Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft

Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft

Band: 62 (2004)

Heft: 322

Artikel: Mesures photométriques d'étoiles variables diverses : développement théorique et premières interprétations : première partie : travail de maturité

Autor: Coquille, Loren

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-898341

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Le nouveau règlement de maturité introduit en 1998 exige de chaque élève la rédaction d'un travail personnel et original comme condition de se présenter aux examens finals. Ce travail n'est pas noté, mais évalué selon les critères «très bon, bon, satisfaisant ou insuffisant». Une évaluation «insuffisante» est éliminatoire même si les notes obtenues aux examens sont bonnes.

Nous publions ici la première partie (à suivre) du travail de LOREN COQUILLE (voir *Orion 321*). LOREN se présente aux examens finaux de maturité en juin 2004

La rédaction

Mesures photométriques d'étoiles variables diverses

Développement théorique et premières interprétations

LOREN COQUILLE

Première partie - Travail de maturité

Direction: M. Daniel Cevey – Collège Rousseau – septembre 2003

Préface

En automne 2001, j'ai eu l'occasion de participer à la semaine scientifique «Du Big Bang au sourire» à l'observatoire François-Xavier Bagnoud (OFXB) de Saint-Luc. C'est au cours d'une discussion avec Daniel Cevey, Nicolas Waelchli et Gilles Carnal, que l'idée du sujet de ce travail de maturité s'est présentée, lors du vernissage de l'exposition qui faisait suite à cette semaine.

Le domaine des étoiles variables étant vaste, et mon but étant également de pouvoir remonter à l'OFXB dans le cadre de ce travail, j'ai été intéressée par la possibilité d'étudier plusieurs sortes de ces étoiles, et de pouvoir obtenir diverses grandeurs physiques à partir de mesures photométriques, réalisables à l'observatoire de Saint-Luc.

Par la suite, le sujet du travail étant plus ou moins déterminé, j'avais l'intention d'étudier principalement les binaires à éclipses et les variables pulsantes. Or il s'est trouvé que l'observatoire de Genève avait une liste d'étoiles présumées à transit planétaire, c'est-à-dire autour desquelles orbitent peut-être une ou plusieurs planètes[1], qui passeraient entre l'étoile et la Terre, faisant baisser périodiquement son éclat. J'ai tout de suite pensé qu'effectuer des mesures sur de tels objets pouvait entrer dans le cadre de mon travail, dans le sens où on peut les considérer comme des variables binaires. De plus, cela me donnait la possibilité de rédiger un chapitre sur la quête des exoplanètes[2], un des importants challenges de l'astrophysique moderne, qui me passionne également. C'est ainsi que la trame générale de mon travail a peu à peu pris forme.

D'autre part, le choix d'interpréter des mesures plutôt que d'effectuer un travail purement théorique traduit mon intention de joindre les deux aspects de la physique (théorique et pratique), qui est une science expérimentale, ce qui me paraît important de ne pas oublier. Cependant, l'accent sera mis sur la partie théorique, astrophysique, et non sur les descriptions du fonctionnement des appareils utilisés, ou encore sur les incertitudes liées aux mesures, pour ne citer que quelques exemples. En effet, je pense que c'est l'informatique, et par extension la technique, qui doit être un outil de l'astrophysique et non pas l'astrophysique qui doit être prétexte à la technique.

Etre capable d'utiliser seule les appareils et instruments nécessaires, donc acquérir une certaine autonomie durant les prises de mesures, mais surtout comprendre et maîtriser la théorie qui permet de les interpréter, sont les principaux buts que j'aimerais atteindre en réalisant ce travail. En résumé: avoir un aperçu, à moindre échelle, du travail qu'effectue un astrophysicien, métier que je compte exercer à l'avenir.

Pour pouvoir y parvenir, seront entre autres nécessaires un certain nombre de stages à l'observatoire François-Xavier Bagnoud de St-Luc et plusieurs nuits de mesures à l'observatoire de Genève, dont les rapports seront mis en annexe. Un important investissement personnel ne sera pas négligé, vu l'intérêt que je porte au sujet.

D'autre part, n'ayant pas l'intention d'étudier des étoiles déjà connues, (à moins d'une pénurie majeure d'étoiles dont les courbes de magnitude sont à compléter!), le fait que les mesures effectuées soient utiles à l'Observatoire de Genève, en particulier à «l'équipe des planètes» pour les étoiles présumées à transit planétaire, et aux «variabilistes» professionnels, est une motivation non négligeable à la réalisation de ce travail. Cela me permet d'apporter, à mon âge déjà, mon humble contribution à l'avancée des connaissances en astrophysique.

Introduction générale sur les étoiles variables

Généralités

Définition et classification

Les étoiles variables sont des étoiles dont l'éclat[3], sur un laps de temps relativement court, n'est pas constant. Plusieurs sortes de paramètres physiques peuvent engendrer cette variation photométrique. C'est pourquoi les variables peuvent être classées grossièrement en trois grands groupes, qui nécessitent néanmoins d'être affinés. Nous allons en étudier quelques cas.

Le premier point, qui comporte deux sections, sera consacré à des étoiles dont la variation d'éclat au cours du temps est due à des paramètres géométriques, c'est-à-dire respectivement à des éclipses successives de deux étoiles tournant l'une autour de l'autre, ou à un transit de planète devant une étoile; Les éclipses ou le transit provoquant à intervalle régulier une diminution de l'éclat du couple, la différence principale réside dans la baisse d'intensité lumineuse relative.

[1] Voir glossaire, sous n°20

[2] Voir glossaire, sous n°7

[3] Voir glossaire, sous n°5

Le deuxième point, quant à lui, sera consacré à des étoiles variables pulsantes, dont l'éclat intrinsèque varie au cours du temps. Cette pulsation est due à la dualité de deux forces en présence: la pression exercée par le rayonnement, qui tend à faire gonfler l'étoile, et la gravitation, qui tend à la comprimer. La périodicité de la variation d'éclat est souvent très régulière.

Il existe également une troisième sorte d'étoiles que nous n'allons pas étudier, les variables éruptives, étoiles en fin de vie dont l'éclat s'accroît brutalement par suite d'une éruption qui affecte tout ou une partie de leur atmosphère. Il y a augmentation de température et par conséquent variations spectrales importantes. Après le maximum, l'éclat et la température de l'étoile diminuent.

Ces trois classes ne regroupent pas de manière exhaustive l'ensemble des étoiles variables. Il existe d'autres classes, d'une importance moindre, que j'aurai l'occasion d'évoquer au cours de ce travail.

Importance de l'observation des étoiles variables

L'étude des étoiles binaires à éclipses est d'une utilité non négligeable en astrophysique, puisqu'elles permettent de calculer les masses, ainsi que les rayons respectifs des composantes, en utilisant les lois de Newton. Ces paramètres sont importants à connaître, surtout dans l'optique de l'évolution stellaire. Il ne faut pas oublier que les étoiles vivent et meurent dans des laps de temps qui dépassent de loin l'échelle humaine. Nous sommes donc obligés d'observer des milliers d'étoiles qui sont à des périodes différentes de leur vie, pour ensuite pouvoir reconstituer leur évolution.

L'étude des étoiles à transit, et surtout plus généralement des étoiles autour desquelles orbitent des planètes, est un domaine de la recherche actuelle en pleine explosion, qui a pour but, à long terme, de répondre à la question de l'existence de la vie dans l'Univers. En commençant par chercher des planètes les plus petites possibles, de type terrestre, les scientifiques ont pour ambition de détecter la présence d'une éventuelle atmosphère entourant ces planètes, et le cas échéant d'y mesurer la quantité d'oxygène présent, qui est un outil précieux pour déterminer si oui ou non la vie existe ailleurs que sur Terre.

L'observation des étoiles variables, en particulier celle des variables pulsantes a été déterminante au cours de l'histoire de l'astronomie et reste importante de nos jours.

Comme nous le verrons par la suite, les céphéides sont des étoiles variables pulsantes qui possèdent une relation «période-luminosité» caractéristique. Mesurer leur période de pulsation permet d'obtenir leur magnitude absolue[4], qui au moyen d'une formule la reliant à la magnitude apparente[5], donne la distance de l'étoile.

A la fin du XVIIIe siècle, les objets célestes qui n'étaient ni des étoiles, ni des planètes, ni des comètes ont été nommés nébuleuses par William Herschel[6]. Voyant que la plupart d'entre eux se composent tout de même d'étoiles, deux explications ont été proposées, dont celle des «univers-îles» selon laquelle ces corps se trouvent au-delà de notre galaxie, théorie qui est encore contestée à l'époque et fait l'objet d'un grand débat. Vers 1900, on connaissait assez bien les distances des étoiles proches grâce aux mesures des parallaxes[7], mais il fallait encore mesurer les distances des étoiles plus éloignées pour confirmer (ou infirmer) l'existence des «univers-îles». Par la suite, en 1912, Henrietta Leavitt établit la fameuse relation entre la période et la luminosité des Céphéides (voir point II.A.1) grâce à laquelle on a pu déduire la distance de ces étoiles. Ainsi, si on étudie une région lointaine où se trouvent des Céphéides, on peut estimer la distance moyenne de cette région. C'est en découvrant une céphéide dans la «nébuleuse d'Andromède» en 1924 qu'EDWIN HUBBLE[8] permettra de trancher: cette «nébuleuse» se trouve en effet en dehors de notre galaxie, elle en est une à part entière, comme nombre de ces objets, ce qu'il prouvera par la suite. Les limites de l'Univers, jusque là conçues comme étant aux confins de la Voir Lactée, se trouvent repoussées à des distances gigantesques. Un peu plus tard, en 1929, Hubble établit une relation entre la distance d'une galaxie et sa vitesse d'éloignement (plus une galaxie est éloignée, plus elle s'éloigne vite de nous). Cette loi de Hubble, plus tard interprétée comme étant le résultat de l'expansion de l'Univers, a permis d'estimer la distance des galaxies lointaines, en mesurant les vitesses d'éloignement grâce aux décalages des spectres[9] vers le rouge («red shift»). En guise de conclusion de cette petite parenthèse historique, nous pouvons dire que notre perception de la grandeur de l'Univers n'a cessé de s'accroître, au fur et à mesure que nos méthodes de mesures et d'observations se sont améliorées, et la découverte de la relation période-luminosité des Céphéides en est une étape déterminante.

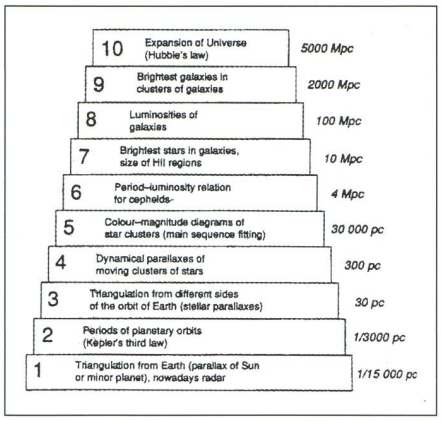


Figure 1

Aujourd'hui encore, les céphéides sont utilisées pour mesurer les distances dans l'Univers. Elles sont un moyen qui permet de repousser les limites de la méthode de la parallaxe annuelle (qui n'est plus utilisable à partir de 1000 pc au grand maximum) à des distances d'environ 5 Mpc. C'est donc un précieux outil de l'astrophysique.

Voici un tableau représentant les différents indicateurs de distance ainsi que leur portée. (*Voir Fig. 1*)

De plus, l'observation des variables pulsantes est d'une part un bon indicateur de populations stellaires, les céphéides classiques étant pour la plupart des étoiles relativement jeunes, appartenant à la population I, les RR Lyrae et les W Virginis étant de vieilles étoiles, appartenant à la population II (nous reviendrons sur cette classification par la suite), et d'autre part elle nous donne de précieuses informations sur l'évolution stellaire, en nous renseignant sur leur aspect et leur structure à différentes périodes caractéristiques de leur vie: à ce sujet, voir le paragraphe de cette section consacré à la place des étoiles variables dans l'évolution stellaire.

Nom des étoiles variables

Il peut être intéressant de se pencher sur le nom que l'on donne aux étoiles variables découvertes dans une constellation. Cela nous permettra de comprendre pourquoi l'on nomme certaines pulsantes des «RR Lyrae» ou des «W Virginis». La première classification d'étoiles varia-

[4] Voir glossaire, sous n°16

[5] Voir glossaire, sous n°15

[6] Voir glossaire, sous n°11

[7] Voir glossaire, sous n°18

[8] Voir glossaire, sous n°12

[9] Voir glossaire, sous n°24

bles dans une constellation donnée remonte à Argelander[10]. Il désignait la première variable découverte par R (suivi du nom latin de la constellation), la seconde par S et ainsi de suite jusqu'à la neuvième: Z. La dixième étoile découverte s'appelle RR, la onzième RS et ainsi de suite jusqu'à RZ, puis SS, ST,..., SZ, TT, TU,..., TZ, etc. jusqu'à la cinquante-quatrième ZZ. A partir de la cinquante-cinquième, on revient au début de l'alphabet en la désignant AA, puis AB,..., AZ, BB, BC,..., BZ, etc. jusqu'à QZ, la trois cent trente-quatrième. Le nombre restreint de variables découvertes à l'époque permettait une classification si limitée. C'est seulement à partir de la trois cent trente-cinquième que l'on commence à les appeler V335, V336, etc. ce qui enlève toute limitation et est bien pratique quand, par exemple dans le Sagittaire, on dépasse V 4000. (Il est à noter que les variables brillantes déjà désignées par la notation de Bayer (a, b , etc. suivi du nom latin de la constellation, n'ont pas reçu d'autre nom. Les variables d'amas globulaires n'ont qu'un numéro d'ordre de découverte précédé du nom de l'amas.) Ainsi, une étoile «RR Lyrae» est une étoile variable du même type que la dixième étoile découverte dans la constellation de la Lyre: RR Lyrae.

Instrument de mesure: la caméra CCD

Je fais ici une petite digression sur l'instrument de mesure que j'ai utilisé, car je pense nécessaire de comprendre (en gros) le mode de fonctionnement des appareils que l'on exploite. Les mesures effectuées dans le cadre de ce travail sont photométriques, c'est-à-dire qu'elles mesurent les variations de la quantité de lumière provenant de l'objet pointé. Elle ont en l'occurrence été réalisées avec une caméra CCD située au foyer du télescope de 60 cm de l'observatoire de St-Luc. La caméra CCD, développée à la fin du XXe siècle, a révolutionné le monde de l'astronomie en succédant, pour la plupart des applications, aux plaques photographiques. Son rendement est de 90%, alors que celui des émulsions photographiques n'était que de 4%. Les sources très faibles sont ainsi accessibles à l'observation avec des temps de pose raisonnablement courts. Je vais ici résumer le principe de fonctionnement de cet instrument.

Une caméra CCD est une matrice de photo éléments. Par effet photoélectrique, un certain nombre des photons incidents frappent une couche de Silicium et en arrachent les électrons. A chaque élément correspond une série d'électrodes (un puits de potentiel) où ces électrons sont piégés, donc stockés. Lorsque la pose est terminée on agit sur le potentiel des électrodes pour déplacer les charges jusque sur les bords du CCD (étage de lecture). D'où le nom de CCD qui est l'abréviation anglaise de Caméra à Transfert de Charges (Charge Coupled Device). L'étage de lecture envoie l'information vers la mémoire d'un ordinateur: les paquets de charges sont «sortis» un par un de la matrice. On mesure ensuite la tension de sortie de chaque pixel, qui est proportionnelle au nombre de charges contenues dans le puits de potentiel. Un convertisseur analogique - numérique permet ensuite de quantifier cette valeur.

Voici une représentation du signal reçu par la caméra CCD pour une étoile donnée (fonction d'Airy): *Fig. 2*.

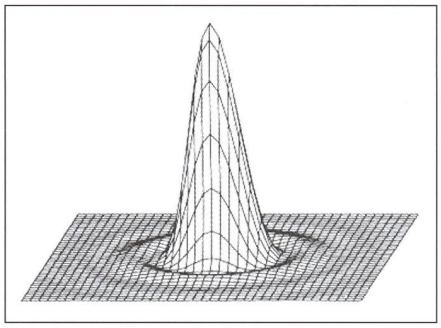
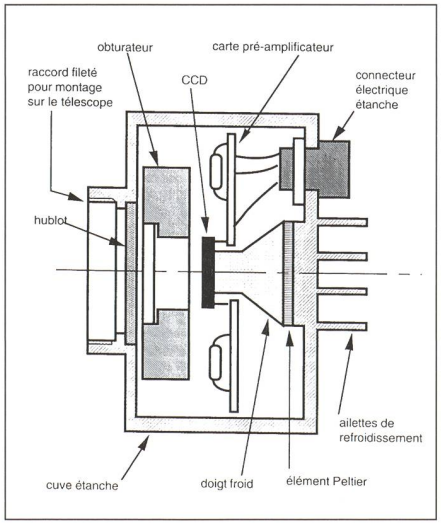


Figure 2

Et ici un exemple d'une tête de caméra CCD:

Figure 3



Le schéma ci-contre montre le fonctionnement d'une caméra CCD:

Il est nécessaire de procéder à une «calibration photométrique», c'est-à-dire à une série de corrections pour que l'intensité de chaque pixel soit proportionnelle au nombre de photons provenant de l'objet pointé. Pour cela, trois sortes de «poses techniques» doivent être réalisées: les «zéros», les «darks» et les «flats».

Les «zéros»

Tous les électrons ne proviennent pas forcément de l'impact des photons sur la plaque de Silicium. En effet, l'agitation thermique produit des électrons libres. Il faut donc quantifier cette production qui est variable d'un pixel à l'autre à cause des défauts de fabrication. On fait une série de poses de 0 secondes dans l'obscurité totale en gardant l'obturateur de la caméra fermé. La correction du bruit thermique se fait ensuite en retirant ce bruit prévu pour chaque image. (Le bruit étant aléatoire, on ne retire que la partie prévisible de ce bruit.)

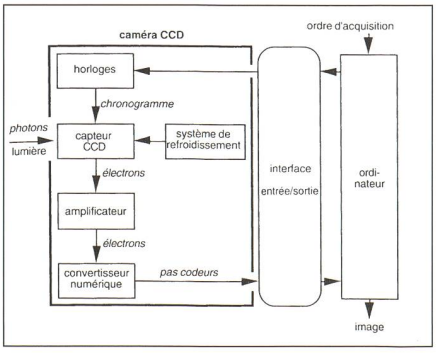
Les «darks»

En l'absence de tout «électron thermique», la caméra CCD produit toujours un signal de sortie non nul: c'est le bruit dû à son fonctionnement. Cette valeur est variable d'un pixel à l'autre. On fait une série de poses d'environ 30 secondes en gardant l'obturateur fermé pour quantifier ce bruit, que l'on retirera ensuite de chaque image.

Les «flats»

Le rendement quantique de chaque pixel – c'est la mesure du nombre de charges crées pour un photon d'une certaine énergie – n'est pas constant (il est fonction de la longueur d'onde). De plus, les photons sont passés à travers différentes optiques. Tout cela fait que le signal n'est pas uniforme. Il faut donc éclairer la caméra CCD avec une lumière uniforme (on utilise le fond du ciel durant le crépuscule) pour obtenir une série d'images qui serviront à uniformiser le signal. On fait une série d'une dizaine de poses dont on fait la moyenne. Pour la

Figure 4



[10] Voir glossaire, sous n°3

correction d'une image, on divise chaque pixel de l'image par le pixel correspondant de l'image de la lumière uniforme (souvent appelée PLU pour Plage de Lumière Uniforme ou Flat Field en anglais). On voit donc que là où il y a beaucoup de signal, on divise par beaucoup, et où il y a peu de signal, on divise par peu (uniformisation).;On obtient des valeurs comprises entre 0 et 1 que l'on multipliera par la valeur moyenne de la PLU pour chaque image. Le signal du aux objets que l'on veut mesurer sera uniformisé et correspondra réellement à la lumière qu'ils émettent. Il est nécessaire de réaliser une PLU par filtre utilisé et par nuit d'observation. En effet les conditions d'observation varient d'un jour à l'autre (température, poussières...).

En résumé, l'ordinateur obtiendra le signal de l'image finale en faisant les opérations ci-dessous, c'est ce que l'on appelle le prétraitement des images:

$$I(x,y) = (I_{brute}(x,y) - I_{offset}(x,y)) \cdot \frac{I_{PLUmoy}}{I_{PLU}(x,y)}$$

Le temps de pose devra être suffisant pour que le flux soit important (il faut que le rapport signal/bruit soit important). Il faut aussi veiller à ne pas saturer la caméra CCD (Fig. 5).

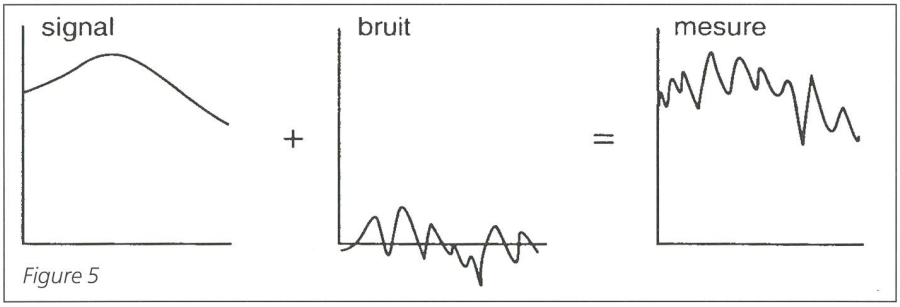


Figure 5

Après le prétraitement suit le traitement des images, voici la procédure lorsqu'il s'agit de mesures d'une étoile variable: toutes les images sont recalées les unes par rapport aux autres, puis une dizaines d'étoiles relativement brillantes du champ sont choisies comme étoiles de référence. Il s'agit de vérifier que leur éclat ne varie pas puisque c'est par rapport à ces étoiles choisies que la variation d'éclat de la variable sera calibrée. On obtient dans un premier temps une courbe de variation d'éclat, relativement aux étoiles de référence: c'est donc une courbe de magnitudes relatives. Ce n'est que dans un second temps que l'on peut obtenir la magnitude apparente de l'étoile en fonction du temps, en opérant une seconde calibration, mais cette fois sur la magnitude d'une étoile de référence, trouvée dans un catalogue stellaire. La courbe de luminosité définitive comporte donc en abscisse le temps (souvent mesuré en fraction de la période) et en ordonnée la magnitude apparente visuelle (ou dans le rouge suivant le filtre utilisé).

Notions de base nécessaires à l'étude des étoiles variables

Les types spectraux et le diagramme HR

L'analyse spectrale, c'est-à-dire l'analyse de la lumière émise par l'étoile dans l'ensemble des longueurs d'ondes du spectre électromagnétique, est une composante très importante de l'astrophysique stellaire: elle donne en effet de multiples indications sur la composition chimique de l'étoile (raies d'absorption), sur ses mouvements (que ce soit de translation radiale ou de rotation, voir point I.B.1.a), sur les champs électriques et magnétiques, sur la température, mais aussi sur la structure et l'état d'évolution de l'étoile étudiée.

Cette analyse des spectres, a aboutit à une classification: la classification spectrale. La notion de type spectral, qui tient compte de critères tels que l'absence ou la présence de certaines raies (d'absorption généralement), et de l'intensité relative de différentes raies, notamment, est importante dans le cadre de ce travail en particulier. En effet, les étoiles présentent une assez grande variété de couleurs, qui sont indicatrices de leur température superficielle. Le type spectral est donc caractéristique de cette température. On verra que certains sous-groupes d'étoiles variables sont déterminés à partir des types spectraux, ou si l'on prend d'autres critères pour former un sous-groupe, il peut arriver qu'un type spectral particulier apparaisse comme également caractéristique de ce sous-groupe.

Le tableau 1 ci-dessous indique la classification spectrale des étoiles.

Mais cette classification spectrale, selon la température, s'est révélée insuffisante. En effet, on s'est aperçu qu'une même classe spectrale pouvait contenir des étoiles très différentes les unes des autres, par exemple des naines rouges et des géantes, voire des supergéantes rouges. En 1911, les physiciens HERTZSPRUNG (1873-1967) et RUSSEL (1877-1957) ont indépendamment eu l'idée de placer les étoiles dans un diagramme logarithmique à deux dimensions – par exemple classe spectrale et magnitude absolue (mais on peut rajouter d'autres paramètres comme la luminosité[11] comparée au Soleil, la température, le rayon, etc.) – qui porte le nom de diagramme HR en leur honneur.

Ci-après, deux diagrammes HR classiques, l'un avec quelques noms d'étoiles représentatives, l'autre indiquant où se trouvent les étoiles variables (seules les Céphéides, W Virginis, RR Lyrae et Mira seront étudiées dans ce travail)

Tableau 1

– La présence ou l'absence de certaines raies n'est pas due à des différences de composition chimique, mais reflète seulement les différences de température des atmosphères.
– Les principaux types spectraux sont encore subdivisés de façon décimale pour affiner la classification. (exemples: B0, B1,..., B9 mais aussi B0, B0.5, B1, etc.)

TYPE	TEMPERATURE	ELEMENTS PREDOMINANTS	COULEUR
O	30'000 K	Eléments très ionisés : He+, N++, Si+++	bleue
B	20'000 K	Raies de l'Hélium neutre, série de Balmer de l'Hydrogène	
A	9000 K	Intensité maximale des raies de H. Apparition des raies de Ca+, Mg+, Si+, Fe+	blanche
F	7000 K	Raies de Ca+ intenses. Affaiblissement des raies de H. Renforcement des raies de métaux ionisés.	
G	5500 K	Raies de Ca+ très intenses. Raies de Fe et d'autres métaux neutres. Apparition de bandes moléculaires CH et CN.	jaune
K	4000 K	Ca+; Métaux neutres; CH, CN, TiO	
M	3000 K	Métaux neutres et bandes TiO	rouge

[11] Voir glossaire, sous n°14

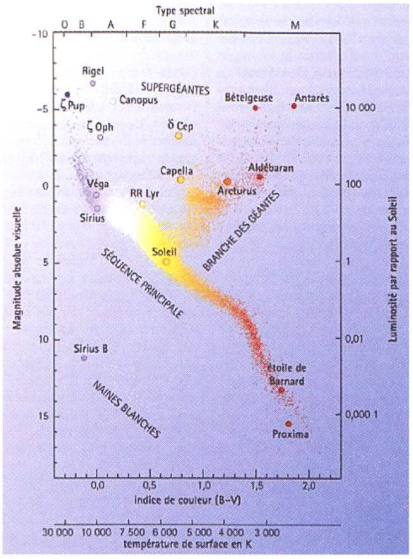


Figure 6

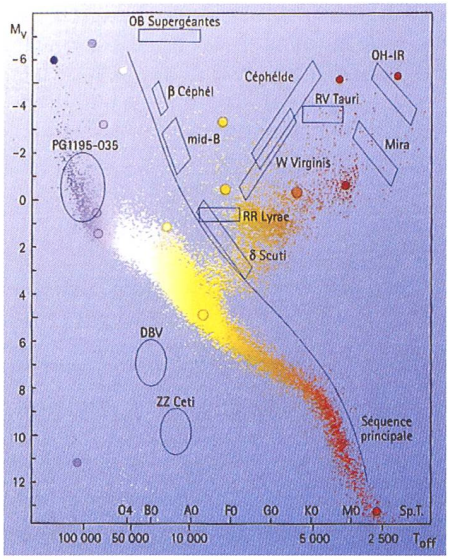


Figure 7

Les étoiles se répartissent en séquences relativement bien délimitées: on remarque un grand nombre d'étoiles sur la diagonale, qui est appelée «séquence principale»[12]; au dessus, la «branche horizontale»;regroupe des étoiles variables caractéristiques (les céphéides et les RR Lyrae, voir chapitre II). Tant que les étoiles évoluent sur la Séquence Principale leur luminosité est fonction de leur masse.

En plaçant une étoile dans ce diagramme, on a une indication sur son état évolutif ainsi que sur son âge. On remarquera que le nombre d'étoiles qui se trouvent dans chaque région du diagramme est proportionnel au temps que chaque étoile y passe au cours de sa vie ainsi qu'à la distribution initiale des masses. Ce diagramme permet donc l'élaboration ou la confirmation de modèles évolutifs: c'est l'outil de base de l'étude de l'évolution stellaire.

Un paramètre appelé classe de luminosité distingue les étoiles de même température, mais de densité différente:

(Voir tableau 2 ci-contre)

Les populations stellaires

La notion de population stellaire a été introduite par Baade; elle exprime l'emplacement des étoiles dans la galaxie, mais aussi leur âge. On verra par la suite que cette notion est très importante pour l'étude des étoiles variables, puisqu'elles peuvent être influencées par leur position galactique.

On distingue deux sortes de populations:

La population I

Elle rassemble les étoiles brillantes, jeunes et bleues pauvres en éléments lourds. Elles sont localisées dans les bras spiraux (et dans le noyau des galaxies). Elles sont associées aux nuages de gaz et de poussières où se forment les étoiles. La population I forme les amas compacts d'étoiles qui sont visibles dans le plan de la Voie Lactée, et de manière générale ces étoiles sont toujours très proche du plan moyen de la galaxie, c'est-à-dire que la population I forme un système plat.

La population II

Elle désigne les étoiles lumineuses plus froides, donc vieilles, rouges et oranges, riches en éléments lourds. Ces étoiles résident pour la plupart dans le halo[13] qui entoure la Voie Lactée et les autres galaxies, dans la région centrale de la galaxie, et dans les amas globulaires (habituellement dans le halo). Ces étoiles peuvent être situés à des distances considérables du plan galactique: on dit que la population II forme un système sphérique.

Ces deux classes sont subdivisées en Population I extrême, vieille Population I, Population du disque, Population II intermédiaire et Population II extrême du halo (Population III).

La place des étoiles variables dans l'évolution stellaire

La cohésion des étoiles est régie par la gravitation qui est compensée par la pression du gaz dont elles sont constituées, la pression de dégénérescence quantique, et la pression du rayonnement stellaire. Lors de ce «combat» entre pression et gravitation, certaines étoiles «trouvent» un équilibre parfait. Dans d'autres cas, l'équilibre n'est pas atteint: l'état d'ionisation de l'hydrogène et de l'hélium constituant l'étoile permet le développement d'instabilités. Des pulsations (caractérisées notamment par la variation du rayon de l'étoile) apparaissent, accompagnées de variations d'éclat.

En ce qui concerne les variables qui vont être étudiées dans la suite de ce travail, nous pouvons résumer leur place dans l'évolution stellaire de la manière suivante:

Céphéides classiques (Cδ):

Ce sont des étoiles riches en Hélium, elles sont situées dans le plan galactique et ont des vitesses faibles. Elles sont jeunes et appartiennent à la population I. L'influence de l'abondance en Hélium engendre des «excursions» en direction de la séquence principale, traduisant des pulsations dans le diagramme HR.

[12] Voir glossaire, sous n°23

[13] Voir glossaire, sous n°10

Tableau 2

CLASSE	TYPE D'ETOILES	REMARQUES
IaO, Ia+	Hyper-supergéante	
Ia	Supergéante lumineuse	
Iab	Supergéante modérément lumineuse	
Ib	Supergéante peu lumineuse	
II	Géante brillante	Etoiles de grandes dimensions et peu denses
III	Géante normale	
IV	Sous-géante	
V	Séquence principale	Etoiles petites et denses
VI	Naines blanches	Etoiles très denses

Voici à titre d'exemple le cheminement dans le diagramme HR d'une étoile au comportement voisin de celui du Soleil.

W Virginis (CW):
Elles correspondent à la partie des céphéides les plus pauvres en Hélium. Ce sont des étoiles vieilles qui appartiennent à la population II.

RR Lyrae:
Ce sont des étoiles qui se trouvent dans les amas globulaires ou qui se déplacent perpendiculairement à la galaxie à une vitesse importante, elles sont vieilles et appartiennent à la population II. Elles sont assez chaudes tout en étant situées dans la zone des géantes. Elles correspondent alors aux étoiles de type solaire brûlant leur Hélium en couche.

Variables à longue période (VLP):
Elles correspondent à des étoiles dans un état de géante rouge en fin d'évolution, lorsque l'Hélium brûle en coquilles. L'énergie nucléaire ne peut être évacuée ainsi facilement, et les pulses alors engendrés soulèvent les couches profondes de la matière pour les mélanger aux gaz de la surface riches en Hydrogène. Les éléments de l'atmosphère de l'étoile sont alors très divers. Le «flash» de la coquille d'Hélium signe ainsi la dernière étape de la vie de l'astre et transforme son cœur en Carbone et en Oxygène.

Voici un tableau rassemblant les caractéristiques importantes quant à l'évolution stellaire.

(à suivre)

LOREN COQUILLE
18, rue de Vermont, CH-1202 Genève

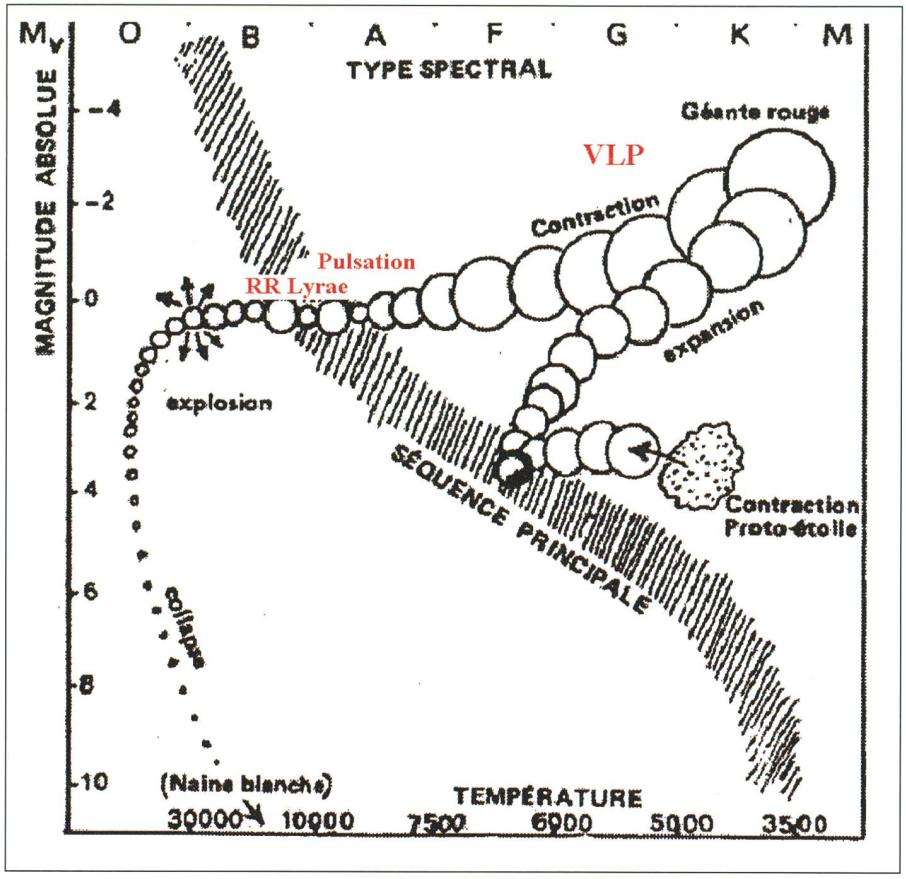


Figure 8

Classe	Période [jrs]	Type spectral	Masse [M⊙]	Position dans l'évolution
Céphéides classiques (Cδ)	1.5 à 50	F6 à K2	~3.7 à 14	supergéantes en fin de vie
W Virginis (CW)	5 à 40	F2 à G8	~1	combustion de l'He, présence de métaux
RR Lyrae	0.25 à 1	A2 à F2	1	combustion de l'He sur la branche des géantes du diagramme HR avec vents (=pertes de matière)
Variables à longue période (rouges) (VLP)	30 à 1000	M, R, N, S	≤ 8	géantes rouges en fin d'évolution

Les caractéristiques importantes de ces différentes classes d'étoiles variables seront reprises en détails par la suite.

SAG - Kolloquium 2004: Astronomie von blossem Auge

Termin: Samstag/Sonntag 12./13. Juni 2004
Zeit: Samstag 15 bis 18 Uhr, Sonntag 9.30 bis 12 Uhr
Ort: Schulungsraum Feriensternwarte Calina in Carona

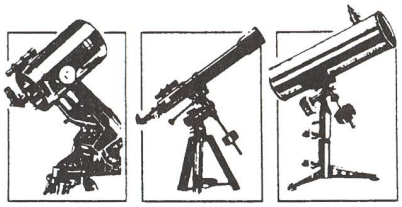
Programmübersicht

– Geschichte der Astronomie von blossem Auge – Einfache Astronomie Beobachtungen und Phänomene – Beobachtungen von blossem Auge – Fotografie mit «normaler» Kamera ohne Nachführung

Anmeldung:
Hugo Jost-Hediger, Lingeriz 89, CH-2540 Grenchen, Tel. 032 653 10 08, email: hugojost@bluewin.ch
Anmeldungen bitte bis spätestens 1. Juni 2004.

Übernachtung in der Sternwarte Calina:
Anfragen bitte an Frau Susanne Brändli, Casella postale 8, CH-6914 Carona, Tel. 091 649 51 91

Ihr Partner für Teleskope und Zubehör



Grosse Auswahl
Zubehör, Okulare, Filter

Telrad-Sucher
Astro-CCD-Kameras
Astro-Software

Sternatlanten
Sternkarten
Astronomische Literatur

Beratung, Service
Günstige Preise

Ausstellungsraum

CELESTRON®
Tele Vue
Meade
AOK
LEICA
Kowa
FUJINON
STARLIGHT XPRESS ASTRONOMICAL AND INDUSTRIAL CCD CAMERAS

FOTO VIDEO
Zumstein
Casinoplatz 8, 3001 Bern
Tel. 031 311 21 13 Fax 031 312 27 14

Alleinvertrieb für die Schweiz: PENTAX®
ANTARES

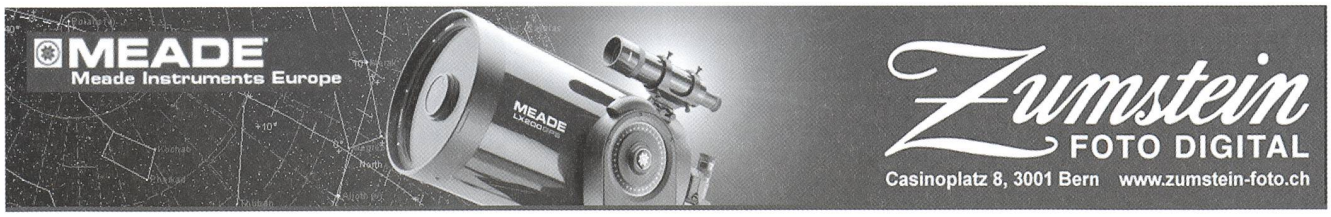
Internet http://www.zumstein-foto.ch **e-mail:** astro@zumstein-foto.ch

MEADE® AKTION

SONDERANGEBOT Gültig bis 31. August 2004
Meade LX200GPS Teleskope sind ein neuer Markstein in der Geschichte der Amateur-Astronomie. Nach einer 2-jährigen Entwicklungszeit im Hause Meade in Kalifornien, treten die neuen GPS-Modelle an und bieten Funktionen und Leistungsmerkmale, die bisher im Amateurbereich einfach nicht erhältlich waren. Dem Anfänger ermöglicht das LX200GPS die Beobachtung der Planeten und hunderter Deep-Sky-Objekte bereits in der allerersten Nacht, draussen unter dem gestirnten Himmel! Ein umständliches Suchen der Objekte per Sternkarte entfällt; genau wie in den grossen Observatorien der Welt können Sie irgendeines der gespeicherten Objekte aufrufen, und das LX200GPS fährt mit der unglaublichen Geschwindigkeit von 8 Grad pro Sekunde zum Objekt und zentriert es im Okular! Dies eröffnet dem Amateur das automatische Positionieren, die elektronische Koordinaten-Auslese, der SmartDrive in beiden Achsen und vieles mehr, unzählige praktische Möglichkeiten, an die er zuvor niemals gedacht hätte.

Schmidt Cassegrain-Optik (D=203mm /254mm; F=2000mm/2500mm, f/10), UHTC Ultra High Transmission-Vergütung auf beiden Seiten der Schmidt-Platte sowie auf beiden Spiegeln, motorischer Zero-Image-Shift Mikrofokussierer mit 4 Geschwindigkeiten, mikroprozessorgesteuerte DC-Servomotoren in RA und DEC mit multifunktionalem Power-Panel, GoTo-Positionierung, integrierte Objekte-Bibliothek mit über 145'000 fest gespeicherten Himmelsobjekten, GPS-Initialisierungs-System durch 16-Kanal GPS-Empfänger, Ganzmetall-Dreibeinstativ, Super-Plössl Okular f=26mm, Zenitprisma 1.25" und 8x50 Geradesichtsucher.

Meade LX200GPS 10"CHF 5955.- statt CHF 6551.-
Meade LX200GPS 12"CHF 8040.- statt CHF 8935.-



Stützpunkthändler für die Schweiz