

Pipeline de traitement des spectres LHIRES3

Christian Buil

6 place Clémence Isaure
F-31320 Castanet-Tolosan, France
christian.buil@wanadoo.fr
<http://www.astrosurf.com/buil>

Abstract. Ce tutorial expose une procédure de prétraitement des spectres LHIRES3 avec le logiciel IRIS V5.0.

1 Introduction

Ce document présente une procédure standard de prétraitement des spectres LHIRES (voir figure 1) avec le logiciel IRIS. L'usage élémentaire de ce dernier est un prérequis pour le présent tutorial.

Les spectres proposés comme exemple ont été acquis lors de 2 nuits en août 2005 avec le spectrographe LHIRES3 monté sur un télescope Celestron 11. Le réseau utilisé lors de la première nuit est le 1200 traits/mm, alors que le réseau utilisé lors de la seconde nuit est le 2400 traits/mm.



Fig. 1. Le spectrographe LHIRES3 au foyer F/10 d'un Celestron 11.

2 Liste des spectres

2.1 Nuit 04/05/2005

Répertoire *nuit040505*. LHIRES3 avec réseau 1200 traits/mm (0,34 Å/pixel) + C11 (Castanet-Tolosan)

- **Offset.** Série o-, 19 spectres posés 0 seconde
- **Dark.** Série n-, 11 spectres posés 300 secondes
- **Flat-field.** Série ff-, 13 spectres réalisés de jour par rotation réseau (associé à une série nff- de 15 noirs)
- **Altair.** Série altair-, 9 spectres posés 120 secondes + 1 spectre néon (altair_neon-1)
- **Beta Lyr.** Série blyr-, 6 spectres posés 180 secondes + 1 spectre néon (blyr_neon-1)
- **Fomalhaut (α Psa).** Série fomahaut-, 10 spectres posés 180 secondes + 1 spectre néon (fomahaut_neon-1)
- **Gamma Cas.** Série gcas-, 3 spectres posés 300 + 2 x 200 secondes + 1 spectre néon (gcas_neon-1)
- **Rigel (β Ori).** Série rigel-, 3 spectres posés 180 secondes + 1 spectre néon (rigel_neon-1)
- **1 Del.** Série 1del-, 9 spectres posés 300 secondes + 1 spectre néon (1del_neon-1)
- **HD195554.** Série 195554-, 8 spectres posés 300 secondes + 1 spectre néon (195554_neon-1)
- **HD217050.** Série 195554-, 5 spectres posés 300 secondes + 1 spectre néon (195554_neon-1)
- **HD223640.** Série 195554-, 5 spectres de posés 300 secondes + 1 spectre néon (223640_neon-1)

2.2 Nuit 05/05/2005

Répertoire *nuit050505*. LHIRES3 avec réseau 2400 traits/mm (0,116 Å/pixel) + C11 (Castanet-Tolosan)

- **Offset.** Série o-, 19 spectres posés 0 seconde
- **Dark.** Série n-, 7 spectres posés 300 secondes
- **Altair.** Série altair-, région $H\alpha$, 5 spectres posés 300 secondes + 1 spectre néon (altair_neon-1)
- **Altair.** Série altair_he3-, région HeI 5875 Å, 9 spectres posés 300 secondes + 1 spectre néon (altair_he3_neon-1)
- **Altair.** Série altair_hb-, région $H\beta$, 1 spectre posés 300 secondes
- **Beta Lyr.** Série blyr-, région $H\alpha$, 5 spectres posés 300 secondes + 1 spectre néon (blyr_neon-1)
- **Beta Lyr.** Série blyr_he3-, région HeI 5875 Å, 5 spectres posés 300 secondes + 1 spectre néon (blyr_he3_neon-1)
- **Beta Lyr.** Série blyr_hb-, région $H\beta$, 4 spectres posés 300 secondes + 1 spectre osram (blyr_hb_osram-1)
- **Delta Sco.** Série dsco-, région $H\alpha$, 5 spectres posés 300 secondes + 1 spectre néon (dsco_neon-1)
- **Gamma Cas.** Série gcas-, région $H\alpha$, 5 spectres posés 300 secondes
- **Gamma Cas.** Série gcas_he3-, région HeI 5875 Å, 4 spectres posés 300 secondes + 1 spectre néon (gcas_he3_neon-1)

- **Omicron Cas.** Série omicas-, région $H\alpha$, 4 spectres posés 300 secondes + 1 spectre néon (omicas_neon-1)
- **Rigel (β Ori).** Série rigel-, 3 spectres posés 300 secondes + 3 spectres néon (rigel_neon-1,2,3)
- **Zeta Tau.** Série ztau-, 5 spectres posés 300 secondes + 1 spectre néon (ztau_neon-1)

3 Obtention des images maîtres

On traite ci-après les images de la seconde nuit, obtenues avec la résolution maximale.

3.1 Image d'offset

L'image d'offset est calculée en composant 19 images individuelles posées 0 seconde dans l'obscurité totale. Ces images ont pour nom o-1, o-2, ... o-19.

On les composistes en faisant la médiane de la pile. Depuis le menu **Traitement**, lancer la commande **Compositage médian...** - voir la figure 2.



Fig. 2. Compositage de la pile d'images d'offset.

La commande équivalente à la boîte de dialogue de la figure 2 depuis la ligne de commande est :

```
>smedian o- 19
```

Sauvegarder le résultat sous le nom *offset* :

```
>save offset
```

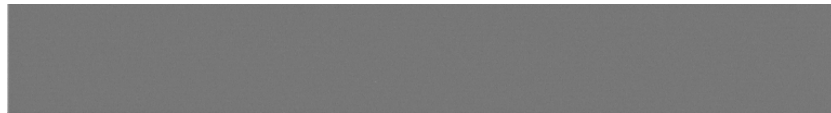


Fig. 3. L'image d'offset.

3.2 Image du dark

La carte du signal d'obscurité est calculée à partir de 7 images faites dans l'obscurité et posées chacune 300 secondes. Ces images ont pour nom n-1, n-2,..., n-7.

L'image proprement dite de la carte de *dark* est calculée en faisant le compositage médian des 7 images individuelles. Depuis le menu **Traitement**, lancer la commande **Compositage médian...** (voir la figure 4).

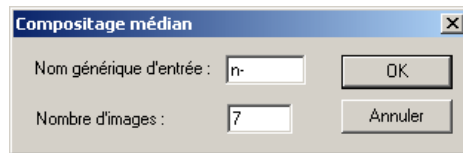


Fig. 4. Compositage de la pile d'images de dark.

Depuis une ligne de commande on peut faire aussi :
 >*smedian o- 19*

Retirer le signal d'offset à l'image qui vient d'être calculée afin d'isoler la vraie contribution du signal thermique. Depuis la ligne de commande faire

>*sub offset 0*

ou depuis la commande **Soustraction...** du menu **Traitement**, remplir la boîte de dialogue comme indiqué sur la figure 5.

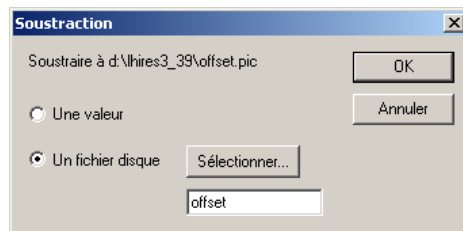


Fig. 5. Retrait du signal d'offset à la médiane des images du dark.

Sauvegarder le résultat sous le nom *dark* :
 >*save dark*

Lors du prétraitement il apparaît souvent difficile de gérer les pixels affectés d'un fort courant d'obscurité. Ce sont les points dits "chauds". Le problème est que ces pixels ont un comportement non linéaire par rapport à la majorité des autres pixels de l'image. La correction du signal thermique pour ces points est difficile et il est donc utile les repérer pour les exploiter de manière spécifique. La commande *find_hot* permet de recenser les pixels chauds.



Fig. 6. L'image du dark. Remarquer la présence des points chauds.

Charger l'image du dark en mémoire puis faire par exemple
`>find_hot cosme 2000`

La commande `find_hot` précédente inscrit dans un fichier ASCII de nom `cosme.lst` la liste des pixels qui ont une intensité supérieure à 2000 dans la carte du signal d'obscurité. Par ailleurs, la commande `find_hot` retourne dans la console le nombre de pixels qui ont cette caractéristique. Ici on trouve 62 pixels, ce qui est une valeur raisonnable pour la taille d'image considérée. Bien sur, si on abaisse le seuil, on trouve un plus grand nombre de points chauds. Il faut faire des essais successifs pour trouver une valeur caractéristique de nombre de pixels chauds compris entre 20 et 100 (l'image traitée à une taille de 768x101 pixels et 100 pixels chauds ne représente que 0,1 % du total).

3.3 Image du flat-field

Aucune image flat-field a été réalisée lors de la nuit considérée. Dans ces conditions la correction du gain de la chaîne instrumentale ne peut être extraite qu'en observant une étoile de *référence*, pour laquelle la distribution est parfaitement connue, et ce, avec une résolution spectrale égale ou supérieure à LHIRE3. L'étoile de référence choisie est Altair (α Aql) et le spectre de référence proviendra du spectrographe UVES qui équipe le VLT.

La procédure n'est rigoureuse que si le spectre de l'étoile de référence qui sert à calculer la réponse instrumentale et le spectre des étoiles de la nuit se projettent sur les mêmes pixels. On suppose que c'est le cas lors de cette observation.

Les procédures de prétraitement automatique de IRIS demandent cependant une image flat-field. Nous allons donc en créer une artificielle en remplissant une image au format des spectres avec une constante (une image parfaitement "plate"). On suppose que l'image *dark* est toujours en mémoire (si ce n'est pas le cas, la charger avec la commande **Charger...** depuis le menu **Fichier** ou depuis la ligne de commande). Faire alors

```
>fill 20000
>save flat
```

Tous les pixels de l'image en mémoire prennent la valeur 20000. La valeur exacte de cette constante est arbitraire, mais il y a quelques raisons à ce choix. Il faut en effet éviter un nombre trop bas pour ne pas avoir de problèmes d'arrondi lors des calculs. Il faut éviter un nombre trop élevé pour ne pas risquer des problèmes de saturation (overflow) lors de certain calcul.

Ce flat-field, qui est une image uniforme, est sauvegardée sous le nom *flat*.

Soulignons qu'un *vrai* flat-field peut être acquis en éclairant la uniformément la pupille avec un lampe à incandescence (spectre sans raies).

La figure 7 montre un flat-field réalisé en plein jour (la journée suivant les observations nocturnes présent comme exemple dans ce tutorial). Il est obtenu en observant le spectre solaire, mais pour éliminer les raies spectrales, le réseau du spectrographe change d'angle en permanence durant la pose. Il y a donc brouillage du spectre. Pour parfaire l'élimination des raies de Fraunhofer, la médiane de plusieurs images est calculée pour obtenir le vrai flat-field final.



Fig. 7. Flat-field généré à partir de l'observation du spectre solaire. Les taches de poussières les plus sombres représentent un déplétion de 3 % par rapport au niveau du continuum.

4 Spectre de référence

Nous avons observé l'étoile Altair pour d'une part évaluer la loi de dispersion spectrale autour de $H\alpha$ et d'autre part évaluer la réponse spectrale du système (produit de la transmission atmosphérique, de la transmission optique du télescope et du spectrographe, et du rendement du détecteur).

Nous disposons de 5 spectres posés chacun 300 secondes et acquis successivement. Ils ont été sauvegardés sous les noms *altair-1*, *altair-2*, ..., *altair-5*.

Une astuce pour connaître le nombre d'images dans une séquence est d'employer la commande en ligne *number*. Par exemple

```
>number altair-
retourne la valeur 5.
```

Un autre intérêt de la commande *number* est de charger en mémoire et de visualiser la première image de la séquence (équivalent à *>load altair-1*). En outre, *number* remplit automatiquement certains champs des boîtes de dialogue de pré-traitement automatique des spectres. L'usage de *number* est donc recommandé avant d'effectuer le traitement d'une séquence.

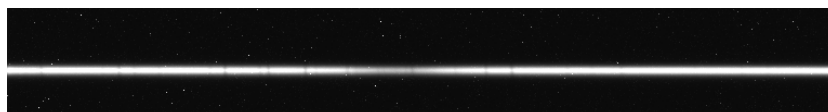


Fig. 8. Image 2D brute du premier spectre de la séquence "Altair".

4.1 Prétraitement

Lancer la commande **Prétraitement des spectres 2D (basic)...** du menu **Spectro**. L'aspect de la boîte de dialogue est donné sur la figure 9.

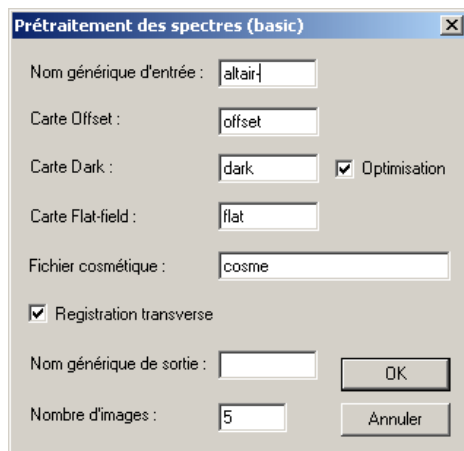


Fig. 9. Boite de dialogue de prétraitement.

L'objet de cette commande est de soustraire l'offset, le dark, et de diviser par le flat-field les images brutes de Altair.

Il est aussi possible de traiter les points de l'images manifestement déviants vis à vis du signal d'obscurité. Ces points correspondent à des pixels chauds, affectés d'un signal d'obscurité significativement supérieur à la moyenne. C'est l'opération dite de correction *cosmétique*. Il est aussi possible de traiter des problèmes de colonnes ou de lignes déficientes, mais nous n'aurons pas à la faire ici. Lors du calcul de la carte d'obscurité, nous avons déjà établi la liste des points chauds dans le fichier *cosme.lst*. Ce nom est utilisé par défaut dans la boîte de dialogue de prétraitement. En pratique, IRIS élimine les points chauds en utilisant l'intensité des pixels adjacant.

Par ailleurs, dans la boîte de dialogue on sélectionne l'option d'*optimisation du dark*, ce qui permet de soustraire un signal d'obscurité optimal qui minimise le bruit dans l'image traitée.

L'option *Registration transverse* est aussi à sélectionner. Elle permet de centrer verticalement avec précision tous les spectres de la séquence. Cela équivaut à positionner strictement l'étoile au même endroit sur la fente d'entrée du spectrographe. Ce centrage suivant l'axe perpendiculaire à la dispersion permettra par la suite une addition optimale des images de la séquence.

Avant de lancer le prétraitement, sélectionner comme suit une zone de l'image en s'aidant de la souris (glisser dans l'image en maintenant le bouton gauche enfoncé). Cette zone est utilisée pour l'optimisation du dark. Elle ne doit pas inclure le spectre. Par exemple faire comme sur la figure 10.

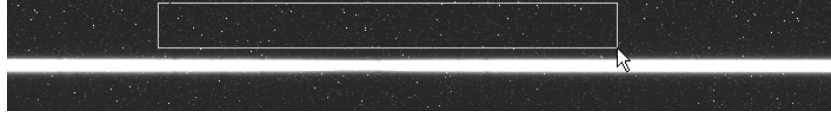


Fig. 10. Sélection d'une partie rectangulaire à l'intérieur de laquelle IRIS effectue les calculs statistiques pour l'optimisation du noir.

Au final, on remplit la boîte de dialogue de la manière indiquée sur la figure 11.

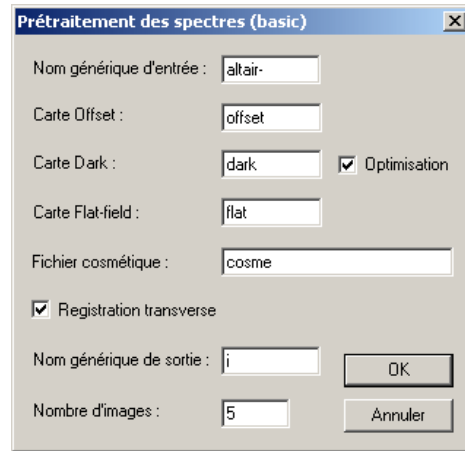


Fig. 11. Le prétraitement prêt à être lancé.

Après avoir cliquer sur **OK** le calcul débute.

Au terme du calcul une image s'affiche à l'écran. Elle correspond à l'addition simple des spectres prétraités. Cette image pourrait à la rigueur être exploitable, mais elle n'est pas optimale en terme de compositage. Nous allons voir une procédure plus efficace par la suite. Donc, l'image à l'écran doit être plutôt considérée comme une *quicklook*, permettant d'apprécier le bon déroulement des opérations. Le résultat en sortie intéressant est en fait une séquence i_1, i_2, \dots, i_5 contenant les 5 spectres de départ prétraités.

Pour juger le résultat, faire par exemple sur la première image

```
>load i1
>visu 8000 -1000
```

4.2 Corrections géométriques

Les aberrations optiques ou les réglages optiques peuvent faire que le spectre est déformé géométriquement. Avec LHIRE3 le spectre est bien rectiligne dans le domaine spectral couvert par le capteur CCD. En revanche, en fonction de

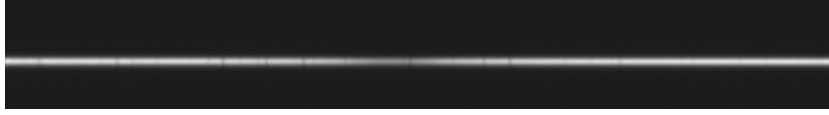


Fig. 12. Un des spectres 2D prétraité de Altair.

l'orientation de la caméra autour de l'axe optique, il se peut que l'axe du spectre ne soit pas exactement parallèle aux lignes du capteur. C'est le défaut dit de *tilt*. C'est aussi le défaut géométrique qu'il faut traiter avec le plus de soin car il fausse le niveau du continuum en fonction de la longueur d'onde (l'erreur photométrique peu être importante si le spectre 2D n'est pas strictement horizontal).

Pour trouver l'orientation d'un spectre il faut utiliser la commande `l_ori`. Il n'y a pas de paramètres

Dans une des images prétraitées (I1 par exemple), définir un rectangle de sélection comme sur la figure 13.

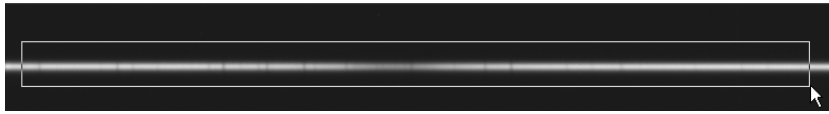


Fig. 13. Rectangle de sélection pour calculer l'orientation du spectre.

L'important dans le rectangle de sélection est la position des deux traits verticaux aux extrémités du spectre. Ces deux barres identifient la zone où IRIS calcule le centre de gravité vertical du profil. Le calcul est fait en deux points, ce qui donne accès à l'orientation. Les deux zones de calcul doivent être bien écartées l'une de l'autre pour atteindre la meilleure précision. Mais il faut aussi éviter les extrémités du spectre qui sont souvent distordues par des effets de bord du CCD.

Après exécution de la commande `l_ori` sur la première image de la séquence (I1), IRIS retourne la valeur de l'angle de l'axe du spectre par rapport à une ligne horizontale, ici $0,029^\circ$. Le spectre est quasi horizontal et normalement aucune correction géométrique est à faire. Mais à titre de démonstration nous allons corriger ce tilt de $0,029^\circ$ pour toutes les images de la séquence (on suppose que les spectres ont tous la même orientation, ce qui est légitime compte tenu de l'acquisition en séquence).

Depuis le menu **Spectro** lancer la commande **Tilt d'une séquence de spectre 2D...** et remplir la boîte de dialogue de la manière indiquée sur la figure 14.

Dans les paramètres, on reconnaît la valeur du tilt trouvée avec la commande `l_ori`. Le pivot de la rotation est approximativement la coordonnées du centre de l'image suivant l'axe horizontal (la valeur est peu critique). La séquence d'entrée est i1, i2, ..., i5. Le résultat est la séquence j1, j2, ..., j5.

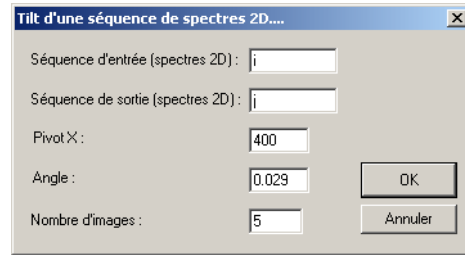


Fig. 14. Correction du tilt d'un spectre.

4.3 Soustraction du ciel

Pour trouver le vrai zéro de l'échelle d'intensité du profil spectral il est très important de bien soustraire le niveau de fond de ciel sous-jacent au spectre de l'étoile. Ce niveau parasite est ici relativement peu intense compte tenu du temps de pose modeste et de l'usage d'une fente étroite à l'entrée du spectrographe, mais il demeure important de le soustraire.

L'intensité du fond est mesurée de part et d'autre du spectre 2D de l'étoile.

Charger en mémoire l'image *j1*, puis ouvrir la boîte de dialogue **Soustraction du ciel d'une image 2D...** du menu **Spectro**. Choisir la méthode *médiane*. IRIS va calculer l'intensité médiane selon l'axe Y (vertical) entre deux clics souris Y1 et Y2 situés au dessus de la trace du spectre. Il fait de même pour deux clics Y3 et Y4 situés en bas de la trace du spectre (voir la figure 15). Le niveau du fond de ciel pour une colonne de l'image est la moyenne des deux valeurs trouvées. IRIS vous propose de définir ces points interactivement, en faisant des clics à la souris.

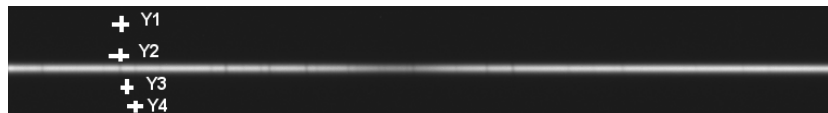


Fig. 15. Quatre pointage à la souris servent à définir la zone de calcul du fond de ciel.

Il est important (voir figure 15) de ne pas cliquer trop près du spectre de l'étoile afin de ne pas inclure les pieds dans le calcul du fond de ciel. Il ne faut pas non plus cliquer trop loin, car l'estimation du fond de ciel peut être affectée par des variations lentes du fond, peu représentatives des variations spatiales au voisinage immédiat de la trace du spectre.

La méthode médiane est ici suffisante car le fond est bien homogène de part et d'autre de la trace du spectre. Si le fond présentait un gradient sensible suivant l'axe vertical il serait plus judicieux d'opter pour un ajustement de son niveau par une pente, voir une parabole (ajustement par la méthode des moindres carrés dans les deux cas).

Nous allons à présent retirer le fond de ciel à toutes les images de la séquence "J" en une fois en utilisant la commande **Soustraction du ciel à une séquence 2D...** du menu **Spectro** (figure 16).

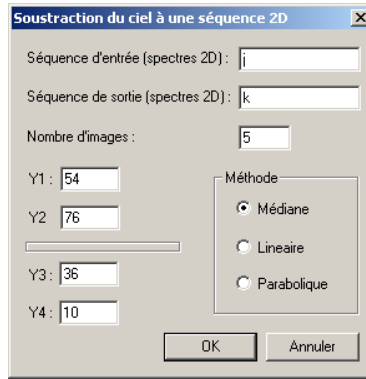


Fig. 16. La boîte de dialogue de soustraction du ciel.

Les coordonnées définissant les zones de calcul sont déjà attribués si on a effectué au préalable l'opération sur un seul spectre. Sinon, il faut relever manuellement la position du pointeur souris.

4.4 Compositage

L'opération suivante consiste à rassembler l'information utile de chaque spectre, diluée suivant l'axe transverse (vertical), dans un profil spectral (courbe donnant l'intensité du spectre en fonction du numéro de pixel), puis à additionner les profils spectraux de la séquence.

Le *binning* du spectre 2D en un profil 1D peut être effectué en additionnant simplement l'intensité des pixels sous la trace du spectre, colonnes après colonnes. IRIS utilise ici une méthode plus raffinée qui consiste à donner un poids aux pixels dépendant de leur intensité. Ainsi le bruit associé à un pixel de faible intensité impacte moins le moins total que le bruit d'un pixel de forte intensité. La commande en ligne qui réalise cette opération est *l_opt*.

Nous allons effectuer l'opération en une seule passe pour toutes les images de la séquence avec la commande **Compositage d'une séquence (2D -> 1D)...** du menu **Spectro**. Au préalable il faut définir à la souris la zone de binning sur un spectre de la séquence "K" (voir la figure 17).

La longueur de la sélection n'a pas d'importance. Il est en revanche important que, suivant l'axe vertical, la sélection couvre bien le spectre. On peut déborder un peu de la trace visible pour bien prendre en compte l'information contenu dans les pieds de la distribution verticale 2D du spectre. On ne gache ainsi rien du signal acquis.

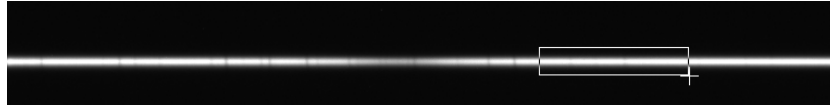


Fig. 17. Quatre pointage à la souris servent à définir la zone de calcul du fond de ciel.

Après avoir sélectionné la zone de binning sur le premier spectre de la séquence "K", ouvrir la boîte de dialogue de compositage et la remplir comme indiqué sur la figure 18.

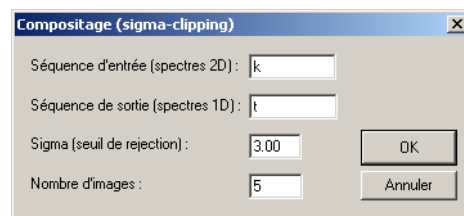


Fig. 18. Boîte de dialogue de compositage des spectres d'une séquence.

Après binning, l'addition des profils est réalisée par une méthode du type *sigma-clipping*. Elle consiste à rejeter les points qui s'écartent plus d'une certaine valeur de la moyenne. Le coefficient de réjection est le paramètre *Sigma* dans le boîte de dialogue. Une valeur de 3 équivaut quasiment à une addition pure et simple des spectres. En choisissant une valeur plus basse (1,5 par exemple), on rejète plus facilement des pixels aberrants, par exemple l'impact d'un rayon cosmique sur l'un des spectres de la séquence. Il n'est cependant pas recommandé de choisir une valeur trop basse pour sigma (inférieure à 1) car alors de l'information utile peut aussi être gommée. Généralement, le degré de réjection est choisi interactivement, par essais successifs, en sélectionnant le sigma qui fait juste disparaître un défaut local dans le spectre final, cela en partant des valeurs élevées et en allant vers les valeurs faibles (tout en essayant de ne pas aller en dessous de 1,0).

Lorsque la boîte de dialogue de compositage redonne la main, nous avons à l'écran le produit fini du prétraitement : une image 1D du spectre de Altair - voir la figure 19 (IRIS duplique 20 fois la même ligne pour faciliter la visualisation de l'image). C'est ce document que l'on exporte vers VisualSpec pour effectuer les étalonnages en longueur d'onde et en flux par exemples. L'habitude est de sauver le spectre sous un nom désignant l'étoile, précédé de la lettre "t" (pour signifier que le spectre est traité), et suivi de l'indice 2 pour indiquer qu'il s'agit d'un produit de niveau 2, c'est à dire, ayant subi le prétraitement complet. On fait alors

```
>save taltair_2
```



Fig. 19. Le spectre 1D de l'étoile Altair.

A ce stade il est possible, à fin de contrôle, d'afficher le profil spectral sous la forme d'un graphe en utilisant la commande `l_plot` (elle n'a pas de paramètres). La figure 20 montre le résultat.

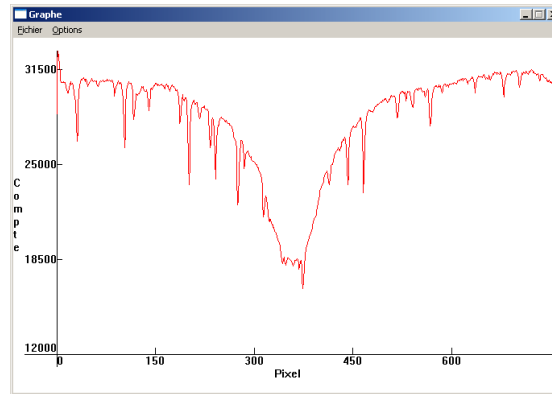


Fig. 20. Profil spectral de l'étoile Altair.

La commande `l_plot` affiche le profil d'intensité de la première ligne (en bas) de toute image.

L'habitude est aussi de sauver aussi un spectre de niveau 1, qui est l'addition simple des spectres 2D de la séquence (pour d'éventuelles vérifications ultérieures) Ici on fera

```
>add_norm k 5
>save taltair_1
```

4.5 Contrôle de la reguistration en longueur d'onde

Normalement les spectres bruts LHIRES3 n'ont pas besoin d'être recentré suivant l'axe horizontal. Ceci vient de l'usage d'une fente étroite. Mais un accident de calage spectral peut toujours ce produire. Il peut par exemple venir d'un problème de flexion du spectrographe lors de l'acquisition d'une longue séquence de spectres.

IRIS offre une fonction de contrôle de la registration spectrale sur les spectres 1D (la série de spectre "t" produit au terme de l'opération de compositage). Lancer la commande **Contrôle de la registration d'une séquence 1D...** du menu **Spectro** (voir la figure 21).

Le résultat est une liste du décalage de chaque spectre par rapport au premier de la série, en pixels suivant l'axe X. La liste apparait dans le fenêtre de sortie.

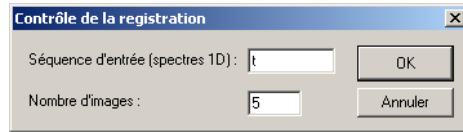


Fig. 21. Vérification de la registration spectrale des spectres 1D par une méthode d'intercorrelation.

On constate que dans le cas présent les écarts sont infimes (de l'ordre du centième de pixel - voir figure 22).

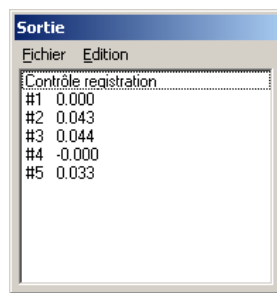


Fig. 22. Ecart en pixel entre les spectres 1D suivant l'axe spectral.

Si un décalage significatif apparaît lors du contrôle, il est possible de recentrer les spectres à partir de la commande **Registration d'une séquence 1D...** du menu **Spectro**. Si cela était nécessaire, remplir la boîte de dialogue comme indiqué sur la figure 23, puis composer les spectres 1D recentrés avec la commande **Addition d'une séquence...** du menu **Traitement** (voir la figure 24).

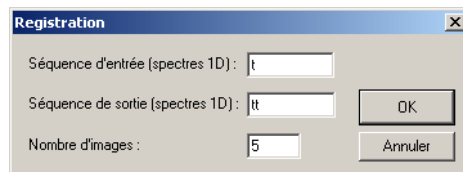


Fig. 23. Registration des spectres 1D.

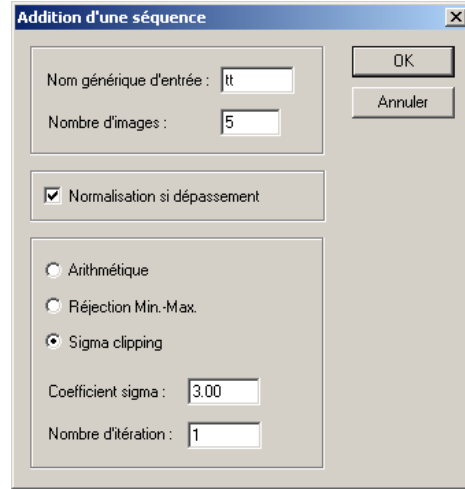


Fig. 24. Addition des spectres recentrés.

5 Traitement du spectre δ Sco

A titre de révision, nous allons traiter une séquence de spectres de l'étoile δ Sco. Ces spectres ont été sauvegardés avec le nom générique "dsko-".

On retrouve tout d'abord le nombre d'images dans la séquence
`>number dsko-`

Le résultat est 5 images. Voici le spectre qui s'affiche (figure 25). On y sélectionne la zone pour l'optimisation du noir.

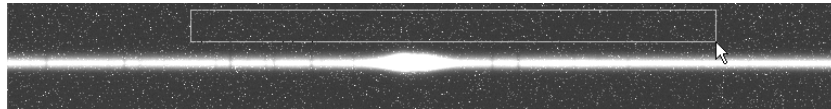


Fig. 25. Un spectre brut de δ Sco. Remarquer la sélection pour le calcul du *dark*.

On lance ensuite la commande **Prétraitement d'une séquence 2D (basic)**...

On vérifie avec la commande `l_ori` que les spectres sont bien horizontaux. Au besoin, il faut corriger le problème. Le ciel est retiré des spectres (voir la figure 27).

Les 5 spectres sont enfin composés, puis sauvegardés
`>save tdsco_2`

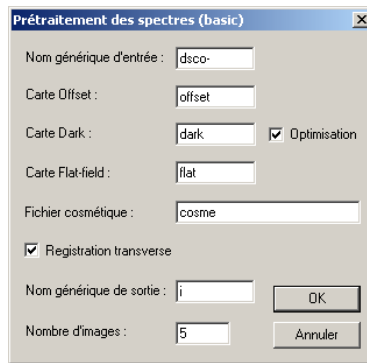


Fig. 26. Prétraitement de δ Sco.

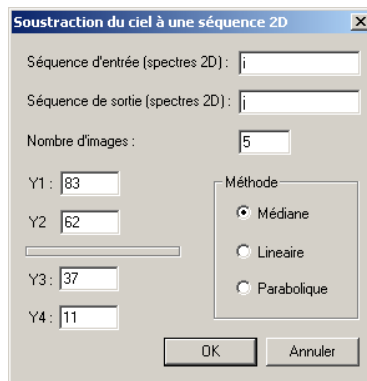


Fig. 27. Retrait du fond de ciel.

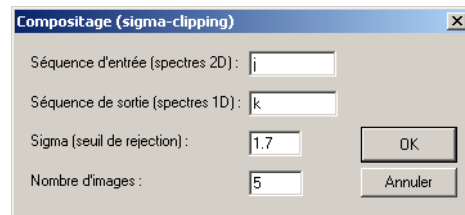


Fig. 28. Compositage.

6 Traitement d'un spectre de lampe de calibration

La calibration spectrale au voisinage de $H\alpha$ est obtenu à partir de 2 raies du néon. Le spectre du néon est acquis pour chaque étoile du programme. La figure 29 est le spectre brut du néon réalisé juste après l'observation de Altair. Cette pose de 20 secondes est auvegardée sous le nom *altair_neon-1*.



Fig. 29. Spectre du neon au voisinage de la raie $H\alpha$.

Les deux raies visibles ont pour longueur d'onde 6532.88 \AA et 65988.95 \AA . Le prétraitement est similaire à celui des étoiles, à ceci prêt que l'on ne réalise pas le recentrage vertical (voir la figure 30).

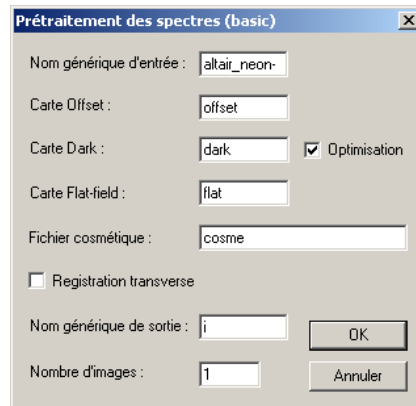


Fig. 30. Prétraitement du spectre du néon (noter que nous n'avons qu'un spectre, l'unique image de sortie a pour nom i1).

Les raies sont significativement inclinées, ce qui est une caractéristique de LHIRES3. On les redresse avec la commande *slant* - voir la figure 31. La position du pivot Y est à fournir. C'est la position verticale approximative du premier spectre de la séquence altair.

La figure 32 montre le résultat.

On calcule le profil spectral en faisant la somme arithmétique du signal enregistré entre deux bornes verticales qui encadrent le spectre d'étoile étudié. Il faut utiliser pour cela la commande *l_add* de la manière suivante
`>l_add 18 78.`

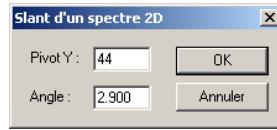


Fig. 31. Correction du type *slant* sur le spectre en mémoire il.



Fig. 32. Allure du spectre du néon après redressement des raies.

Le résultat est un spectre 1D que l'on sauvegarde sous le nom *taltair_neon_2*. La figure 33 donne le profil spectral du néon ainsi calculé.

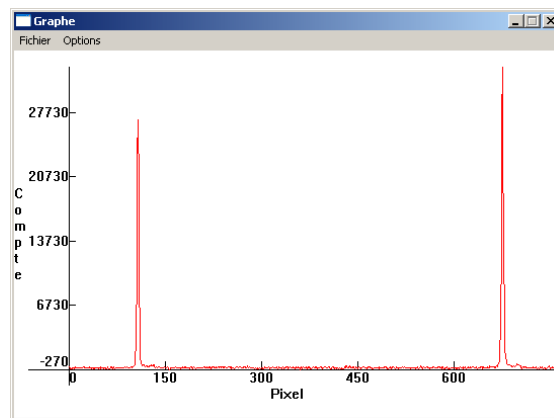


Fig. 33. Profil spectral du spectre du néon.

7 Divers

Charger le spectre 1D du néon et sélectionner une raie avec la souris comme indiqué sur la figure 34.



Fig. 34. Mesure de la largeur d'une raie.

Taper la commande `l_pos` (sans paramètres). Le logiciel retourne la position de la raie à une fraction de pixel près et sa largeur à mi-hauteur (FWHM). Ici le FWHM est de 3,4 pixels. Comme la dispersion est d'environ 0,116 Å/pixel au voisinage de H α , on en déduit que le pouvoir séparateur est de $3,4 \times 0,116 = 0,39$ Å. A la longueur d'onde de 6563 Å le pouvoir de résolution R est donc de $6563 / 0,39 = 16\ 800$.

Charger le spectre 1D traité de δ Sco. Définir une zone rectangulaire dans une partie du spectre sans raies spectrales marquées (voir la figure 35).



Fig. 35. Mesure du bruit et S/B dans un spectre 1D.

Taper la commande `l_noise`. Iris retourne le bruit RMS et le rapport signal sur bruit. On doit trouver ici une valeur du S/B proche de 200 au niveau du continuum.

La commande `l_count` s'utilise sur un spectre 2D. Définir un rectangle englobant une partie de la trace. La commande retourne alors la nombre maximal de comptes (pas codeurs ou ADU) sommé dans une colonne donnée située dans la sélection.

La commande `l_sinc` s'utilise sur un spectre 1D et réalise une interpolation du type $\sin x / x$ (le facteur d'échelle est donné en paramètre).

Dans le fichier IRIS.INI, qui se trouve dans le répertoire Windows de votre PC, repérer les items longitude et latitude. Entrer ici les coordonnées de votre observatoire (voir la figure 36).

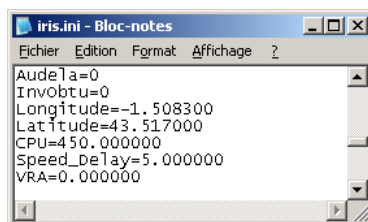


Fig. 36. Coordonnées de l'observatoire de Castanet (proche de Toulouse) dans le fichier IRIS.INI. Ces coordonnées sont en degrés.

Relancer IRIS. Puis exécuter la commande `number` avec comme paramètre `dsc-`

`>number dsc-`

IRIS retourne la date du milieu de l'observation. Lancer ensuite la commande `helio` comme indiqué sur la figure 37. IRIS retourne la vitesse héliocentrique de la Terre, la correction héliocentrique en longueur d'onde et le temps héliocentrique (voir la figure 38).

```
Commande - helio 5.858 8 2005 16h00m18s -22d37'00"  
>number dsco-  
nombre d'images = 5  
Date (J/M/A): 5.858 / 8 / 2005  
>helio 5.858 8 2005 16h00m18s -22d37'00"  
>
```

Fig. 37. La commande *helio*.

```
Sortie  
Fichier Edition  
Longitude: -1.50830 - Latitude: 43.51700  
JD héliocentrique: 2453588.359915 - Correction héliocentrique: 0.001915 jour  
Correction en vitesse radiale: -27.94 km/s  
Correction en longueur d'onde: -0.612 angstrom(s) à 6562.8 angstroms  
Azimut: 24.35 - Hauteur: 20.05 - Masse d'air: 2.897
```

Fig. 38. Résultat de la commande *helio* dans la boîte de sortie.