Mission auT60
du Pic du Midi de Bigorre

Spectrographie et photométrie d'étoiles de type RR Lyrae

du lundi 16 avril au samedi 21 avril 2007

Eric DENOUX (Observatoire Cor Caroli - GEOS)
Eric SARRAZIN (Association Copernic)

www.asso-copernic.org

Introduction

L'Ecole d'astrophysique de La Rochelle (mai 2006) a certainement été un facteur déclenchant pour la "naissance" de cette mission. Cette rencontre entre professionnels et amateurs a permis de lier de précieux contacts. La possibilité de collaborer sur un programme de recherche précis est une aventure sans pareille. Photométrie d'étoiles RR Lyrae d'un coté et spectrographie d'étoiles de type Be de l'autre. Il n'en fallait pas plus pour se décider à monter une mission au Pic du Midi.

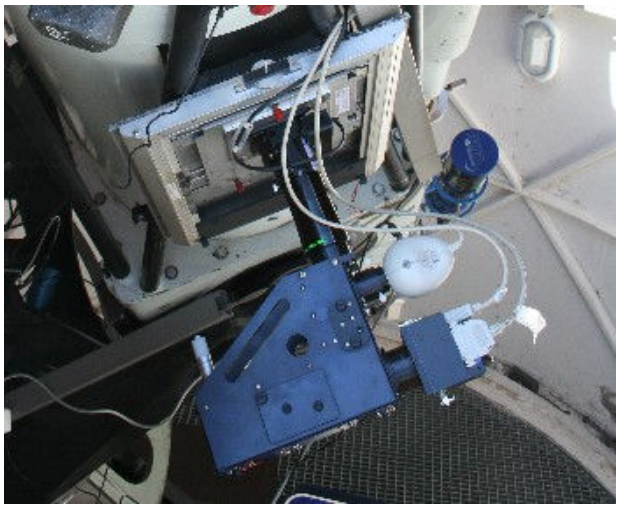
L'objectif initial de cette mission était d'allier à la fois des mesures de photométrie sur RR Lyrae couplées à des mesures de vitesses radiales. L'idée étant de mettre en relation la variation de magnitude de l'étoile avec un éventuel décalage spectral.

Journal de coupole

Lundi 16 avril 2007 et nuit du 16 au 17

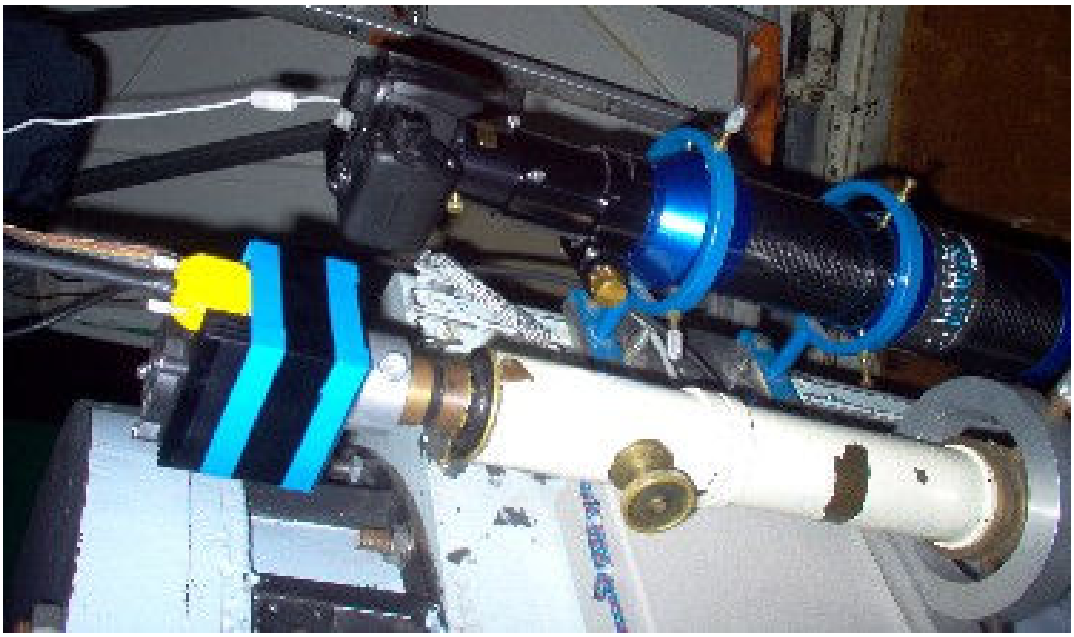
Arrivée vers 10 h dans le laboratoire de la coupole du T60.
Prise en main progressive du matériel.
Déneigement de la coupole avant ouverture du cimier et premiers essais de rotation de la coupole.
Retrait du cache avant et ouverture des volets de protection du mirroir.
Mise en route de l'informatique ainsi que le système MCMT.

Après le repas, installation du matériel prévu pour l'acquisition des données en photométrie ainsi qu'en spectrographie.
Lunette A&M (∅ 80 mm) en parallèle sur le T60
Etalonnage de la vis micrométrique du LHIRES en utilisant la lampe néon (voir figure)
Le spectrographe est dans un premier temps monté avec une Barlow X4 amenant le rappport F /D à 14.



Acouplement du spectrographe au T60

La flexion de l'ensemble semble correcte mais le rapport F/D est peut-être un peu fort. On envisage alors la configuration initialement prévue :
Spectrographe LHIRES III (2400t/mm) + Barlow X2.5 (grand merci à Christian Buil!) au foyer du T60 amenant le système à F/D =8,75.
Une deuxième Audine est montée au foyer de la lunette guide pour les mesures de photométrie.



Lunette de 80mm en // + Audine KAF 400 au foyer de la lunette guide.

Equilibrage du télescope avec le matériel d'acquisition en place.
Prise en main du système d'acquisition d'images sous Prism6.

En soirée le temps est à l'orage et des chutes de neige sont également annoncées. Une webcam longue pose sera utilisée pour contrôler que l'étoile est placée sur la fente du spectroscope. Mise en place de la webcam puis alerte orage vers 20h 45 TU. Cette alerte se prolonge jusqu'à 0h45 TU. Chute de neige une bonne partie de la nuit.

<u>Mardi 17 avril 2007 et nuit du 17 au 18:</u>

Dans la nuit et après l'orage, 25 cm de neige sont tombés. Ciel bleu : il est temps de déneiger l'accés à la coupole du T60 ainsi que son pourtour. Il s'agit d'assurer la libre rotation de cette dernière.

Opération de déneigement de la coupole!!

Suite à l'orage, le réseau ne fonctionne plus et il est impossible de démarrer la caméra Audine. L'accés à internet est également impossible et on se retrouve en quelque sorte "coupé du Monde". Les techniciens s'activent mais sans succès.

En milieu de journée le temps se gate de nouveau et ne laisse rien présager de bon pour la nuit à venir. Un peu de spectrographie sur table est au programme.

Début de soirée, le ciel se dégage. Toujours pas de réseau et la caméra Ethernaude n'a aucune chance de fonctionner correctement. Il faut envisager une autre solution. L'acquisition se fera en utilisant la caméra Audine directement connecté à un ordinateur d'appoint équipé du logiciel d'acquisition PISCO.
Première cible, Arcturus qui permet au passage un alignement des pas codeurs. La vis micrométrique est ajustée (graduation 19.75) pour obtenir des spectres dans la région de Hα. Spectre du néon « avant ». L'étoile est placée dans la fente du spectrographe et l'acquisition des premiers spectres peut commencer. La nuit s'annonce longue…
Sur une cible comme Arcturus et avec un télescope comme le T60, le flux est vraiment très impressionnant.
Cible suivante afin de se faire la main avec la technique de pointage: Véga.
Les pas codeurs ont l'air de bien fonctionner et l'étoile est rapidement dans dans la fente. Nouvelle série de spectres sans oublier les fameux néon.
Les choses sérieuses commencent : RR lyr + photométrie.
Un premier champ est obtenu à l'aide d'un APN+lunette de 80 mm. En ce qui concerne la spectrographie le signal est très bruité. Il semble que le vent et la forte turbulence en fin de nuit ne permettent pas d'obtenir de spectres corrects.
C'est le moment d'aller se reposer un peu avec un bilan pour cette première nuit d'observation plus que satisfaisant.

Mercredi 18 avril 2007 et nuit du 18 au 19:

Pas d'activité "déneigement" en ce mercredi matin. Ciel bleu et toujours pas de réseau internet. Le technicien doit monter de Tarbes cet après midi.
Les spectres de la veille sont traités à l'aide d'Iris + Vspec.
Arrivée du technicien dans le labo du T60. C'est le hub qui a rendu l'âme. La connection internet fonctionne de nouveau.

Début des observations vers 22h TU.
Calage des pas codeurs sur Arcturus:
- Première cible de la soirée: Saturne. Acquisition d'une série de spectres autour de Halpha. On note une inclinaison des raies. Cette inclinaison permet de remonter jusqu'à la période de rotation de la planète.
- Images de M13 avec APN au foyer de la lunette A&M
- Spectre de Jupiter – Détermination de la période de rotation (idem Saturne).
- Spectre de HD 175805
- Spectre de 64Ser

Fermeture de la coupole vers 4h30 TU – Le jour se lève…

Jeudi 19 avril et nuit du 19 au 20:

Lever vers 10h TU
Traitement des spectres de la veille. Il est envisagé la possibilité de charger dans la base BeSS le spectre de 64Ser.
Petites chutes de neige en début de soirée puis le ciel se dégage.

Ouverture du cimier vers 21h30 TU.
Calage des pas codeurs sur Arcturus.
Cibles spectro de la nuit:
- Arcturus
- Saturne
- Véga
- RR Lyrae
- Delta Scorpion
- 64 Ser

A noter que les deux dernières cibles de la nuit correspondent à une demande du programme COROT (Etoiles Be).

Fermeture du cimier vers 2h50 TU.

Vendredi 20 Avril et nuit du 20 au 21:

Lever vers 09h30 TU.
Traitement des spectres dans l'après midi et mise au format fits de 64 Ser et Delta Scorpion pour pouvoir alimenter la base BeSS. Il neige de nouveau en fin d'après midi mais les prévisions sont bonnes pour la deuxième partie de la nuit. Repos jusqu'à 1h30 TU.
Ouverture du cimier à 01h45 TU. Les cibles de la soirée sont:

- 64 Ser (11X 300s)
- Delta Scorpion (3X300s et 3X300s) .
- RR lyrae (1X600s) . Pas de signal au final.

Les spectres sont traités dans la foulée et mis au format fits de façon à pouvoir alimenter la base Bess.

Le jour se lève et la mission prend fin. Il est temps de faire quelques dernières photos...

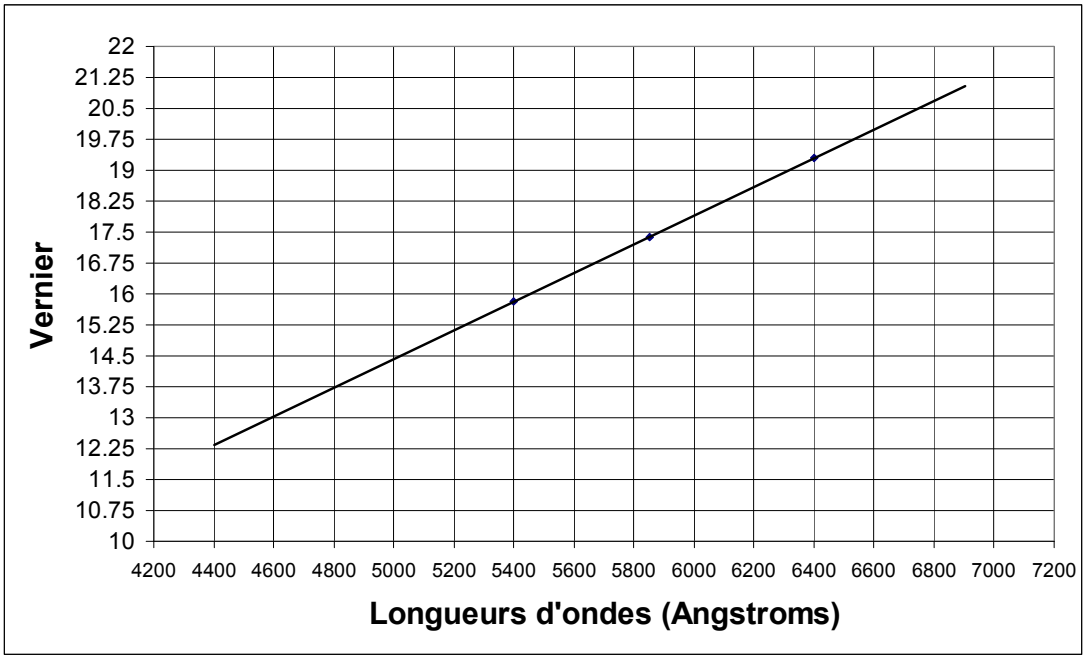
Coupole du coronographe au lever du jour

La coupole du T60 au lever du jour

Les résultats

I. Etalonnage du vernier du LHIRES III de l'AT60

En spectrographie à haute resolution, il est nécessaire de savoir quelle partie du spectre électromagnétique on va enregistrer sur le capteur. C'est l'angle que fait le réseau (ici 2400t/mm) avec le faisceau incident qui va déterminer cette plage. Il est possible de modifier cette plage en tournant le vernier du spectrographe. On doit alors connaitre la correspondance entre position du vernier et longueur d'onde. On peut ainsi réaliser une courbe d'étalonnage :



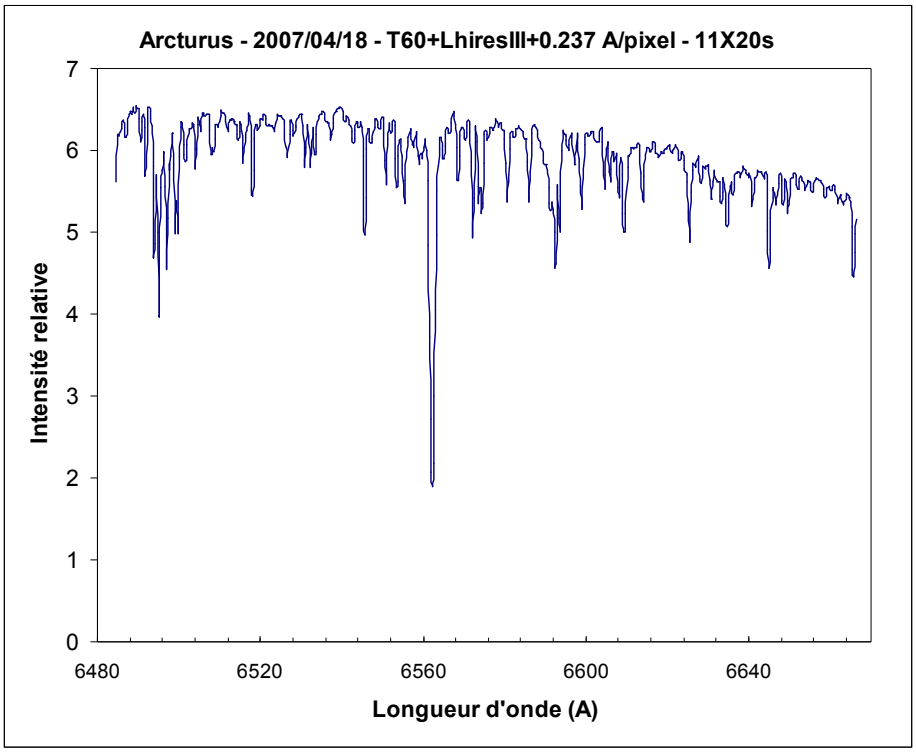
Courbe d'étalonnage du vernier du spectrographe de l'AT60.

Pour l'étude de nos spectres dans la région Halpha le vernier sera placé sur la graduation 19.75.

II. Premières cibles

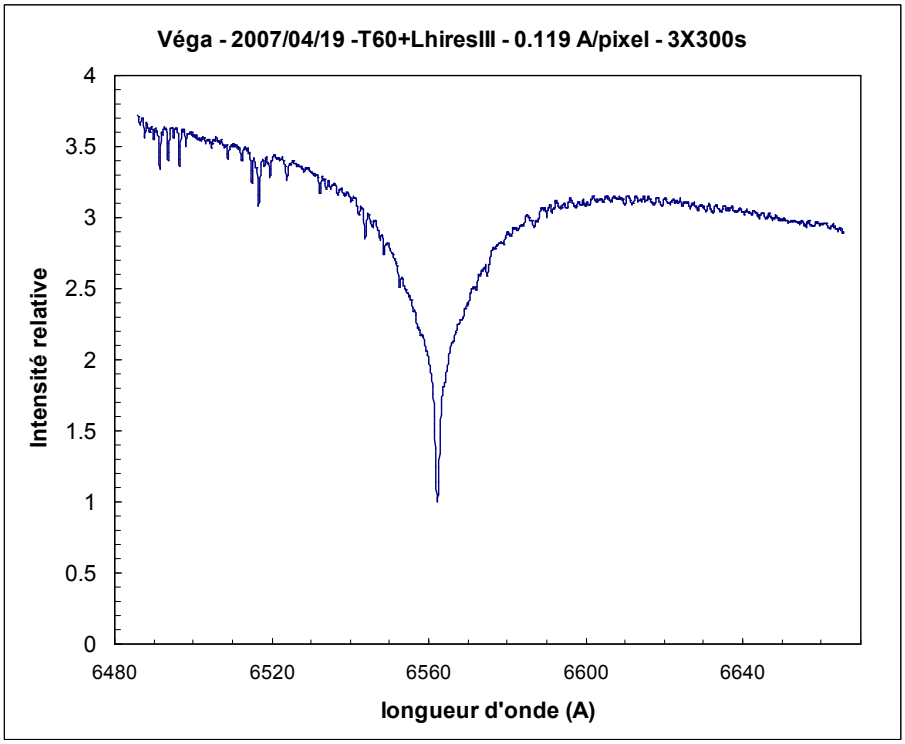
Les premières cibles spectrographiques sont des objets brillants (Arcturus et Véga). Il s'agit de valider le montage et de se faire la main.

Arcturus



Spectre d'Arcturus (corrections de la réponse instrumentale et atmosphérique non faites).

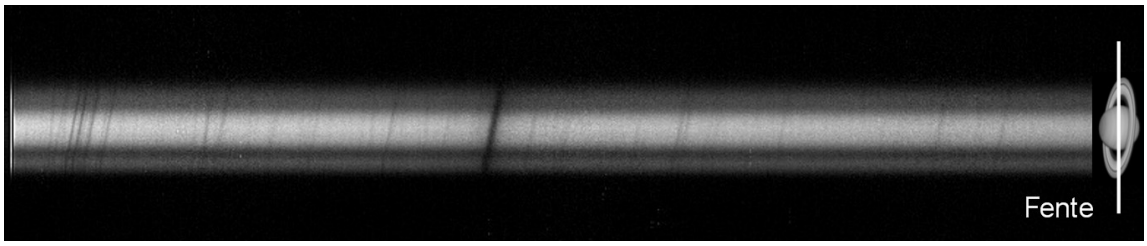
Véga



Spectre de Véga (corrections de la réponse instrumentale et atmosphérique non faites).

III. Spectres de Saturne et de Jupiter :

La mission a la chance de se dérouler pendant une période où les planètes Saturne et Jupiter sont visibles une bonne partie de la nuit. C'est l'occasion de réaliser cette expérience spectroscopique très pédagogique mettant en évidence l'inclinaison des raies du spectre de ces deux planètes.
La rotation des planètes sur elles mêmes est en fait responsable de l'inclinaison de ces raies (effet Doppler-Fizeau). Plus une planète tourne vite et plus ses raies seront inclinées. Il est possible, à partir de cette inclinaison, de calculer la vitesse de rotation propre de la planète (Vg exprimée en kms^{-1}). On peut ensuite remonter jusqu'à la période de rotation propre de la planète (T exprimée en h et min) (CLEA).



Spectre de la planète Saturne dans la région Hα

La fente ne passant pas excactement par le centre de la planète, la délimitation entre le spectre correspondant au globe et le spectre correspondant à la partie « supérieure » des anneaux n'est pas très marquée. En revanche elle l'est beaucoup plus pour la partie « inférieure ».

Calcul de la vitesse de rotation propre de Saturne (Vg) :

$$Vg = c.\Delta\lambda/4.\lambda_{ref} \quad (1)$$

Ici l'étude est faite sur la raie Hα pour laquelle λ_{ref}=656,3 nm ou encore 6563 Å.
Compte tenu de la dispersion inverse du spectre ci dessus (0,119 Å /pixel) on trouve :

$$\Delta\lambda = 8x\ 0{,}119 = 0{,}95\ Å.$$

Finalement :

$$Vg = (300000x0{,}95)/(4x\ 6563) \approx \mathbf{10{,}9\ kms^{-1}\ (\pm 1{,}5\ kms^{-1})}$$

Calcul de la période de rotation propre de Saturne (T):

La vitesse angulaire ω de la planète est liée à sa période T par la relation :

$\omega = 2\pi/T = Vg/R_s$ (où R_s est le rayon du globe de Saturne (R_s=60400km))

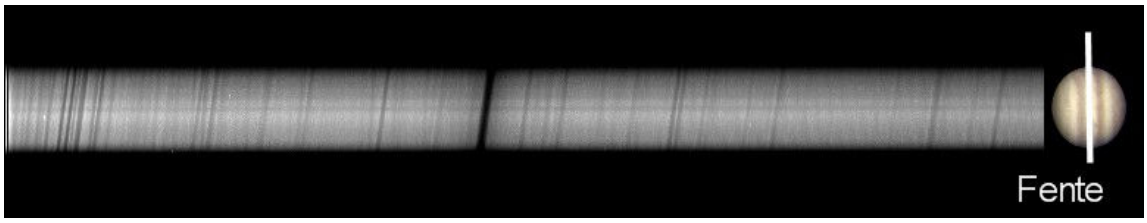
On obtient alors :

$T = (60400/10{,}9)x2\pi = 34817$ s soit **9h 40 min (±1h20min)**

La période exacte de rotation est 10h 39min à l'équateur. Le résultat obtenu est en accord avec cette valeur compte tenu de l'incertitude sur la mesure.

Remarque : On notera que les anneaux de Saturne ne tourne pas à la même vitesse que le globe car l'inclinaison des raies du spectre correspondant aux anneaux est différente.

La même expérience peut être reproduite avec la planète Jupiter :



Spectre de la planète Jupiter dans la région Hα

Des calculs analogues permettent d'obtenir Vg et T pour la planète Jupiter.
Il vient :

$$Vg = (300000 \times 1{,}38)/(4 \times 6563) \approx \mathbf{15{,}8\ kms^{-1}\ (\pm 1{,}5\ kms^{-1})}$$

Finalement :

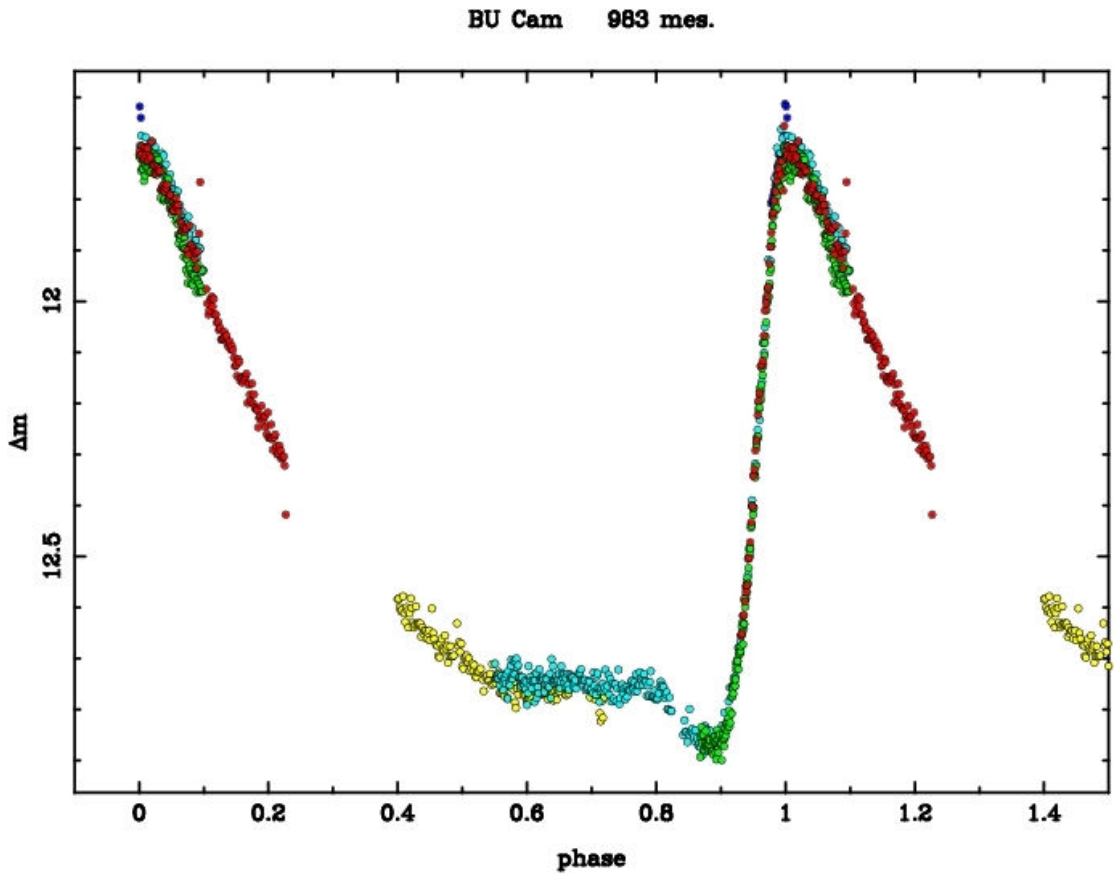
$$T = (71492/15{,}8) \times 2\pi = 28430 \text{ s soit } \mathbf{7h\ 54\ min\ (\pm 45min).}$$

Cette valeur est faible par rapport à la valeur exacte de la période de rotation de Jupiter (9h 55min 30s à l'équateur). Il est cependant possible que la fente n'ai pas été exactement placée dans le plan équatorial de la planète minorant ainsi le résultat.

IV. Photométrie et spectrographie de RR Lyrae :

IV.1 Introduction

Les étoiles de type RR-Lyr sont des étoiles variables de faible masse en phase de combustion de l'hélium. Elles se placent, sur le diagramme de Hertzsprung-Russell, sur la branche horizontale des géantes, à l'intersection de la bande d'instabilité (Le Borgne and Al.).
Les RR-Lyr sont des étoiles variables de courte période, typiquement de 0.2 à 1.1 jours. Ces variations de luminosité sont parfois affectées d'une modulation en phase et/ou en amplitude. Cet effet est appelé effet « Blazhko ».
Le diagramme ci-dessous présente, à titre d'exemple, la courbe de lumière de l'étoile variable BU CAM, réalisée à l'observatoire Cor Caroli au printemps 2007, juste avant la mission au Pic du Midi. (Compositage des données par Jean-François Le Borgne, OMP).



IV.2 Objectifs de mission

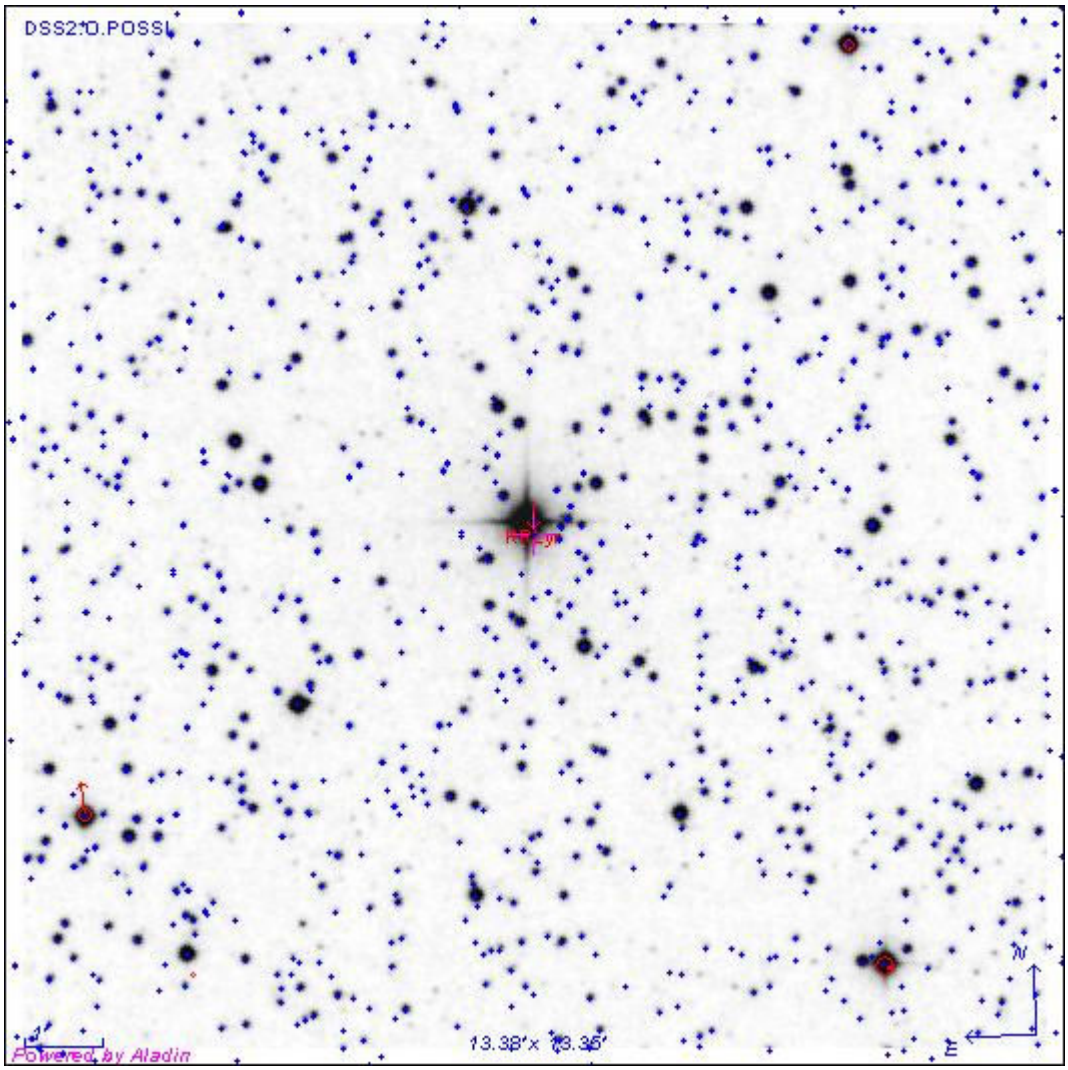
Une mission de courte durée (typiquement 5 jours) ne permet pas de mettre en évidence d'éventuelles modulations en phase et amplitude de la courbe de lumière.
L'objectif principal était de valider des méthodes instrumentales notamment en spectroscopie.
L'immense majorité des RR-Lyrae sont des étoiles faibles, de magnitude souvent supérieure à 10. A titre d'exemple, BU CAM, dont la courbe de lumière est présentée ci-dessus, atteint la magnitude 13 au minimum de luminosité, et même 15.5 en bande V (données SIMBAD). Ces objets sont donc inaccessibles à la spectroscopie d'amateur telle que pratiquée actuellement à l'aide du spectrographe LHIRESIII.
Pourtant, quelques rares RR-Lyrae, **dont RR-Lyr elle-même**, approchent la magnitude 7 en bande B et V au maximum de luminosité. Cette magnitude, dans un site de haute montagne, grâce à un instrument amateur de grand diamètre, pouvait peut-être permettre d'obtenir des spectres avec un rapport S/B acceptable.
Par ailleurs, un autre objectif était de procéder à des mesures photométriques sur RR-LYR en utilisant un appareil réflex numérique (EOS 350D) afin de valider ce concept instrumental et évaluer la précision de la mesure ainsi obtenue. Ce domaine, ouvert assez récemment notamment par Christian Buil (voir http://www.astrosurf.com/~buil/exoplanet/phot.htm) reste, semble-t-il, assez peu exploré.
Le suivi simultané de RR-Lyr en photométrie et spectroscopie devait permettre, en théorie, de corréler la courbe de lumière et la courbe de vitesse radiale. La méthode

d'obtention de la vitesse radiale (typiquement de l'ordre de 50 km.s^{-1}) sera exposée dans un futur document après sa validation pratique.
Les variations spectrales selon la période de 41 jours propre à RR-Lyr (élargissement voire dédoublement des raies, notamment sur la série de Balmer), ne pouvaient être observables sur une mission aussi courte.

IV.3 RR-Lyr et son environnement

Les coordonnées de l'étoile variable V* RR Lyr données par SIMBAD sont les suivantes :
ICRS coord. (ep=2000 eq=2000) : `19 25 27.9129 +42 47 03.696`

L'image ci-dessous représente le champs fourni par le logiciel ALADIN :



Champs de RR Lyr, tel que donné par Aladin (crédits CDS)

Il faut constater dès à présent la richesse du champs, lié à la proximité du centre galactique ainsi que le fort contraste de luminosité entre RR Lyr et les étoiles de son environnement. Ces éléments posent un certain nombre de problèmes en photométrie stellaire : impossibilité de procéder à la mesure photométrique par photométrie d'ouverture (donc recours à une modélisation de PSF) et difficulté dans le choix d'une

étoile de comparaison. Il faut en effet obtenir un bon rapport S/B sur les étoiles du champs sans pour autant saturer RR Lyr.

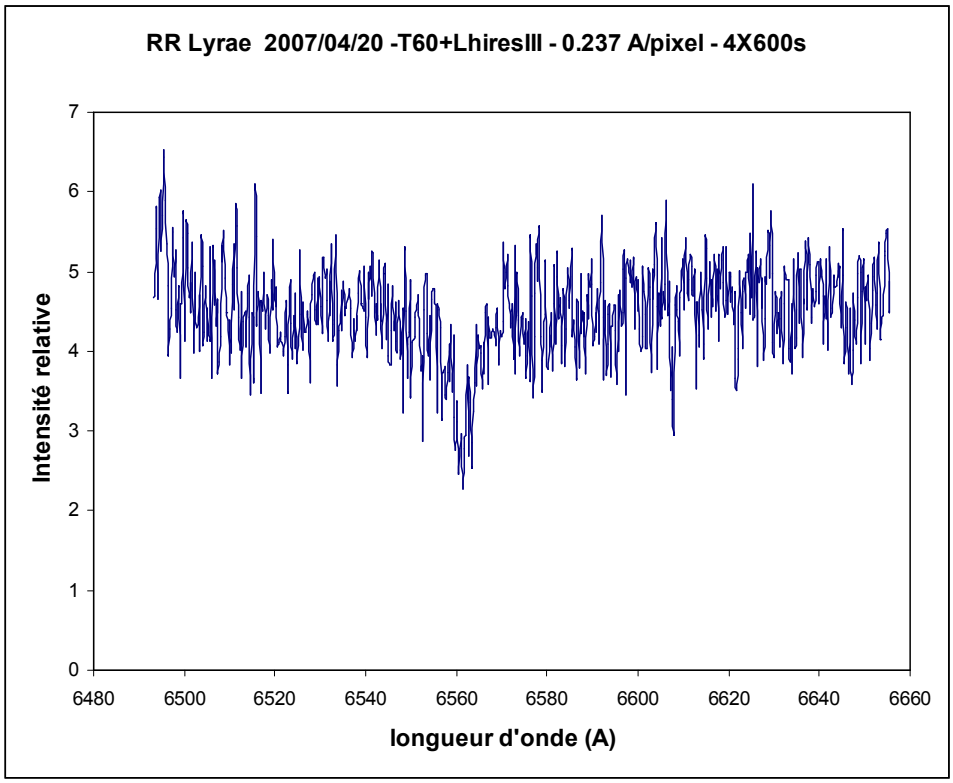
Le champs obtenu au cours de la mission à l'aide d'un APN Canon EOS350D au foyer d'une lunette A/M de 80mm de diamètre et de 480mm de focale est présenté ci-dessous. Notez la légère défocalisation destinée à améliorer la qualité photométrique (nécessité de disperser le signal sur un nombre plus important de pixels afin de ne pas saturer le capteur mais aussi pour tenir compte de la structure particulière de la matrice de Bayer).

RR Lyr, pose de 30 secondes au foyer d'une lunette A&M de 80mm, F/D :6

IV.3 Résultats

Il n'a pas été possible de procéder au suivi photométrique de RR-Lyr en raison de contraintes purement géométriques : l'étroitesse du cimier du dôme protégeant le T60 ne permet pas, en effet, de mener simultanément une mesure spectrométrique en pleine ouverture au foyer du télescope et une mesure photométrique au foyer d'une lunette placée en parallèle, en particulier lorsque l'étoile cible se trouve éloignée du méridien.

Un seul spectre de RR-Lyr a pu être obtenu durant la mission. Ce spectre est présenté ci-dessous.



Spectre de l'étoile RR-Lyr au voisinage de la raie H alpha

La raie H alpha est bien visible en absorption. Il semble, de prime abord, que cette raie soit en cours d'élargissement voire de dédoublement, phénomène souvent observé par les professionnels au cours du cycle de 41 jours caractéristique de RR-Lyr. D'autres raies semblent aussi visibles (probablement des raies du fer vers 6610A) mais le spectre est particulièrement bruité. Le rapport S/B ne dépasse guère 10 alors que notre objectif initial était d'atteindre 15 afin de pouvoir procéder à une bonne évaluation de vitesse radiale.

Pourtant, le temps de pose atteint 40 minutes ce qui constitue une limite haute compte tenu de notre objectif. En effet, comme le montre la courbe de lumière de BU CAM (période de 0.46 jours), les phénomènes physiques au sein de l'étoile peuvent être très rapides et un bon suivi spectral au cours de la remontée en luminosité ne peut s'accommoder d'un temps de pose aussi long afin d'éviter ce que les professionnels appellent le « phase smearing ».

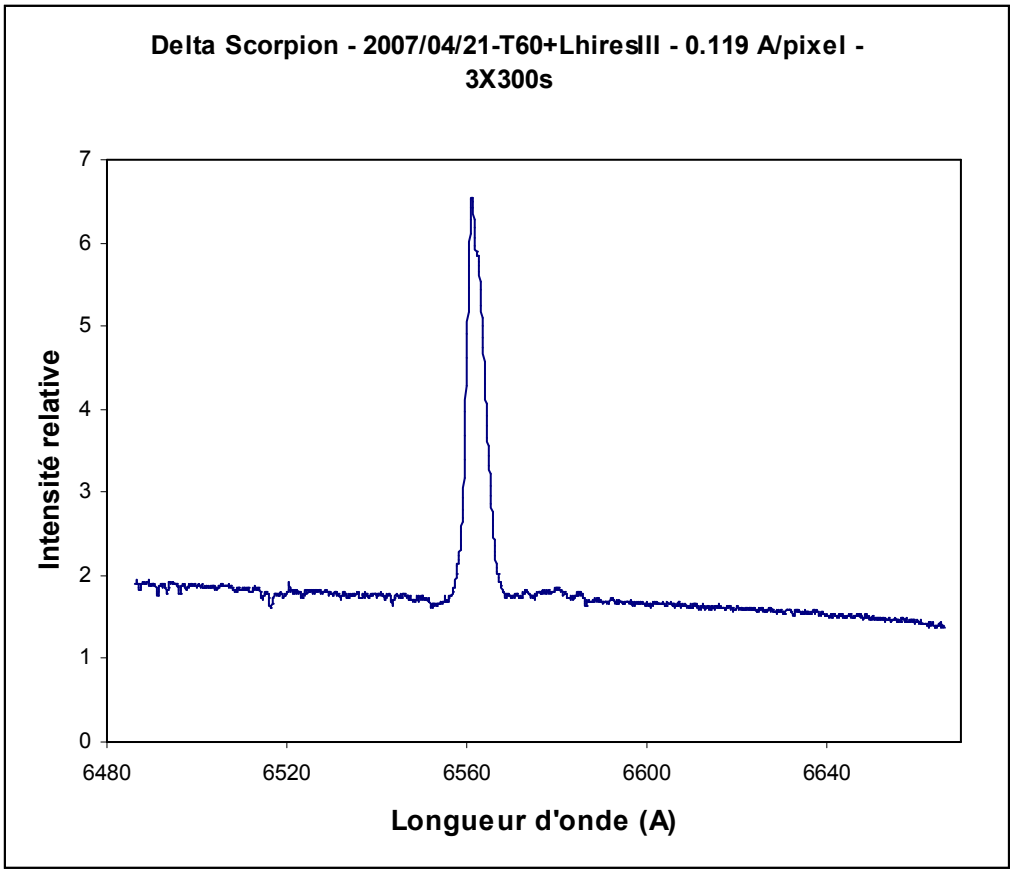
Nous sommes peut-être ici aux limites de la spectroscopie amateur. Pourtant, des solutions existent pour augmenter le rapport S/B sans augmenter le temps de pose : augmentation du diamètre du télescope, ouverture de la fente (au détriment de la résolution) mais aussi et surtout utilisation d'un réseau moins dispersif. Le réseau utilisé était un 2400 tr.mm^{-1} mais un réseau de 1200 voire 600 tr.mm^{-1} aurait permis d'obtenir un meilleur rapport S/B tout en permettant l'obtention d'un plus grand nombre de raies significatives.

La mise en œuvre de ces solutions fera sûrement l'objet d'une future mission. Bien entendu, aucune mesure de vitesse radiale n'est possible en l'état.

V. Les étoiles de Type Be :

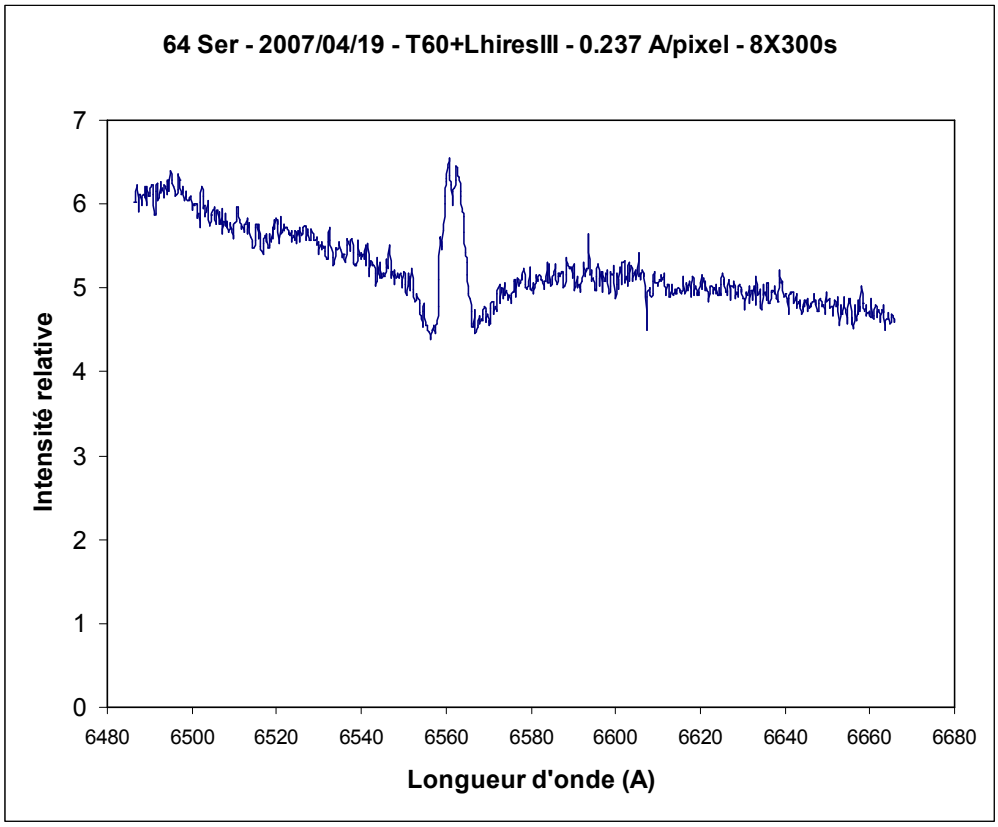
Parmis tous les types d'étoiles (OBAFGKM) il en existe certaines qui ont la particularité d'avoir leur raie Hα non pas en absorption mais en *émission*. On parle d'étoiles de type B « émissives » : Be.
Lancé au mois de décembre 2006 le satellite COROT va, entre autre, étudier quelques cibles Be. Lors de la rencontre de La Rochelle, une proposition de collaboration entre professionnels et amateurs a vu le jour. Il s'agit de disposer d'un réseau d'observateurs amateurs pouvant réaliser des spectres d'étoiles Be en parallèle avec le satellite. La diffusion d'un instrument tel que le LHIRES III a grandement facilité cette collaboration.
L'occasion d'être au Pic était trop belle pour ne pas tenter quelques cibles COROT d'autant plus que pendant la mission une demande d'observation d'étoiles spécifiques a été formulée. Il s'agissait de Delta Scorpion (HD 143275) et 64Ser (HD 175869).

Delta Scorpion :



Spectre de Delta Scorpion

64 Ser :



Spectre de 64 Ser

Au total 5 spectres d'étoiles Be ont été obtenus. Deux de Delta scorpion (20/04, 21/04) et trois de 64 Ser (19/04, 20/04 et 21/04). Ces spectres pouront aller alimenter la base de données de spectres d'étoiles Be (Base BeSS). A noter que cette base de données a été mise en place grâce à la collaboration étroite entre professionnels (C. NEINER - Observatoire de Paris- Meudon) et amateurs (F.COCHARD).

Conclusion générale

La mission au T60 a été un moment exceptionnel. Nous profitons de cette conclusion pour remercier tous les membres de l'AT60 d'hier et d'aujourd'hui grâce à qui de telles expériences techniques et humaines sont encore possibles. Nous tenons aussi à remercier Jean-Pierre Rozelot (Observatoire de la Côte d'Azur) et tous les intervenants et organisateurs du stage PROAM2 de La Rochelle au cours duquel l'idée de cette mission est née. Un grand merci aussi à François Cochard qui, à posteriori, nous a guidé dans la mise en conformité de nos spectres avant insertion dans la base Bess. Merci enfin à Christian Buil et à Martine Castets qui nous ont tant fait confiance.

L'objectif initial, qui visait RR-Lyr, n'a certes pu être atteint. Cependant, d'autres expériences ont pu voir le jour au cours de cette mission et les bénéfices, outre l'expérience humaine, sont nombreux : prise en main du T60, approfondissement de la connaissance technique du LHIRES III, maîtrise des procédés de traitement spectral et finalement insertion de spectres dans la base BeSS. Que de chemin parcouru en 5 jours seulement !
Cette mission en appelle d'autres. Les RR-Lyr restent une cible de choix pour la spectroscopie et la photométrie d'amateur. Des contacts noués lors de la dernière réunion du GEOS (groupe européen d'observateurs stellaire) avec des astronomes professionnels laissent entrevoir de nouvelles possibilités techniques et instrumentales.
La base de spectres BeSS a aussi de beaux jours devant elle et ne demande plus qu'à être alimentée par des spectres réalisés tant en plaine qu'en haute montagne sur les télescopes de mission.
La spectroscopie ouvre désormais des horizons insoupçonnés il y a encore quelques années. C'est une révolution semblable à l'émergence en astronomie amateur de la technologie CCD il y a près de 15 ans.
Cette révolution, nous voulons vraiment y participer !