

Imagerie et spectroscopie depuis la pointe bretonne

En ce mois de janvier 2017, les conditions météorologiques sont très favorables à la pointe bretonne. C'est l'occasion idéale pour réaliser des spectres de candidates nébuleuses planétaires à basse résolution mais également de tenter une belle image d'un objet du ciel profond.

L'astrophotographie et la spectroscopie sont deux disciplines de l'imagerie du ciel qui nécessitent pratiquement le même matériel mis à part le spectrographe, mais les contraintes et les objectifs sont différents. Beaucoup d'astronomes amateurs préfèrent pratiquer l'imagerie pour révéler des objets magnifiques, inaccessibles à nos yeux. La spectroscopie reste réservée aux astronomes qui désirent étudier plus en profondeur la physique d'un l'objet. Une image est évidemment plus attrayante qu'une courbe de points encore que... Après quelques explications, les subtilités d'un tableau abstrait ou même d'un poème captivent tout observateur ou lecteur, provoquant de l'émotion. Emotion qu'il est tout à fait possible de retrouver à la lecture du spectre d'une étoile, sous réserve de comprendre ce qu'il révèle !

Imagerie et spectrographie à basse résolution

L'imagerie à basse résolution permet de saisir de vastes champs nébuleux ou des galaxies, contrairement à l'imagerie à haute résolution réservée à l'imagerie planétaire. En spectroscopie, à basse résolution le spectre couvre tout le signal dans le visible d'une étoile ou d'un champ

nébuleux tandis qu'à haute résolution, seul une partie du spectre est visible, mais bien plus détaillée. Pour confirmer la nature d'une nébuleuse planétaire, un spectre à basse résolution suffit, pour autant qu'il montre clairement des raies nébulaires. Rares sont les astronomes amateurs qui pratiquent l'imagerie et la spectroscopie de front, car chacune de ces disciplines demande un investissement considérable en temps et en persévérance, sans parler de l'aspect pécuniaire. Le challenge en cette période d'observation favorable, est d'imager une grande nébuleuse tout en réalisant le spectre d'une candidate nébuleuse planétaire, pour tenter de confirmer sa nature.

Choix des objets

Pour l'imagerie, l'objet choisi est un classique du ciel de l'hémisphère Nord, SH2-275, communément appelée la Nébuleuse de La Rosette.

Depuis maintenant 4 ans, des objets du ciel profond sont régulièrement découverts par des astronomes amateurs, en l'occurrence des nébuleuses planétaires (NP), qui sont à l'état de candidate tant qu'un spectre n'a pas permis de révéler leur véritable nature. Une table des candidates NP est mise à jour chaque

L'auteur

Pascal Le Dû est un astronome amateur qui observe le ciel depuis la pointe bretonne en face des îles d'Ouessant et Molène. En étroite collaboration avec Agnès Acker, il analyse et répertorie les candidates NP découvertes par des amateurs. Il maintient la base des découvertes françaises. Il dispose d'un observatoire qui permet d'imager le ciel, mais aussi de réaliser des spectres. Titulaire d'un DU en mécanique céleste, il ne manque pas de partager sa passion par le biais de conférences et d'articles dans des magazines d'astronomie.

Il est membre du club d'astronomie Pégase de Saint-Renan.

année et est importée dans la base VizieR [1] et par la suite, dans Simbad du Centre de Données astronomiques de Strasbourg (CDS). Beaucoup d'objets sont à l'état de candidate NP possible ou probable, mais certains ont pu être confirmés par spectroscopie par des amateurs [2]. Ga 1, candidate nébuleuse planétaire probable (voir figure 1), donc montrant du signal avec un filtre [OIII] (voir figure 2), a été découverte par Julien Gallardo en octobre 2014 sur des images du DSS [3]. Cette candidate a la particularité d'être excentrée par rapport au disque galactique et se trouve dans la constellation des Poissons (constellation visible en hivers dans le ciel boréal), à la position suivante :

RA= 02h25min56.63sec Dec=+07°48'21.70"

Comme l'objet a un aspect bien compact et contrasté, il est choisi comme cible en spectroscopie.

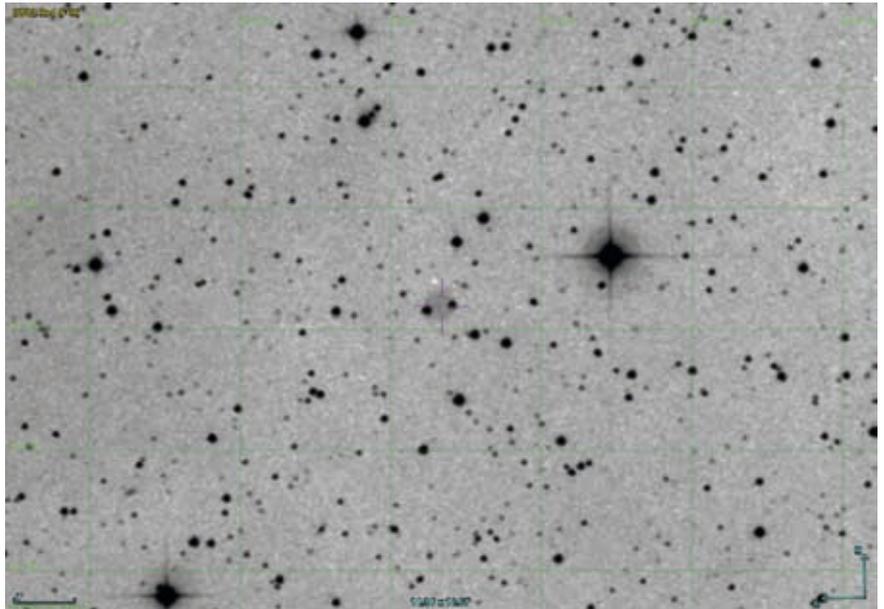
Prises de vue depuis la pointe Bretonne

Le Matériel

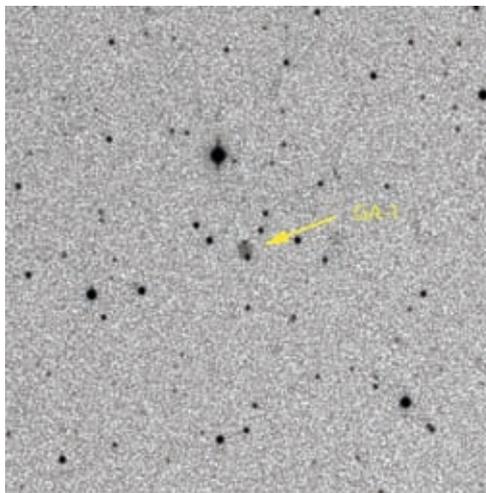
Comme précisé plus haut, d'un point de vue technique, le matériel est pratiquement le même pour l'imagerie et pour la spectroscopie : monture, optique, caméra principale, diviseur optique, caméra d'autoguidage, ordinateur. Pour la spectroscopie, un spectrographe est inséré entre le diviseur optique et la caméra principale. Les contraintes par contre, ne sont pas les mêmes.

Imagerie

Pour imager de vastes nébuleuses il est nécessaire de disposer d'une optique parfaitement corrigée en chromatisme, dépourvue d'aberration optique et qui capte un maximum de lumière. Un réfracteur disposant d'un petit rapport F/D convient parfaitement. Pour couvrir un champ considérable, le capteur de la caméra est le plus grand et le plus sensible possible, avec un minimum de bruit et de surcroît, bien refroidi. Des filtres à bande étroite permettent de capter essentiellement la lumière émise par la nébuleuse. La mise au point est très précisément déterminée. La caméra d'autoguidage demande une bonne sensibilité pour la détection d'une étoile guide. Enfin, la monture supporte le tout pour de longues séances de poses, en garantissant un très bon suivi grâce à l'autoguidage.



1. La candidate nébuleuse planétaire Ga 1 sur une image du DSS



2. La candidate nébuleuse planétaire Ga 1 imagée en OIII par Julien Gallardo



3. Le matériel utilisé pour l'imagerie.

Le matériel d'imagerie utilisé est le suivante (voir figure 3) :

- Monture : Losmandy G11 munie d'un spacer et d'un kit NS
- Optique : Lunette Takahashi FSQ106EDX de 106 mm à F/D 3.6 (grâce à un réducteur 0,73)
- Caméra principale : QSI 583wsg avec filtres Astrodon de 5 nm Halpha, [OIII] et [SII]
- Caméra d'autoguidage : Starlight Xpress Lodestar
- Logiciel : Prism Version 10

Termes utilisés

Spectre 2D : Image du spectre acquis par la caméra.

Spectre 1D : Courbe du spectre montrant le flux en fonction de la longueur d'onde.

Spectroscopie

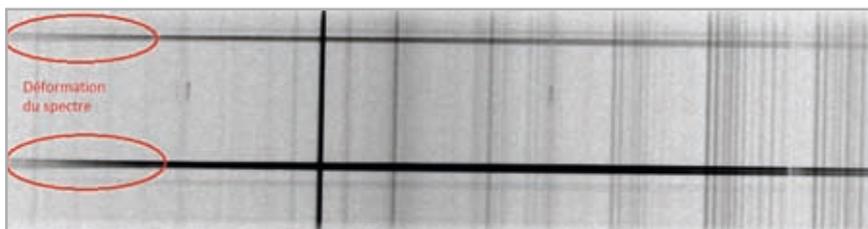
L'optique utilisée dans ce domaine, est également dépourvue de chromatisme, qui est essentiellement généré par des lentilles. Ce chromatisme provoque des déformations sur les extrémités des spectre (voir figure 4). Un réflecteur de type Newton, sans aucun correcteur, convient parfaitement, d'autant plus que le spectrographe travaille essentiellement au centre du miroir, où l'aberration optique est minimale. Pour optimiser le rendement du spectrographe, il est important de choisir un système optique qui a un même rapport F/D que celui du spectrographe. La caméra principale, très sensible, ne nécessite pas forcément un grand capteur car elle est limitée par la taille de la fente du spectrographe. Ce dernier dispose, en plus de sa partie prévue pour disperser la lumière, d'un module d'autoguidage qui permet à la caméra d'autoguidage de "voir" la fente du spectrographe dans le champ étoilé. Cette caméra dispose d'un champ conséquent et d'une bonne sensibilité. Elle permet de garantir un bon suivi mais aussi d'effectuer une reconnaissance astrométrique du champ observé pour caler très précisément la fente du spectrographe sur la cible. Un module de calibration, muni de lampes Argon-Néon et Tungstène, permet de réaliser des spectres de calibration et de flat. Le porte-à-faux du système d'imagerie est important et demande un porte oculaire robuste.

Le matériel de spectroscopie utilisé est le suivant (voir figure 5) :

- Monture : Losmandy G11 munie d'un spacer et d'un kit NS
- Optique : télescope Newton de 200 mm à F/D 5 muni d'un porte-oculaire Feather Touch
- Spectrographe Alpy muni d'une fente de 23 μm , de son module d'autoguidage et de son module de calibration
- Caméra principale : ATIK 414EX
- Caméra d'autoguidage : ATIK 314L+
- Logiciel : Prism Version 10

Les acquisitions

Les deux configurations décrites précédemment sont utilisées et mise en oeuvre conjointement. Le fait de disposer d'un observatoire pour chaque configuration facilite la tâche (voir figure 6). En imagerie comme en spectroscopie, des images de



▲ 4. Exemple de déformation de spectre pouvant être engendrée par une optique présentant du chromatisme.



▲ 5. Le matériel utilisé pour la spectroscopie



▲ 6. L'idéal : un observatoire permettant d'abriter deux configurations, une pour l'imagerie et l'autre pour la spectroscopie

prétraitement d'offset, de darks et de flatfield sont réalisées pour corriger les données brutes pour chaque setup.

Imagerie

Des séances d'observation automatiques sont programmées pour SH2-275 à l'instar

de IC 1848 imagée quelques années plus tôt [4]. Le cadrage a été déterminé avec précision au préalable avec l'outil Aladin du CDS et des images DSS (voir figure 7). Le logiciel Prism [5] permet de gérer de façon autonome l'intégralité des prises de vue, du centrage de l'objet par étalonnage astrométrique, à l'autoguidage, tout en effectuant des contrôles de mise au point régulièrement. Pour avoir un résultat optimal en accumulant un maximum de poses pour chaque filtre, des séances d'acquisition sont programmées sur plusieurs nuits.

Les images ont été acquises entre le 17 et le 25 janvier 2017. La caméra principale était en binning 1x1 et refroidie à -18°C . Les poses unitaires étaient de 20 minutes :

- 34 poses avec filtre Halpha
- 33 poses avec filtre [OIII]
- 32 poses avec filtre [SII]

Un certain nombre d'images de prétraitement ont été réalisées :

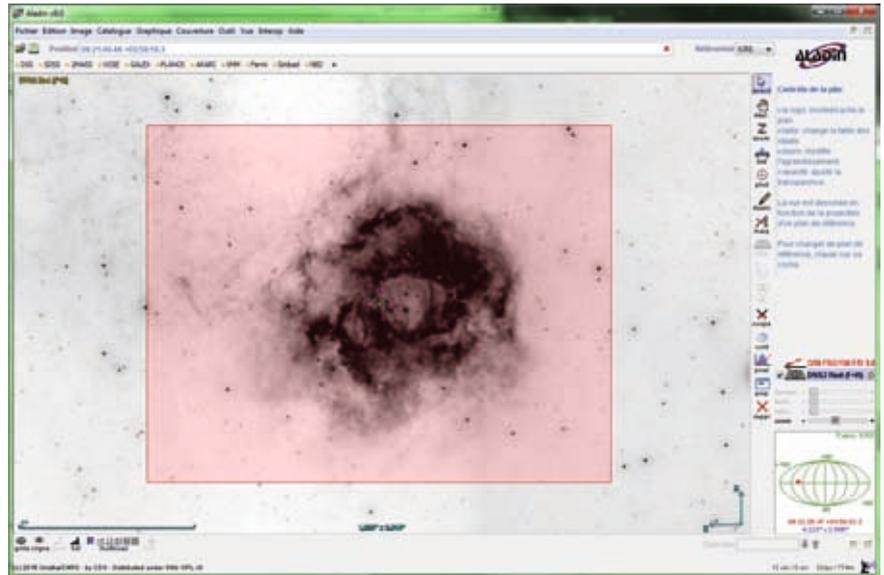
- 40 images d'offsets
- 44 images de darks
- 15 images de flats pour chaque filtre

Spectroscopie

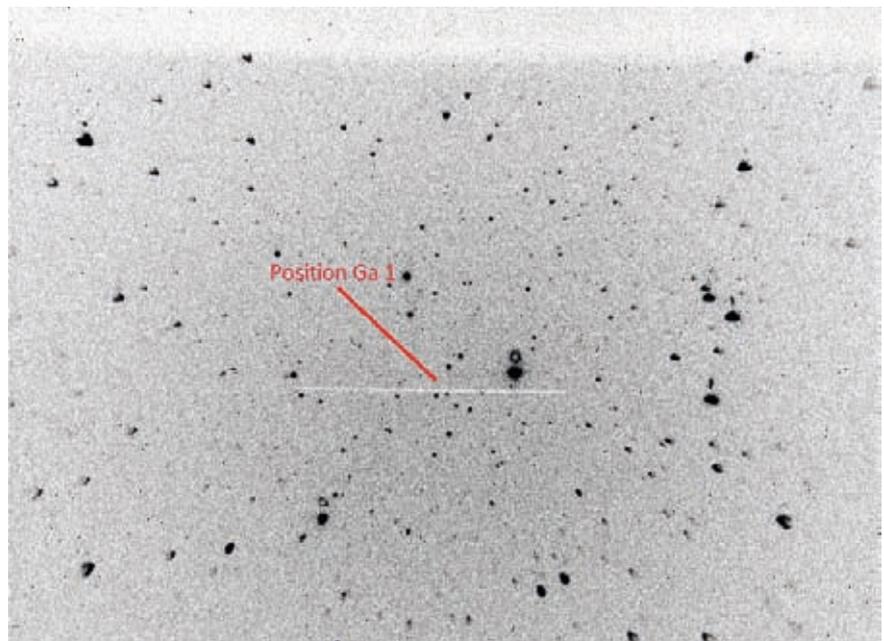
La fente du spectrographe permet de concentrer la lumière de l'objet observé vers le dispositif disperser. Cette fente est excentrée sur l'image vue par la caméra d'autoguidage. En positionnement automatique, il faut en tenir compte. Les candidates NP sont en général invisibles sur l'image et un recours à un positionnement manuel de la fente sur l'objet est souvent nécessaire. Mais avant, le champ est reconnu très précisément par étalonnage astrométrique, à partir de l'image de la caméra de guidage, qui montre toutes les aberrations optiques du Newton dépourvu de correcteur. A cette fin, le catalogue très complet UCAC-3 choisi dans Prism, est fort utile. La candidate Ga 1 invisible sur l'image, est entourée de deux étoiles qui facilitent grandement son repérage, mais qui risquent de perturber le traitement du spectre. La fente horizontale est donc positionnée juste au nord de la nébuleuse, au-dessus de ces deux étoiles (voir figures 8 et 9).

Le premier spectre brut "2D" montre distinctement des raies nébulaires typiques d'une nébuleuse planétaire (voir figure 10). C'est très bon signe. Il ne reste plus qu'à acquérir des images pour réduire au maximum le bruit de lecture.

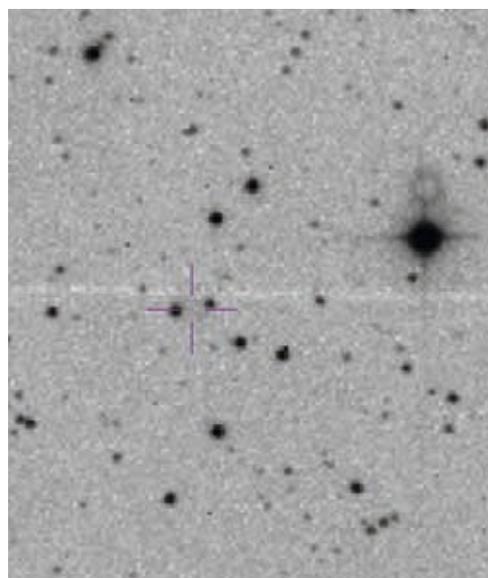
Pour étalonner en longueurs d'onde chaque colonne de pixels du capteur CCD, trois



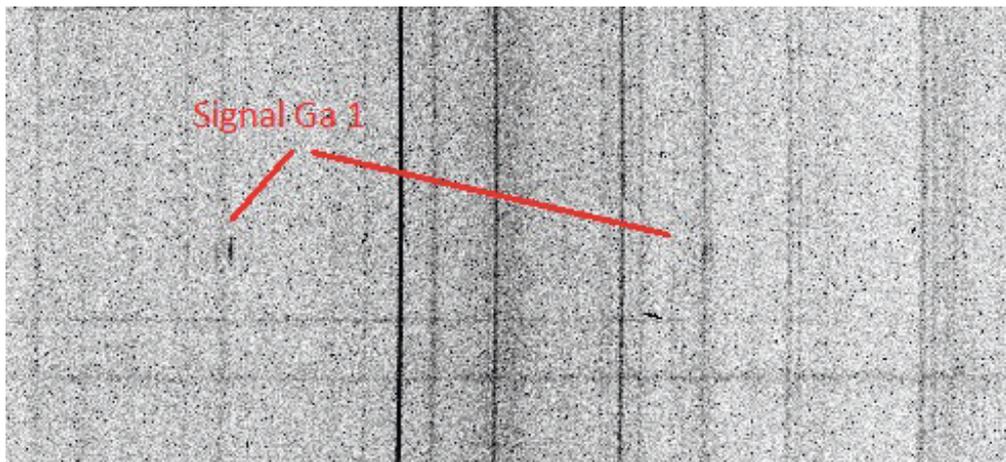
7. Le logiciel Aladin permet de préparer un cadrage très précis.



8. La fente horizontale du spectrographe est positionnée juste au nord de la nébuleuse Ga 1, juste au-dessus des deux étoiles qui l'entourent.



9. Agrandissement de l'image précédente, le centre de la nébuleuse Ga1 étant repérée par la croix rouge.



10. Premier spectre brut "2D" sur lequel des raies nébulaires typiques d'une nébuleuse planétaire sont visibles.

spectres d'étalonnage sont réalisés sur une lampe Néon-Argon, dans les mêmes conditions d'observation que Ga 1.

Au traitement, pour générer le spectre de Ga 1, il est nécessaire de le corriger de la réponse instrumentale du moment. Cette réponse instrumentale est liée à la sensibilité de l'instrument mais aussi à la transmission atmosphérique (couche atmosphérique située entre l'instrument et Ga 1). Pour effectuer cette correction, des spectres sur une étoile de référence de type A ou B située à proximité immédiate de la cible dans le ciel, sont réalisés. En l'occurrence pour Ga 1, l'étoile HD34203 de type A0V est choisie comme étoile de référence.

Les prises de vue ont été réalisées le 18/01/2017, avec la caméra principale, refroidie à -15°C utilisée en binning 2×2 . Les poses ont été les suivantes :

- 15 poses de 10 min sur Ga1
- 10 poses de 10 s sur HD034203

Les images de calibration ont été les suivantes :

- Lampe Argon-Néon : 3 poses de 4 s
- Lampe de tungstène : 10 poses de 0,5 s, utilisées comme flat-field

Les images de prétraitement ont été :

- 30 images d'offset
- 23 images de darks

Traitement des données

Imagerie

Après le prétraitement qui consiste à corriger les images brutes des images d'offset, de dark et de flat field, le traitement est essentiellement réalisé avec le logiciel Pixinsight [6]. L'utilisation de masques permet de traiter séparément les étoiles, le fond de ciel et la nébuleuse. La puissance du logiciel permet de révéler les plus fins détails de l'objet. L'image résultante n'est

pas une pure image SHO avec, pour la couche rouge l'image [SII], pour la couche verte l'image Halpha et pour la couche bleue l'image [OIII]. C'est une image composite qui ne respecte pas l'intensité du signal reçu par chaque filtre (utilisation de coefficients). De plus, les images résultantes de chaque filtre sont mélangées entre elles dans chaque couche de couleur. Le but ici est de rendre l'objet esthétique au goût de l'opérateur, les choix sont infinis. Une série d'articles de l'association AIP [7] décrit toutes les possibilités qu'offre ce logiciel très abouti sur le traitement d'image.

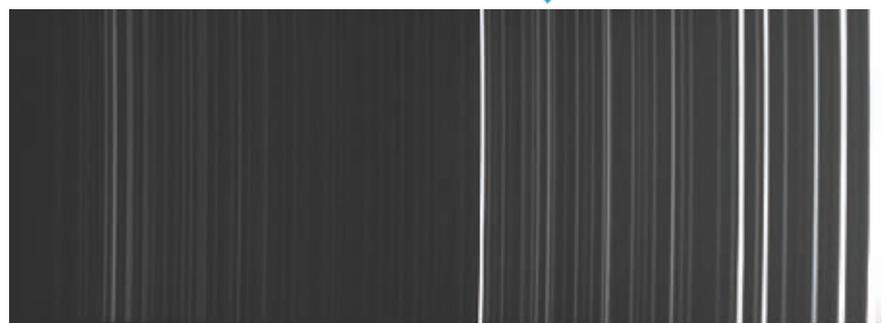
Spectroscopie

Le logiciel ISIS [8] développé par Christian Buil est le principal outil de traitement utilisé pour "réduire" les spectres acquis. La réduction d'un spectre brut consiste à le corriger des images de prétraitement, à le calibrer en longueur d'onde et enfin à le corriger de la réponse instrumentale. Le spectre réduit est le résultat final d'une observation spectroscopique. Le premier traitement est réalisé sur HD34203.

Réduction du spectre de l'étoile de référence

Comme pour le prétraitement des images traditionnelles, des images maîtres

11. Spectre de calibration réalisé avec la lampe Argon-Néon.

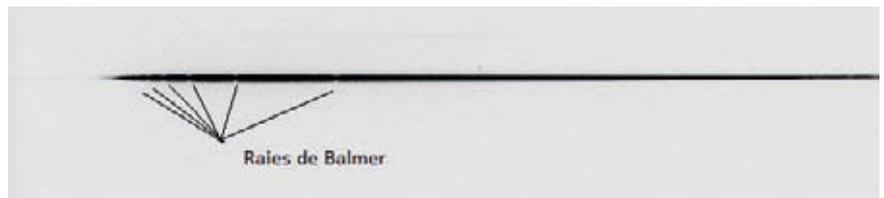


d'Offset, de dark et de flat sont appliquées aux spectres bruts de l'étoile de référence, HD34203.

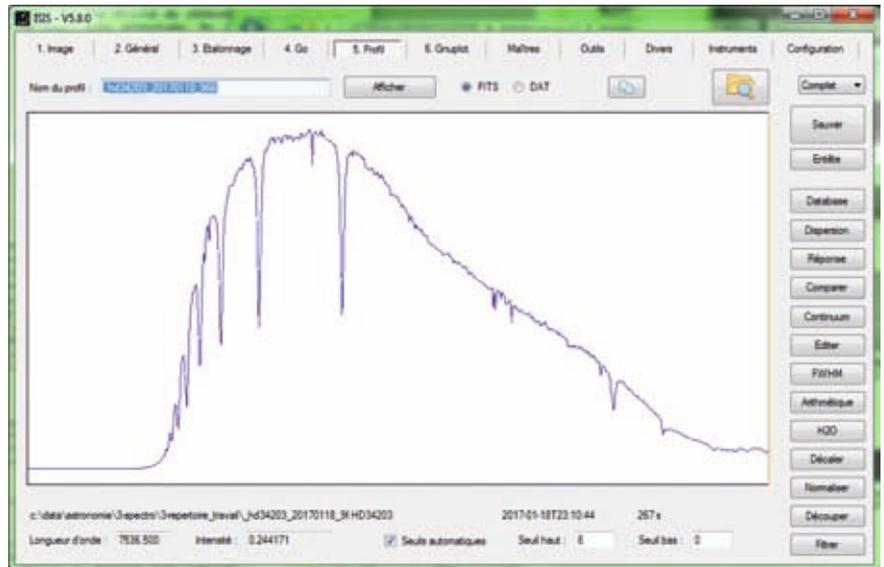
Le spectre de calibration acquis avec la lampe Argon-Néon (voir figure 11) permet d'associer à chaque colonne de pixels une longueur d'onde physique et de déterminer ainsi une loi d'étalonnage applicable à tous les spectres acquis dans les mêmes conditions, comme ceux de HD30203 et de Ga 1. L'image 2D brute de HD34203 montre le continuum de l'étoile, un spectre bien lumineux où les raies spectrales de Balmer de l'hydrogène, sont visibles (voir figure 12). Une fois calibrée en longueur d'onde grâce à la loi d'étalonnage, le spectre résultant issu du compositage des images unitaires, ne ressemble en rien à celui d'une étoile de type A0V. Ce dernier a une forme similaire à la courbe de sensibilité du capteur (voir figure 13). Le spectre est alors comparé à un spectre de référence d'une étoile du même type spectral que HD34203, en l'occurrence de type A0V. Ce spectre est issu d'une base professionnelle, nommée Pickles. La réponse instrumentale est obtenue en divisant le spectre observé par le spectre de référence (voir figure 14). Le spectre de HD34203 corrigé de la réponse instrumentale montre alors un spectre réduit qui se superpose parfaitement au spectre de référence d'une étoile de type A0V (voir figure 15).

Réduction du spectre de l'objet : Ga 1

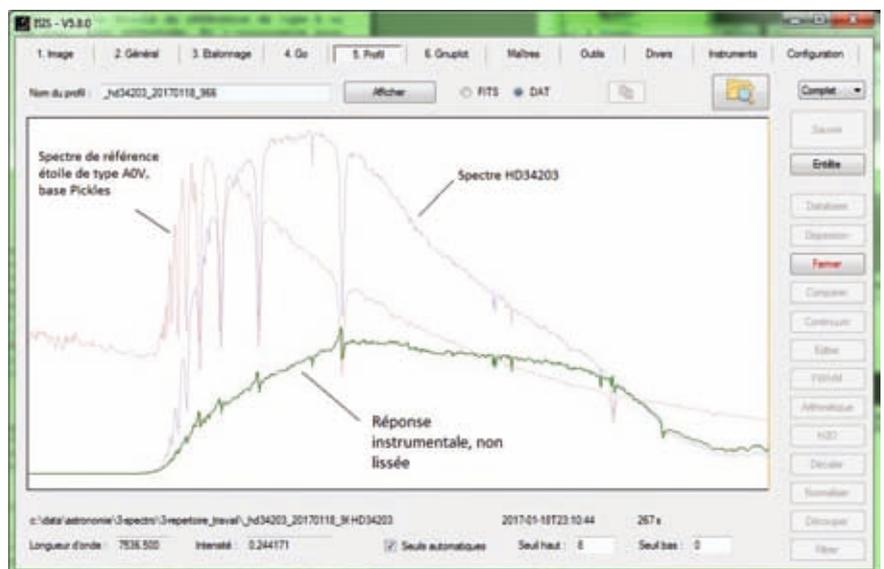
Une fois le traitement de l'étoile de référence effectué, la réduction du spectre de Ga 1 est grandement facilité. Les spectres bruts unitaires de l'objet sont d'abord prétraités puis compilés. La loi d'étalonnage précédemment calculée, fait correspondre à chaque colonne de pixels, une longueur d'onde physique. La réponse instrumentale permet de finaliser la réduction du spectre de Ga 1, à la différence près que Ga 1 est une candidate nébuleuse planétaire, une étoile en fin de vie détectable uniquement par ses raies nébulaires en émission, qui sont très ténues. Le continuum de l'étoile centrale, une naine blanche, n'est pas visible. Une étape importante pour le traitement de Ga1, consiste à isoler son signal pour le corriger du fond du ciel et ne traiter que la zone d'intérêt. Cette étape précédemment effectuée pour HD34203, est cruciale pour la candidate NP, qui est très faiblement visible sur le spectre 2D (voir figure 16).



▲ 12. Spectre 2D de l'étoile HD 34203



▲ 13. Spectre de l'étoile HD 34203 après calibration en longueur d'onde et compositage de toutes les poses unitaires.



▲ 14. Réponse instrumentale obtenue en divisant le spectre observé de l'étoile de référence par le spectre de référence d'une étoile de type A0V

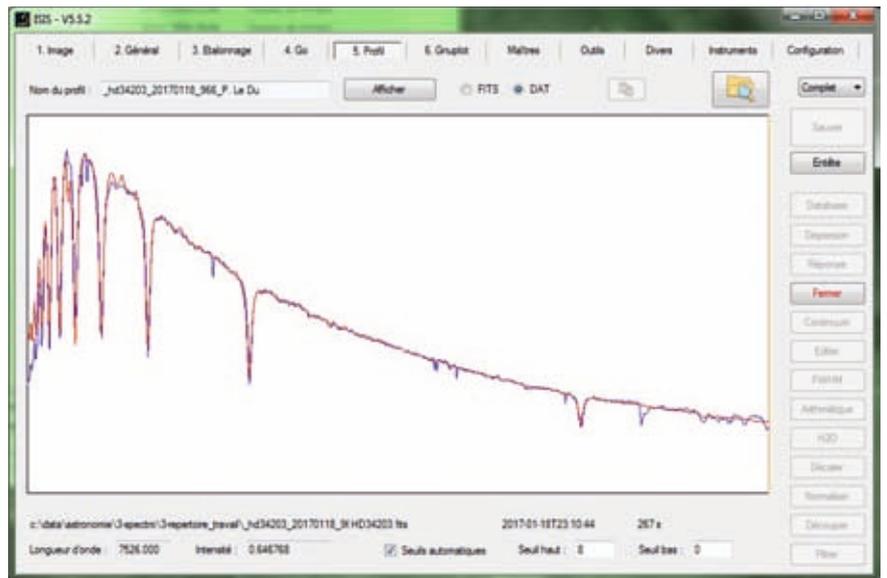
Résultat et Bilan

L'image résultante de SH2-275 montre beaucoup de détails fins (voir figure 17). Comme précisé plus haut, cette image a surtout un but esthétique, mais c'est à partir de telles acquisitions qu'il est possible de détecter des objets inconnus et non référencés par les astronomes professionnels [9]. A ce titre, une quantité

non négligeable de candidates nébuleuses planétaires sont actuellement découvertes dans le ciel austral à l'aide d'images SHO [10].

Le spectre réduit 1D de Ga 1 doit être le plus réel et le plus précis possible. Il est issu d'une mesure physique qui a pour but de déterminer la nature exacte de la candidate Ga 1.

Ce 18 janvier 2017, c'est chose faite. Ce premier spectre de l'objet Ga 1 montre sans équivoque dans sa version 2D (voir figure 18) et sa version 1D (voir figure 19) les raies du doublet vert de l'oxygène [OIII] (4959/5007) mais également les raies H β (4861.1), H α (6563) et [NII] (6583). Ces raies sont de très bons traceurs pour une nébuleuse planétaire. Une fiche spectroscopique est rédigée et les données sont transmises à Agnès Acker et à Quentin Parker de l'université de Hong Kong. Quentin Parker et son équipe entretiennent la base HASH [11] accessible uniquement aux professionnels qui regroupe toutes les nébuleuses planétaires connues à ce jour, qu'elles soient à l'état de candidates sérieuses ou confirmées. Ce premier spectre de Ga 1 permet de classer Ga 1 comme "True PN" dans la base HASH, véritable nébuleuse planétaire. Il faut noter qu'avec un tel spectre à basse résolution, il est possible dans une première approximation, de déterminer la vitesse radiale de l'objet, sa température électronique, son extinction interstellaire ainsi que la densité des gaz nébulaires.



15. Spectre de HD34203 corrigé de la réponse instrumentale



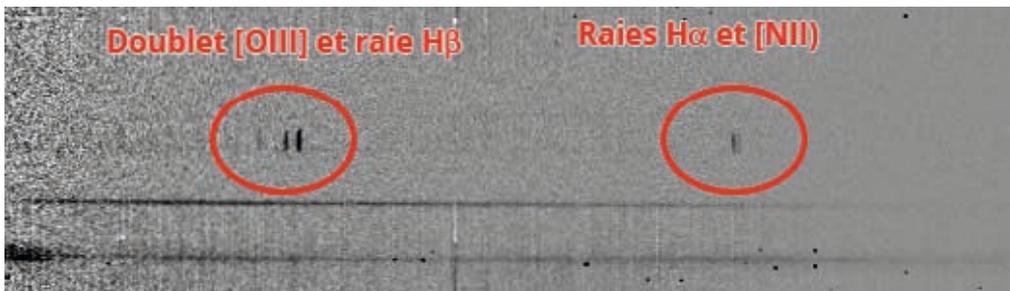
16. Il est important d'isoler le signal de Ga1 pour le corriger du fond du ciel.

Bibliographie

"Astronomie, Astrophysique" de Agnès Aker,
 "Guide pratique pour (bien) débiter en spectroscopie astronomique" de François Cochard

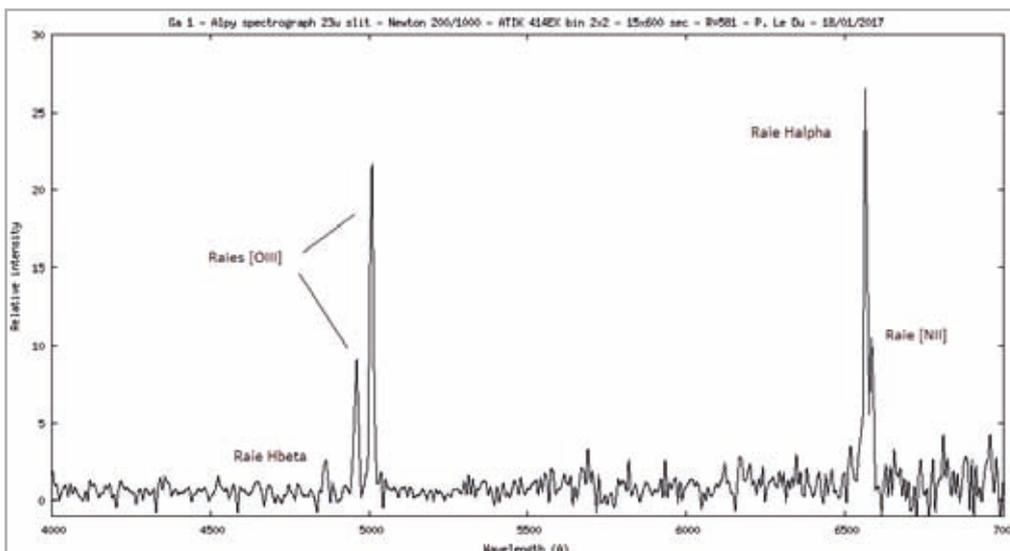
Notes

- [1] : <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR?-source=J/other/LAstr/102.46>
- [2] : "Nouvelle candidates nébuleuses planétaires", L'astronomie, Février 2017 : www.cielocan.fr/uploads/images/FichiersPDF/NEBULEUSE%20PLANE'TAIRE_102.pdf
- [3] : DSS Digitized Sky Survey
- [4] : Astrosurf-Magazine, Janvier/Février 2013 (http://www.cielocan.fr/uploads/images/FichiersPDF/asm60_LeDu.pdf)
- [5] : Logiciel PRISM : <http://www.prism-astro.com/fr/>
- [6] : Logiciel PixInSight : <https://pixinsight.com/>
- [7] : Association AIP : <https://www.astro-images-processing.fr/>
- [8] : Logiciel ISIS : <http://www.astrosurf.com/buil/isis/isis.htm>
- [9] : "Découverte de la nébuleuse planétaire LD1 1...l'histoire continue avec vous", Astrosurf-Magazine, Mars/Avril 2012 : http://www.cielocan.fr/uploads/images/FichiersPDF/AstrosurfMagazine_Mars-Avril2011_Total.pdf
- [10] : APO team : http://www.atacama-photographic-observatory.com/infos_degape.php
- [11] : arXiv:1603.07042v2 : <http://www.cielocan.fr/uploads/images/FichiersPDF/1603.07042v2.pdf>



▲ 17. L'image résultante de SH2-275

◀ 18. Spectre 2D final de la nébuleuse Ga1



◀ 19. Spectre 1D final de la nébuleuse Ga1