



Manuel Utilisateur Alpy 600

Olivier Thizy
(olivier.thizy@shelyak.com)

François Cochard
(francois.cochard@shelyak.com)



DC0020B : fév.-2014

Spectroscopie Alpy 600

Guide d'utilisation



Olivier Thizy
(olivier.thizy@shelyak.com)

François Cochard
(francois.cochard@shelyak.com)

Février 2014

Ref. DC0020 - rev B

Table des matières

Introduction	4
1 Découvrez votre Alpy 600	6
1.1 Contenu de la boîte	6
1.2 Spécifications techniques	6
1.3 Les éléments de l'Alpy 600	6
1.4 Interfaces mécaniques	8
1.5 Observation visuelle	9
1.6 Principe de l'Alpy 600	10
1.7 Les différentes fentes	11
2 Alpy 600 - Spectroscopie en mode fente	14
2.1 Configuration pour l'imagerie	14
2.2 Couleur ou noir & blanc ?	17
2.3 Prévisualiser votre profil spectral	17
2.4 Images de référence	20
2.4.1 Image d'offset	20
2.4.2 Images de noir (dark)	20
2.4.3 Spectre de PLU (ou flat)	21
2.4.4 Spectre de calibration	21
2.4.5 Observation typique	21
2.5 Réduction de données	21
2.5.1 Préparer les images maîtres	21
2.5.2 Première étape : profil brut	22
2.5.3 Deuxième étape : calibration en longueur d'onde	22
2.5.4 Troisième étape : correction de la réponse instrumentale	24
3 Alpy 600 - Spectroscopie stellaire en mode sans fente	26
3.1 Passer en mode "sans fente"	26
3.2 Observation visuelle	26
3.3 Enregistrer un spectre d'étoile	27
3.3.1 Régler l'instrument	27
3.3.2 Observation d'étoiles	29
3.4 Réduction des données	30
3.4.1 Première passe	30
3.4.2 Seconde passe	31
3.4.3 Troisième passe	31
4 Spectre d'étoile en mode fente	34
5 Aller plus loin	36
5.1 Augmenter la qualité des données	36
5.1.1 Ratio signal/bruit (SNR)	36
5.1.2 Résolution	36
5.1.3 Calibration en longueur d'onde	37
5.1.4 Autoguidage (module de guidage)	37

5.1.5	Fichier cosmétique	37
5.1.6	Courbe de réponse instrumentale	37
5.1.7	Tenir un journal d'observation	37
5.2	Améliorer la productivité	37
5.2.1	Garder la même configuration	37
5.2.2	Bibliothèque de noirs	38
5.2.3	Temps d'exposition	38
5.2.4	Préparez vos observations	38
5.2.5	Un répertoire pour chaque session d'observation	38
5.2.6	Réduisez vos données rapidement	38
5.3	Partagez vos résultats	38
5.4	Faites des spectres de qualité professionnelle	39
6	Session typique d'observation	40
7	Annexes	41
7.1	Modules Alpy et accessoires	41
7.1.1	Module de guidage Alpy	41
7.1.2	Module de calibration Alpy	41
7.1.3	Adaptateur barlow pour Appareil Photo Numérique (APN)	42
7.1.4	Adaptateur pour caméra en monture C	43
7.1.5	Adaptateur de fibre optique :	43
7.2	Utiliser l'Alpy 600 avec un APN	43

Bienvenue dans le monde de la spectroscopie !

Alpy est une gamme de produit modulaire, vous permettant d'aborder facilement la spectroscopie jusqu'à vous permettre de produire des spectres de haute qualité. L'alpy 600 est le module principal de cette famille. Vous pouvez l'utiliser de différentes façons : en mode visuel sur différentes sources lumineuses ou sur des étoiles avec un télescope ; vous pouvez l'utiliser avec un appareil photo (ou encore mieux, une caméra CCD) pour partager ce que vous voyez et même faire des mesures scientifiques. Vous serez surpris de voir jusqu'où vous pouvez aller en astrophysique avec un instrument si simple. Par exemple, vous serez capable de mesurer la température d'une étoile, définir son type spectral, mesurer la vitesse d'explosion d'une nova, observer la raie d'émission d'une étoile Be, mesurer l'expansion de l'univers etc...

En concevant l'Alpy 600, nous avons plusieurs objectifs :

- Offrir un instrument d'utilisation simple et amusante, mais assez puissant pour ceux qui veulent approfondir le côté scientifique. Aucun compromis n'a été fait sur la qualité des spectres : l'optique est spécialement calculée pour ce spectroscopie.
- Fournir un appareil abordable et évolutif. Plusieurs modules supplémentaires sont disponibles. Vous pouvez utiliser l'Alpy 600 seul pour produire des spectres de haute qualité, mais si vous ajoutez le module de guidage ou celui de calibration vos observations astronomiques seront plus faciles et plus productives.
- S'adapter facilement à votre propre matériel (télescope, caméra...) ; les interfaces mécaniques sont standards et permettent de nombreuses combinaisons.
- En spectroscopie, il existe plusieurs sortes d'instruments : avec ou sans fentes ou avec une fibre optique. Tous ont des avantages et des inconvénients : c'est le type d'observation qui définit la configuration optimale. L'Alpy 600 les permet toutes. Vous pouvez donc utiliser celle qui vous convient le mieux.

Prérequis

La spectroscopie est un vaste sujet. Certains aspects sont très simples : par exemple regarder visuellement un spectre pendant la journée ou celui d'une étoile ne

demande aucune expérience.

Cependant, si vous voulez prendre des photos ou faire des mesures scientifiques, il est fortement conseillé de maîtriser son instrument – télescope et caméra. Dans ce document, nous supposons que vous êtes novice en spectroscopie mais que vous connaissez déjà les bases de l'astrophotographie. Nous ne parlerons pas des points suivants :

- Comment installer votre télescope. Vous devez être capable de pointer et suivre une étoile. Idéalement, vous devez avoir un système d'autoguidage (avec une optique hors axe, ou avec le module de guidage Alpy).
- Comment installer et utiliser les logiciels les plus courants. Vous devez posséder un PC utilisant Windows (Windows 7 est utilisé en illustration de ce document).
- Les bases de l'imagerie astronomique. Vous devez savoir par exemple ce qu'est un Noir (ou dark), une Plage de Lumière Uniforme (PLU), un offset, et le processus général de traitement d'image.



Si vous avez déjà fait des images de ciel profond, avec des expositions longues et un traitement correct, passer à la spectroscopie sera facile pour vous – une nouvelle aventure vous attend vers une nouvelle dimension.

Parcours d'apprentissage

Dans ce document, nous vous proposons de suivre les étapes suivantes pour découvrir la spectroscopie avec votre Alpy 600

- Tout d'abord, utilisez l'Alpy 600 en mode fente (configuration en sortie de fabrication), pendant la journée.
- commencez par regarder des spectres de diverses lampes ainsi que celui de la lumière du jour – le spectre du soleil, en fait.
- enregistrez les images et réduisez les données.
- Ensuite, passez en configuration sans fente et installez votre Alpy sur votre télescope.
- commencez d'abord par l'observation d'étoiles brillantes.
- puis enregistrez et traitez vos spectres d'images.
- Enfin, faites des spectres d'étoiles et d'objets étendus en mode fente.

Ce document suit ce parcours.

Logiciel

Votre Alpy 600 est livré avec un DVD contenant les logiciels pour l'observation et la réduction de données. Ces logiciels sont gratuits - un grand merci à leurs auteurs respectifs qui contribuent ainsi au développement de la spectroscopie. Vous pourrez trouver sur internet les dernières mises à jour de ces logiciels. Vous pouvez bien entendu utiliser d'autres logiciels, si vous avez déjà vos habitudes. Ce manuel est illustré avec les logiciels AudeLA¹ pour l'acquisition et ISIS² pour la réduction de données

Configuration matérielle

Votre Alpy 600 peut être utilisé sur de nombreuses configurations d'instruments astronomique, et nous ne pouvons pas toutes les documenter. Les exemples pris dans ce manuel repose sur le matériel suivant :

- Un télescope C8 avec réducteur de focal F/6.3,
- Une monture Goto capable de pointer et faire un suivi avec autoguidage.
- Une caméra CCD Atik 314L+ monochrome avec un capteur de 8.9 x 6.7mm CCD et des pixels de 6.45 μ m. Cette caméra est bien adaptée à l'Alpy 600 et montre l'ensemble du spectre visible.
- Un ordinateur PC tournant sous Windows 7



Une caméra CCD est le meilleur choix pour les observations astronomiques, particulièrement si elles sont à but scientifique. Néanmoins, vous pouvez également utiliser votre Alpy 600 avec un Appareil Photo Réflex (APN) avec une barlow spécialement conçue, qui augmente le tirage (backfocus) et agrandit le spectre. Voir l'annexe pour la description de cet accessoire optionnel.

Les modules Alpy

Alpy est une gamme modulaire d'instruments pour répondre au mieux à votre besoin. Il y a trois modules principaux :

- L'Alpy 600, le module principal. C'est le spectroscopie en lui-même qui peut être utilisé avec plusieurs configurations et plusieurs fentes soit sur table (travaux pratiques de spectroscopie) soit sur un instrument astronomique
- Le module de guidage. Pour les applications astronomiques, il est difficile de s'assurer que toute la lumière de l'étoile entre dans la fente. Le module de guidage Alpy permet de voir le champ observé par le spectroscopie et de visualiser la fente.
- Le module de calibration. Pour un résultat précis et une plus grande facilité d'utilisation, le module

de calibration permet de faire des PLUs (spectre d'une lampe à incandescence) et des spectres de calibration avec du néon, de l'argon et de l'hydrogène (lampe Ne/Ar/He). Le module peut être utilisé manuellement mais aussi à distance (au prix d'accessoires supplémentaires, non fournis).

- Enfin, la gamme Alpy inclut des accessoires comme une lentille barlow pour APN réflex ou un adaptateur pour caméra à monture C.

La spectroscopie astronomique est une histoire sans fin. Nous avons testé nos produits dont le Alpy 600 sur de nombreux projets (le site web Shelyak Instruments³ en montre quelques uns). Mais nous savons que vous allez en découvrir d'autres et nous serons ravis si vous partagez votre expérience soit en nous contactant directement, soit en rejoignant la communauté croissante d'utilisateurs de spectroscopes Shelyak Instruments sur le groupe de discussion Yahoo Spectro-L⁴ et sur le forum ARAS⁵. Vous pourrez aussi y poser vos questions éventuelles à la communauté.

Il est temps d'entrer dans le monde magique de la spectroscopie... Vous ne verrez plus les étoiles comme avant !

Olivier Thizy⁶

François Cochard⁷

Vous ne verrez plus les étoiles comme avant !

1. <http://www.audela.org/>
2. <http://www.astrosurf.com/buil/isis/isis.htm>
3. <http://www.shelyak.com>
4. <http://groups.yahoo.com/group/spectro-l/>
5. <http://www.spectro-aras.com/forum/>
6. olivier.thizy@shelyak.com
7. francois.cochard@shelyak.com

Découvrez votre Alpy 600

1.1 Contenu de la boîte

Quand vous recevez votre Alpy 600, il est en mode fente, prêt à être monté sur un télescope avec l'adaptateur T (M42x0.75mm) pour caméra CCD. La boîte contient un DVD et un jeu d'outillage.



Capteur CCD	Long. CCD	λ min	λ max
1/2"	4 mm	4560 Å	6055 Å
	5 mm	4293 Å	6322 Å
	6.4 mm	3920 Å	6695 Å
	6.9 mm	3790 Å	6825 Å
	9 mm	3650 Å	7380 Å
	10 mm	3650 Å	7656 Å
ICX694	11 mm	3650 Å	7923 Å
	12 mm	3650 Å	8190 Å
	12.5 mm	3650 Å	8319 Å
KAF1600	13 mm	3650 Å	8457 Å
	13.8 mm	3650 Å	8500 Å
	15 mm	3650 Å	8500 Å
	16 mm	3650 Å	8500 Å

Table 1.2: Plage de longueurs d'onde couverte en fonction de la longueur du capteur CCD. Notez qu'au-delà de 7500 Å, le 2nd ordre risque de recouvrir le 1^{er} ordre.

1.2 Spécifications techniques

Les spécifications de l'Alpy 600 sont données dans la table 1.1, et les dimensions dans la figure 1.1. De plus, le tableau XX indique la plage de longueurs d'onde couverte en fonction de la taille de votre capteur.



1.3 Les éléments de l'Alpy 600

Enlevez le corps externe de la bague moletée :



Description	Valeur	Unité	Commentaire
Dimensions Alpy 600		mm	voir schéma ci-dessous
Poids	200	g	avec adaptateur 31.75mm et sans caméra
Pouvoir de résolution (R) @ 650nm	~600	-	avec fente 25 μ m
Pouvoir de résolution (R) @ 450nm	~400	-	avec fente 25 μ m
Domaine spectral	370 - 750	nm	
Longueur minimum du CCD	8.5	mm	si plus petit, seule une partie du spectre est visible
Elément dispersif	grisme	-	réseau + prisme
Type de réseau	600	traits/mm	
Dispersion spectrale typique	480	Å/mm	
Ouverture du spectrographe	F/4	-	F/4 à F/10 (F/5 pour une qualité optimale)
Fente standard	25	μ m	également inclus : trou de 3mm, fente de 300 μ m, 100 μ m et 50 μ m, trou de 25 μ m
Longueur de fente	3	mm	sauf pour trou de 25 μ m
Interface mécanique M42 x 0.75mm		-	standard Bague-T (aussi appelée T2)

TABLE 1.1 – Spécifications Alpy 600

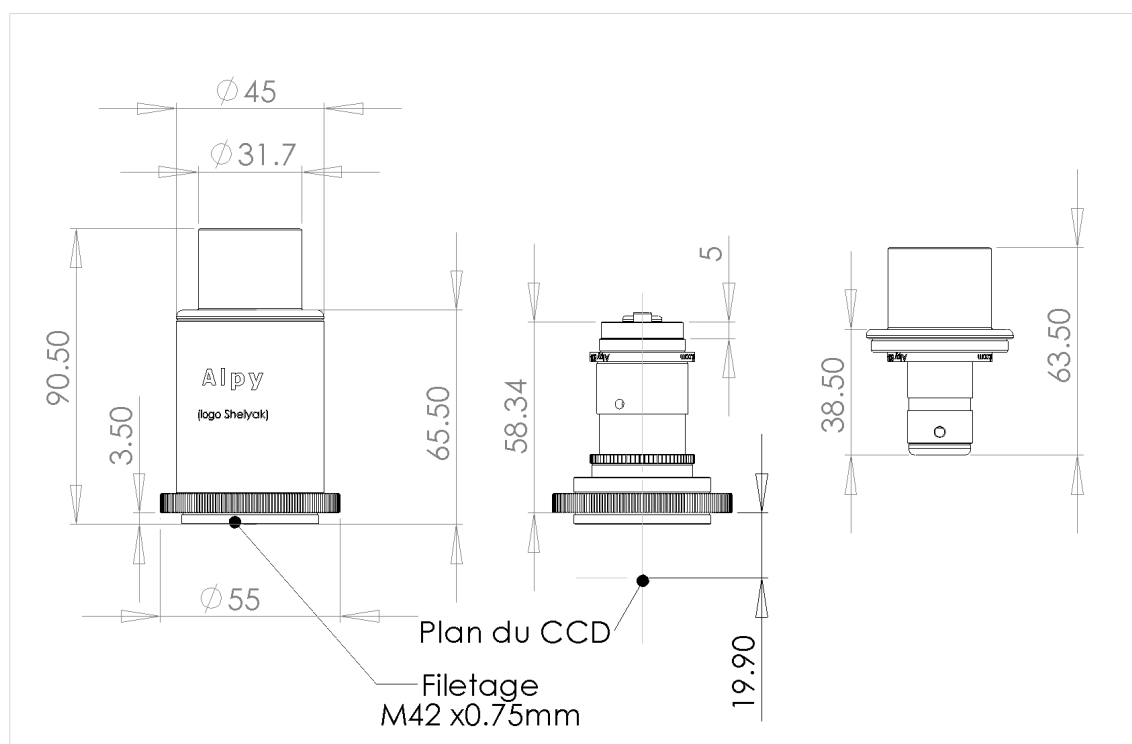


FIGURE 1.1 – Dimensions Alpy 600 (en mm)

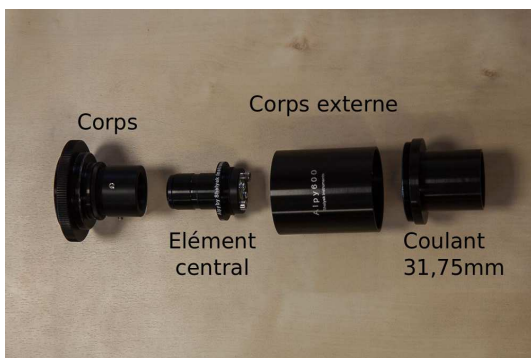
Observez le jeu de fentes à l'entrée du spectrographe :



Desserrez les trois petites vis autour du corps du spectroscopie et retirez l'élément central de l'Alpy 600 :

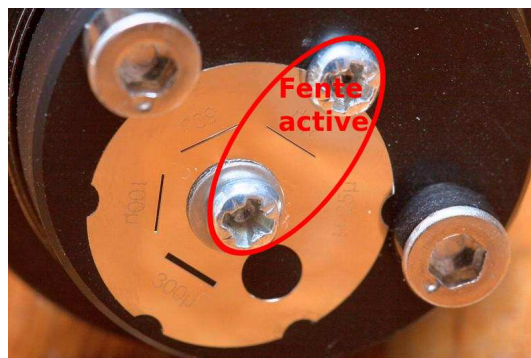


Vous avez maintenant devant vous tous les éléments de l'Alpy 600 : le corps (avec la lentille objectif et l'adaptateur caméra), l'élément central, le corps externe et le coulant 31.75mm .



💡 L'Alpy 600 utilise des interfaces standards couramment utilisées en astronomie comme le filetage M42x0.75mm (T2) et le coulant 31.75mm (facilement remplaçable par un coulant 50.8mm)

Plusieurs fentes sont disponibles. Nous verrons dans le prochain chapitre comment passer de l'une à l'autre.



1.4 Interfaces mécaniques

L'interface caméra est au standard monture T (M42 x 0.75mm)



Le même filetage est utilisé de chaque côté du corps externe.



Le filetage autour de la fente est de type SM1 : diamètre 1,035" (26,29mm), 40 filets par pouce (pas= 0.635mm).



La bague 31.75mm a un filetage interne pour les filtres couramment utilisés en astronomie (M28.5 x 0.6mm) : vous pouvez ainsi ajouter un filtre devant votre Alpy 600 - voire l'utiliser pour tester les courbes de réponses de vos filtres.



1.5 Observation visuelle

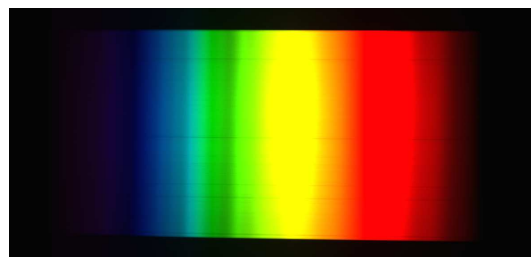
Maintenant, prenez l'élément central de votre Alpy et regardez une lampe ou le ciel bleu ou couvert (mais pas le Soleil bien trop lumineux).



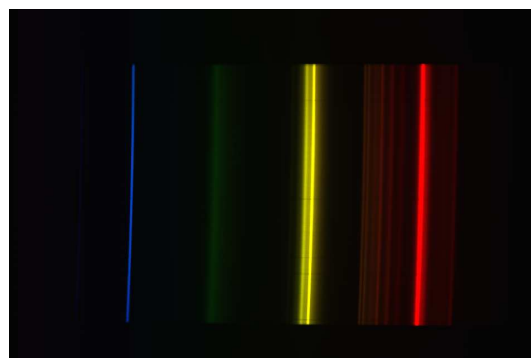
Ne regardez jamais directement le Soleil avec ou sans télescope !

L'Alpy 600 décompose la lumière en un spectre. Regardez différentes sources lumineuses et comparez leurs spectres.

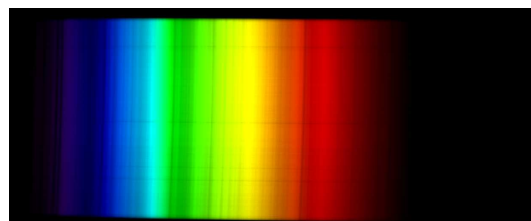
Une lampe au tungstène a un spectre continu :



Une lampe à économie d'énergie montre plusieurs raies en émission et des bandes larges :



Le ciel (spectre solaire) montre un spectre continu avec un grand nombre de raies en absorption - les raies de Fraunhofer :

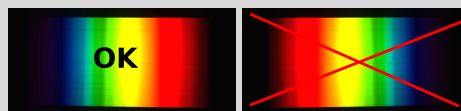


Cela montre que chaque source de lumière a son propre spectre et qu'en étudiant ce spectre, il est possible de remonter à des informations scientifiques sur son origine.

C'est la même chose pour les étoiles et tout objet astronomique lumineux : chaque objet émet un spectre selon ses paramètres physiques.

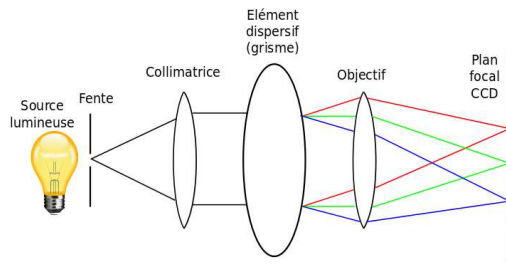


Ce manuel suit la convention en astronomie qui présente les spectres avec le bleu (hautes fréquences ou courtes longueurs d'onde) à gauche et le rouge (basses fréquences ou grandes longueurs d'onde) à droite.



1.6 Principe de l'Alpy 600

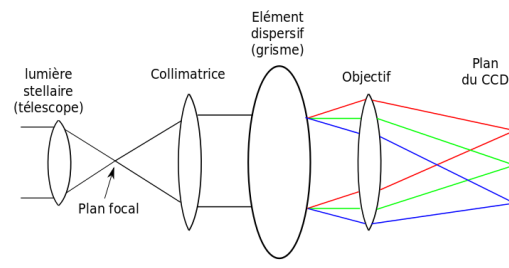
Le schéma de principe de l'Alpy 600 montre son fonctionnement : une source lumineuse envoie un faisceau vers une lentille collimatrice, qui le transforme en faisceau parallèle. Ce dernier passe ensuite à travers un élément dispersif (un grisme en l'occurrence, combinaison d'un réseau – grating en anglais – et d'un prisme) qui le disperse en plusieurs faisceaux parallèles selon la longueur d'onde. Une lentille objectif refocalise ce faisceau dispersé sur un plan focal où est localisé votre capteur CCD (ou votre oeil).



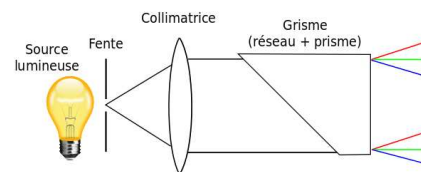
Pour rendre la source lumineuse ponctuelle, une fente est généralement utilisée ; seule la lumière qui passe dans la fente donne un spectre. Du choix de la largeur de fente dépend la résolution nécessaire et de la quantité de lumière disponible – tout est affaire de compromis en spectroscopie.



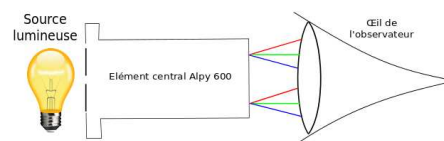
Dans un (bon) télescope ou une (bonne) lunette, sous un (bon) ciel, les étoiles sont quasiment ponctuelle ; cela permet dans certain cas de s'affranchir de la fente. Mais la fente permet d'avoir en permanence un système à résolution constante, indépendamment de la qualité de votre instrument et de la turbulence :



L'Alpy 600 est conçu de façon très modulaire. Le coeur est composé du jeu de fentes, de la lentille collimatrice et du grisme. L'utilisation d'un grisme permet de compenser la dispersion du réseau par celle du prisme, et donc de recentrer le spectre sur l'axe optique principal. C'est grâce à cette combinaison que l'Alpy 600 est disposé "en ligne".



L'oeil peut regarder directement derrière l'élément coeur de l'Alpy 600 car la lumière dispersée en sort sous forme de rayons parallèles semblant venir de l'infini. L'oeil humain est parfaitement adapté à l'observation d'un faisceau venant de l'infini.

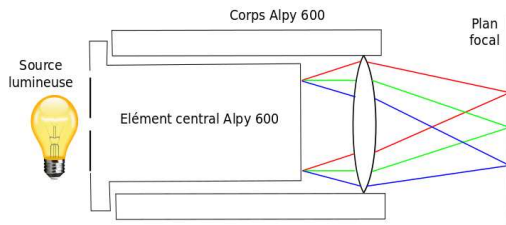




L'oeil contient sa propre lentille objectif – le cristalin – qui s'accommode des rayons lumineux venant de l'infini !



Le corps interne de l'Alpy 600, dans lequel vient se loger l'élément central contient une lentille objectif qui focalise les rayons parallèles sur un plan focal, typiquement le capteur de votre caméra CCD. Le corps interne se visse ensuite dans une bague interface monture T (M42x0.75mm) ou bien monture C (optionnelle) avec un tirage adaptable permettant de focaliser le spectre sur votre capteur. Le coeur de l'Alpy 600 peut tourner dans son logement pour orienter le spectre correctement sur le capteur CCD. Enfin, un corps externe avec un adaptateur 31.75mm se visse sur l'ensemble :



La lentille objectif, partie intégrante du corps interne du Alpy 600, est visible sur l'image suivante :



1.7 Les différentes fentes

L'Alpy 600 est un instrument très universel. Comme décrit dans la section 1.6, un spectrographe demande en entrée une source lumineuse ponctuelle - plus petite est la source, plus grande sera la résolution. L'Alpy 600 contient plusieurs fentes pour s'adapter au mieux à votre besoin. La table 1.3 montre certaines de ces fentes.

Pour travailler avec une source étendue, utilisez la fente standard de $25\mu\text{m}$. Elle est optimisée pour le visuel et pour des mesures sur table. Le spectre résultant est une large bande (cf première ligne du tableau 1.3).

Dans certaines conditions, il est préférable d'utiliser un trou : le spectre (ligne fine, seconde ligne du tableau 1.3) se retrouve toujours dans la même position dans l'image – mais il est plus difficile à voir à l'oeil nu. Cela reproduit bien ce qui est vu sur le ciel avec une étoile par exemple.

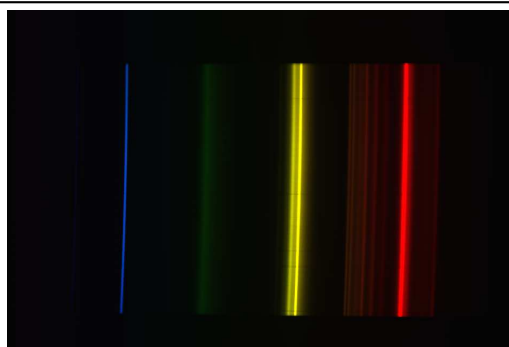
Le mode sans fente est utile dans certaines conditions : il peut être utilisé avec les étoiles (c'est alors l'étoile elle-même qui se comporte comme une source ponctuelle). Le trou de 3mm permet de limiter les aberrations en bord du champ. (troisième ligne du tableau 1.3).

Parfois une fente large est indispensable. Par exemple sans module de guidage mais avec un système de guidage externe, cela permet d'avoir tout le flux entrant dans la fente et de cacher le ciel environnant (étoiles mais aussi le fond du ciel). La fente de $300\mu\text{m}$ est particulièrement bien adaptée à ce mode (dernière ligne du tableau 1.3).

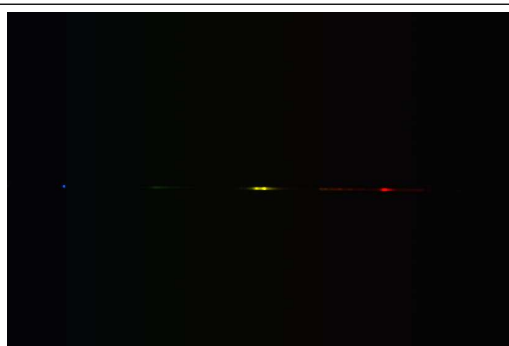
L'Alpy 600 inclut également une fente de $50\mu\text{m}$ et une de $100\mu\text{m}$.

Changer la fente

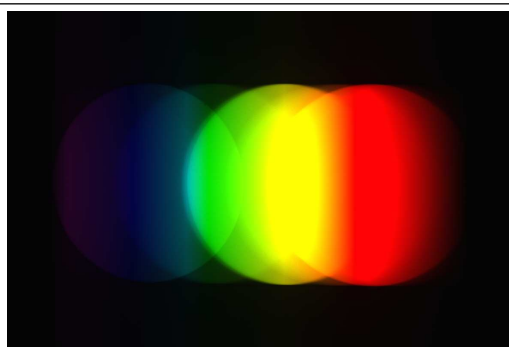
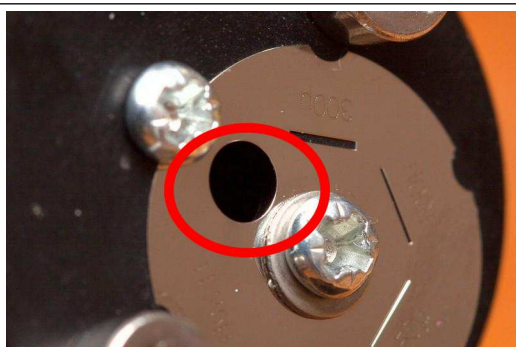
Il est facile de changer la fente. La fente est un disque fixé avec deux vis. Enlevez la vis externe et déserrez légèrement la vis pivot. Tournez la fente à la position désirée puis remettez la vis externe. Serrez sans forcer les deux vis pour maintenir la fente en position – pour ne pas déformer la fente.



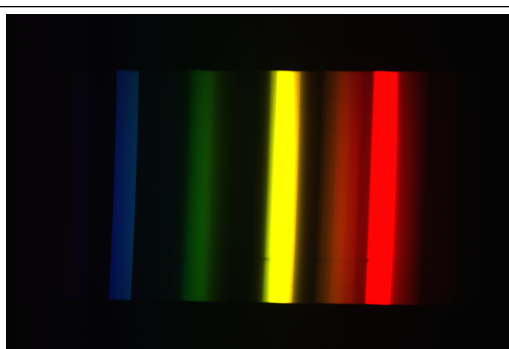
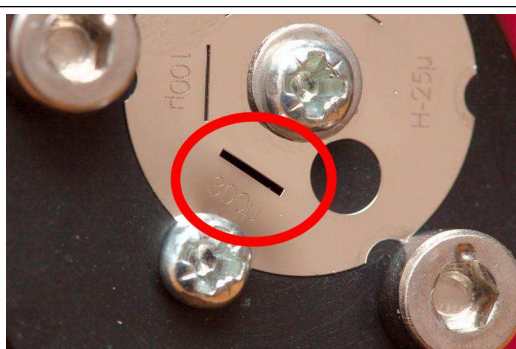
Fente standard : 25 μ m



Trou de 25 μ m



Trou de 3mm (mode sans fente)



Fente large 300 μ m

TABLE 1.3 – Quelques fentes de l'Alpy 600



La fente est un composant fragile de votre spectrographe - prenez en le plus grand soin au moment du changement de fente. Veillez à toujours protéger la fente avec l'adaptateur 31.75mm et le capuchon pour éviter la poussière.



Nettoyer la fente

Avec le temps, de la poussière peut se déposer sur la fente. Une particule de poussière dans la fente se traduit par une ligne sombre le long de l'axe de dispersion. Vous pouvez nettoyer la fente avec un tissu doux et sec ou faire partir les poussières en soufflant (utilisez de préférence une bombe à air sec).

2

Alpy 600 - Spectroscopie en mode fente

Dans le chapitre précédent, vous avez observé des spectres de lampes avec votre Alpy 600. Vous avez certainement envie maintenant de faire une image de ces spectres, pour les analyser précisément et les partager avec d'autres personnes. C'est le but de ce chapitre. Vous allez travailler en mode fente avec la lumière solaire, sur table.

2.1 Configuration pour l'imagerie

Comme expliqué dans la section 1.6, il est nécessaire d'ajouter une lentille objectif pour focaliser les rayons parallèles sur un plan focal (capteur CCD). Cette optique est dans le corps interne de l'Alpy 600 :



Le corps interne est fileté et se visse dans l'adaptateur caméra (monture T en standard, monture C en option). Le tirage nominal est autour de 19.5mm mais la distance est réglable entre 10.5mm et 21mm. Une bague fileté permet de bloquer le spectroscopie lorsque le spectre est net (focalisé).



Veillez bien à ce que l'optique de l'Alpy 600 ne vienne pas en contact avec le capteur ou le hublot de votre caméra CCD.

Assemblez l'adaptateur caméra sur votre caméra :





La caméra utilisée ici est en monture T (M42x0.75mm). Si vous utilisez une caméra en monture C, un adaptateur C est disponible en option (voir annexe 7.1.4).

Glissez le cœur de l'Alpy 600 dans le corps interne. Il doit pouvoir tourner librement : cela sera utilisé pour mettre le spectre horizontalement dans l'image.



Les trois vis autour du corps interne permettent de bloquer le cœur dans la bonne position :

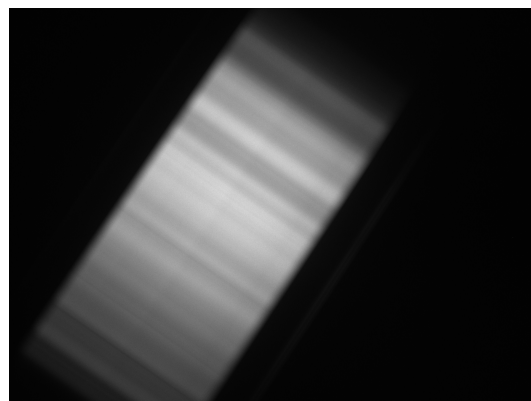


Tenez votre caméra dans une position stable qui pointe l'entrée du spectrographe (fente) vers une source lumineuse (le ciel ou une lampe par exemple). Démarrez votre logiciel d'acquisition (vous pouvez lancer le refroidissement à -5°C par exemple).



Dans la suite de ce document, toutes les copies d'écran sont basées sur la version anglaise des logiciels. Néanmoins, dans le texte, c'est bien la version française des boutons & fonctions qui est utilisée.

Faites une première image :

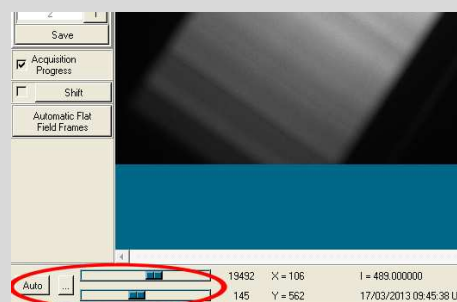


Même par temps couvert le spectre des nuages montre un spectre solaire. Nul besoin d'un ciel dégagé pour faire de la spectroscopie du Soleil.

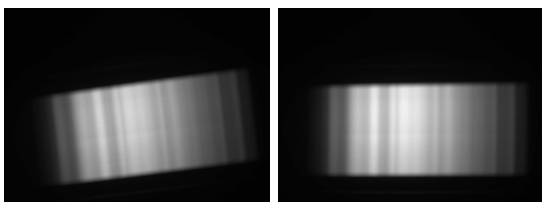
Vérifiez avant tout que l'image n'est pas saturée. Réglez le temps de pose pour que le niveau maximum de votre image soit correct (80% de votre dynamique maximale est une bonne valeur). Chaque pixel de la caméra dispose d'une capacité maximale d'enregistrement de la lumière. Si votre source excède cette valeur, le pixel est saturé, et la mesure est inutilisable. Dans ce cas, il faut réduire le temps de pose pour revenir dans la plage d'intensité compatible avec la caméra. A l'inverse, si la source de lumière est faible, vous n'utiliserez qu'une petite partie de la dynamique de votre caméra - il est alors conseillé d'augmenter le temps de pose. Le niveau optimal d'utilisation est d'environ 80% de la dynamique de la caméra.



Si l'image est complètement noire ou blanche, cela peut aussi être dû aux seuils de visualisation. Vérifiez la valeur des pixels sur l'image et ajustez les seuils en fonction de cette valeur.



Le spectre est probablement défocalisé et mal orienté. Commencez par le mettre horizontal en tournant le cœur de l'Alpy 600 dans son corps interne :



Pour focaliser, tournez le corps interne dans l'adaptateur caméra ; procédez par essais successifs en faisant des images en continu.



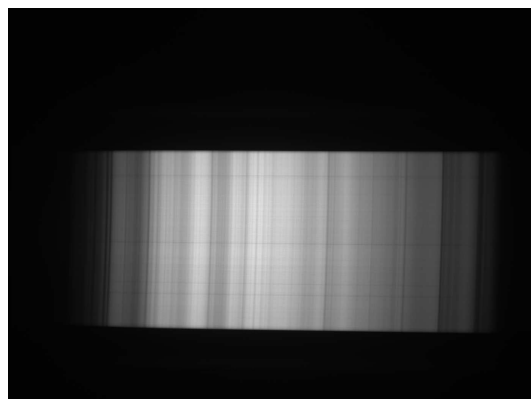
Quand vous tournez le corps interne dans l'adaptateur caméra, le spectre tourne par rapport au capteur de votre caméra. Néanmoins, il est préférable de garder le spectre bien horizontal pour juger de l'amélioration de la focalisation. Pour cela, tenez la caméra fermement (j'utilise un petit étau de table), et maintenez le cœur d'une main pendant que vous tournez le corps de l'autre.



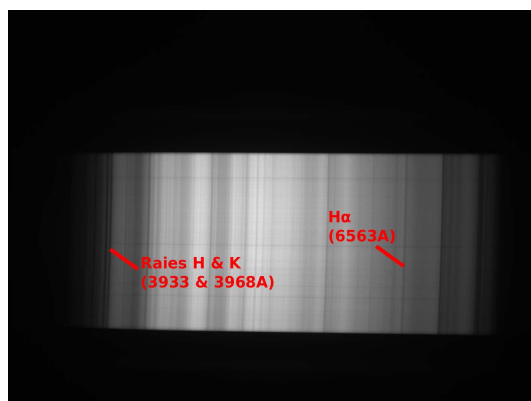
Quand le spectre est focalisé et droit, serrez la bague autour du corps interne pour bloquer la mise au point puis serrez les trois vis pour bloquer l'orientation (spectre bien horizontal).



Vous devez avoir quelque chose comme cela :



Le spectre doit être orienté le bleu à gauche et le rouge à droite... Pas facile à repérer avec une caméra monochrome ! Avec de l'expérience, vous reconnaîtrez rapidement le spectre solaire. Utilisez l'image suivante pour trouver la bonne orientation :



Vous avez terminé la partie la plus complexe avec le spectroscope Alpy !

A ce stade, votre caméra est équipée du spectroscope et toute lumière qui entre dans la fente donne un spectre focalisé et horizontal.



Quand l'Alpy 600 est focalisé, vous pouvez enlever le module coeur et le remettre, la focalisation n'est pas perdue (veuillez seulement à remettre le spectre horizontal).

Testez maintenant plusieurs types de lampes... chaque source a son propre spectre. La table 2.1 montre quelques exemples.

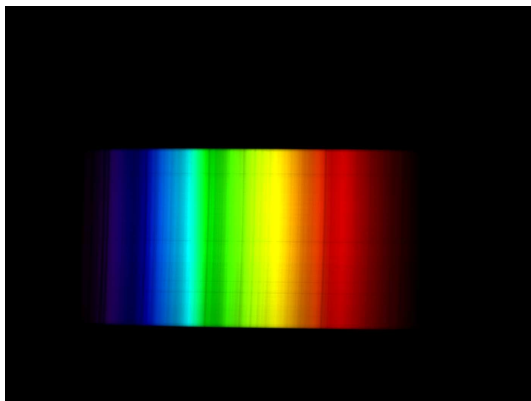
Pour l'étape suivante, enregistrez au moins un spectre du soleil (ie : le ciel bleu ou nuageux) au format FITS non compressé.



Le format FITS est *LE* format de fichier standard en astronomie. Il contient les données brutes (sans aucune perte, sans compression) et un en-tête avec les informations clés pour l'exploitation des images (comme la date, la taille de l'image, l'observateur, le site d'observation, l'objet observé, les coordonnées...).

2.2 Couleur ou noir & blanc ?

Un spectre, observé en visuel montre de superbes couleurs, très pures, comme un arc-en-ciel. Avec une caméra CCD, vous n'obtenez qu'un spectre Noir et Blanc. Si vous aviez utilisé un Appareil Photo Numérique (APN), vous auriez obtenu un spectre coloré comme celui-ci :



On pourrait penser que c'est mieux d'avoir un spectre directement en couleur... ce n'est pas si évident ! C'est vrai si vous souhaitez uniquement obtenir et montrer un spectre rapidement, sans en attendre beaucoup de précision. Mais si vous voulez faire des mesures scientifiques et surtout avoir plus de sensibilité, mieux vaut une caméra CCD monochrome. Un capteur couleur est en effet constitué d'une combinaison de pixels rouges, verts et bleus (que l'on appelle la matrice de Bayer) et cela induit des effets – entre autres sur la sensibilité. Dans un capteur noir et blanc,

tous les pixels sont identiques et parfaitement joints : rien n'est perdu dans la lumière reçue.

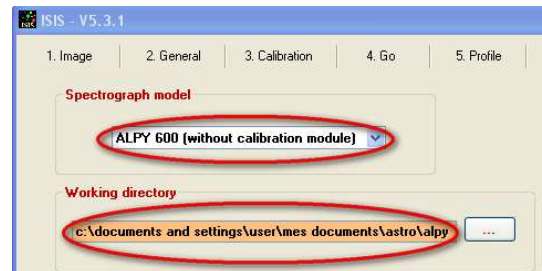
Dans tous les cas, seule la caméra définit si le spectre sera en couleur ou en noir & blanc, le spectrographe lui-même travaille nécessairement en couleur. Et il est toujours possible de colorer un spectre noir & blanc puisque l'information spectrale est justement une indication de couleur (c'est ce qui est fait pour la plupart des spectres illustrant ce document).

2.3 Prévisualiser votre profil spectral

Vous avez enregistré votre premier spectre sous la forme d'une image 2D. C'est bien, mais ce n'est pas très exploitable sous ce format. Généralement, on représente un spectre sous la forme d'un profil donnant l'intensité du signal reçu en fonction de la longueur d'onde. Pour passer de l'image 2D au profil calibré, vous devez utiliser un logiciel de réduction de données. Vous trouverez sur le DVD livré avec votre Alpy 600 le logiciel ISIS, qui est un outil (gratuit) parfaitement adapté - et très performant. Ce manuel n'est pas un manuel ISIS (voir la documentation ISIS¹, et particulièrement le tutoriel dédié à l'Alpy²), mais il montre les bases pour votre première utilisation de ce logiciel.

Voici comment procéder avec un spectre solaire.

Lancez ISIS, et allez dans l'onglet "configuration". Sélectionnez le modèle de spectrographe "ALPY 600 (sans module d'étalonnage)", et indiquez le répertoire où se trouvent vos images (fichiers FITS) :



Allez ensuite dans l'onglet "Image". Sélectionnez votre image du spectre solaire (Sun-1.fit) et affichez-le :

1. <http://www.astrosurf.com/buil/isis/isis.htm>
2. http://www.astrosurf.com/buil/isis/guide_alpy/tuto.htm

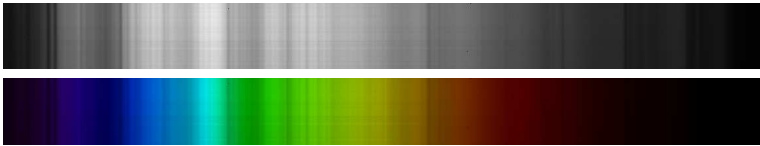
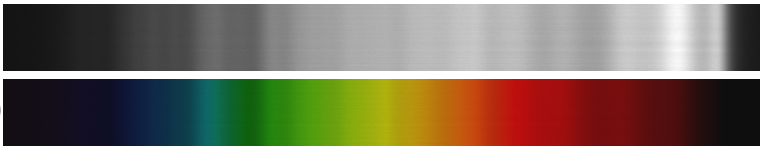
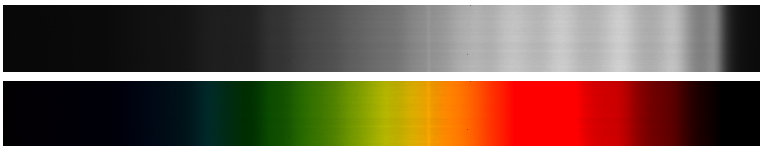
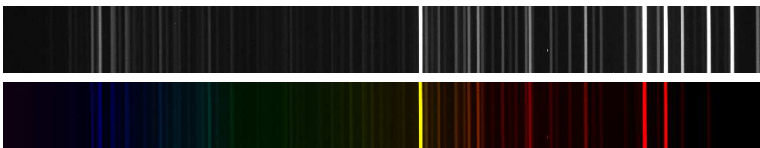
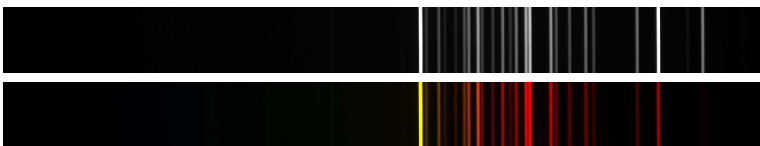
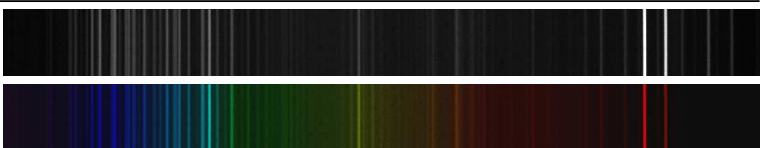
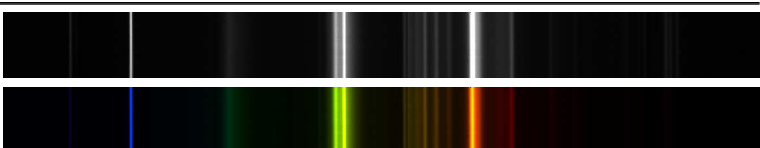
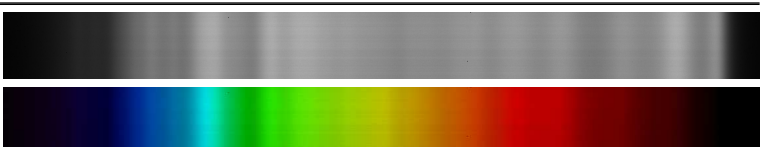
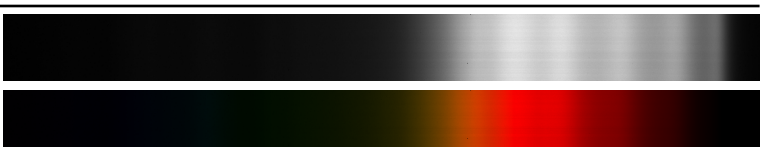
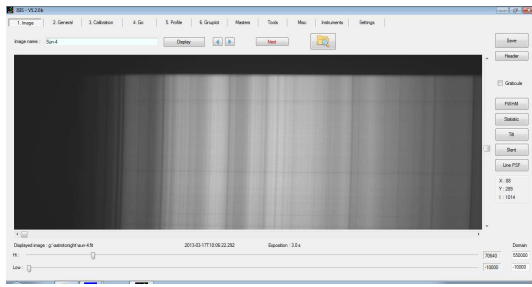
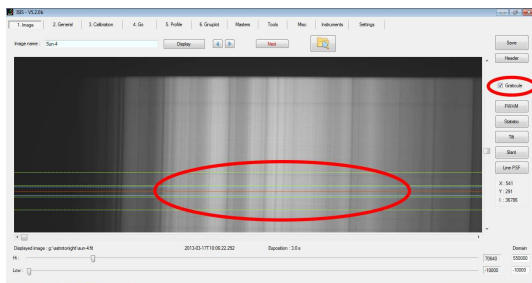
Description	Images
lumière du soleil	
lampe halogène (lampe de flat du module de calibration Alpy)	
flamme de bougie	
Argon / Neon (module de calibration de l' Alpy)	
lampe néon	
Argon (lampe Habitat)	
LED blanche	
Ampoule économique	
papier bleu éclairé par une lampe halogène	
Papier rouge éclairé par une lampe halogène	

TABLE 2.1 – Exemples de sources de lumière très utilisées. La version colorée de chaque spectre a été réalisée par logiciel.

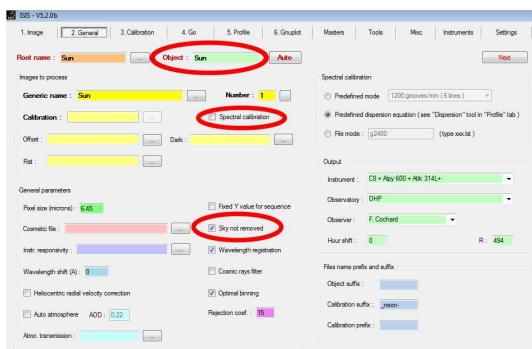


Si vous ne voyez pas le spectre à l'écran, c'est probablement qu'il est en dehors de la zone d'affichage – vous pouvez vous déplacer dans l'image avec l'ascenseur latéral.

Cochez la case “Réticule”. Cela affiche la zone dans l'image qui sera sélectionnée pour l'extraction du profil spectral. Si la zone n'est pas dans le spectre, double cliquez au milieu du spectre, le réticule se positionnera alors au bon endroit.

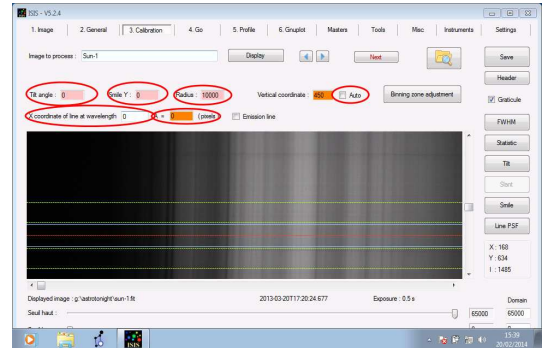


Cliquez sur le bouton “Suivant”, qui fait passer à l'onglet suivant (en remplissant quelques champs automatiquement). Indiquez “Soleil” dans le nom d'objet. Dans les paramètres, activez l'option “Fond de ciel non retiré”. Ceci indique à ISIS que le spectre est celui d'un objet étendu et non un spectre fin (comme ce sera le cas pour les autres étoiles). Décochez la case “Faire l'étalonnage spectral” car nous n'avons pas à ce stade d'information sur la calibration en longueur d'onde.

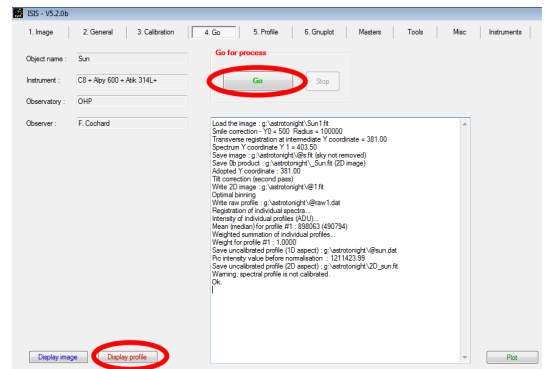


Cliquez sur le bouton “Suivant”, qui fait passer à l'onglet suivant "3. Etalonnage". Vérifiez (et corrigez le cas échéant) que les champs “Angle de tilt”, “Smile Y”, “Coordonnée X de la longueur d'onde” et “A

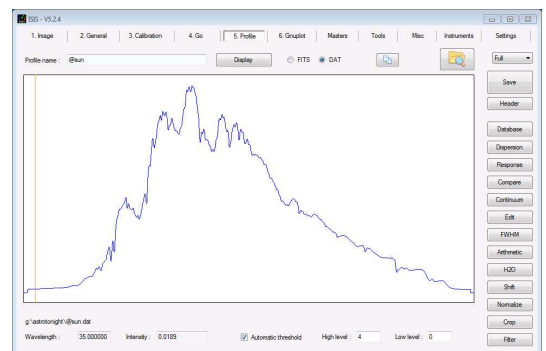
=” sont bien à 0 (zéro). Mettez 10.000 dans la case “rayon” (cette valeur est peu importante pour l'instant, il s'agit du rayon de courbure des raies). Décochez la case “Auto”, après “Coordonnée Y du spectre” (puisque vous avez sélectionné manuellement la zone de calcul) :



Cliquez ensuite sur le bouton “Suivant”. Isis passe dans l'onglet “4. Go”. Cliquez sur le bouton Go ; Isis lance alors le calcul de réduction de données :



Après quelques secondes de calcul, le processus est terminé. Cliquez sur “Voir le profil”. Vous devriez avoir ce type d'image :



C'est votre profil du spectre solaire : Il y a de nombreuses raies d'absorption - chacune étant la signature d'un élément des couches externes du Soleil.

Ce profil n'est toutefois pas encore d'un grand intérêt scientifique pour au moins trois raisons :

- L'image 2D n'a pas été pré-traitée,

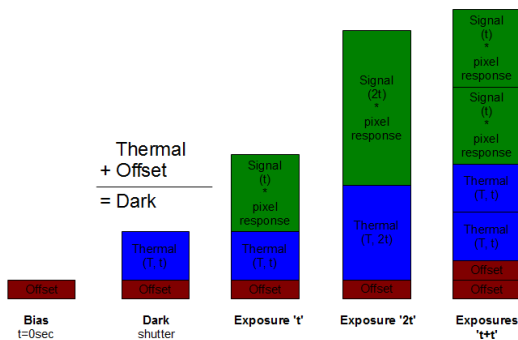
- Le spectre n'est pas calibré en longueur d'onde
- Le profil n'a pas été corrigé de la réponse instrumentale

Dans les prochaines sections, nous allons voir comment faire ces différentes corrections et calibrations.

2.4 Images de référence

Les images numériques sont affectées de différents effets instrumentaux comme l'offset, le signal thermique, les pixels défectueux (pixels chauds), les défauts optiques, les poussières, etc... Ces effets sont reproductibles et peuvent se corriger en prenant des images de références : bias (offset), noirs (dark frames), PLUs (flats). Le prétraitement consiste à utiliser ces images pour extraire au mieux le signal qui nous intéresse (l'information scientifique venant des étoiles). Ce prétraitement est bien automatisé dans ISIS.

Notez qu'il est toujours préférable de prendre plusieurs images pour chaque image de référence et d'en faire la médiane afin d'éliminer les incidents comme les rayons cosmiques et améliorer la qualité du spectre final. ISIS peut fabriquer les images maîtres à partir de série d'images brutes de chaque type.

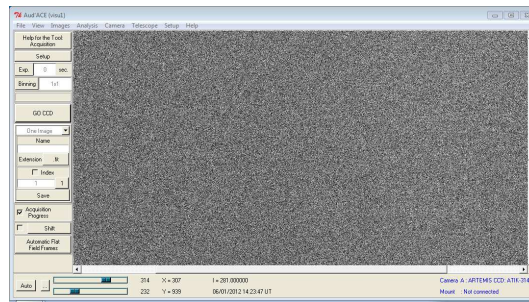


2.4.1 Image d'offset

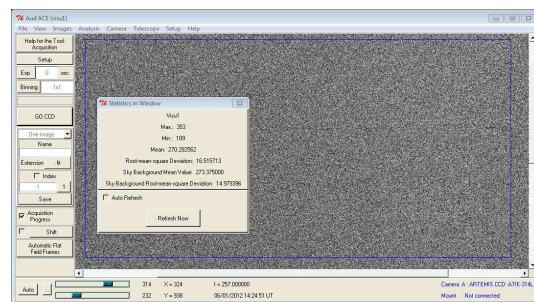
Pour éviter la conversion numérique d'un signal négatif, les caméras CCD ajoutent un signal constant à chaque mesure d'intensité des pixels, signal appelé "offset".



L'offset est particulièrement stable et vous pouvez normalement conserver le même offset maître pendant plusieurs mois. N'hésitez pas à prendre de nombreuses images (une centaine par exemple) pour avoir un très bon rapport signal/bruit sur l'image d'offset maître. Pour faire une image d'offset, mettez un bouchon devant l'entrée lumière du Alpy 600 ou de votre caméra (régulée à la bonne température) et faites une pose la plus courte possible (idéalement 0s).



Vous pouvez mesurer le niveau moyen de l'image : sélectionnez un rectangle dans l'image, puis faites un clic droit, et choisissez l'option « statistiques dans la fenêtre ».



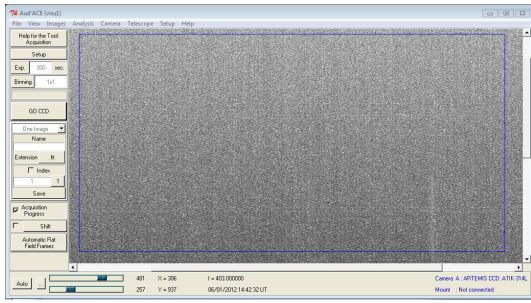
2.4.2 Images de noir (dark)

Les capteurs CCD ont tendance à accumuler des électrons avec le temps, du fait de l'agitation thermique interne à la matière du capteur. Ce phénomène dépendant de la température est appelé "signal thermique". On peut enregistrer ce signal en faisant une image de noir, c'est à dire une acquisition à long temps de pose avec l'obturateur de la caméra ou l'entrée du spectrographe fermé. Cette image de noir contient à la fois le signal thermique (il est proportionnel au temps de pose) et l'offset, qui lui est constant.

Certains pixels sont particulièrement sensibles à ce phénomène et ont tendance à saturer rapidement pendant les poses longues - ce sont les pixels chauds. On cartographie les pixels chauds sur un noir de très long temps de pose (dans une liste dite de "cosmétique") et ils seront traités par ISIS en les remplaçant par la moyenne des pixels environnants. Attention aussi à la température de régulation du CCD, le signal thermique est particulièrement sensible à cette température. De manière générale, prenez des images de référence à la même température CCD que pour vos images de spectres..

Avec un noir de très long temps de pose et un offset, on peut extrapoler une image de noir pour tout temps de pose inférieur.

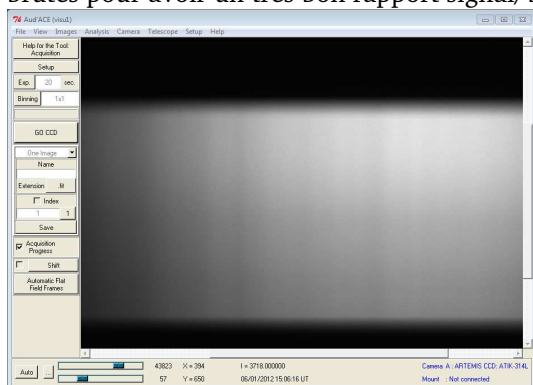
Voici l'image typique d'un noir de 300s (en binning 1x1) :



2.4.3 Spectre de PLU (ou flat)

En imagerie classique, une image de PLU (Plage de Lumière Uniforme) est faite avec une lampe qui éclaire uniformément le capteur CCD. En spectroscopie à fente, le “flat” est obtenu en faisant le spectre d’une lampe dont le spectre est continu (sans aucune raie d’absorption ou d’émission) - comme celui d’une lampe au tungstène par exemple. Le temps de pose doit être choisi pour que la dynamique de l’image soit en dessous de 80% du niveau maximal de votre CCD.

Cette image est principalement utilisée pour déterminer les défauts en haute fréquence comme les poussières sur le capteur CCD. Comme pour les autres images de référence, prenez de nombreuses images brutes pour avoir un très bon rapport signal/bruit.



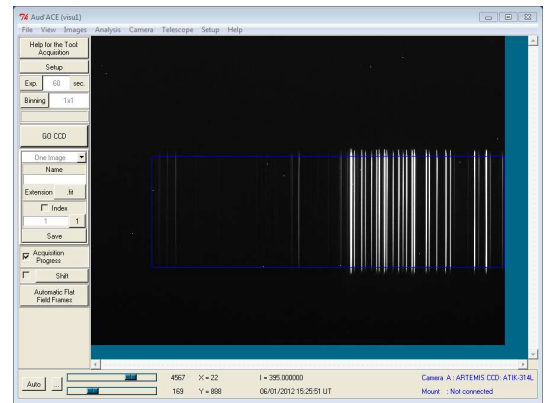
Le module de calibration Alpy contient une lampe au tungstène qui donne un spectre “flat” parfait et facilement exploitable.

2.4.4 Spectre de calibration

Comme expliqué dans la section 2.5.3, vous allez calibrer votre spectre solaire sur lui-même. Mais il est aussi possible d’utiliser une lampe de calibration. Voici par exemple le spectre du néon.



Le module de calibration Alpy contient une lampe avec du néon, de l’argon et de l’hydrogène ce qui rend la calibration en mode fente très facile.



2.4.5 Observation typique

Pour avoir toutes les données nécessaires à une observation de qualité, voici la liste des images à acquérir avant d’éteindre votre équipement. Ceci est applicable pour le Soleil mais aussi pour les observations de nuit :

- 7 images bias (ou plus)
- 7 images noires (ou plus)
- 7 images du spectre de PLU / flat (ou plus)
- 1 image du spectre de calibration (ou plus)
- 5 images du spectre de l’étoile de référence (ou plus)
- ...et bien sur vos images des spectres de vos cibles !

Sur chaque image, vérifiez que vous ne saturez pas le capteur CCD.



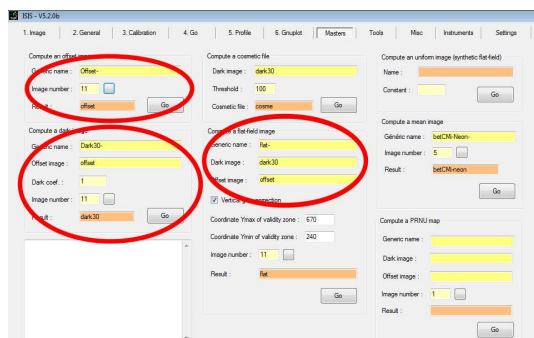
Une mesure scientifique d’un objet astronomique demande non pas un spectre de votre cible mais tout un ensemble d’images qui rendra la réduction de données facile et rapide.

2.5 Réduction de données

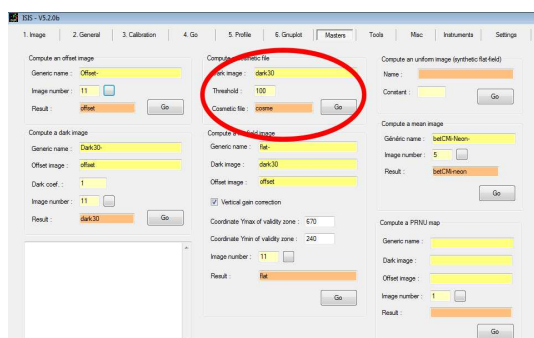
Cette section montre comment traiter avec ISIS votre jeu d’images complet de l’observation du Soleil pour en extraire un spectre traité et calibré.

2.5.1 Préparer les images maîtres

Cette opération convertit des séries d’images en une image unique appelée image maître. La méthode la plus simple consiste à faire une médiane de toute la série d’images. Allez dans l’onglet “Images maîtres” et sélectionnez chaque série (offset, noir, flat) pour créer un maître. Cliquer sur “Go” pour chaque série (l’image résultant est à chaque fois une médiane de la série des images brutes) :

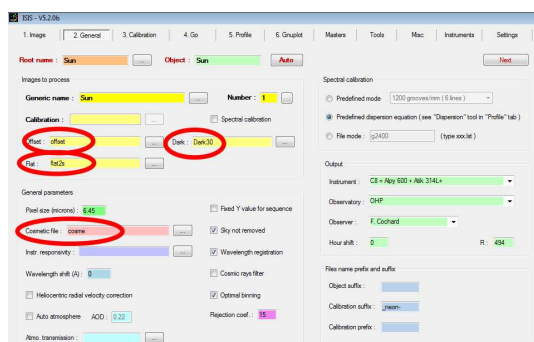


Pour le noir, créez également un fichier cosmétique qui enregistre la liste des points aberrants sur votre image noire maîtresse (les pixels chauds). Ces pixels réagissent différemment des autres pixels et sont considérés comme défectueux ; ils seront remplacés par la moyenne des pixels environnants. A partir de l'image noire maîtresse, indiquez un seuil au-delà duquel les pixels seront traités ; Choisissez un seuil tel que vous obtenez 200 à 300 pixels environ (cette valeur est à ajuster en fonction de la taille du CCD). Dans notre cas, un seuil de 38 ADU donne 259 pixels chauds :

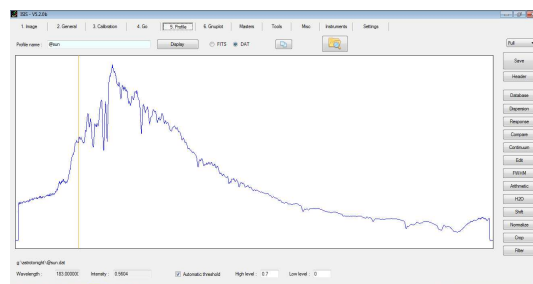


2.5.2 Première étape : profil brut

La première étape est très similaire à la prévisualisation de votre premier spectre (section 2.3), mais vous allez cette fois inclure les fichiers maîtres pour le pré-traitement. Dans l'onglet "2. Général", sélectionnez l'offset, le noir, le flat et le fichier cosmétique :



Puis, dans l'onglet "4. GO", cliquez sur Go. Affichez le profil résultant :

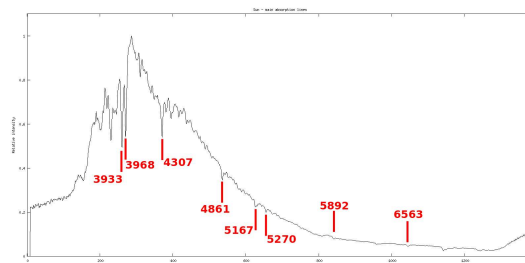


Le profil est significativement différent du profil initial du fait de l'utilisation des images de référence, principalement la correction du flat.

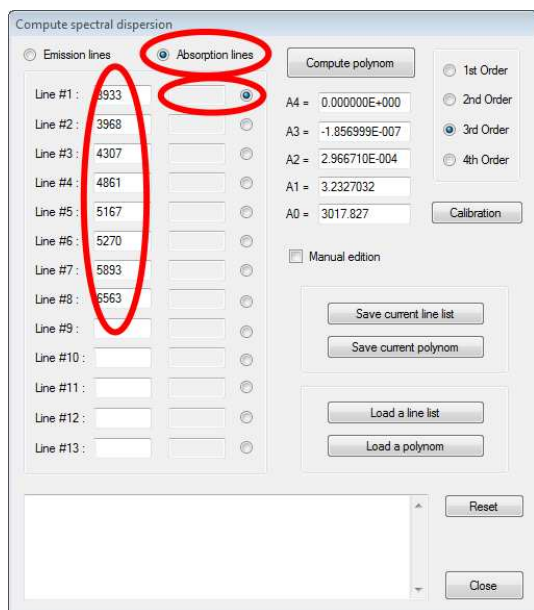
2.5.3 Deuxième étape : calibration en longueur d'onde

Vous pouvez désormais établir la loi de calibration, c'est à dire la relation entre la position d'un pixel dans l'image et sa longueur d'onde. Plus vous avez de raies, plus précise sera la calibration. La loi de dispersion est habituellement un polynôme d'ordre 3. Pour réduire le spectre solaire, vous allez utiliser exceptionnellement les raies du spectre lui-même. Bien entendu, l'utilisation d'une lampe de calibration avec de multiples raies donnera un résultat plus rigoureux. Voici les raies que vous pourrez utiliser :

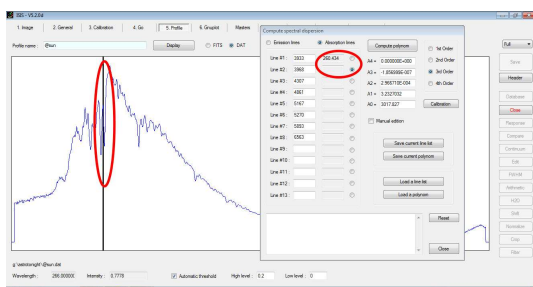
longueur d'onde	raie
3933 Å	raie K du calcium
3968 Å	raie H du calcium
4307 Å	bande G (moléculaire)
4861 Å	H β (raie de Balmer)
5167 Å	triplet du magnésium
5270 Å	raie du fer (Fe)
5892 Å	doublet du sodium
6563 Å	H α (raie de Balmer)



Cliquez sur le bouton "Dispersion", à droite de l'écran. L'outil de dispersion apparaît. Saisissez l'ensemble des longueurs d'onde ci-dessus, sélectionnez "raie d'absorption" et cliquez sur le premier bouton (correspondant à 3933 Å) :

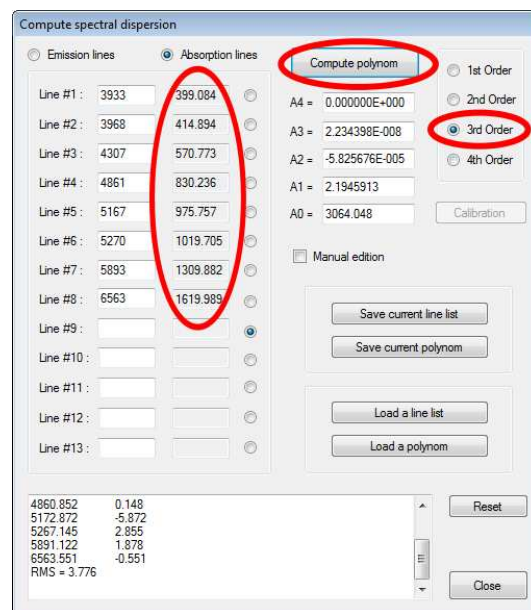


Maintenant, **double-cliquez** sur le profil de chaque côté de la raie d'absorption à 6563 Å. ISIS mesurera précisément le centre de la raie en pixel ; la ligne suivante sera automatiquement sélectionnée.



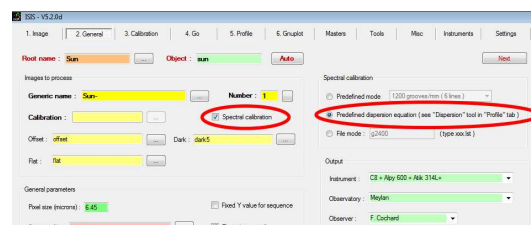
Répétez la même opération pour chaque ligne (raie). Vous pouvez recommencer la mesure d'une raie particulière ; il suffit pour cela de sélectionner le bouton à droite de sa longueur d'onde dans la liste des raies.

Quand c'est terminé, sélectionnez l'option "3ème ordre" et cliquez sur le bouton "Calcul du polynôme". En se basant sur les raies que vous avez sélectionnées, ISIS calcule la loi de dispersion polynomiale.

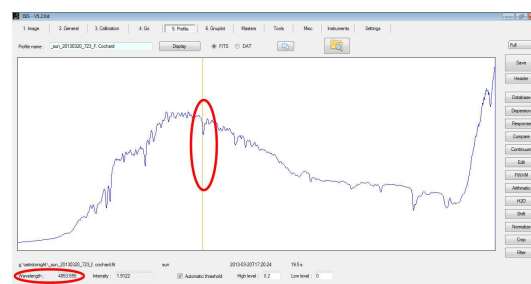


En bas de l'écran, ISIS affiche l'erreur RMS résultant de la calibration. Elle doit être au maximum de quelques Å (ici, l'erreur est de 3.7 Å). Si ce n'est pas le cas, c'est probablement qu'il y a une erreur soit dans la liste des raies, soit vous n'avez pas sélectionné la bonne raie, pour au moins une d'entre elles.

Relancez maintenant le processus de réduction, mais en sélectionnant “Faire l’étalonnage spectral” dans l’onglet “2. Général” et en validant Loi de dispersion calculée dans le panneau de “Etalonnage spectral” :



Affichez le spectre : il est maintenant calibré en longueur d'onde :





La loi de calibration peut être établie à partir de tout spectre contenant des raies connues. Il est fortement recommandé d'utiliser une lampe de calibration pour cela en mode fente. Plus il y aura de raies isolées et bien réparties, plus précise sera la loi de calibration.

2.5.4 Troisième étape : correction de la réponse instrumentale

L'ensemble de l'instrumentation (téléscope, spectrographe, caméra CCD) n'a pas la même sensibilité à toutes les longueurs d'onde ; la réponse instrumentale est la courbe qui donne la sensibilité pour chaque longueur d'onde. Par exemple, les capteurs CCD sont plus sensibles dans le rouge que dans le bleu. Pour obtenir le profil spectral final, votre profil doit donc être corrigé de la réponse instrumentale. Une bonne façon de le faire est de comparer le spectre obtenu sur une étoile de référence et le spectre "théorique" trouvé dans la littérature..

Dans le cas du spectre solaire, il suffit d'utiliser le spectre théorique d'une étoile de type G2V.

Quand vous observerez des cibles nocturnes, il sera nécessaire d'observer une étoile de référence, généralement de type A avec peu de raies d'absorption et des raies de Balmer bien prononcées. Choisissez votre étoile de référence la plus proche possible de votre cible pour éviter les effets atmosphériques.

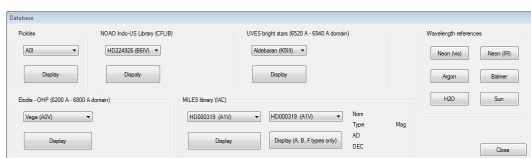
L'étoile de référence de type A pourra être utilisée à la fois pour la calibration en longueur d'onde et le calcul de la réponse instrumentale.



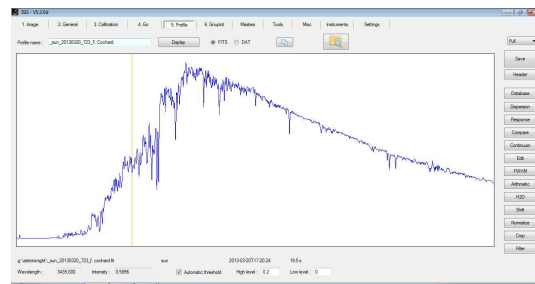
Chaque session d'observation commencera par l'observation d'une étoile chaude de référence.

ISIS inclut une base de spectres observés à différentes résolutions. Voici par exemple comment obtenir un spectre de référence d'une étoile G2V.

Allez dans l'onglet "4. Profil", cliquez sur le bouton "database", un panneau apparaît :

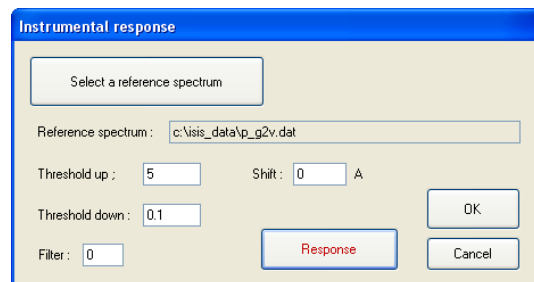


En haut à gauche, sélectionnez une étoile de type G2V de la liste Pickles.

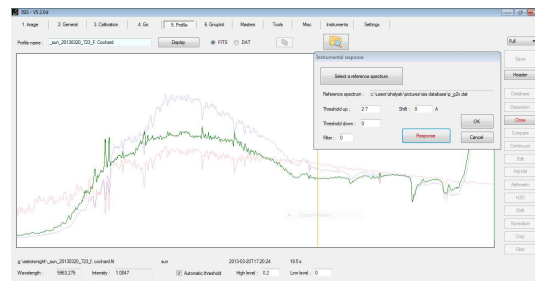


Le profil est différent du vôtre du fait de la réponse instrumentale et du domaine spectral couvert.

Rechargez votre spectre (en cliquant sur le bouton "Afficher"), puis appuyez sur le bouton "Réponse" ; un nouveau panneau apparaît :

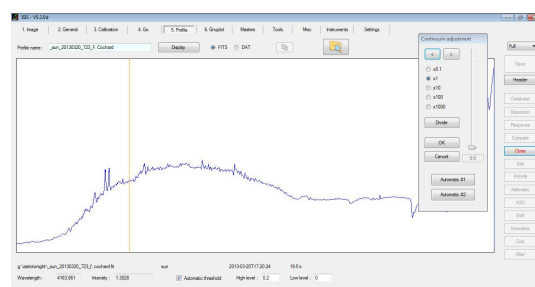


Sélectionnez le profil G2V (bibliothèque Pickles) comme référence puis sur le bouton "Réponse" (rouge). ISIS affiche trois profils dans la fenêtre principale : votre spectre solaire, le profil G2V théorique et le rapport des deux - qui est la courbe de réponse instrumentale brute :

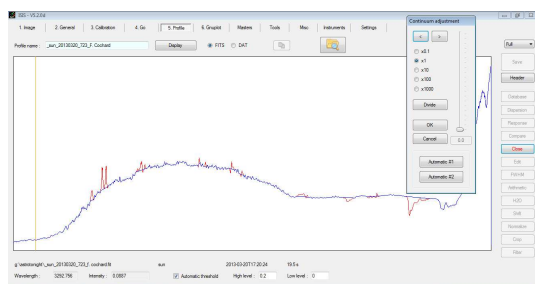


Cliquez sur le bouton OK : seule la courbe de réponse instrumentale reste. Le profil brut de la division est très bruité et perturbé par les résolutions différentes entre le spectre de la bibliothèque et celui observé.

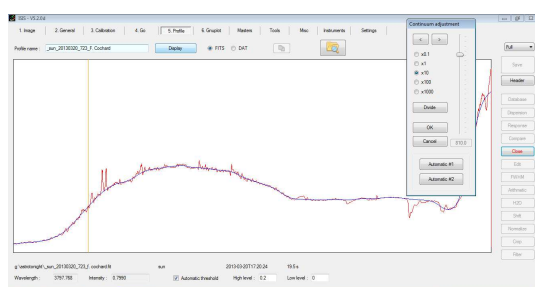
Pour obtenir la réponse instrumentale finale, adoucissez le profil en utilisant le bouton "continuum" :



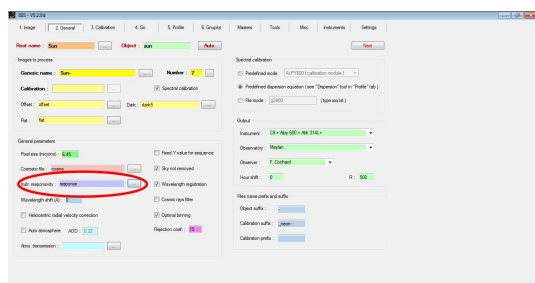
Pour retirer les raies (qui sont des traces de la division, et ne font pas partie de la réponse instrumentale), double-cliquez de chaque côté, cela remplace localement cette zone du spectre par une ligne droite :



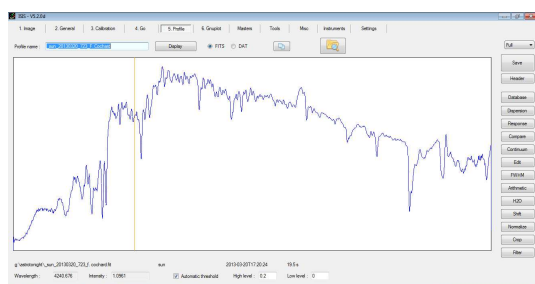
Puis déplacez le curseur du panneau continuum pour enlever le bruit restant du profil :



Cliquez sur OK et sauvegardez la réponse instrumentale, puis retournez dans le panneau “2.General” et remplissez le champ “Réponse instrument”.

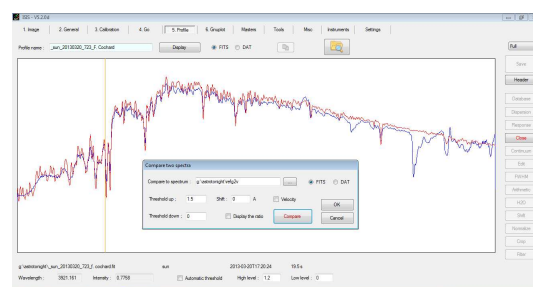


Vous pouvez alors, pour la troisième et dernière fois, relancer la réduction du spectre :



Ceci est le spectre finalisé du Soleil !

Vous pouvez comparer avec le spectre théorique G2V (cliquez sur le bouton “comparer”) :



Le résultat est très bon – beaucoup de détails qui pourraient passer pour du bruit sont en fait de l'information sur le spectre solaire.

Résumé

Le spectre du Soleil est maintenant complètement réduit. Pour en arriver là, vous avez répété trois fois le processus de réduction : pour l'extraction, le calcul de la loi de calibration en longueur d'onde et le calcul de la réponse instrumentale. Ces trois étapes sont à faire à chaque début de session d'observation (au minimum). Mais pour les autres cibles observées dans des situations similaires, vous pouvez réutiliser les informations de calibration et de réponse instrumentale, et la réduction sera alors très rapide.

Nous vous invitons à observer plusieurs spectres et à les traiter en suivant le processus décrit ci-dessus. Pour chaque nouvelle cible, sélectionnez simplement le fichier correspondant, et changez le nom de la cible dans l'onglet “2. General”. Puis lancez le traitement dans l'onglet “4. Go”. Cela prend à peine quelques secondes.

Alpy 600 - Spectroscopie stellaire en mode sans fente

Dans le chapitre précédent, vous avez appris comment faire un spectre de base.. Vous savez de quelles images vous avez besoin et comment les traiter pour obtenir un spectre. Maintenant nous allons appliquer la même méthode pour des objets astronomiques avec un télescope

Jusqu'à maintenant, vous avez utilisé l'Alpy 600 en mode fente. Idéalement vous devriez faire de même avec des étoiles. Mais il y a un problème, car la fente empêche de voir le champ d'étoile observé par le télescope. Avec une large source lumineuse (lumière du jour, ampoule de calibration..), il est facile de pointer sur la source. Mais une étoile est un simple point, et il n'est pas évident de la positionner en aveugle dans la fente. Si l'étoile est dans la fente vous aurez un spectre, mais si elle est juste à côté vous n'obtiendrez rien ; et il est très difficile de savoir dans quelle direction bouger le télescope.

En pratique, ce n'est pas réalisable, du moins quand on débute en spectroscopie astronomique. Vous verrez dans le chapitre 4 comment gérer cela. Pour l'instant, nous allons passer à un mode sans fente, qui est plus facilement applicable à une source lumineuse ponctuelle.

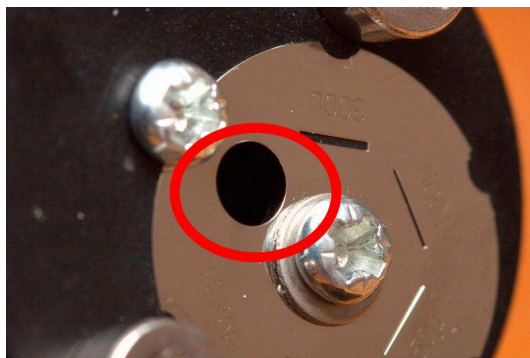
Le mode sans fente a des avantages. Par exemple, il permet de collecter toute la lumière de l'étoile, alors que dans le mode avec fente il y a nécessairement une perte. C'est très utile pour des objets faibles, ou lorsqu'on veut éviter tout effet de chromatisme. Il y a aussi des inconvénients : il est impossible d'utiliser une lampe de calibration (large source lumineuse), et la position du spectre va bouger dans l'image en fonction du niveau de suivi de votre télescope. En quelques mots, si vous n'avez pas de module de guidage, utiliser l'Alpy 600 en mode sans fente est le meilleur moyen pour débiter ; mais ce n'est pas le plus simple pour obtenir des mesures précises. Si vous souhaitez faire régulièrement des spectres d'étoiles, le module de guidage vous apportera une grande simplicité d'utilisation - ainsi que la précision de mesure.



Les observations sont faites de nuit, mais la préparation du télescope et l'installation de l'Alpy 600 avec la caméra doivent être faites pendant qu'il fait encore jour.

3.1 Passer en mode "sans fente"

Vous avez vu dans la section 1.7 comment changer de fente. Ici, vous devez sélectionner le trou de 3mm (le plus gros) :



Si vous faites le spectre du soleil avec cette configuration, il semblera défocalisé (très flou). De fait il est focalisé, mais la taille de la source (le trou de 3mm) est telle que le spectre est quasi inutilisable en l'état.



Pourquoi ne pas retirer complètement la fente de l'Alpy, plutôt que d'utiliser un trou large ? Vous pourriez le faire, mais le trou permet de diaphragmer l'instrument à sa limite d'ouverture - au-delà, la qualité optique se dégrade fortement. En outre, en gardant la fente en place, vous évitez de la perdre ou de l'abimer.

3.2 Observation visuelle

Pour commencer avec des objets astronomiques, nous vous encourageons à regarder visuellement le spectre

d'une étoile. Enlevez le cœur de l'Alpy 600 (desserrez les trois vis autour du corps) :



Fixez le cœur de l'Alpy 600 sur le coulant 31,75mm (le séparer d'abord du corps externe)



Ce coulant peut être monté sur un porte oculaire standard de 31,75mm :



Pointez une étoile brillante (si possible de type B ou A) et regardez à travers l'Alpy 600. Focalisez le télescope pour avoir un spectre fin et tournez l'Alpy 600 de façon à avoir un spectre horizontal avec le bleu à gauche et le rouge à droite.

Vous devriez voir quelque chose comme cela :



Maintenant, vous pouvez regarder différentes étoiles et objets brillants.

3.3 Enregistrer un spectre d'étoile

Après l'observation visuelle, vous voudrez sûrement enregistrer des images. Vous avez appris comment acquérir et traiter un spectre, puis vous avez installé le spectroscopie sur votre télescope ; maintenant il est temps d'utiliser les deux en même temps.

3.3.1 Régler l'instrument

Dans la section 2, vous avez vu comment régler votre Alpy 600 pour obtenir un spectre focalisé et horizontal dans l'image. Vous devez partir de cet état, puis passer en mode sans fente (passez au trou de 3mm).



Vérifiez bien que le spectre est horizontal, avec la bonne orientation (bleu à gauche) :



Assemblez le corps externe et le coulant sur l'Alpy 600 :



Placez l'ensemble sur le porte oculaire du télescope.



💡 Le corps externe a un filetage au standard T (M42x0,75mm). Si votre porte-oculaire est en 2" (50,8mm), vous pouvez retirer le coulant de 31,75mm, et le remplacer par un adaptateur (optionnel) M42 vers un coulant 50,8mm.



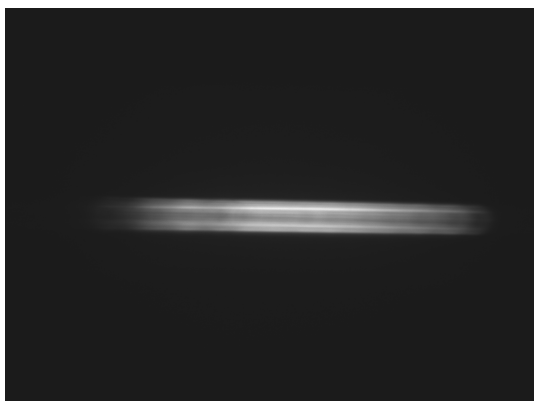
Branchez les cables (alimentation et USB) et équilibrez l'instrument.

💡 N'oubliez pas de mettre en route le refroidissement de votre CCD.

💡 Créez un nouveau répertoire sur votre PC pour stocker toutes vos images de la nuit.

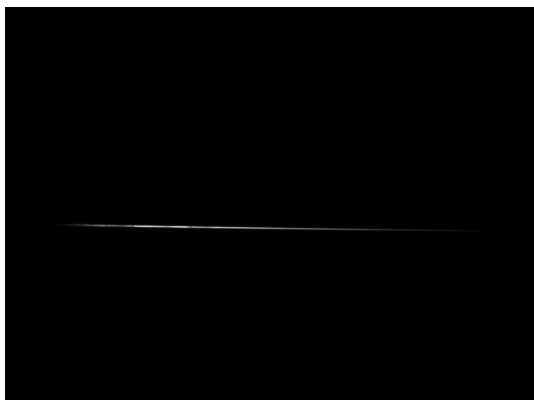
Sélectionnez une étoile à observer. Elle doit être brillante et chaude de préférence (de type A ou B) ; leur spectre a un continuum très lisse et possède des raies d'absorption profondes. Dans l'image ci-dessous, il s'agit du spectre de Regulus qui est une étoile de type B7.

Quand la nuit tombe, pointez l'étoile à l'aide du chercheur du télescope. Prenez une image du spectre. Par rapport au spectre du soleil que vous avez fait précédemment, le temps d'exposition doit être largement supérieur. Si seulement quelques dixièmes de seconde (voire moins) étaient nécessaires pour le soleil, il faut quelques secondes voire plusieurs minutes pour une étoile. Si vous avez choisi une étoile brillante (magnitude inférieure à 3), quelques secondes suffisent – avec un petit télescope. De toute manière, il faut toujours contrôler le temps d'exposition pour éviter la saturation ou une trop faible exposition. Vous devriez voir quelque chose comme cela :



Déplacez le télescope pour avoir le spectre au centre de l'image.

Votre télescope est probablement défocalisé (c'est le cas dans l'image ci-dessus). Faites des acquisitions en continu, et changez la focalisation du télescope. Petit à petit vous verrez le spectre devenir de plus en plus fin. Vous devriez obtenir un spectre comme celui-ci (seulement quelques pixels de large) :



En mode sans fente, la largeur du spectre est directement liée à la taille de l'image dans le plan focal du spectroscopie (plan de la fente).

Regardez l'extrémité gauche de votre spectre : il y a des raies d'absorption très nettes (seulement pour les

étoiles chaudes) :



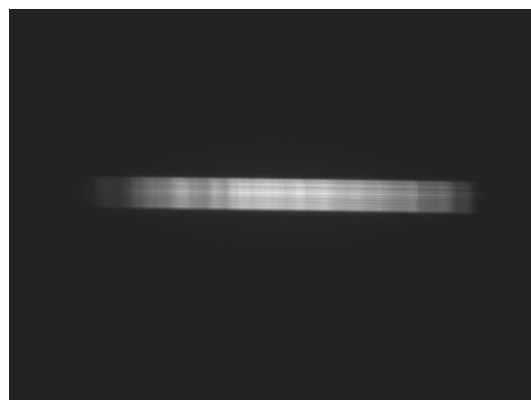
Si votre image est noire, cela peut être dû aux seuils de visualisation. Dans AudeLA, cliquez sur le bouton "auto" (en bas à gauche) pour adapter les seuils de l'images.

Vous pouvez faire tourner l'Alpy 600 dans le porte oculaire, le spectre reste horizontal. C'est normal, l'orientation du spectre ne dépend que de la position du spectroscopie par rapport à la caméra CCD. Cela ne veut pas dire pour autant que vous devez laisser votre Alpy dans n'importe quelle position. Pour faciliter le pointage et le suivi de l'étoile, il est préférable d'aligner le spectroscopie avec les axes du télescope. Tournez l'Alpy 600 (tout le montage incluant la caméra CCD et le corps externe) de telle sorte que quand vous bougez le télescope en déclinaison le spectre se déplace verticalement dans l'image.

Votre instrument est maintenant prêt pour l'observation.

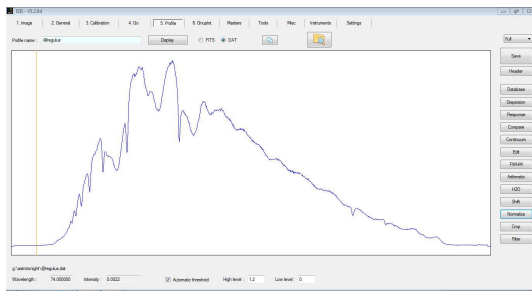
3.3.2 Observation d'étoiles

Prenez le temps de faire plusieurs images de l'étoile. Si vous faites des expositions de quelques secondes (ce qui est probable), vous êtes tributaire de la qualité de suivi de votre télescope. Si le suivi est mauvais, le spectre se déplacera sur le capteur pendant l'acquisition, et vous obtiendrez au final une bande plutôt qu'une ligne :



Comme vous l'avez fait avec le soleil, vous pouvez traiter immédiatement ce spectre brut avec ISIS. La seule différence c'est qu'il s'agit d'un spectre d'étoile (Regulus dans notre exemple), et il faut corriger le

spectre du fond du ciel avec ISIS (dans le panneau "2. General", décochez la case "Fond de ciel non retiré"). Vous devriez obtenir un spectre qui ressemble à cela :



En imagerie astronomique, le niveau de signal (lumière) est très faible et tous les défauts de l'instrument sont démultipliés. Il est donc encore plus important de faire toutes les images de référence pour permettre une bonne réduction des données.

En mode sans fente, le spectre de PLU (flat) peut être obtenu en mettant un diffuseur devant le télescope (voir l'exemple ci-dessous), et l'éclairer avec une lampe au tungstène (pendant la nuit, pour éviter toute pollution de l'image par la lumière du soleil).



Le résultat ressemblera à cela (dans les flats obtenus en mode sans fente, on ne retrouve pas la courbe de réponse instrumentale, tous les détails sont noyés) :



La calibration en longueur d'onde et la courbe de réponse instrumentale seront calculées à partir du spectre d'une étoile de référence (comme on l'a fait pour le Soleil - si ce n'est qu'on devra maintenant utiliser une autre étoile). Il vous faudra observer une étoile de référence, juste avant ou après votre cible principale. Vous devez choisir comme étoile de référence une étoile dont le spectre est connu avec une grande précision (ISIS dispose d'une importante base de spectres pour cela). Pour une bonne réduction de données, nous vous suggérons de faire les images de référence suivantes :

- 7 images d'offset ou plus (comme précédemment)
- 7 images de noir ou plus (comme précédemment)
- 5 images de PLU (flat) ou plus (faites attention à la bonne exposition pour être à 80% environ du niveau maximum)
- 5 spectres de l'étoile de référence (de type A ou B) ou plus
- Pointez plusieurs étoiles (adaptez l'exposition pour chaque étoile) et faites 3 à 15 spectres pour chacune d'elles.

3.4 Réduction des données

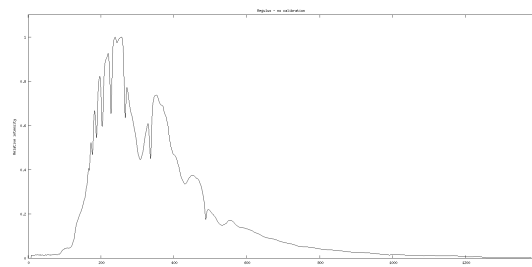
Vous devez commencer par traiter le spectre de l'étoile de référence, afin de définir la loi de calibration et la courbe de réponse instrumentale.

Créez des fichiers maîtres pour l'offset, le noir, la PLU (flat), puis un fichier cosmétique à partir du noir maître.

Comme vous l'avez appris dans le chapitre 2, vous devez traiter vos données en trois étapes pour obtenir la calibration en longueur d'onde et la courbe de réponse instrumentale.

3.4.1 Première passe

Traitez d'abord les données sans calibration en longueur d'onde et sans la courbe de réponse instrumentale. Vous devriez obtenir ceci (notez que ISIS peut exporter votre profil en format PNG, en utilisant l'outil graphique Gnuplot) :



Ce profil est différent du premier Regulus car nous avons utilisé la PLU. Il est plus proche du spectre réel

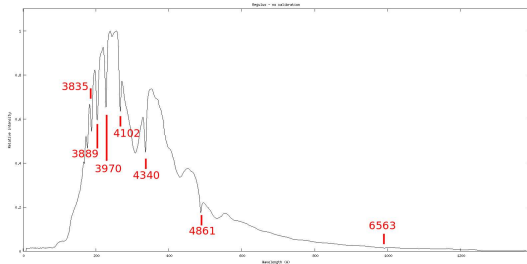
de l'étoile, mais il est toujours très affecté par la réponse instrumentale.

3.4.2 Seconde passe

La loi de calibration en longueur d'onde peut être établie en utilisant les raies de Balmer (raies de l'hydrogène), qui sont les plus visibles dans le spectre. Elles s'étendent le long du spectre visible, comme une série géométrique :

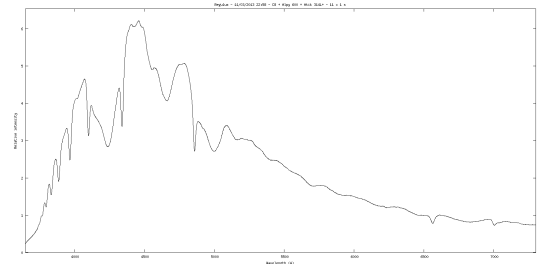
longueur d'onde	raie
3835 Å	H η (eta)
3889 Å	H ζ (dzeta)
3970 Å	H ϵ (epsilon)
4102 Å	H δ (delta)
4340 Å	H γ (gamma)
4861 Å	H β (beta)
6563 Å	H α (alpha)

Ces raies sont situées ainsi :



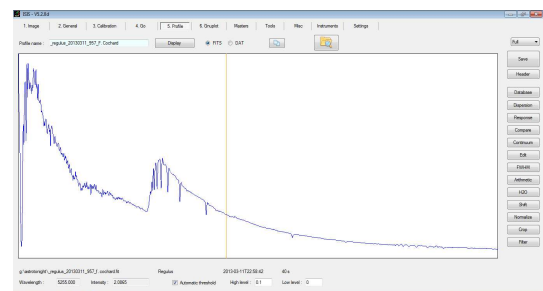
Avec ces informations, vous pouvez établir la loi de calibration – sélectionnez une loi polynomiale de degré 4 (car il y a suffisamment de raies disponibles).

Une fois le polynôme établi, recommencez le traitement en incluant la calibration en longueur d'onde. Vous devez obtenir le même profil mais cette fois calibré en Å (regardez l'échelle des abscisses – notez que le spectre a été recadré entre 3650 and 7300 Å) :

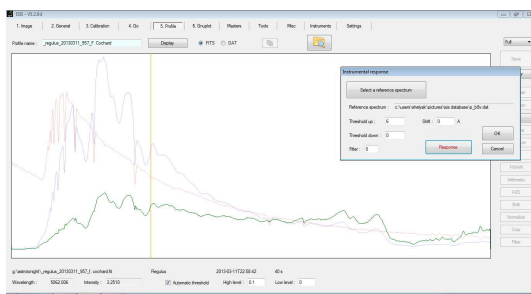


3.4.3 Troisième passe

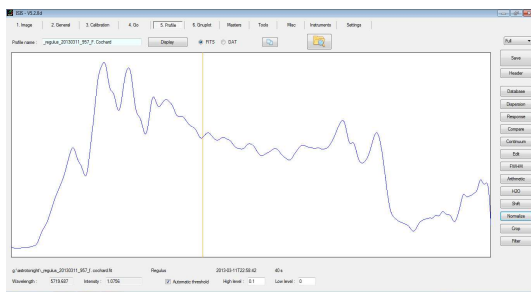
La dernière opération consiste à établir la courbe de réponse instrumentale. Dans ce document, nous utilisons Regulus comme étoile de référence. C'est une étoile de type B7V. Dans la base de donnée d'ISIS (Pickles), il n'y a pas de profil pour une B7V, mais vous pouvez prendre le profil B8V – la différence n'est pas très importante. Affichez ce profil et sauvez le dans le répertoire courant :



Ce spectre est plus large que le nôtre, il va de 1.000 to 10.000 Å. Rechargez votre spectre (cliquez simplement sur « Afficher ») et cliquez sur le bouton « Réponse » :

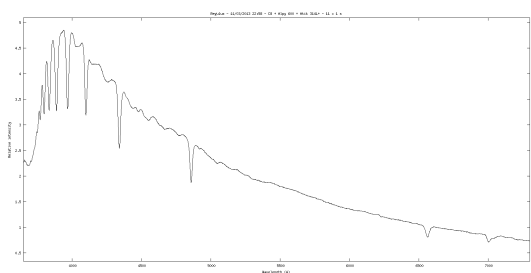


Sélectionnez votre spectre de référence, puis cliquez sur OK, pour avoir la courbe de réponse brute. Enlevez les raies et lissez la courbe pour réduire le bruit :



Sauvez ce profil, puis recommencez le traitement d'image en incluant cette fois la réponse instrumentale (dans le panneau "2. General").

Le résultat est maintenant le profil réel du spectre de l'étoile :

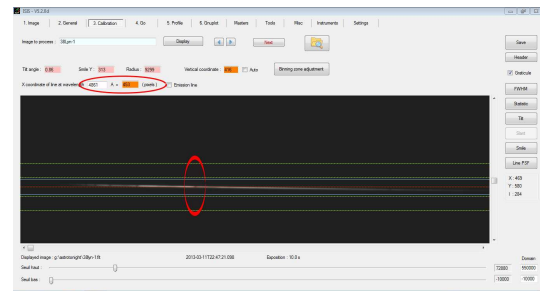


Vous avez terminé la réduction du spectre de votre étoile de référence, et vous avez maintenant la loi de calibration et la courbe de réponse – ces informations seront réutilisées pour toutes les étoiles que vous allez observer pendant la nuit.

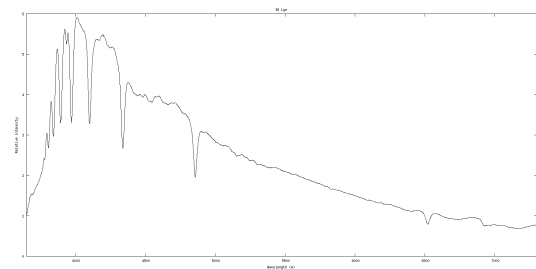
Cependant, vous devez garder à l'esprit que vous travaillez en mode sans fente et il n'y a aucun moyen de mettre l'étoile suivante exactement à la même position dans l'image que l'étoile de référence. Il y aura forcément un décalage entre l'étoile de référence et

la cible. La loi de dispersion sera la même mais elle devra être décalée pour correspondre à la position de la nouvelle étoile. Pour ce faire, vous devez identifier une des raie du nouveau spectre, et indiquer sa longueur d'onde dans ISIS.

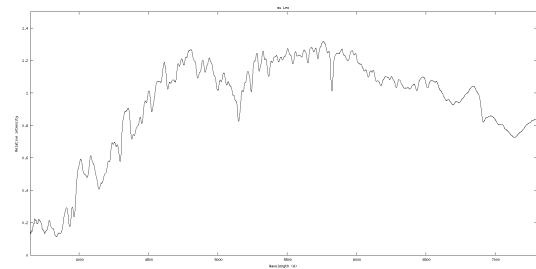
Par exemple, voici le spectre de 38 Lyn, une autre étoile chaude. Dans l'image, vous pouvez identifier facilement la raie de Balmer à 4861 Å. Mesurez sa position et entrez-la dans le champ correspondant dans le panneau "3. Calibration" :



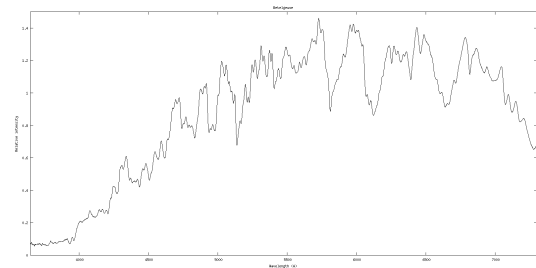
Lancer le traitement et vous obtiendrez directement le spectre final :



Utilisez le même mode opératoire pour toute les étoiles que vous observerez pendant la nuit. Voici un autre exemple avec mu Léo qui est de type K2III :



et Betelgeuse (de type M2I) :





Il se peut que vous observiez un (léger) décalage dans la loi de calibration d'une étoile à l'autre malgré le recalage que vous avez fait. Cela vient du fait que la loi de dispersion peut dépendre de la position du spectre dans l'image. Pour limiter ce problème, mettez toujours, dans la mesure du possible, le spectre à la même place dans l'image.

Vous savez maintenant comment réduire vos données ; avec l'expérience vous accomplirez tout cela en quelques minutes pour l'étoile de référence et quelques secondes pour toutes les autres étoiles que vous observerez pendant la nuit.

Spectre d'étoile en mode fente

Dans les chapitres précédents, vous avez vu comment utiliser l'Alpy 600 en mode fente sur table (chapitre 2) puis en mode sans fente sur les étoiles (chapitre 3). Le mode sans fente vous permet de trouver votre cible facilement et de collecter toute la lumière de l'étoile.

Mais le mode avec fente a plusieurs avantages majeurs :

- Il permet une meilleure calibration en longueur d'onde (en utilisant des lampes de calibration),
- La possibilité d'observer des objets étendus (nébuleuse, comètes, galaxies...),
- Il permet de supprimer le fond du ciel (nécessaire pour les objets faibles ou si l'on observe en conditions urbaines),
- La résolution ne dépend que de la fente, et non des conditions d'observation (suivi, qualité du ciel, focalisation...).

Pour ces raisons, la plupart des observations astronomiques sont faites en mode fente. Dans ce chapitre, nous verrons comment contourner le problème du pointage et de suivi d'une étoile en mode fente.

Le meilleur moyen est clairement d'utiliser le module de guidage de l'Alpy 600. C'est un dispositif qui permet de voir l'entrée de la fente : vous pouvez voir l'étoile que vous observez. Vous pouvez utiliser cette image pour placer l'étoile dans la fente et la suivre. Si vous prévoyez de faire régulièrement des observations d'objets astronomiques, c'est un élément indispensable pour le confort et l'efficacité mais aussi pour la qualité des mesures. Il est décrit dans la section 7.1.1

Cependant, vous pouvez utiliser le mode fente même si vous n'avez pas le module de guidage ; cela demande un peu plus d'expérience – la plupart des astronomes aiment les challenges !

Vous avez deux possibilités :

1. Observer avec la fente large et un miroir basculant,
2. Observer avec la fente de 25μ .

La première possibilité est très accessible. La seconde est plus compliquée – mais nous l'avons testée personnellement.

Observation avec la fente large

L'Alpy 600 comporte plusieurs fentes (voir la section 1.7). L'une d'elle est une fente large, de $300\mu\text{m}$ de largeur. C'est un compromis entre les deux modes (avec et sans fente). Comparé au mode sans fente, elle permet de garder approximativement le spectre dans la même position horizontale dans l'image, et de réduire les incertitudes de la calibration en longueur d'onde. Elle permet aussi de diminuer l'effet du fond de ciel, et de donner plus de détail pour le PLU/Flat.

La différence avec une fente plus fine est que la résolution du spectre va dépendre de la taille de l'étoile, et non de l'instrument lui-même.

Pour vous aider à pointer une étoile, nous vous recommandons d'utiliser un flip-mirror (miroir basculant) et un oculaire réticulé entre le télescope et l'Alpy 600 :



Ce dispositif optionnel vous aidera à mettre l'étoile dans la fente large.

Centrer l'étoile

Utilisez le chercheur du télescope pour localiser l'étoile (commencez par une étoile brillante), et faites basculer le miroir pour voir le champ du télescope dans l'oculaire. Centrez l'étoile dans le champ visuel. Puis relevez le miroir pour laisser la lumière entrer dans le spectroscopie. Faites des acquisitions en continu, jusqu'à ce que vous voyiez le spectre dans l'image. Si vous ne voyez rien, mettez les seuils de visualisation à une sensibilité maximale, et faites la mise au point

du télescope – la première fois que vous installez le flip-mirror, le spectroscopie est certainement défocalisé par rapport au télescope. A mesure que vous focalisez l'étoile, vous voyez un spectre large (bande) qui devient de plus en plus brillant. La bande est due au fait qu'une étoile défocalisée est identique à un objet diffus. Quand vous vous approchez de la focalisation optimale, le spectre peut disparaître : l'étoile est maintenant toute petite et n'est peut être plus dans la fente. Dans ce cas, déplacez légèrement le télescope perpendiculairement à la fente afin de retrouver l'étoile. Si vous n'y parvenez pas, défocalisez un peu de façon à élargir l'objet jusqu'à obtenir le spectre. Petit à petit, vous arriverez à focaliser le télescope et à positionner l'étoile au centre de la fente.

Vous pourrez alors regarder dans l'oculaire du miroir basculant, et notez la position précise de l'étoile. Cette position devra être la même pour les autres observations.

Suivre l'étoile

Vous avez réussi à mettre l'étoile dans le centre de la fente de l'Alpy 600... maintenant, il faut la garder ainsi pendant toute l'observation. Cela dépend évidemment de la qualité de votre monture et si elle est bien alignée. Vous devez adapter le temps d'exposition pour que le spectre demeure très fin sans effets visuels des problèmes de suivi.

Si le spectre disparaît au bout d'un moment, c'est que l'étoile est sortie de la fente. Vous pouvez de nouveau basculer le flip-mirror et regarder où se trouve l'étoile. A l'usage, il est probable que l'étoile bouge toujours dans la même direction du fait du défaut d'alignement de la monture. Pour remettre l'étoile dans sa position initiale, vous avez juste à bouger le télescope dans la bonne direction. Vous trouverez rapidement dans quel sens bouger le télescope, et ces ratapages se font ensuite toujours dans la même direction.

Nous pouvons même vous suggérer, dans certaines conditions, de désaligner légèrement votre monture. L'étoile va, ainsi, bouger doucement dans le champ de vue (FOV), mais toujours dans le même sens. Vous saurez, alors, dans quel sens rattraper votre télescope quand le niveau de signal de votre spectre baisse.



Bien sûr, si vous avez passé du temps à aligner parfaitement votre monture, ce n'est pas une bonne idée. Faites-le seulement si cela est sans conséquences fâcheuses.

Pointer et suivre une étoile avec une fente large et un miroir basculant demande un peu d'expérience, mais les résultats sont sensiblement meilleurs qu'en mode sans fente. Vous ne perdrez pas votre temps !

Observation avec la fente de 25 μ m

Cette section est pour les personnes qui aiment les défis ! Observer avec la fente étroite (25 μ m) demande encore plus de patience et de précision qu'avec la fente large. Le mode opératoire est le même mais il est beaucoup plus difficile de positionner l'étoile dans une fente dix fois plus petite (25 μ m vs 300 μ m). Cependant cela reste possible – nous l'avons fait... et même sans miroir basculant (juste un chercheur).

Le principal "truc" est de défocaliser légèrement l'étoile. Elle devient ainsi plus grosse dans le plan focal et plus facile à trouver. Nous vous recommandons de travailler d'abord en mode sans fente afin d'être sûr que le télescope est presque focalisé. Si le plan focal est trop éloigné, l'étoile peut être énorme (plus grosse que le FOV) et la quantité de lumière très faible.



Faites attention : si vous défocalisez le télescope, seule une petite fraction de la lumière traversera le spectroscopie. Ceci n'est donc applicable que pour des étoiles brillantes.

Avec de l'expérience et si votre télescope est assez précis, vous pourrez utiliser votre chercheur (ou mieux un chercheur électronique) pour mettre l'étoile très près de la fente.

Puis suivant le niveau du spectre, vous pourrez refocaliser le télescope petit à petit. En procédant de cette façon, l'étoile pourra se retrouver en dehors de la fente, mais vous pourrez la retrouver en déplaçant le télescope. Faites plusieurs itérations jusqu'à ce que la taille de l'étoile et le signal du spectre soient compatibles avec vos conditions d'observation.

Insistons encore : ce qui est décrit ici est davantage un défi qu'une méthode d'observation productive. Mais cela peut être suffisant pour voir la différence de potentiel entre un spectre réalisé avec et sans fente. Gardez à l'esprit que si vous utilisez le module de guidage optionnel, vous aurez en même temps la qualité d'observation (mode fente) et la facilité de mise en oeuvre (puisque vous ne travaillez plus en aveugle).

Vous avez vu toutes les étapes nécessaires pour obtenir votre premier spectre réduit d'étoile. Petit à petit vous effectuerez ces étapes plus efficacement. Dans cette section, nous vous montrerons quelques trucs et astuces pour améliorer vos observations, c'est à dire pour obtenir des données de meilleures qualités (de niveau professionnel), et de manière plus efficace. Dans la majorité des recommandations ci-dessous, nous supposons que vous travaillez en mode fente.

5.1 Augmenter la qualité des données

5.1.1 Ratio signal/bruit (SNR)

La lumière des étoiles est faible.....et vous l'étalez fortement avec le spectroscopie. En fin de chaîne, seuls quelques photons atteignent chaque pixel de votre caméra. La qualité du spectre est directement liée au niveau du signal que vous captez sur votre caméra CCD comparé au "bruit" de l'instrument qui est la limite de détection. C'est ce que l'on appelle le rapport signal/bruit (S/B)

Il est possible d'améliorer ce rapport S/B soit en réduisant le bruit soit en augmentant le signal.

Réduire le bruit est difficile : on est vite limité par des obstacles physiques. On peut toutefois le faire dans une certaine mesure. Par exemple, en refroidissant la caméra, vous réduisez l'activité thermique interne du CCD et réduisez le bruit.

Mais la meilleure façon d'améliorer le rapport S/B est encore d'augmenter le signal. Ce qui peut être fait de différente façon :

- Augmenter le temps d'exposition (le rapport S/B augmentera comme la racine carrée du facteur de multiplication du temps) ,
- Augmenter la taille du télescope (ce qui explique pourquoi les astronomes veulent toujours des télescopes plus grands),
- S'assurer que la plus grande partie de la lumière passe dans le spectroscopie. Les images de l'étoile et la fente sont très petites (quelques μm) et il est très facile de perdre une grande proportion de cette lumière.

Les deux principales causes de perte de lumière à l'entrée du spectroscopie sont généralement :

- La focalisation du télescope. Si la focalisation n'est pas optimale, la taille de l'objet va être plus grande que la fente et seulement une partie de la lumière va entrer dans le spectroscopie.
- La position de l'étoile dans la fente. En mode fente, il est très facile de placer l'étoile légèrement en dehors de la fente. Le résultat est le même, une importante perte de lumière.

La meilleure façon d'améliorer ces deux points est de vérifier que quand l'étoile traverse la fente, elle disparaît presque de l'image de guidage. Réglez le temps d'exposition de votre caméra de guidage pour éviter toute saturation.



Si l'étoile disparaît de l'image de guidage en traversant la fente, cela signifie que la majorité de la lumière entre dans le spectroscopie.

Avec l'expérience, vous saurez quel niveau de signal est attendu pour votre instrument, pour une magnitude donnée (voir section 5.3). Si vous remarquez que le signal est inférieur à celui que vous avez habituellement, prenez un moment pour trouver la source de la perte de signal.

Pour aller encore plus loin dans l'amélioration de l'efficacité de votre instrument, vous pouvez mesurer l'énergie totale contenue dans votre spectre (image 2D), et optimiser la focalisation du télescope en fonction de cette mesure.

5.1.2 Résolution

Si vous travaillez en mode fente, la résolution du spectre ne dépend – au premier ordre – que du spectroscopie. Le pouvoir de résolution de l'Alpy 600¹ est d'environ $R=600$ autour de $H\alpha$. Le logiciel ISIS calcule le pouvoir de résolution effectif de votre spectre. Vérifiez que votre résultat est proche de cette valeur.

1. Le pouvoir de résolution indique la capacité du spectroscopie à voir des détails. Il est calculé comme $\lambda/\Delta\lambda$, où $\Delta\lambda$ est le plus petit détail visible dans le spectre.



La résolution est calculée à partir de la largeur des raies de calibration ($\Delta\lambda$ = largeur à mi-hauteur des raies de calibration).

Plus les raies de calibration sont fines (focalisées) meilleure est la résolution. Il est donc important de prendre le temps de focaliser soigneusement le spectroscopie.

5.1.3 Calibration en longueur d'onde

Soyez attentif à la calibration en longueur d'onde. Avec un Alpy 600, vous devriez avoir une erreur de calibration de l'ordre de 0,5 Å. Faites régulièrement des images de calibration, et vérifiez qu'il n'y a pas de dérive. Vérifiez toujours qu'il n'y a pas d'erreur flagrante de calibration. Une bonne méthode pour cela est de regarder la position des raies de Balmer, visibles pour la plupart des étoiles.

N'oubliez pas que la loi de calibration peut changer en fonction de la position du spectre dans l'image. Pour réduire autant que possible cet effet, il faut toujours positionner le spectre au même endroit dans l'image. En mode fente, la position du spectre est contrainte horizontalement, mais veillez également à mettre le spectre à la même place verticalement.

5.1.4 Autoguidage (module de guidage)

L'autoguidage est très dépendant de votre équipement. L'autoguidage consiste à laisser l'ordinateur analyser l'image de guidage et à corriger en temps réel la position du télescope, pour maintenir l'étoile dans la fente. Le logiciel AudeLA dispose d'une puissante fonction d'autoguidage – mais ce n'est pas le seul. L'autoguidage ne sert pas seulement au confort (quand vous activez l'autoguidage, vous n'avez plus besoin de contrôler vous-même en permanence l'image de guidage), il permet aussi d'améliorer la qualité du spectre – parce qu'il apporte toujours le même type de correction. L'autoguidage est *indispensable* pour obtenir de bons résultats.

5.1.5 Fichier cosmétique

Un capteur CCD comporte (presque toujours) des "pixels chauds". Ces pixels sont plus sensibles que les autres. Ils donneront de faux résultats. Il vaut mieux les éliminer de votre image. Cela peut être fait avec le logiciel ISIS en créant une carte des pixel chaud (fichier cosmétique). Tout les pixels chauds sont remplacés dans l'image par une moyenne des pixels environnants. Pour faire ce fichier, utilisez une image de noir et définissez le seuil au-dessus duquel les pixels seront considérés comme chaud (en général, on prend un seuil autour de trois ou quatre fois l'écart-type du bruit dans l'image). Dans le logiciel ISIS, choisissez le

panneau "Images maîtres" et sélectionnez "Faire un fichier cosmétique". Un fichier cosmétique avec 100 à 500 pixels chauds est considéré comme normal.



L'image maître du noir n'est pas exactement une image de noir, mais la carte thermique de la caméra (après soustraction de l'offset). C'est pourquoi le niveau moyen de l'image est proche de zéro. .

Pour utiliser le fichier cosmétique, allez dans le panneau "2. General" et entrez le nom du fichier dans le champ "Cosmetic file". Relancez alors le traitement des données. ISIS tient maintenant compte de ce fichier dans ses calculs.

5.1.6 Courbe de réponse instrumentale

Nous avons décrit une manière simple d'obtenir la courbe de réponse instrumentale avec ISIS sur une étoile de référence (voir 2.5.4). En fait c'est une opération délicate. La courbe de réponse peut évoluer avec plusieurs paramètres, comme les conditions du ciel, la position de l'objet dans le ciel (masse d'air), le rougissement par la matière interstellaire etc... Idéalement, vous devez choisir une étoile de référence proche de votre étoile ciblée, de même type spectral, de magnitude proche... ce qui est rarement possible. Si vous avez une mauvaise courbe de réponse instrumentale, vous obtiendrez un spectre déformé. On pourrait remplir de pleines pages sur la meilleure manière d'établir une courbe de réponse instrumentale... gardez seulement à l'esprit ici qu'obtenir une courbe juste requiert une expérience certaine.

5.1.7 Tenir un journal d'observation

Nous vous encourageons vivement à tenir un journal d'observation quand vous observez (tous les observatoires professionnels ont un "cahier de couple"). Notez-y tout ce qui peut aider à retrouver ultérieurement les conditions de votre observation pendant la nuit : configuration, conditions météo, programme de la nuit, tout événement notable...

5.2 Améliorer la productivité

5.2.1 Garder la même configuration

La meilleure façon d'augmenter votre productivité est de toujours garder la même configuration et de suivre les mêmes procédures de travail. Bien sûr, les astronomes veulent souvent améliorer leur configuration (c'est une bonne idée), mais dès que vous changez un paramètre vous devez adapter (changer) vos

protocoles. Il est quelquefois préférable de ne pas changer de configuration, aussi bien pour la qualité que pour la productivité.

5.2.2 Bibliothèque de noirs

Les noirs sont des images à long temps de pose (au moins aussi longue que le temps d'exposition de vos objets). Et plus vous prenez de dark, meilleurs seront vos résultats (vous augmenterez le rapport S/B). C'est une étape très longue - que vous ne devriez faire qu'en fin de nuit quand vous connaissez le temps d'exposition le plus long.

En fait, les noirs sont des caractéristiques intrinsèques de votre caméra CCD. Ils ne dépendent que de la température et du temps d'exposition. Ils ne dépendent pas des conditions d'observation. Vous n'êtes donc pas obligé de les faire pendant votre session d'observation ; vous pouvez les faire par exemple lors d'une nuit nuageuse (ou même durant la journée – faites juste attention aux fuites de lumière).

Nous vous suggérons de faire votre propre bibliothèque de noirs, avec différents temps d'exposition et différentes températures de caméra (vous pouvez placer votre caméra au réfrigérateur pour simuler une nuit froide). Faites beaucoup d'images et créez un jeu de noirs une fois pour toutes.

Vous pouvez également faire une bibliothèque d'offset, puisque ce sont aussi des images qui ne dépendent que de la caméra.

5.2.3 Temps d'exposition

Nous vous suggérons d'utiliser toujours le même temps d'exposition pour vos observations (par exemple 5 minutes – 300 secondes – pour les objets faibles). Le temps total d'exposition dépendra bien sûr de la magnitude de l'objet, que vous pourrez obtenir en changeant le nombre d'exposition. Cette méthode a plusieurs avantages :

- Vous pouvez toujours utiliser les mêmes dark,
- Le traitement des données est plus rapide (les paramètres ne changent pas),
- Pas de risque d'erreur pendant l'acquisition des données (vous ne changez pas le temps).

Cette méthode a ses limites, par exemple pour les objets très brillants ou très faibles, mais elle simplifie bien le processus global.

5.2.4 Préparez vos observations

Les astronomes amateurs attendent souvent la dernière minute avant de choisir ce qu'ils vont observer. Nous vous recommandons de préparer vos observations à l'avance. Si vous organisez votre session d'observation, vous pourrez optimiser l'ordre de vos observations suivant la position des étoiles dans le ciel, et

en fin de compte vous profiterez davantage de votre temps d'observation.

Si vous cherchez un programme d'observation ou des idées d'observation, vous pouvez consulter le site web de Shelyak Instruments² : nous en avons listé et documenté beaucoup ; ils sont classés des plus simples aux plus ambitieux.

5.2.5 Un répertoire pour chaque session d'observation

C'est un conseil un peu simple, mais la spectroscopie est une activité qui génère un nombre très importants de fichiers. Il est important de ne pas mélanger les fichiers de différentes sessions d'observation pour faire correctement la réduction des données. Nous vous recommandons donc de créer un nouveau répertoire au début de chaque session d'observation (chaque nuit d'observation). Mettez votre journal d'observation (voir la section 5.1.7) dans ce dossier.

5.2.6 Réduisez vos données rapidement

Souvent les astronomes utilisent la nuit pour observer et attendent le lendemain pour traiter les données. Attention, si vous attendez trop longtemps vous ne traiterez probablement jamais vos données. Laisser des données brutes dans un disque dur est comme si vous n'aviez jamais observé. Nous vous recommandons donc de traiter vos données immédiatement après l'acquisition. Vous aurez en outre encore en mémoire tous les événements de la nuit et prendrez moins de risques de faire des erreurs.

5.3 Partagez vos résultats

Notre expérience nous a montré que le meilleur moyen d'améliorer vos résultats est de les comparer à d'autres - même si c'est toujours un peu impressionnant. Si vous comparez vos spectres à ceux effectués par des personnes plus expérimentées - avec des instruments comparables bien sûr - vous aurez une idée des possibilités d'amélioration. Nous vous encourageons, par exemple, à observer des étoiles Be, et à chercher ensuite dans la base de données BeSS³ des observations comparables. Vous pouvez même envoyer vos spectres à l'équipe BeSS - ils seront validés par les administrateurs qui vous donneront un avis précis sur la qualité de vos observations, et vous donneront des pistes d'amélioration.

En outre, la spectroscopie en est encore à un stade précurseur. Toutes les données que vous avez collec-

2. www.shelyak.com - menu spectroscopy / educationnal & projects

3. http://basebe.obspm.fr/basebe/Accueil.php?flag_lang=en

tées sont d'un grand intérêt pour la communauté scientifique : ne les gardez pas pour vous.

5.4 Faites des spectres de qualité professionnelle

Très souvent, les astronomes amateurs pensent qu'ils ne sont pas capables de fournir des spectres de haute qualité, comparables à ceux des professionnels. Bien sûr, les amateurs ne disposent pas des mêmes instruments – mais la qualité des données dépend plus de la méthodologie que des instruments, et vous découvrirez vite que vous avez tout ce qu'il faut pour faire des mesures de qualité professionnelle. Vous pouvez même contribuer à la recherche via des programmes de collaborations Pro Amateur (cf projet BeSS, évoqué dans la section précédente). En quelques mots, pour avoir des données de haute qualité vous devez faire attention à :

- avoir un bon auto-guidage
- avoir une configuration et un mode opératoire reproductible
- faire un bon traitement : SNR, calibration en longueur d'onde, courbe de réponse instrumentale.
- utiliser un format de fichier standard (voir le format de fichier de BeSS)
- Archiver et sauvegarder les données brutes



Pensez que, quand vous faites le spectre d'un objet, vous êtes probablement le seul à le faire sur Terre au même moment – c'est une donnée précieuse – et vous devez absolument l'archiver avec soin (les données brutes comme les données traitées) .

6

Session typique d'observation

Voici un résumé d'une session typique d'observation, qui vous permettra d'obtenir des données de qualité et une bonne productivité. Vous pouvez l'utiliser comme checklist à chaque fois que vous observez..

Préparation

- Installez votre matériel et refroidissez votre caméra (max 80% de puissance de refroidissement),
- Vérifiez vos paramètres de session dans AudeLA et ISIS : nom de l'observateur, du site, de l'équipement, répertoire de travail.
- Préparez votre répertoire de session,
- Vérifiez l'horloge de votre ordinateur, à une seconde près au maximum (la date et l'heure d'exposition seront basées sur celle-ci),
- Ouvrez un journal d'observation,
- Faites un test pour toutes les images : ciel (spectre du soleil), calibration, flat, et vérifiez que tout est correct (images correctes, noms de fichier avec les données correspondantes),
- Préparez votre liste d'objets cibles,
- Faites les acquisitions de noir et d'offset et préparez les images maîtres (ou copiez les à partir d'un répertoire existant),
- Faire les images de flat.

Pendant l'observation

- Pour chaque objet observé, vous avez besoin de :
- Localiser l'objet (commencez par une étoile de référence),
 - Faire l'acquisition,
 - Faire les images de calibration,
 - Remplir le journal d'observation avec toutes les informations significatives qui vous aideront plus tard à vous rappeler des conditions d'observation,
 - Vérifier que les images sont correctement enregistrées dans le répertoire de session,
 - *(Faire la réduction de données le plus rapidement possible),*

En fin de nuit

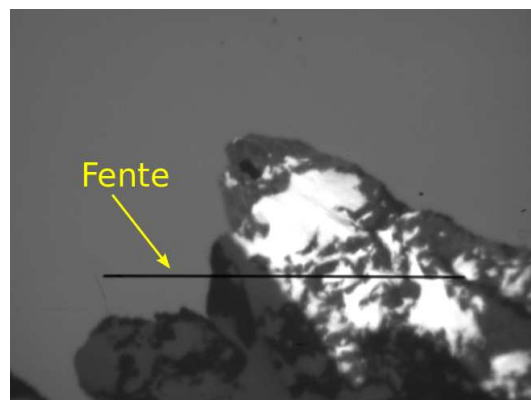
- Revérifiez que vous avez toutes les images de référence (noirs, offset, PLU, néon, étoile de référence, objets)
- Archivez et sauvegardez vos données brutes.

7.1 Modules Alpy et accessoires

7.1.1 Module de guidage Alpy

Travailler en mode fente vous permet d'améliorer vos observations. Mais vous ne pouvez pas voir le champ du télescope, et il est donc difficile de positionner l'étoile dans la fente.

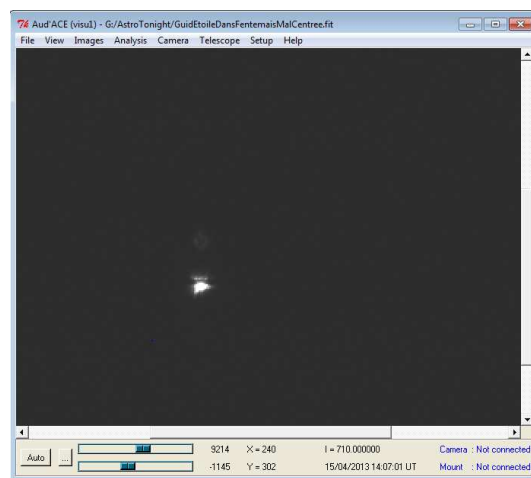
Le module de guidage Alpy permet de voir l'entrée de la fente avec une seconde caméra (appelée caméra de guidage). Vous pouvez ainsi positionner précisément l'étoile dans la fente et la suivre en continu. L'observation est plus confortable, les données sont de meilleure qualité, et vous pouvez faire des expositions plus longues. Si vous utilisez votre Alpy 600 pour des observations astronomiques, le module de guidage est très fortement recommandé.



Pendant la nuit, vous pouvez voir et contrôler la position de l'étoile par rapport à la fente :



L'image ci-dessous montre le champ du télescope. On y voit clairement la fente de l'Alpy 600 :



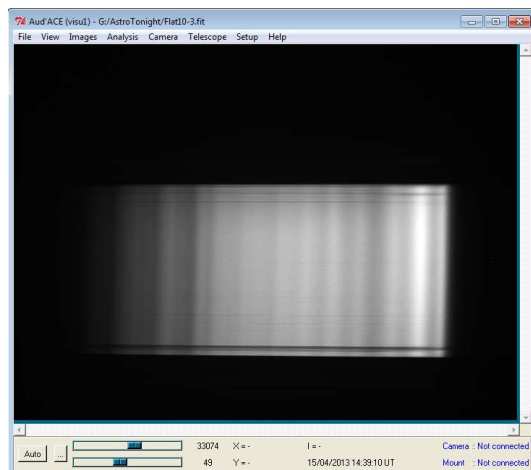
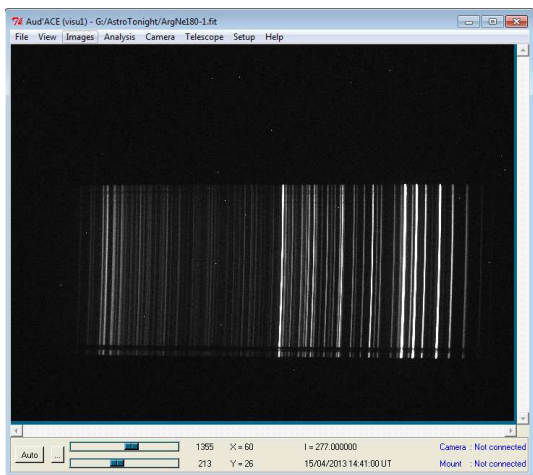
7.1.2 Module de calibration Alpy

Nous avons vu précédemment qu'il faut faire des images de référence pour obtenir un spectre de haute qualité. Ces images peuvent être réalisées de façon manuelle, en plaçant une lampe de calibration devant le télescope. Le module de calibration Alpy simplifie fortement cette opération. Il possède une lampe halogène pour le flat et une lampe argon-néon pour la calibration. Il peut être utilisé à distance pour éviter toute manipulation sur le télescope pendant les observations. Le module de calibration n'est pas indispensable pour obtenir des données de haute qualité,

mais il améliore la répétabilité et l'efficacité de vos observations. .

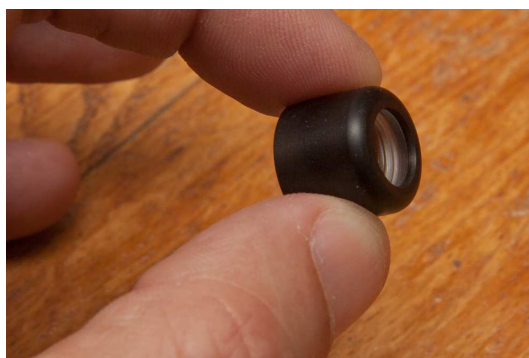


Images de calibration et de flat faites avec le module de calibration Alpy :



7.1.3 Adaptateur barlow pour Appareil Photo Numérique (APN)

L'Alpy 600 a un tirage (distance bague-captur) bien adapté à la plupart des caméras CCD du marché. Cependant, certaines configurations requièrent un tirage plus important. C'est le cas par exemple pour les Appareils Photo Numériques (APN). Un APN équipé d'un adaptateur T a un tirage de 54,85mm. L'adaptateur barlow pour APN augmente le tirage de l'Alpy 600 pour s'adapter aux APN.



Sur cette image, vous pouvez voir l'adaptateur barlow monté sur l'Alpy 600 :



Même si une caméra CCD est généralement mieux adaptée aux applications astronomiques (refroidissement, sensibilité, pas de matrice de Bayer...), utiliser un APN permet de faire de la spectroscopie avec un budget serré. L'utilisation d'un APN avec l'Alpy 600 est décrite dans la section 7.2 ci-dessous.

7.1.4 Adaptateur pour caméra en monture C

La plupart des caméras utilisent une monture T (filetage M42 x 0.75mm). Mais il existe également une large gamme de caméras avec une monture C (1 pouce de diamètre). Certaines d'entre elles peuvent être utilisées avec l'Alpy 600 grâce à l'adaptateur C optionnel. Sachez que la taille du spectre sur le CCD est de 8.5mm (totalité du spectre visible).

L'adaptateur de monture C vient en lieu et place de l'adaptateur T :



7.1.5 Adaptateur de fibre optique :

L'Alpy 600 peut être utilisé avec des fibres optiques. L'adaptateur dispose d'un connecteur de type FC :



7.2 Utiliser l'Alpy 600 avec un APN

Votre Alpy 600 peut être utilisé avec un Appareil Photo Numérique réflex (APN). Beaucoup d'observateurs ont ce type de caméra, et cela permet de démarrer en spectroscopie avec un faible investissement. A cause du tirage des APN, il est nécessaire d'utiliser l'adaptateur barlow (cf 7.1.3). Dans cette configuration, la longueur du spectre est de 18mm (elle est de seulement 8,5mm sans l'adaptateur barlow). Comme les pixels sont petits dans les APN (4-6 μ m environ), le spectre est fortement sur-échantillonné.

Installer l'adaptateur barlow pour APN

L'adaptateur barlow est monté au dos de l'Alpy 600. Si nécessaire, enlevez la bague principale pour accéder plus facilement au filetage. Serrez le fermement :





L'Alpy 600 monté sur un APN avec un adaptateur de monture T standard :

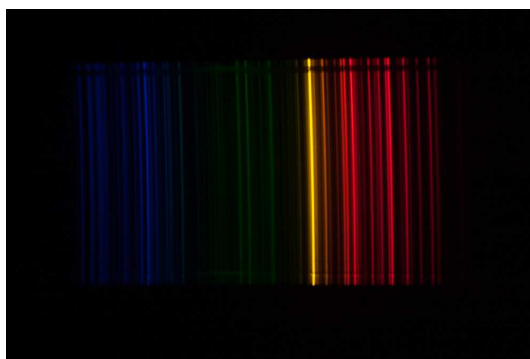


Focaliser l'Alpy 600

Nous vous recommandons d'installer votre APN sur un trépied. Focalisez l'Alpy 600 de la même manière

que pour une caméra CCD (voir la section 2.1). Vous pouvez utiliser la lumière du soleil pour faire cette opération.

Vous pouvez également utiliser une lampe spectrale avec des raies d'émission, comme le Néon ou l'Argon.



APN ou caméra CCD ?

Vous pouvez utiliser l'Alpy 600 et un APN avec tous les modules et accessoires de l'Alpy (guidage, calibration, fibre optique...), pour des observations de laboratoire ou d'astronomie. Cependant, un APN n'a pas les mêmes performances qu'une caméra CCD.

- La sensibilité. Une caméra CCD est environ dix fois plus sensible qu'un APN. Pour obtenir le même résultat, il vous faudra faire des poses dix fois plus longues.
- L'étendue spectrale couverte par un APN est plus petite qu'avec une caméra CCD. Une caméra CCD couvre le proche UV et le proche IR, alors que l'APN est limité au domaine du visible. Notez qu'il est préférable d'ôter le filtre IR de l'APN pour couvrir $H\alpha$ (c'est une manipulation devenue courante en astronomie).
- L'APN a un capteur de couleur, ce qui rend les données brutes plus difficiles à traiter (il faut gérer la matrice de Bayer). Notez que le suréchantillonnage apporté par un APN permet que la matrice de Bayer soit sans effet sur la résolution spectrale.