

Spectrographie d'étoiles variables cataclysmiques à l'aide d'un réseau Star Analyser



François Teyssier

Présentation : j'ai eu l'occasion de m'initier à la spectrographie lors d'un stage organisé en août 2009 par l'association Aude à l'Observatoire de Haute-Provence. Après les premiers tâtonnements sur les étoiles brillantes et les classiques de la spectro amateur (Etoiles Be notamment), je me suis tourné vers mon sujet de prédilection en photométrie : les variables cataclysmiques.

Résumé : le réseau Star Analyser permet d'obtenir des spectres de variables cataclysmiques de magnitude 10 à 12 sur lesquels on reconnaît les principales figures (aspect du continuum, principales raies d'émission ou d'absorption). Il s'agit d'un instrument intéressant pour une première approche de la spectroscopie qui donne des résultats fort éducatifs. Par contre l'absence de fente réduit la résolution ce qui provoque un étalement important des raies et ne permet pas d'envisager d'études autres que qualitatives. Ces résultats, par contre, montrent que le passage à un instrument à fente tel le Lires III ou le SBIG SST-7 permet d'envisager des études approfondies des cataclysmiques les plus brillantes au moins jusqu'à la magnitude 12.

Introduction

Les étoiles variables cataclysmiques sont des étoiles binaires semi-détachées, très rapprochées, dont l'étoile secondaire, généralement une naine rouge, occupe le lobe de Roche et déverse de la matière vers l'étoile principale, une naine blanche.

Dans les systèmes non-magnétiques, la matière éjectée de l'étoile secondaire commence par former un disque d'accrétion autour de la naine blanche. Le point de contact entre le flux de matière et le disque forme un « point chaud » particulièrement brillant. Lorsque la densité de matière accumulée dans le disque dépasse une certaine limite sa viscosité augmente ainsi que sa température. La luminosité du disque augmente alors fortement : c'est l'« outburst » avec une variation de magnitude de 3 à 8 selon les systèmes. Ce sont ces brutales et rapides variations de luminosité (1 à 2 jours en général) qui ont donné leur nom aux variables cataclysmiques.

Le spectre (et la luminosité) des variables cataclysmiques) est le résultat de la composition de ces différentes sources de lumières : celles faibles (en général) de l'étoile secondaire et du disque à l'état calme ; celles plus intenses de la naine blanche, du point chaud et du disque à l'état d'outburst. La présence d'hydrogène dans le disque excité par le rayonnement donne en particulier naissance aux raies d'émission de la série de Balmer.

Les spectres des cataclysmiques montrent une grande variété d'aspects selon le type de système, mais aussi d'une étoile à l'autre. Ils présentent également une variabilité importante pour un même objet selon son état (calme ou outburst), son orientation, ou encore du fait des éclipses pour certains d'entre eux.

Matériel et mode opératoire

Le matériel utilisé consiste en un Schmidt Cassegrain de 254 mm muni d'un réducteur de focale, d'une caméra Starlight SXV-H9.

Le réseau Starnalyser (100 traits/mm) est placé sur le chemin optique à une certaine distance du capteur. Cette distance détermine la dispersion du spectre mesurée en Angströms par pixel (Å/px). Dans mon montage, je l'ai placé sur le tube 1.25" qui permet de lier le porte-filtre au porte oculaire. J'ai gardé le porte-filtre afin de passer rapidement de la photométrie à la spectro pour une même cible. Cette distance donne une dispersion de 9,2 Å/px.

La première étape consiste à placer la cible dans le champ couvert par la CCD. Pour ma part j'utilise le logiciel Maxim DL et la réduction astrométrique PinPoint qui permettent rapidement (en deux ou trois images généralement) de placer la cible au centre du capteur.

On met alors le réseau en place.

1. Il faut alors orienter le réseau par essais successifs pour aligner au mieux les spectres avec les lignes de pixel. Cette opération est fastidieuse car elle oblige à démonter l'ensemble caméra/réseau à chaque essai. Une fois l'orientation du réseau assurée, il est donc utile de tracer un repère pour les mises en place suivantes.

2. Il convient de recadrer l'image pour obtenir à la fois le spectre et l'ordre 0, ce qui sera utile ensuite pour le calibrage en longueur d'onde. Remarque : il arrive dans des champs fournis en étoiles qu'une autre étoile (ou plus exactement son ordre 0) se superpose au spectre de l'objet étudié, il faut alors tourner la caméra (et la caméra seulement, pas le réseau) pour sortir l'étoile du spectre étudié.

On passe alors à la focalisation. L'erreur du débutant (dans laquelle bien sûr je suis tombé) consiste à focaliser sur l'ordre 0 pour en obtenir l'image la plus fine. C'est en fait sur le spectre lui-même qu'il faut en réalité focaliser afin d'obtenir les raies les plus fines possibles. Cela implique que les raies soient visibles soit pour l'objet étudié soit pour une autre étoile située dans le champ. Maxim DL

facilite cette opération grâce à une fenêtre que l'on trace en encadrant le spectre et qui donne un graphe de l'intensité lumineuse (plusieurs choix possibles parmi lesquels le maximum ou la médiane). Enfin il faut affiner la focalisation dans la zone qui aura le plus d'intérêt (entre 4000 et 6500 Å). La deuxième erreur du débutant (à laquelle je n'ai pas échappé non plus) consiste effectivement à focaliser là où c'est le plus facile : sur les raies d'absorption les plus évidentes se situant dans l'infrarouge et qui sont souvent celles de l'atmosphère.

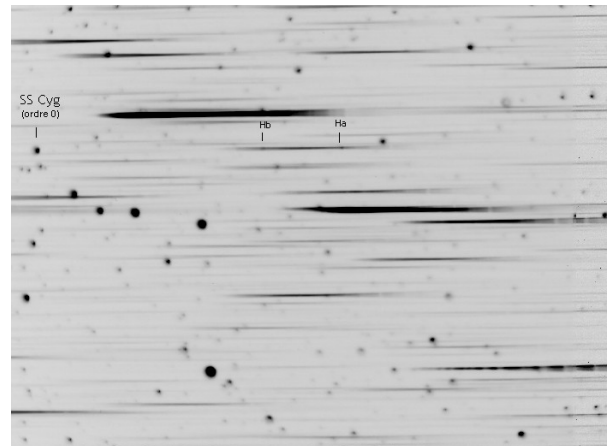


Image du champ de SS Cyg. Les spectres sont orientés horizontalement dans le sens des lignes de pixels. Le spectre d'ordre zéro est indiqué. Les raies Ha et Hb du spectre d'ordre 1 apparaissent sous la forme de points plus intenses

1.

L'acquisition peut alors commencer. La durée de pose doit être ajustée en fonction de la luminosité afin d'acquérir le meilleur rapport signal/bruit possible. Les spectres des étoiles de référence (Véga par exemple) qui serviront à la calibration ne nécessitent que quelques dixièmes de seconde. Les objets que j'ai choisis nécessitent des poses plus longues (30 secondes à magnitude 10, 120 secondes à magnitude 12). Pour les poses de 120 secondes il m'a été nécessaire de mettre en route l'autoguidage.

Le traitement des images est ensuite classique (soustraction du dark, traitement cosmétique des pixels chauds). L'addition des images pour augmenter le rapport signal bruit peut se faire classiquement par registration stellaire sur une plusieurs étoiles. Le fond de ciel doit être soigneusement soustrait. Enfin, il faut isoler le spectre en découpant l'image (crop autour de celui-ci).

On peut aussi utiliser les fonctions plus spécifiques offertes par IRIS et qui permettent notamment de soustraire automatiquement le fond du ciel et de transformer le spectre en 2D.

Le spectre peut alors être analysé à l'aide de VisualSpec, le superbe logiciel de Valérie Desnoux.

La procédure consiste à calibrer le spectre en longueur d'onde, à le normaliser en le divisant par la réponse spectrale obtenue en travaillant sur le spectre d'une étoile de référence. Je ne décris pas la méthode, cela nécessiterait un long article. Le suivi des tutoriaux disponibles sur le site de VisualSpec doit permettre d'obtenir un résultat. Il ne faut pas cacher que cela nécessite un certain travail avant de bien maîtriser le logiciel. On ne saurait trop recommander de participer à un stage régulièrement organisé par l'association Aude.

On obtient alors le spectre classique sous la forme d'une courbe représentant l'intensité en fonction de la longueur d'onde.

Les difficultés et les limites.

Ne disposant pas de fente, le réseau donne un spectre qui n'est pas focalisé sur toute son étendue. On a alors tendance à avoir certaines raies bien définies, alors que celles situées à l'autre extrémité forment un disque qui donnera un élargissement et même un dédoublement des raies.

La résolution peut être améliorée en augmentant la distance entre le réseau et le CCD. Un CDD de taille moyenne comme celui de la starlight, l'étalement du spectre devient tel qu'on ne peut plus faire entrer l'ordre 0 sur le capteur, ce qui n'est pas un problème pour l'étalonnage en longueur d'onde dès lors que l'on peut identifier sûrement les raies présentes. Si le guidage en ascension droite n'est pas parfait, on peut améliorer le résultat en plaçant le SA de tel sorte qu'il forme un spectre vertical (il faut aussi tourner la caméra à la verticale pour bénéficier de la

meilleure dispersion possible). De la sorte, les petites erreurs de guidage augmentent la largeur du spectre, mais les raies se déplaçant sur le capteur dans la même orientation ne sont pas affectées.

Choix des cibles

Les cataclysmiques sont des objets faibles, voire très faibles. Hormis les trop rares novae, la luminosité maximale atteinte par quelques uns seulement d'entre eux est de 8 environ. Quelques dizaines dépassent la magnitude 12 durant leurs outbursts.

La plupart des cibles en photométrie sont plus faibles que magnitude 12 : on travaille régulièrement à 14, 15 voire au-là. Ce champ n'est pas accessible à la spectroscopie amateur avec des moyens habituels : le spectre obtenu étale en effet la lumière sur un grand nombre de pixels et le rapport signal bruit est fortement diminué.

Au moins pour les premiers essais, il a donc fallu se centrer sur les objets les plus brillants. Il en existe fort heureusement dans cette classe des cataclysmiques, il s'agit des « novae-like ». Dans cette sous-classe ont été regroupés des objets parfois fort différents, mais qui tous avaient la particularité de présenter un spectre semblable à celui des novae. Plusieurs nova-like ont une luminosité respectable (au alentours de 10) tout comme les novae naines en outburst et cela pour la raison suivantes : elles sont en fait en permanence à l'état d'outburst, du fait du taux important de matière éjectée par l'étoile secondaire.

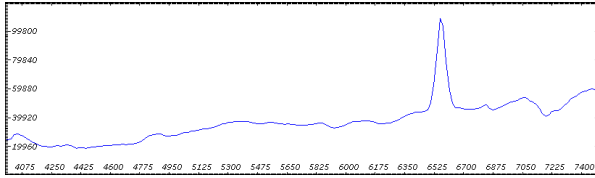
Parmi les novae naines, il en est une qui est en permanence dans le domaine accessible à la spectrométrie, il s'agit de SS Cygni, qui varie de 12 à 8 environ, avec des outbursts espacés en moyenne d'une quarantaine de jours.

Pour les autres novae naines, il faudra attendre les courtes périodes d'outburst pour tenter d'acquérir les spectres.

Pour les 4 résultats présentés sur les pages suivantes, on trouvera le spectre obtenu à l'aide du montage décrit dans cet article, un spectre issu d'une publication datant de 1982, l'image du champ en négatif

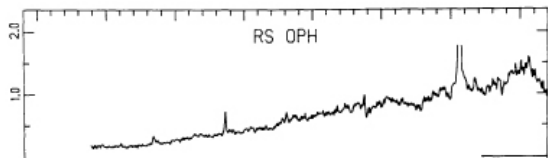
RS Oph

RS Ophiuci est une nova récurrente qui est entrée en éruption en 1898, 1933, 1958, 1967, 1985 et 2006 atteignant à chaque fois une magnitude d'environ 5.



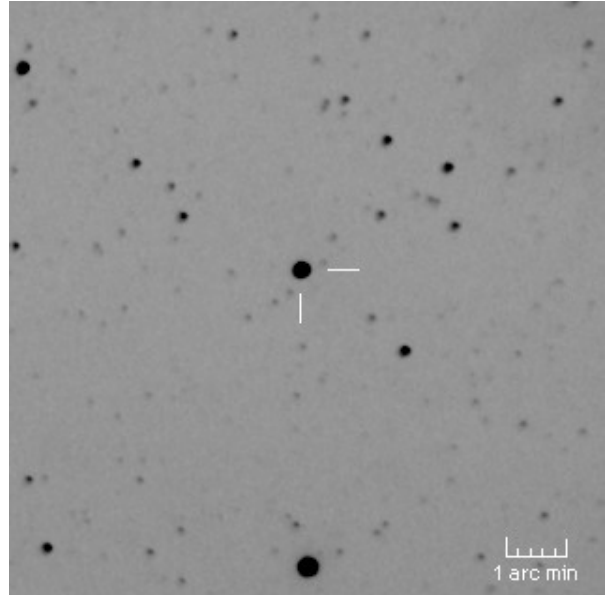
19 08 2009 22:29 UT 16x30 s

Le spectre est celui d'une étoile de type M3 (la secondaire) sur lequel se superposent les raies d'émission de la série de Balmer (Hydrogène) produite par de disque d'accrétion. La forte raie H α est facilement discernable. La raie H β est plus étalée mais néanmoins visible



Williams 1982

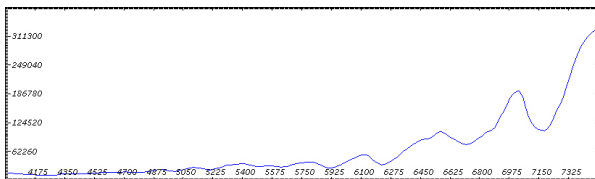
Type	Nova récurrente
AD2000	17:50:13.16
DE2000	-06:42:28.50
Mag Max	
Mag Min	12.5



19 08 2009 21h53m TU Exposition : 12x60 s
Mag V = 10,56 (0,01)

T CrB

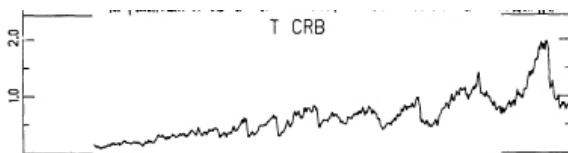
T Coronae borealis est une autre nova récurrente qui est entrée deux fois en éruption en 1866 et 1946 atteignant la magnitude 2.



20 08 2009 21:18UT 16x30s

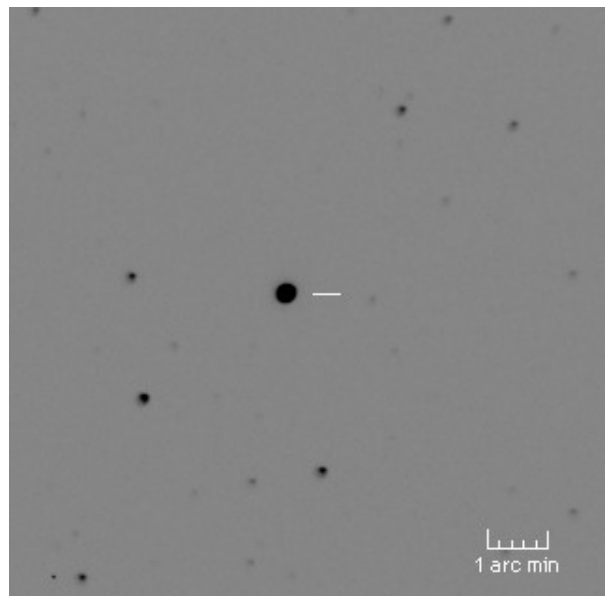
Le spectre est dominée par l'étoile secondaire de type M3 et ses raies raies d'absorption dues à l'oxyde de titane

La raie H α ici étalée est tout juste discernable



Williams 1982

Type	Nova récurrente
AD2000	15:59:30.16
DE2000	25:55:12.60
Mag Max	2.0
Mag Min	11.3

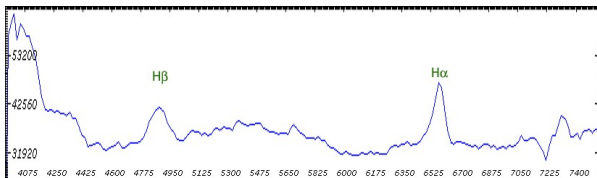


20 08 22:28 TU Exposition 16x15 s

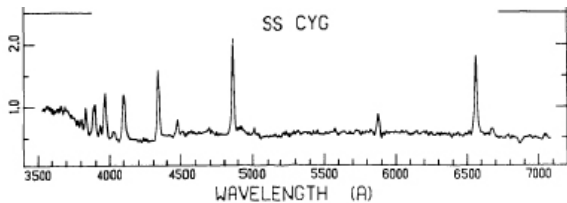
SS Cygni

SS Cygni est l'une des novae naines les plus connues. Sa magnitude varie de 8 à 12 environ, c'est donc la seule nova naine à être en permanence au dessus de mag 12. Ses outbursts sont par ailleurs fréquents.

Ces caractéristiques en font donc une cible de choix pour qui voudrait tester la possibilité de la spectrographie amateur sur les cataclysmiques.

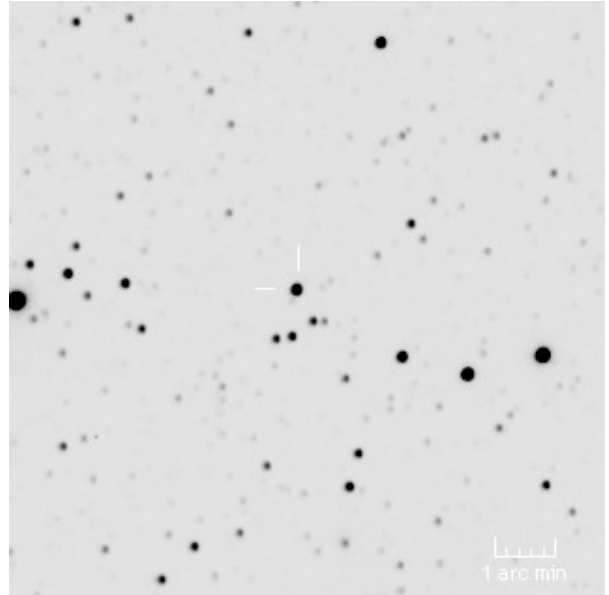


Le spectre se caractérise par un continuum plat dans le domaine du visible sur lequel se superposent les raies en émission de la série de Balmer



Williams 1982

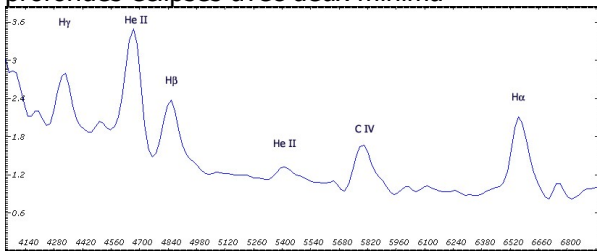
Type	Nova naine
AD2000	21:42:42.80
DE2000	43:35:09.90
Mag Max	8,2
Mag Min	12,1



18 08 2009 21:02 16x30 s
Mag V = 11,81 (0,02)

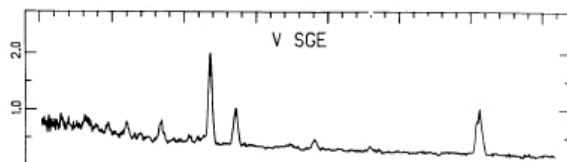
V Sge

V Sge est classée comme cataclysmique de type nova like par Downes (2007). Toutefois, Smak (2001) considère qu'il s'agit d'une binaire serrée en interaction entourée d'une enveloppe gazeuse, plutôt que d'un disque d'accrétion autour de la naine blanche. V Sge présente de plus de profondes éclipses avec deux minima



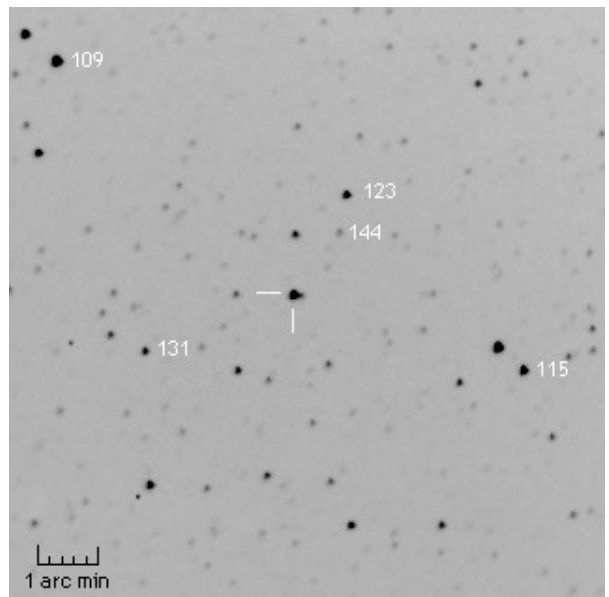
11 09 2009 20:08 UT 8 x 120 s

Les intenses raies d'émission de l'hydrogène, de l'hélium (I et II) et même du carbone en font un objet particulièrement spectaculaire en spectroscopie



Williams 1982

Type	Nova Like (?)
AD2000	20:20:14.69
DE2000	21:06:10.40
Mag Max	10,5
Mag Min	14,5



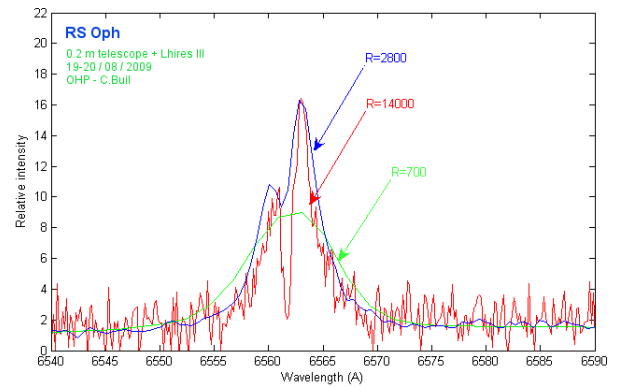
Bilan et Perspectives

Ces résultats, largement améliorables, montrent que le champ de l'observation des cataclysmiques est ouvert aux amateurs, au moins dans la petite partie émergée de l'iceberg, les étoiles atteignant une magnitude de 12, peut-être 13. Cela représente (à partir d'une extraction réalisée à partir du catalogue Downes) une petite centaine d'objets, dont une quinzaine sont en permanence ou dans le domaine accessible. Il y a donc un créneau. Avec là-encore, tout comme en photométrie, l'avantage (le seul !) des amateurs sur les professionnels : la possibilité d'observer quand ils le veulent, aussi longtemps qu'ils le veulent, d'où la réactivité lorsque se produit un outburst ou tout autre phénomène imprévu et la constance dans le temps permettant, éventuellement de mettre en évidence des évolutions, des changements sur le long terme. Ainsi, dans article paru en 2002, L. Morales-Rueda et T. R. Marsh précisent que seuls 30% des variables cataclysmiques ont été étudiées durant leurs outbursts.

Dans cette perspective, le StarAnalyser montre ses limites. Le passage à des spectroscopes à fente, en haute ou en basse résolution est indispensable.

C'est ce qu'a réalisé Christian Buil : Il est possible en basse résolution d'obtenir des spectres couvrant tout le domaine visible avec des raies fines, mesurables. Il est possible d'obtenir en haute-résolution, sur une domaine étroit, par exemple celui de la raie H α de nombreuses informations, en intensité, en vitesse radiale ...

Ces résultats sont bien sûr à consolider mais laissent optimistes sur l'exploration à venir de ce nouveau champ de façon plus systématique par des amateurs avec, pourquoi pas, des collaborations de suivis photométriques et spectrométriques en parallèle. Les amateurs ont joué important depuis plus d'un siècle dans le suivi photométrique des variables cataclysmiques. Un créneau leur est ouvert en spectrométrie



Un spectre acquis par Christian Buil montre la raie H α de RS Ophiucii à plusieurs résolutions. Le dédoublement de la raie provoquée par la rotation du disque d'accrétion est clairement mise en évidence. Des mesures précises de vitesse radiale, de la période de rotation, de la position du point chaud en fonction de la phase sont envisageables.

Ressources et références

Matériel

Shelyak

<http://pagesperso-orange.fr/shelyak/fr/index.html>

Logiciels

VisualSpec et sa documentation : <http://www.astrosurf.com/vdesnoux/>

IRIS : <http://www.astrosurf.com/~buil/iris/iris.htm>

Pages Internet

Les spectres de cataclysmiques obtenus par Christian Buil : <http://astrosurf.com/buil/cataclysmic/obs.htm>

Pages cataclysmiques : [www.astronomie-amateur.fr/Variables Cataclysmiques.html](http://www.astronomie-amateur.fr/Variables_Cataclysmiques.html)

Ouvrages

Cataclysmic Stars : How et Why they vary, Hellier, Springer (2001° Une excellente synthèse

Cataclysmic variable stars, Warner, Cambridge University Press (1995) : la "bible", avec énormément d'informations détaillées et de références

Publications

Downes, catalogue en ligne sur : <http://archive.stsci.edu/prepds/cvcat/>

Williams, Spectroscopie of Cataclysmic Variables, A. J. Supp. Ser., 53:523-551 (1983)