

# SPECTRES DE NEBULEUSES A 2936 M D'ALTITUDE

Depuis quelques années, des astronomes amateurs scrutent des images acquises à l'aide de leurs propres matériels ou disponibles sur le Web, pour repérer d'éventuelles nébuleuses planétaires (NP) non répertoriées à ce jour dans les catalogues professionnels (cf. articles parus dans *l'Astronomie* en 2014 et 2015).



## OBJECTIF DE LA MISSION

Cette quête méthodique a permis de repérer des objets très faibles, à peine visibles sur les images. Une table des candidates découvertes à ce jour par des Français est entretenue par Pascal Le Dû, en étroite collaboration avec Agnès Acker, astronome professionnelle à l'observatoire astronomique de Strasbourg, spécialiste internationale des nébuleuses planétaires. Cette table permet d'alimenter une nouvelle base de référence construite à l'université Macquarie à Sydney, en collaboration avec A. Acker, répertoriant toutes les nébuleuses planétaires probables et confirmées connues à ce jour, soit plus de 3 000. C'est en particulier en consultant cette base (non ouverte au public à ce jour), qu'A. Acker peut affirmer qu'un objet est bien une nouvelle découverte, et le baptiser du nom de son découvreur.

Une candidate nébuleuse planétaire reste à l'état de candidate tant qu'un spectre n'a pas été réalisé pour confirmer sa nature (lire *l'Astronomie* janvier 2014, p 43). Beaucoup de candidates peuvent s'avérer être des régions HII ou des galaxies très lointaines inconnues. Ce travail de validation spectrographique de candidates n'entre pas dans les priorités des programmes des grands télescopes professionnels ; pour combler cette lacune, A. Acker a initié une collaboration avec Olivier Garde et Astroqueyras, lors du colloque « pro-am » tenu à Meudon le 20 avril 2002. Une dizaine d'objets ont ainsi pu être validés comme NP dans ces dernières années. L'observatoire AstroQueyras du pic de Château-Renard, situé à 2 936 m d'altitude près de Saint-Véran, se prête bien à ce type d'observation (voir

[www.astroqueyras.com](http://www.astroqueyras.com)).

Les deux clubs d'astronomie de Lyon, le CALA (Club d'astronomie de Lyon Ampère) et la SAL (Société astronomique de Lyon), ont été retenus pour utiliser l'observatoire en particulier du 03 au 18 octobre 2015 avec comme objectifs de mission, la validation de candidates nébuleuses planétaires par spectroscopie et par imagerie avec filtre [OIII]. Bien que résidant près de Brest, j'ai été invité à me joindre au groupe. Faute de disponibilité, je n'ai pu participer qu'à la première partie de mission, avec le CALA.

## PRÉPARATION AU DÉPART

En ce jour du 3 octobre 2015, je ne prends pas l'avion avec enthousiasme. La veille, une dépression est passée dans les Hautes-Alpes, provoquant des chutes de neige à Saint-Véran. L'accès à l'observatoire est compromis, car seule une piste non carrossable permet de s'y rendre. Le travail de préparation étant fait, les billets d'avion depuis Brest réservés de longue date, difficile de renoncer ! Arrivé à Lyon, une réunion de crise est organisée par le CALA (fig. 1). La webcam installée à l'observatoire donne une situation de la météo sur zone. L'observatoire est partiellement recouvert de neige. Sur les quatorze participants, sept se désistent car la plupart ont du matériel lourd à monter à l'observatoire. La météo semble s'améliorer en semaine, le départ pour Saint-Véran est quand même programmé le lundi 3 octobre avec un jour de retard, avec une équipe réduite et un minimum de matériel et de vivres à emporter. Olivier Garde, qui est principalement chargé de réaliser les acquisitions de spectres avec son spectrographe LISA ne peut plus venir pour des raisons professionnelles. Qu'à cela ne tienne, profitant de la journée du dimanche, Olivier me forme à l'acquisition de spectres. Par chance, Olivier dispose dans son jardin de la réplique exacte de la monture et du télescope disponibles à Saint-Véran, à une plus petite échelle tout de même (fig. 2) ! Le but principal est de réaliser de bonnes acquisitions à l'observatoire et de ramener des images



2

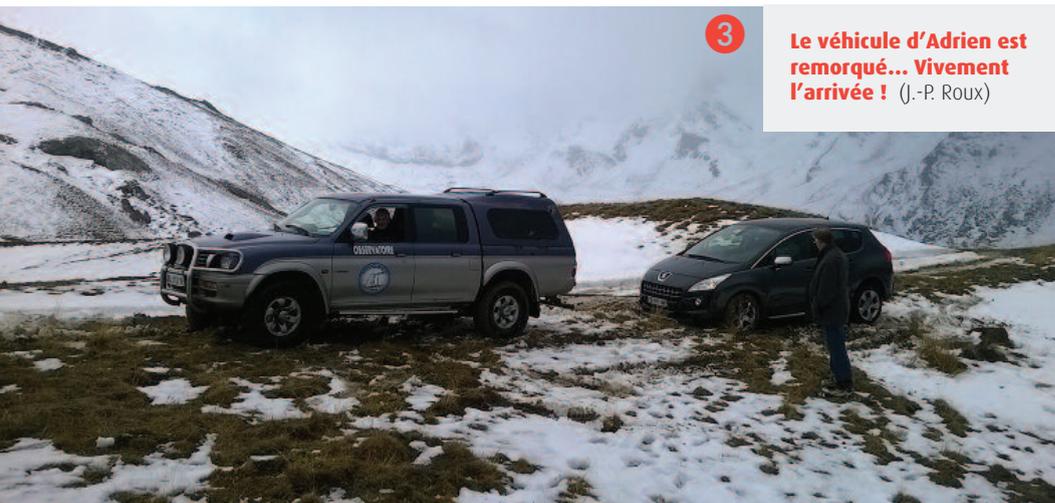
Olivier Garde et son matériel dans son jardin. (P. Le Dù)

brutes correctes. Le traitement pourra se faire en différé, au retour à Lyon. Serge Golovanow, le chef de station, qui a déjà réalisé des spectres de galaxies à l'observatoire, apportera son soutien.

## SAINT-VÉRAN ET L'ASCENSION À L'OBSERVATOIRE

Dominique Menel, membre de l'association AstroQueyras résidant à Saint-Véran, est souvent chargé d'accompagner les équipes qui se rendent à l'observatoire. Il dispose d'un 4x4 pour cette fonction. À notre arrivée, le véhicule est chargé d'une grande partie des consommables et du matériel. Le reste regagne le véhicule d'Adrien Viciana, qui n'est pas un 4x4... Pour rejoindre l'observatoire, il faut parcourir 15 km de piste. Les conditions ne sont vraiment pas bonnes et très vite des congères de 40 cm recouvrent la piste (fig. 3). Adrien est obligé

de laisser son véhicule à un tiers du trajet. Nouveau transbordement entre les véhicules pour ne prendre que le minimum de matériel. Le C11, prévu pour effectuer des images avec le filtre [OIII], est laissé dans la voiture. Quelques lacets plus loin, c'est au tour du 4x4 de Dominique de renoncer. Nouveau transbordement mais, cette fois-ci, une partie des vivres et du matériel est laissée sur le bord de la piste. Seul le matériel strictement utile est monté, en l'occurrence le spectrographe LISA d'Olivier. L'observatoire est à un peu plus d'une heure de marche. Le manque d'oxygène lié à l'altitude se fait ressentir, il pleut, il neige, les charges sont lourdes sur les épaules, la montée est laborieuse. En plus, un aller-retour est nécessaire. L'arrivée définitive à l'observatoire se fait dans la nuit à 21 h 30, tout le monde est complètement trempé et a hâte de se réchauffer.



3

Le véhicule d'Adrien est remorqué... Vivement l'arrivée ! (J.-P. Roux)





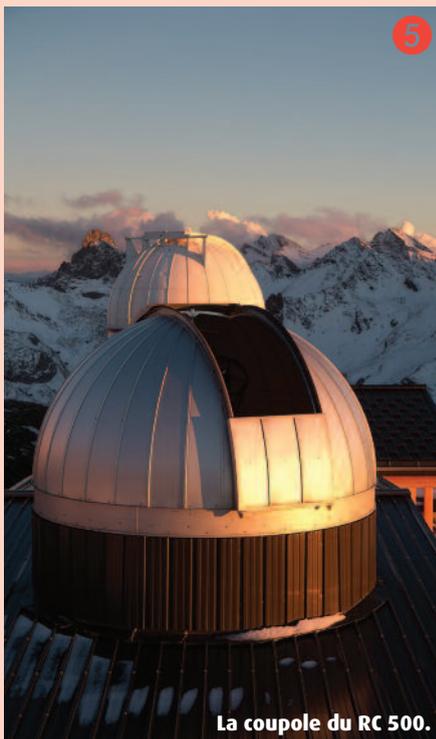
Observatoire AstroQueyras et ses 3 coupoles.

4

### L'OBSERVATOIRE ASTROQUEYRAS DU PIC DE CHÂTEAU-RENARD

Comme précisé plus haut, l'observatoire dispose maintenant de tout le confort nécessaire à une équipe d'une quinzaine de personnes (lire *l'Astronomie*, octobre 2015). Il a été complètement rénové entre 2014 et août 2015. Il est pourvu de deux cuisines équipées et de plusieurs chambres de 2 ou 4 personnes. Des panneaux solaires assurent l'alimentation électrique et les réserves en eau sont importantes mais restent limitées. De ce fait, des précautions sont toujours nécessaires quant à la consommation en électricité et en eau.

L'observatoire dispose de trois coupoles (fig. 4). Une de 7,5 m qui abrite un télescope de 620 mm, une autre de 5 m munie d'une chambre photographique, et une dernière, toute récente, de 4,4 m qui dispose d'un télescope de 508 mm. C'est dans cette coupole, qu'est réalisé l'essentiel des acquisitions spectroscopiques de la première semaine, avec le CALA. La deuxième semaine, la SAL préfère utiliser le télescope de 620 mm.



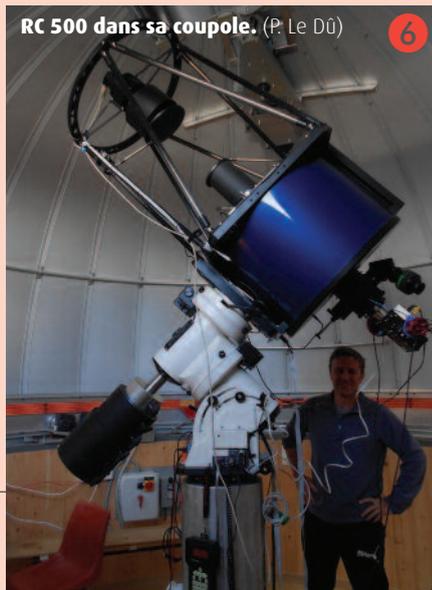
La coupole du RC 500.

5

### LE MATÉRIEL D'ACQUISITION

La coupole du RC 500 mm est en alliage métallique (fig. 5). Elle est très facile à mettre en œuvre grâce aux commandes des moteurs qui contrôlent sa rotation et l'ouverture du cimier. Par contre, cette coupole n'est pas asservie à la monture et le cimier semble un peu petit par rapport au diamètre du télescope. De ce fait, en phase d'acquisition, il est nécessaire de tourner la coupole régulièrement et assez fréquemment pour éviter un masquage sur les prises de vue.

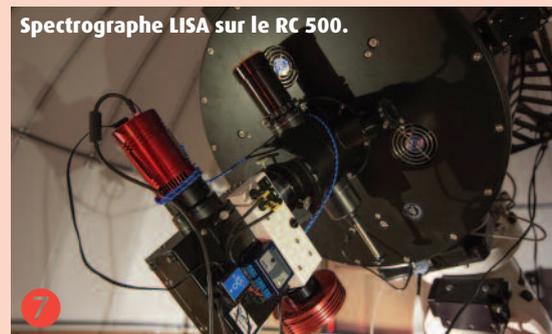
● Le télescope est de la marque Astrosib (fig. 6). C'est une formule Ritchey-Chrétien composée d'un miroir principal de 508 mm de diamètre ouvert à  $F/D = 8$ . Son utilisation est assez aisée. Une première commande permet d'ouvrir les caches qui recouvrent les miroirs primaire et secondaire, et une deuxième commande met en fonction les ventilateurs du miroir primaire. Particularité : la mise au point se fait sur le miroir secondaire à l'aide d'un système Robofocus. La monture, une AstroPhysique AP 1600, supporte parfaitement le télescope qui nécessite 120 kg de contrepoids ! Le tout est commandé grâce à un PC muni du logiciel Prism. Ce PC n'est pas déporté dans une salle de commande comme c'est le cas pour le télescope de 620 mm. Des précautions sont donc à prendre pour éviter d'apporter des lumières parasites lors des acquisitions.



RC 500 dans sa coupole. (P. Le Dü)

6

● Le spectrographe utilisé est un modèle LISA de la société Shelyak (fig. 7). C'est un spectrographe à basse résolution (R1000) qui a déjà fait ses preuves. Cet appareil est optimisé pour travailler à  $F/D = 5$ . En conséquence, un réducteur de focale est utilisé pour atteindre un rapport  $F/D$  de 5,5 sur le télescope. Grâce à l'aide de Serge, la bague du télescope est adaptée pour la mise au point. C'est celle de 22 mm d'épaisseur qui est choisie.



Spectrographe LISA sur le RC 500.

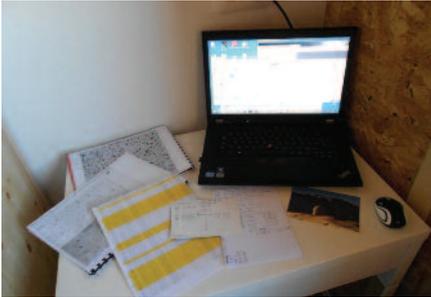
7

Les cibles recherchées sont pour la plupart très ténues. Une fente de 50 micromètres est donc choisie au niveau du spectrographe pour laisser passer plus de flux. Le capteur CCD utilisé est le Sony ICX694 de l'ATIK 460EX, réputé pour sa très bonne sensibilité dans le bleu.

Le repérage des cibles étant primordial, une CCD ATIK 314 L+ est employée comme caméra de guidage. Cette caméra est la seule à pouvoir visionner la fente du spectrographe dans le champ étoilé pour pouvoir la positionner au bon endroit.

## CHOIX DES CIBLES

À l'aide de la table des candidates nébuleuses planétaires découvertes à ce jour par les astronomes amateurs français, qui compte 110 objets (voir p. 30), et du logiciel Skytools qui permet de planifier des observations, une liste des objets observables en ce début du

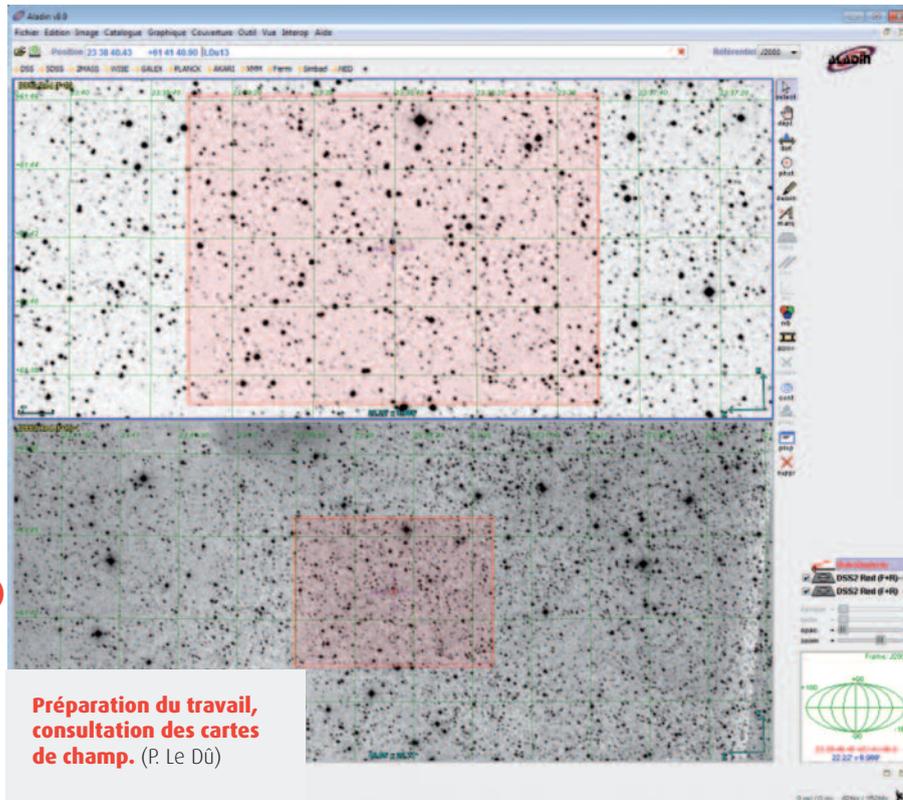


mois d'octobre à Saint-Véran est constituée. Sur les 79 objets répertoriés, une nouvelle sélection est réalisée. Cette dernière ne retient que les objets les plus lumineux et pour la plupart ponctuels et isolés des autres étoiles. Ainsi, 47 objets sont choisis comme cibles potentielles pour cette mission.

Fort de mon expérience à l'OHP en juillet 2014 (*l'Astronomie* févr. 2015), je sais que la principale difficulté est de positionner la fente du spectrographe exactement sur la cible. Pour éviter toute déconvenue, des cartes de champ à différentes échelles sont réalisées à partir de l'outil Aladin du Centre de données astronomiques de Strasbourg (CDS). Ces cartes, qui s'appuient sur des images rouges du (DSS2 Red (F+R)), montrent le cadrage de la CCD de guidage représenté par un rectangle de 10' x 7,5' sur des cartes de champs de 46' x 22' (fig. 8).

## LES SÉANCES D'ACQUISITION

Agnès Acker le précise souvent : « La météo est souveraine », et cet adage ne déroge pas à la règle au pic de Château-Renard en cette première semaine d'octobre. Seules deux nuits et demie permettent de faire des acquisitions. Comme en général pour toute nouvelle prise en main, la première nuit est essentiellement consacrée au réglage du matériel et au paramétrage logiciel. Ainsi, le LISA est positionné sur le télescope et le champ de la caméra de guidage orienté de façon à situer le haut de l'image au nord. Un faux contact est détecté sur l'alimentation générale des caméras mais ce n'est qu'une cosse dénudée, la réparation est rapidement effectuée.



Préparation du travail, consultation des cartes de champ. (P. Le Dü)

Le réglage des capteurs par rapport à la fente du LISA a été effectué au préalable avec Olivier. Lors de ce réglage, il faut veiller à la bonne orientation horizontale et à la bonne netteté de la fente sur la caméra de guidage. La caméra principale doit, elle, visualiser un spectre bien horizontal et bien orienté (bleu à gauche, rouge à droite). La mise au point sur le spectre du néon est réalisée. Les temps de pose pour effectuer les images de spectres de PLU\* et de calibrage (néon) sont également déterminés pour gagner du temps lors des séances de nuit.

## LES IMAGES DE PRÉTRAITEMENT

Les images de prétraitement sont réalisées une nuit où la météorologie ne permet aucune observation. La température extérieure est alors voisine de -5 °C, ce qui favorise le refroidissement des caméras qui sont toutes les deux réglées sur -20 °C. Il faut savoir que la coupole métallique de l'observatoire se réchauffe rapidement aux premiers rayons du Soleil. Des images de *dark* et d'*offset* sont ainsi réalisées. Les images de PLU\* sont, quant à elles, acquises en début et fin d'observation à l'aide de la lampe en tungstène disponible sur le module de calibrage du LISA. Il faut veiller lors de ces acquisitions à ne pas saturer l'image.

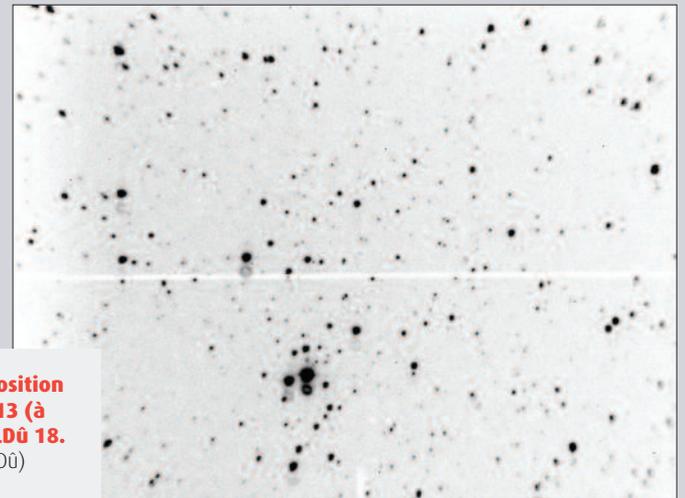
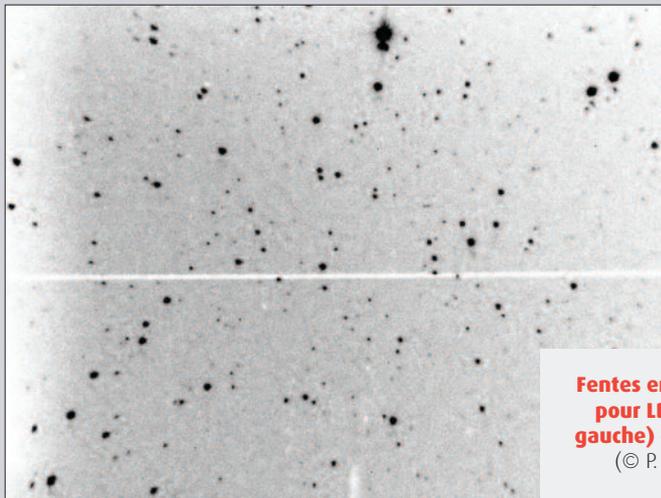
## LE POINTAGE, PREMIÈRES DIFFICULTÉS

Trop peu d'étoiles de référence du catalogue GSC-ACT sont présentes dans le champ observé par la caméra de guidage pour qu'une astrométrie par logiciel soit possible. Pourtant, une bonne précision de pointage est essentielle pour accéder aux cartes de champs. Des pointages sur des étoiles de référence situées à proximité des cibles sont donc nécessaires afin de réactualiser les encodeurs de la monture et de se diriger précisément vers les cibles. Hélas, la monture Astrophysics utilisée ne dispose pas d'un catalogue étoffé d'étoiles. Seules les principales étoiles, qui ont généralement un nom propre, sont disponibles. Ainsi, une étoile de référence peut se situer beaucoup trop loin d'une cible et la précision de pointage se révéler insuffisante pour accéder à sa carte de champ. Pour pallier ce problème crucial, des petites nébuleuses planétaires présentes dans le catalogue de la monture et se trouvant à proximité des cibles sont choisies comme « étoiles de référence » pour réactualiser les encodeurs de la monture. Ces objets se distinguent généralement des autres étoiles par leur aspect flou et sont donc facilement repérables.

**CIBLE, OÙ ES-TU ?**

Même en étant plusieurs à scruter l'écran, il est difficile de repérer la carte de champ parmi les étoiles. Adrien se révèle le plus fort dans cette discipline. Une fois le champ d'étoiles reconnu, une image de calibrage sur une lampe au néon est réalisée. Cette image sert à caler le spectre de la cible en longueur d'onde. Comme pour l'image de PLU, il faut veiller à ne pas trop saturer l'image. Ensuite, il est nécessaire de se positionner sur une étoile brillante pour affiner la mise au point de la caméra principale en visualisant le continuum de l'étoile. Cette opération permet de canaliser un maximum de flux dans la fente. Hélas, à cause de mon inexpérience en

acquisition spectrographique, j'ai omis d'effectuer cette opération, pensant que la mise au point sur la caméra d'autoguidage suffisait. Heureusement, les conséquences ne sont pas aussi dramatiques qu'en imagerie. Si la mise au point n'est pas optimale, il y a tout simplement moins de flux qui entre dans la fente. La fente du spectrographe est enfin centrée sur la cible en actionnant les moteurs en ascension droite et en déclinaison de la monture (figure 9). La cible est généralement invisible sur l'image de la CCD d'autoguidage. Seules les étoiles situées à proximité de la cible permettent d'effectuer ce centrage. Pour l'affiner, il est nécessaire d'allonger le temps de pose de la caméra de guidage.



Fentes en position pour LDù 13 (à gauche) et LDù 18.

(© P. Le Dù)

9

**LES IMAGES D'ACQUISITION**

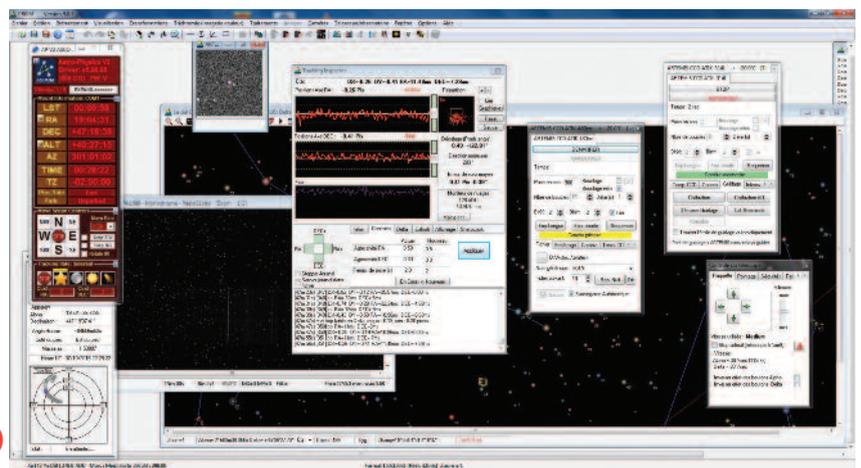
Une fois le centrage effectué, l'autoguidage est actionné à raison d'une image toutes les 2 secondes en choisissant une étoile guide lumineuse située à proximité de la cible. Le suivi de ce télescope de 500 mm est remarquable, mais il est préférable de se situer à 35° au-dessus de l'horizon pour qu'il soit optimum.

Le temps des poses d'acquisition est de 20 minutes et les acquisitions sont prévues sur 3 heures. Ce choix est arbitraire mais il permet « d'assurer », on ne monte pas tous les jours faire des spectres à 3 000 m d'altitude !

Le bouton « Démarrer » du logiciel Prism (fig. 10) est alors actionné, l'écran s'éteint, la voûte étoilée apparaît dans le cimier, c'est magnifique. Les moteurs ronronnent et la caméra tente de capter une très faible lumière d'une étoile peut-être en fin de vie, située à plusieurs années-lumière de la Terre... Moment fort pour un astronome amateur (fig. 11) !

Durant l'acquisition, la coupole est tournée régulièrement au cours de la nuit. En fin d'acquisition, une étoile de type A ou B qui se trouve le plus proche

10

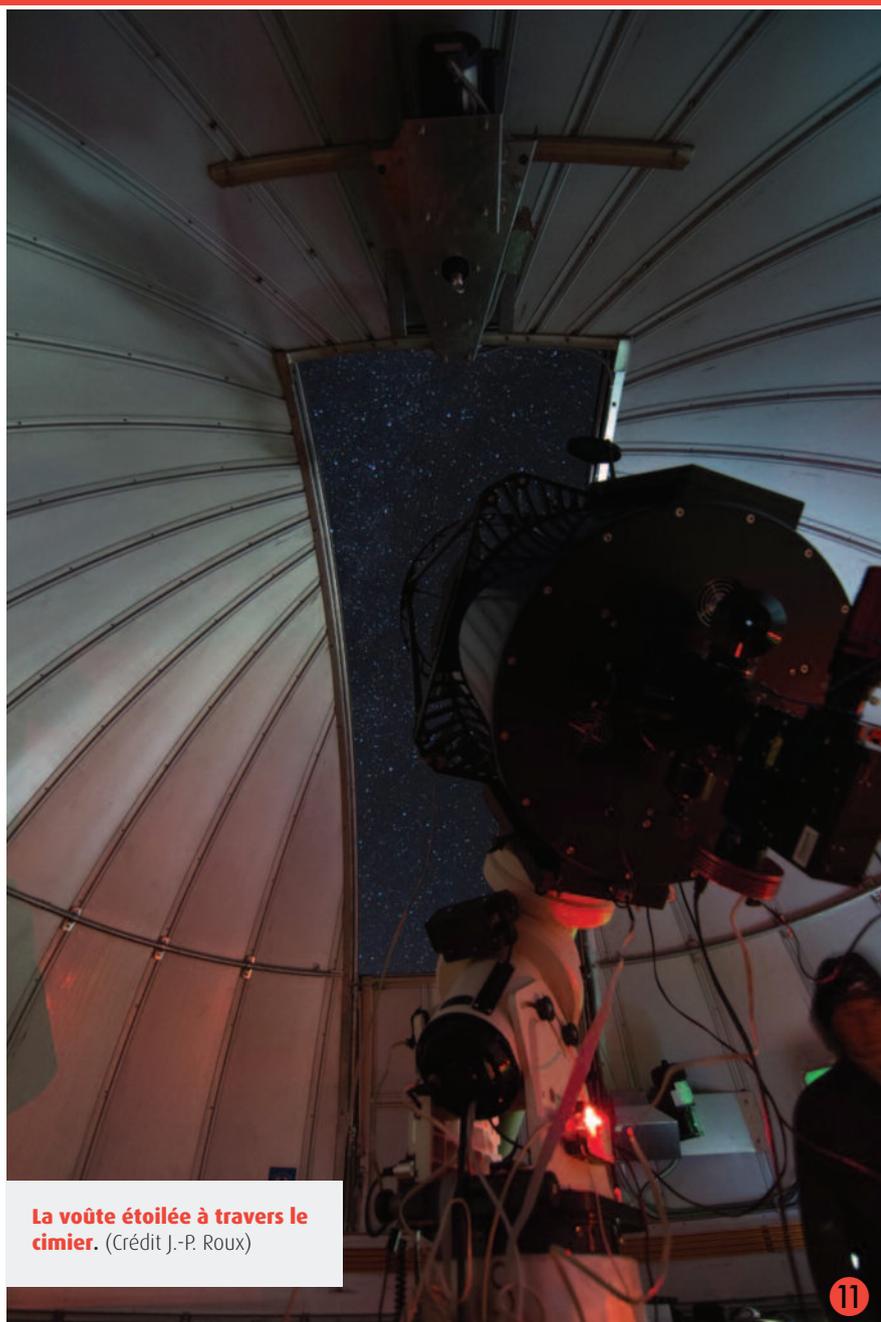


de la cible est pointée et une nouvelle séance d'acquisition est réalisée. L'étoile choisie étant lumineuse, les poses sont beaucoup plus courtes et ne durent que quelques secondes. Cette étape permet de déterminer l'équation de dispersion du spectrographe LISA et d'évaluer la réponse instrumentale qui inclut la transmission atmosphérique. Un nouveau spectre sur le néon est réalisé. Ainsi au traitement, le spectre de la cible est déterminé avec une plus grande précision.

**DETAILS DES ACQUISITIONS ENTRE LES 7 ET 10 OCTOBRE 2015**

Dans la nuit du 7 octobre 2015, les candidates nommées LDù 19 et Ra 9 sont choisies comme cibles, mais les spectres acquis ne permettent pas de mettre en évidence une nébuleuse planétaire. Le ciel reste couvert les nuits suivantes.

La nuit du 10 octobre s'annonce excellente. C'est la dernière nuit du CALA à l'observatoire. Il faut absolument réaliser des spectres concluants. Agnès



La voûte étoilée à travers le cimier. (Crédit J.-P. Roux)

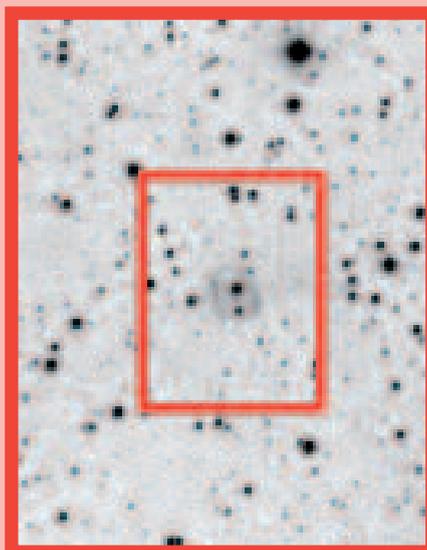
11

**Cette expédition a été une belle aventure humaine et un beau travail d'équipe.**

Acker est contactée dans la journée ; les candidates LDû 18 et LDû 13 sont les plus prometteuses. En effet, une image de LDû 18, réalisée par le KPNO et fournie par Matthias Kronberger (lire *l'Astronomie* février 2015), montre une belle morphologie de nébuleuse planétaire en forme de bulle. LDû 13 a également un bon signal [OIII] et H avec une forme ovale bien nette (fig. 12).

Ce sont des candidates nébuleuses planétaires « probables », dernier stade avant confirmation par un spectre. En début de soirée, des problèmes techniques compliquent le repérage de la première cible LDû 18. La monture oblige à effectuer un retournement au méridien pour pointer la cible après réactualisation de ses encodeurs. La

12

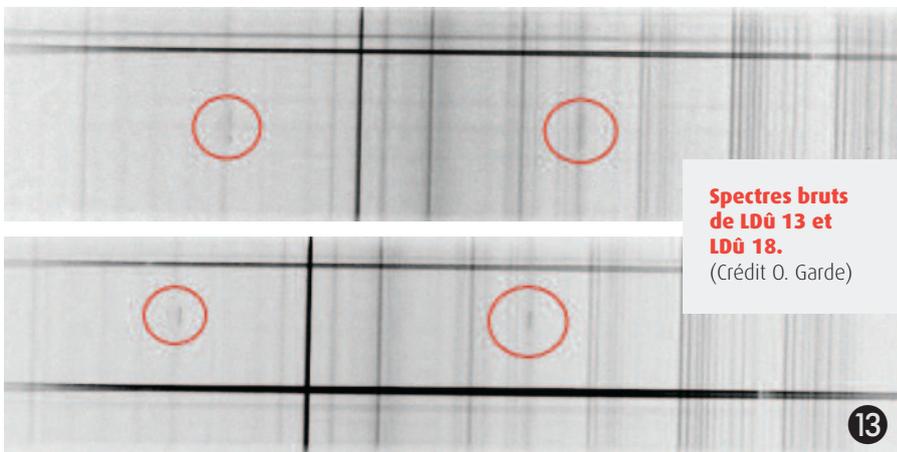


Images de LDû 13 (© Le Dû à gauche) et LDû 18. (KPNO)

DÉTAILS DES OBSERVATIONS

Détails prises de vue	Ra 9	LDû 19	LDû 18	LDû 13
Date	07/10/2015	07/10/2015	10/10/2015	10/10/2015
Images brutes	4	9	12	8
Température CCD	-20 °C	-20 °C	-20 °C	-20 °C
Binning	2 x 2	2 x 2	2 x 2	2 x 2
Temps de pose	80 min	180 min	240 min	160 min
Étoile de référence	Néant	HD183534	HD205314	HD223385
Temps de pose	Néant	10 x 10 s	10 x 20 s	10 x 20 s
Image néon	1 x 15 s	1 x 15 s	4 x 15 s	2 x 15 s
Flats sur lampe au tungstène	16 x 8 s	16 x 8 s	30 x 8 s	30 x 8 s

Images de prétraitement : 20 *darks* de 20 minutes, 20 *offsets* de 0,01seconde.



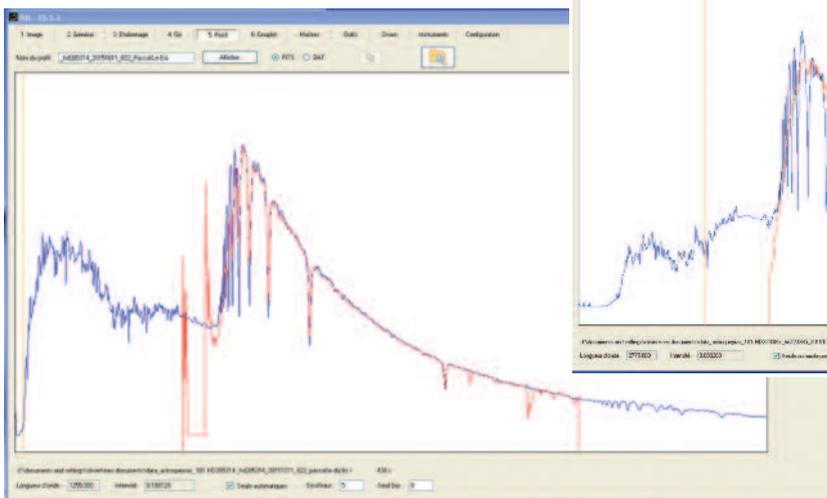
images de *flat* ne sont pas utilisées dans le prétraitement. Ces images génèrent du bruit supplémentaire qui n'améliore pas la lisibilité des spectres finaux.

L'opération la plus délicate consiste à calibrer les spectres obtenus à l'aide des images acquises sur les étoiles de référence et sur la lampe au néon. La dispersion du spectrographe LISA et la réponse instrumentale qui inclut la transmission atmosphérique, autre phase délicate du traitement, sont déterminées avec précision sur les étoiles HD205314 et HD223385 (fig. 14).

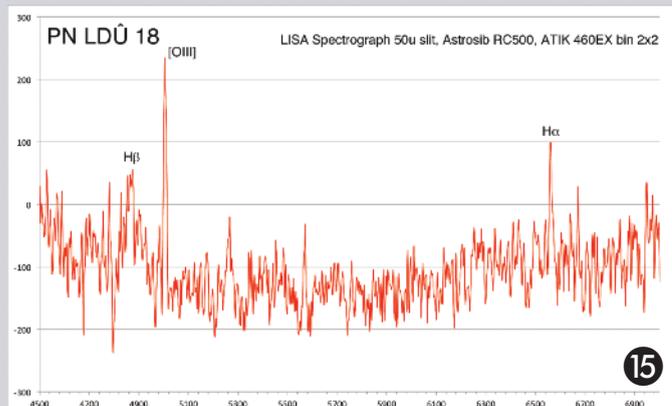
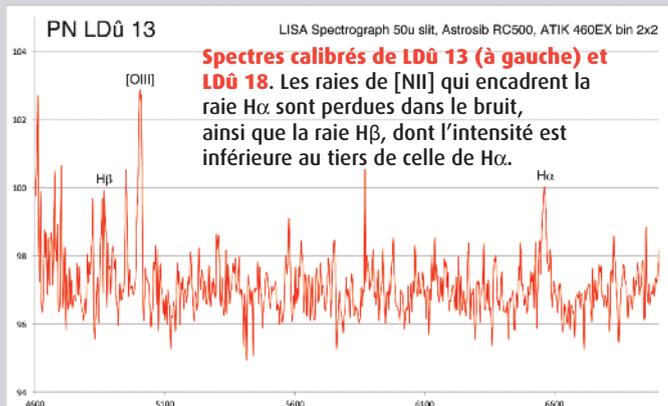
Les spectres calibrés et corrigés de tout signal parasite apparaissent enfin à l'écran. Le continuum des étoiles centrales des candidates est bien entendu invisible, mais le résultat est sans appel, nous sommes bien en présence d'objets qui émettent des raies prononcées en [OIII] et en H $\alpha$ .

LE TRAITEMENT DES DONNÉES

Avec l'aide de Dominique qui est venu la veille avec l'équipe de la SAL, le retour à Saint-Véran s'effectue le dimanche 11 octobre. Arrivé au domicile d'Olivier, les spectres les plus intéressants, en l'occurrence ceux de LDû 18 et LDû 13, sont traités le soir même à l'aide d'IRIS, logiciel de Christian Buil. Olivier maîtrise parfaitement le traitement de spectres et effectue l'essentiel du travail. Comme pour l'imagerie classique, les images de *dark* et d'*offset* permettent de soustraire au signal brut le signal d'obscurité et celui généré par le capteur. À l'instar du traitement effectué par Thierry Lemoult sur Ra 1 en juillet 2014 (*l'Astronomie* février 2015), comme les spectres acquis ont un signal sur bruit très faible, les



14 Réponses instrumentales des étoiles HD205314 (à gauche) et HD223385 comparées à leurs profils de référence. (Crédit O. Garde)



O. Garde

15

## LE BILAN

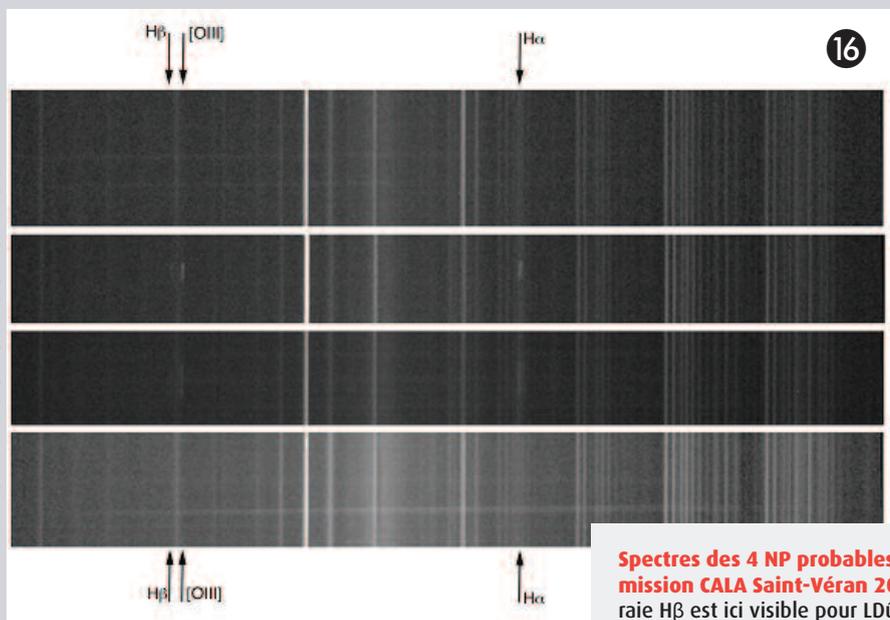
Après un nouveau travail sur le traitement pour réduire au minimum le bruit, les résultats complets des observations sont transmis dans la semaine à Agnès Acker (figure 15). En retour, par un mail du 7 octobre 2015, Agnès écrit ces mots : « ... Pour les spectres (en 2D et tracés 1D) : ils sont dominés par les raies interstellaires (couvrant toute la hauteur de l'image 2D) et le bruit, mais les émissions en [OIII] et H $\alpha$  (+ raies de [NII] perdues dans le bruit) de LDU13 et LDU18 permettent d'affirmer que ce sont des NP (à noter dans les tables) : félicitations ! »

C'est vraiment un soulagement pour l'équipe et un grand « YES » !

La mission de la semaine 41 à AstroQueyras, organisée par le CALA et composée essentiellement d'amateurs, n'a pas été vaine. Grâce aux travaux effectués et aux performances du matériel, en particulier celles du spectrographe LISA, les candidates LDU 18 et LDU 13 sont maintenant classées comme véritables nébuleuses planétaires (figure 16). Les spectres des candidates Ra 9 et LDU 19 n'ont pas permis de statuer sur la nature de ces objets. Des observations supplémentaires sont nécessaires avec peut-être un télescope de plus grand diamètre.

Cette expédition, on peut employer ce terme, a également été une belle aventure humaine et un beau travail d'équipe. « Monter au pic », c'est déjà une aventure à part entière, le paysage est à couper le souffle, mais de se retrouver entre astronomes amateurs passionnés et coupés du monde à 3 000 m d'altitude, c'est vraiment un plus. Ces confirmations de nébuleuses planétaires sont une belle récompense pour l'ensemble de l'équipe. ■

Ra 9 LDU 13 LDU 18 LDU 19



**Spectres des 4 NP probables de la mission CALA Saint-Véran 2015.** La raie H $\beta$  est ici visible pour LDU 18, alors que le tracé 1D est dominé par le bruit. (Crédit O. Garde)



17. Observateurs de l'équipe du CALA en liesse ! (Serge Golovanow)