérêt. Les caractéristiques de base que les astronomes recherchent dans une courbe de lumière sont ASP:

1. Amplitude (alternativement, amplitude ou amplitude complète)
 - A) *** AVERTISSEMENT *** Ces termes peuvent prêter à confusion, surtout lorsqu'ils sont mal utilisés!
 - B) La plage, parfois appelée pleine amplitude, est généralement définie comme la différence entre les valeurs maximale et minimale de luminosité sur l'axe des y.
 - C) Pour les variables avec un motif sinusoïdal périodique, l'amplitude est traditionnellement définie comme la moitié de la plage.
 - D) Assurez-vous de comprendre cette différence et d'utiliser les termes sans ambiguïté.
 - E) Alors que les courbes lumineuses peuvent afficher n'importe quelle longueur d'onde de rayonnement électromagnétique (par exemple, rayons X, infrarouge, ultraviolet, etc.), nous nous concentrerons principalement sur celles dans la gamme visuelle (~ 551 nm) comme indiqué par «V». Plus d'informations ici
 - F) Quelle est l'amplitude de la variabilité?
 - G) La plage est-elle constante ou varie-t-elle?
 - H) Est-il cohérent avec le type de variable?

2. Forme
 - A) Quelle est la forme de la courbe de lumière?
 - B) Y a-t-il des caractéristiques évidentes qui caractérisent un type particulier?

- 3 Période
 - A). La périodicité dans une courbe de lumière fait référence à un motif répété à intervalle régulier
 - B) Existe-t-il un schéma périodique?
 - C) La périodicité est-elle compatible avec certains types?



LCIB_1.Figure 2

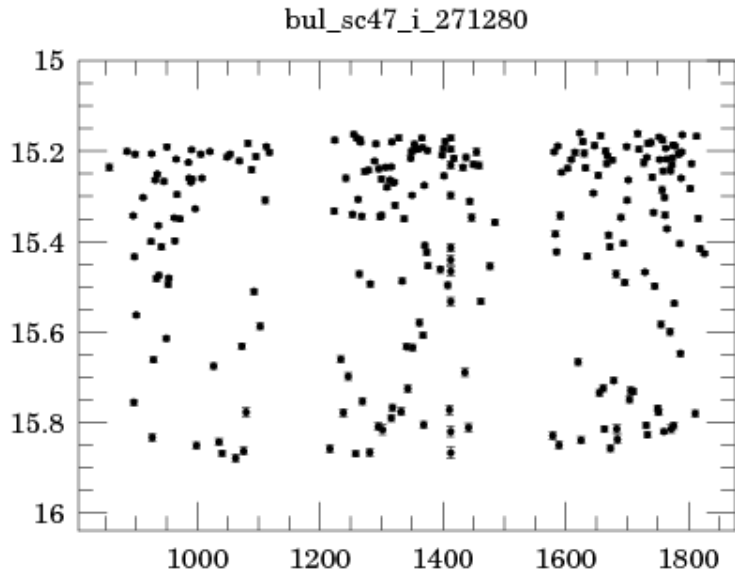
Représentation graphique de la période et de l'amplitude

<https://www.mathsisfun.com/algebra/amplitude-period-frequency-phase-shift.html>

Dans certains cas, la courbe de lumière seule contiendra suffisamment d'informations pour identifier l'objet, mais d'autres fois, une analyse spectrale peut être nécessaire. De plus, un autre outil important que les astronomes utilisent est la construction de tracés de phases. Les tracés de phase sont utiles lorsque les données sont suspectées d'être périodiques.

Pour créer un tracé de phase, une période est sélectionnée, puis toutes les données sont «pliées» pour tenir dans cette période. Les tracés de phase sont souvent appelés courbes de lumière pliées. Si une période incorrecte est choisie, le tracé de phase résultant apparaîtra "en désordre". Dans ce cas, une période différente est sélectionnée et les données sont repliées.

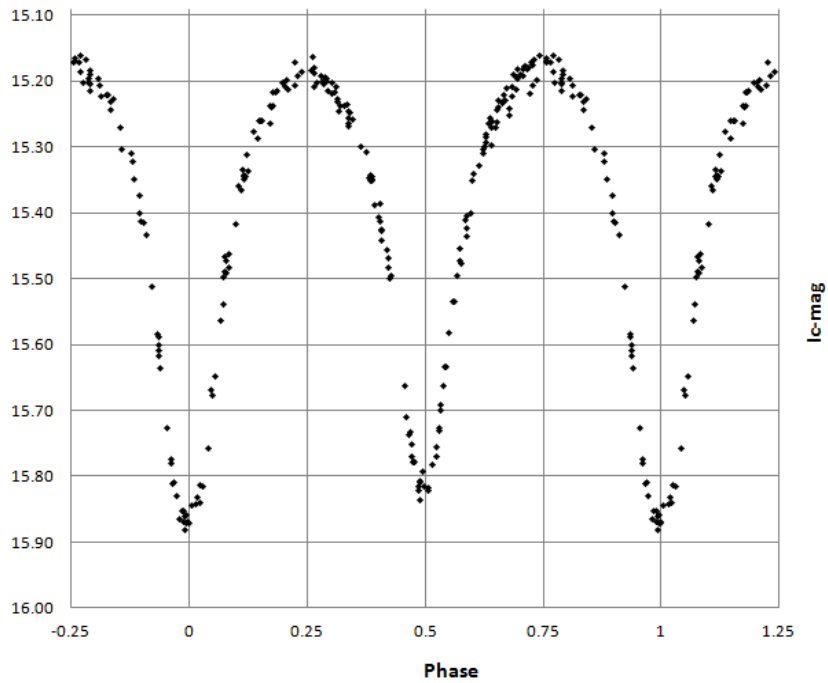
Ce processus est répété jusqu'à ce qu'un tracé de phase «propre» soit construit. Notez que pour un tracé de phase, l'axe des x ne sera pas le temps comme sur une courbe de lumière, mais représentera plutôt la phase de 0 à 1 (en pratique, les valeurs peuvent être légèrement plus ou moins et même possible afficher deux cycles complets afin de montrer toutes les fonctionnalités de l'objet).



LCIB_1.Figure 3

Une courbe de lumière de la [OGLE II photometric database](#)

OGLEII DIA BUL-SC47 V743 (P = 0.278359 d)



LCIB_1.Figure 4

Le même objet forme LCIB_1.Figure 2 après formation de la courbe de lumière avec une période de 0,278359 jours

<https://www.aavso.org/vsx/index.php?view=detail.top&oid=409525>

Pour aller plus loin: Ces informations de base sur les courbes de lumière seront essentielles pour comprendre le matériel de cours. Pour plus d'informations, veuillez consulter le document [Looking_at_Light_CurvesR5.0.pdf](#) disponible dans les documents de cours. Générez et explorez vos propres courbes de lumière en utilisant les [AAVSO's Light Curve Generator](#) ou le fameux logiciel [VStar](#). Pouvez-vous tracer la courbe de lumière d'un objet? Pouvez-vous utiliser la période publiée pour générer une courbe de lumière (diagramme de phase)?

Chapitre II

Variables en rotation

Toutes les étoiles tournent sur elles-mêmes, alors qu'est-ce que le terme "variables rotatives" signifie? Ces étoiles sont variables à cause d'irrégularités dans la luminosité de surface - ou - parce qu'elles ont été déformées en forme ellipsoïdale par les forces gravitationnelles exercées par une étoile voisine. Lorsque ces irrégularités ou ces formes tournent devant et hors de notre champ de vision, nous percevons des changements dans l'intensité lumineuse des étoiles.

Le Soleil

Commençons par une étoile de séquence principale moyenne comme notre Soleil. Son visage est parfois taché, avec des taches solaires qui tournent dans et hors de la vue lorsque le Soleil tourne. Cela crée une très petite variation, presque imperceptible, de la luminosité du Soleil vue de la Terre. Nous voyons également ces taches aller et venir, non seulement chaque mois, à mesure que le soleil tourne, mais dans des périodes plus longues d'augmentation puis de diminution de l'activité des taches, c'est le célèbre cycle de taches solaires de 11 ans. Le Soleil tournant sur lui-même avec une période de 27 jours terrestres environ et, n'étant pas un objet solide, il subit une rotation différentielle : il tourne plus rapidement à l'équateur (25 jours) qu'aux pôles (35 jours).

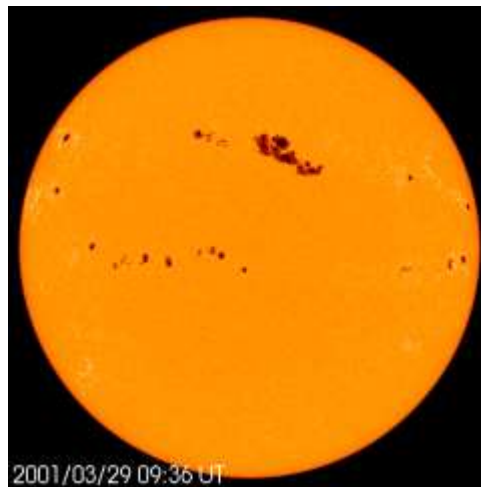


Figure 4. Un grand groupe de taches solaires traverse le visage du Soleil.

Si nous mesurons la luminosité du Soleil à une distance de plusieurs milliers d'années-lumière avec des instruments très sensibles, nous pourrions théoriquement déterminer la période approximative de rotation du Soleil en jours ou en heures. Nous pourrions également découvrir le cycle de 11 ans.

Nous pourrions aussi en déduire que nous ne regardons pas un des pôles de l'étoile, car nous ne verrions pas de variation, parce que nous verrions toujours le même hémisphère de notre point de vue, et ce, peu importe la longitude, des taches.

En effet, en observant les étoiles semblables au Soleil, nous avons beaucoup appris sur celui-ci et sa trajectoire évolutive. Ce que nous trouvons, c'est que la quantité d'activité stellaire est liée à la vitesse de rotation, qui produit les champs magnétiques qui, à leur tour, produisent des taches sur l'étoile. Comme les étoiles nouvellement formées migrent vers la séquence principale, leur rotation s'accélère à mesure qu'elles s'effondrent. C'est en vieillissant et en gonflant qu'elles commencent à ralentir.

Le Soleil est une étoile d'âge moyen, tournant **plus lentement** et étant probablement beaucoup **moins actif** que lorsqu'il était plus jeune. Les étoiles avec des périodes de rotation rapide ont tendance à être plus

chaotiques. Les étoiles avec des périodes similaires au Soleil ont tendance à montrer des cycles d'activité plus réguliers, comme le cycle solaire de 11 ans.

Le Soleil a des taches relativement modestes, comme pour la plupart des étoiles. Même additionnées toutes ensemble, au maximum d'activité solaire, les taches ne couvrent qu'un faible pourcentage de la surface du Soleil. Si celui-ci avait des taches gigantesques, couvrant 25% ou 50% de sa surface, il ne serait pas difficile d'imaginer que le Soleil varierait et ces variations seraient visibles, même à de grandes distances dans l'espace, puisque, tournant autour de son axe, une grande partie de sa surface serait assombrie périodiquement.

Le fait est que certaines étoiles ont d'énormes taches proportionnellement à leur taille globale. Et nous pouvons voir la variation de luminosité qui se produit lorsque ces gigantesques taches qui sont tantôt visibles, tantôt invisible parce l'étoile tourne autour d'elle même.



vue d'une planète imaginaire près d'une étoile ayant de grandes taches.
Droit d'auteur Mark A. Garlick space-art.fr.co.uk

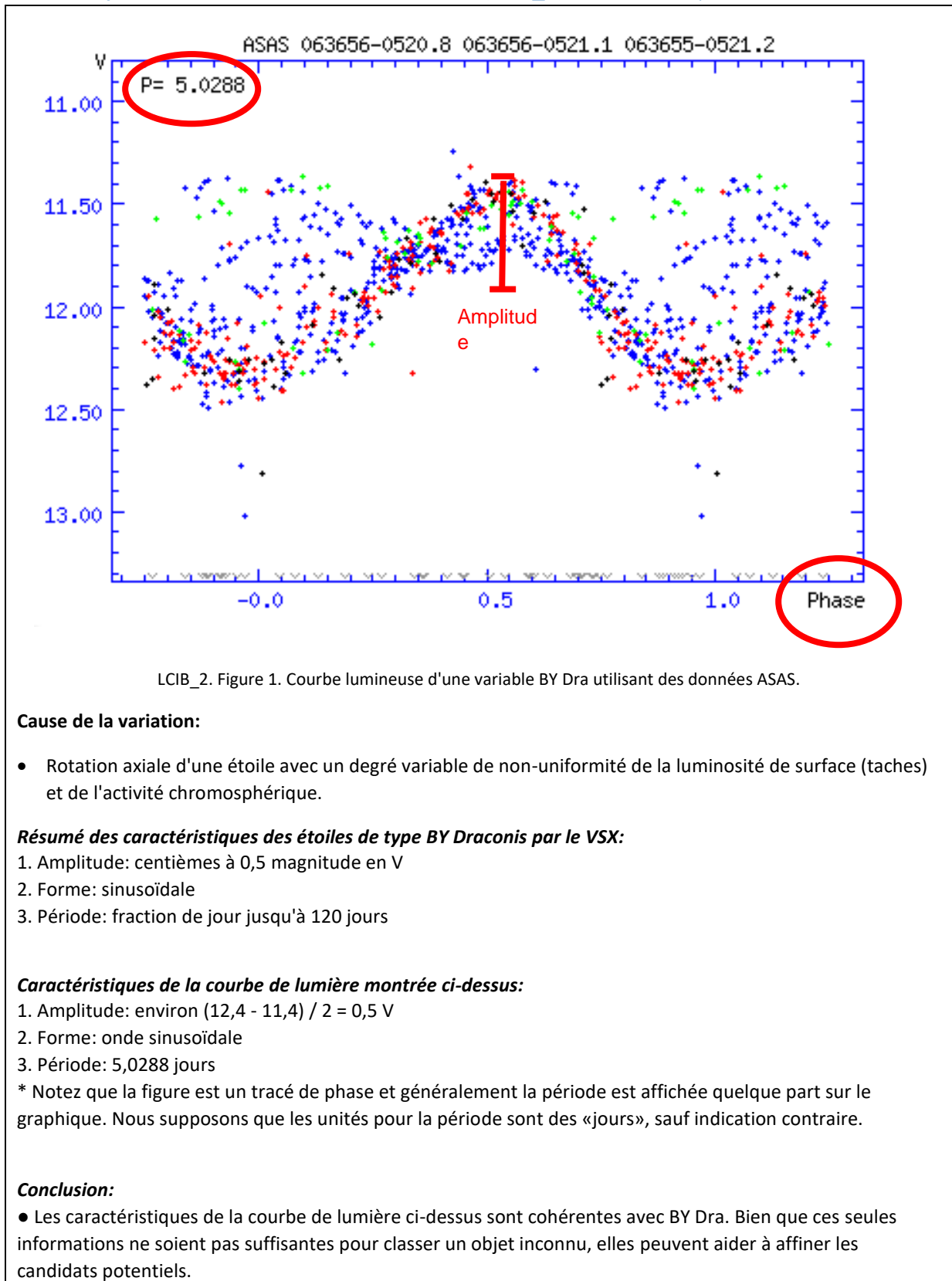
Figure
5. La

Les étoiles de type BY Dra sont des naines rouges variables qui affichent une variabilité quasi périodique dans leurs courbes de lumière, avec des périodes allant de quelques heures à 120 jours en raison de zones non uniformes de la luminosité (ils ont des taches sombres et des taches lumineuses) ce qui résulte en des changements de magnitude parce que l'étoile tourne autour de son axe. L'amplitude des variations couvre la plage de 0,001 à 0,5 magnitude dans le spectre V. Il est intéressant de noter que des étoiles de type BY Dra peuvent être aussi des étoiles binaires ou uniques.

Le prototype, BY Dra, a été découvert en 1966 et des taches d'étoiles ont été proposées pour expliquer sa variabilité. Plusieurs étoiles qui se sont avérées des variables de type BY Dra au cours des dernières années avaient préalablement classées à tort comme des binaires à éclipses.

Tout comme les taches solaires sont souvent associées aux éruptions solaires, les grandes taches créées par les champs magnétiques des étoiles BY Dra sont considérées comme responsables des éruptions de type UV Ceti, que l'on voit parfois, ce qui fait que certaines d'entre elles sont, à la fois des variables de rotation et d'éruption en même temps!

Boîte d'informations sur la courbe de lumière 2 (LCIB_2): Caractéristiques BY Dra



Les étoiles RS CVn sont des étoiles géantes rouges binaires, qui présentent des raies d'émission variables dans leur spectre ainsi que des émissions radio et rayons-x, indicateurs de l'activité chromosphérique de type solaire, mais à une échelle beaucoup plus grande. Ce haut niveau d'activité est causé par les forts champs magnétiques des composants en rotation rapide du binaire. Les taux de rotation des étoiles RS CVn ont été « accélérés » par les interactions des marées avec leurs compagnons, résultant en des taux de rotation plusieurs fois plus élevés que les étoiles « normales » de taille et de masse comparables.

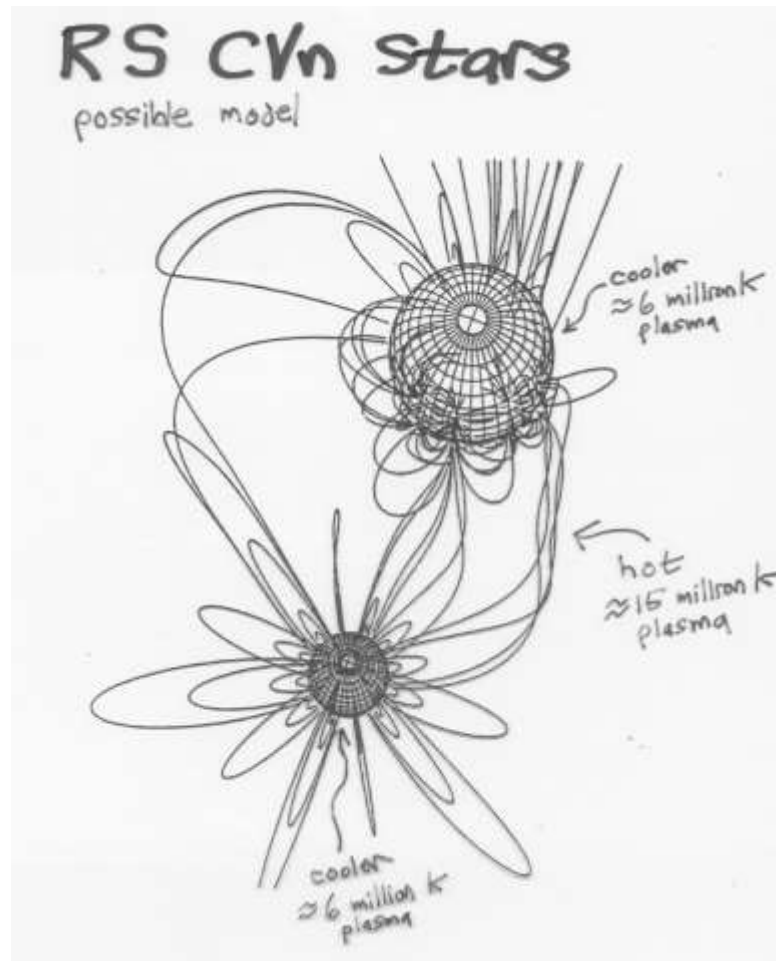
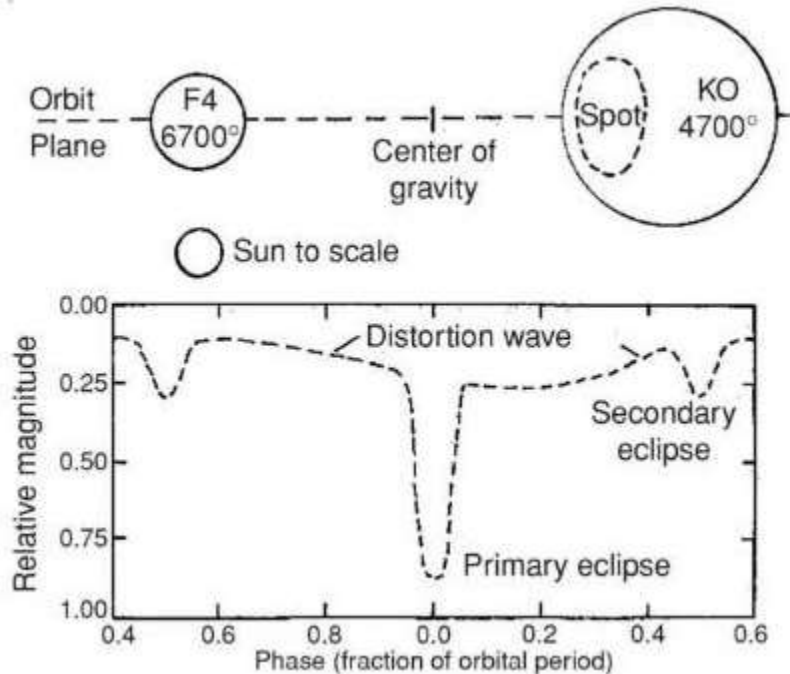


Figure 6. Les étoiles RS CVn sont « actives par chromosphère » parce qu'elles sont des étoiles tournant rapidement et possédant de forts champs magnétiques.

Les étoiles RS CVn présentent des éclipses primaires et secondaires, vues de la Terre, ainsi qu'une « onde de distorsion » qui parcourt la courbe lumineuse. Cette onde est causée par la présence de taches d'étoiles qui migrent en longitude, créant une « bosse » douce qui se déplace à travers le profil de la courbe de lumière par rapport aux éclipses.

La plupart des variables RS CVn sont relativement lumineuses et leurs amplitudes peuvent être de 0,2 magnitude ou plus, ce qui les rend bien adaptées aux observations photométriques amateurs systématiques.

Boîte d'informations sur la courbe de lumière 3 (LCIB_3): caractéristiques RS CVn



LCIB_3.Figure 1 - RS CVn a une courbe de lumière délicate, dont le prototype est montré ici. En haut se trouve le modèle schématique du système binaire et également le Soleil dessiné à l'échelle. En dessous se trouve la courbe de lumière du système montrant à la fois les éclipses primaires et secondaires ainsi que l'onde de distorsion (Percy 2007)

Cause de la variation:

Rotation axiale d'une étoile avec un degré variable de non-uniformité de la luminosité de surface (taches) et de l'activité chromosphérique.

Résumé des caractéristiques des variables RS CVn par le VSX:

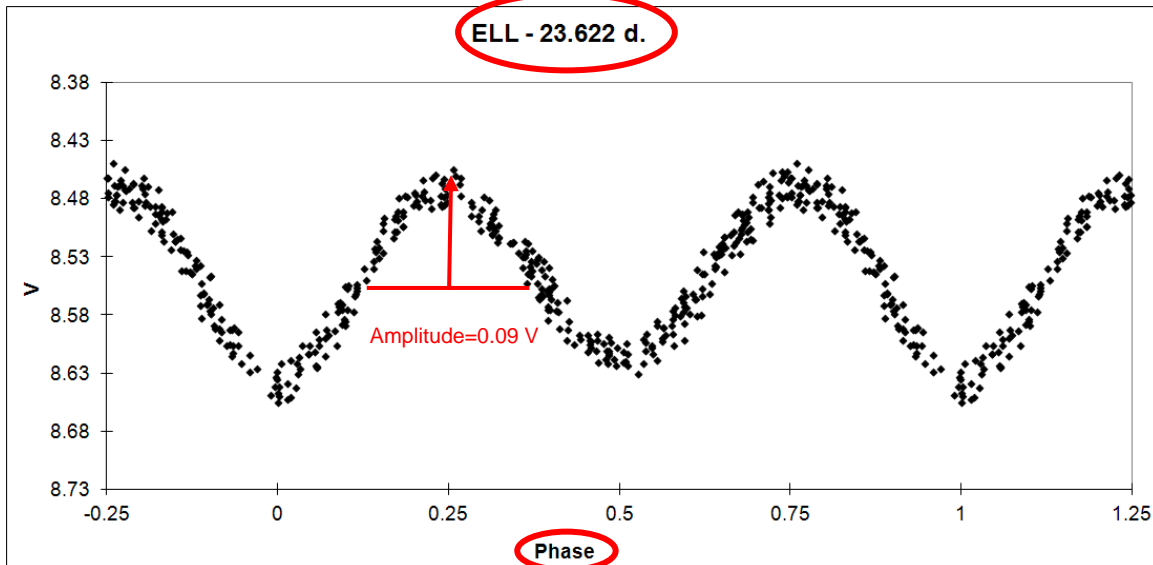
1. Amplitude: 0,2 à 0,5 magnitude en V
2. Forme: onde sinusoïdale accompagnée d'éclipses
3. Période: périodes orbitales comprises entre 1 et 14 jours

Pour plus d'Information:

- <http://www.aip.de/en/news/science/starspots>
- https://people.brandonu.ca/rice/files/eieri_1.mpg

Les variables ellipsoïdales rotatives (ELL) sont des systèmes binaires rapprochés qui varient avec des périodes égales à leur mouvement orbital. Les composantes des variables ellipsoïdales sont étirées hors de la forme en réponse à l'immense stress gravitationnel exercé sur elles par leur étoile compagnon ultra-proche. La probabilité mathématique que le plan orbital de ces systèmes coïncide avec notre ligne de visée faisant qu'une étoile éclipe l'autre est possible. Mais par définition, une variable ellipsoïdale ne peut pas montrer un comportement éclipsant.

Boîte d'informations sur la courbe de lumière 4 (LCIB_4): ELL caractéristiques



LCIB_4.Figure 1 - ELL light curve

Cause de la variation:

Système binaire proche avec des composants ellipsoïdaux qui modifient la luminosité combinée avec des périodes égales à celles du mouvement orbital.

Résumé des caractéristiques des types ELL par le VSX:

1. Amplitude: jusqu'à 0,1 en V
2. Forme: sinusoïdale sans éclipses
3. Période: égale au mouvement orbital

Caractéristiques de la courbe de lumière montrée ci-dessus:

1. Amplitude FWHM: environ $(8,65 - 8,47) / 2 = 0,09$ V
2. Forme: sinusoïdale sans éclipses
3. Période: 23,622 jours

Il y a un débat dans de nombreux milieux pour savoir si l'on peut ou non classer les étoiles strictement sur la base d'un phénomène d'observation arbitraire qui n'a rien à voir avec les processus physiques en cours. Après tout, vus d'une autre planète ailleurs dans la galaxie, ces systèmes pourraient être des binaires à éclipse!

Ce groupe d'étoiles « fourre-tout » vaguement défini contient sans aucun doute des étoiles astrophysiquement intéressantes sur lesquelles les amateurs peuvent mener des recherches sérieuses.

Les variables à éclipses

Les variables à éclipses (E) sont des binaires rapprochées dont le plan orbital coïncide avec notre ligne de visée. Lorsqu'une étoile passe devant l'autre, elle éclipse la lumière de celle-ci et provoque une baisse de luminosité au moment de son passage. Quand l'étoile la plus faible passe devant l'étoile la plus lumineuse, comme elle cache son flux, cela cause une éclipse dite primaire. Par la suite, l'étoile la plus brillante peut également passer devant la plus faible, ce qui entraîne une éclipse secondaire. Le laps de temps entre les éclipses primaires est égal à la période orbitale du système.

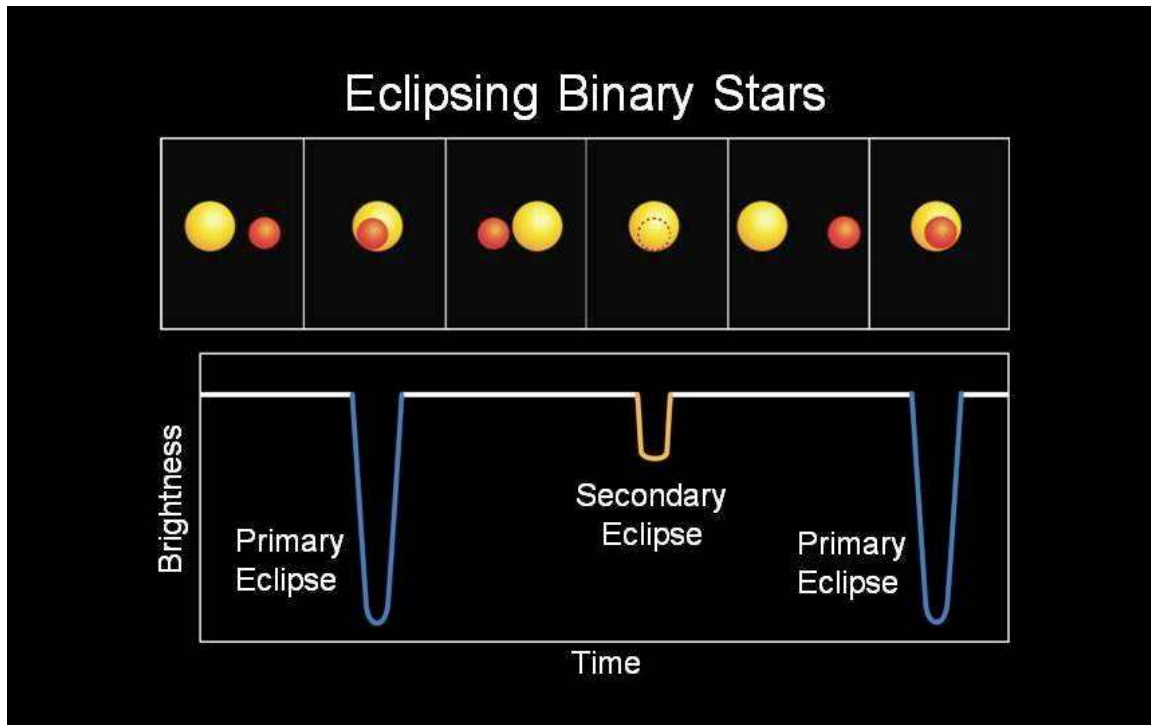
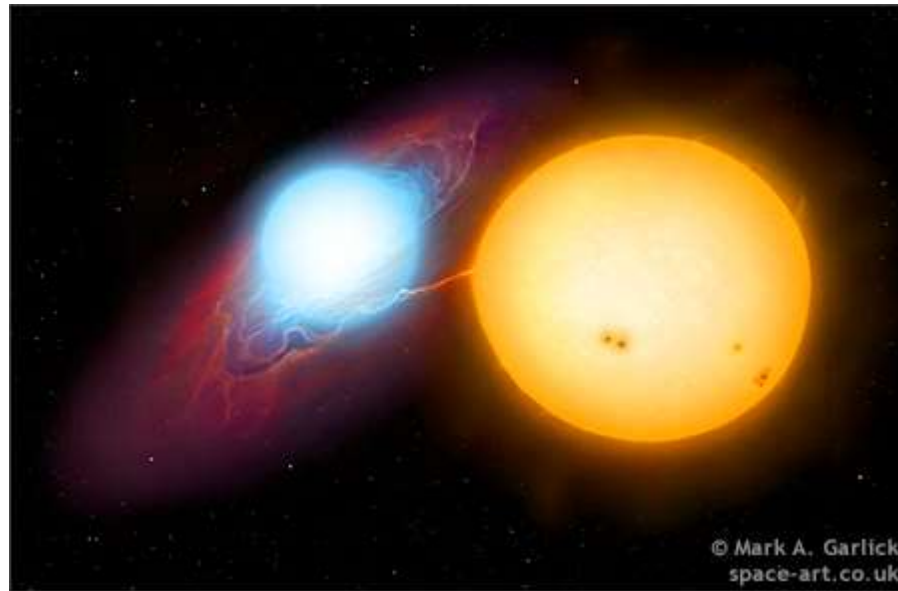


Figure 7: Diagramme de la géométrie des étoiles éclipsantes et courbe de lumière associée

Les systèmes binaires sont intéressants pour de nombreuses raisons. Plus de la moitié de toutes les étoiles sont dans des systèmes binaires ou multiples. Les origines des systèmes binaires ne sont toujours pas bien connues, et il y a probablement plusieurs scénarios différents par lesquels ils ont pu être créés. Le fait que les composantes des binaires à éclipses sont à proximité les uns des autres peut considérablement affecter la façon dont elles évoluent. Les courbes de lumière des binaires écliptiques donnent des indices importants pour déterminer les propriétés physiques, telles que la taille, la masse, la luminosité et la température des composants stellaires.

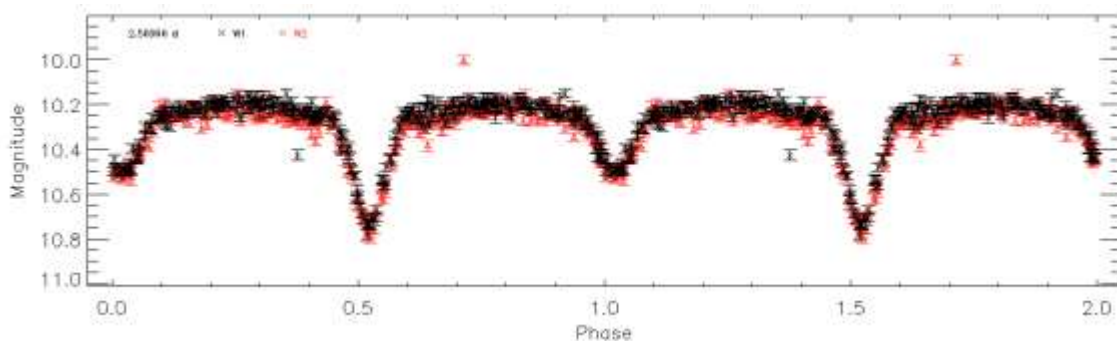


Vue d'artiste d'Algol . - Droit d'auteur Mark A. Garlick space-art.fr

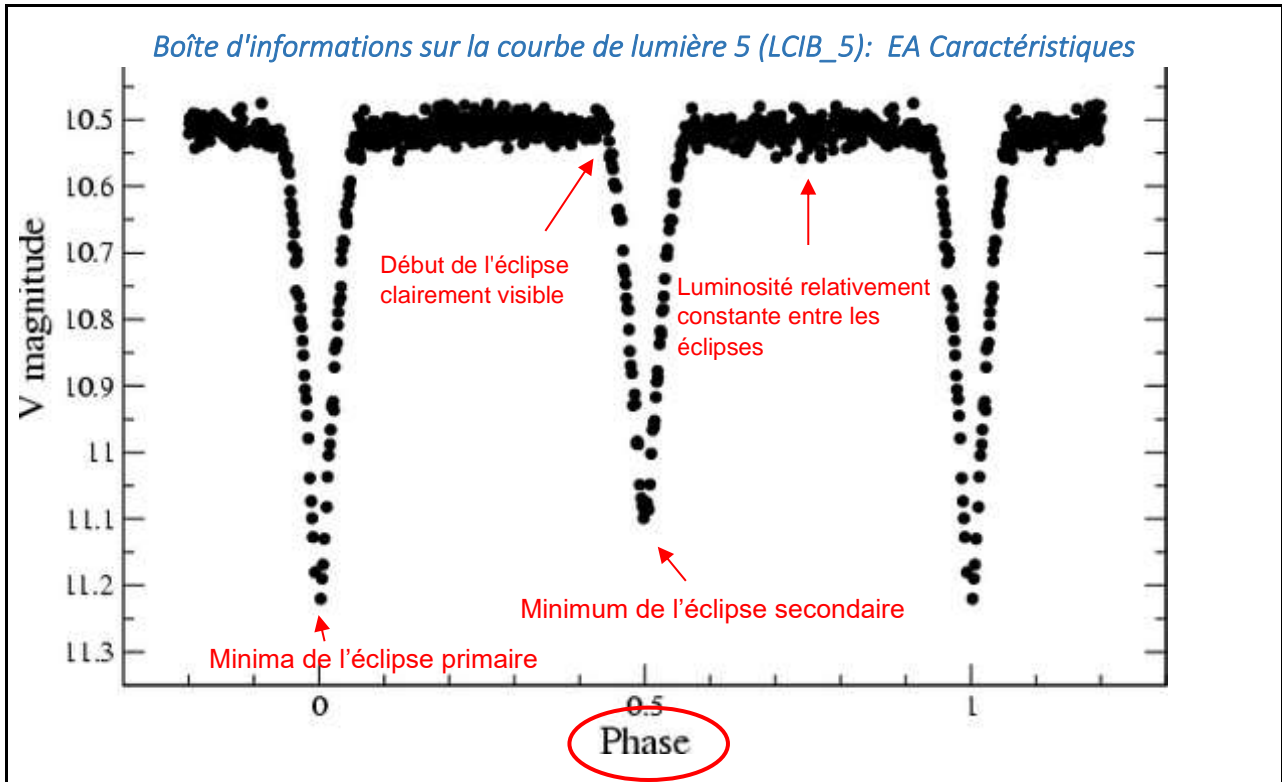
Les variables Algol (EA) sont des systèmes éclipsant contenant des sphères ou des composants légèrement ellipsoïdaux. Les moments précis du début et de la fin des éclipses sont bien définis dans leurs courbes de lumière. Les éclipses secondaires peuvent être absentes. La courbe de lumière est essentiellement plane entre les éclipses, ou peut varier légèrement en raison de la forme elliptique ou par la variabilité physique des composants, ou en raison des effets de réflexion (voir ci-dessous). Les périodes orbitales varient de 0,2 à plus de 10 000 jours, et les amplitudes de variation peuvent atteindre plusieurs niveaux de magnitudes.

Effet de réflexion

Si deux étoiles tournent très proche l'une autour de l'autre, une partie de l'énergie de chaque étoile frappera sa compagne, sera absorbée puis réémise. Le côté de l'étoile face à sa compagne est plus chaud et donc légèrement plus lumineux que le côté opposé. Appeler ce phénomène « réflexion » est quelque peu trompeur. L'effet est plus évident juste avant l'éclipse de l'étoile plus froide et plus faible. Il produit des « épaules » dans la courbe de lumière de l'éclipse secondaire.



Une courbe lumineuse type Algol (EA)



LCIB_5.Figure 1 - Courbe de lumière type Algol (EA) normale

Cause de la variation:

- Système binaire rapproché incluant des composants sphériques ou ellipsoïdaux avec des plans orbitaux alignés de sorte que les composants s'éclipsent périodiquement.

Résumé des caractéristiques EA par le VSX:

1. Amplitude: plage allant jusqu'à plusieurs magnitudes en V
2. Forme: montre les éclipses primaires et secondaires. Reste relativement constant entre les éclipses de sorte que le début de l'éclipse peut être déterminé.
3. Période: 0.2 to $\geq 10,000$ jours

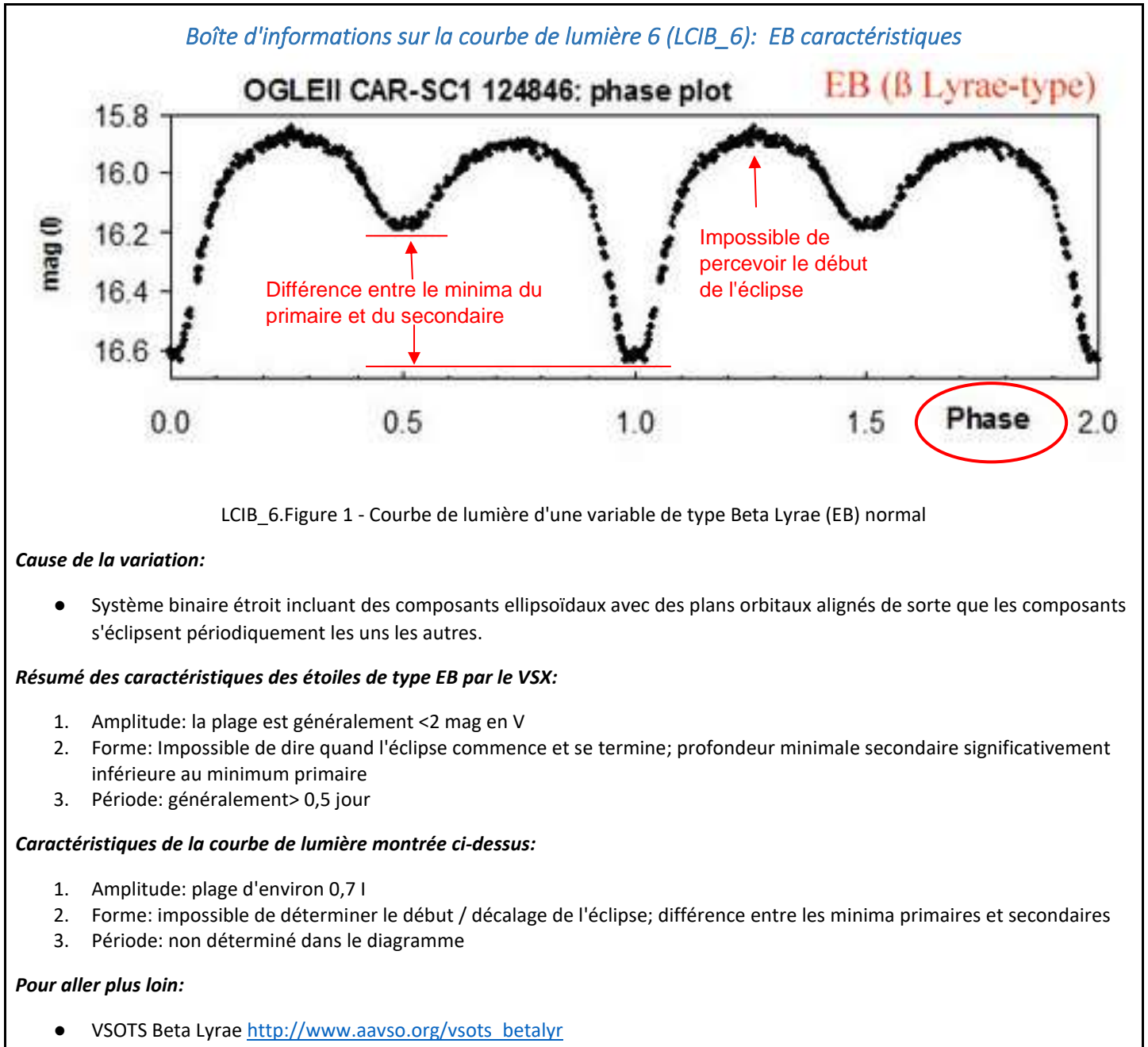
Caractéristiques de la courbe de lumière montrée ci-dessus:

1. 1. Amplitude: la plage est d'environ 0,7 V
2. 2. Forme: éclipses primaires et secondaires; luminosité relativement constante entre les éclipses
3. 3. Période: non déterminé dans le diagramme

Pour aller plus loin:

- VSOTS Beta Persei http://www.aavso.org/vsots_betaper
- EA animation: <https://www.youtube.com/watch?v=zoekfYomfjI>
- Animation d'étoiles binaires: <https://www.youtube.com/watch?v=1kFFwHkxBil>
- Informations binaires à éclipses: <https://www.youtube.com/watch?v=Azig0bnyQPQ>

Les variables de type Beta Lyrae (EB) sont des variables à éclipses contenant des composantes ellipsoïdales. Les temps exacts d'apparition et de fin de l'éclipse sont impossibles à déterminer, car la luminosité du système varie en permanence. Il y a toujours des minima secondaires. La profondeur de ces éclipses secondaires est généralement beaucoup moins grande que l'éclipse primaire. Leurs périodes sont principalement plus longues que 1 jour et l'amplitude des changements de lumière peut être aussi grande que 2 magnitudes dans V. Les étoiles du système sont généralement des types spectraux précoces B et A.



Beta Lyrae

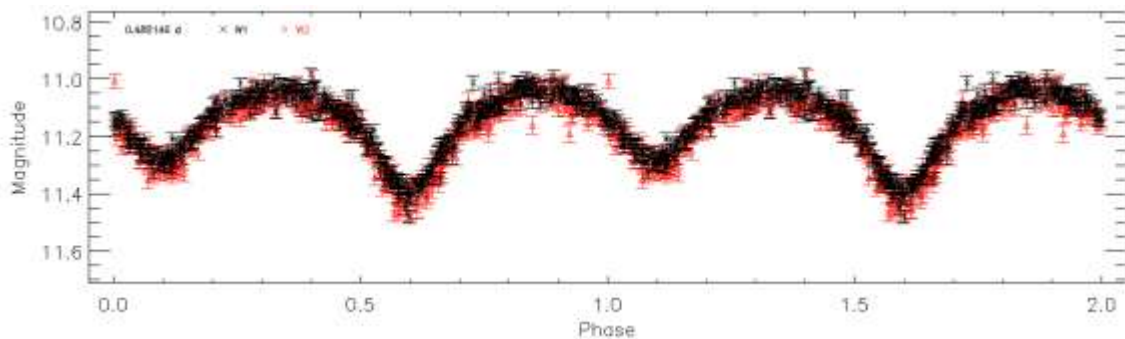
(Adapté de Harmanec, P. (2002) « **The ever-challenging emission line binary Beta Lyrae'** », AN,323, 87-98.)

Il est intéressant de mentionner ici que Beta Lyrae est un cas si bizarre qu'elle ne devrait pas être le prototype d'aucune classe d'étoiles variables.

L'image actuelle qu'on se fait de la Beta Lyrae est qu'il s'agit d'une binaire à éclipse dans une phase de transfert de masse entre les composants. L'étoile perdant sa masse est un objet B6-8II, d'une masse d'environ 3 M (Soleil), qui remplit son lobe de Roche et envoie du matériel vers son compagnon plus massif à une vitesse d'environ 2×10^{-5} M (Soleil) par année. Cela conduit à l'augmentation rapide observée de la période orbitale à un taux de 19 secondes par an. L'étoile acquérant de la masse est une étoile de type B avec une masse d'environ 13 M (Soleil). Elle est complètement cachée à l'intérieur d'un disque d'accrétion opaque, des structures semblables à des jets, perpendiculaires au plan orbital et avec un halo de diffusion lumineuse au-dessus des pôles de l'étoile.

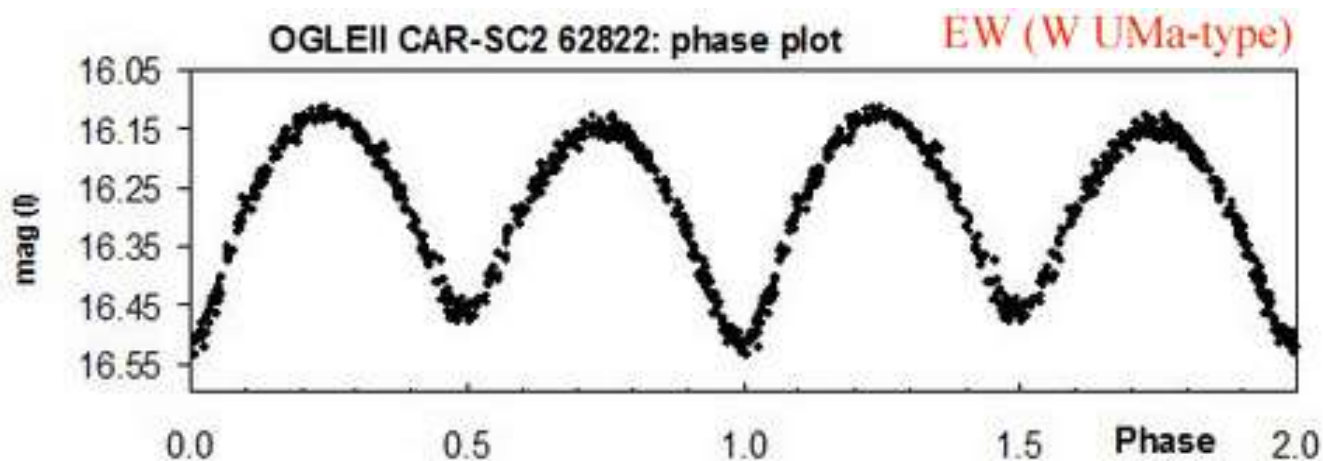
Le rayonnement observé du disque correspond à une température effective bien inférieure à ce qui correspondrait à une étoile B précoce. Le disque absorbe le rayonnement de l'étoile centrale dans les directions le long du plan orbital et le redistribue dans les directions perpendiculaires à celui-ci. C'est pourquoi l'étoile perdant sa masse apparaît la plus brillante des deux dans la région visible du spectre.

À l'heure actuelle, des estimations plutôt fiables de toutes les propriétés fondamentales des composants sont disponibles. Toutefois, en dépit de progrès considérables de ces dernières années, certains désaccords subsistent entre les modèles existants.



Une autre courbe de lumière d'une variable type de type Beta Lyrae (EB)

Les variables de type W Ursae Majoris (EW) sont des variables à éclipses contenant des composants ellipsoïdaux, presque en contact alors qu'ils orbitent autour d'un centre de gravité commun (barycentre). Comme les EB, les temps exacts d'apparition et de fin de l'éclipse sont impossibles à déterminer, car la luminosité du système varie en permanence. Les profondeurs des éclipses primaires et secondaires sont presque égales. Les périodes orbitales sont habituellement inférieures à 1 jour et les amplitudes de variabilité sont typiquement inférieures à 0,8 grandeur dans V. Les composantes sont généralement des types spectraux F-G et ultérieurs.



LCIB_7.Figure 1 - Courbe de lumière d'une variable type de catégorie W Ursae Majoris (EW)

Cause de la variation:

- Système binaire incluant des composants ellipsoïdaux très rapprochés presque en contact avec des plans orbitaux alignés de sorte que les composants s'éclipsent périodiquement les uns les autres.

Résumé des caractéristiques des étoiles de type EW par le VSX:

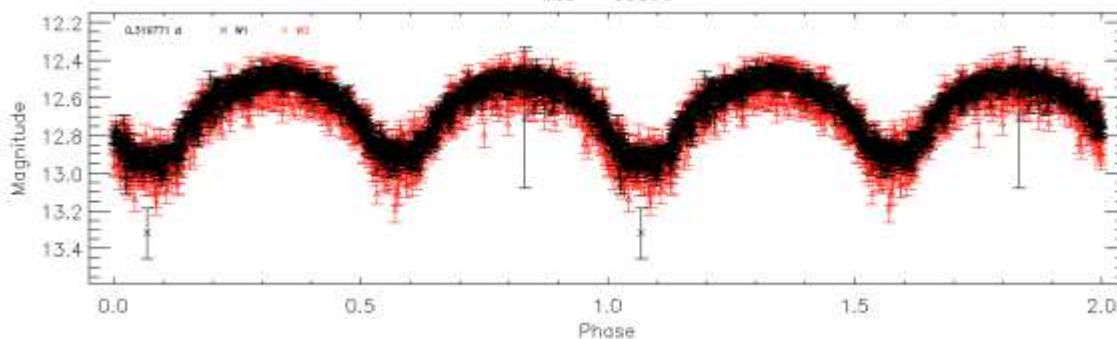
1. Amplitude: plage généralement inférieure à 0,8 en V
2. Forme: impossible de déterminer précisément le début et la fin des éclipses; les profondeurs des minima primaires et secondaires sont les mêmes ou ne diffèrent que légèrement
3. Période: généralement inférieure à 1 jour

Caractéristiques de la courbe de lumière montrée ci-dessus:

1. Amplitude: autour de 0.6mag en V
2. Forme: impossible de déterminer le début / décalage des éclipses; les profondeurs des minima primaires et secondaires sont fondamentalement les mêmes.
3. Période: 0.319771 jours

Pour aller plus loin :

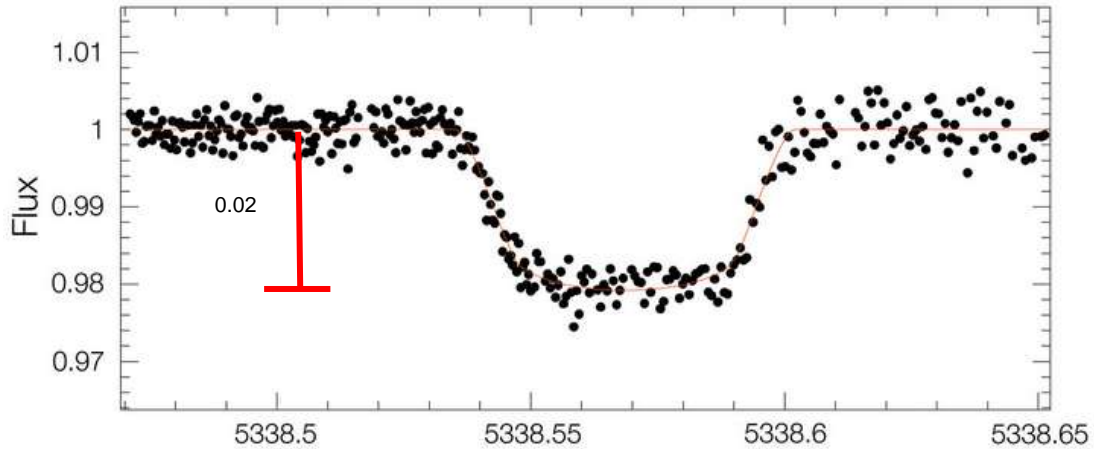
- VSOTS W Ursae Majoris http://www.aavso.org/vsots_wuma



Une autre courbe de lumière d'une variable typique de catégorie W Ursae Majoris (EW)

Les variables à transit (EP) d'exoplanètes sont des étoiles dont la variation de lumière infinitésimale est provoquée par l'éclipse d'une ou de plusieurs de ses planètes qui transitent entre l'étoile et notre point de vue.

Boîte d'informations sur la courbe de lumière 8 (LCIB_8): EP caractéristiques



LCIB_8.Figure 1 - La courbe de lumière d'une exoplanète transitant devant son étoile parente, WASP-19b
Source : TRAPPIST / M. Gillon / ESO

Cause de la variation:

- Étoile éclip­sée par la planète depuis le point de vue de l'observateur

Résumé des caractéristiques des étoiles de type EP par le VSX:

1. Amplitude: la plage est très petite
2. Forme: l'éclipse a un **fond plat**
3. Période: fraction de jour à des milliers d'années

Caractéristiques de la courbe de lumière montrée ci-dessus:

1. Amplitude: 0,02
2. Forme: l'éclipse a un fond plat
3. Période: non déterminé dans le diagramme

Pour aller plus loin:

- <https://www.youtube.com/watch?v=BFi4HBudWkk>

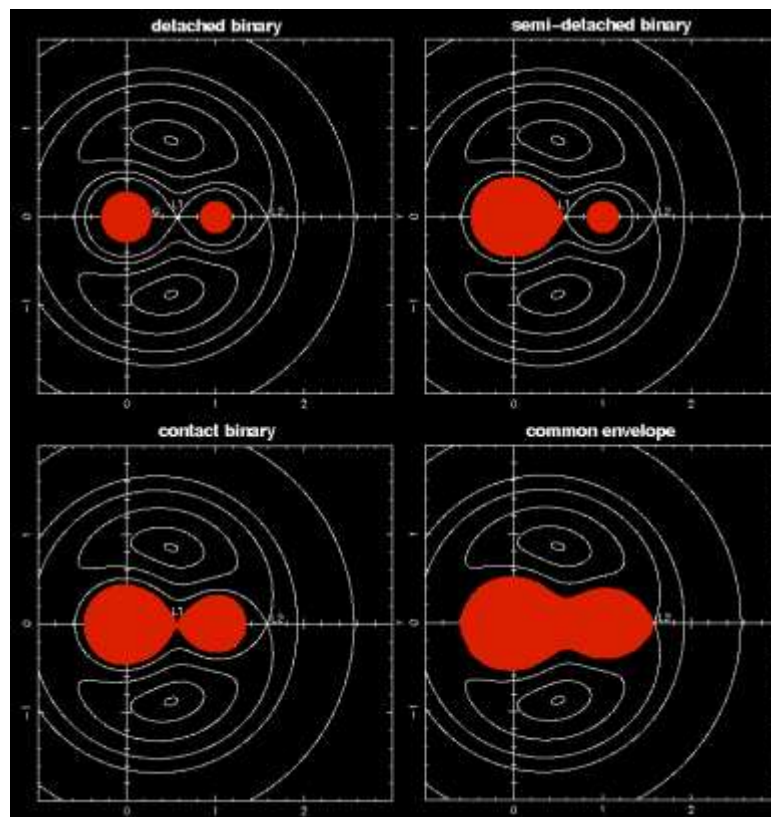
Lobes de Roche

Les schémas de classification moderne des binaires, y compris des binaires à éclipses, sont basés sur les concepts de lobe de Roche et des points de Lagrange.

Les binaires détachées (ED) sont des systèmes où les deux composants sont bien contenus dans leurs lobes de Roche. Les étoiles restent presque sphériques et la distorsion de marée est minime.

Les binaires semi-détachées (ESD) sont des systèmes où une étoile remplit son lobe de Roche et est déformée. Il y a probablement perte de masse par l'accrétion au point Lagrange intérieur au profit de son étoile compagne.

Les binaires de contact (EC) se produisent lorsque les deux étoiles remplissent leurs lobes de Roche et sont essentiellement en contact les unes avec les autres. Dans certains cas, une enveloppe commune de matière qui atténue la démarcation entre les étoiles individuelles peut également entourer la paire. Celle-ci sont souvent appelés enveloppe commune ou binaire de contact.



Diagrammes de la géométrie de Roche de différents systèmes binaires

Lectures recommandées:

VSOTS Beta Persei

http://www.aavso.org/vsots_betaper

VSOTS Beta Lyrae

http://www.aavso.org/vsots_betalyr

VSOTS W Ursae Majoris

http://www.aavso.org/vsots_wuma

Chapitre III

Les variables pulsantes

Dès le départ de ce chapitre, il faut différencier deux types de pulsations : radiale et non radiale.

Lorsqu'on parle de variables pulsantes, la plupart des gens pensent au phénomène de pulsation radiale. C'est-à-dire, l'expansion et la contraction sphériques et symétriques des couches externes d'une étoile. Tout comme si vous soufflez dans un ballon, puis expirez lentement. Le volume du ballon (ou de l'étoile) augmente et diminue de façon cyclique.

Les grandes variables pulsantes varient ainsi d'amplitude et de volume – les Céphéides, Miras et RR Lyrae – pulsent principalement dans les modes radiaux.

La pulsation est dite non radiale lorsque l'étoile change de forme, mais pas de volume. Imaginez notre ballon, rempli d'eau cette fois-ci. Si vous le tenez par une extrémité et le serrez, le ballon rétrécit sous la pression de vos doigts et se dilate vers l'extérieur à l'autre extrémité. Il conserve toujours la même quantité d'eau, cependant. Son volume n'a pas changé, seulement sa forme.

Les pulsations non radiales ont tendance à produire des amplitudes de variation plus petites, et ces étoiles, telles que les étoiles B pulsantes et les naines blanches, sont moins bien observées par les observateurs de l'AAVSO.

* Certaines étoiles – comme Beta Cephei et Delta Scuti - pulsent dans les modes radial et non radial!

L'explication de la pulsation des céphéides, et d'autres variables similaires s'intitule **la valve d'Eddington**. L'hélium est le gaz qui rend possible ce travail. C'est pourquoi il est présent dans les étoiles généralement plus vieilles. Elles ont consommé leur hydrogène dans leur cœur où maintenant, elles brûlent de l'hélium, ce faisant, elles chauffent l'hélium dans leurs coquilles extérieures.

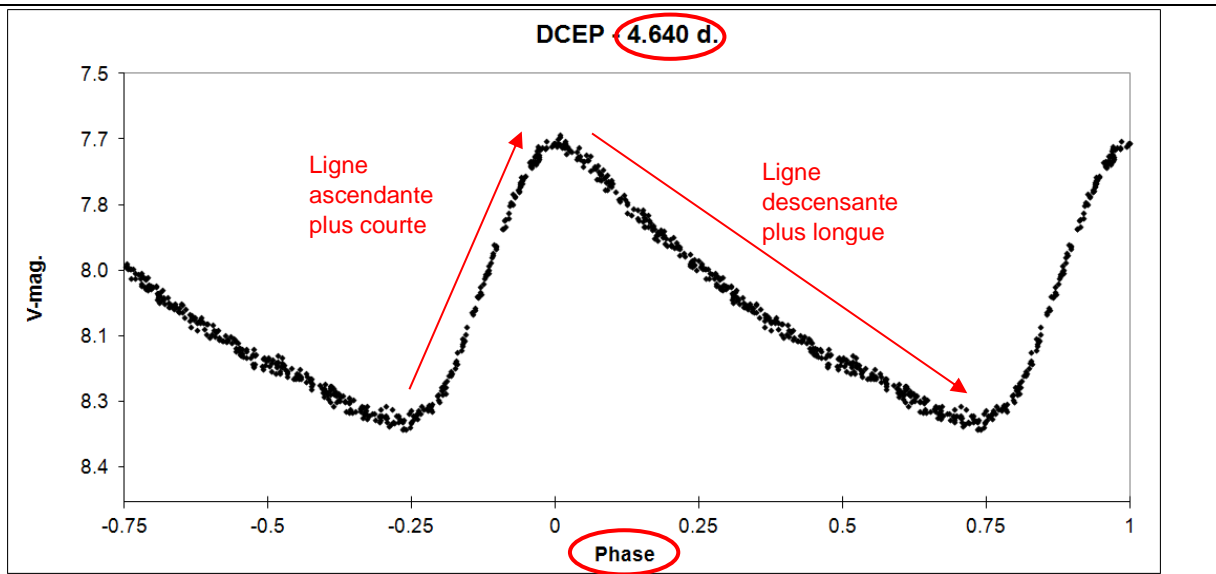
L'hélium doublement ionisé (atomes d'hélium dépourvus de deux électrons) est plus dense et opaque que l'hélium ionisé simple. Puisque le rayonnement du noyau stellaire ne peut pas s'échapper efficacement, il est absorbé et provoque encore plus d'ionisation. Plus l'hélium est chauffé, plus il devient ionisé.

À la partie la plus faible du cycle d'une céphéide, le gaz ionisé dans les couches extérieures sont chauffées par le rayonnement de l'étoile et, en raison de la température accrue, l'étoile commence à se dilater. Lorsqu'elle se dilate, la couche se refroidit, devenant moins ionisée et donc plus transparente, permettant donc au rayonnement de s'échapper. Puis l'expansion s'arrête, et la contraction commence, en raison de l'attraction gravitationnelle de l'étoile. Puis, se stabilise quelque peu et le processus se répète ensuite.

Certaines variables pulsantes sont strictement périodiques. Leurs pulsations sont régulières comme une horloge et prévisibles. D'autres étoiles pulsantes sont moins périodiques, tandis que d'autres ne sont que semi-régulières. En fait, c'est ce que nous appelons les variables semi-régulières!

Les céphéides classiques (DCEP) sont de couleur jaune vif, très lumineuses, supergéantes et sont des variables pulsantes. Leurs amplitudes sont de quelques centièmes à deux magnitudes en filtre V et leur période de 1 à 135 jours. Leur variabilité est strictement régulière sur de très longues périodes. Leur type spectral à la lumière maximale est F et à des gammes minimales de G à K - plus longue la période, plus loin le type spectral.

Boîte d'informations sur la courbe de lumière 9 (LCIB_9): DCEP caractéristiques



LCIB_9.Figure 1 - Courbe de lumière progressive d'une période de 4,64 jours - Céphéide

Cause de la Variation:

- Pulsation radiale

Résumé des caractéristiques des étoiles de type DCEP par le VSX:

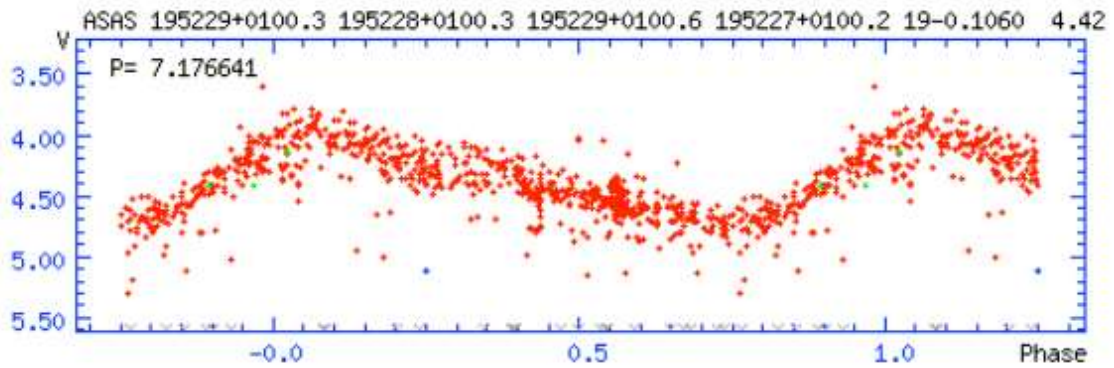
1. Amplitude: quelques centièmes à 2 magnitudes en V
2. Forme: en dents de scie (c.-à-d. Branche descendante plus longue)
3. Période: 1- 135 jours
4. De 4 à 15 fois plus massives que le Soleil et de 100 à 30 000 fois plus lumineuses

Caractéristiques de la courbe de lumière montrée ci-dessus:

- 1- Amplitude: environ $8,35 - 7,7 = 0,65$ V.
2. Forme: en dents de scie
3. Période: 4,64 jours

Pour aller plus loin:

Voir aussi VSOTS Delta Cephei: http://www.aavso.org/vsots_delcep
Animation d'une étoile pulsante: <https://www.youtube.com/watch?v=sXJBrmHPj8>
VSOTS Delta Céphéide: http://www.aavso.org/vsots_delcep



La courbe de lumière ASAS phasée d'Eta Aquilae

Les Céphéides classiques sont probablement les variables pulsantes les plus célèbres et les plus importantes. Elles sont lumineuses, nombreuses et ont généralement de grandes amplitudes, de sorte qu'elles sont visibles dans toute notre galaxie et peuvent même être observées dans d'autres galaxies situées dans notre groupe local, comme les nuages de Magellan, M31 et M33. En raison de la relation bien connue période-luminosité, elles ont été utilisées comme les bougies standard sur lequel notre connaissance des distances dans l'Univers s'est construite.

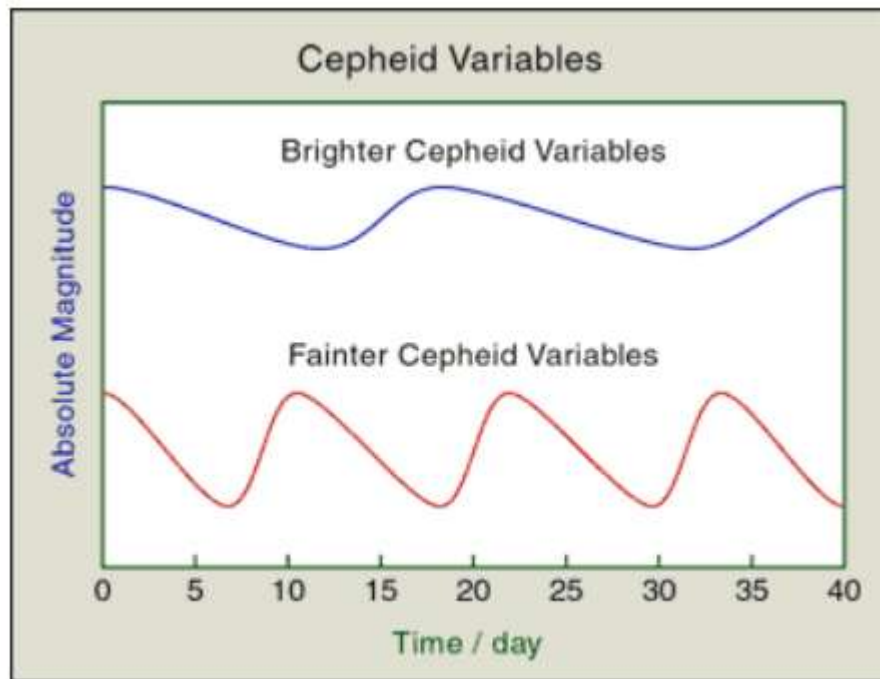
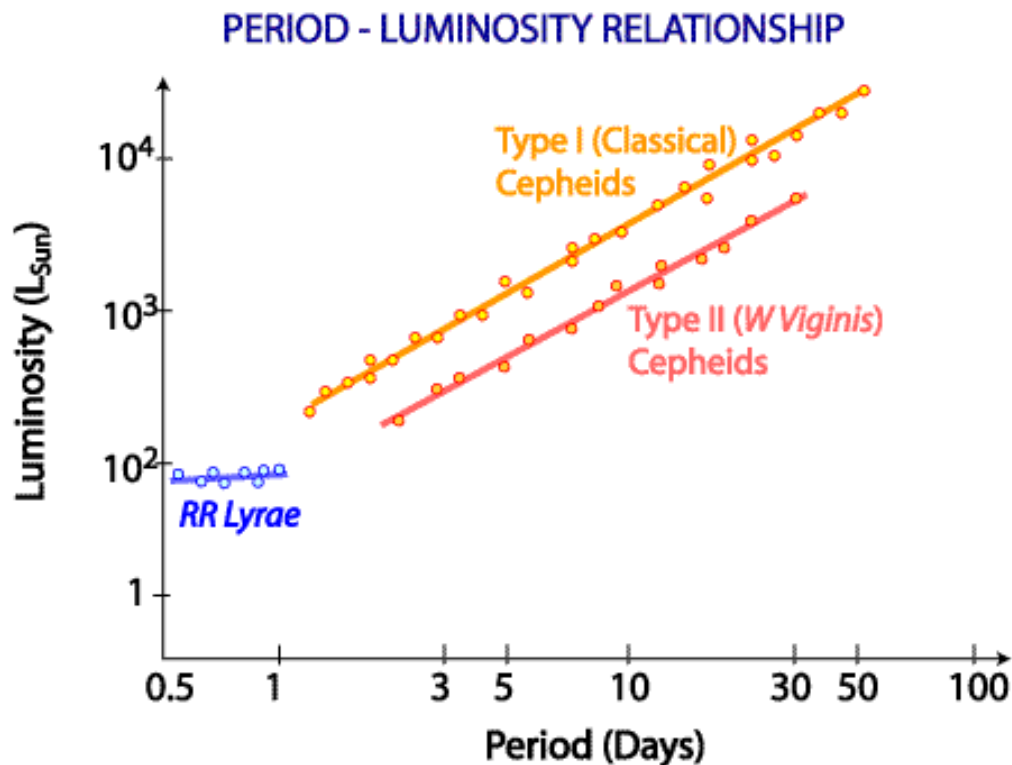


Figure 10. Comparaison des variables des céphéides les plus brillantes (courbe bleu) et des plus ou moins lumineuses (courbe rouge).

Les Céphéides de type II - alias étoiles W Virginis (CW)

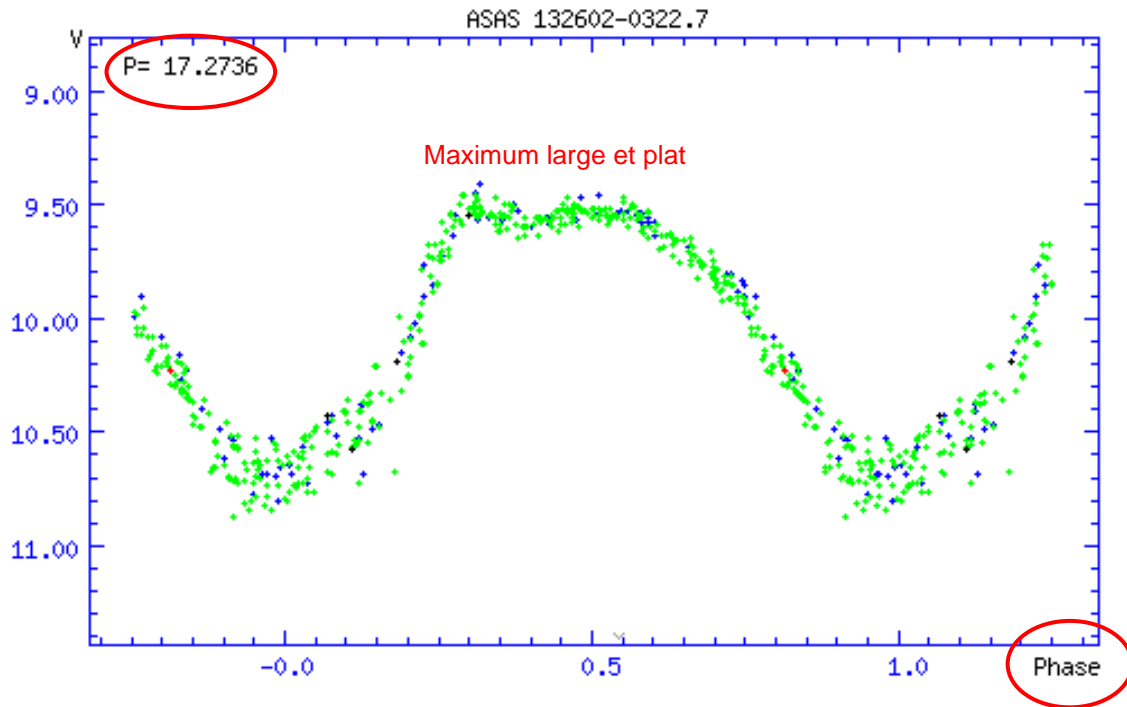
Les Céphéides de type II pulsent pour les mêmes raisons que les céphéides classiques, et il est difficile de les distinguer par leurs seules courbes de lumière. Mais leur nature physique et leur histoire évolutive sont tout à fait différentes. De population II, ces Céphéides sont plus âgées, de faible masse, soit généralement de 0,5 à 0,6 masse solaire. Elles ont tendance à résider à l'écart du disque de la galaxie et contiennent des quantités de métaux inférieures à celles des Céphéides classiques, faisant d'elles des « fossiles » importants de la première génération d'étoiles de notre galaxie.

Les Céphéides de type II obéissent à une relation période-luminosité différente, il est donc important de distinguer les deux types. Lorsque cette erreur fut découverte et la relation P-L pour les Céphéides recalibrée dans les années 50, l'échelle de distance de l'Univers a doublé!



Les W Virginis (CW) varient avec des amplitudes de 0,3 à 1,2 magnitude dans V, et ont des périodes allant de 0,8 à 35 jours. Les courbes de lumière des étoiles CW présentent parfois des bosses sur la branche descendante de la courbe de lumière, ou parfois un large maximum plat.

Boîte d'informations sur la courbe de lumière 10 (LCIB_10): CW caractéristiques



LCIB_10. Figure 1 - La courbe de lumière ASAS phasée de W Virginis

Cause de la Variation:

- Pulsation radiale

Résumé des caractéristiques des étoiles de types CW par le VSX: (*)**

1. Amplitude: 0,3 à 1,2 mag en V
2. Forme: parfois un maximum large et plat ou des bosses sur la branche descendante
3. Période: 0,8 à 35 jours
4. De faibles masses généralement de 0,5 à 0,6 masse solaire

Caractéristiques de la courbe de lumière montrée ci-dessus:

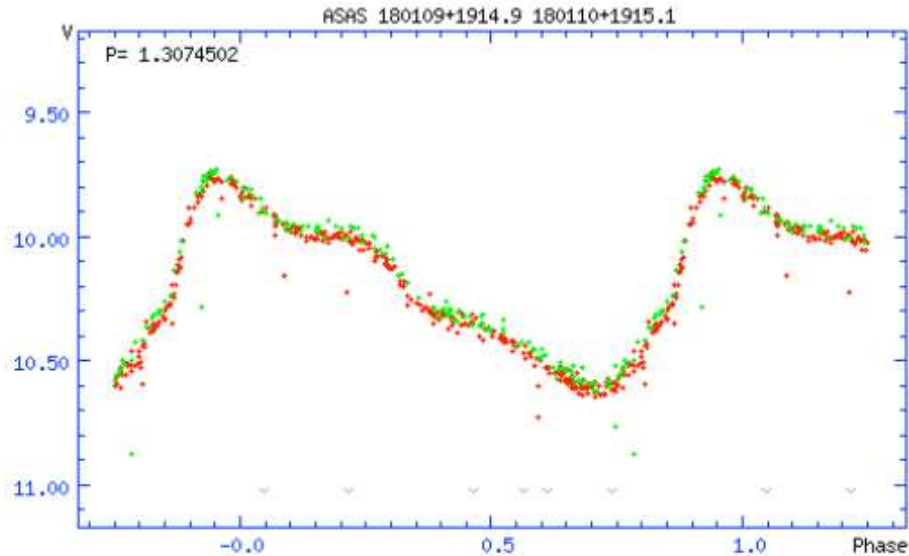
1. 1. Amplitude: environ $10,7 - 9,5 = 1,2$ V (pleine amplitude)
2. 2. Forme: forme de Céphéide avec un maximum large et plat
3. 3. Période: 17,2736 jours

Pour aller plus loin:

- VSOTS W Virginis: http://www.aavso.org/vsots_wvir

Comme pour les Céphéides classiques, leur type spectral à la lumière maximale est F et au minimum varie de G à K. Plus la période est longue, plus loin elle sera dans le type spectral.

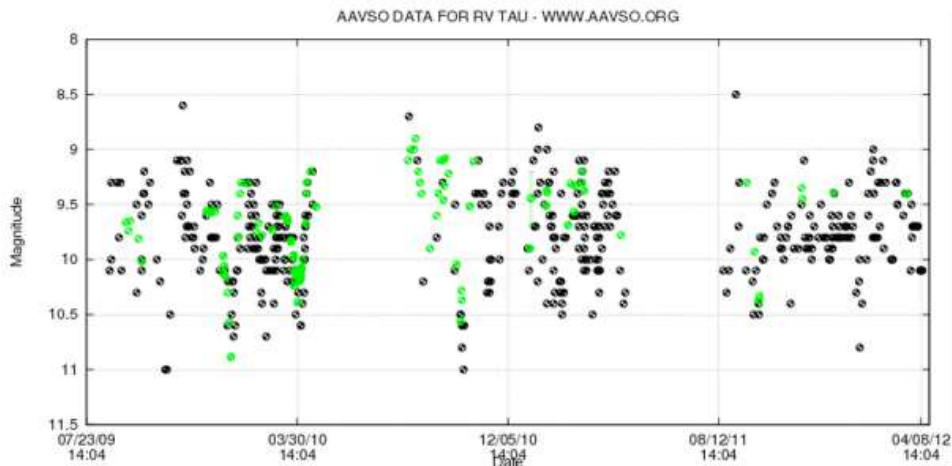
Les variables de type W Virginis sont **subdivisées** en CWA et CWB. Les CWA ont des périodes de plus de 8 jours, et les CWB, également connues sous le nom d'étoiles de type BL Herculis, ont des périodes inférieures à 8 jours.



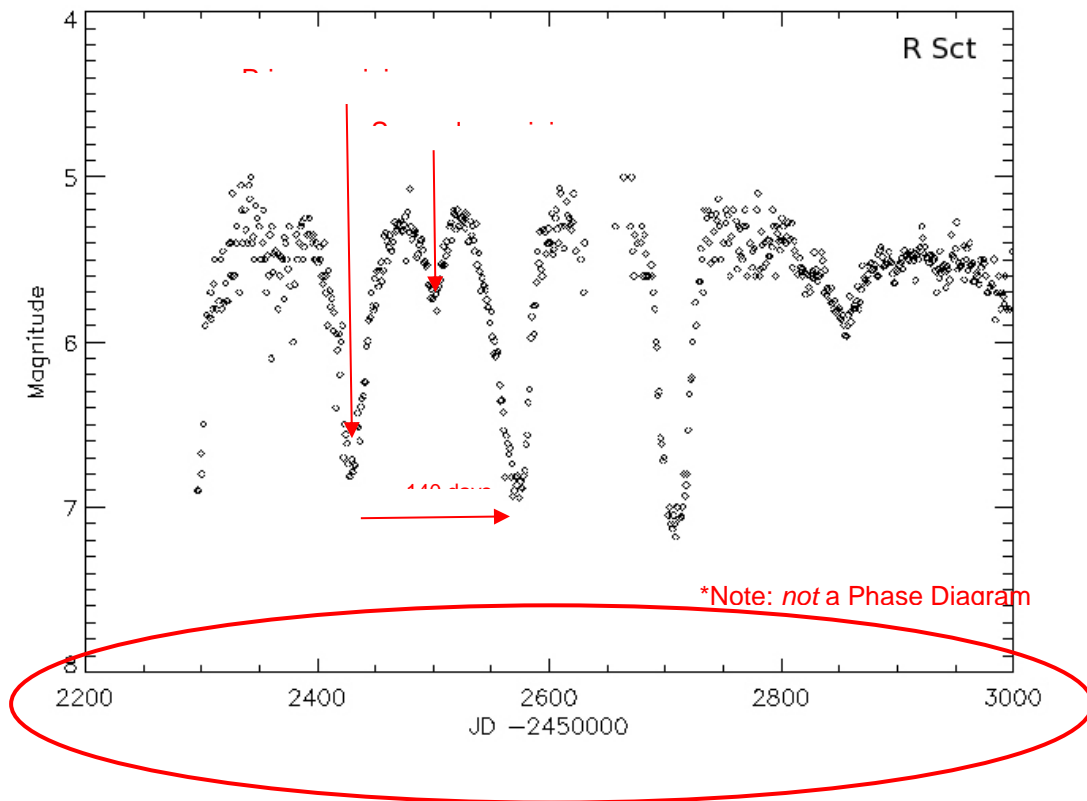
La courbe de lumière ASAS progressive de BL Herculis

Les étoiles RV Tau sont des étoiles supergéantes jaunes dont les courbes lumineuses présentent des minima profonds et peu profonds alternés. La période d'un minimum profond au suivant varie de 30 à 150 jours. L'amplitude de la variabilité peut atteindre 3 à 4 magnitudes en V. Elles ont des types spectraux F à G à la lumière maximale et K à M au minimum.

Elles sont subdivisées en types RVA et RVB. Les RVA sont celles dont la luminosité lors des maximums est sensiblement la même (exemple: AC Her). Les RVB sont les étoiles RV Tau dont les maximums sont différents, pouvant varier jusqu'à 2 magnitudes en V, avec des périodes de 600 à 1500 jours. (Exemples: RV Tau, DF Cyg)



Boîte d'informations sur la courbe de lumière 11 (LCIB_11): RV Tau caractéristiques



LCIB_11. Figure 1 - Courbe de lumière de R Sct, une variable de type RV Tau

Cause de la Variation:

- Pulsation radiale

Résumé des caractéristiques des étoiles de types RV TAU par le VSX :

1. Amplitude: jusqu'à 3-4 mag en V (pleine amplitude)
2. Forme: alternance des minima primaire et secondaire
3. Période: 30 à 150 jours entre deux minima primaires adjacents

Caractéristiques de la courbe de lumière montrée ci-dessus

1. Amplitude: environ 2 V
2. Forme: alternance des minima primaire et secondaire
3. Période: environ $2580 - 2440 = 140$ JD

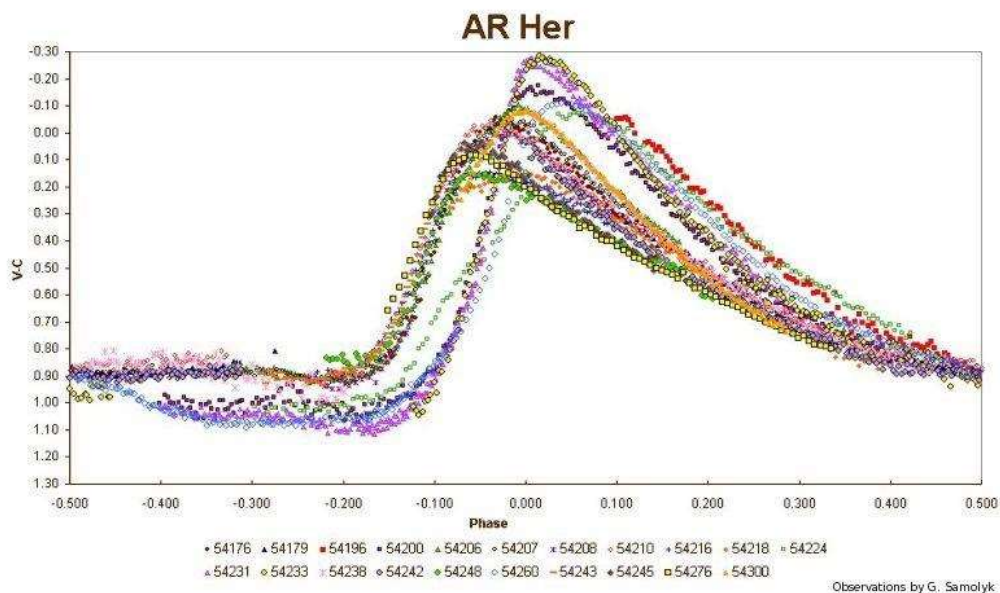
Pour aller plus loin:

- VSOTS RV Tauri: http://www.aavso.org/vsots_rvtau

Les étoiles RR Lyr sont des variables pulsantes rapides avec des périodes allant de 0,1 à 1 jour et des luminosités jusqu'à 1,5 magnitude dans V. Elles sont de type spectral A5 à F5 et ont des masses égales à environ ½ de la masse solaire. Ce sont de vieilles étoiles qui ont épuisé presque tout l'hydrogène dans leur noyau et brûlent maintenant de l'hélium. RR Lyraes sont nombreuses dans certains amas globulaires, à un point où elles ont été surnommées « variables d'amas globulaires ». Elles sont importantes en astronomie au même titre que les Céphéides, puisqu'elles aussi nous aident à étalonner la distance des objets dans l'Univers.

En 1916, Harlow Shapley a découvert que la courbe lumineuse de RR Lyrae était modulée à la fois en amplitude et en forme, avec une période d'environ 41 jours. Cette modulation est devenue connue sous le nom d'*effet Blazhko*, dont l'explication reste encore un des mystères astrophysiques à ce jour.

Boîte d'informations sur la courbe de lumière 12 (LCIB_12): RR Lyr caractéristiques



LCIB_12. Figure 1 – Courbe de lumière de AR Her illustrant la modulation de la courbe de lumière pour ce type d'étoile RR Lyr

Cause de la variation:

- Pulsation radiale

Résumé des caractéristiques des étoiles de types RR Lyr par le VSX:

1. Amplitude: 0,2 à 2,0 mag en V
2. Forme: même forme en dents de scie que DCEP
3. Période: varie selon les sous-types (voir ci-dessous)

Pour aller plus loin :

- VSOTS RR Lyrae: http://www.aavso.org/vsots_rrlyr

**RR Lyr sont divisées en classes RRAB, RRC et RRD.*

Les **RRAB** sont des variables avec des courbes de lumière asymétriques, affichant des branches ascendantes raides. Elles ont des périodes de 0,3 à 1,2 jours et des amplitudes allant de 0,5 à 2 magnitudes dans le spectre V.

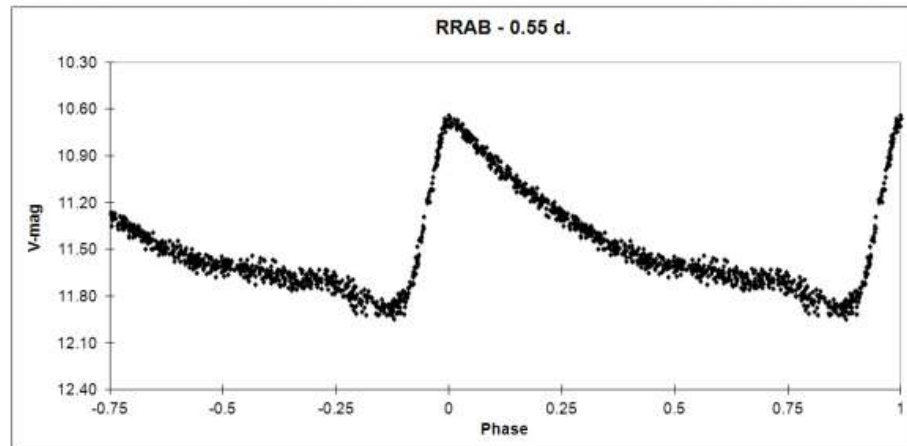
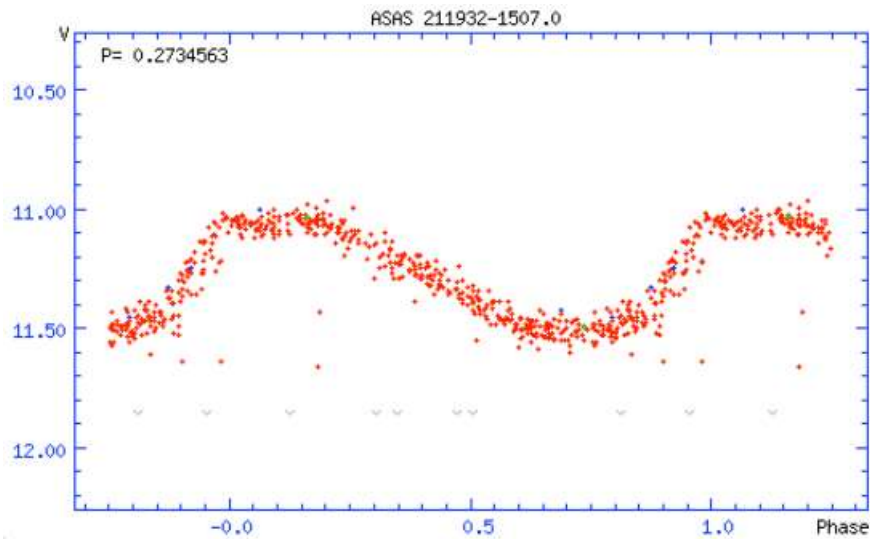


Figure 10. Une excellente courbe de lumière représentative d'une étoile RRAB

RRC sont des variables avec des courbes de lumière presque symétriques. Les périodes vont de 0,2 à 0,5 jours et des amplitudes de variation non supérieures à 0,8 grandeur dans V.



Courbe lumineuse de YZ Cap et étoile RRC

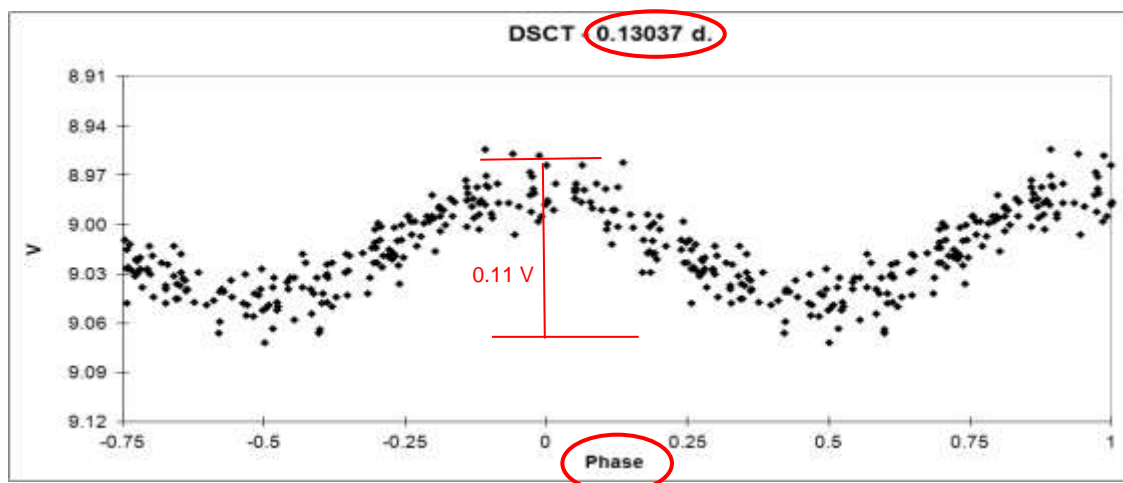
RRD sont des étoiles RR Lyrae «double mode» qui pulsent à la fois dans la fondamentale et la première harmonique, avec un rapport de période de 0,74 jour et une période fondamentale d'environ 0,5 jour. Celles-ci sont appelées RRB dans le GCVS.

Les étoiles Delta Scuti (DSCT) sont les variables pulsantes les plus nombreuses parmi toutes les étoiles brillantes. Le mécanisme de pulsation pour les DSCT est bien compris. Il est fondamentalement le même que pour les Céphéides. Elles sont des types spectraux de A à F, ont de courtes périodes allant de 0,01 à 0,2 jours et ont des amplitudes qui vont de 0,003 à 0,9 en V. Beaucoup de ces étoiles sont multipériodiques. FG Virginis, par exemple, palpite dans 79 modes différents! Compte tenu de leurs petites amplitudes, ceci rend la détermination de leurs périodes très difficiles.

Les changements de période peuvent être mesurés, ce qui en fait une classe intéressante d'objets à suivre par les observateurs de l'AAVSO.

Les étoiles DSCT avec des amplitudes supérieures à 0,2 magnitude sont appelées « High Amplitude Delta Scutis », ou HADS.

Boîte d'informations sur la courbe de lumière 13 (LCIB_13): DSCT caractéristiques



LCIB_13.Figure 1 - Une courbe de lumière Delta Scuti. Notez la période très courte.

Cause de la variation:

- Pulsation radiale et non radiale

Résumé des caractéristiques des étoiles de types DSCT par le VSX:

1. Amplitude: plage de 0,003 à 0,9 mag en V
2. Forme: les formes varient considérablement
3. Période: 0,01 à 0,2

Caractéristiques de la courbe de lumière montrée ci-dessus :

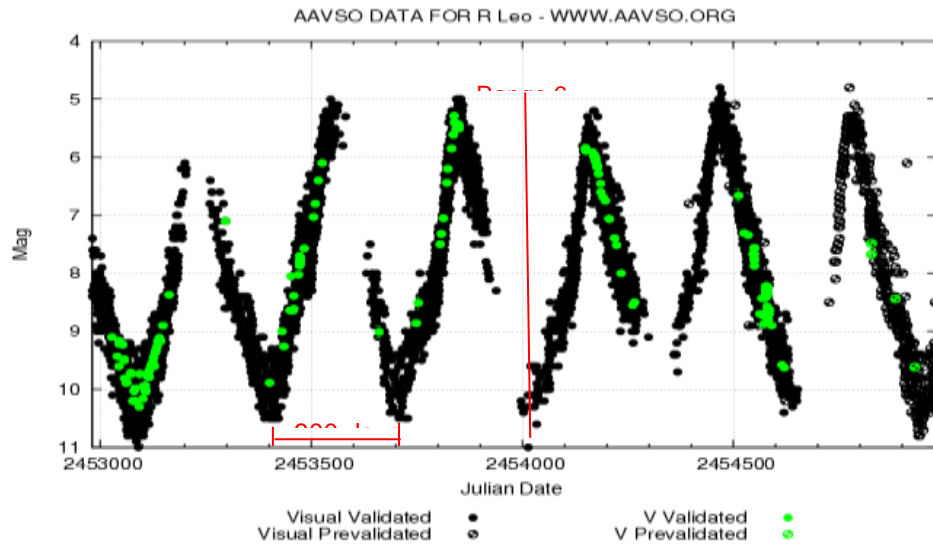
1. Amplitude: environ 0,11 V
2. Forme: à peu près sinusoïdale
3. Période: 0,13037 jours

Pour aller plus loin:

- VSOTS Delta Scuti: http://www.aavso.org/vsots_delsct

Les variables de type Mira (M), nommées d'après l'étoile Omicron Ceti (c-a-d Mira), sont des étoiles relativement stables avec des périodes de 100 à 1000 jours, la plupart étant dans la plage entre 150 à 450 jours. Les amplitudes en V peuvent aller de 2,5 à 10 de magnitudes. Avec de telles amplitudes, elles ont toujours été les étoiles les plus nombreuses et les mieux observées du programme AAVSO.

Boîte d'informations sur la courbe de lumière 14 (LCIB_14): Mira caractéristiques



LCIB_14. Figure 1 -1000 jours de courbe de lumière d'une Mira, R Leo

Cause de la variation:

- Pulsation radiale

Résumé des caractéristiques des étoiles de types Mira par le VSX:

1. Amplitude: plage de 2,5 à 11 mag en V
2. Forme: à peu près sinusoïdale
3. Période: 80 à 1000 jours

Caractéristiques de la courbe de lumière montrée ci-dessus :

1. Amplitude: environ 6 V
2. Forme: à peu près sinusoïdale
3. Période: environ 300 jours

Pour aller plus loin:

- VSOTS Mira 2: http://www.aavso.org/vsots_mira2
- VSOTS RU Virginis http://www.aavso.org/vsots_ruvir
- Miras avec des changements de période : <http://www.aavso.org/mira-variables-period-changes>

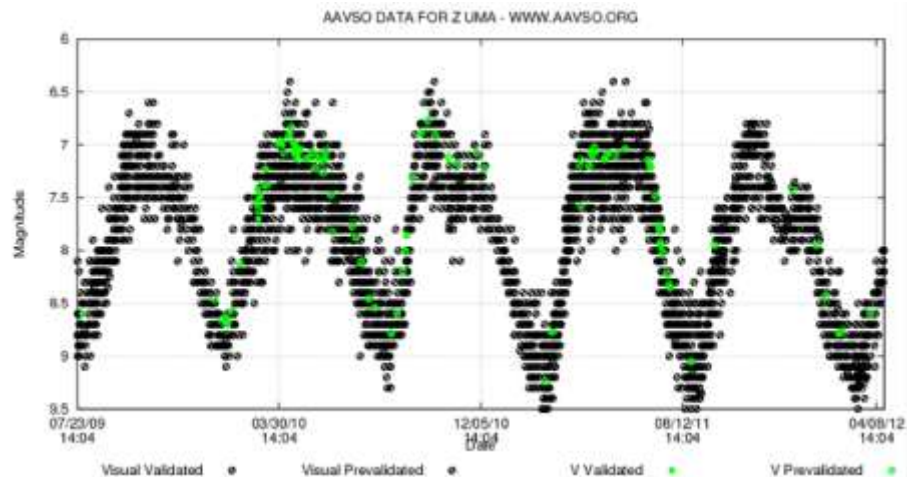
Il y a deux raisons pour expliquer les variations d'amplitudes visuelles extrêmes des Miras. Tout d'abord, plus l'étoile est faible, plus elle devient également plus froide et donc moins d'énergie est libérée dans le spectre visuel. Deuxièmement, et plus important encore, à mesure que l'étoile se refroidit, elle forme des molécules de TiO (oxydes de titane) qui sont extrêmement efficaces pour absorber la lumière dans la bande V.

Les Miras sont des étoiles très évoluées avec des masses allant de 0,6 masse solaire, à plusieurs fois la masse du Soleil. Leurs rayons peuvent être aussi plusieurs centaines de fois supérieures au Soleil : si elles étaient placées dans notre système solaire, leurs couches extérieures s'étendraient au-delà de l'orbite de la Terre. Elles constituent les plus grosses géantes rouges, les plus froides et les plus lumineuses.

* Les définitions suivantes sont tirées directement de la documentation des catalogues GCVS et VSX.

Les étoiles semi-régulières (SR) sont des géantes ou supergéantes de type spectral intermédiaire et présentant une périodicité notable dans leurs variations de lumière, accompagnées ou parfois interrompues par diverses irrégularités. Les périodes se situent entre 20 et 2000 jours, tandis que les formes des courbes de lumière sont assez différentes et variables, et les amplitudes peuvent être de plusieurs centièmes à plusieurs magnitudes (généralement 1-2 mag dans V). Elles sont subdivisées en 4 types : SRA, SRB, SRC et SRD.

Boîte d'informations sur la courbe de lumière 15 (LCIB_15): Semi-régulières (SR) caractéristiques



LCIB_15.Figure 1 - 1000 jours de courbes de lumière de Z UMa

Cause de la variation:

Pulsation radiale et non-radiale

Résumé des caractéristiques des étoiles de types SR par le VSX:

1. Amplitude: plage de plusieurs centièmes à plusieurs unités de magnitudes (généralement 1-2 mag en V).
2. Forme: différente et variable
3. Période: 20 à > 2000 jours

Caractéristiques de la courbe de lumière montrée ci-dessus:

1. Amplitude: plage d'environ 2 V
2. Forme: à peu près sinusoïdale
3. Période: environ 200 jours

Pour aller plus loin:

- VSOTS W Hya: http://www.aavso.org/vsots_why
- VSOTS V725 Sagittarii: http://www.aavso.org/vsots_v725sgr

(SRA) Les géantes semi-régulières de type tardif* (M, C, S ou Me, Ce, Se) affichent une périodicité persistante et des amplitudes lumineuses généralement faibles (<2,5 mag en V) (Z Aqr). Les amplitudes et les formes des courbes de lumière varient généralement et les périodes sont de l'ordre de 35 à 1200 jours. Beaucoup de ces étoiles ne diffèrent des Miras que par des amplitudes lumineuses plus petites.

(SRB) Les géantes semi-régulières de type tardif* (M, C, S ou Me, Ce, Se) avec une périodicité mal définie (cycles moyens dans la gamme de 20 à 2300 jours) ou avec des intervalles alternés de changements irréguliers périodiques et lents, et même avec des intervalles de constance lumineuse (RR CrB, AF Cyg). Chaque étoile de ce type peut généralement se voir attribuer une certaine période moyenne (cycle), qui est la valeur indiquée dans le catalogue. Dans un certain nombre de cas, la présence simultanée de deux ou plusieurs périodes de variation lumineuse est observée.

(SRC) Supergéantes de type tardif* semi-régulières (M, C, S ou Me, Ce, Se) (Mu Cep) avec amplitudes d'environ 1 mag. et des périodes de variation de lumière de 30 jours à plusieurs milliers de jours.

(SRD) Géantes variables semi-régulières et supergéantes de types spectraux F, G ou K, parfois avec des raies d'émission dans leur spectre. Les amplitudes de variation de la lumière sont comprises entre 0,1 et 4 mags, et la plage de périodes est de 30 à 1100 jours (SX Her, SV UMa).

(*Une étoile de type tardif (calque de l'anglais late-type star) est une étoile de type spectral K, M, S ou C, dont la température de surface est inférieure à celle du Soleil)

Les variables éruptives

Les variables éruptives sont un groupe d'objets peu homogène. Il n'y a pas de mécanisme unique pour leur variabilité. Les raisons de leur comportement peuvent être uniques, sans rapport avec les autres variables éruptives, ou dans certains cas mal définies ou mal comprises. En fait, beaucoup d'étoiles étiquetées comme irrégulières dans le GCVS peuvent en fait être assignées à d'autres classes d'étoiles une fois qu'elles sont mieux comprises.

Les jeunes objets stellaires (YSO)

Les étoiles sont nées du gaz d'un nuage moléculaire géant dans le milieu interstellaire se contractant dans une protoétoile. Au cours de cette phase de séquence pré-principale de leur évolution, la variabilité peut se produire en raison d'instabilité dans leur disque d'accrétion. Le type d'étoile YSO peut être utilisé comme un terme général pour décrire toutes ces étoiles de séquence pré-principales, ou il peut se référer à une étoile de séquence pré-principale de type inconnu.

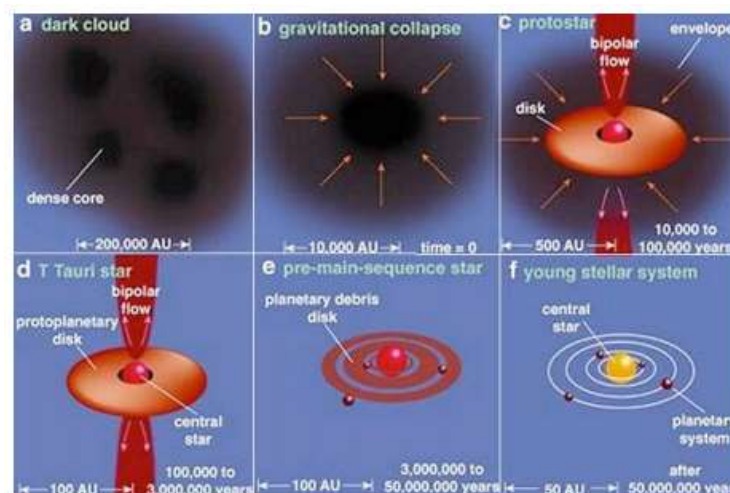


Figure 12. Modèle de naissance stellaire et planétaire

Les étoiles de type T Tauri (TTS) sont des étoiles très jeunes et légères, de moins de 10 millions d'années et de moins que 3 masses solaires. Une étoile T Tauri subit toujours une contraction gravitationnelle pendant une phase de son évolution entre être une étoile protostar et une étoile de séquence principale de faible masse comme le Soleil.

Les étoiles de type T Tauri ne sont trouvées que dans des nébuleuses ou des grappes très jeunes et ont des spectres à basse température (type G à M) avec des lignes d'émission fortes et de larges lignes d'absorption.

Elles ont souvent un grand disque d'accrétion laissé par la formation stellaire. Leurs changements de luminosité irréguliers peuvent être dus à des instabilités du disque, à une activité violente dans l'atmosphère stellaire ou à des éclipses de nuages de gaz et de poussière à proximité qui bloquent parfois leur lumière.

Deux grands types de T Tauri sont reconnus : les étoiles T Tauri classiques (CTTS) et les étoiles T Tauri à lignes faibles (WTTS). Les étoiles classiques de T Tauri ont un grand disque qui produit de fortes raies d'émission. Les étoiles T Tauri aux lignes faibles sont entourées soit d'un disque très faible, soit d'aucun disque.

Les faibles étoiles T Tauri sont d'un intérêt particulier, car elles fournissent aux astronomes un aperçu des premiers stades de l'évolution stellaire non encombrée par des matériaux nébuleux. Une partie du disque manquant a peut-être été utilisée pour fabriquer des planétésimaux, à partir desquels des planètes pourraient éventuellement se former.

Selon une estimation, environ 60% des étoiles T Tauri plus jeunes que 3 millions d'années peuvent posséder des disques de poussière, contre seulement 10% des étoiles qui ont 10 millions d'années.

Lecture recommandée:

VSOTS - Le trapèze, BM Orionis et les jeunes objets stellaires

[Http://www.aavso.org/vsots_bmori](http://www.aavso.org/vsots_bmori)

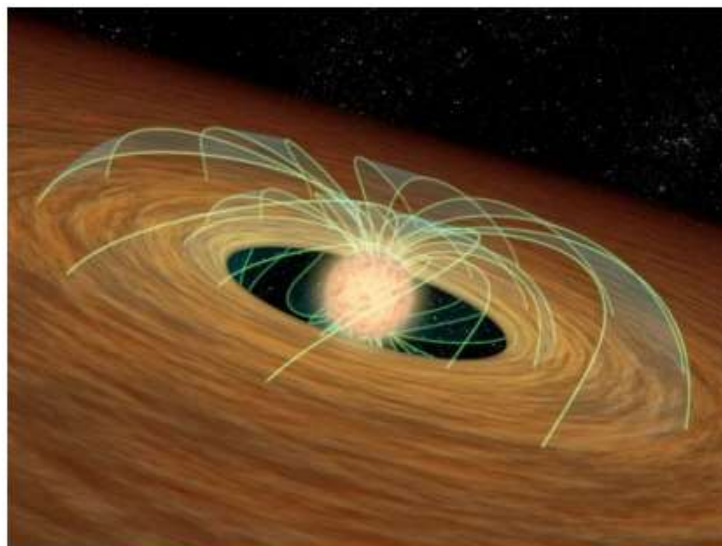
VSOTS T Tauri

[Http://www.aavso.org/vsots_ttau](http://www.aavso.org/vsots_ttau)

Le quoi et le pourquoi des YSOs!

[Http://www.starman.co.uk/ysosection/whatandwhy.php](http://www.starman.co.uk/ysosection/whatandwhy.php)

[Http://www.starman.co.uk/ysosection/whatandwhy2.php](http://www.starman.co.uk/ysosection/whatandwhy2.php)



Le concept de cet artiste montre un jeune objet stellaire et le disque tourbillonnant d'accrétion l'entourant.

Source : NASA / JPL-Caltech

Les variables FU Orionis (FUOR) sont des **YSO** comme les étoiles T Tauri. Elles sont les étoiles ayant la plus grande amplitude de variation dans ce groupe « d'enfants stellaires ». Elles se caractérisent par une augmentation progressive de la luminosité de 4-6 magnitudes. Elles peuvent alors se stabiliser à la luminosité maximale pendant des années ou accuser une lente baisse d'intensité.

Le prototype, **FU Ori**, a atteint la renommée en 1937 quand cet objet obscur, qui avait alors une magnitude de 16.5, a soudainement augmenté jusqu'à une magnitude de 9.6 et y est resté stable depuis. Elle a réalisé un record de 6 magnitudes dans une période de moins d'une année (100 à 200 jours). Une nébuleuse de réflexion similaire accompagne aussi tous les FUOR connus.

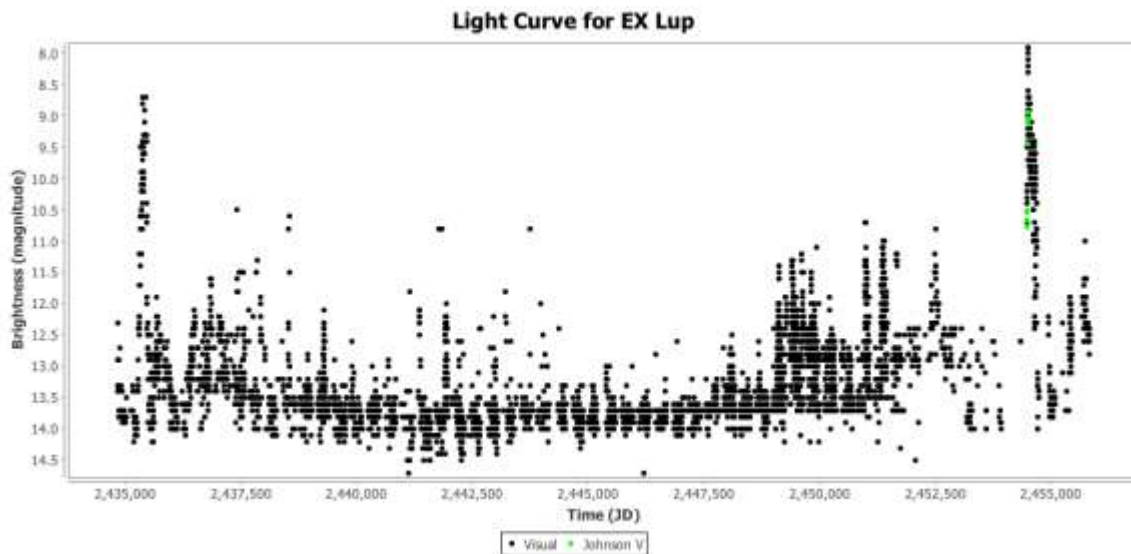
Lecture recommandée:

VSOTS- FU Orionis : [Http://www.aavso.org/vsots_fuori](http://www.aavso.org/vsots_fuori)

Le Fureur sur les FUors: [Http://simostronomy.blogspot.com/2010/11/furor-over-fuors.html](http://simostronomy.blogspot.com/2010/11/furor-over-fuors.html)

Le groupe des EXors (EXOR), nommé d'après **EX Lupi**, sont des étoiles éruptives de T Tauri montrant des épisodes d'éclaircissement de quelques magnitudes sur des échelles de temps de plusieurs mois ou plus. Ces explosions sont moins lumineuses que les explosions FUOR et peuvent se répéter, au lieu d'être un seul épisode d'éclaircissement. La phase EXor semble suivre la phase FUor plutôt que d'être simplement une autre manifestation de l'évolution de T Tau. (Exemple : PV CEP)

Boîte d'informations sur la courbe de lumière 16 (LCIB_16): EXOR caractéristiques



LCIB_16.Figure 1 - Courbe de lumière historique AAVSO de l'EX Lupi

Cause de la variation:

- Jeunes étoiles avec des instabilités dans leurs disques d'accrétion

Résumé des caractéristiques des étoiles de types EXOR par le VSX:

- Amplitude: plusieurs magnitudes sur des mois ou des années
- Forme: répétition des explosions
- Période: n / a

Caractéristiques de la courbe de lumière montrée ci-dessus:

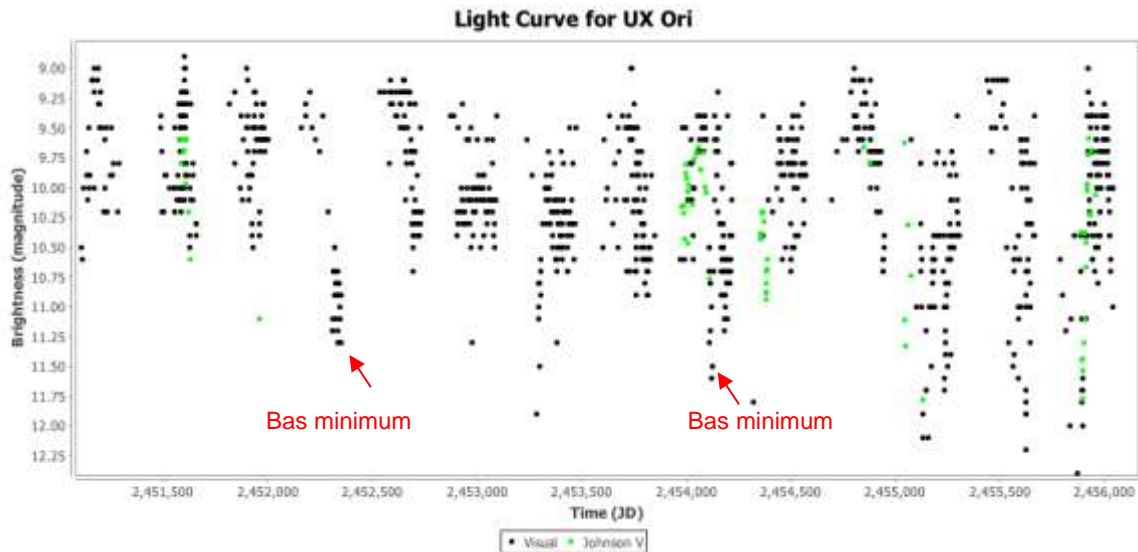
- Amplitude: plusieurs magnitudes
- Forme: éclats multiples
- Période: n / a

Pour aller plus loin:

- AAVSO observing section: <https://www.aavso.org/aavso-young-stellar-objects-section>

Le groupe des UXor (UXOR) est un sous-ensemble d'étoiles très variables **Herbig-Ae**, des étoiles pré-séquence principale de masse intermédiaire, nommées d'après l'objet prototype **UX Orionis**. La nature des **UXORs** fait présentement l'objet d'un débat. Mais l'une des théories prévalentes stipule qu'elles sont de jeunes systèmes vus à travers leur environnement circumstellaire qui obscurcit parfois l'étoile centrale. Leurs courbes lumineuses sont caractérisées par des variations irrégulières sur des échelles de temps de jours, et indiquent parfois des changements sur des échelles de temps plus longues, et des épisodes irréguliers de minima profonds.

Boîte d'informations sur la courbe de lumière 17 (LCIB_17): UXOR caractéristiques



LCIB_17.Figure 1 - Courbe de lumière AAVSO de UX Orionis

Cause de la variation:

- Jeunes étoiles avec de l'instabilité dans leur disque d'accrétion

Résumé des caractéristiques des étoiles de types UXOR par le VSX:

1. Amplitude: plage de luminosité à peine détectable jusqu'à plus de 4 mag en V
2. Forme: variation irrégulière sur l'échelle des jours avec des épisodes occasionnels de minima profonds
3. Période: n / a (irrégulier)

Caractéristiques de la courbe de lumière montrée ci-dessus:

1. Amplitude: plage globale d'environ 3 V
2. Forme: variation irrégulière avec des minima profonds occasionnels
3. Période: n / a

Pour aller plus loin:

- Section Observateurs de l'AAVSO : <https://www.aavso.org/aavso-young-stellar-objects-section>

Les étoiles de type UV, comme l'étoile **UV CET** affiche des éclairs lumineux, jusqu'à plusieurs grandeurs de magnitudes, qui se produisent en quelques secondes et s'apaisent en quelques secondes ou minutes. Ses changements de luminosité peuvent être en effet très importants : en 1952 celle-ci augmenta de 75 fois en seulement 20 secondes. Ces étoiles sont des naines rouges de type spectral K Ve à M Ve.

L'amplitude est considérablement plus grande dans la région spectrale ultraviolette. La lumière maximale est atteinte en quelques secondes ou dizaines de secondes, comme après le début d'une fusée éclairante. L'étoile revient ensuite à sa luminosité normale en quelques minutes ou plusieurs dizaines de minutes. (Référence : AAVSO/vsx)

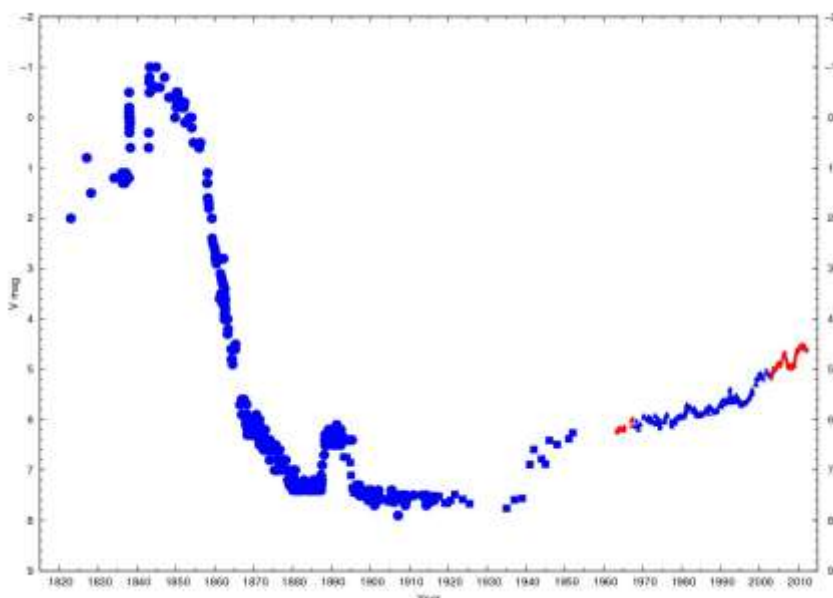
Les étoiles de type Gamma Cas (GCAS) des variables irrégulières à rotation rapide de type spectral O, B ou A, avec sortie de masse de leurs zones équatoriales. Augmentation ou diminution de luminosité temporaire, pouvant atteindre 1,5 magnitude, accompagne la formation d'anneaux ou de disques équatoriaux.

Voir VSOTS: Gamma Cassiopeia et les Be Stars

[Http://www.aavso.org/vsots_gammacas](http://www.aavso.org/vsots_gammacas)

Les étoiles de type S Doradus (S DOR) sont également connues sous le nom de « **Luminous Blue Variables** » (**LBV**). Ce sont des étoiles extrêmement lumineuses dont les variations se produisent sur des échelles de temps allant de quelques jours à plusieurs décennies. **S Doradus** est l'étoile la plus lumineuse des Nuages de Magellan. Les membres les plus brillantes de notre galaxie comprennent **P Cygni** et **Eta Carinae**. Bien que rares, parce qu'elles sont si lumineuses, elles peuvent être vues à de grandes distances, ce qui les rend intéressants et utiles aux astronomes.

Boîte d'informations sur la courbe de lumière 18 (LCIB_18): SDOR caractéristiques



LCIB_18. Figure 1 - Cette courbe de lumière représente la luminosité visuelle apparente de l'Eta Car depuis 1822 à jour.

Elle est basée sur les références données par Fernández-Lajús et al. (2009, A & A, 493, 1093) et les présentes observations. Elle contient des estimations visuelles (grands cercles), photographiques (carrés), photoélectriques (triangles) et CCD (petits cercles) par différents filtres visuels et systèmes photométriques. Toutes les observations ont été adaptées pour la cohérence de l'ensemble des données. Les points rouges sont des observations de La Plata (Feinstein 1967; FernándezLajús et coll. 2009a, 2009b, 2010). Les nouvelles données CCD obtenues par RXTE Star Tracker ont été tracées pour compléter l'écart dans la courbe de lumière avant 2003 (Craig Markwardt & Mike Corcoran, communication privée, 2009).

Cause de la variation:

- La plupart des étoiles au-dessus de 40 à 50 masses solaires passeront éventuellement par une phase d'instabilité « Luminous Blue Variable » (LBV). Au fur et à mesure que l'étoile perd sa masse, elle évolue lentement de supergéante bleue à une étoile de Wolf-Rayet, considérée comme l'un des derniers stades de l'évolution stellaire.

Résumé des caractéristiques des étoiles de types UXOR par le VSX:

1. Amplitude : plage de 1 à 7 mag en V
2. Forme: irrégulière
3. Période: n / a

Caractéristiques de la courbe de lumière montrée ci-dessus

1. 1. Amplitude : la plage est d'environ 9 mag en V
2. 2. Forme: irrégulière
3. 3. Période: n / a

Pour aller plus loin:

- VSTOTS- Eta Carinae: http://www.aavso.org/vsots_etacar
- Eta Carinae, A Naked Eye Enigma: <http://simostronomy.blogspot.com/2009/12/eta-carinae-naked-eye-enigma.html>

Les étoiles R Corona Borealis (R CRB- RCB) sont différentes de toutes les autres classes de variables, et bien qu'elles soient généralement incluses dans la catégorie des variables éruptives, elles méritent probablement leur propre classement.

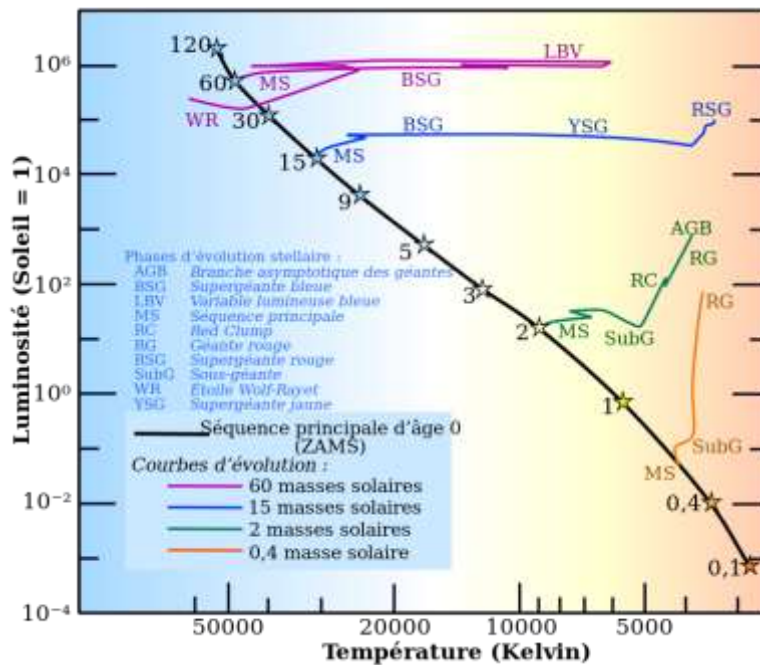
Les RCB sont un petit groupe de supergéantes, pauvres en hydrogène et riches en carbone dont la luminosité diminue de façon imprévisible et rapide jusqu'à 9 magnitudes, et restent à ou près de la lumière minimale pendant plusieurs semaines ou mois, voire des années dans certains cas. Il est généralement admis que les déclinis sont le résultat de la formation d'un nuage de suie de carbone qui obscurcit la photosphère stellaire, et que cette condensation a lieu dans la matière qui a été éjectée de la surface stellaire vers l'observateur.

Certains RCB présentent des variations plus ou moins régulières pouvant être interprétées comme des pulsations. Les amplitudes de ces changements sont faibles, de l'ordre de quelques dixièmes de grandeur et ont des périodes d'environ 30 à 150 jours. Cette pulsation semble n'avoir aucun rapport avec les événements obscurcissant et on l'a même vu se poursuivre à travers des épisodes de perte de luminosité dans plusieurs cas.

Les RCB sont intrigantes, car elles défont nos modèles de structure et d'évolution stellaires. Au début, on pensait qu'elles étaient des étoiles post-AGB (*Asymptotic Giant Branch*) très évoluées, mais la plupart des scénarios ne parviennent pas à expliquer l'abondance d'hydrogène ou à retracer leur évolution jusqu'à l'AGB.

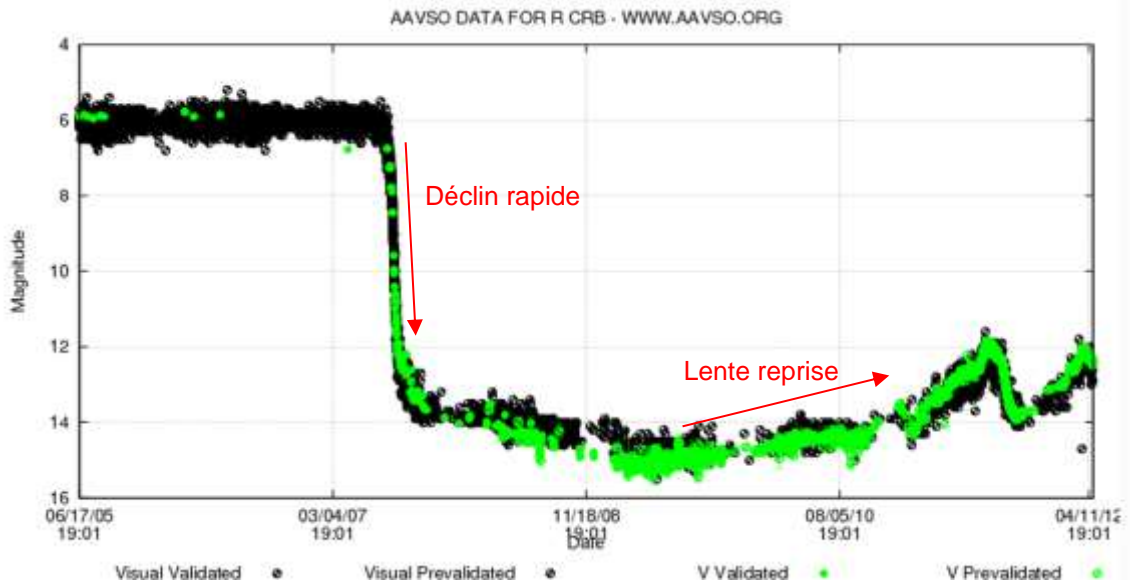
Deux idées plus récentes suggèrent que :

- 1) celles-ci peuvent être des nébuleuses planétaires «nées de nouveau», créées lorsque la dernière impulsion thermique est retardée au point qu'elle se produit lorsque l'étoile atteint la phase naine blanche. Si l'impulsion est suffisamment intense, elle peut rallumer une coquille brûlant de l'hélium et agrandir l'étoile à des dimensions géantes, la déplaçant vers l'AGB pour la deuxième fois,
- 2) ou RCB peut être le résultat de la fusion de deux naines blanches, une dite hélium et l'autre dite CO (Carbone et Oxygène). La théorie de la fusion explique en grande partie la composition chimique exotique de ces étoiles.



https://fr.wikipedia.org/wiki/Branche_asymptotique_des_géantes

Boîte d'informations sur la courbe de lumière 19 (LCIB_19): RCB caractéristiques



LCIB_19.Figure 1 - La courbe de lumière AAVSO 2500 jours de R CrB

Cause de la variation:

- Les déclin sont le résultat de la formation d'un nuage de suie de carbone qui obscurcit la photosphère stellaire

Résumé des caractéristiques des étoiles de types RCB par le VSX:

1. Amplitude: atténuation 1-9 mag en V
2. Forme: déclin rapide suivi d'une lente reprise
3. Période: n / a

Caractéristiques de la courbe de lumière montrée ci-dessus

1. Amplitude: baisse d'environ 9 mag V
2. Forme: déclin rapide suivi d'une lente reprise
3. Période: n / a

Pour aller plus loin

- VSOTS R Corona Borealis: http://www.aavso.org/vsots_rcrb
- Nord R Cor Bors : Le bon, l'ennuyeux et l'inconnu: <http://simostronomy.blogspot.com/2011/10/northern-r-cor-bors-good-boring-and.html>

Chapitre IV

Les variables cataclysmiques (CV)

Les CV sont des systèmes binaires rapprochés semi-détachés dans lesquels une naine blanche (WD) accrète du matériel provenant d'un compagnon secondaire remplissant son lobe de Roche. Dans la plupart des CV connus, le secondaire est (presque toujours) une étoile de séquence principale, et le transfert de masse du secondaire à la naine blanche se fait via un disque d'accrétion. Les périodes orbitales des CV sont généralement comprises entre 75 min et 6 heures, bien qu'il existe des systèmes exceptionnels - généralement avec des étoiles donneuses évoluées ou compactes - avec des périodes en dehors de cette plage.

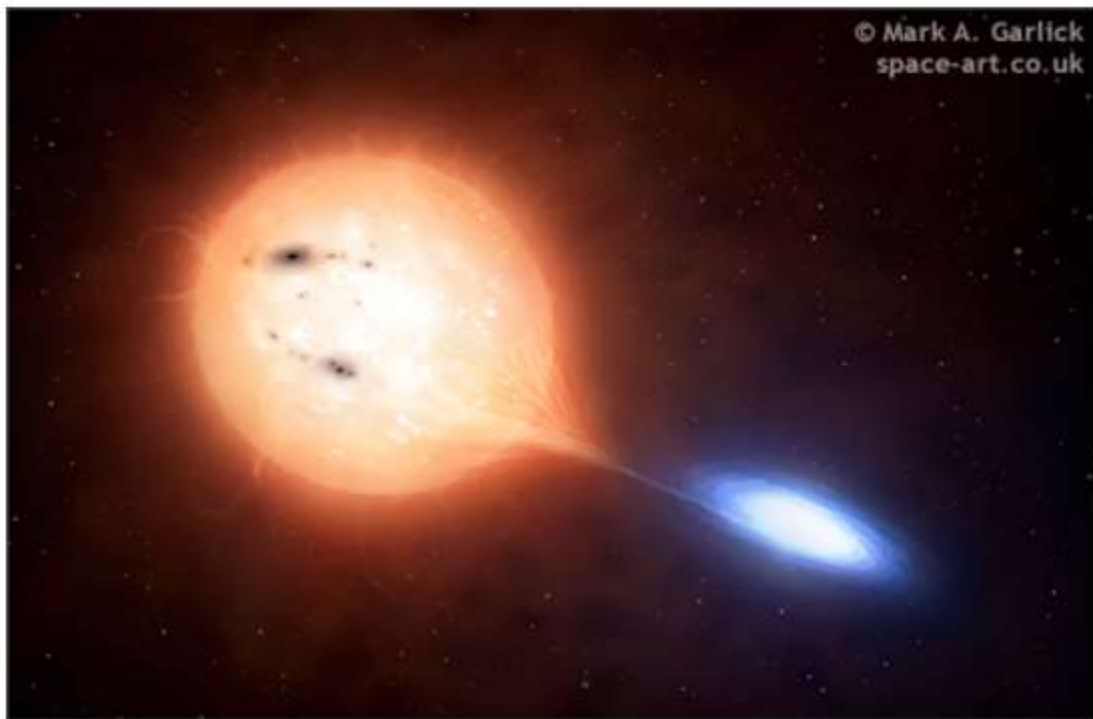
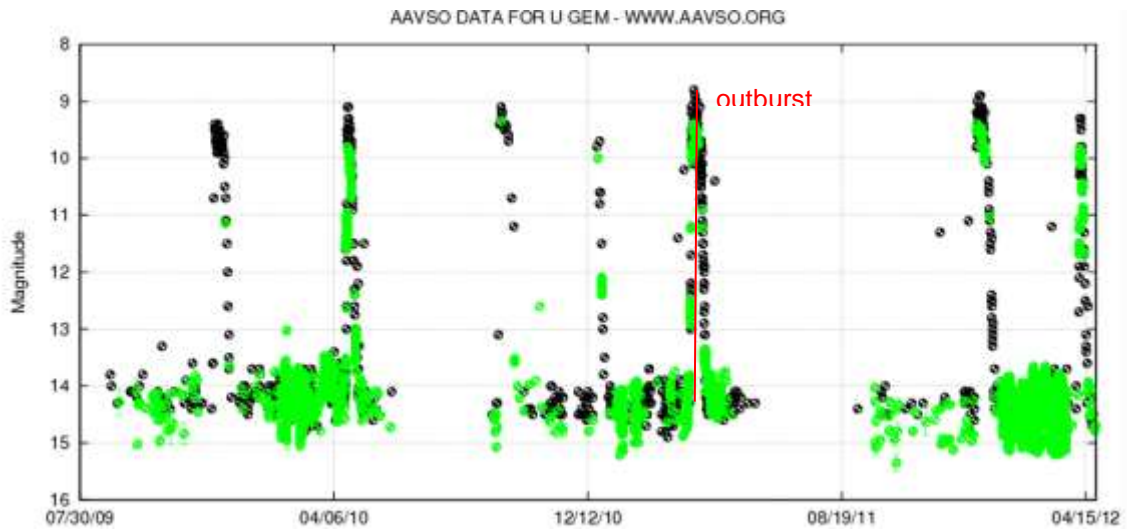


Figure 14. Une variable cataclysmique typique, consistant en une naine rouge secondaire qui a rempli son lobe de Roche et qui perd de la matière par l'intermédiaire d'un disque d'accrétion, au profit d'une naine blanche primaire

Novae naine (DNe) ou étoiles variables de type U Geminorum (UG)

Les étoiles variables (UG), sont des variables cataclysmiques consistant en un système d'étoiles binaires proches dans lequel l'un des composants est une naine blanche, qui accumule la matière de son compagnon. Ils sont similaires aux novae classiques en ce que la naine blanche est impliquée dans des explosions périodiques, mais les mécanismes sont différents. La théorie actuelle suggère que les novae naines résultent de l'instabilité du disque d'accrétion, lorsque le gaz dans le disque atteint une température critique qui provoque un changement de viscosité, entraînant un effondrement sur la naine blanche qui libère de grandes quantités d'énergie potentielle gravitationnelle.

Boîte d'informations sur la courbe de lumière 20 (LCIB_20): UG caractéristiques



LCIB_20. Figure 1 - Courbe de lumière de 1000 jours de U Gem

Cause de la variation:

- Transfert de masse d'une étoile à sa compagne naine blanche

Les variables UG peuvent être subdivisées en trois types:

	UGSS	UGSU	UGZ
1. Amplitude	2-6 mag en V	Explosions (outbursts) normales : 2-6 V Super explosions : 4-8 V	2-5 V
2. Forme	Explosions (outbursts) qui durent 1-2 jours	Explosions normales et «super» (celles-ci durant plus longtemps et se produisant moins fréquemment)	Exposition aux arrêts; débordements cycle entre min et max
3. Période	De quelques jours ou années entre chaque explosion	n/a	cycles rapides de 10-40 jours

Caractéristiques de la courbe de lumière montrée ci-dessus:

Voir les exemples ci-dessous

Pour aller plus loin :

Animation d'une variable cataclysmique: <https://www.youtube.com/watch?v=774B8-9B4Ow>

Voir le document de cours "Looking At_Light_Curves" pour plus d'informations sur la façon dont l'échelle joue un facteur dans le traçage des courbes de lumière.

Il existe trois sous-types de **U Geminorum star (UG)**, basées principalement sur leurs courbes de lumière: UGSS, UGSU et UGZ.

Étoiles de type SS Cyg (UGSS), qui augmentent de luminosité de 2-6 mag en filtre V en 1-2 jours, pour revenir à leur luminosité d'origine, quelques jours suivants. Les temps de cycle entre les supermaxima vont de quelques jours à quelques années. Les périodes orbitales sont généralement plus longues que 3 heures.

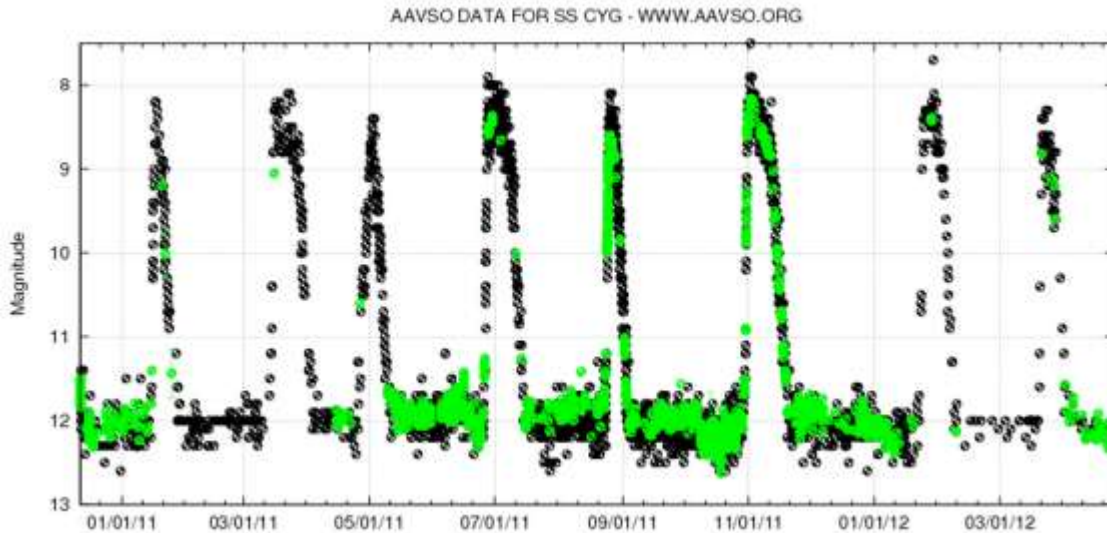


Figure 15. Courbe de lumière 500 jours de SS Cygni. Notez les deux types distincts de débordements.

Étoiles de type SU Ursae Majoris (UGSU), qui ont des explosions (outbursts) plus brillantes et longues. Les temps de cycle des supermaximas (outburst) correspondent généralement à plusieurs fois la durée entre les éclats normaux. Les périodes orbitales sont habituellement inférieures à 2 heures.

Lors d'une super explosion (superoutburst), une UGSU montre une modulation supplémentaire de la courbe de lumière, le "supermaxima ou "outburst" qui est provoquée par la précession du disque d'accrétion. Les surcharges apparaissent dans la courbe de lumière sous forme de modulation avec une période légèrement plus longue (quelques %) que la période orbitale.

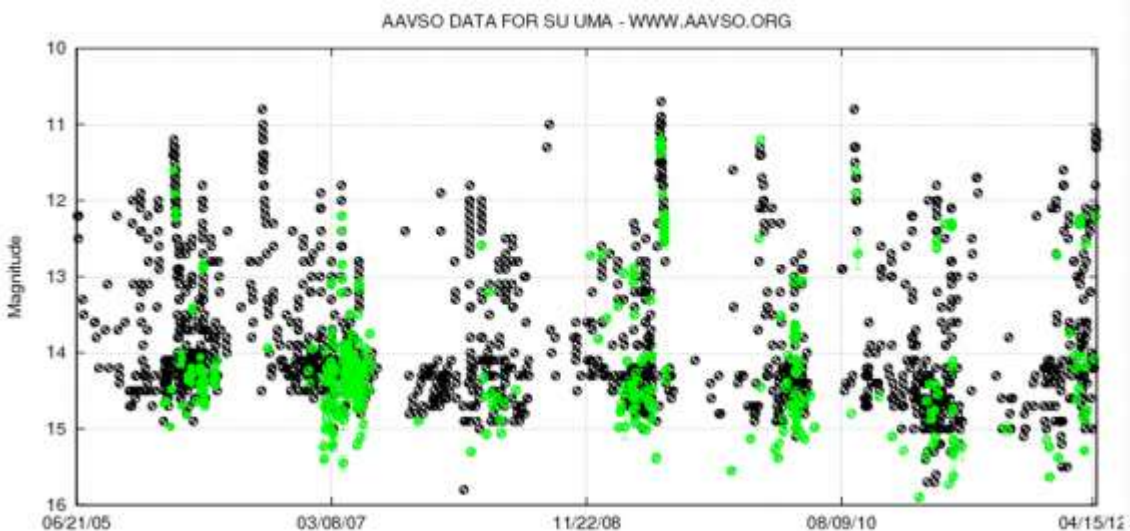


Figure 16. Courbe de lumière de 2500 jours - SU UMA montrant des normales et des "supermaxima" (superoutbursts) - AAVSO.

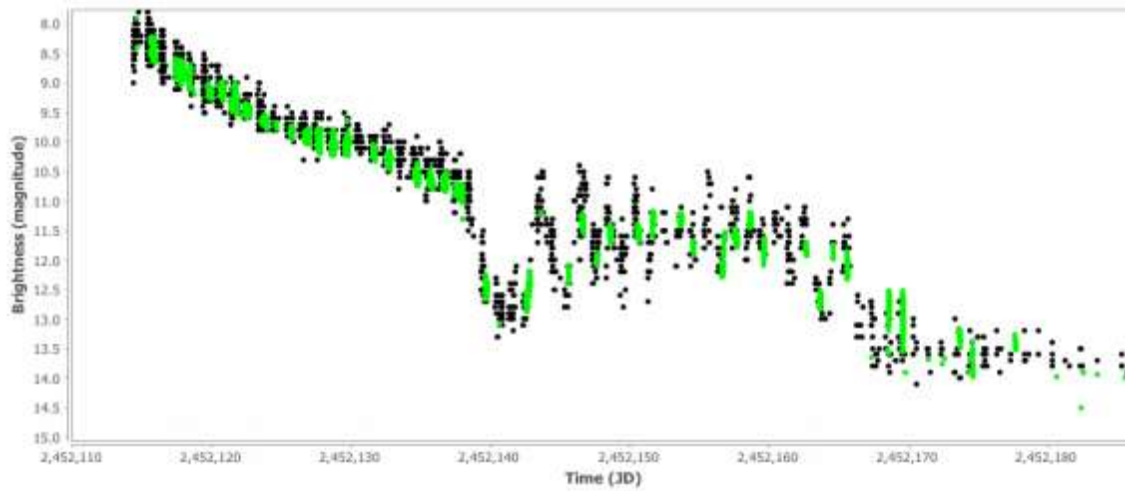
Pour aller plus loin, lecture suggérée:

VSOTS SU Ursae Majoris: http://www.aavso.org/vsots_suuma

Les UGSU ont aussi deux sous-classes reconnues.

Les étoiles de type WZ Sagittae (UGWZ) sont des UGSU avec une période ultra-courte (généralement 90 minutes ou moins) qui ne présentent que des grosses explosions et le temps de cycle entre les explosions varie de quelques années à des décennies. La luminosité des explosions peuvent rivaliser avec celles des **novæ** (6-9 magnitudes). Plusieurs UGWZ montrent également des réverbérations ou des «éclats d'écho» pendant qu'elles baissent d'intensité.

Courbe de lumière de WZ Sge



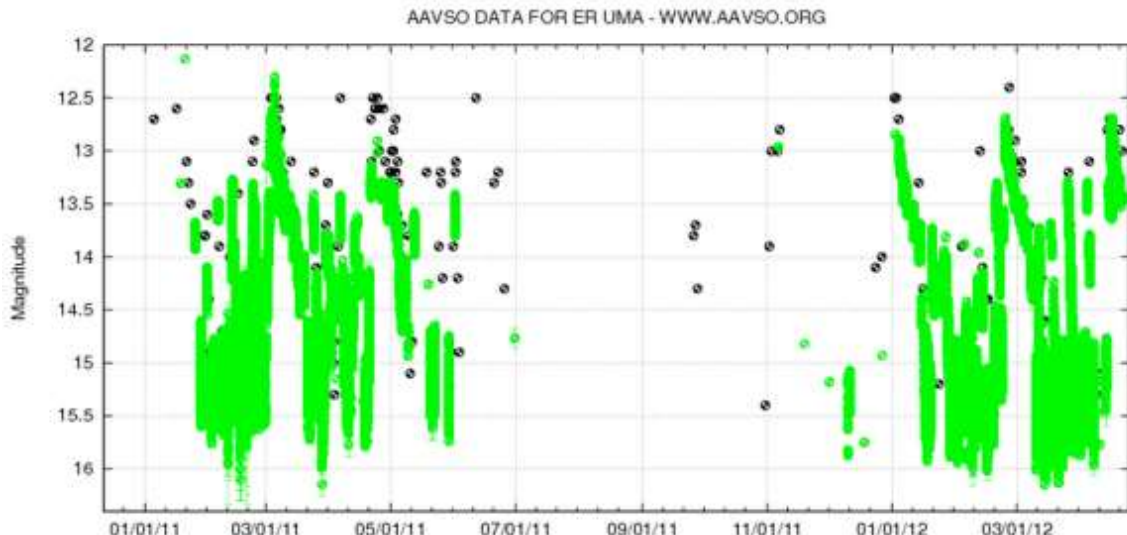
Déclenchement de 2001 de WZ Sge et éboulements subséquents d'écho

Aller plus loin, lecture suggérée:

VSOTS WZ Sagittae

[Http://www.aavso.org/vsots_wzsge](http://www.aavso.org/vsots_wzsge)

Les étoiles de type ER Ursae Majoris (UGER) sont des novæ **naines** (dwarf nova) dont les intervalles entre les supermaximums (outburst) sont exceptionnellement courts (seulement 20 à 50 jours). Les étoiles ER UMA passent généralement du tiers à la moitié de leur temps en supermaximas. Lorsqu'elles ne sont pas en super-éclat, ces étoiles montrent de fréquents éclatements normaux – un à tous les quelques jours. (On les réfère parfois à l'étoile RZ LMi)



Courbe de lumière 500 jours de ER UMa montrant de fréquents éclats normaux et plusieurs super-éclats

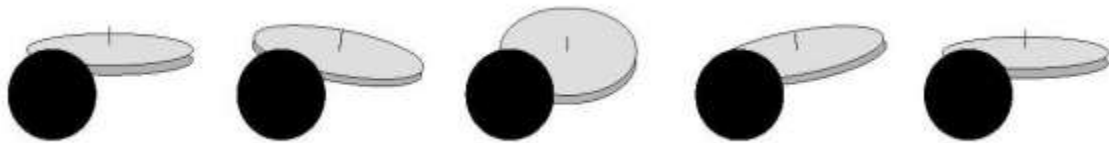
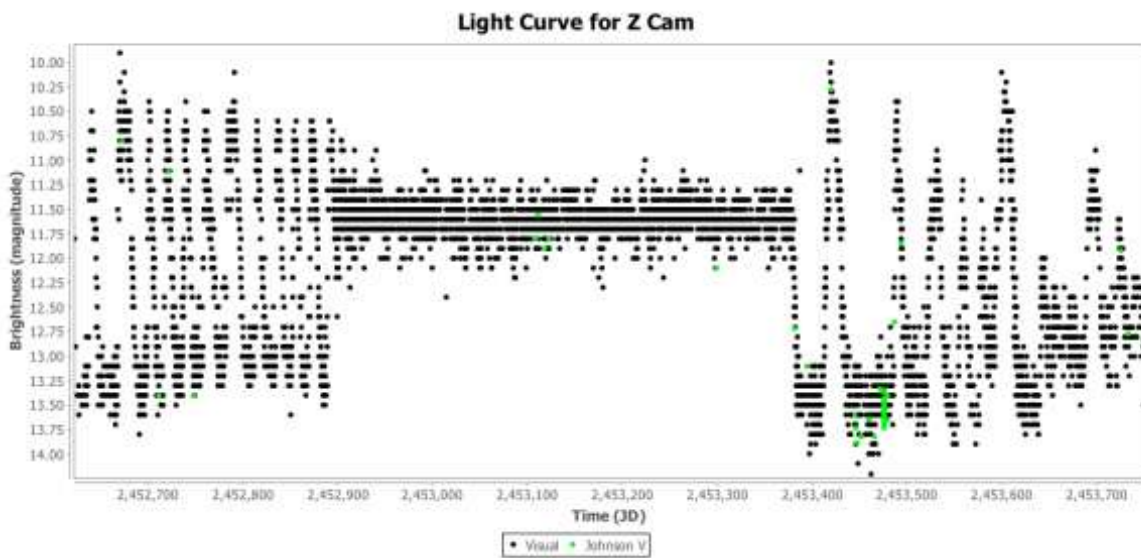


Figure 19. Illustration d'un disque incliné à la même phase orbitale tandis que l'inclinaison du disque change lentement parce qu'il précesse

[Les étoiles Z Camelopardalis \(UGZ\)](#) sont des DNe qui présentent des explosions normales de type U Gem (une augmentation de la quiescence (phase de repos) de 2 à 6 magnitudes et des durées de 1 à 3 jours), ainsi que des arrêts aléatoires. Un arrêt des explosions commence généralement à la fin d'une explosion et se compose d'une période de luminosité constante, de 1 à 1,5 de magnitude en dessous de la lumière maximale, qui peut durer de quelques jours à 1 000 jours. On pense que des arrêts surviennent lorsque le taux de transfert de masse de l'étoile secondaire dans le disque d'accrétion autour de l'étoile primaire est trop important pour produire des explosions normales.



Un arrêt dans la courbe de lumière du prototype de Z CAM.

Pour aller plus loin, lecture suggérée:

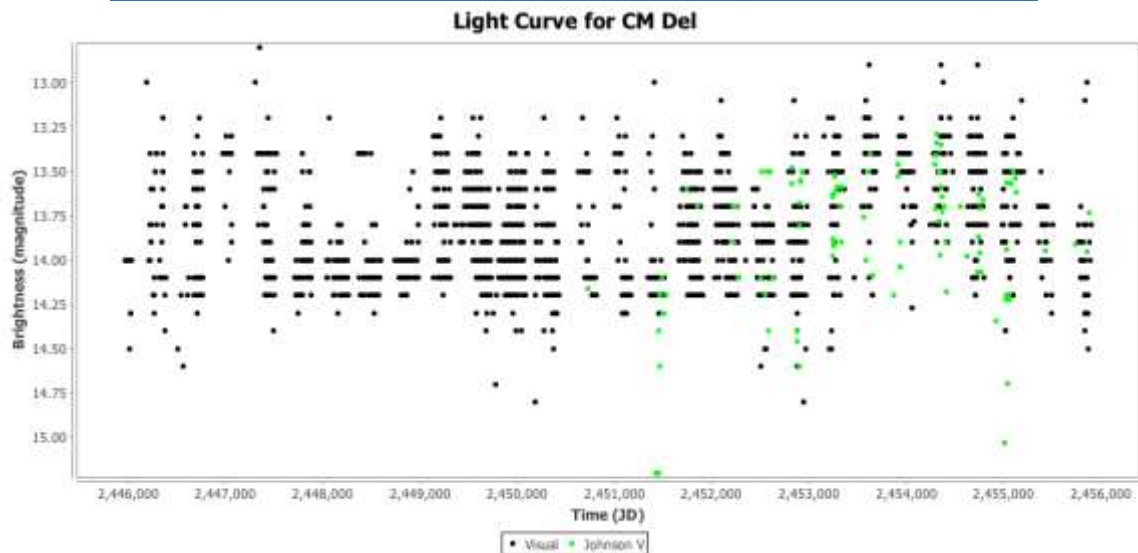
Pourquoi observer les étoiles Z Cam? : <https://sites.google.com/site/thezcamlist/why-observe-z-cam-stars>

VSOTS RX Andromedae : http://www.aavso.org/vsots_rxand

<https://www.youtube.com/watch?v=UnOoaTHPwLI>

Les variables Nova-like (NL) (variables semblables à des novae) sont celles qui ont un taux de transfert de masse tellement élevé qu'elles sont essentiellement bloquées en continu dans leur état d'explosion. Leurs courbes de lumière sont fondamentalement plates, montrant des fluctuations de l'ordre d'une grandeur au plus.

Boîte d'informations sur la courbe de lumière 21 (LCIB 21): NL caractéristiques



LCIB_21.Figure 1 - Courbe de lumière de CM Del, une variable de type nova-like montrant une activité limitée à environ 1 magnitude dans le spectre V.

Cause de la variation:

- Variables cataclysmiques où le transfert de masse est supérieur à une certaine limite et leur disque d'accrétion est stable et les explosions sont supprimées. Appelés «nova-like», car aucune éruption n'a été observée, mais leur courbe de lumière et leur spectroscopie ressemblent à celles d'autres novæ au niveau ou près de leur minimum

Résumé des caractéristiques des étoiles de types NL par le VSX:

1. Amplitude: plage <1 mag V
2. 2. Forme: essentiellement plate
3. 3. Période: n / a

Caractéristiques de la courbe de lumière montrée ci-dessus:

1. 1. Amplitude: plage d'environ 14,25 à 13,25 = environ 1 V
2. 2. Forme: essentiellement plate
3. 3. Période: n / a

Pour aller plus loin :

- VSOTS UX Ursae Majoris: http://www.aavso.org/vsots_uxuma
- VSOTS Dwarf Novae: http://www.aavso.org/vsots_archive#ugem

Le nom prête à confusion et mérite un peu d'explication. Les premiers observateurs connaissaient les novae et les novae naines, mais ont également découvert des étoiles similaires aux restes des novae passées. Ils les appelaient «nova-likes» parce qu'ils supposaient (correctement) que les novalikes et les vieilles novae étaient le même type d'étoile, la seule distinction étant de savoir si elles avaient été observées ou non en éruption de nova.

Lecture suggérée:

VSOTS UX Ursae Majoris : http://www.aavso.org/vsots_uxuma

VSOTS Dwarf Novae : http://www.aavso.org/vsots_archive#ugem

Les Novae

Novae (N) sont des systèmes binaires proches avec des périodes orbitales de 0,05 à 230 jours. La cause d'une nouvelle éruption est une réaction thermonucléaire à la surface de la naine blanche. Après des années d'échange de masse entre la paire binaire, la température et la pression à la surface de la naine blanche se développent suffisamment pour faire exploser la couche de matériau accrété comme une bombe à hydrogène. La différence est que cette bombe peut avoir la masse de 30 Terres! Une fois que la température devient suffisamment élevée, cette couche commence à se dilater. En moins d'une minute, elle peut rayonner à 100.000 luminosités solaires et l'expansion vers l'extérieur à 3000 km/s. Éventuellement, elle enveloppe tout le système binaire et le mouvement orbital de la paire agit comme une hélice pour fouetter les choses. Après 1000 jours environ, l'enveloppe se dilate au point où elle peut être vue comme une nébulosité entourant le système. Puis cette coquille se dissipe dans le milieu interstellaire au cours des centaines d'années suivantes.

La plupart des novæ font éruption probablement plus d'une fois dans leur vie, avec la masse de la naine blanche qui détermine la quantité de matériau accumulé qui doit s'accumuler avant le déclenchement de l'éclatement. Les systèmes avec une naine blanche de 0,6 masse solaire pourraient prendre jusqu'à 5 millions d'années entre chaque éruption. Un système avec une naine blanche de 1,3 masse solaire pourrait prendre seulement 30 000 ans entre chaque éruption.

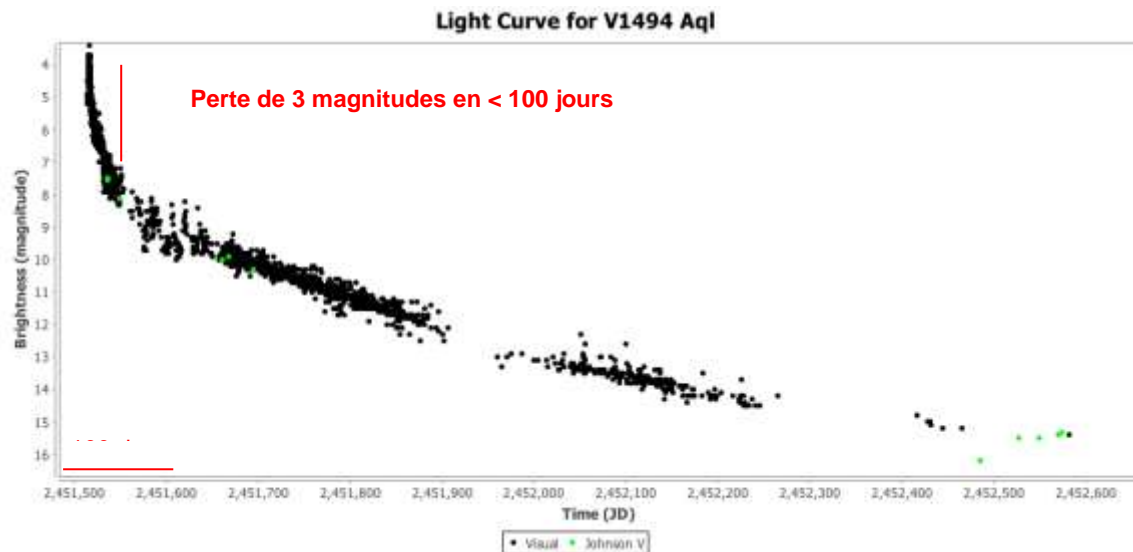


Figure 22. Courbe lumineuse de V1494 Aql (NA) montrant son déclin rapide par rapport au maximum.

Les novæ ayant les plus grandes amplitudes d'explosion baissent aussi le plus rapidement. Les novæ sont ainsi subdivisées par le temps requis pour baisser de 3 magnitudes de leurs lumières maximales.

- (NA) novae rapide, avec une augmentation rapide de luminosité, suivie d'un déclin de luminosité de 3 grandeurs dans les 100 jours.
- (NB) Novae lente, avec une baisse de 3 magnitudes en 150 jours ou plus.
- (NC) Novae très lente, restant au maximum de lumière pendant une décennie ou plus, baissant ensuite très lentement d'intensité. Il est possible aussi que les novæ de type NC soient des objets très différents physiquement des novæ normales. Les composantes de ces systèmes sont probablement des géantes ou supergéantes, parfois des variables semi-régulières, et même des variables Mira. Elles peuvent aussi être des nébuleuses planétaires en cours de formation.

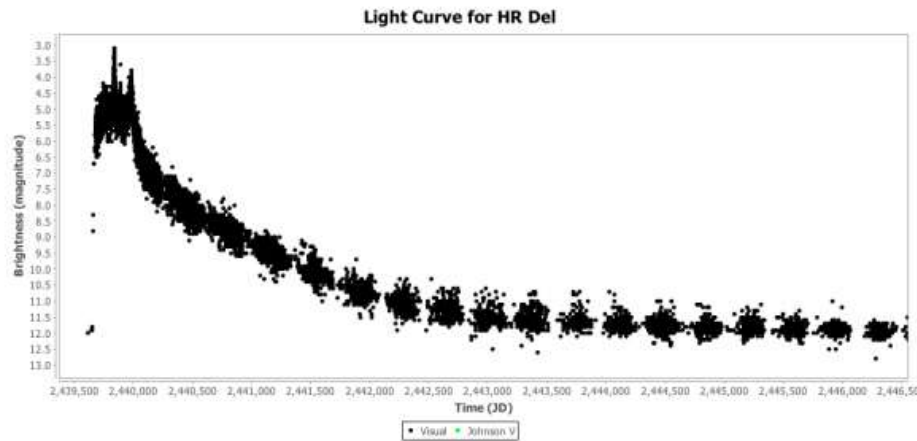


Figure 23. Courbe de lumière de HR Del typique nova lente (NB) – AAVSO

Pour aller plus loin, lecture suggérée:

VSOTS Novae (2012 Edition)

http://www.aavso.org/vsots_novae

Les Novæ récurrentes (NR)

Dans le catalogue général des étoiles variables (GCVS), les novæ récurrentes sont classées dans la même catégorie que les novæ, la principale distinction étant dans les caractéristiques de leurs courbes de lumière. Selon ces caractéristiques, les novæ sont subdivisées en catégories rapide (NA), lente (NB), très lente (NC) et récurrente (NR).

Les novæ récurrentes diffèrent des novæ typiques par le fait que deux ou plusieurs éclats (au lieu d'un seul) séparés par 10-80 ans ont été observés (exemple : T CrB ou RS Oph).

Cela implique que le mécanisme d'éclatement, les périodes orbitales, les spectres et la nature des composants de ces binaires rapprochées sont identiques ou très similaires.

Les novae récurrentes sont-elles simplement des systèmes de même type avec des naines blanches encore plus massives?

Le taux d'accrétion d'un système avec une naine blanche de masse solaire 1,4 pourrait avoir un temps de récurrence de moins de 100 ans. T Pyx peut être un de ces systèmes, mais il n'est pas clair actuellement si le mécanisme de déclenchement pour toutes les novae récurrentes est le même que novae, ou si certains sont le résultat de l'accrétion par débordement du lobe de Roche ou des vents stellaires, ou le résultat d'une instabilité du disque.

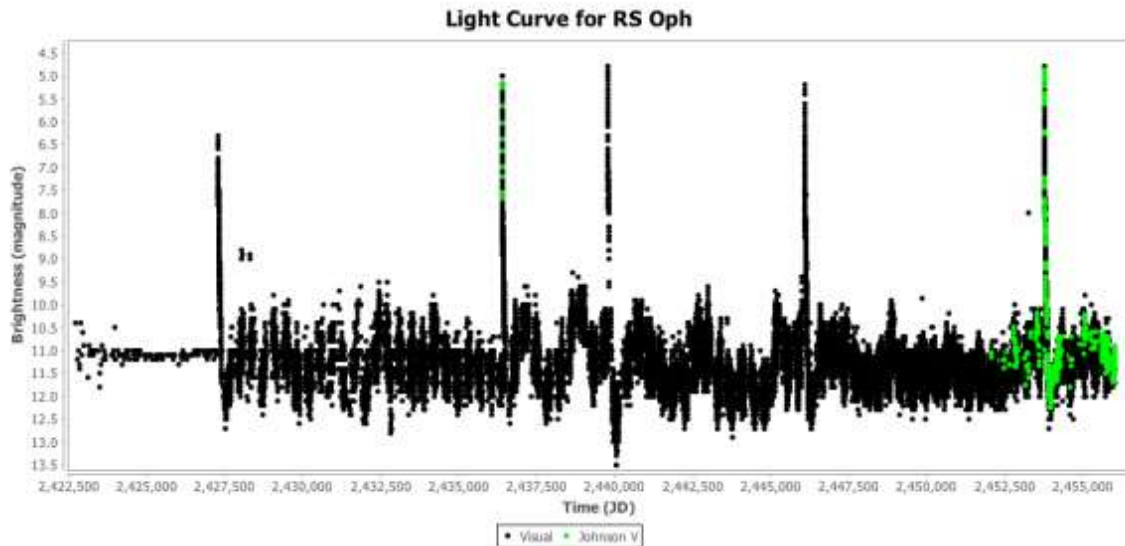


Figure 24. L'ensemble de la courbe de lumière historique de RS Ophiuchi montrant les explosions connues - AAVSO

Plus intéressante encore est la possibilité que les novae récurrentes soient en fait des prospectes à supernovae de type 1a. Les observations des nouvelles éruptions et des nébuleuses qui en résultent indiquent que le mélange de la couche d'accrétion avec les couches externes de la naine blanche peut entraîner une perte de masse des naines blanches au fil du temps et des éruptions répétées.

Les naines blanches les plus lourdes, avec leurs taux d'accrétion plus élevés, peuvent en fait gagner en masse avec le temps! Bien qu'une grande partie de la masse de l'enveloppe soit emportée par le vent, ces primaires peuvent conserver une partie substantielle de la masse de l'enveloppe après la fin de la combustion d'hydrogène. Les naines blanches de certaines novae récurrentes se sont maintenant rapprochées de la limite de masse de Chandrasekhar et pourraient bientôt exploser en supernova de type 1a.

Pour aller plus loin, lecture suggérée:

VSOTS U Scorpii :

[Http://www.aavso.org/vsots_usco](http://www.aavso.org/vsots_usco)

VSOTS T Pyxidis :

[Http://www.aavso.org/vsots_tpyx](http://www.aavso.org/vsots_tpyx)

VSOTS RS Ophiuchi :

[Http://www.aavso.org/vsots_rsoph](http://www.aavso.org/vsots_rsoph)

La Nova de 1923 d'Hubble d'Andromède éclate de nouveau!

[Http://simostronomy.blogspot.com/2012/02/hubbles-1923-nova-in-andromedaerupts.html](http://simostronomy.blogspot.com/2012/02/hubbles-1923-nova-in-andromedaerupts.html)

Les astronomes amateurs alertent le monde sur une éruption stellaire rare

[Http://simostronomy.blogspot.com/2010/01/amateur-astronomers-alert-world-to-rare.html](http://simostronomy.blogspot.com/2010/01/amateur-astronomers-alert-world-to-rare.html)

CV magnétique

Les polaires intermédiaires ou étoiles DQ Her (du nom du prototype DQ Her) montrent des intensités de champ magnétique autour de l'étoile naine blanche de l'ordre de 1-10 méga gauss. Un disque d'accrétion se forme, mais est perturbé près de la naine blanche (primaire) en raison du champ magnétique. La magnétosphère n'est pas assez forte pour synchroniser les orbites de la naine blanche en rotation avec la période orbitale du système (comme on le voit dans les étoiles AM Her)

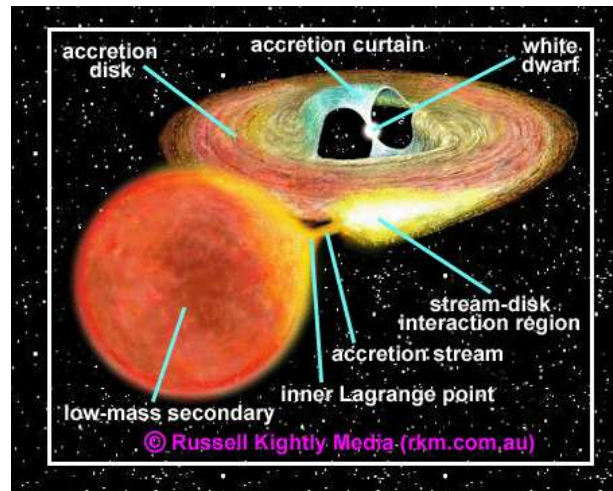


Figure 24. DQ Her diagram

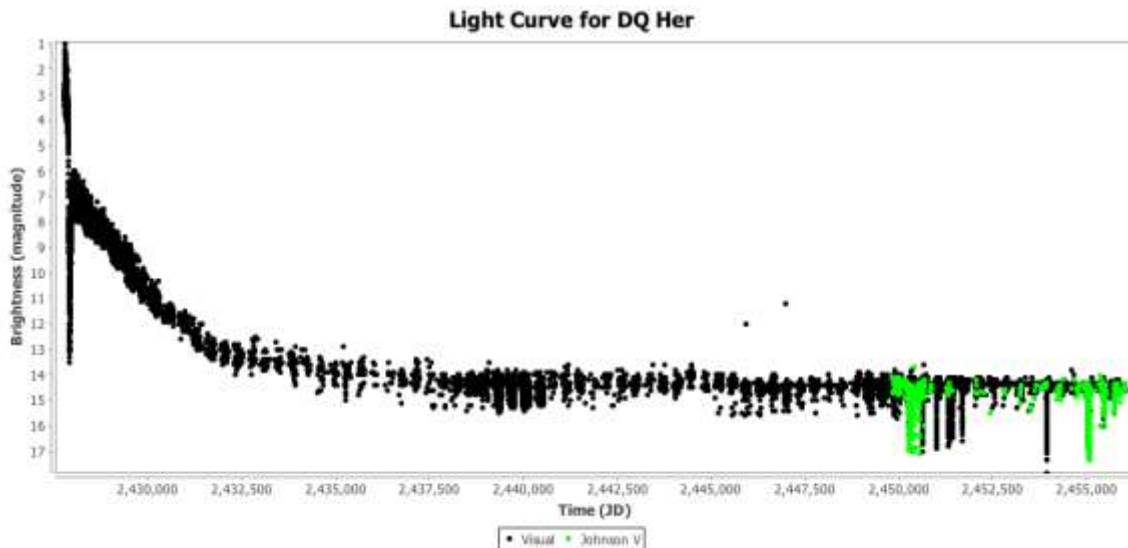


Figure 25. La courbe de lumière historique de DQ Herculis, montrant l'éruption initiale de nova et l'activité ultérieure.

AM Her - Les étoiles (AM) Polars

Les étoiles du type « polars » ou AM Her (du nom du prototype AM Her) affichent des forces de champ magnétique de l'ordre de 10-100 Mega Gauss. Ce champ magnétique est si puissant qu'il empêche la formation d'un disque d'accrétion autour de la naine blanche et verrouille les deux étoiles ensemble de sorte qu'elles présentent toujours la même face à l'autre.

Ainsi, l'étoile et la naine blanche tourne au même rythme que les deux orbites autour du centre de masse du système - une rotation synchrone qui est la caractéristique qui définit une étoile AM Her. (Environ 10% des étoiles AM sont asynchrones, où les rotations de la naine blanche et de l'orbite sont décalées d'environ 1%)

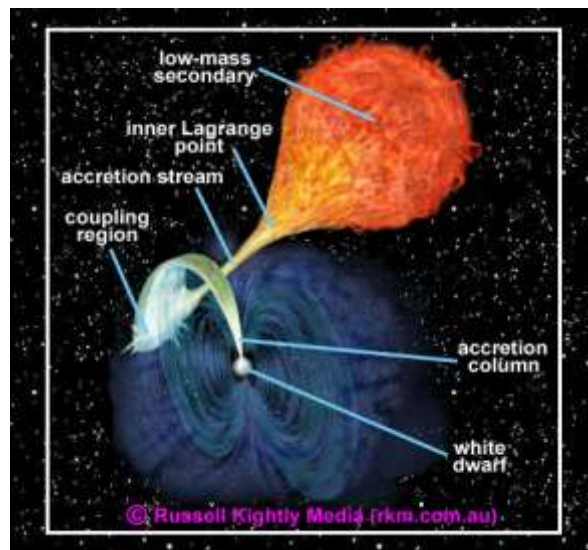


Figure 26. Diagramme de AM Her

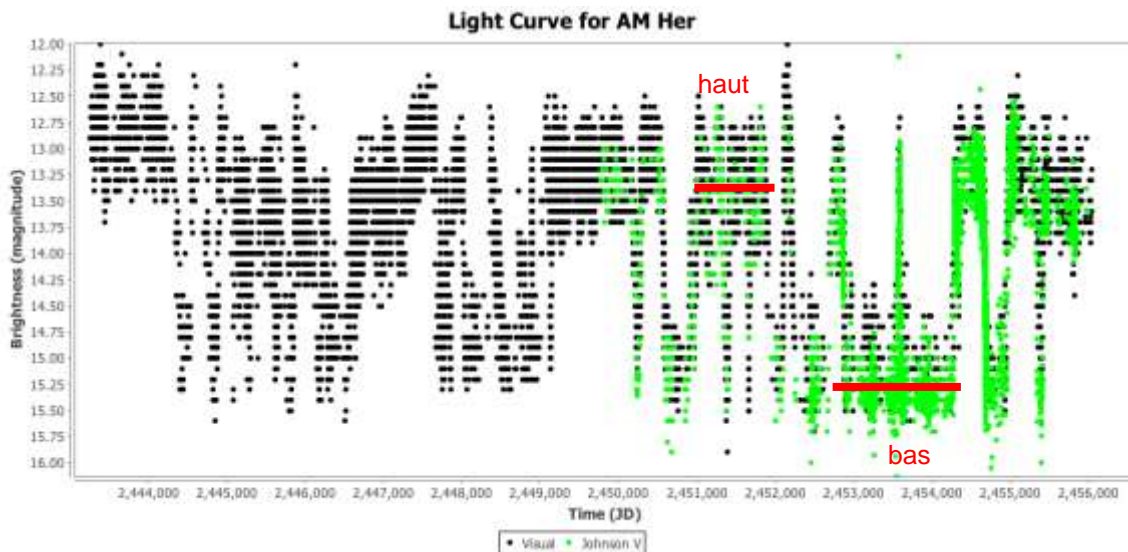


Figure 27. Cette courbe de lumière montre l'alternance des états haut et bas d'AM Herculis.

Pour aller plus loin, lecture suggérée: VSOTS AM Herculis http://www.aavso.org/vsots_amher

Les variables symbiotiques, ou Z étoiles Andromedae (Z AND) sont des étoiles binaires en infraction composée d'une géante rouge évoluée et d'une chaude étoile compagnon. La plupart des symbiotiques on des périodes orbitales de quelques années; certains systèmes orbitent sur plusieurs décennies. Dans tous les systèmes, le composant chaud - une étoile de la séquence principale, une naine blanche ou une étoile à neutrons - accumule du matériel perdu par la géante rouge. Ce matériau accrété alimente la plupart de la variabilité

symbiotique, y compris les éruptions occasionnelles et les jets. Certains systèmes sont également des systèmes à éclipses, il peut donc y avoir beaucoup à démêler lorsque l'on considère la variabilité symbiotique!



Figure 28. Une illustration d'une géante rouge gonflée et d'une étoile chaude bleue dans une enveloppe commune. La recette des variables symbiotiques

Les spectres d'étoiles symbiotiques suggèrent qu'il existe trois régions qui émettent des rayonnements: les étoiles individuelles elles-mêmes et la nébulosité qui les entoure. On pense que la nébulosité provient de la géante rouge, qui est en train de perdre de la masse assez rapidement soit par un vent stellaire, soit par pulsation. La phase symbiotique représente une étape tardive de l'évolution stellaire et une brève durée dans la vie du binaire. En raison du court laps de temps impliqué, les étoiles symbiotiques sont des objets relativement rares. Seules quelques centaines sont connues.

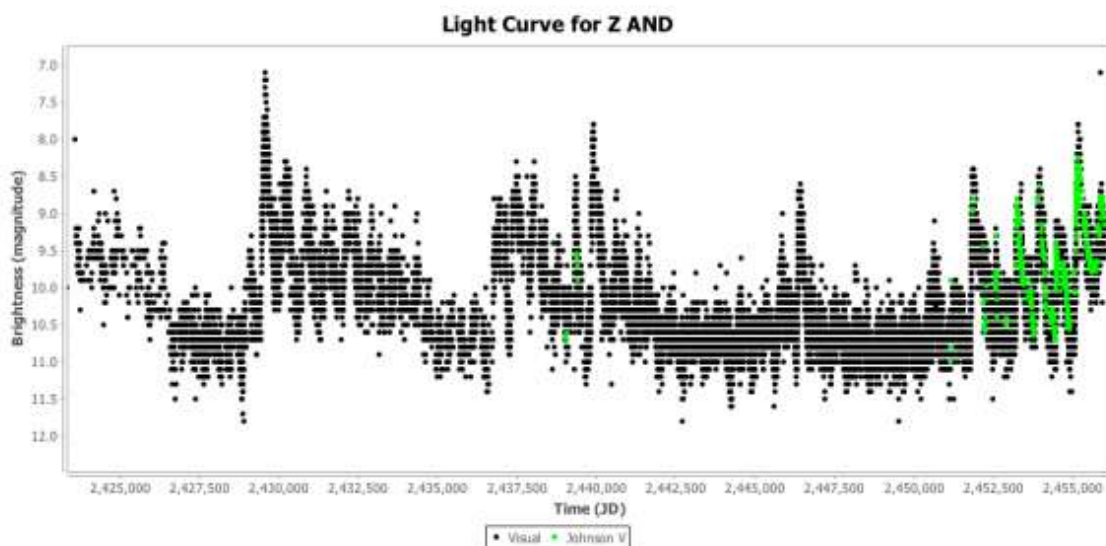


Figure 29. Courbe de lumière historique de l'AAVSO pour Z And, montrant les explosions et les périodes de repos relatif.

Outre leur variabilité erratique et multi-causale, les étoiles Z AND intéressent les astronomes parce qu'elles sont probablement des progéniteurs de nébuleuses planétaires bipolaires et pourraient constituer certains des systèmes qui exploseront plus tard en tant que supernovae de Type Ia.

Lecture suggérée:

VSOTS Z Andromedae

http://www.aavso.org/vsots_zand

Variable symbiotique au bord de l'éruption?

<http://simostronomy.blogspot.com/2010/11/symbiotic-variable-star-on-verge-of.html>

VSOTS CI Cygni

http://www.aavso.org/vsots_cicyg

VSOTS CH Cygni

http://www.aavso.org/vsots_chcyg

VSOTS R Aquarii

http://www.aavso.org/vsots_raqr

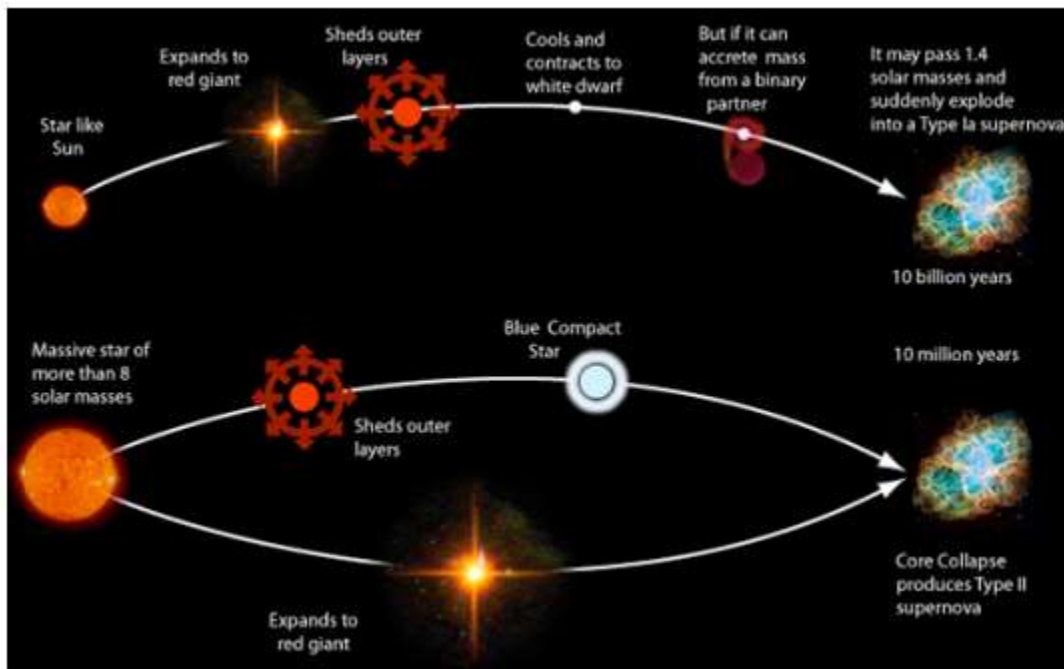
Les supernovæ

Les supernovæ sont les variables cataclysmiques ultimes. Lorsqu'elles éclatent, elles s'éclairent de 10 à 20 magnitudes, atteignant une magnitude absolue de -15 à -20, puis baissent lentement d'intensité sur des périodes de mois et même d'années. Par ce procédé l'étoile est transformée en une nébuleuse qui se dilate rapidement et l'effondrement de son noyau peuvent même engendrer une étoile à neutrons ou un trou noir.

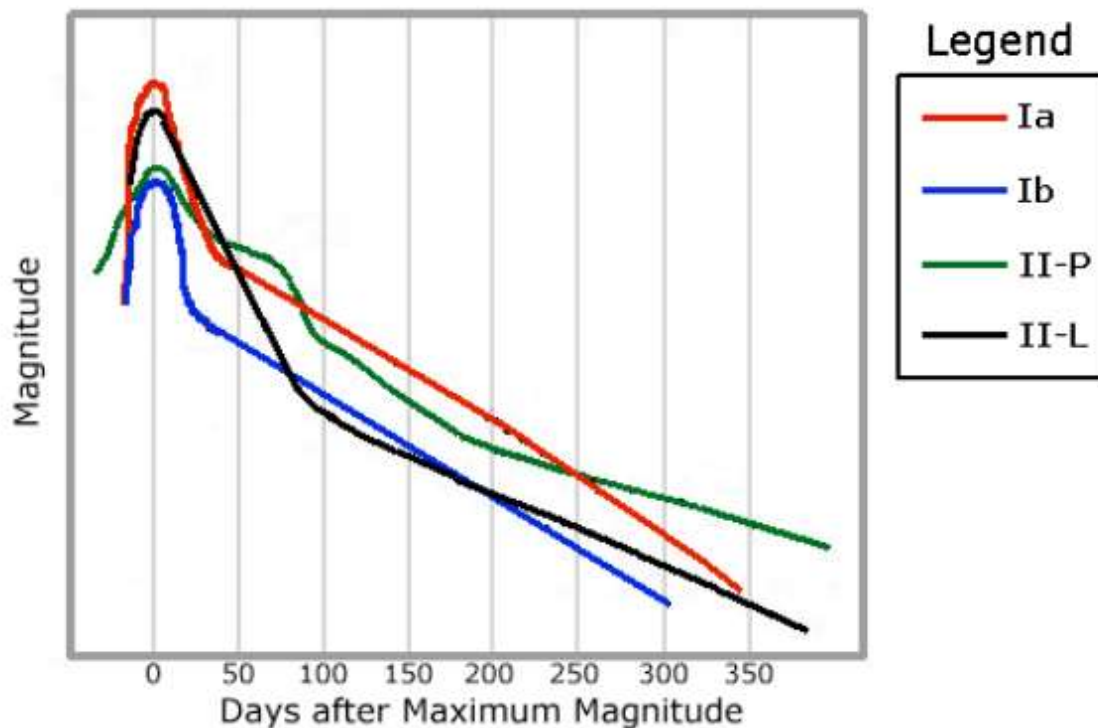
Malgré la similitude avec les explosions de novæ, le mécanisme des éruptions et ses conséquences sont totalement différentes. Une supernova est la fin de la ligne dans l'évolution d'une étoile. Elle est soit détruite complètement, soit transformée en un objet exotique.

Les astronomes les classent en fonction des raies d'absorption des différents éléments chimiques qui apparaissent dans leurs spectres. L'élément principal utilisé pour classer le SNe est l'hydrogène. Les supernovae de type II montrent la présence de l'élément hydrogène dans leur spectre. Les supernovae de type I ne montrent aucun hydrogène dans leur spectre. Parmi ces types principaux, il existe des subdivisions en fonction de la présence de lignes provenant d'autres éléments et de la forme de la courbe de lumière.

Bien qu'il y ait encore beaucoup de discussions sur les progéniteurs de SNe, il est largement accepté que les SNe de type I sont d'anciens binaires de population dont un composant est une naine blanche qui atteint une masse critique, la limite de Chandrasekhar, puis se brise en morceaux. Les supernovae de type II sont le résultat spectaculaire de la courte trajectoire évolutive d'étoiles simples massives.



Étant donné que les SNe de type I ont des courbes de lumière similaires et une petite plage de magnitudes absolues, elles sont utilisées comme bougies standard pour mesurer de grandes distances dans l'univers. Une discussion plus détaillée de la théorie et de l'observation des supernovae dépasse le cadre de ce cours, mais constituerait un excellent sujet pour un futur cours CHOICE.



Type de SN de Type II

Pour aller plus loin, lecture suggérée:

Type Ia Supernovae (Wikipedia)

[Http://fr.wikipedia.org/wiki/Type_Ia_supernova](http://fr.wikipedia.org/wiki/Type_Ia_supernova)

Supernovae de type II (Wikipedia)

[Http://fr.wikipedia.org/wiki/Type_II_supernova](http://fr.wikipedia.org/wiki/Type_II_supernova)

FAQ sur les supernovae, les restes de supernova et le créationnisme de la jeune terre

[Http://www.talkorigins.org/faqs/supernova/](http://www.talkorigins.org/faqs/supernova/)

Supernova Cosmology Project

[Http://panisse.lbl.gov/](http://panisse.lbl.gov/)

Les supernovae, l'énergie noire et l'univers accéléré

[Http://www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/sabl/2005/October/SupernovaeDark%20Energy-Accelerating.pdf](http://www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/sabl/2005/October/SupernovaeDark%20Energy-Accelerating.pdf)

Soupe Alphabet Supernovae

[Http://simostronomy.blogspot.com/2011/01/supernovae-alphabet-soup.html](http://simostronomy.blogspot.com/2011/01/supernovae-alphabet-soup.html)

Autres types de variables

Bursters de rayons gamma (GRB)

Adapté de Wikipédia

Les rafales gamma (GRB) sont des éclairs de rayons gamma associés à des explosions énergétiques qui ont été observées dans les galaxies lointaines. Ils sont les événements électromagnétiques les plus lumineux connus à se produire dans l'Univers. Les rafales peuvent durer de dix millisecondes à plusieurs minutes; Une rafale typique dure 20-40 secondes. Une «rémanence» de plus longue durée émise à des longueurs d'onde plus longues (rayons X, ultraviolets, optiques, infrarouges, micro-ondes et radio) suit généralement la salve initiale. C'est la rémanence dans le visible que les astronomes amateurs recherchent dans les instants qui suivent la détection d'un GRB.



Illustration d'une explosion de rayon gamma. Crédit: NASA / SkyWorks Digital

La plupart des GRB observées seraient constituées d'un faisceau étroit de rayonnement intense libéré lors d'un événement de supernova, alors qu'une étoile de masse élevée en rotation rapide s'effondre pour former une étoile à neutrons, une étoile quark ou un trou noir.

Une sous-classe de GRB (les "courtes" rafales) semble provenir d'un processus différent. Cela peut être la fusion des étoiles à neutrons binaires et peut-être spécifiquement le développement de la résonance entre la croûte et le noyau de ces étoiles en raison des forces de marée massives subies dans les secondes précédant leur collision, provoquant la rupture entière de la croûte de l'étoile.

Les sources de la plupart des GRB se trouvent à des milliards d'années-lumière de la Terre, ce qui implique que les explosions sont à la fois extrêmement énergétiques (une salve typique libère autant d'énergie en quelques secondes que le Soleil pendant toute sa durée de vie de 10 milliards d'années) et extrêmement rares (quelques-unes par galaxie par million d'années).

Lecture hautement recommandée (Oui, Wikipédia est en fait une très bonne source sur ce sujet!) :

[Http://fr.wikipedia.org/wiki/Gamma-ray_burst](http://fr.wikipedia.org/wiki/Gamma-ray_burst)

Noyaux galactiques actifs (AGN - Active Galactic Nuclei)

Les AGN sont des sources ponctuelles, mais elles ne sont pas des étoiles. Ce sont des galaxies qui ont un petit noyau d'émission intégré dans une galaxie autrement typique. Ce noyau peut être variable et très lumineux par rapport au reste de la galaxie.

La plupart des modèles de galaxies actives représentent un trou noir supermassif situé au centre de la galaxie. La galaxie centrale dense fournit un matériau qui s'accumule sur le trou noir en libérant une grande quantité d'énergie gravitationnelle. Une partie de l'énergie contenue dans ce plasma chaud est émise sous forme de rayons X et de rayons gamma.

Il existe trois principaux types de galaxies actives: les quasars, les blazars et les seyferts. La plupart des scientifiques croient que, même si ces types nous semblent très différents, ils sont vraiment tous la même chose sous différentes orientations!

Les quasars sont des galaxies actives qui sont très, très loin de nous. Certains des quasars que nous avons vus jusqu'ici sont à 12 milliards d'années-lumière de distance.

* Le 3C 66A est un quasar que vous pouvez voir dans un télescope amateur, et il est à quelque 3 milliards d'années-lumière, c'est-à-dire loin! Compte tenu des grandes distances de ces objets et de la forte émission de rayons gamma à haute énergie, ce sont les accélérateurs de particules les plus puissants de l'Univers.

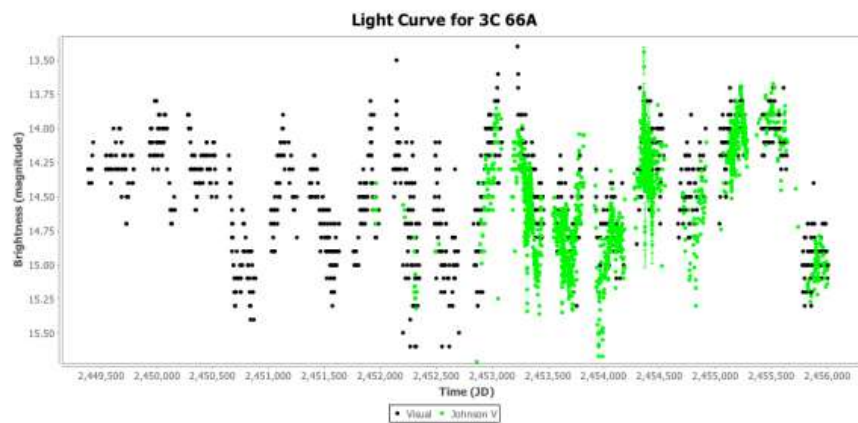


Figure 33. AAVSO courbe de lumière de 3C 66A dans Andromède

Certains quasars affichent des changements de luminosité qui sont rapides dans la plage optique et encore plus rapides dans les rayons X. Parce que ces changements se produisent très rapidement, ils définissent une limite supérieure sur le volume d'un quasar. Les quasars ne sont pas beaucoup plus grands que notre système solaire! Le mécanisme des changements de luminosité implique probablement un rayonnement relativiste de jets pointés presque directement vers nous.

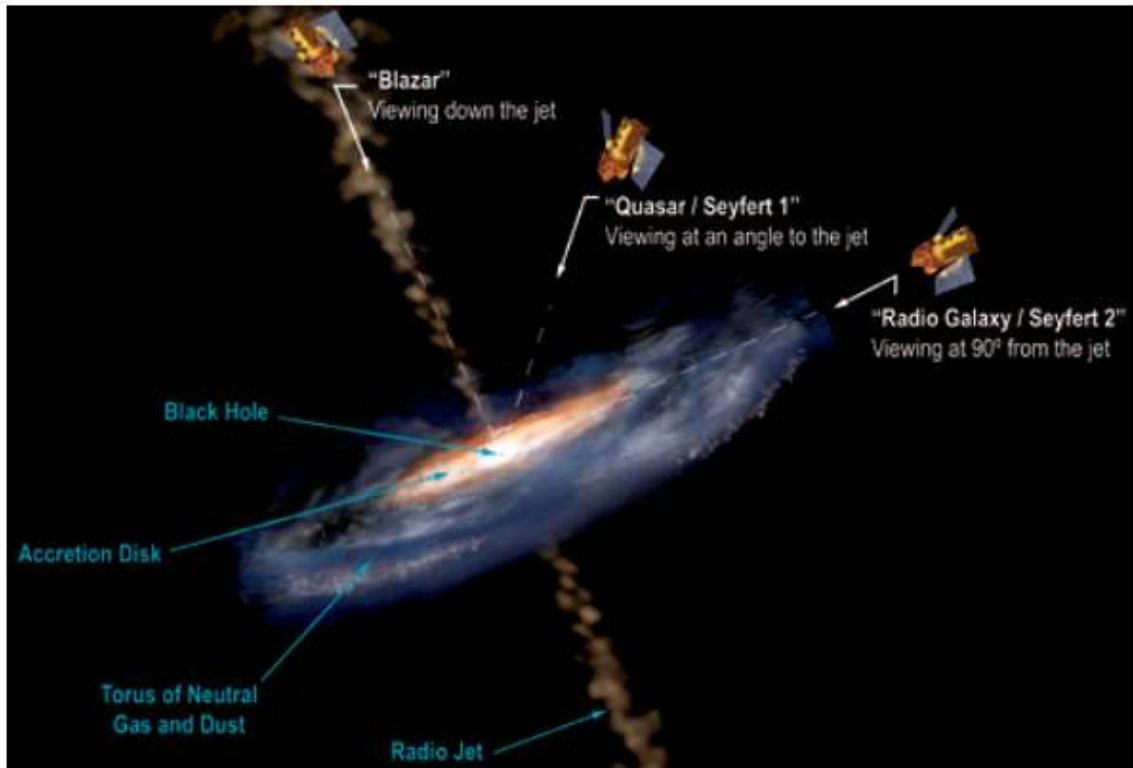
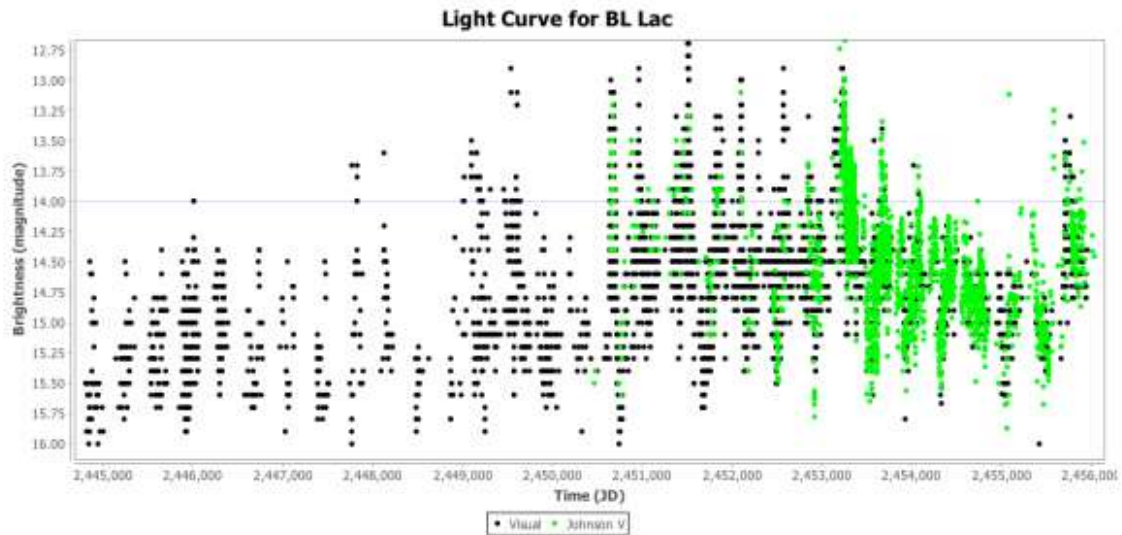


Figure 34. Les composants d'un AGN et comment nous les identifions, selon notre propre point de vue.
Source : Aurore Simonnet, Sonoma State University.

On croit qu'un blazar est un AGN (Active Galactic Nucleus) qui a un de ses jets relativistes pointés vers la Terre de sorte que ce que nous observons est principalement l'émission de la région du jet. Ils sont donc semblables aux quasars, mais on ne les voit pas aussi lumineux. Les émissions de rayons gamma et visibles des blazars varient selon les échelles de temps, de quelques minutes à quelques jours. Bien qu'il existe des théories sur les causes de cette variabilité, les données éparses ne permettent pas encore de tester chacune de ces hypothèses.



Courbe de lumière historique de BL Lac (de 1981 à aujourd'hui).
BL Lac constitue le prototype d'une catégorie de blazars.

Les blazars sont très brillants dans la bande radio, ce qui résulte du fait de regarder directement vers le bas un jet qui émet un rayonnement synchrotron. D'un autre côté, si le jet ne pointe pas vers nous, et que le disque poussiéreux de matière résidant dans le plan de la galaxie est sur le chemin, vous verriez exactement ce que nous voyons des Seyferts.

Les galaxies Seyfert sont caractérisées par des noyaux extrêmement brillants et des spectres contenant des lignes d'émission très lumineuses d'hydrogène, d'hélium, d'azote et d'oxygène. Malheureusement, leurs courbes de lumière optique ont tendance à être plutôt ternes et peu excitantes dans leur ensemble.

Lecture suggérée:

VSOTS BL Lacertae

[Http://www.aavso.org/vsots_bllac](http://www.aavso.org/vsots_bllac)

VSOTS Markarian 421

[Http://www.aavso.org/vsots_mark421](http://www.aavso.org/vsots_mark421)

VSOTS Le quasar 3C273

[Http://www.aavso.org/vsots_3c273](http://www.aavso.org/vsots_3c273)

Remerciements

Carolyn J. Hurless



1934-1987

Carolyn J. Hurless était la femme observatrice la plus active et la plus prolifique de l'histoire de l'AAVSO, avec 78 876 observations dans la base de données internationale. Mais cela ne fait qu'effleurer la surface de la vie et de la carrière de cette femme remarquable en tant qu'observatrice, conseillère, officière, mentor et ambassadrice de l'AAVSO.

Née à Lima, Ohio, le 24 novembre 1934, Carolyn s'est intéressée à l'astronomie dès l'âge de 13 ans grâce à son intérêt pour la science-fiction. En tant que jeune femme, elle fut invitée à rejoindre le « Lima Astronomy Club », lorsque Herbert Speer, le président de ce club, a remarqué son nom sur les cartes d'emprunteurs qui avaient consulté des livres d'astronomie à la bibliothèque publique.

Peu de temps après, elle décida de fabriquer son propre réflecteur de 8 pouces avec les conseils des autres membres du club d'astronomie. Lorsque le polissage initial fut fait, Carolyn a constaté que dans son excitation, elle avait pris un court miroir de mise au point de f/4 au lieu de la portée typique de f/8 ou f/9 que la plupart des gens faisaient à l'époque. En fin de compte, son télescope s'avéra être un bel instrument. En fait, la longueur réduite du tube lui donna, comme elle le décrivit, un télescope « féminin », facile à transporter et à installer pour l'observation. La plupart de ses observations furent faites avec ce télescope et elle n'a jamais ressenti le besoin de passer à autre chose.

Carolyn apprit l'observation des étoiles variables grâce au légendaire observateur de l'AAVSO et son compatriote de l'Ohio, Leslie Peltier. Carolyn se rendait à Delphos, en Ohio, pour observer les faibles étoiles du « inner sanctum » avec le réflecteur de 12 pouces de Peltier presque chaque semaine au cours de leur longue amitié.

Elle était plus qu'heureuse d'aller de l'avant en encadrant les nouveaux arrivants et en partageant son enthousiasme avec d'autres observateurs d'étoiles variables à travers le monde. Ainsi, elle publia chaque mois le bulletin « Variable Views » dans lequel elle partageait des idées sur l'astronomie, les histoires d'étoiles variables et des astronomes amateurs en plus de notes humoristiques sur ses propres expériences.

Elle commença le bulletin à ses propres frais et l'a publié pendant 22 années consécutives. Carolyn invitait ses lecteurs de « Variable Views » à des réunions d'été à chaque année à la maison de Leslie Peltier où elle a su inspirer les jeunes avec son amour des étoiles et de l'observation.

Elle a réussi à toucher les gens au-delà des frontières également, ce qui n'était pas facile à cette époque. Elle parraina un observateur tchécoslovaque, Jaroslav Kruta, lors de son adhésion de l'AAVSO. Grâce à une correspondance soutenue, constituée principalement d'enregistrements sur bande, elle enseigna l'anglais à

Jaroslav anglais, et fut en mesure de lui présenter plusieurs autres membres de l'AAVSO en organisant pour eux une rencontre avec Jaroslav lorsqu'ils visitèrent la Tchécoslovaquie.

En plus de partager son enthousiasme pour l'astronomie avec le public, elle occupa un poste à temps plein comme professeur de musique, inspirant d'innombrables jeunes musiciens tout au long de sa carrière.

L'Institut Carolyn Hurless en ligne pour l'éducation permanente est fier de poursuivre l'œuvre de cette femme remarquable.

« La rédaction de ce cours n'aurait pas été possible sans les contributions inestimables du personnel, des membres et des bénévoles de l'AAVSO, notamment Arne Henden, Aaron Price, Matthew Templeton, Chris Watson, Sebastian Otero, Patrick Wils, Doug Welch, Ken Mogul, David Benn, Will McMain et Richard 'Doc' Kinne. Mes sincères remerciements à tous.

Mike Simonsen

Janvier 2013 »