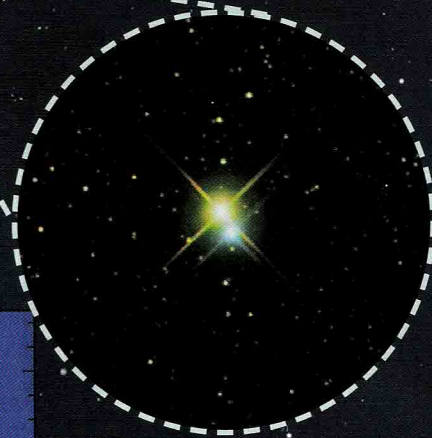
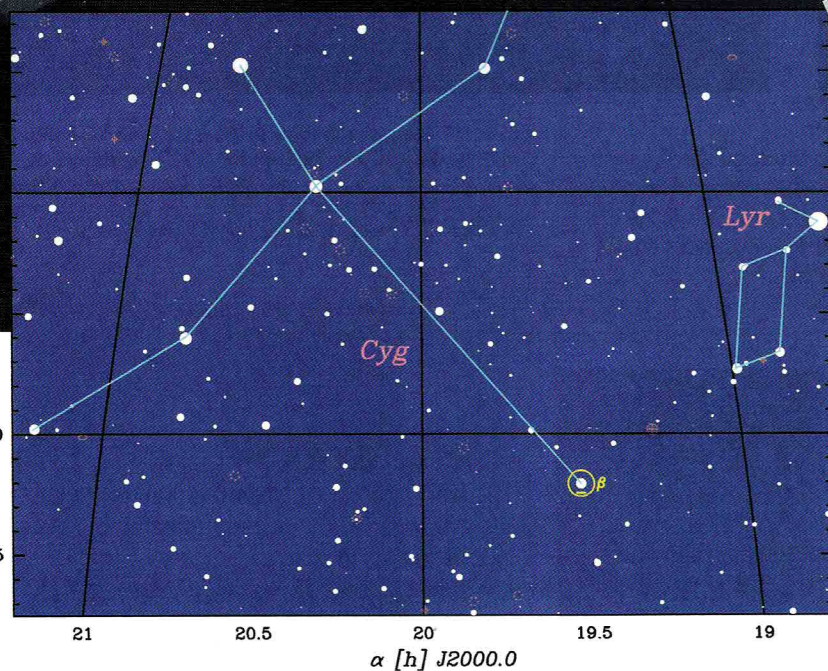


DAVID ANTAO
<http://astrosurf.com/spectro david/>
davidantao@e-kiwi.fr

ALBIRÉO EN SPECTRO



par Richard Yandrick
 (Cosmicimage.com).

Depuis quelques années, le monde de la spectroscopie s'est ouvert aux astronomes amateurs. C'est avec intérêt que j'en ai eu connaissance en 2008 grâce à un article de vulgarisation.

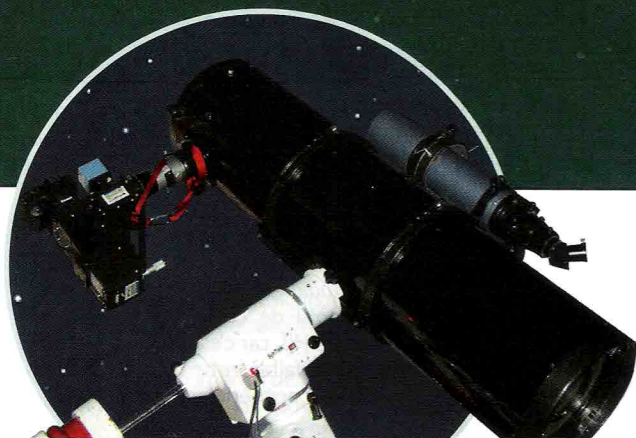
Après plusieurs années d'observation visuelle intensive avec un Dobson de 345 mm – que j'ai construit moi-même –, j'étais en attente d'autre chose. Mon intérêt pour l'astrophotographie ne s'étant pas développé (trop contraignant à mon goût pour un résultat mitigé comparé à ce que l'on peut voir sur Internet), j'ai donc osé me lancer dans la spectro.

Mes premières armes dans la spectro

Dans un premier temps j'ai fait l'acquisition d'un *Star analyser 100* (pas très onéreux, environ 125 €) pour voir les résultats que cela pouvait donner. Le *Star analyser 100* se monte comme un simple filtre devant un APN (appareil photo numérique) ou une caméra. Et c'est ainsi que j'ai commencé à faire de la spectroscopie et à mesurer la température des étoiles depuis mon jardin. C'est surprenant comme cela marche bien, sauf pour les étoiles chaudes dont la mesure est plus délicate comme on le verra un peu plus loin. Satisfait de mon achat, je voulais aller encore plus loin.

Sur le marché il y a le spectroscopie *Lhires III* commercialisé par la société française Shelyak (1). Son coût est plus élevé, environ 2 850 €, mais cela reste encore abordable pour des amateurs ; et surtout, cet outil ouvre la porte à de vraies études scientifiquement correctes. De plus il est assez polyvalent, car on peut y monter plusieurs réseaux et ainsi passer d'un réseau de 150 tr/mm (pour des spectres basse résolution) à d'autres réseaux de 300, 600, 1200 ou 2 400 tr/mm (pour la haute résolution).

L'acquisition de la technique et la mise en œuvre sont quand même, il faut le dire, assez difficiles, ou plutôt exigeantes de rigueur. Mais pas plus que l'astrophotographie !



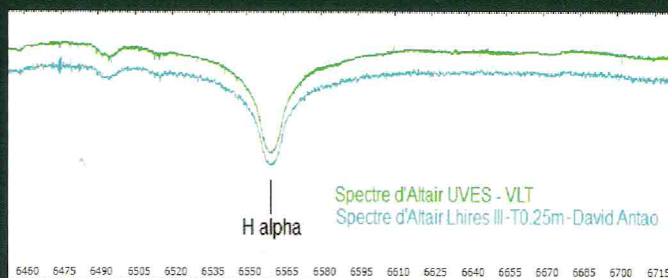
2. La chaîne d'acquisition, montage du Lhires III sur le télescope.

Un projet excitant, la double Albiréo

Me voilà enfin opérationnel sur la technique d'acquisition et le traitement. Et une question vient à ce moment-là, quel projet réaliser ? Il y a bien l'étude des étoiles Be et la mise à disposition de nos spectres sur la base de données professionnelle BeSS (3), auxquelles je participe, mais je voulais aussi un projet plus personnel, plus divertissant. C'est là que je me tourne vers une des plus belles étoiles doubles du ciel : **Albiréo**. Elle est parfaite ! Les deux composantes ont une couleur différente, jaune pour la principale (Bêt1 Cyg) et bleue pour la seconde (Bêt2 Cyg). Cette différence de couleur trahit la différence de température de surface des étoiles et donc leurs spectres sont de classes spectrales différentes. Cela sera bien visible avec le réseau basse résolution (300 tr/mm) dès la première image brute. Mon objectif est triple :

- mesurer la température de chacune des deux étoiles ;
- mesurer les vitesses radiales des deux composantes et en déduire leur sens de rotation dans ce système physiquement lié.

Après l'apprentissage de la mise en station de ma monture EQ6 achetée pour l'occasion, la technique de pilotage et de l'autoguidage avec un micro, me voici parti pour l'acquisition de mes premiers spectres haute résolution. Le traitement est assez facile grâce au logiciel développé par Christian Buil : ISIS (2). Dans un premier temps j'ai choisi des cibles que j'ai pu comparer à des spectres de référence comme Altair et son spectre issu de l'instrument UVES du VLT. Et c'est remarquable de voir comment les deux spectres sont identiques (fig. 1).



1. Comparaison d'un spectre d'Altair réalisé au VLT et d'un spectre d'Altair réalisé avec le Lhires III réseau 2 400 tr/mm et un APN canon 1000D.

● LA CHAÎNE D'ACQUISITION

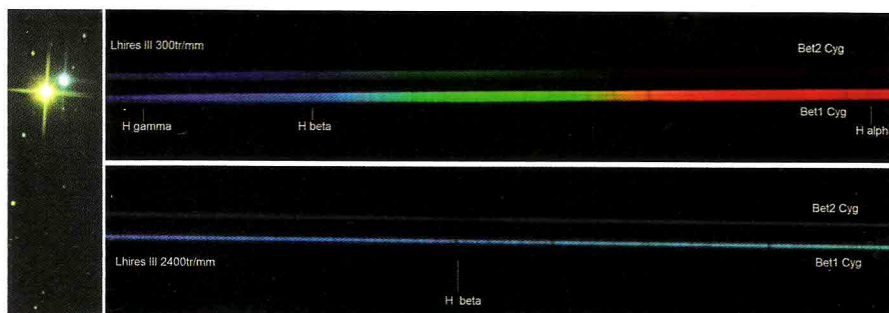
Télescope Newton C10-N (d = 250 mm et f = 1200 mm) + Barlow Powermate 2x (car le Lhires III est conçu pour travailler à focale f/d = 10) + le Lhires III avec le réseau 300 tr/mm et le réseau 2 400 tr/mm + un APN Canon 1000D défiltré (sans filtre Baader) + une webcam DMK pour l'autoguidage sur la fente du spectro (fig. 2).

● MÉTHODE DE TRAVAIL

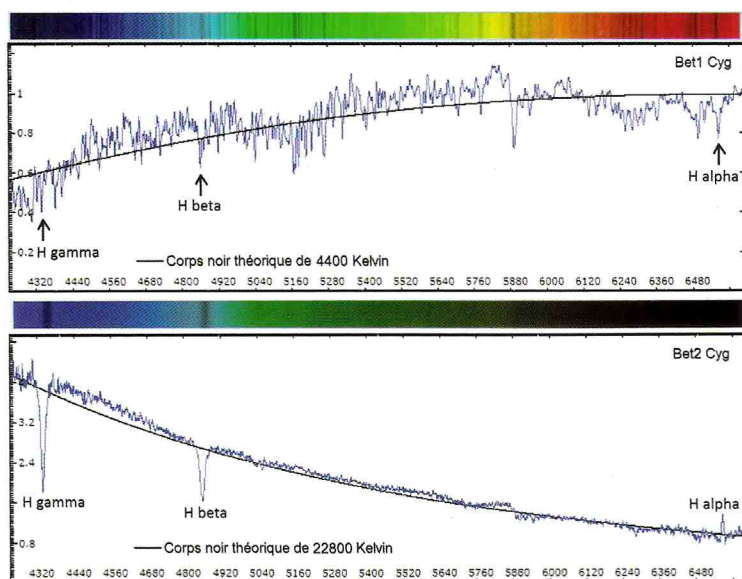
Avec une bonne orientation du Lhires III on peut obtenir en même temps le spectre de chacune des deux composantes d'Albiréo. La procédure est :

- 1 – acquisition d'une image de la lampe de calibration ;
 - 2 – série de 11 images de l'étoile ;
 - 3 – acquisition d'une image de la lampe de calibration pour vérifier si rien n'a bougé ;
 - 4 – série d'une acquisition de 5 flats avec une lampe halogène.
- Les premiers résultats sont visibles de suite (fig. 3) !

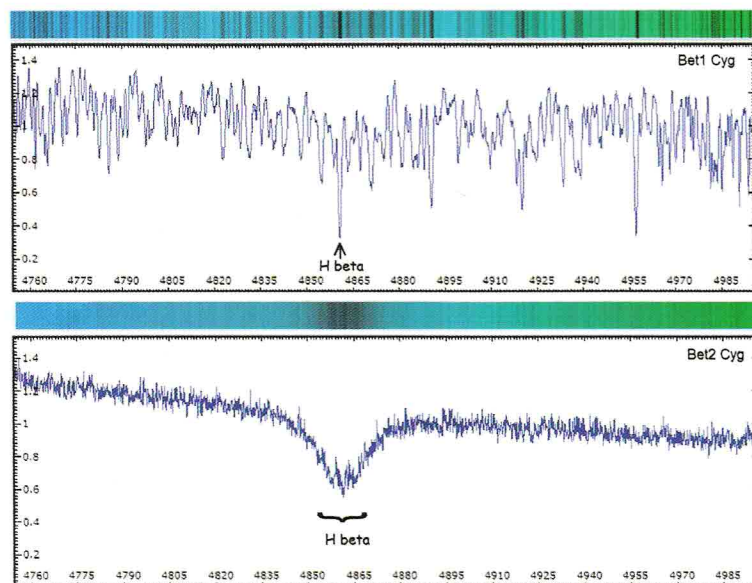
Comme attendu, les spectres aussi bien en basse qu'en haute résolution sont très différents. Très lisses (sans raies) pour l'étoile bleue, la chaude (Bêt2 Cyg) ; par contre l'étoile jaune (Bêt1 Cyg) présente une multitude de raies spectrales, aussi bien en basse qu'en haute résolution.



3. Les spectres des composantes d'Albiréo en basse et haute résolutions qui ont servi à l'étude, et, à gauche, photo d'Albiréo par David Antao.

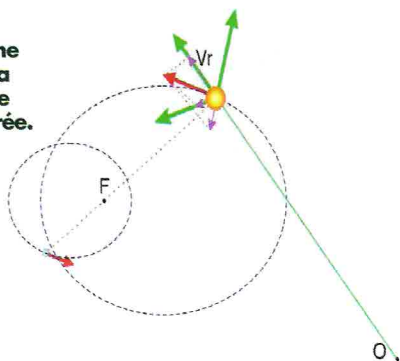


4. Spectres basse résolution des deux composantes, réduits et prêts à l'exploitation ; chaque spectre est superposé au spectre théorique de corps noir qui lui correspond le mieux.



5. Spectres haute résolution réduits et prêts à l'exploitation. On voit très bien la différence de largeur de la raie H β entre les deux composantes.

6. Schéma d'un système d'étoile double avec la composante de vitesse radiale V_r qui est mesurée.



L'exploitation des spectres obtenus

La « réduction » des spectres avec ISIS est assez facile : il suffit d'indiquer quelques paramètres et ensuite le logiciel s'occupe de tous les traitements (fig. 4).

Et là, première surprise ! Sur la courbe du bas, on remarque que la raie H α de l'étoile Bêt2 Cyg est en émission et non en absorption comme pour l'autre étoile. Pourquoi ? Serait-ce une étoile Be ? Mais les raies H β et H γ ne sont pas en émission comme sur Gamma Cassiopee, une étoile Be de référence. Des recherches en perspective...

Rappelons que les étoiles Be sont des étoiles qui ont autour d'elles un disque de matière chaude d'où les raies de l'hydrogène en émission. La forme du profil des raies nous renseigne sur l'inclinaison du disque, sa densité, sa température, etc.

● LES MESURES : TEMPÉRATURES ET VITESSES RADIALES

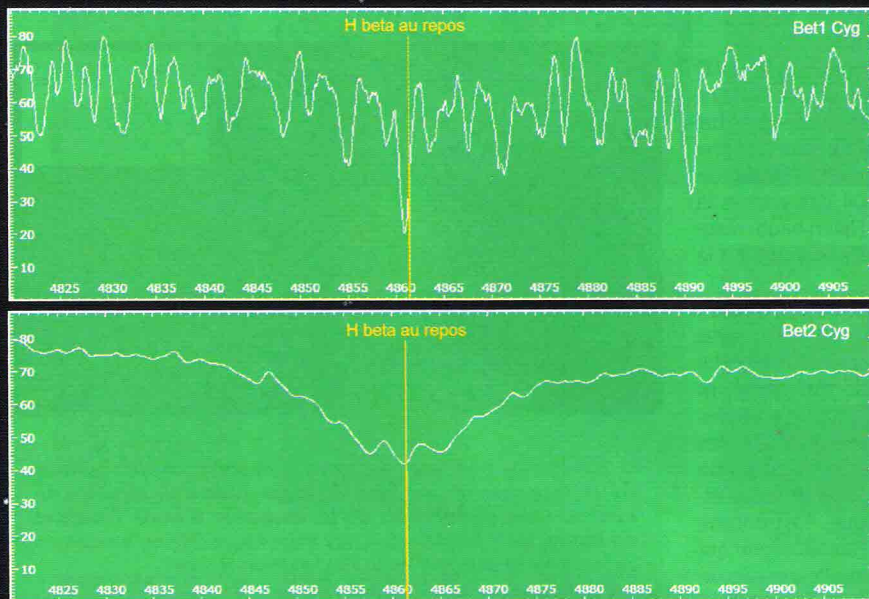
Je passe ensuite au logiciel Visual Spec (4) pour faire d'abord des mesures de températures. C'est assez facile car Vspec à une fonction « auto Planck » qui va comparer notre spectre en basse résolution à des spectres de corps noir théorique (fig. 4).

Bien sûr j'ai corrigé mes spectres de l'absorption atmosphérique, qui a tendance à les faire rougir, sans quoi ma mesure serait faussée. J'obtiens pour **Bêt1 Cyg** (la composante jaune) une température évaluée à **4 400 K**, et pour **Bêt2 Cyg** (la composante bleue) une température évaluée à **22 800 K**.

Pour mesurer les vitesses radiales, j'utilise les spectres en haute résolution. J'ai choisi de centrer mon image haute résolution sur la raie H β , car c'est là que la différence de signal était la plus faible entre les deux composantes et donc je pouvais acquérir les deux spectres sur la même image (fig. 5).

On sait que si un objet se rapproche de nous, les raies de son spectre sont décalées vers le bleu et que s'il s'éloigne de nous, elles sont décalées vers le rouge. C'est l'effet Doppler-Fizeau. Et aussi que plus les vitesses sont élevées, plus les décalages sont grands. C'est par cet effet qu'Edwin Hubble a mis en évidence la fuite des galaxies ou *redshift* (décalage vers le rouge). Cependant, il y a une restriction car on mesure uniquement la composante de la vitesse sur notre ligne de visée (fig. 6).

Avant de pouvoir exploiter mes spectres, il fallut les corriger de la vitesse héliocentrique. Mais, de quoi s'agit-il ? Je réalise mes observations sur la Terre. Et depuis Copernic, nous savons que la Terre n'est pas fixe. Il y a deux mouvements qui l'animent. Sa rotation et sa révolution. Donc, en fonction de la position de l'objet que l'on vise, il faut appliquer une correction. Le logiciel ISIS nous permet de calculer facilement cette correction à appliquer en fonction de l'heure d'observation, de notre position sur la Terre et de l'astre observé. Dans mon cas, il faut appliquer une correction de vitesse radiale de $-18,39$ km/s. Cette valeur est négative, cela signifie que, lors de ma mesure, les mouvements de la Terre me rapprochaient d'Albireo.



7. Superposition de la raie H β au repos et des spectres en haute résolution d'Albiréo. On remarque très facilement le décalage de la raie H β du spectre de Bêt1 Cyg, avec la raie H β pour un corps au repos. Ce décalage trahit la vitesse radiale de l'étoile. La raie étant décalée vers le bleu (plus courtes longueurs d'onde), l'étoile se rapproche donc de nous.

Après cette correction, on peut mesurer la vitesse radiale des deux composantes d'Albiréo. La formule est assez simple : $Vr = (\Delta\lambda / \lambda) c$ avec Vr = vitesse radiale (sur notre ligne de visée), $\Delta\lambda$ = longueur d'onde observée - longueur d'onde au repos, λ = longueur d'onde au repos, et c = vitesse de la lumière.

Avec Visual Spec j'affiche les spectres et la position de la raie H β pour un corps au repos (fig. 7).

Avant même de faire les calculs, je remarque que la raie H β d'Albiréo 1 (l'étoile jaune) est décalée vers le bleu. Donc elle se rapproche de nous.

Avec Visual Spec on peut déterminer très précisément le centre des raies, et j'obtiens : H β au repos à 4 861,33 Å (Angström) ; le centre de la raie H β de Bêt1 Cyg à 4 860,889 Å, soit un écart de $\Delta\lambda = -0,441\text{Å}$; celle de Bêt2 Cyg à 4 861,187 Å, soit un écart de $\Delta\lambda = -0,143\text{Å}$.

Je peux alors calculer les vitesses radiales, ce qui donne pour Bêt1 Cyg (l'étoile jaune) :

$$V1r = (-0,441 / 4\,861,33) \times 299\,792 = -27,20 \text{ km/s}$$

et pour Bêt2 Cyg (l'étoile bleue) :

$$V2r = (-0,143 / 4\,861,33) \times 299\,792 = -8,82 \text{ km/s}$$

Les deux étoiles ont des vitesses radiales négatives ; cela signifie donc que toute les deux se rapprochent de nous. Autrement dit, la Terre (et donc le Système solaire) se rapproche du système double d'Albiréo. Le centre de gravité G de ce système se rapproche donc de nous, et, comme $V1r > V2r$, on en déduit que dans le système double, Bêt1 Cyg (l'étoile jaune) se rapproche de nous tandis que Bêt2 Cyg (l'étoile bleue) s'éloigne de nous (fig. 8).

Quelle validité des résultats obtenus ?

Il est important pour moi d'effectuer les mesures sans prendre connaissance des données publiées et, seulement ensuite, de les confronter aux données des astrophysiciens. Celles-ci sont trouvées en consultant la base SIMBAD (5) du centre de données astronomiques de Strasbourg.

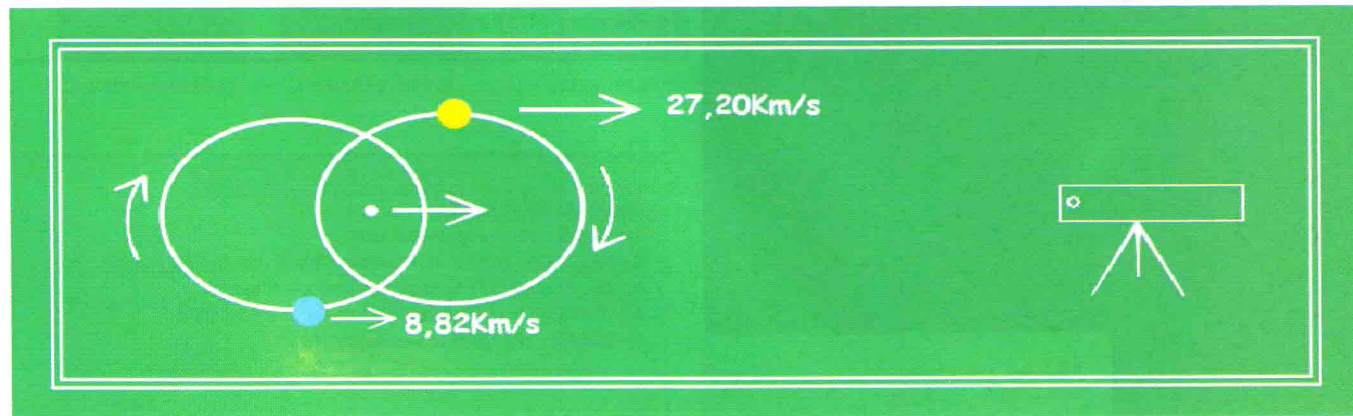
Données pour Albiréo :
Distance : 380 +/- 30 années de lumière
Période de révolution du système : 214 ans

Données pour Bêt1 Cyg :
Type spectral : K3III
Vitesse radiale : -24,07 km/s
Température : 4 080 +/- 10 K

Données pour Bêt2 Cyg :
Type spectral : B8Ve
Vitesse radiale : -18 km/s
Température : 13 200 +/- 600 K
Période de rotation de l'étoile < 0,6 jour

Je remarque que mes résultats sont relativement proches pour Bêt1 Cyg, mais ne correspondent pas du tout pour Bêt2 Cyg... pourquoi ? Intéressant ! C'est la partie qui me plaît : faire les recherches pour comprendre d'où viennent les erreurs.

8. Schéma simpliste de ce qui a été mesuré.



● QUELQUES EXPLICATIONS ET COMMENTAIRES

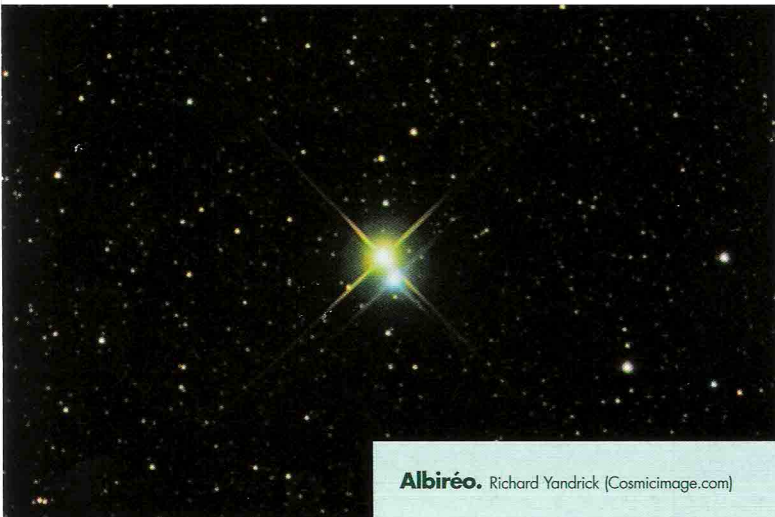
Au sujet de *la raie H α en émission sur Bêt2 Cyg*, les données de SIMBAD nous renseignent sur le type spectral B8Ve, où le « e » signifie qu'il y a des raies de l'hydrogène en émission. C'est donc bien une étoile Be. Mais pourquoi H β et H γ ne sont-elles pas comme sur Gamma Cassiopée ? Est-ce dû à l'inclinaison du disque de matière autour de l'étoile ? À sa densité ? À sa température ? Je n'ai pas encore la réponse. Je remarque quand même que le profil de H β en haute résolution présente un double pic central, visible sur son spectre sur la figure 7.

L'erreur sur la température de Bêt2 Cyg (mesurée : 22 800 K ; réelle : 13 200 \pm 600 K) est facilement explicable. En effet, la méthode que j'ai utilisée consiste à comparer le continuum de mon spectre avec celui d'un corps noir théorique et notamment la partie du maximum d'émission. Cela marche relativement bien sauf pour les étoiles chaudes, car pour celles-ci, le maximum d'émission se situe dans les UV (très courtes longueurs d'onde) (fig. 9). Je compare donc la partie uniquement descendante de la courbe de Planck, d'où les imprécisions. Pour illustrer cette difficulté méthodologique, l'astronome anglais Norman Walker utilise la comparaison avec l'archéologue qui découvre la queue d'un animal et doit trouver à quelle espèce de dinosaure elle appartenait.

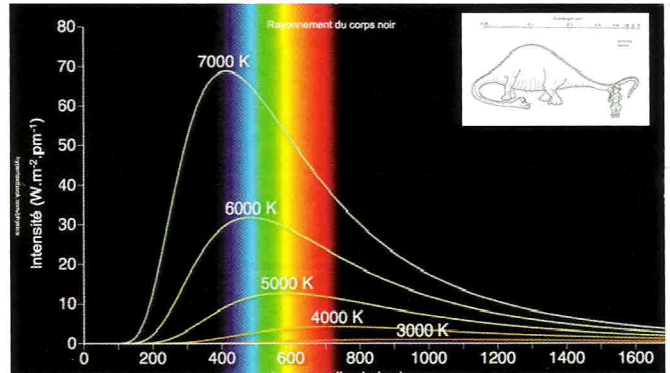
Il est moins évident d'expliquer *l'erreur sur la vitesse radiale de Bêt2 Cyg* (mesurée : $V_r = -8,82$ km/s ; réelle : $V_r = -18$ km/s). Néanmoins, j'ai remarqué que la période de révolution du système d'Albiréo est de 214 ans. C'est relativement court. Est-ce que les étoiles n'ont pas changé de position dans l'espace entre le moment où je les mesure et où elles ont été mesurées par les astrophysiciens ? Effectivement la piste est la bonne. La mesure de Bêt2 Cyg date de 1953, il y a 58 ans ! Bêt2 Cyg a donc parcouru un quart de sa révolution. C'est donc tout à fait normal que la vitesse radiale se soit modifiée depuis.

Mais alors, quid de la vitesse radiale de Bêt1 Cyg (mesurée : $V_r = -27,20$ km/s ; réelle : $V_r = -24,07$ km/s) ? La mesure publiée sur SIMBAD date de 2005. C'est donc en accord avec mes mesures. En 6 ans la vitesse radiale n'a pas dû se modifier beaucoup.

Je remarque aussi (figure 5) que sur les spectres haute résolution la raie H β de Bêt1 Cyg est relativement fine, tandis que celle de Bêt2 Cyg est très large. Cela m'indique que la vitesse de rotation de cette dernière est très grande. C'est encore l'effet Doppler-Fizeau qui intervient ! Comme l'étoile tourne très vite, les photons du bord de l'étoile qui s'éloignent de nous sont décalés vers le rouge et ceux de l'autre bord, celui qui se rapproche de nous, sont décalés vers le bleu. Plus l'étoile tourne vite, plus la raie est large. Cela est confirmé par les données de SIMBAD : la rotation de Bêt2 Cyg < 0,6 jour. C'est impressionnant ! Bien que l'étoile soit visible de façon ponctuelle, le spectroscopiste arrive à trier les photons qui viennent du bord de l'étoile et qui s'éloignent de nous de ceux de l'autre bord qui se rapprochent de nous. C'est vertigineux !



Albiréo. Richard Yandrick (Cosmicimage.com)



9. Spectre de courbes montrant la répartition énergétique du rayonnement émis par un corps noir à une température donnée en fonction de la longueur d'onde (courbes de Planck). On remarque que, aux températures élevées, le maximum de la courbe se situe vers les courtes longueurs d'onde.

Conclusion

C'est génial la spectroscopie ! On se pose des questions, on effectue des mesures et au final on a des résultats qui amènent d'autres questions. Une remarque que l'on me fait souvent, c'est que la spectro est une pratique difficile. Mais non ! Ce n'est pas plus difficile que l'astrophotographie, bien au contraire. En spectro, pas de problème de bouger, la turbulence est moins importante et en une seule nuit on peut réaliser 6 à 8 spectres d'étoile de magnitude 6. Davantage si les étoiles sont plus brillantes. Côté traitement, en moins d'une heure un spectre est réduit et scientifiquement utilisable. Mais attention, la spectroscopie est dangereuse, car quand on commence on y prend vite goût et on ne peut plus s'arrêter... **D. Antao ■**

Je voudrais remercier Christian Buil et Valérie Desnoux qui ont développé des logiciels très puissants. Et la société Shelyak qui nous propose des produits de haute qualité accessibles aux amateurs. Merci également aussi aux personnes qui nous répondent sur les forums dédiés à cette pratique, en anglais, mais aussi en français :

Spectro-L : <http://tech.groups.yahoo.com/group/spectro-l/>

et Aras : <http://www.spectro-aras.com/forum/>

Un remerciement particulier à Claude Vidal qui partage avec moi cette passion et qui me prête son télescope pour réaliser les spectres.

Je reste ouvert à toutes remarques, critiques et explications : davidant@e-kiwi.fr <http://astrosurf.com/spectro david/Presentation-Albireo-en-Spectro-RICAR-MILLAU-05NOV2011-David-Antao-MODIF-27nov11.pdf>, vous trouverez la présentation que j'ai réalisée lors d'une rencontre inter-club d'astronomie du 5 novembre 2011 à Millau (Aveyron).

Quelques références :

- 1 – Shelyak : <http://www.shelyak.com/>
- 2 – Logiciel ISIS : <http://astrosurf.com/buil/isis/isis.htm> (logiciel gratuit).
- 3 – Base de données BESS : <http://basebe.obspm.fr/basebe/>
- 4 – Visual Spec : <http://astrosurf.com/vdesnoux/> (logiciel gratuit)
- 5 – SIMBAD : <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>

La revue des passionnés des sciences de l'Univers

L'ASTRONOMIE

L'ASTRONOMIE

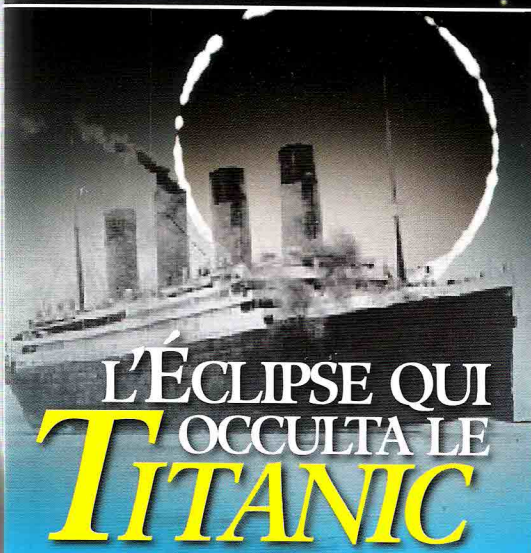
N° 49 / AVRIL 2012

SOCIÉTÉ ASTRONOMIQUE DE FRANCE

SYSTÈME SOLAIRE

Écologie planétaire

UN CONCEPT ANCIEN
ENTIÈREMENT D'ACTUALITÉ...



L'ÉCLIPSE QUI
OCCULTA LE
TITANIC



COMPRENDRE
la sismologie
des étoiles

À LA DÉCOUVERTE DE
L'OXYGÈNE
DE L'UNIVERS



www.saf-lastronomie.com

M 02605 - 49 - F - 5,90 €



TEST : CAMERA CCD PLA-MX 618 P. 44