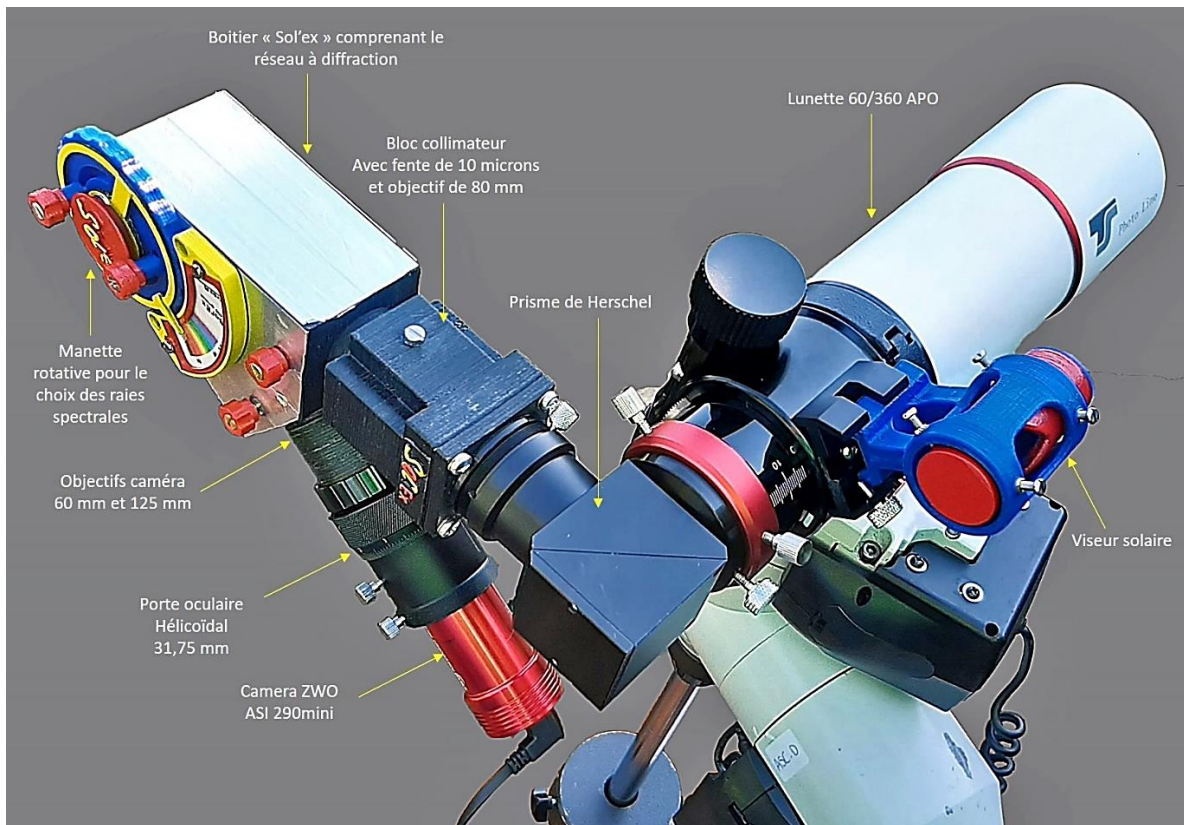
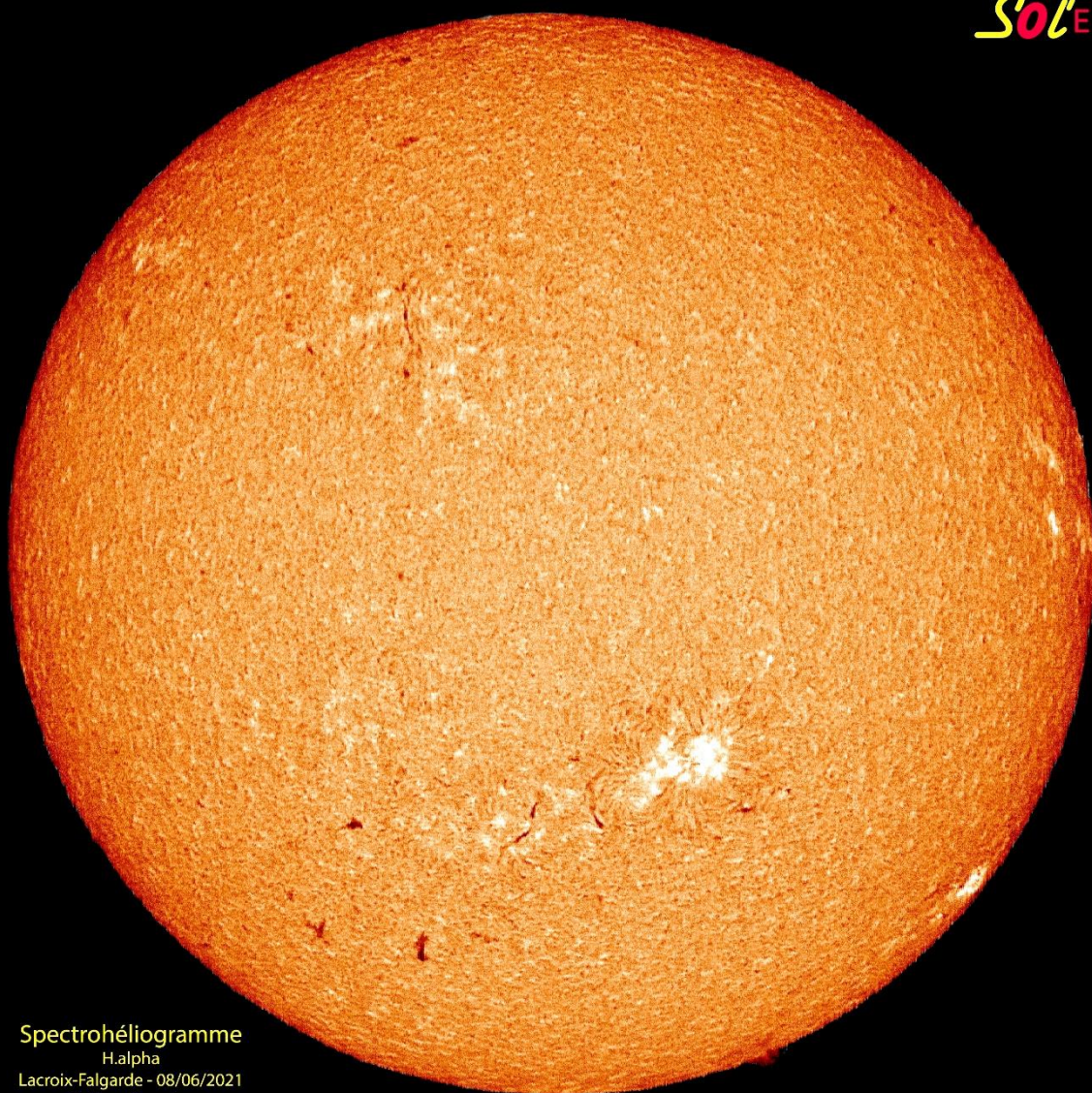


SOL'EX

Spectrohéliographe



SOL^{EX}

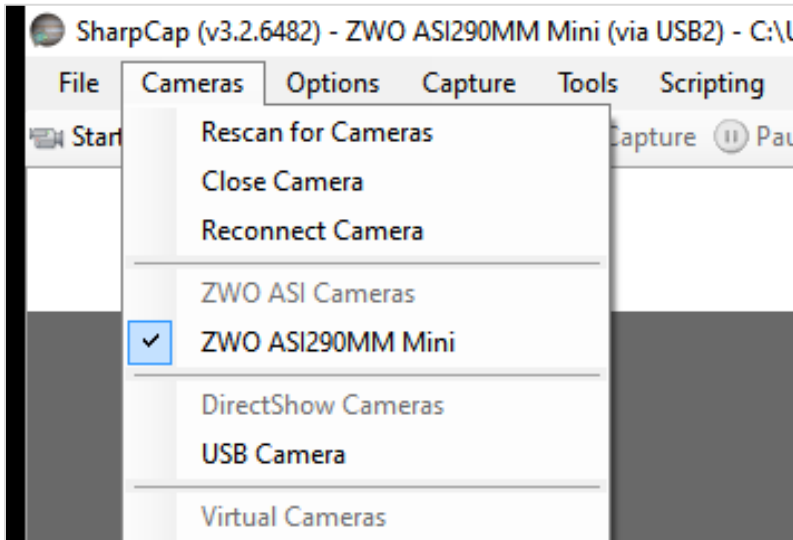


Spectrohéliogramme
H.alpha
Lacroix-Falgarde - 08/06/2021
Philippe Garcelon

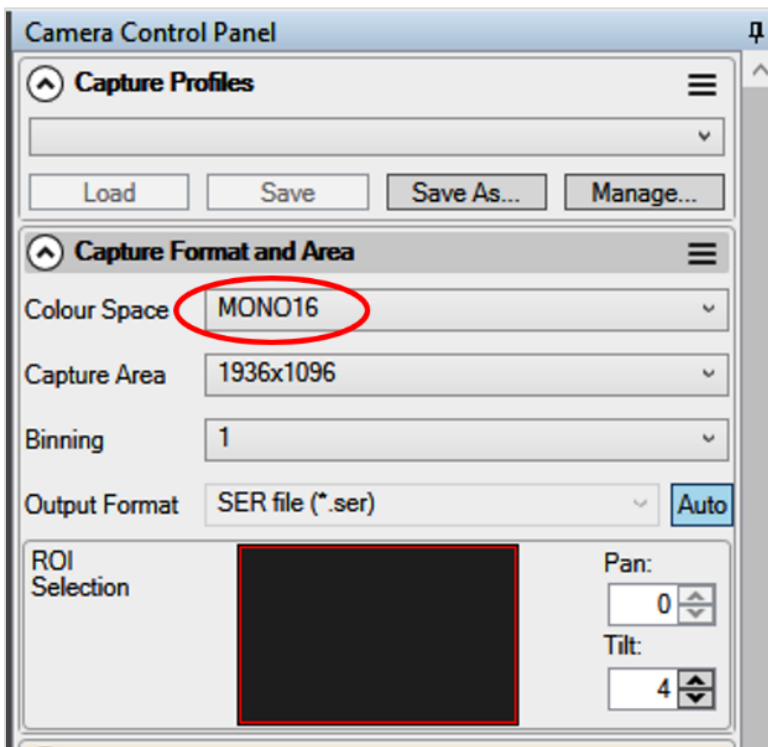
SharpCap

(Précision sur l'acquisition des images)

L'acquisition des images s'effectue avec le logiciel SharpCap qui, une fois lancé, scanne les caméras disponibles. Sélectionner alors la caméra utilisée avec Sol'ex. (ici *ZWO ASI290mini*)



IMPORTANT : Sélectionner le format d'image **Mono 16 bits** dans le panneau de contrôle de la caméra.

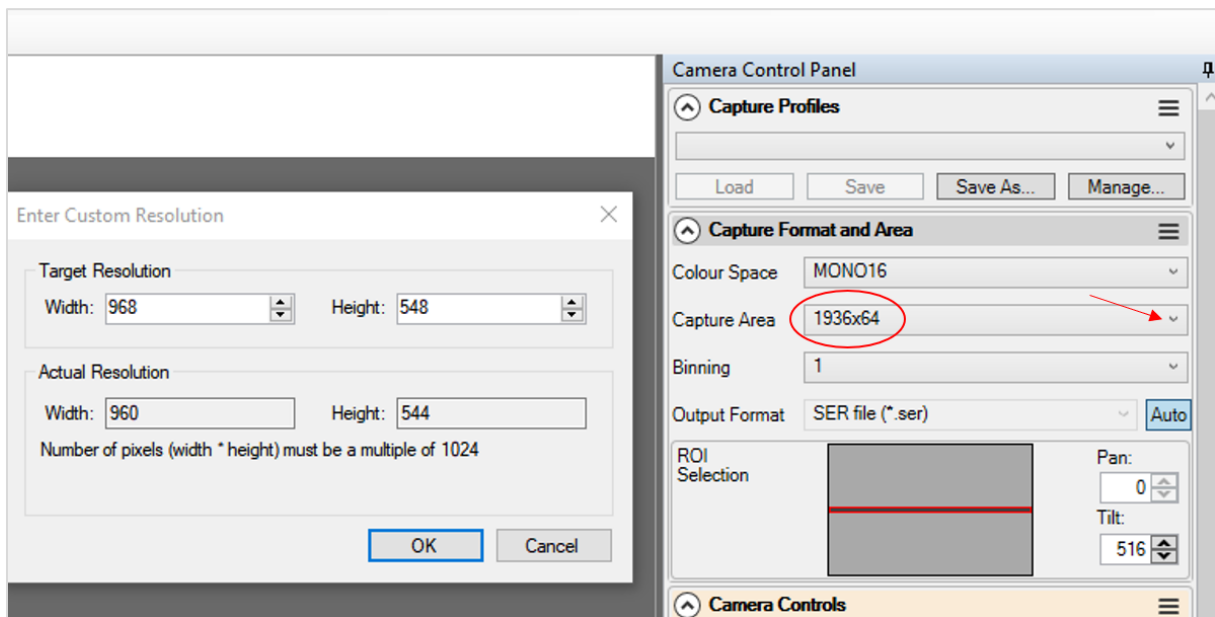


Une fois le Soleil pointé, faire apparaître sur l'écran de contrôle la raie à partir de laquelle on va acquérir les images. (*Halpa, CaH, CaK, Hbetaetc*) puis, dimensionner la fenêtre de prise de vue via le pavé « capture Format and area ». Pour cela, il faut entrer une valeur dans le pavé ci-dessous (cerclé de rouge).

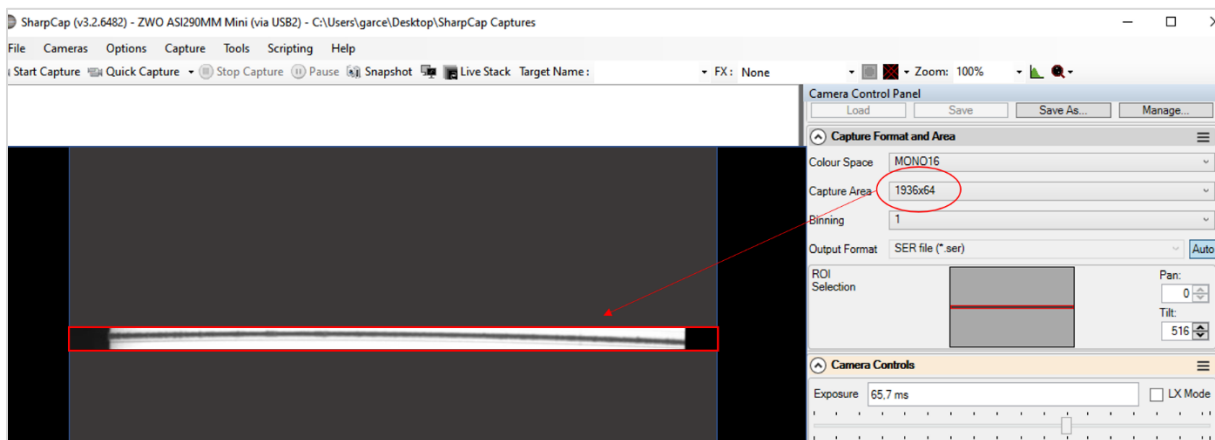
- Soit, en sélectionnant une valeur préenregistrée (flèche rouge) sur la liste des dimensions qui s'affichent.

- Soit, en choisissant une dimension personnalisée, en sélectionnant « custom ... » au bas de cette même liste, ce qui affichera la fenêtre « enter custom résolution » (*ci-dessous à gauche*).

On voit alors dans la fenêtre « ROI sélection », la matérialisation de la nouvelle fenêtre de capture, sous forme d'une fenêtre rectiligne encadrée de rouge.



Le but étant d'encadrer la raie correctement pour limiter le volume des images sans pour autant perdre les informations issues du balayage de la raie (ci-dessous)



L'acquisition lors du balayage se fait via la commande « start capture » sur la barre haute du menu du logiciel. L'enregistrement est automatiquement réalisé en format «.ser » (« *output format* » sur le pavé « *capture format and area* »). A partir du fichier obtenu, on peut procéder aux traitements via ISIS.

ISIS – procédure de traitement.

- **La méthode rapide :** « Quick Scan », est adaptée à l'examen d'un « scan » juste après l'acquisition. Cette « Vision Rapide » du résultat permet de réagir vite pour améliorer la focalisation de l'instrument.
- **La méthode longue :** Permet de réaliser un traitement plus rigoureux, pour un usage scientifique des données et pour des applications avancées.

1) Mode « quick scan »

Exemple : Balayage du disque solaire dans la raie Halpha, réalisé à la vitesse de rattrapage de la monture de 1'/s. 3884 images ont été enregistrées en 16 bits à la fréquence moyenne de 80 images/s (la durée de défilement du disque solaire est d'environ 30 secondes, mais j'ai pris ici une belle marge de part et d'autre). On obtient un fichier nommé «SUN_104633.SER».

Indiquer à ISIS l'orientation de la caméra au moment de l'observation relativement à l'axe de dispersion spectral. En bas de l'onglet « SER », sélectionner « horizontal »



Orientation des raies

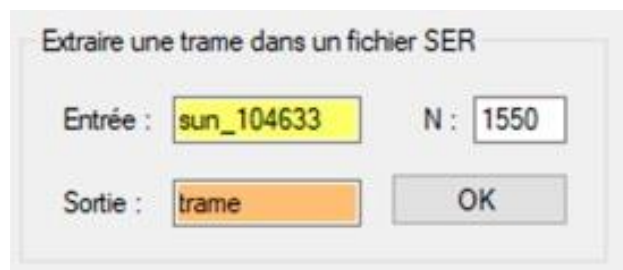
Verticale

Horizontale



La fenêtre sera définie au moment de l'acquisition avec SharpCap. On lui donnera une largeur un peu supérieure à largeur de l'image de la fente, et une hauteur déterminée par la déformation de la raie (effet de « smile »), soit ici 80 pixels. L'idée est de diminuer autant que possible la taille de cette fenêtre afin de réduire le volume des images. L'écart de symétrie entre la gauche et la droite se corrige avec « tilt »

Dans l'onglet « SER » de ISIS utiliser « Extraire une trame dans un fichier SER », pour extraire une image parmi les 3884 images présentes. Cet outil fonctionne en fournissant le nom du fichier SER (ici sun_104633) et le rang



Extraire une trame dans un fichier SER

Entrée : N :

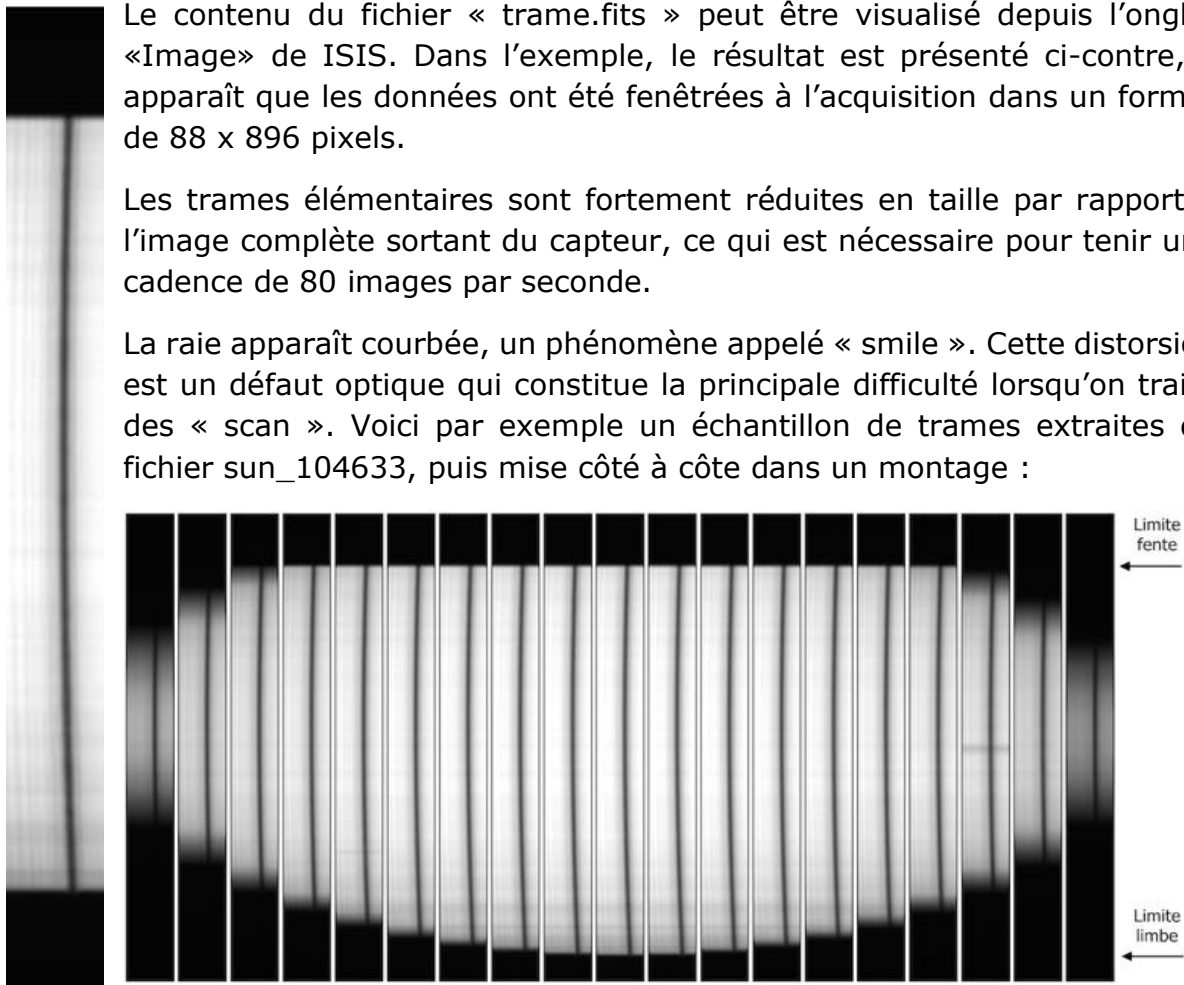
Sortie :

(ou index) de la trame image à extraire, 1550 qui correspond approximativement au milieu de l'observation. Le résultat est un fichier image au format FITS, nommé ici « trame ».

Le contenu du fichier « trame.fits » peut être visualisé depuis l'onglet «Image» de ISIS. Dans l'exemple, le résultat est présenté ci-contre, il apparaît que les données ont été fenêtrées à l'acquisition dans un format de 88 x 896 pixels.

Les trames élémentaires sont fortement réduites en taille par rapport à l'image complète sortant du capteur, ce qui est nécessaire pour tenir une cadence de 80 images par seconde.

La raie apparaît courbée, un phénomène appelé « smile ». Cette distorsion est un défaut optique qui constitue la principale difficulté lorsqu'on traite des « scan ». Voici par exemple un échantillon de trames extraites du fichier sun_104633, puis mise côté à côté dans un montage :



Le mode « Quick Scan » masque totalement la difficulté liée aux distorsions, en allant au plus urgent : l'affichage rapide de l'image que l'on vient d'acquérir.

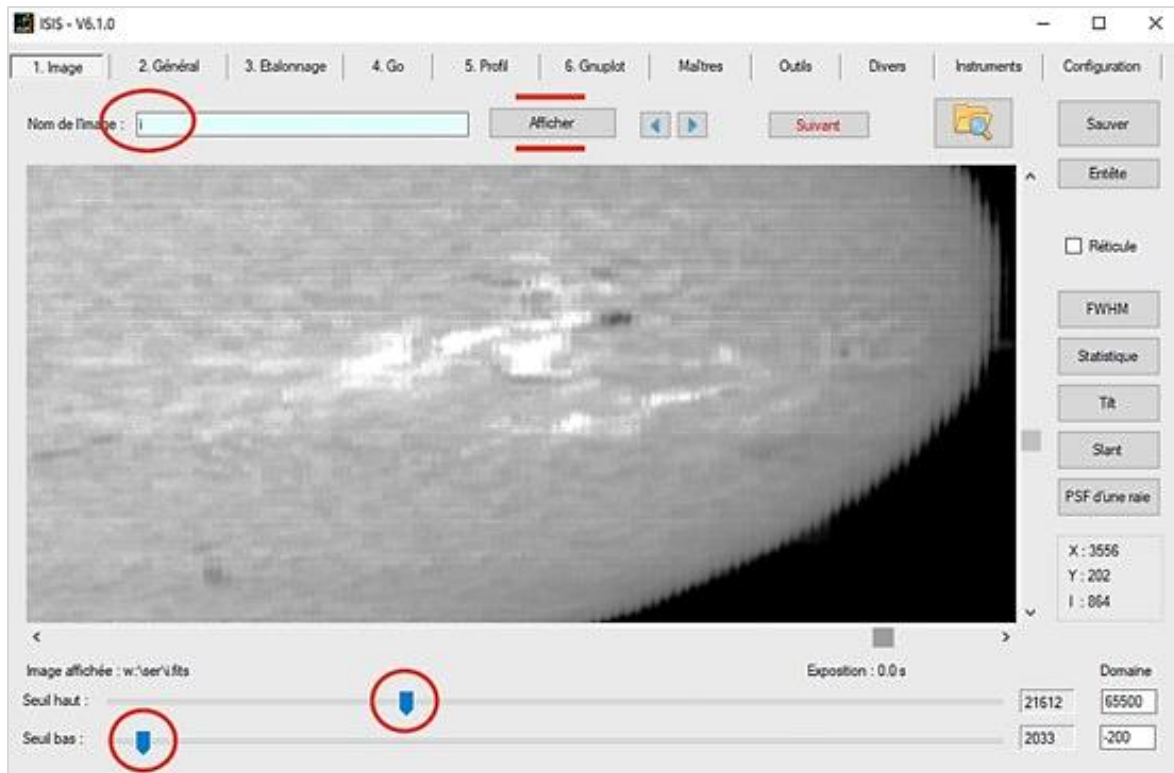
En haut à gauche de l'onglet « SER », vous allez trouver l'outil « Quick Scan ». Indiquer le nom du fichier SER à traiter, puis préciser le nom du fichier image traitée (toujours au format FITS), ici « i » puis cliquez sur « OK » (laisser le paramètre DX à 0 pour le moment)

Quick Scan

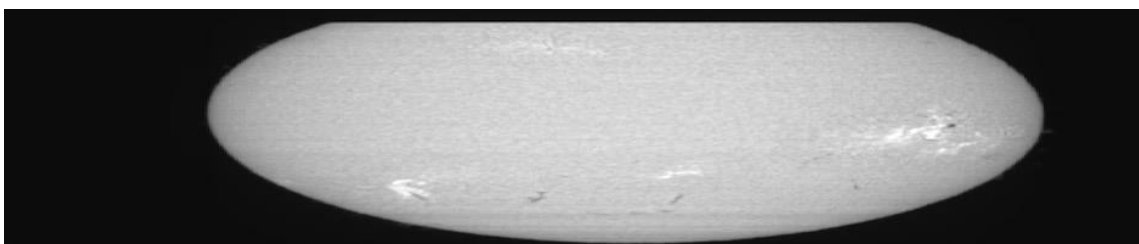
Fichier SER : sun_104633 Image de sortie : i

DX : 0 OK

La durée du traitement est la grande force de l'outil employé, alors que le fichier SER est particulièrement volumineux. Il y a autant de colonnes dans l'image synthétisée qu'il y a d'images individuelles dans le fichier SER. Pour afficher le résultat, il faut se rendre dans l'onglet « Image » :



Les détails habituels de la chromosphère dans la lumière de la raie H α sont visibles, mais l'image est fortement éloignée du disque circulaire. Cette distorsion vient de la forte cadence d'acquisition temporelle (80 images/s qui génère plus d'informations suivant l'axe temporel horizontal que suivant l'axe spatial vertical). On se rend mieux compte de cela en visualisant l'image « i » dans sa globalité :



En gros, l'image est trois fois plus large que haute. En « comprimant » celle-ci suivant l'axe horizontal d'un facteur 3, nous allons retrouver une vision habituelle du disque. Mais avant d'en arriver là, remarquons la présence d'un autre défaut, le « transversalium »

Correction du transversalium :

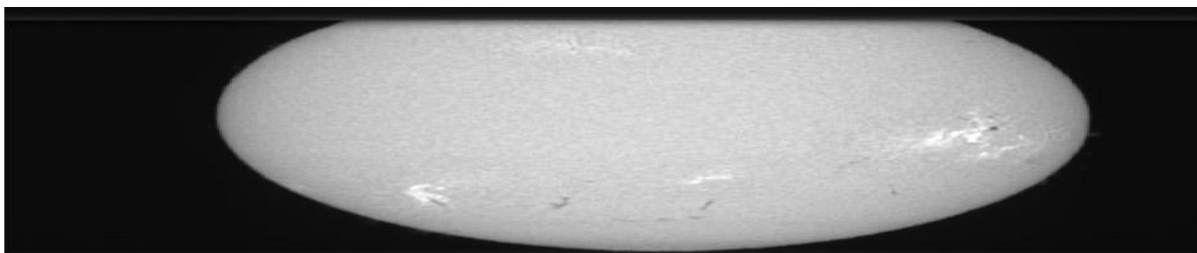
L'examen de l'image révèle des stries horizontales correspondant à des anomalies de largeur de la fente quand on explore sa hauteur. Une poussière sur une joue de la fente produit le même effet. On appelle ces stries « transversalium ». ISIS dispose d'une fonction pour les gommer en réalisant l'équivalent d'un « flat-field » uniaxe. C'est l'outil « Correction du transversalium ».



Le nom de l'image à traiter ici « i » est entré deux fois dans les champs « Référence » et « Entrée ». Cela signifie que les données nécessaires au calcul du flat-field (dans une image dite de référence) sont extraites de l'image à traiter elle-même. On doit donner un nom au résultat (Sortie).

L'usage est plus simple et automatique dès lors que vous avez réglé les paramètres Bordure et Degré. Les valeurs par défauts sont respectivement 5 et 4. Mais si un effet de bord apparaît en haut et en bas (artéfact), passer la valeur de Bordure à 7, 8, 9.

Faires des essais. Le paramètre « Degré » règle la restitution de la luminance du disque. Pour une image globale du disque, on peut tenter un degré de 8 (la valeur maximale). Dans la situation où on travaille avec une longue focale, on ira plutôt vers un degré de 2 à 3 pour éviter un possible phénomène de stries.

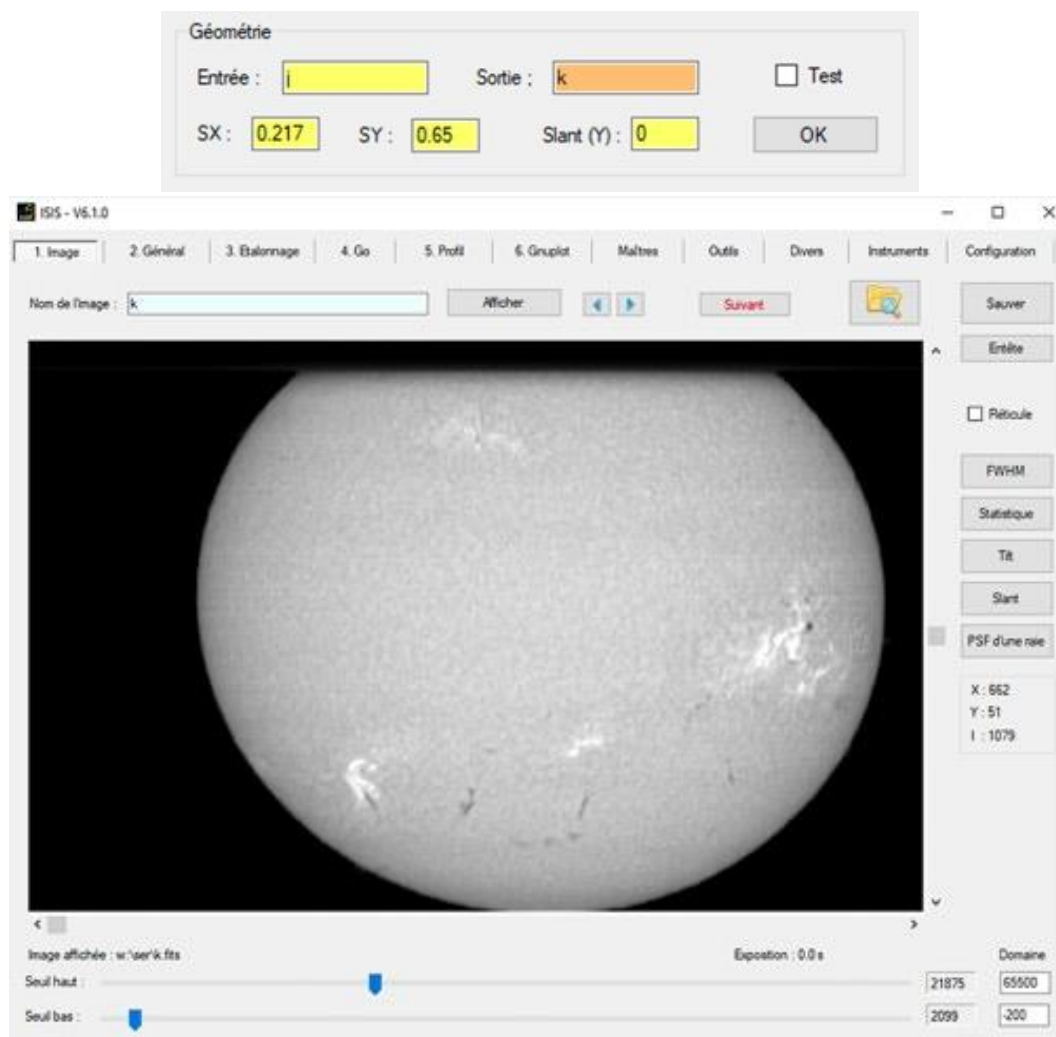


Nota : pour un résultat plus précis encore, il faudra au préalable retirer le niveau du « fond de ciel », c'est-à-dire ramener les parties « noires » de cette image à un vrai niveau nul. ISIS permet cela, par exemple depuis l'onglet « Traitement images 2 » (outil « Retrait d'une constante »), mais dans le cas présent, le fond est suffisamment noir pour pouvoir se passer cette étape. Faites bien la chasse aux entrées de lumière parasite.

Le vrai disque solaire

Il reste à donner au disque sa forme circulaire. Au jugé, on remarque que la dilatation est d'environ un facteur 3 suivant l'axe horizontal et on souhaite aussi réduire la taille globale du disque pour qu'il entre dans un format prédéfini.

Supposons par exemple que suivant l'axe vertical (Y) on applique un facteur de réduction de la taille de 0,65. Cela signifie que le facteur de réduction suivant l'axe horizontal (X) sera de $0,65 / 3 = 0,217$ environ. Ces valeurs sont un point de départ que l'on fournit dans l'outil « Géométrie », présent dans l'onglet SER : Le résultat est appelé « k » (ou autrement), ISIS produit dans le répertoire de travail un fichier image FITS, ayant pour nom complet k.fit (ou k.fits) :



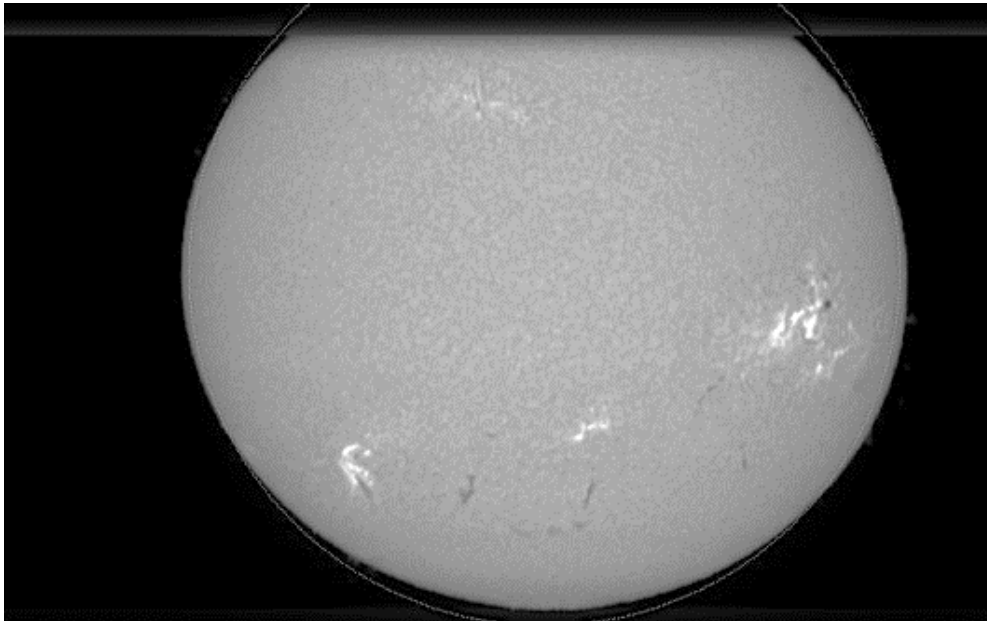
La forme du disque est grandement améliorée, mais l'image demeure ovalisée, ici, il apparaît que le bord gauche du Soleil monte légèrement plus haut que le bord droit. Ce phénomène indique que le balayage du Soleil ne s'est pas fait suivant une direction exactement perpendiculaire à l'axe long de la fente. Pour mieux se rendre compte de ces défauts résiduels, je suggère d'utiliser momentanément l'outil « Géométrie » en cochant la case « Test » :

Géométrie

Entrée : Sortie : Test

SX : SY : Slant (Y) :

Un cercle discret est dessiné alors par ISIS autour du disque du Soleil. C'est le meilleur cercle possible, calculé par une technique des moindres carrés, qui épouse le limbe de notre image.



Procéder alors en variant les valeurs du Slant (y) et visualisant les évolutions. Lorsque la géométrie de l'image est satisfaisante décochez l'option « Test » pour faire disparaître le cercle.

Remarquez au passage que ISIS retourne dans la console de l'onglet « SER » une information qui se révèle bien utile, les coordonnées du centre du cercle ajusté et son rayon, (voir ci-dessous)

```

XC = 302.04 - YC = 295.17 - R = 282.99
Ok.
Correction du slant...
Mise à l'échelle...
Ecriture du fichier image : w:\ser\resultat.fits
XC = 302.04 - YC = 295.17 - R = 282.99
Ok.

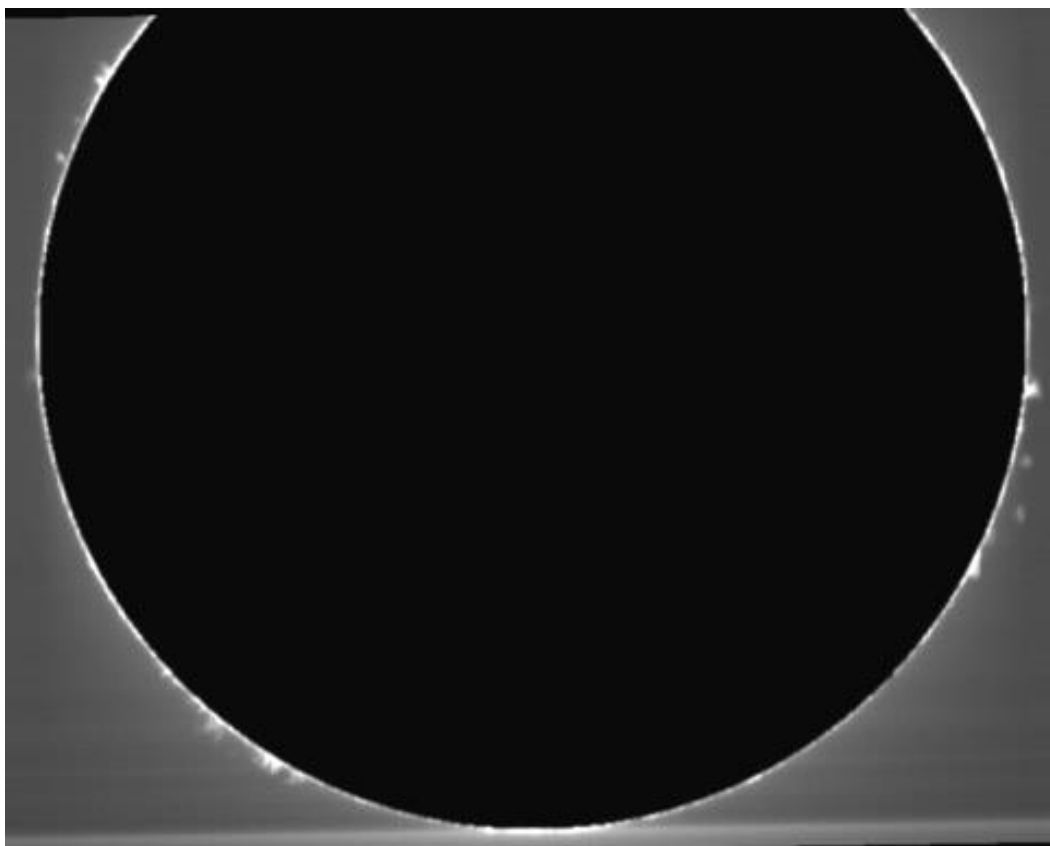
```

Cette information est « un trésor ». Le centre du disque solaire est aux coordonnées arrondies (302, 295) et son rayon est de 283 pixels.

Pour les experts de ISIS, depuis la console de commande (onglet « Outils », puis « Commande »), taper l'instruction ci-dessous. Le résultat est une image qui simule l'effet d'une éclipse totale, offrant une meilleure visibilité des protubérances (image « protu »).

```
Commande
disk1 k protu 302 295 283

> disk1
Nombre de paramètres invalide.
Syntaxe : disk1 [entrée] [sortie] [xc] [yc] [rayon]
> disk1 k protu 302 295 283
Ok.
```



Sélectionner la longueur d'onde :

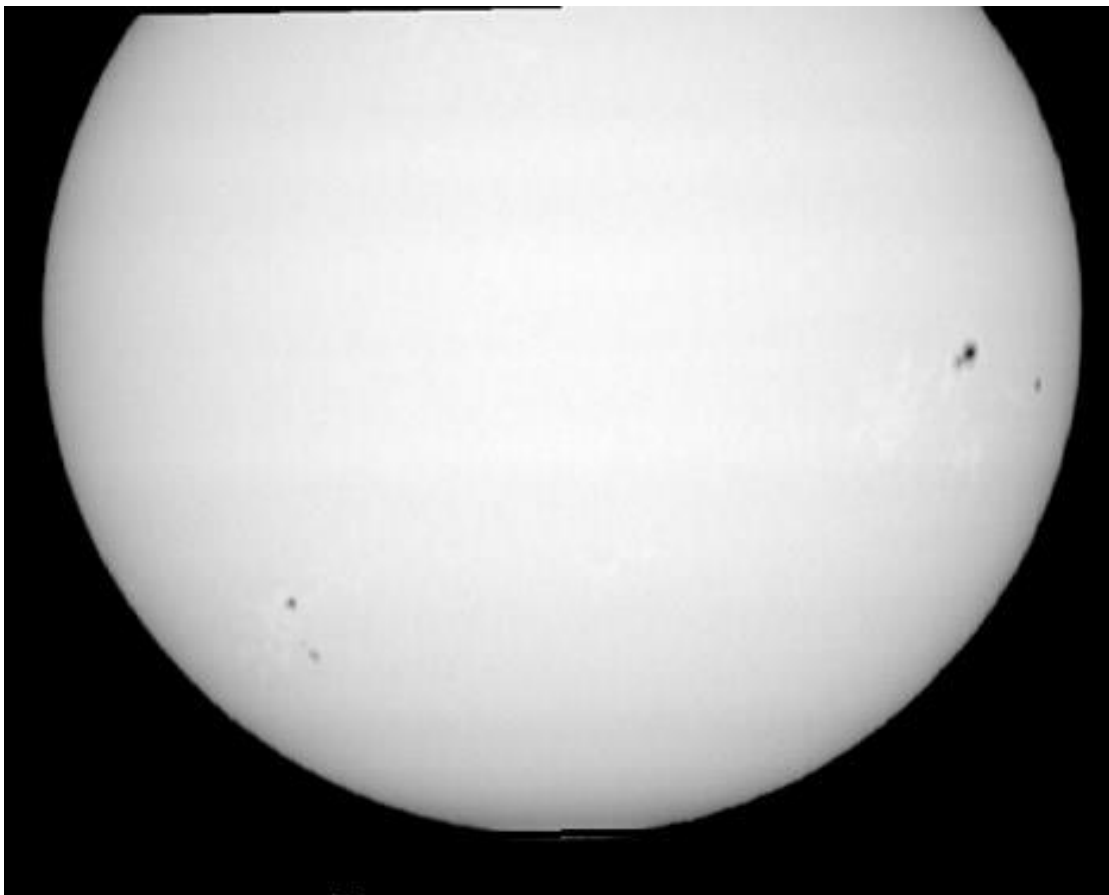
Dans la largeur de 88 pixels de chacune des 3884 trames que contient le fichier «SUN_10433.SER», se trouvent d'autres informations que la lumière venant du centre de la raie Halpha. Si par exemple l'image du disque est synthétisée en exploitant non pas le coeur de la raie, mais une partie du spectre décalée de -15 pixels (par exemple), c'est alors un spectrohéliogramme de la photosphère qui est obtenu puisqu'on sort alors de la raie d'absorption. Il est très facile de réaliser l'opération avec la commande « Quick Scan », en faisant $DX = -15$:

Quick Scan

Fichier SER : Image de sortie :

DX :

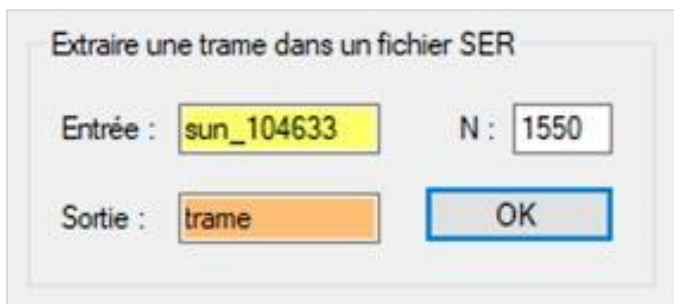
Le reste du traitement ne change pas (transversalium et correction géométrique).
Il suffit de cliquer sur « OK » à chaque fois.



2) Méthode longue - analyse de la forme des raies

Cette méthode réalise une modélisation plus fine et précise de la forme des raies telle qu'elle est enregistrée dans le fichier SER à travers l'outil « Scan2Fits » qui effectue une modélisation plus précise de la distorsion géométrique affectant les raies spectrales. D'une manière générale, je recommande après un premier affichage du type « Quick Scan », de réaliser une passe finale avec l'outil « Scan2Fits ».

La première opération à réaliser est d'isoler la trame centrale dans le fichier (ici la trame numéro 1550) pour en faire une image distincte au format FITS. On utilise l'outil « Extraire une trame dans un fichier SER » :



Extraire une trame dans un fichier SER

Entrée : N :

Sortie :

Afficher l'image « trame » produite via onglet « Image ». Le résultat ci-contre montre la raie Halpha courbe (« smile »), et parfois penchée (« slant »). Cet écart à une raie bien droite vient des caractéristiques optiques de l'instrument. Le but des opérations qui suivent est d'inverser cette distorsion optique pour rendre la raie verticale et rectiligne dans toutes les trames du fichier SER.

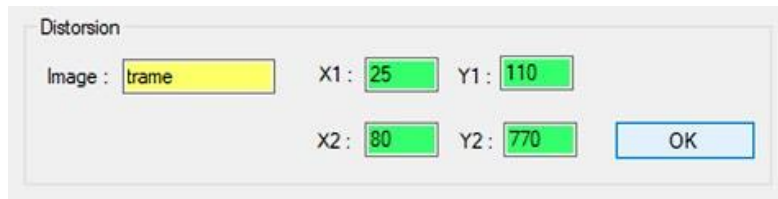


Tant que l'image de la trame 1550 est affichée dans l'onglet « Image », avec l'aide du pointeur de souris, noter les coordonnées des coins opposés d'un rectangle virtuel qui englobe totalement le profil de la raie (voir ci-contre).

Il est important que ce rectangle encadre la raie avec une bonne marge. Ici, les coordonnées relevées sont (25, 110) et (80, 770). La commande « Distorsion » évalue la meilleure fonction polynomiale qui passe par le centre de la raie suivant le sens de sa longueur.

Voici comment remplir les paramètres : Le nom du fichier image à fournir est celui de l'image que nous venons d'extraire du fichier SER (ici « trame »). En indiquant dans les fenêtres X1-Y1 (bas) et X2-Y2

(haut) les coordonnées image qui isolent la raie, relevées avec le pointeur de souris (ne vous inquiétez pas trop des valeurs, il suffit que le rectangle virtuel encadre la raie analysée, même avec une marge).



Lorsque vous cliquez sur OK, ISIS ajuste, par la méthode des moindres carrés, un polynôme de degré 2 qui passe au mieux par le centre de la raie. Les coefficients du polynôme calculé sont retournés dans la console de résultat de l'onglet « SER ».



Ces coefficients déterminent la coordonnée horizontale X du centre de la raie en fonction de la coordonnée verticale Y.

En l'espèce : $X = 4,793E-3 \times Y - 4.752 \times Y + 63,3$. La valeur RMS est l'écart caractéristique en pixels de la modélisation par rapport au vrai centre évalué de la raie. Une valeur de 0,5 pixel est typique.

La commande « Distorsion » génère automatiquement deux fichiers image FITS dans le répertoire de travail, avec les noms CHECK et CHECK2. Voici le contenu de ces deux fichiers :

L'image « CHECK », est réduite à une courbe qui est la trace de la fonction polynomiale précédemment calculée.

L'image « CHECK2 », est le profil de la raie avec les distorsions retirées (utilisation du polynôme pour trouver la valeur de la correction en fonction de la coordonnée Y).

Remarquez comment la raie est à présent bien rectiligne. Profitez du fait que l'image CHECK2.fit est affichée pour repérer la position X (horizontale) du centre de la raie, au pixel près (*si vous souhaitez réaliser le spectrohéliogramme dans la raie Halpha, vous êtes libre de choisir une tout autre longueur d'onde pour vos travaux*).

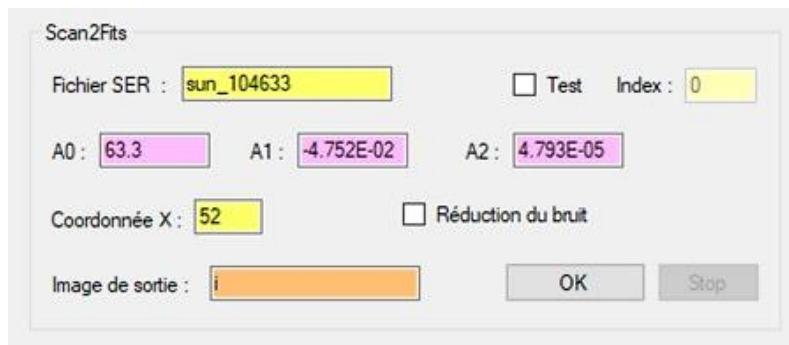
Ici on trouve X = 52 pour le coeur de la raie Halpha.

Synthèse de l'image :

Cette étape revient à appliquer le travail de rectification de la distorsion sur les 3884 trames du fichier SER, puis de synthétiser l'image monochromatique avec l'outil « Scan2Fits ».

Indiquer le nom du fichier SER à traiter. Fournir aussi les coefficients A0, A1 et A2 du polynôme décrivant la distorsion des raies dans le fichier SER (cette distorsion est constante du début à la fin du balayage). **Ces valeurs sont pré-remplies si vous avez lancé la commande « Distorsion » au préalable.**

Préciser la coordonnée X du point du spectre à partir duquel va être extrait le spectrohélogramme. Ici, X=52, (car nous nous intéressons à la lumière qui vient du centre de la raie Halpha). La commande « Scan2Fits » génère une image de sortie dans le répertoire de travail (ici : « i.fit »)



Scan2Fits

Fichier SER : sun_104633 Test Index : 0

A0 : 63.3 A1 : -4.752E-02 A2 : 4.793E-05

Coordonnée X : 52 Réduction du bruit

Image de sortie :

OK Stop

Le temps de calcul pour un fichier contenant 4000 trames est de l'ordre de 1 minute à une 1,5 minute suivant la puissance de votre ordinateur.

L'image « i. fits » est celle du Soleil dans la raie Halpha, allongée comme un ballon de rugby, tout à fait semblable à celle synthétisée par la commande « Quick Scan ». Il reste donc à améliorer la géométrie du disque avec l'outil « Géométrie » et, éventuellement, à corriger le transversalium (attention, toujours travailler dans l'ordre, transversalium d'abord, puis géométrie). Si vous êtes constants dans le nom des fichiers, votre seul travail est de travailler sur le bouton OK à chaque fois.

Remarque : « Scan2Fits » propose une option de « réduction de bruit ». Si vous la sélectionnez, ISIS fait la moyenne de la colonne visée, et des deux colonnes adjacentes (dans l'exemple, ISIS calcule la moyenne des colonnes 51, 52 et 53). La résolution spectrale est un peu abaissée, mais dans certaines situations où c'est utile, le rapport signal sur bruit dans le spectrohélogramme généré est amélioré.

Voici un exemple typique d'exploitation de l'outil « Scan2Fits ». On génère d'abord deux spectrohélogrammes en choisissant respectivement pour la coordonnée X, X = 49 et X = 55. Ces deux images sont donc prises dans la lumière qui provient des ailes de la raie Halpha, bleue et rouge (la lumière provient alors d'une zone

moins élevée de la chromosphère). Compte tenu de l'échantillonnage du spectre de 0,16 Å/pixel (voir la rubrique « Théorie »), le décalage en longueur d'onde est de +/-0,48 Å par rapport au coeur de la raie, soit un écart en vitesse radiale de +/- 22 km/s. Voici les deux spectrohéliogrammes en question (*colorisés juste pour l'illustration*).

Image p1. **X-(valeur)** *Bleu*



Image p2. **X+(valeur)** *Rouge*



Imaginons que ces images soient sauvegardées sous les noms p1.fits et p2.fits. Une opération spectaculaire et astrophysiquement très riche consiste à calculer la différence $\mathbf{d} = \mathbf{p2} - \mathbf{p1}$, ce qui correspond à la mesure du champ de vitesse radial dans l'atmosphère solaire.

Sous ISIS, une manière de faire est d'aller dans l'onglet « Traitement images 1 », puis d'utiliser l'outil « Somme / différence de deux images » :

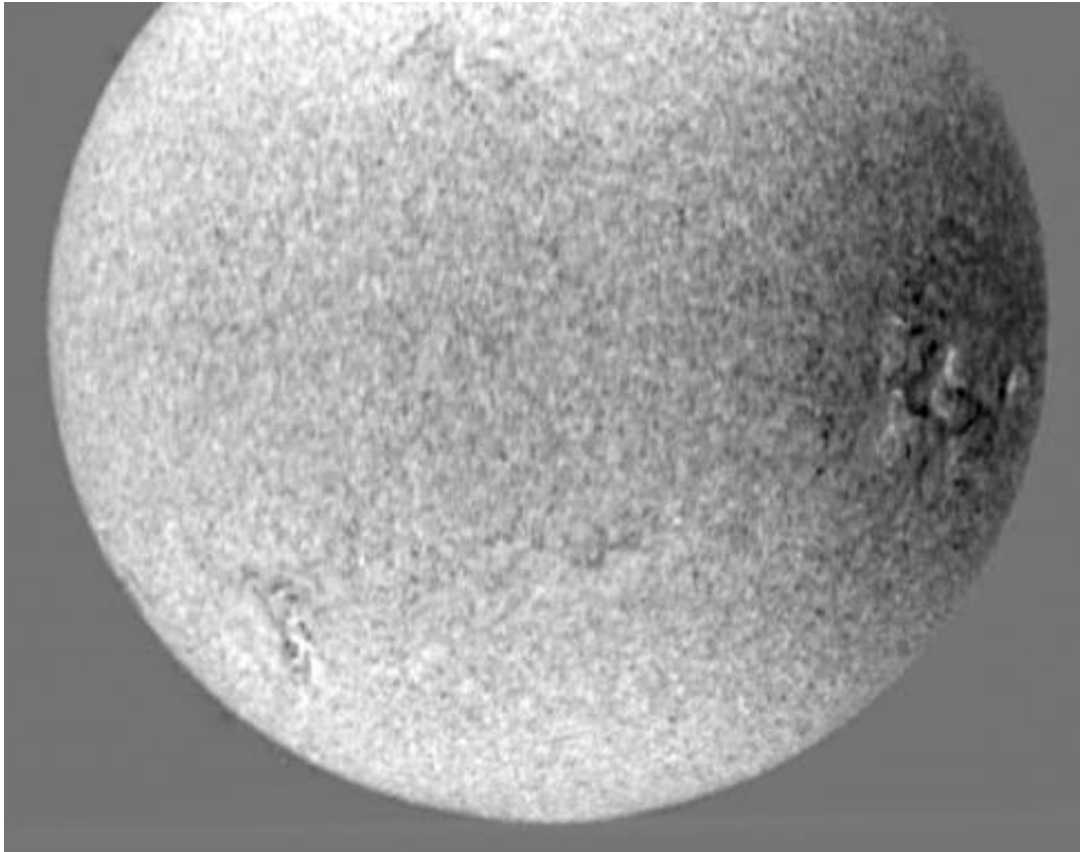
Somme / différence de deux images

Image #1 : Somme

Image #2 : Différence

Résultat :

Le résultat (image « d.fits ») :



Les parties du disque solaire qui approchent de l'observateur sont représentées en blanc, les parties qui s'en éloignent sont représentées en noir. Nous avons ici une vision en 3D de la dynamique du Soleil. C'est une bonne illustration de l'effet Doppler-Fizeau.

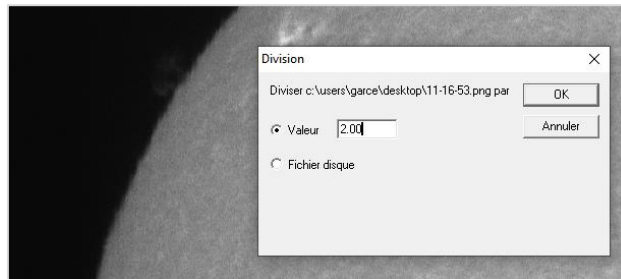
Coloriser un dopplergramme sous IRIS.

(Attention – images initialement capturées en **mono 16 bit**)

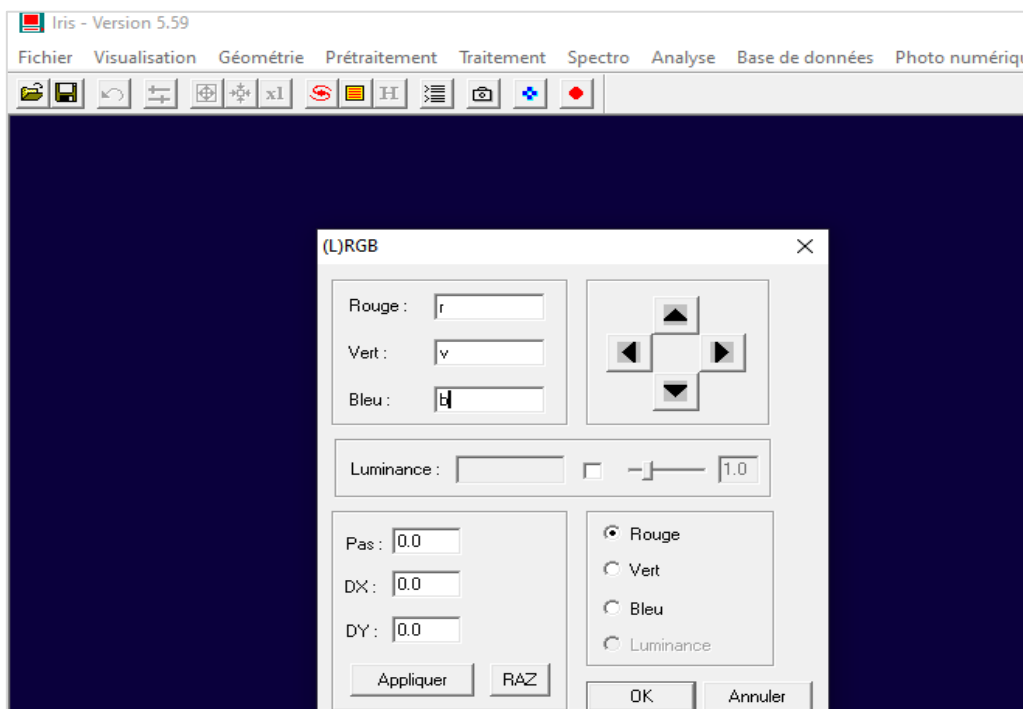
- 1) Sous, **ISIS**/scan2fits faire une image avec coordonnées = **X – (valeur)*** que l'on nommera **b** (bleu) et sauvegardera en .tif
- 2) Faire une autre image avec coordonnées : **X + (valeur)*** que l'on nommera **r** (rouge) et sauvegarder en .tif

*(cette valeur est généralement comprise entre 3 et 5 ou plus, selon l'épaisseur de la raie observée)

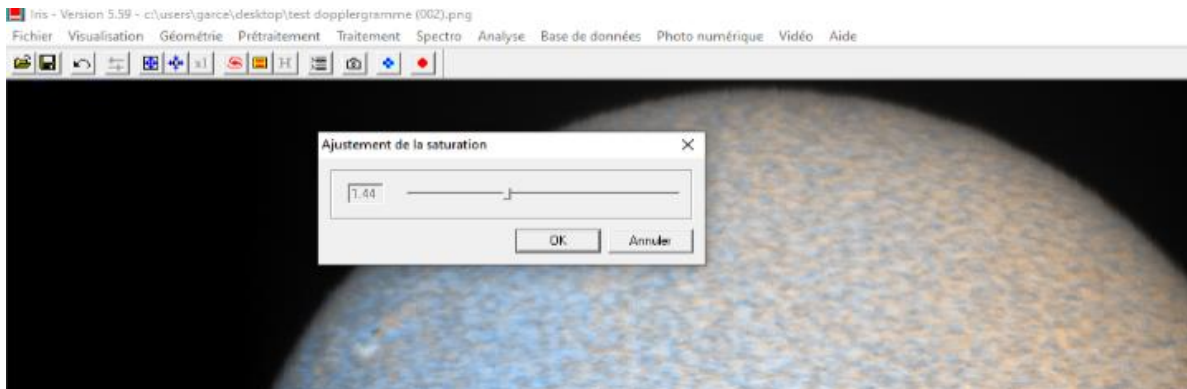
- 1) Sous **IRIS**, diviser chacune de ces deux images par 2 : « traitement / division »



- 2) Enregistrer ces deux images en les nommant par exemple b2 et r2, puis, les ajouter « traitement/addition » pour obtenir une image composite $b2/2+r2/2 = v$ (vert)
- 3) Recomposer une image à l'aide de l'onglet visualisation RVB.



- 4) Pour cela remplir les noms de images correspondant aux trois composantes Rouge, Vert, Bleu. (*Ici : r, v et b.*) et cliquer sur « OK » au bas du pavé.



L'image apparait alors en noir et blanc, mais elle ensuite être colorisée en utilisant l'onglet « Visualisation/ajustement de la saturation ».