

Spectrographie traitement avec IRIS et Geogebra d'images CCD

Traitement simplifié des images spectrales
pour identifications et vitesses radiales

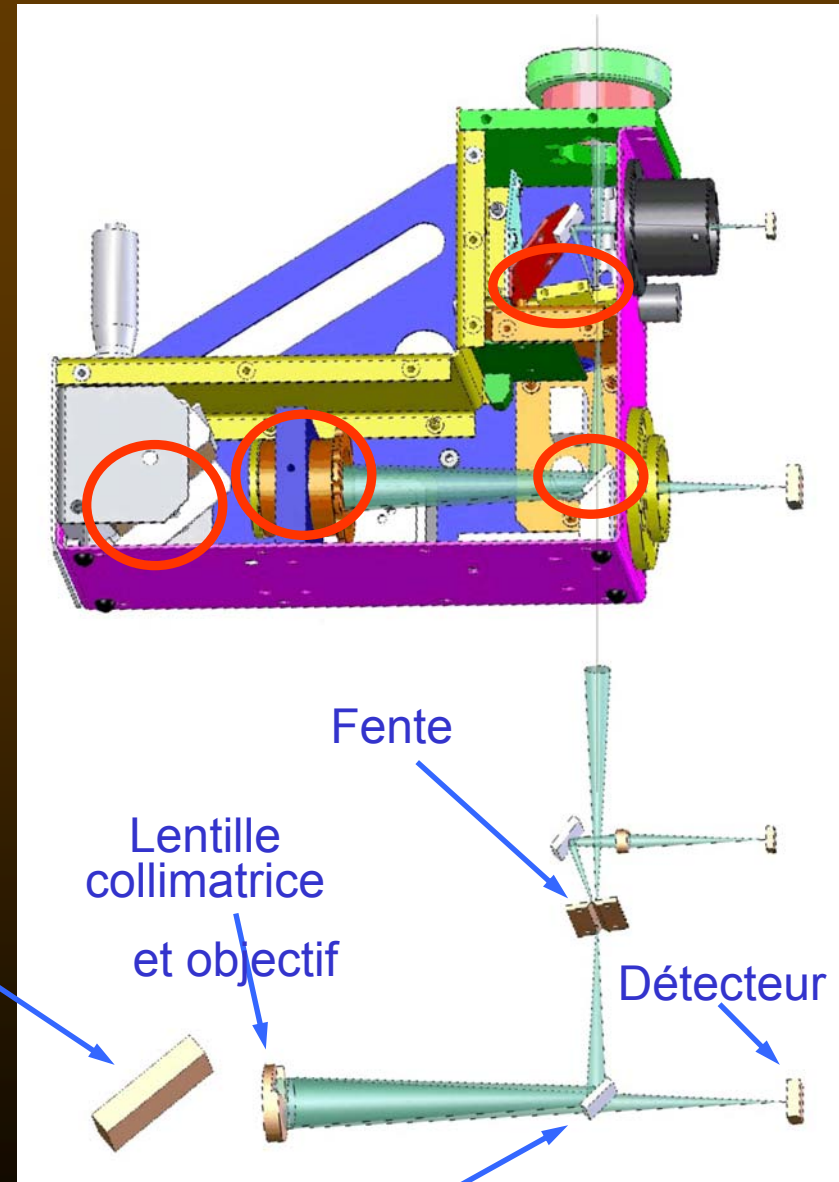
Description brève du spectrographe

▶ passer au traitement

Le spectrographe Lhires III



Schéma optique



Réseau dispersif (2400 tr/mm)

La lentille collimatrice sert d'objectif.



Le spectrographe Lhires III

La lentille collimatrice sert d'objectif.

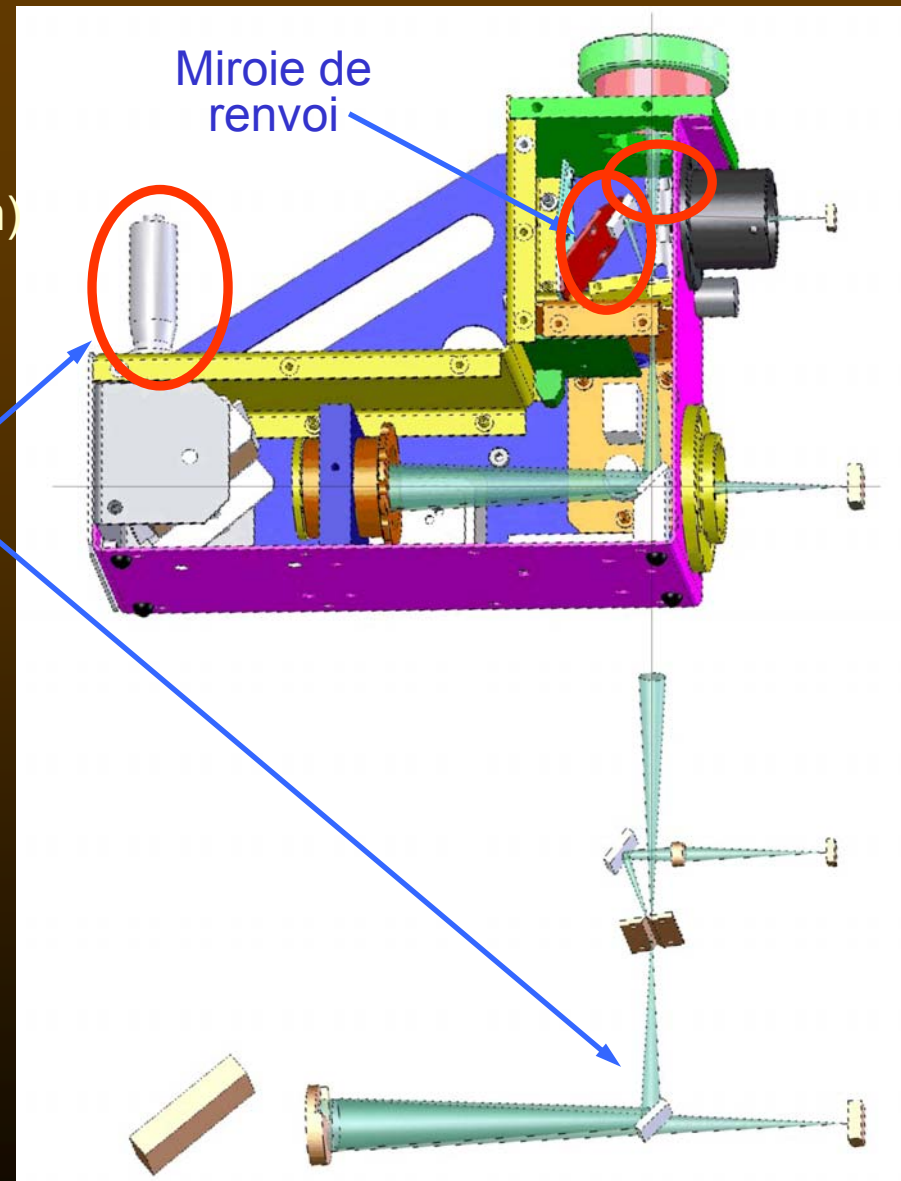
Oblige de travailler hors axe (distorsion)

Optique donnant un petit champ et
risque de vignetage.

Pour parcourir le spectre, on
fait tourner le réseau avec un
repérage par un palmer.

En complément :

- un système de visée de la fente
(support fente aluminé et miroir de
renvoi)
- une lampe d'étalonnage au néon
basculable.

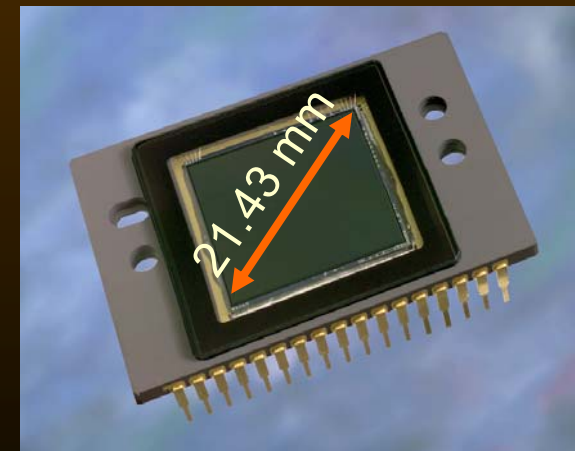


La caméra CCD

Caméra : Atik Instruments 4000/11000



CCD : KODAK KAI-04022 IMAGE SENSOR



Caractéristiques du CCD

	Atik 4000
Sensor Type	Kodak KAI-4022
Horizontal Resolution	2048 pixels
Vertical Resolution	2048 pixels
Pixel Size	7.4 μ M x 7.4 μ M
ADC	16 bit
Readout Noise (Typ.)	11 e-
Interface	USB 2.0
Power	12v DC 2A (max)
Maximum Exposure Length	Unlimited
Minimum Exposure Length	1/1000 s
Maximum QE	55%
Anti blooming	>1000x
Full Well	40.000e
Cooling	Thermoelectric, 2 stage Liquid ready
Weight	Approx. 990 g

Nombre de pixels
Dimension des pixels
Dynamique des images
(65535 niveaux)
- au lieu de 256 niveaux

Longs temps de pose

Pas de trichromie : il faut travailler avec des filtres

Traitement plus complexe : pixels chauds, bruyants, etc

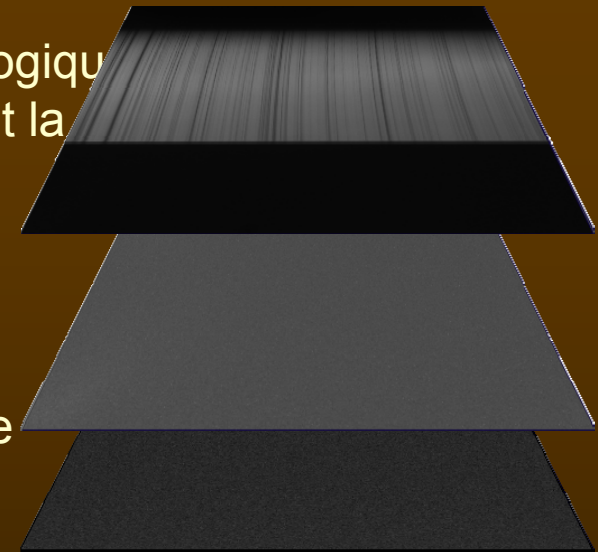
Traitement simplifiée des images spectrales

Traitement simplifiée des images spectrales

La valeur numérique donnée par le convertisseur analogique digital pour chacun des pixels après une acquisition est la somme de :

- un offset inhérent aux réglages électroniques. Il existe même pour un temps de pose nul.
 - un noir ou dark qui correspond, même en l'absence de lumière aux électrons de fuite qui sont piégés pendant l'acquisition. Le niveau de « noir » augmente avec la durée de pose et diminue avec la température.
 - un signal du à l'image du spectre sur le CCD.
- Par fabrication, il reste toujours des pixels dont le comportement est aléatoire. Sous l'action de la lumière ou des fuites, ils se remplissent rapidement (souvent saturé en peu de temps) et sans régularité.

On les appelle des pixels chauds ou pixels bruyants.



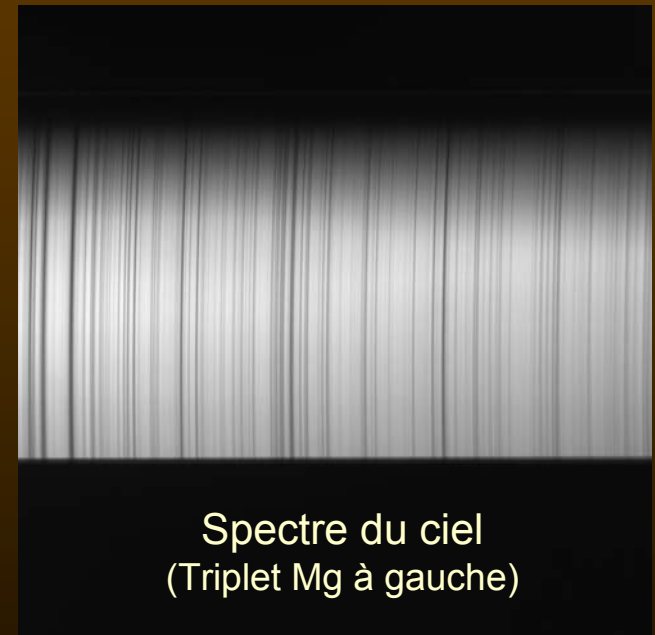
Spectres du spectrographe Lhires III

Spectre solaire avec un réseau de 2400 traits/mm, constitué de 15 spectres élémentaires



L'étude de l'ensemble des petits spectres solaires qui recouvrent la plage accessible (3900-7100 Å), sur le spectrographe montre que :

- Les raies sont courbées non uniformément
- La dispersion varie continuellement avec la longueur d'onde
- Sur la plage d'un spectre élémentaire la dispersion est mieux approximée par une courbe du 2^{ème} degré que par une simple droite entre deux raies des extrémités

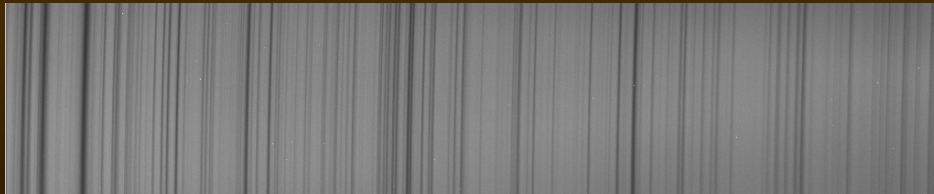


Images spectrales

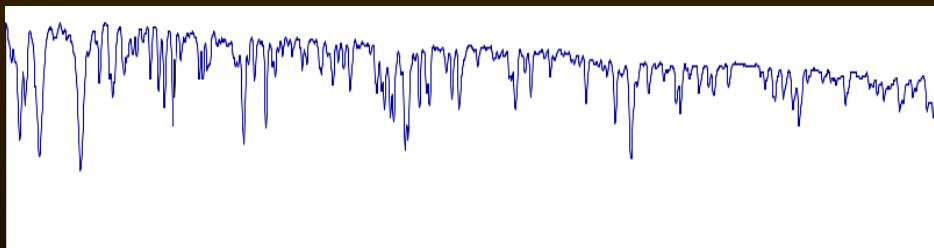
Des spectres bruts du CCD, il faut construire une image spectrale

- Nettoyées des pixels bruyants
- Moyennées (ou médiane) pour avoir une image moins bruyante
- Sans offset ni noir (non nécessaire pour des vitesses radiales)
- Et normalisée en intensité pour la photométrie (champs plats)

Et pour la commodité des mesures transformés en profils de raies



Spectre brut



Spectre en profil de raies



Spectrographe Lirhes III

Traitement d'images spectrales solaire de la région 5000-5275 Å.

T1 – Nettoyage des pixels bruyants

T2 – Moyennes des spectres soleil

T3 – Soustraction d'offset et de l'obscurité

T4 – Identification des raies de l'étalonnage

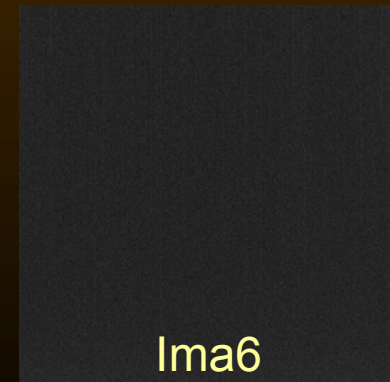
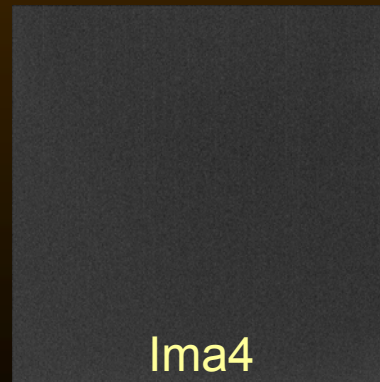
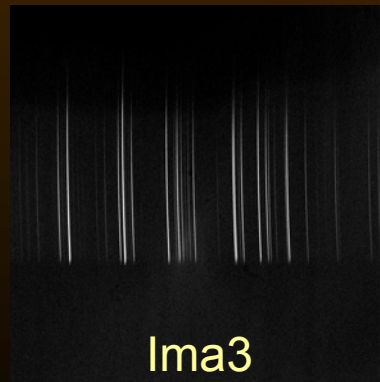
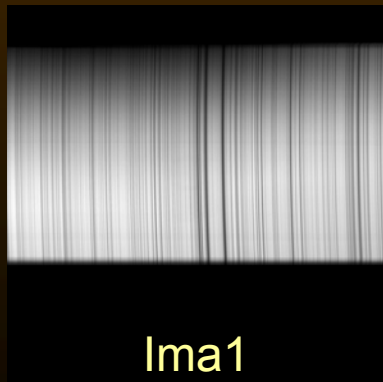
T5 – Courbe d'étalonnage

T6 – Mesures de raies et identification des raies solaires



La série d'images

	Série et no	Temps pose	Pos. Rés.	Objet	Temp. CCD	Objet
ima1	g10_	06000s	1520	ciel_	T+052_fit	spectre soleil
ima2	g11_	06000s	1520	ciel_	T+052_fit	spectre soleil
ima3	g12_	18000s	1520	neon_	T+052_fit	spectre néon
ima4	g13_	18000s	1520	noir_	T+052_fit	obscurité (soleil)
ima5	g14_	06000s	1520	noir_	T+052_fit	obscurité (néon)
ima6	g15_	06000s	1520	offset_	T+052_fit	offset



T1 – Nettoyage des pixels bruyants

Les fichiers pris un à un seront traités par la fonction median3 qui efface les pixels bruyants.

Le fichier offset ima6 donné pour information ne sera pas traité, car sans signal.

Programme IRIS : pour les débutants prendre la fiche *Iris Bases*.



Fichiers FITS et bases d'IRIS



Les fichiers de données

Les fichiers que l'on utilise sont de type FITS (extension FITS ou FIT)

FITS : Flexible Image Transport System, couramment utilisé en Astronomie

Supporte tous les types de données :

- entiers 8 bits (bytes)
- entiers 16 bits signés ou non
- entiers 32 bits signés ou non
- flottants, doubles, complexes...

Exemple d'en tête des fichiers spectres
de la caméra CCD du spectro Lhires III

```
SIMPLE =      T
BITPIX =      16
NAXIS =        2
NAXIS1 =     2047
NAXIS2 =     2047
BZERO =     32768.000000
BSCALE =      1.000000
DATAMIN =     0.000000
DATAMAX =    65535.000000
INSTRUME =    'ART-4021: fw rev 4.04'
EXPTIME =     20.001
DATE-OBS =    '2012-02-08T13:34:23'
XPIXSZ =      7.400
YPIXSZ =      7.400
XBINNING =    1
YBINNING =    1
XORGSUBF =    0
```

Ces fichiers sont lisibles sous IRIS



IRIS : programme de traitement des images

<http://www.astrosurf.com/~buil/iris/iris.htm>

Permet le traitement des images astronomiques

Primitivement images de champs stellaires et nébulaire

Etendu au fichiers spectraux

Tutoriel :

http://www.astrosurf.com/buil/iris/tutorial3/doc13_fr.htm

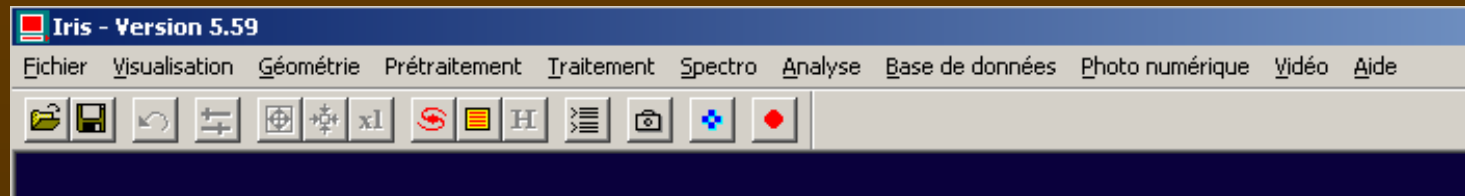
Commandes :

http://www.astrosurf.com/buil/iris/commandes_iris.htm



IRIS : programme de traitement des images .FITS

Lancer IRIS



De tous les menus proposés, seuls quelques uns sont d'un usage courant.

Les autres proposent des solutions très spécialisées.

IRIS possède deux façons de traiter les fichiers :

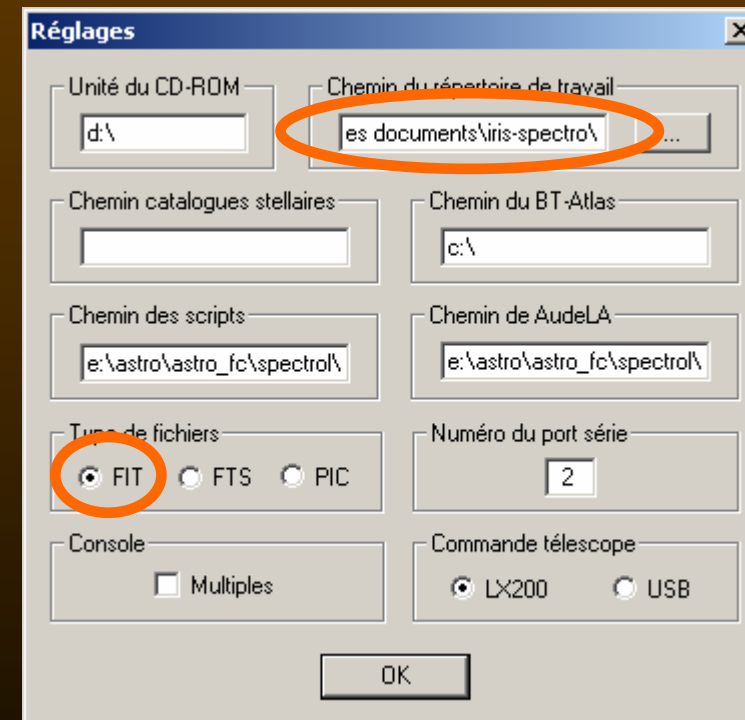
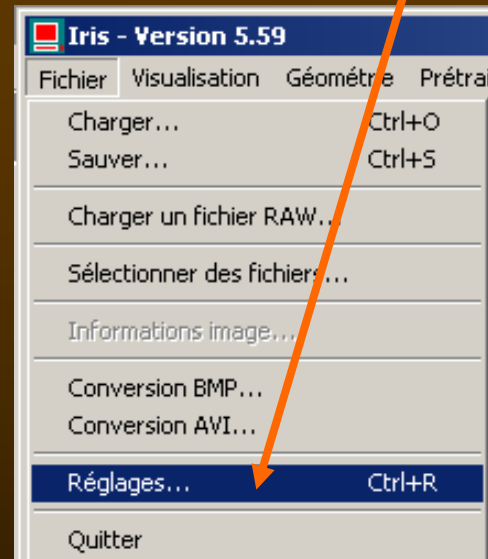
- 1 – à partir des fonctions des menus déroulants de type Windows
- 2 – à partir de commandes écrites en langage de programmation

Suivant leurs commodités, on se servira des deux manières.



IRIS : répertoire de travail et type de fichiers

Ouvrir le menu Fichier et choisir Réglages



Mettre le répertoire de travail

Mes documents\spectro-ccd

Et l'option fichier extension FIT

Valider : OK



IRIS : échelle des images

Ouvrir le fichier *g10_06000s_1520_ciel_T+052.fit*

Par défaut l'image est affichée 1 pixel image = 1 pixel écran

L'image peut être plus grande que l'écran



Grossir
l'image

Diminuer
l'image

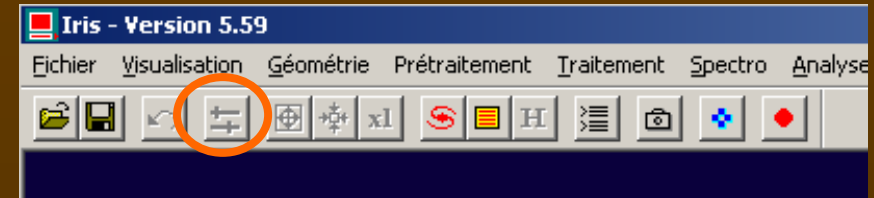
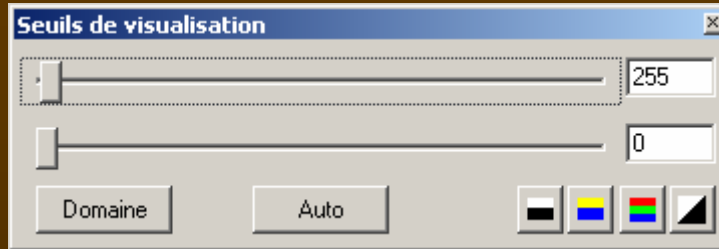
Revenir
au rapport 1x1

Chaque changement d'échelle se fait dans un rapport 2

Attention : les applications et interventions à la souris ne peuvent se faire que dans le rapport 1x1

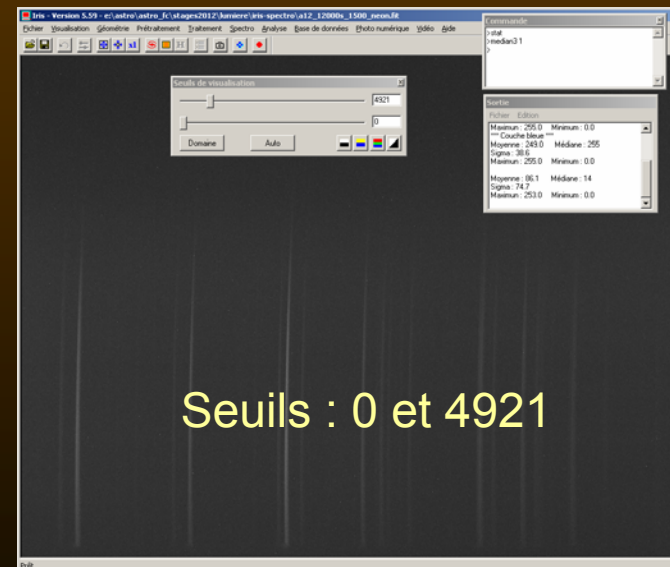
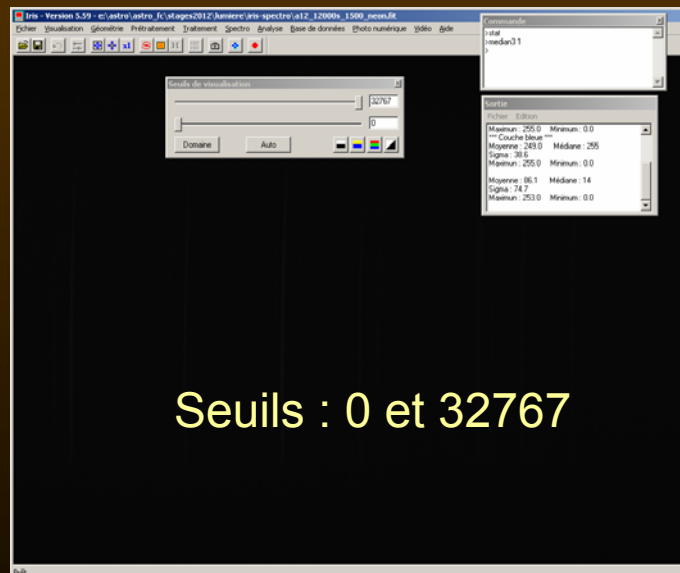
IRIS : les fenêtres utiles

La fenêtre de visualisation des niveaux



Est ouverte par défaut.

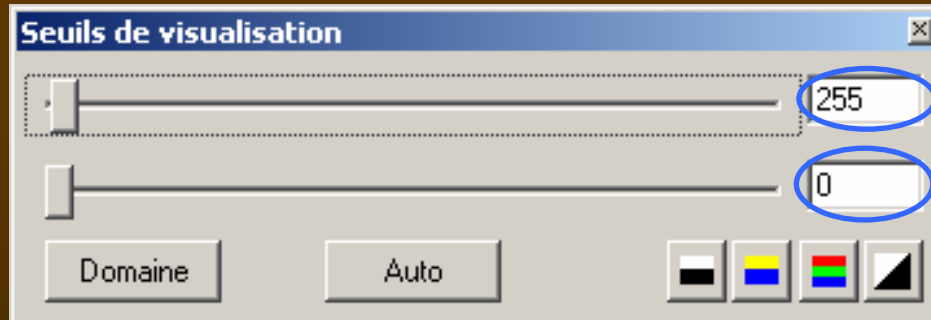
Permet de changer la visibilité des images en agissant sur les seuils bas et haut des niveaux de gris.



! - le changement des seuils n'altèrent en rien les valeurs de l'image chargée. ►

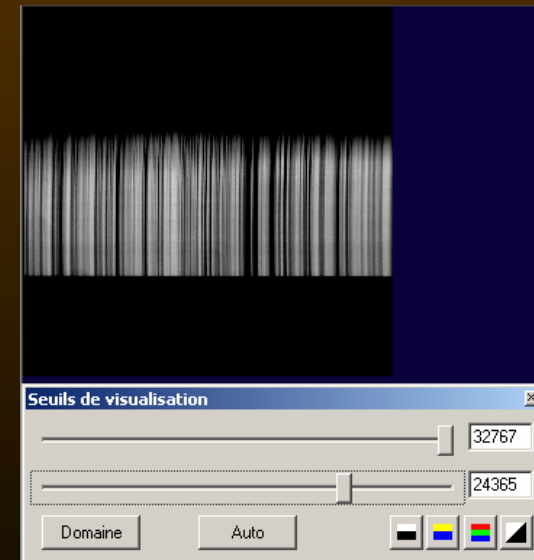
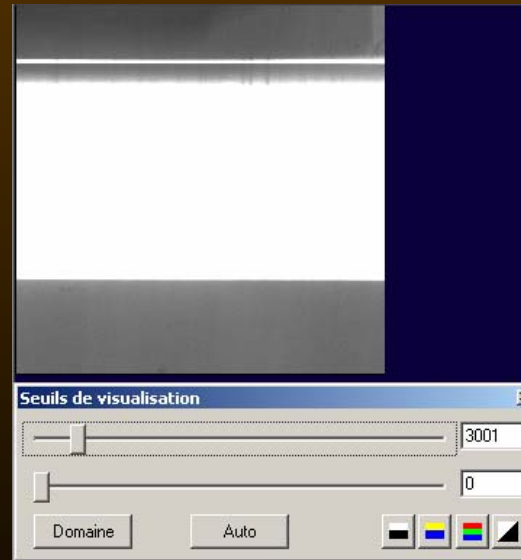
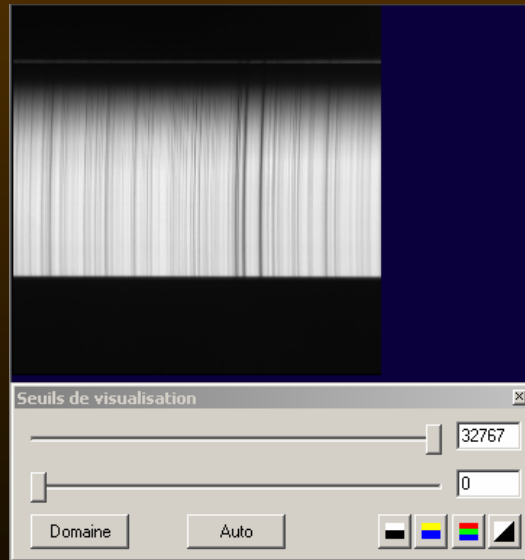
Fenêtre *Seuils de visualisation*


Ouvrir le fichier *g10_06000s_1520_ciel_T+052.fit* si ce n'est déjà fait



- tous les pixels dont la valeur est plus grande sont blancs
- tous les pixels dont la valeur est plus petite sont noirs

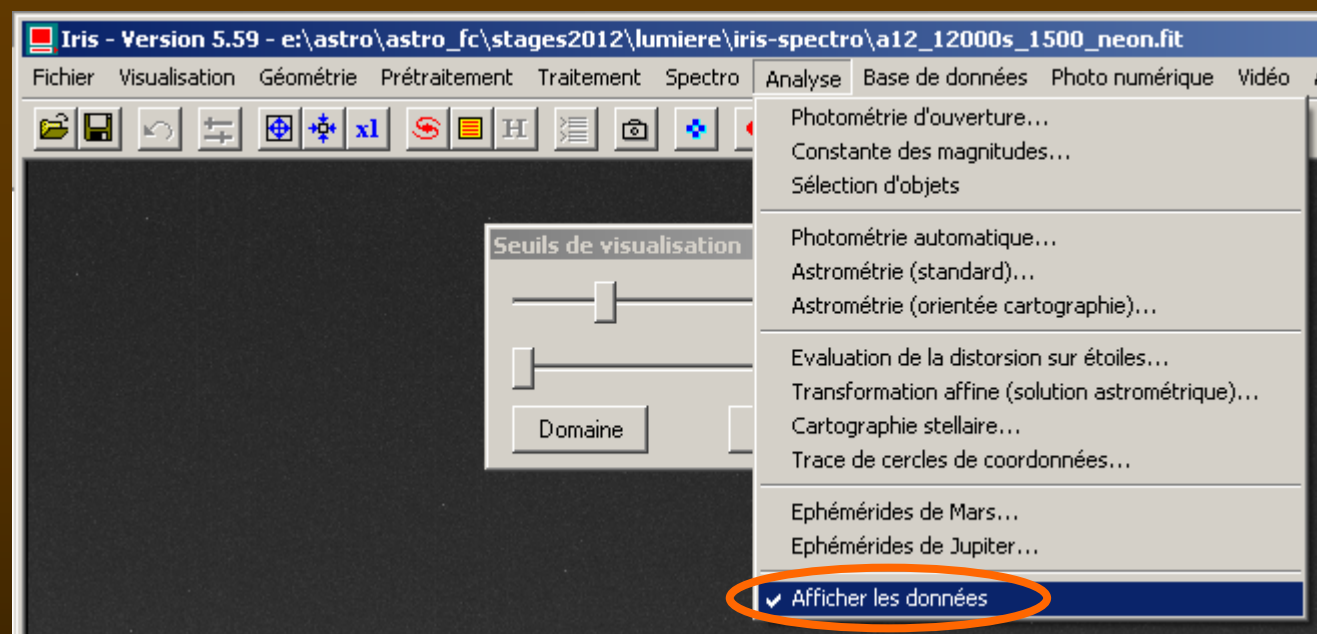
Les valeurs intermédiaires sont réparties en niveaux de gris du noir au blanc.



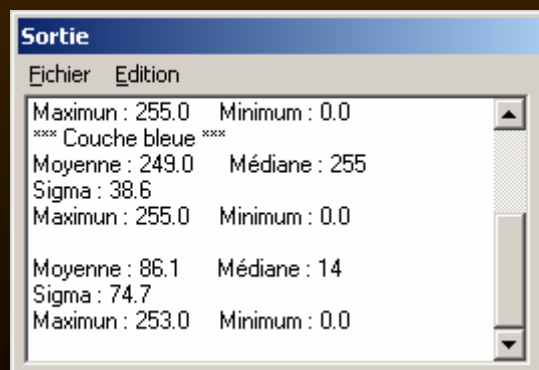
Rappel : le changement des seuils n'altère pas les valeurs des pixels. 

IRIS : les fenêtres utiles

La fenêtre de
« sortie »



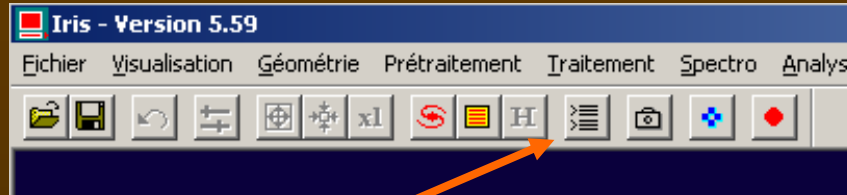
La fenêtre « Sortie » est ouverte.



Les résultats peuvent être copiés
dans un fichier et édités

IRIS : les fenêtres utiles

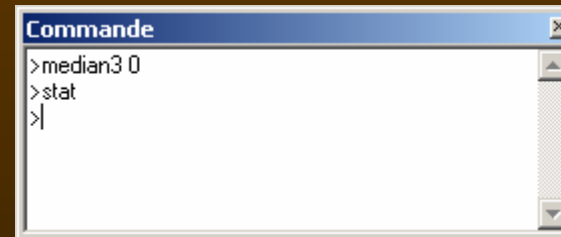
La fenêtre de commandes manuelles



Cliquer sur l'icône



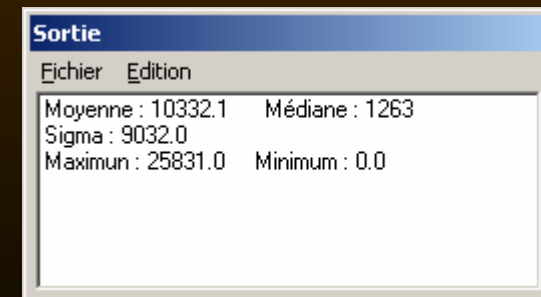
Ouvre la fenêtre des commandes.



Pour l'utilisation des commandes élémentaires et la description de celles utilisées dans ce TD voir le fichier « *commandes_iris.pdf* »

Si un fichier est chargé, écrire la commande « stat », faire Entrée (Enter).

Les résultats s'affichent dans la fenêtre « Sortie ».



Nettoyage des pixels chauds

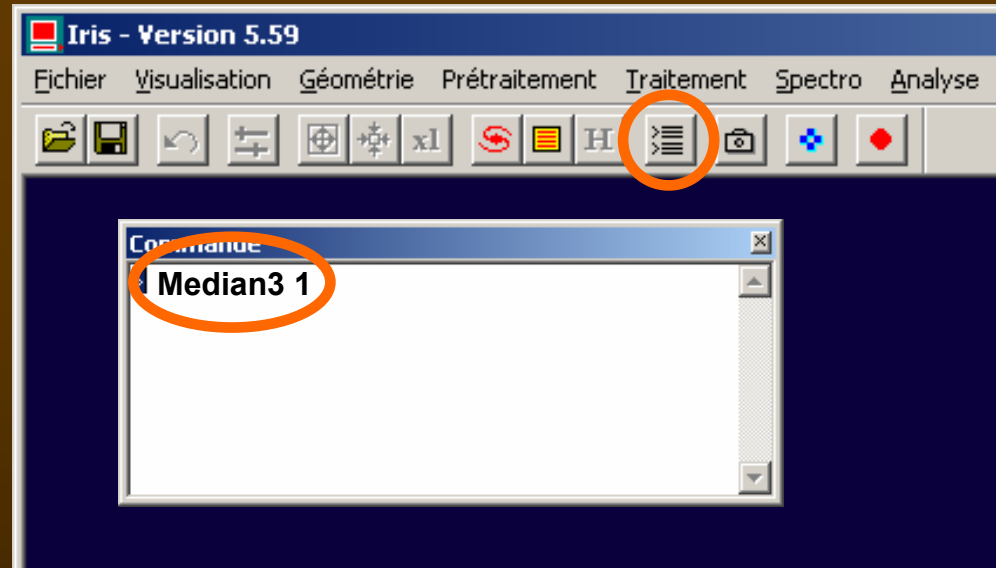
Ouvrir la fenêtre de commandes

Charger chaque fichier

Ecrire la commande :

Median3 1

Valider



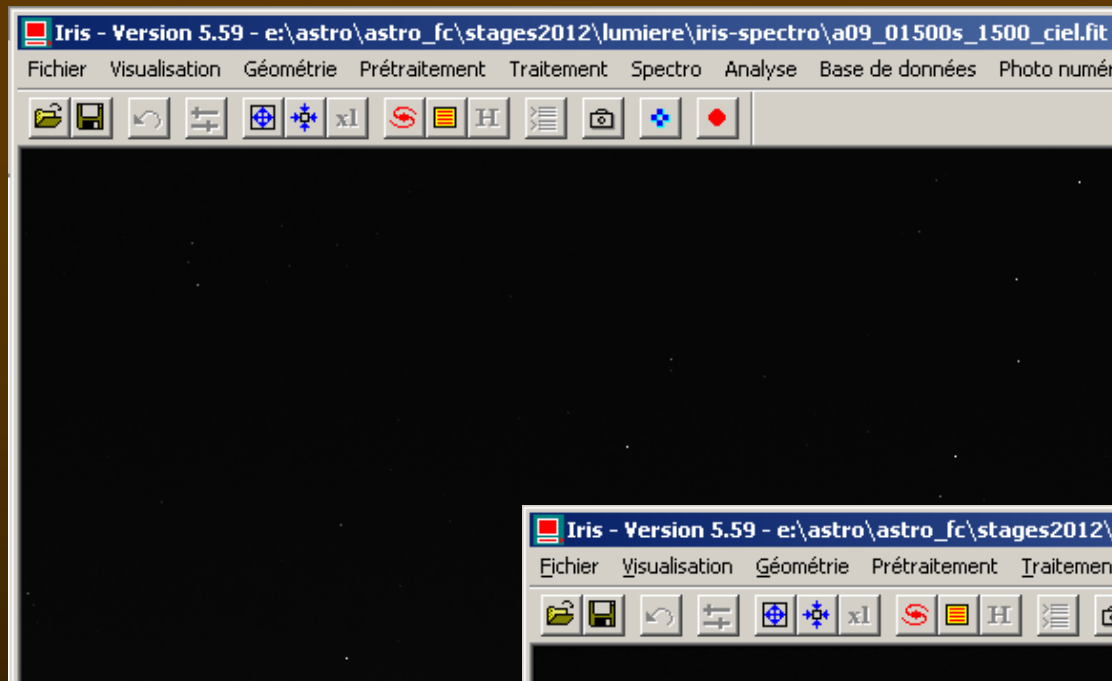
Cette commande remplace chaque pixel très fort par la médiane des pixels adjacents

Rappel : moyenne et médiane

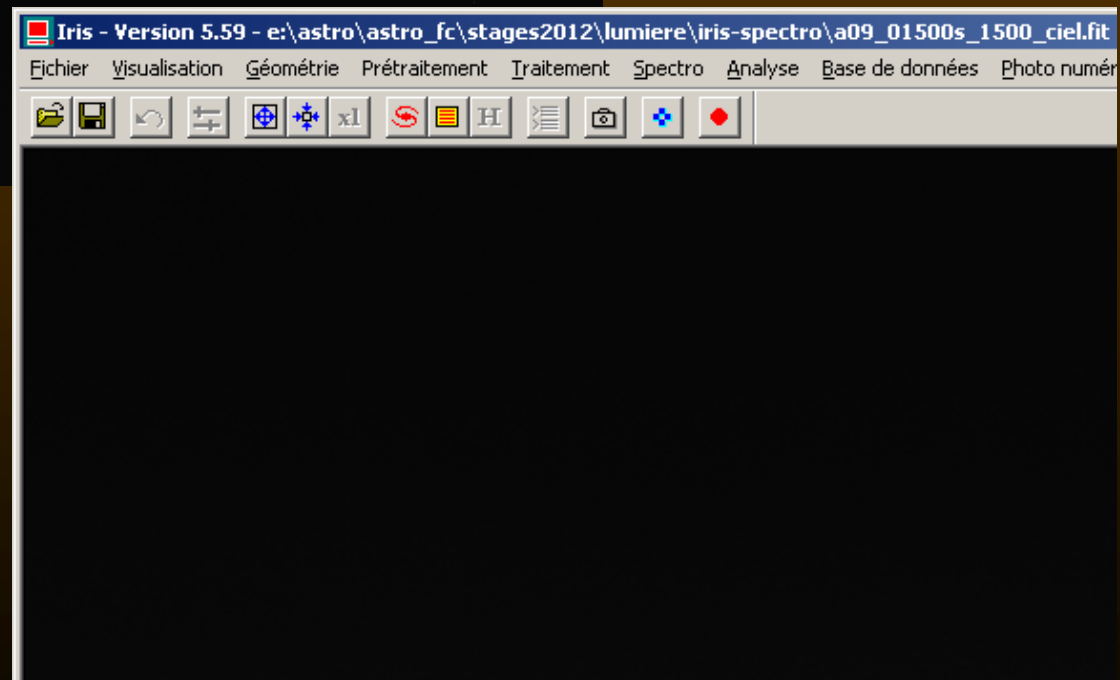
[3.2, 4.6, 5.5, 5.6, 6.4, 7.3, 8.5] ► moyenne = 5.87 ; médiane = 5.6

On voit ainsi que si une valeur est très différente, la moyenne est affectée, pas la médiane.

Nettoyage des pixels chauds



Avant filtrage



Après filtrage



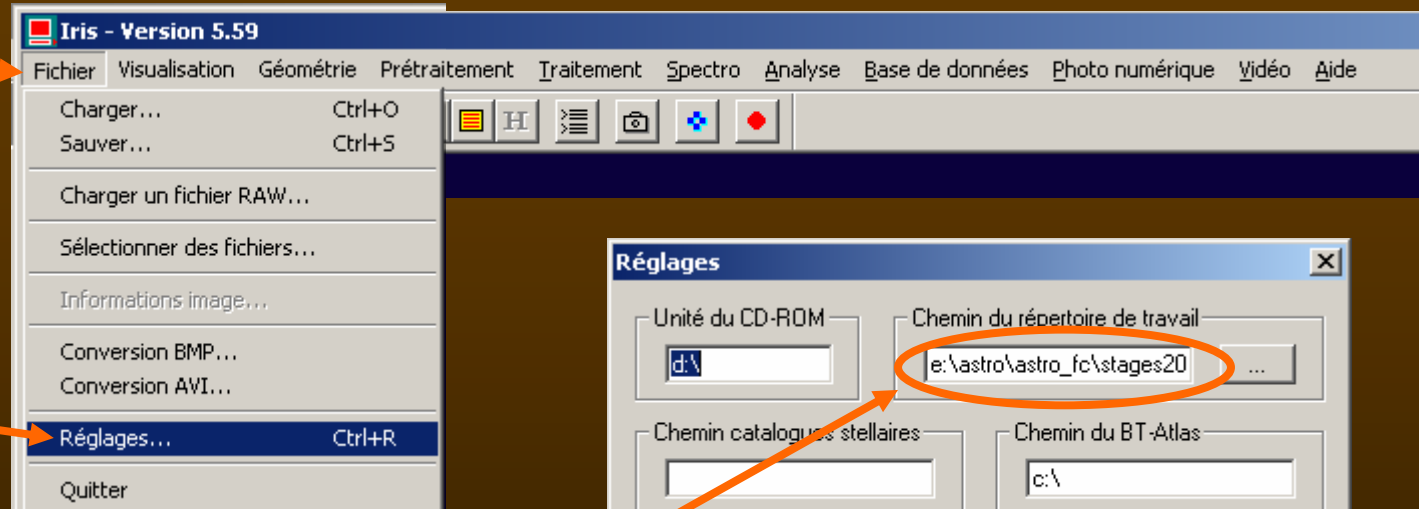
T1 – Nettoyage des pixels bruyants



Ouverture du programme IRIS

- ▶ Lancer IRIS et prendre la feuille *Iris Bases*.

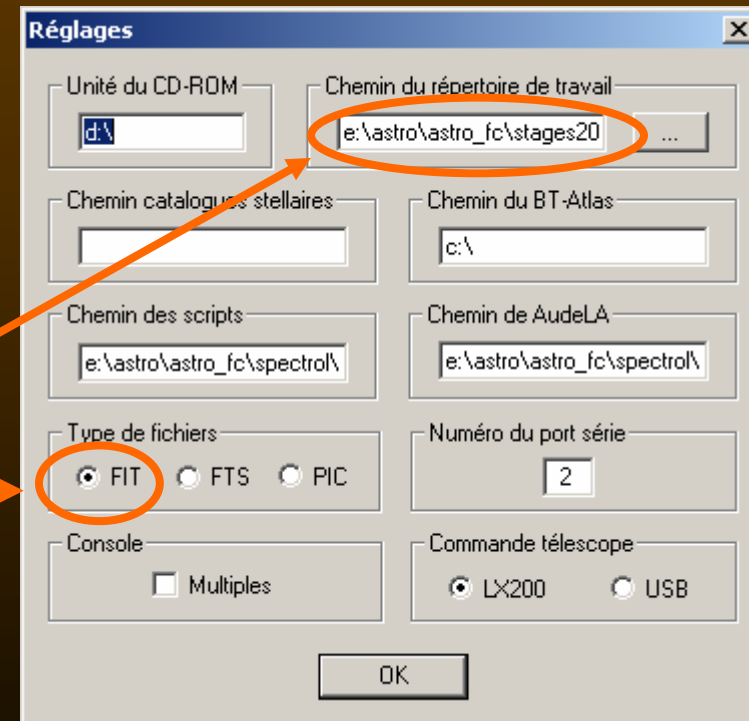
Dans



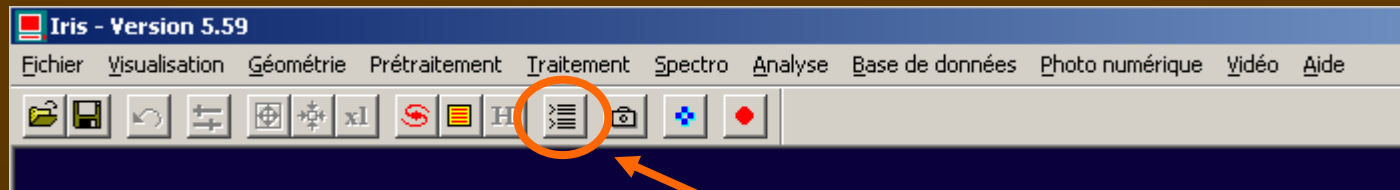
- ▶ Choisir

- ▶ Donner le répertoire de travail par défaut

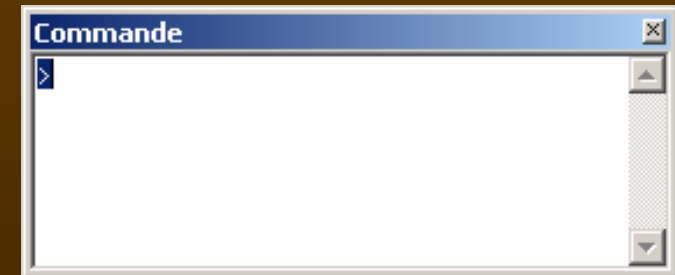
- ▶ Valider l'extension *FIT* des fichiers spectres.



Ouverture du programme IRIS



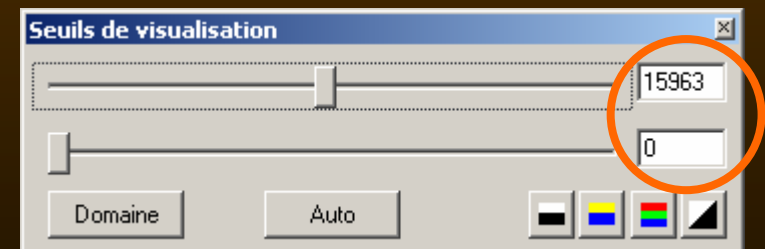
► Ouvrir la fenêtre de commande : bouton



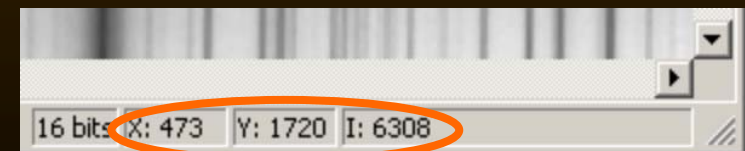
► Visionnez un ou deux fichiers en les chargeant



► Faire varier les niveaux de visualisation pour améliorer la vision des images.



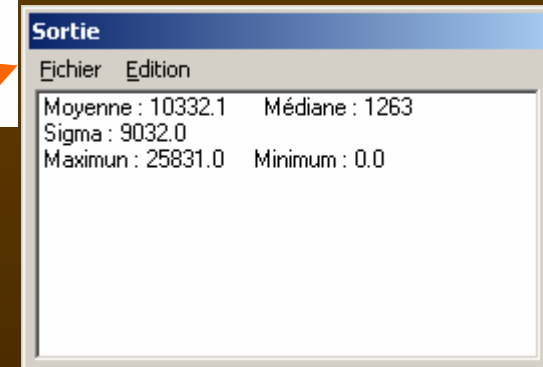
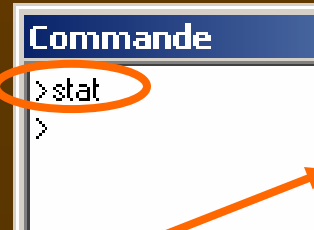
En déplaçant la souris sur l'image remarquez les valeurs X, Y et I prises par les indications en bas à droite de la fenêtre.



T1 - Nettoyage des pixels bruyants

► Pour chacun des fichiers à traiter :

- charger le fichier
- exécuter la commande *stat*



Résultats dans la fenêtre « Sortie »

Notez le maximum dans le tableau de la feuille.

	g10	g11	g12	g13	g14
max avant					
max après					

- lancer la commande *median3 0*
- la commande *stat*



- noter la valeur max dans le tableau des maxima après nettoyage.
- sauver la nouvelle image (ima1.fit, ima2.fit, ... ima5.fit)

T2 – Moyennes des spectres soleil



T2 - Moyennes des deux spectres soleil

IRIS ne connaît que les entier signés sur 16 bits. La valeur max admise est donc 32767.

Si l'on additionne deux fichiers, la somme peut dépasser la valeur 32767.

La valeur du résultat sera faussée car mise à 32767.

La valeur maximale des fichiers soleil vaut ≈ 25000 . Le double dépasse les 32767 fatidiques.

Pour faire la moyenne de deux fichiers, on va créer deux fichiers intermédiaires provisoires avec leurs valeurs divisées par deux.

Puis on les additionnera.



T2 - Moyennes des deux spectres soleil

► créer à partir de *ima1* et *ima2* images spectres Soleil, les fichiers de valeur moitié.

◆◆ Image 1 du Soleil

Commande : *Traitement/Division*

Sauver : *ima1.fit*

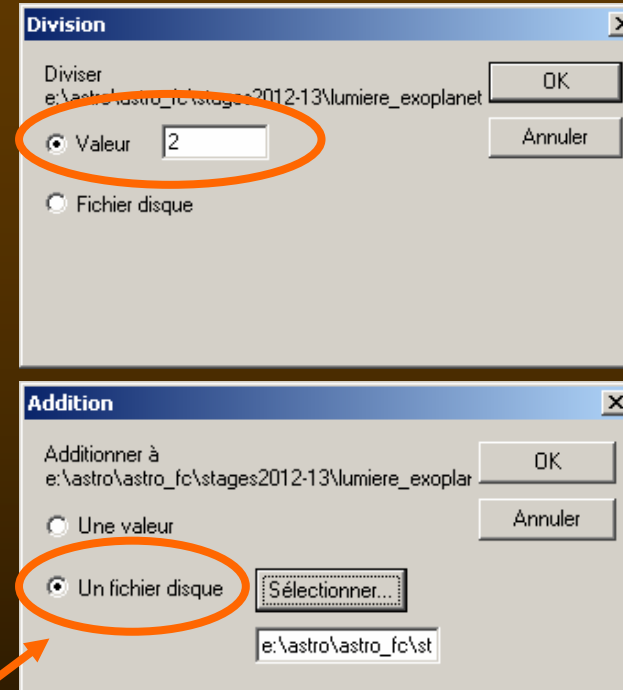
◆ Image 2 du Soleil

Idem pour la division.

Addition du premier fichier

Commande *Traitement/Addition*
(option Un fichier disque)

Sauver sous *ima12.fit*



T3 – Soustraction d'offset et de l'obscurité



T3 - Soustraction d'offset et de l'obscurité

Le niveau du fichier obscurité dépend du temps de pose.
Plus on pose longtemps, plus d'électrons viennent se piéger dans les condensateurs des pixels.

Il faut donc acquérir des fichiers "obscurité" du même temps de pose que les images spectrales pour pouvoir soustraire ces niveaux parasites.

Remarque : les fichiers spectres et obscurité contiennent tous les deux la composante offset. La soustraction de l'obscurité enlève aussi l'offset.

Aux images spectrales Soleil correspond le fichier obscurité *ima5.fit*, et au spectre d'étalonnage *ima4.fit*.

- ▶ Soustraire ces fichiers obscurité aux spectres appropriés
- ▶ Créer les fichiers *soleil.fit* et *neon.fit*.



T4 – Extraction de la partie exploitable des spectres



T4 - Extraction de la partie exploitable des spectres

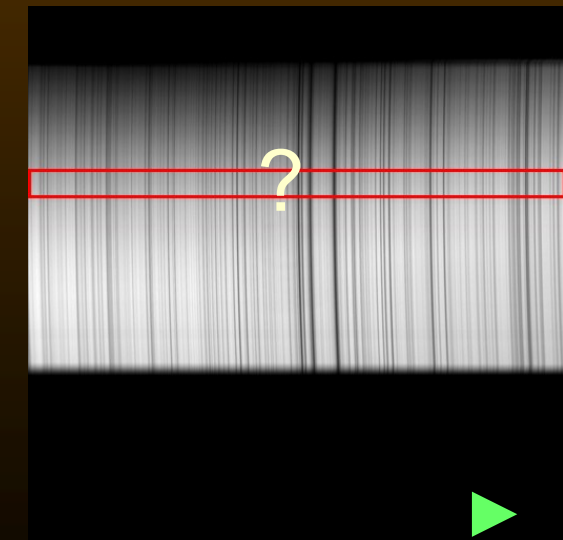
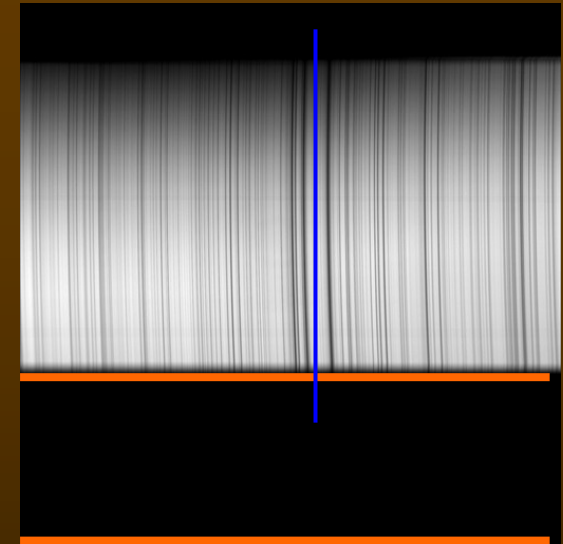
◆ Aspect des images spectrales

Si le spectrographe est bien réglé, le bord du spectre est parallèle au bord de l'image. Ce qui est le cas sur nos images.

Par contre, inhérent à l'optique choisie pour l'appareil, il y a une forte courbure des raies spectrales qui devraient être droite (image de la fente rectiligne).

Quelle partie du spectre utiliser et par quel choix ?

Il faudra bien entendu utiliser les mêmes parties sur tous les spectres qui ont été faits dans les mêmes conditions.



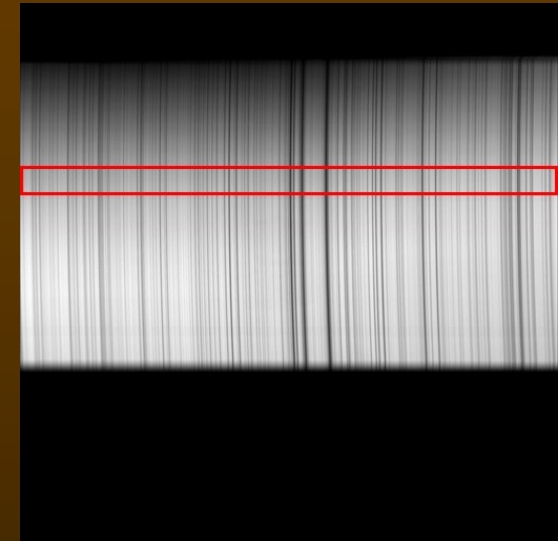
T4 - Extraction de la partie exploitable des spectres

Deux façons de procéder :

1) On n'utilise que la partie de la courbure qui est la moins inclinée par rapport aux bords

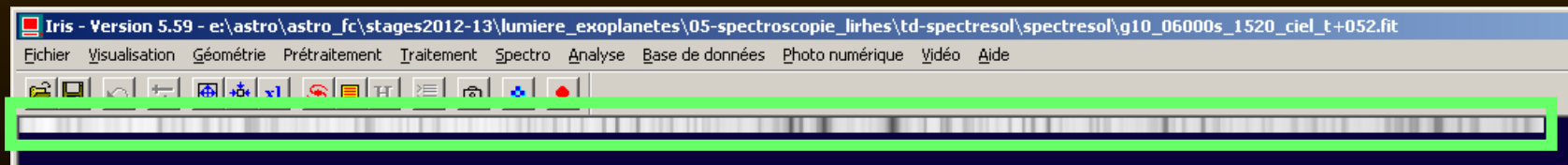
Ceci est facile avec la commande *l_median* qui permet de prendre la médiane de tout le spectre entre deux lignes choisies.

Cette commande reconstruit un spectre de 20 pixels de hauteur avec les valeurs médianes.



Exemple :

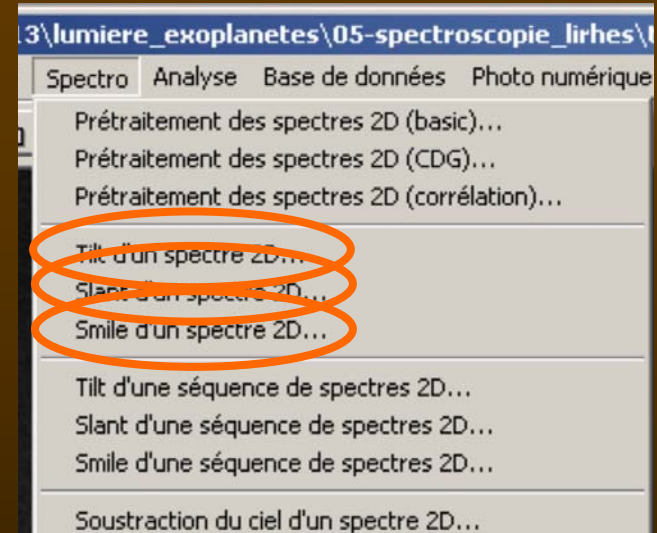
```
Commande
>l_median 820 1040
```



T4 - Extraction de la partie exploitable des spectres

2) Les concepteurs d'IRIS ont construits des outils pour remédier partiellement à plusieurs déformations :

Effet	Dénomination (jargon)
- rotation du spectre	Tilt
- inclinaison des raies du spectres	Slant
- raies courbes	Smile



La rotation, n'est pas à corriger

Quand à l'inclinaison, les raies étant courbes, on est dans le flou.

Il reste à corriger la courbure.

Si l'on donne le bon centre de courbure et le rayon (demandés par la fonction), on aura les raies bien verticales, sauf si la courbure n'est pas constante. Il faudra alors corriger un peu l'inclinaison.



T4 - Extraction de la partie exploitable des spectres

◆ Correction de courbure

On suppose que la même courbure affecte toutes les raies et de plus les centres de courbure des raies sont sur une droite parallèle au bord dont il faudra donner l'ordonnée.

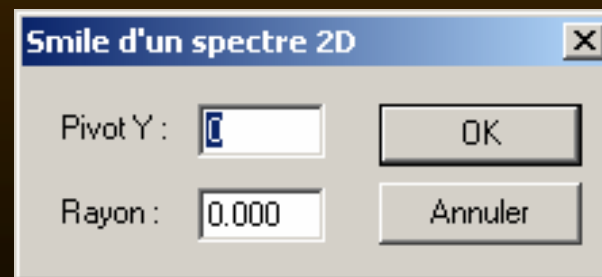
On procède par essais.

- L'ordonnée à repérer est celle où les raies sont tangentes à l'axe vertical.

Valeur à prendre à l'estime.

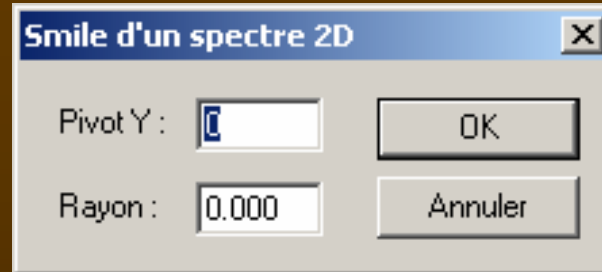
- Rayon ?

La concavité s'ouvrant à la droite des raies, le rayon sera négatif.



T4 - Extraction de la partie exploitable des spectres

- ▶ Correction de courbure correction « smile »



Pivot Y : valeur estimée soit 1360-1370 d'ordonnée.

- Rayon ?

Prendre une valeur de départ de -30000.

Si la courbure résiduelle a diminué, mais reste dans le même sens, c'est que le rayon est trop grand. Si elle s'est inversée, le rayon est trop petit.

Valeurs utilisées : pivot 1360 rayon -15000.

Appliquer ces valeurs aux deux spectres.

Sauver les deux spectres sous de nouveaux noms : *neonc.fit* et *soleilc.fit* (c comme corrigé !)

T4 - Extraction de la partie exploitable des spectres

◆ Extraction et “moyennage” des spectres

Nous n'utiliserons qu'une bande qui sera prise dans la partie la mieux éclairée du spectre.

L'étude des images spectrales montre que le rang 970, un peu en dessous du milieu est le mieux éclairé.

▶ Extraction d'une bande

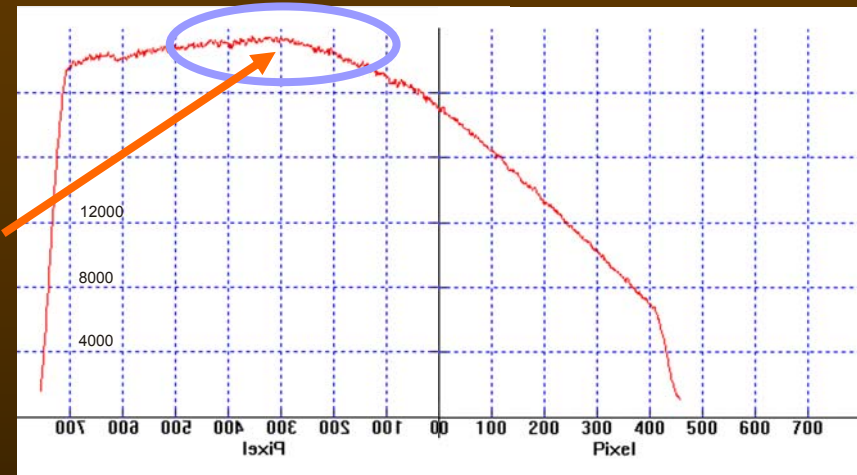
- centré sur l'ordonnée 970
- large de 200 pixels : du rang 871 au rang 1070

par la fonction *I_median* dans la fenêtre de commande :



```
Commande
>I_median 870 1070
```

Coupe dans le sens de la fente



T4 - Extraction de la partie exploitable des spectres

Iris construit un nouveau spectre

- de valeur uniforme en colonne (valeur médiane)
- haut de 20 pixels.



- Sauver ces fichiers nouveaux : *neonb.fit* et *soleilb.fit*

T4 - Extraction de la partie exploitable des spectres



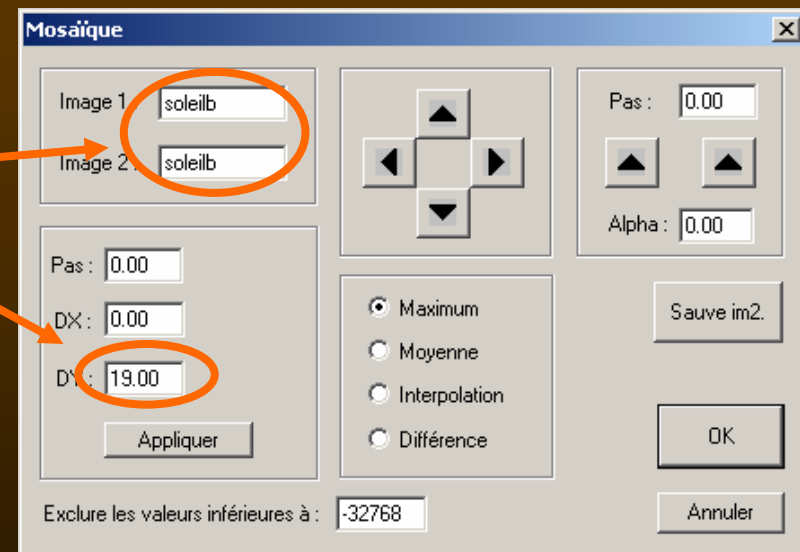
Pour la facilité de lecture, il est avantageux d'élargir le spectre en hauteur, en le doublant puis quadruplant.

► Commande : *Géométrie/Mosaïque*

- même nom de fichier
- Décalage en ordonnées : 19

► Sauver les fichiers élargis

► Recommencer avec le même fichier mais un DY de 38.

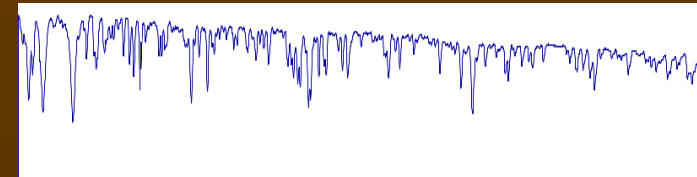


► Sauver de nouveau. A faire pour Soleil et Néon.

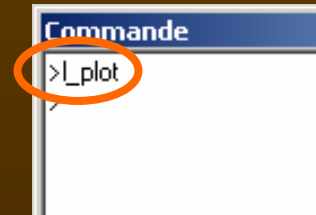
T4 - Extraction de la partie exploitable des spectres

◆ Coupe d'un spectre

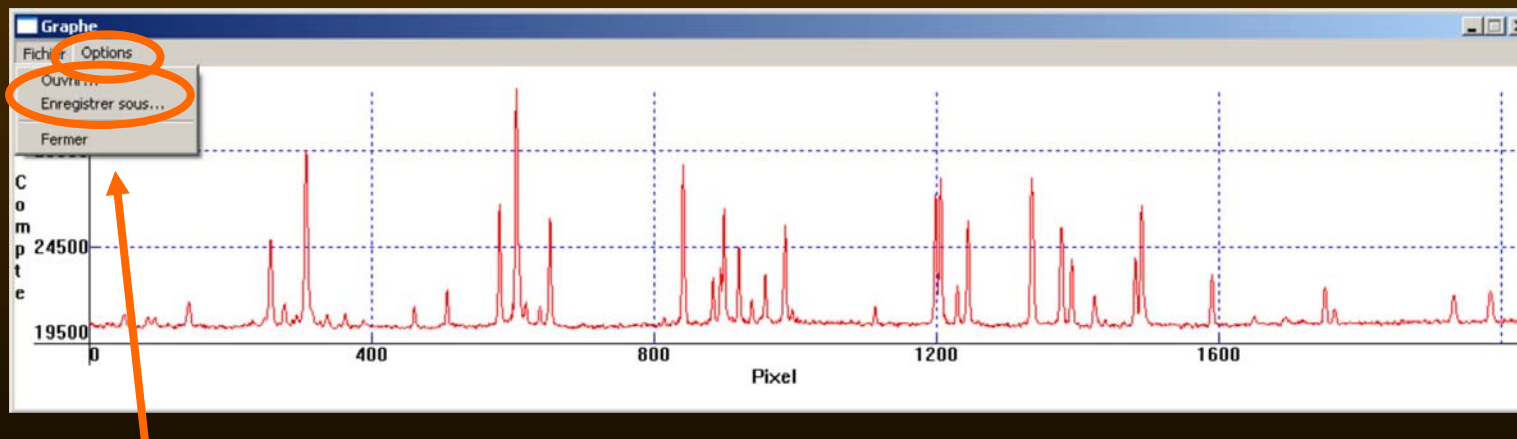
Il est souvent plus facile de lire un spectre en le transformant en un spectre en profil de raies.



► Une commande d'Iris (*l_plot*), permet de faire un fichier des valeurs des pixels et ensuite de la tracer (entier ou en partie) dans un autre programme (Tableur ou autre).



Avec Options, mettre en forme le graphique (quadrillage, repères, etc).



► Enregistrer sous la forme de fichier DAT (ASCII) : *soleil.dat* et *neon.dat*.

T4 - Extraction de la partie exploitable des spectres

◆ Image JPG des spectres.

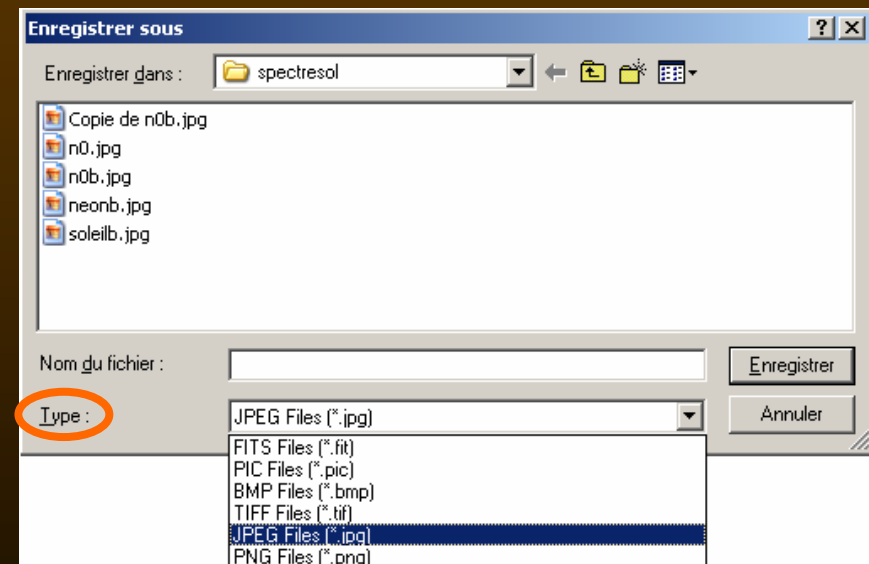
Les utilitaires d'imagerie sous Windows ne connaissent pas les fichiers FIT. Pour visualiser vos spectres, il faut en créer une image JPG, PNG, BMP, GIF ou autre.

▶ Charger votre image à convertir.

▶ Ajuster les niveaux pour avoir un maximum de contraste.

L'image sauvée apparaîtra avec ce contraste codée sur 8 bits, mais vous aurez perdu la dynamique du fichier FIT sur 16 bits.

▶ Soigner cet ajustement et sauver l'image avec le même nom et l'option Type de fichier.

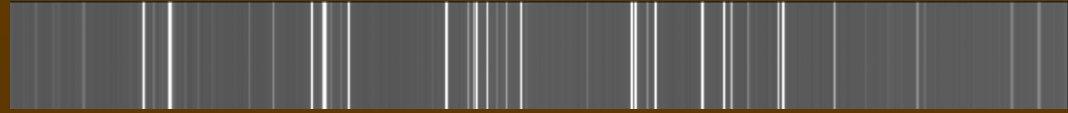


T5 – Identification des raies de l'étalonnage

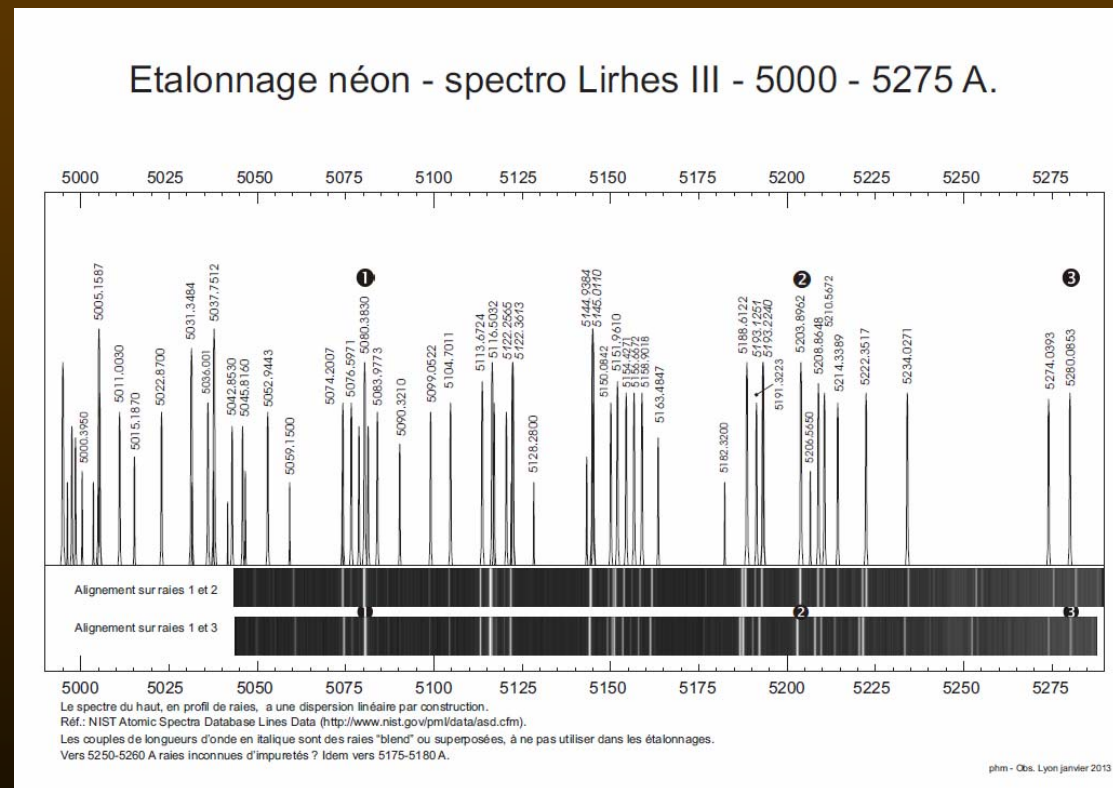


T5 - Identification des raies de l'étalonnage

► Charger le fichier *neonb.fit*



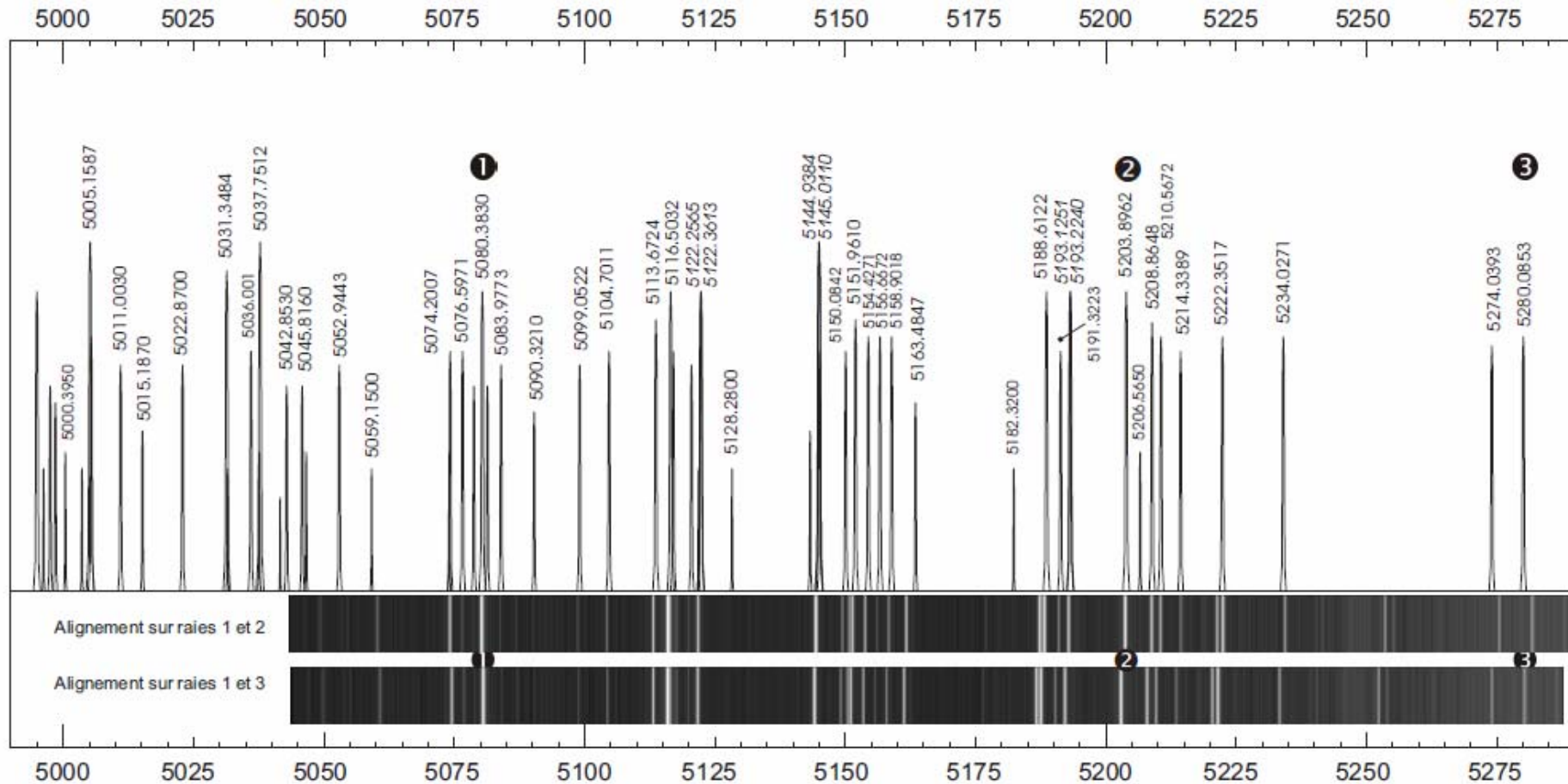
◆ A l'aide de la feuille "Etalonnage Néon - Lirhes III - 5000 - 5275 A"



► repérer les raies du Néon du spectre à identifier.



Etalonnage néon - spectro Lirhes III - 5000 - 5275 A.



Le spectre du haut, en profil de raies, a une dispersion linéaire par construction.

Réf.: NIST Atomic Spectra Database Lines Data (<http://www.nist.gov/pml/data/asd.cfm>).

Les couples de longueurs d'onde en italique sont des raies "blend" ou superposées, à ne pas utiliser dans les étalonnages.

Vers 5250-5260 Å raies inconnues d'impuretés ? Idem vers 5175-5180 Å.

T5 - Mesures des positions des raies

Pour toutes les raies identifiées il faut mesurer leurs positions (en pixels) sur le spectre d'étalonnage.

On pourra alors faire l'ajustement (régression ou ajustement polynomial) entre les positions et les longueurs d'onde.

$$\lambda_{\text{étal}} = f(x_{\text{pos}})$$

Cet ajustement pourra servir alors à calculer les longueurs d'onde du spectre solaire pris dans les mêmes conditions.



T6 – Etalonnage : mesures et ajustement

- ▶ Ouvrir le fichier *spectro_etalonnage.xls*.

On y trouve

- *col. A* toutes les longueurs d'onde du néon qui apparaissent sur la feuille
- *col. B* leur intensité relative

	A	B	C	D	E	F
1	Etalonnage du spectre du Néon					
2	<i>Long. d'onde Neon</i>	<i>Int.</i>		<i>xpos</i>	<i>l lab.</i>	<i>l ca</i>
3	4994.9300	1500		258.454	5074.2007	
4	4996.2090	20				
5	4997.4820	150				
6	4998.5020	100				
7	5000.3950	30				
8	5003.5610	20				

Pour chaque raie dont on a fait l'identification et qui ne soit pas une raie « *blend* » on va mesurer sa position.

- ◆ Inscrire dans
 - la col. D sa position
 - la col. E la longueur d'onde.

T6 – Etalonnage : mesures et ajustement (PSF)

En optique, un point objet donne une image toujours dégradée par la diffraction par les bords de la pupille.

Une étoile ponctuelle devient une « tache d’Airy ».

La forme de cette tache s’appelle la *PSF* (Point Source Function)

Caractérisée par

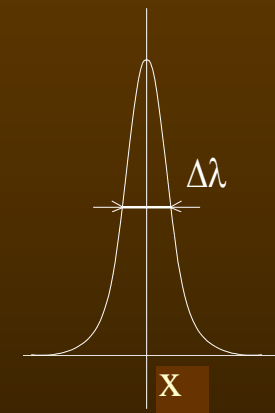
- sa position
- sa largeur à mi-hauteur

La théorie montre que la forme de la courbe est une gaussienne

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

← μ position
← σ largeur

[Voir la gaussienne sous Geogebra.](#)



T6 – Etalonnage : mesures et ajustement (PSF)

En spectrographie, la diffraction agit suivant le sens de la dispersion.
L'image de la fente aura la forme d'une gaussienne.

Raie :

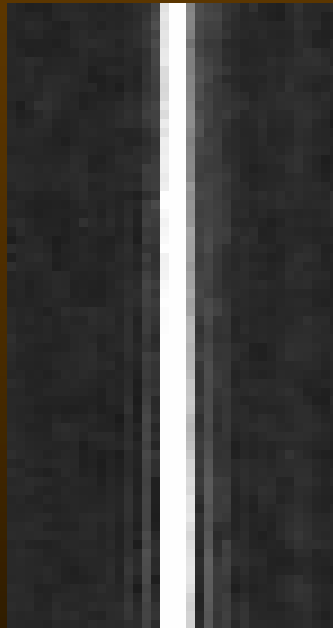
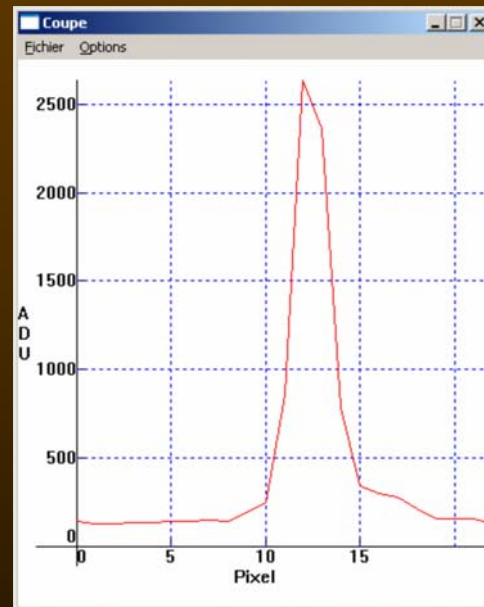
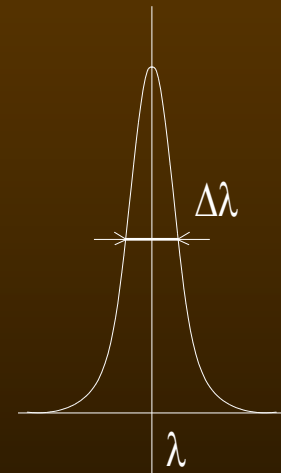


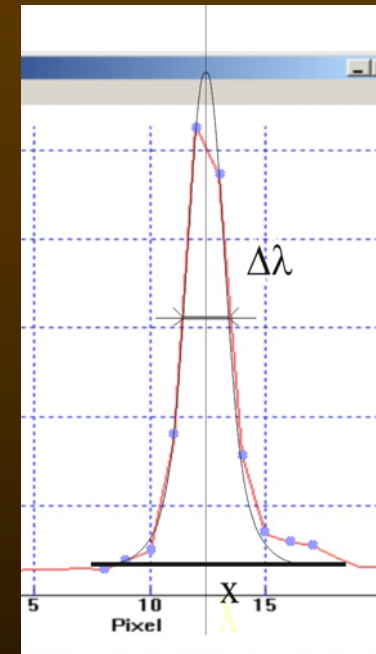
Image spectrale



Profil



Profil gaussien



Profil Ajustement

La mesure en divers points de l'intensité de la tache, par logiciel permet de calculer la position du centre et la largeur à mi-hauteur.

T6 – Etalonnage : mesures et ajustement (PSF)

IRIS possède une fonction affectée à ce calcul :

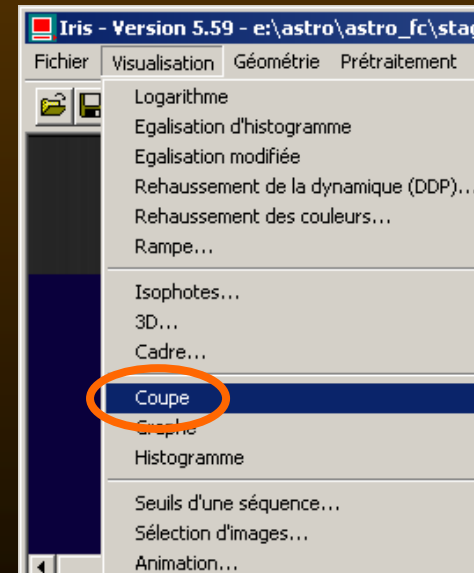
```
>l_pos 1 15
```

Syntaxe : l_pos [flag] [largeur]

(flag=0 -> raie en absorption - flag=1 -> raie en émission)

Mais on peut aussi utiliser la fonction PSF
(bouton droit PSF).

► Vérifier que dans menu *Visualisation*
que l'option « coupe » n'est pas validée.



T6 – Etalonnage : mesures et ajustement (I_pos)

► Mesure de la position d'une raie par PSF (Point Source Function)

- Sélectionner un petit rectangle sur la raie à mesurer à l'aide de la souris en tenant le bouton gauche appuyé.

- Appliquer la commande I_pos.

I_pos 1 30

1 - pour raie en émission

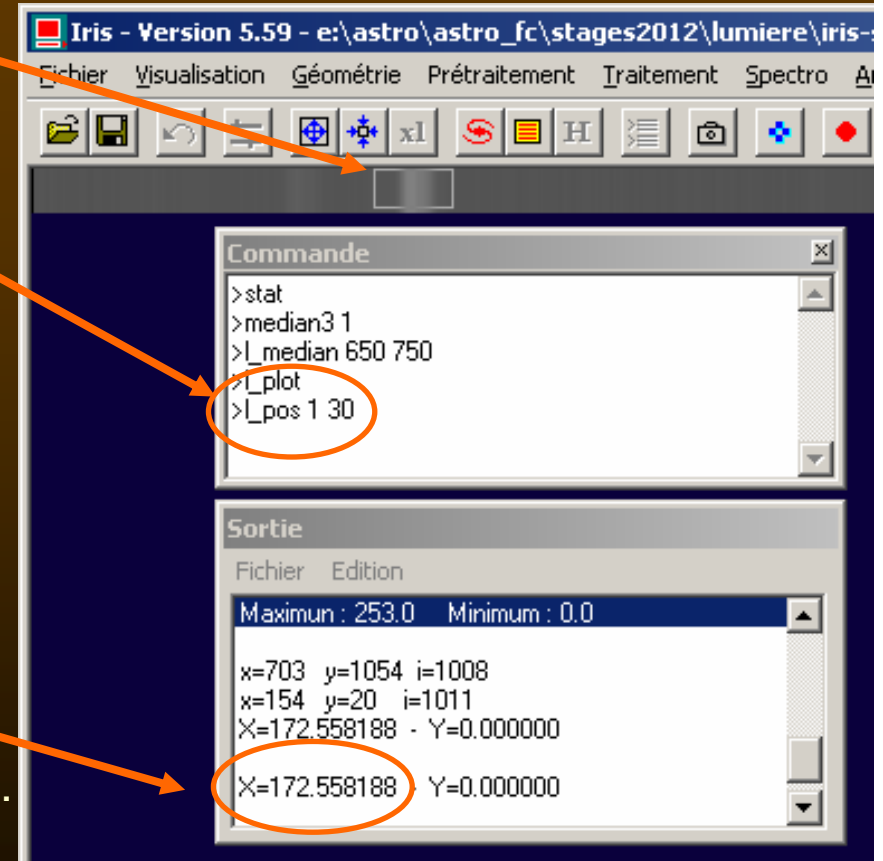
0 - raie en absorption

30 - largeur approximative du rectangle servant au calcul

- Résultat dans la fenêtre « Sortie »

- Valeur à reporter dans la feuille de calcul.

172.558	5037.7512
---------	-----------



► Utiliser la fonction PSF employée sur les images stellaires →

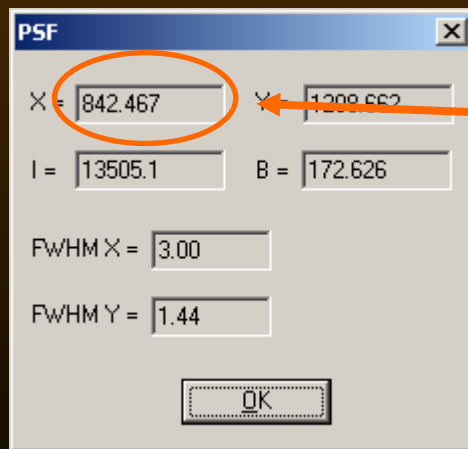
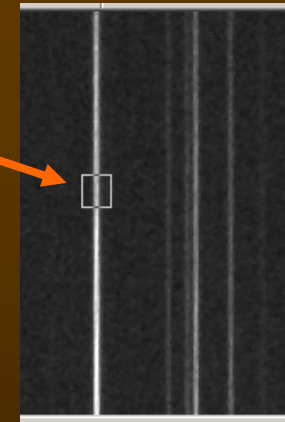
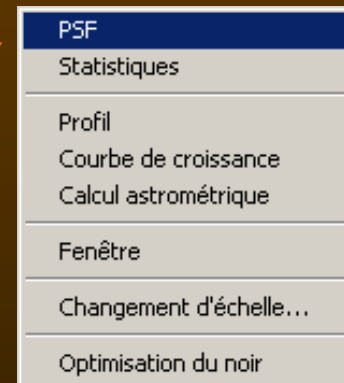
T6 – Etalonnage : mesures et ajustement (PSF)

- Utiliser la fonction PSF employée sur les images stellaires

Sélectionner un rectangle sur la raie à mesurer :

- le pointeur de la souris étant sur le rectangle faire « bouton droit » et choisir dans le menu « PSF ».

- Une fenêtre de résultat s'ouvre



Seul le résultat « X= » nous intéresse.

Le reporter par copier-coller dans la feuille de travail en relation avec la longueur d'onde équivalent.

- Sauver le fichier de mesures

T6 – Etalonnage : mesures et ajustement

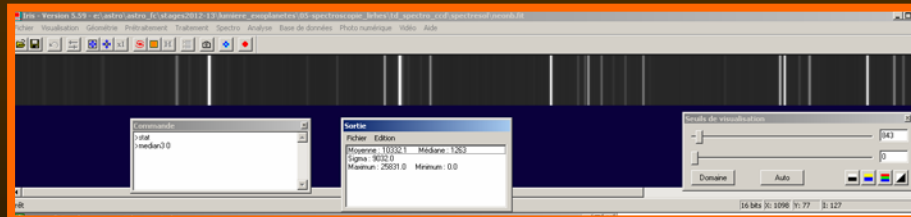
Exemple de mesures.

Le nombre de mesures ne doit pas être trop petit, quitte à éliminer les plus mauvaises après.

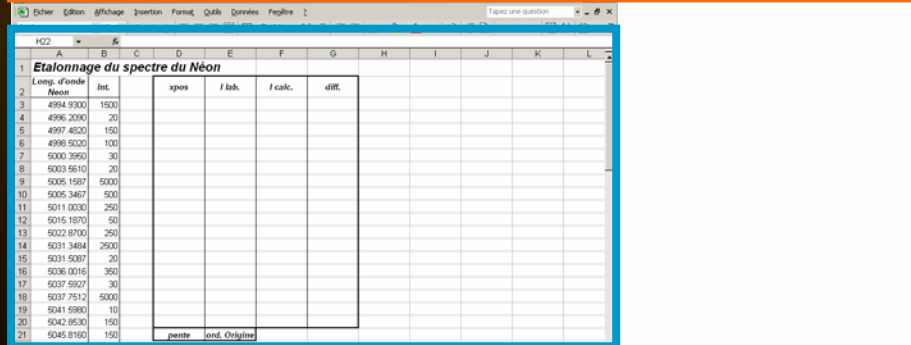
Remarque : organisation pour des mesures pratiques

Pour la commodités des mesures, réduire la fenêtre d'IRIS sur une seule bande en haut de l'écran et réduire la fenêtre du tableur sur la partie libre en dessous.

	D	E
5	<i>I lab.</i>	<i>xpos</i>
6	5074.2007	258.454
7	5080.3830	309.073
8	5099.0522	462.306
9	5104.7011	508.84
10	5113.6724	582.976
11	5116.5032	606.368
12	5150.0842	884.875
13	5151.9610	900.9
14	5163.4847	996.966
15	5191.3223	1230.512
16	5203.8962	1336.559
17	5208.8648	1378.371
18	5210.5672	1392.646
19	5214.3389	1424.864
20	5222.3517	1492.296
21	5234.0271	1591.424
22	5274.0393	1933.499
23	5280.0853	1985.806



Fenêtre IRIS



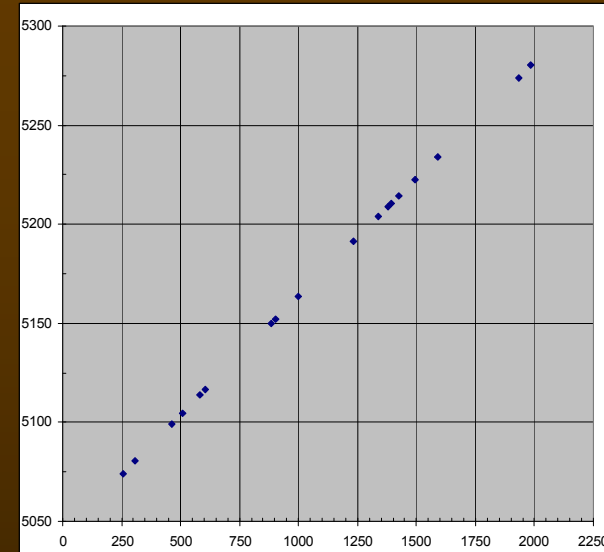
Fenêtre Tableur



T6 – Etalonnage : mesures et ajustement

- ▶ Tracer le graphe des positions – longueurs d’onde.
- ▶ Formater le graphe pour améliorer sa présentation.

La dispersion d’un réseau étant linéaire, la relation qui relie la position des pixels à la longueur d’onde est sensiblement une droite.



- ▶ Ajuster par régression une droite dans ces couples de points (longueur d’onde = fonction(position))

Pente : cellules D25 et ordonnée à l’origine : E25

D25 =PENTE(D6:D23;E6:E23)

E25 =ORDONNEE.ORIGINE(D6:D23;E6:E23)

	D	E
24	<i>pende</i>	<i>ord. Origine</i>
25	0.11932451	5044.07491

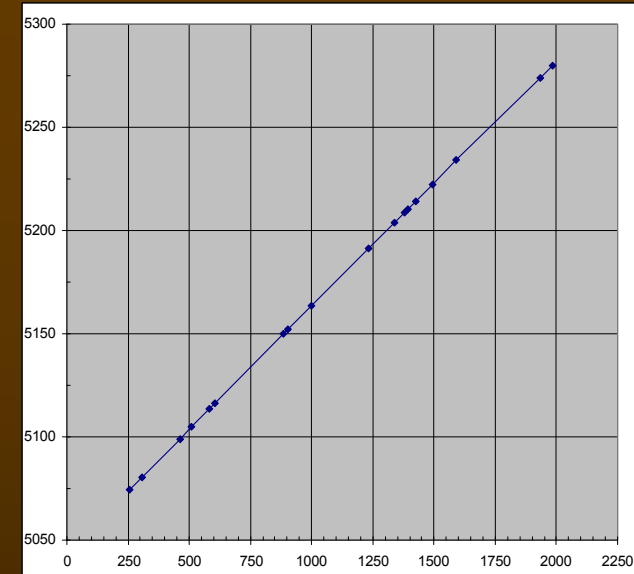
T6 – Etalonnage : ajustement

Qualité de l'ajustement :

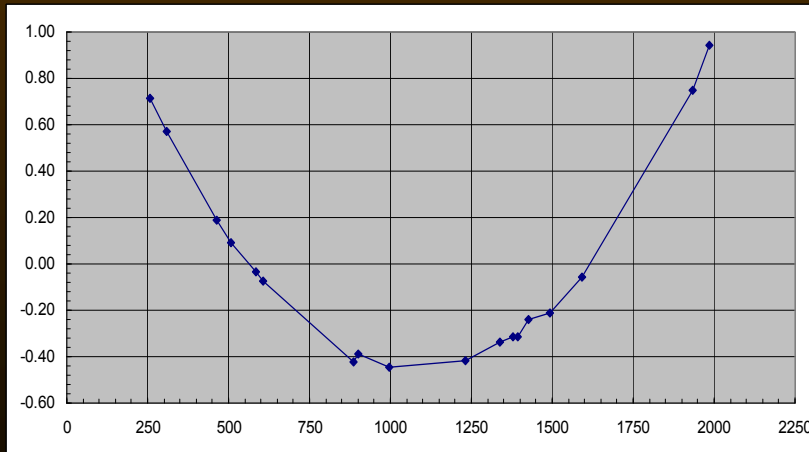
- ▶ Calculer dans la col. F, les longueurs d'onde obtenues par l'application des coefficients de la régression avec les positions mesurées.

$$y = a x + b \quad \lambda = D25 * x_{pos} + E25$$

- ▶ Mettre dans la col. G : col. F- col. D.
- ▶ Faire le graphe Positions raies - Différences



	D	E	F	G
5	<i>l lab.</i>	<i>xpos</i>	<i>l calc.</i>	<i>diff.</i>
6	5074.2007	258.454	5074.9148	0.7141
7	5080.3830	309.073	5080.95489	0.5719
8	5099.0522	462.306	5099.23934	0.1871
9	5104.7011	508.84	5104.79199	0.0909
10	5113.6724	582.976	5113.63823	-0.0342
11	5116.5032	606.368	5116.42947	-0.0737
12	5150.0842	884.875	5149.66218	-0.4220
13	5151.9610	900.9	5151.57436	-0.3866
14	5163.4847	996.966	5163.03739	-0.4473
15	5191.3223	1230.512	5190.90515	-0.4172
16	5203.8962	1336.559	5203.55916	-0.3370
17	5208.8648	1378.371	5208.54835	-0.3164
18	5210.5672	1392.646	5210.25171	-0.3155
19	5214.3389	1424.864	5214.09611	-0.2428
20	5222.3517	1492.296	5222.1424	-0.2093
21	5234.0271	1591.424	5233.9708	-0.0563
22	5274.0393	1933.499	5274.78873	0.7494
23	5280.0853	1985.806	5281.03024	0.9449



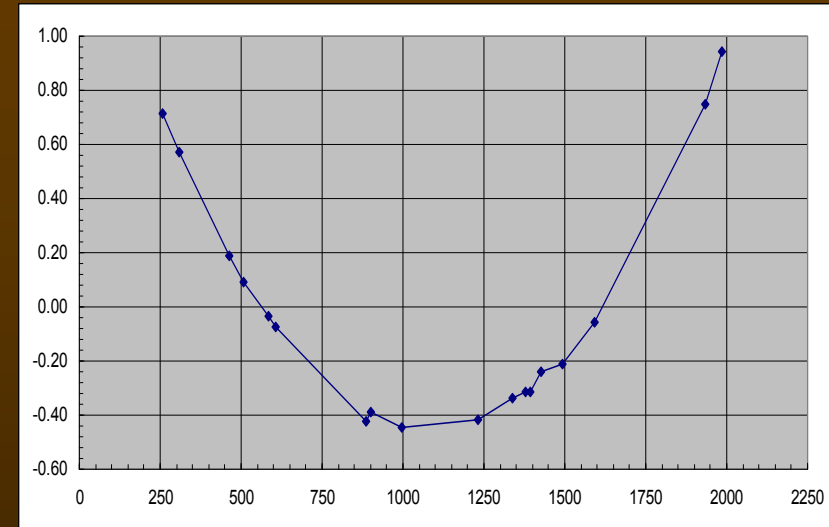
T6 – Etalonnage : ajustement polynômial

Le graphe montre que l'ajustement n'est pas très.

Il présente une déformation non aléatoire par rapport à une droite.

La forme est proche d'une parabole.

- ▶ Ajuster les couples par une parabole.



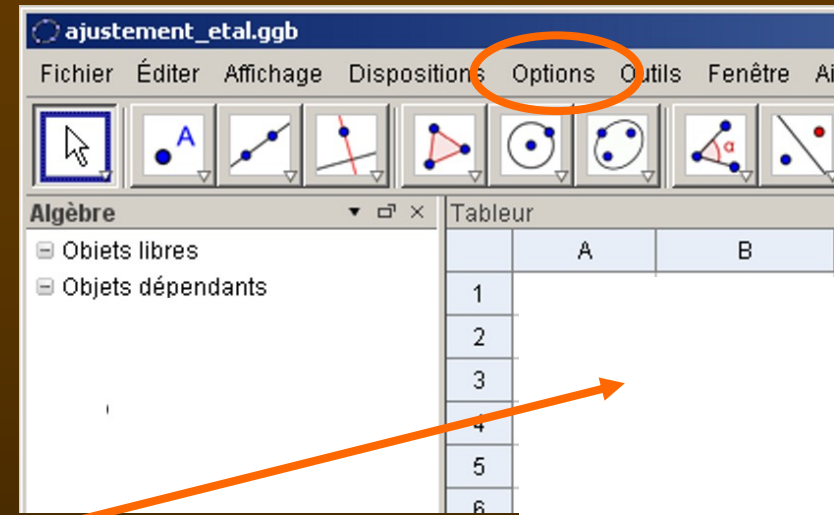
Excel n'est pas très pratique pour les ajustement polynomiaux.

- ▶ Ouvrir Geogebra



T6 – Etalonnage : ajustement polynômial

► Dans les Options / Arrondi mettre 15 décimales.



► Copier les couples de données,
► les recopier dans le tableur de Geogebra.

Positions : col. A

Lambdas : col. B

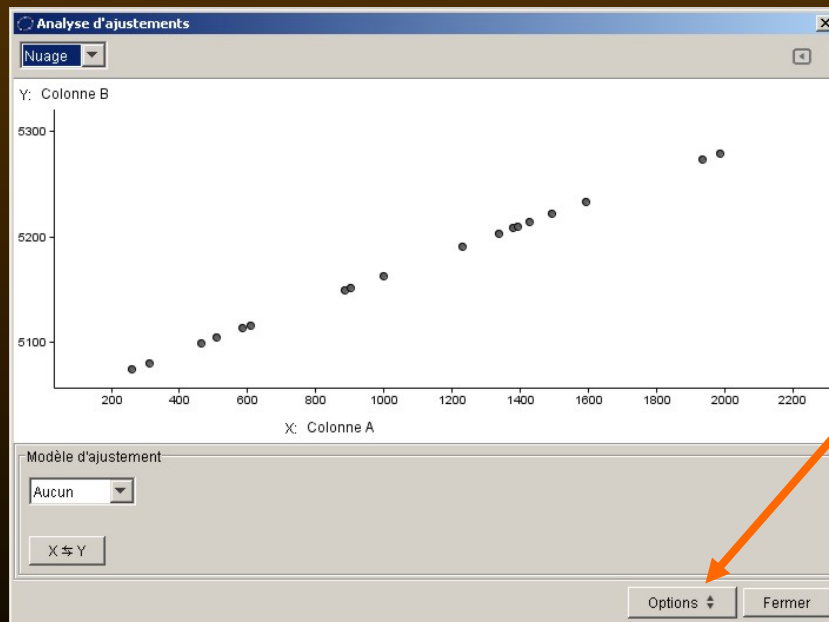
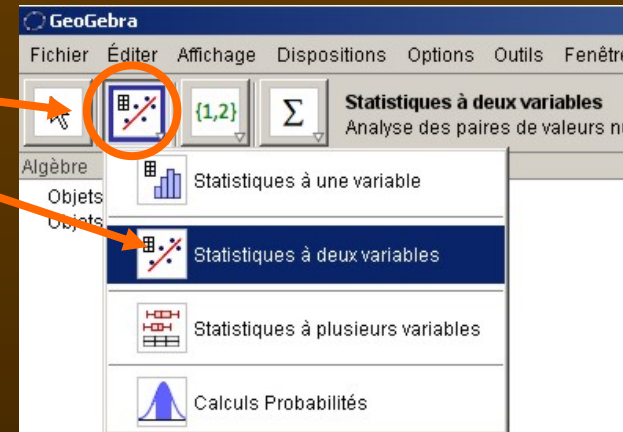
xpos	l lab.
258.454	5074.2007
309.073	5080.3830
462.306	5099.0522
508.84	5104.7011
582.976	5113.6724
606.368	5116.5032
884.875	5150.0842
900.9	5151.9610
996.966	5163.4847
1230.512	5191.3223
1336.559	5203.8962
1378.371	5208.8648
1392.646	5210.5672
1424.864	5214.3389
1492.296	5222.3517
1591.424	5234.0271
1933.499	5274.0393
1985.806	5280.0853

	A	B
1	258.45	5074.2007
2	309.07	5080.383
3	462.31	5099.0522
4	508.84	5104.7011
5	582.98	5113.6724
6	606.37	5116.5032
7	884.88	5150.0842
8	900.9	5151.961
9	996.97	5163.4847
10	1230.51	5191.3223
11	1336.56	5203.8962
12	1378.37	5208.8648
13	1392.65	5210.5672
14	1424.86	5214.3389
15	1492.3	5222.3517
16	1591.42	5234.0271
17	1933.5	5274.0393
18	1985.81	5280.0853

T6 – Etalonnage : ajustement polynômial

- ▶ Sélectionner l'ensemble des couples des colonnes A et B dans Geogebra.
- ▶ Ouvrir le menu *Statistique*
- ▶ Choisir *Statistiques à deux variables*.

Le graphe des points s'affiche.

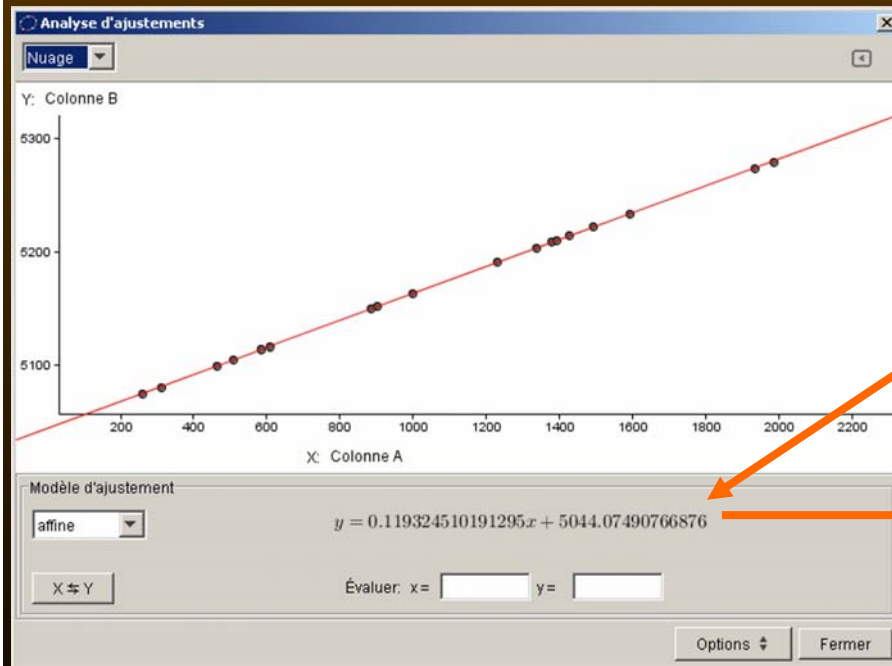
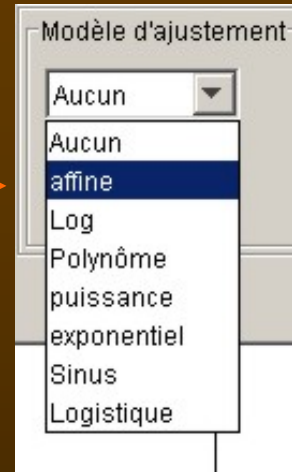


- ▶ En option, mettre 15 décimales d'Arrondi
- ▶ Retrouver la droite de régression en choisissant dans le *Modèle d'ajustement*

T6 – Etalonnage : ajustement polynômial

Choix du Modèle d'ajustement :

le modèle *affine*.



La droite se trace.

son équation apparaît sous le graphe.

$$y = 0.119324510191295x + 5044.07490766876$$

T6 – Etalonnage : ajustement polynômial

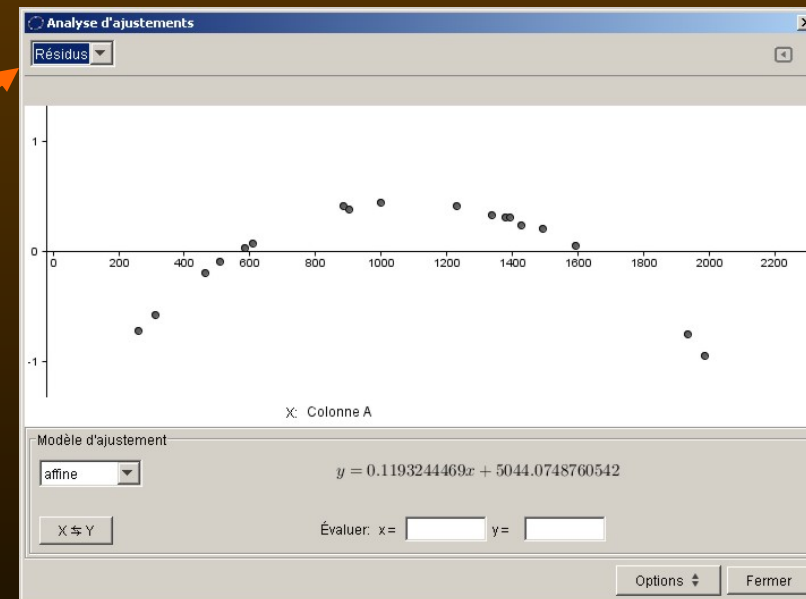
- Visualiser le mode *Résidus*



Le graphique des résidus s'affiche.

On retrouve le graphique d'Excel.

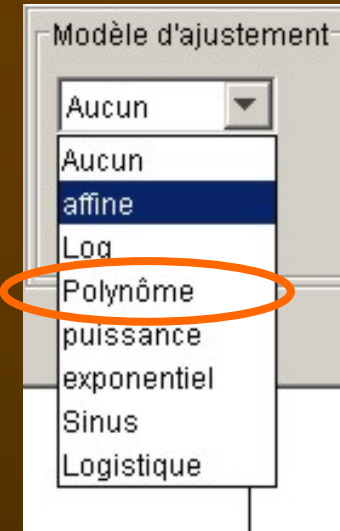
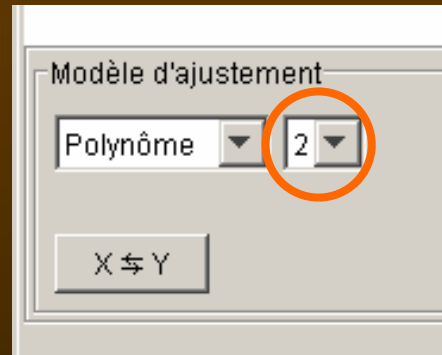
- Revenir au graphique *Nuage*



T6 – Etalonnage : ajustement polynômial

- Choisir le Modèle d'ajustement : Polynôme

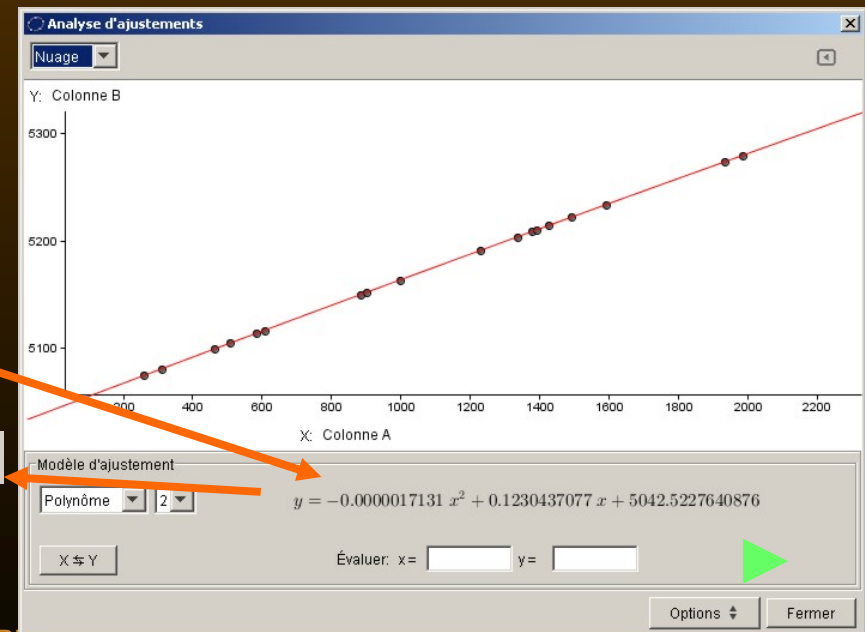
et degré 2.



Le graphique s'affiche

L'équation de la parabole est :

$$y = -0.000001713309982 x^2 + 0.123044221214225 x + 5042.522607950865$$

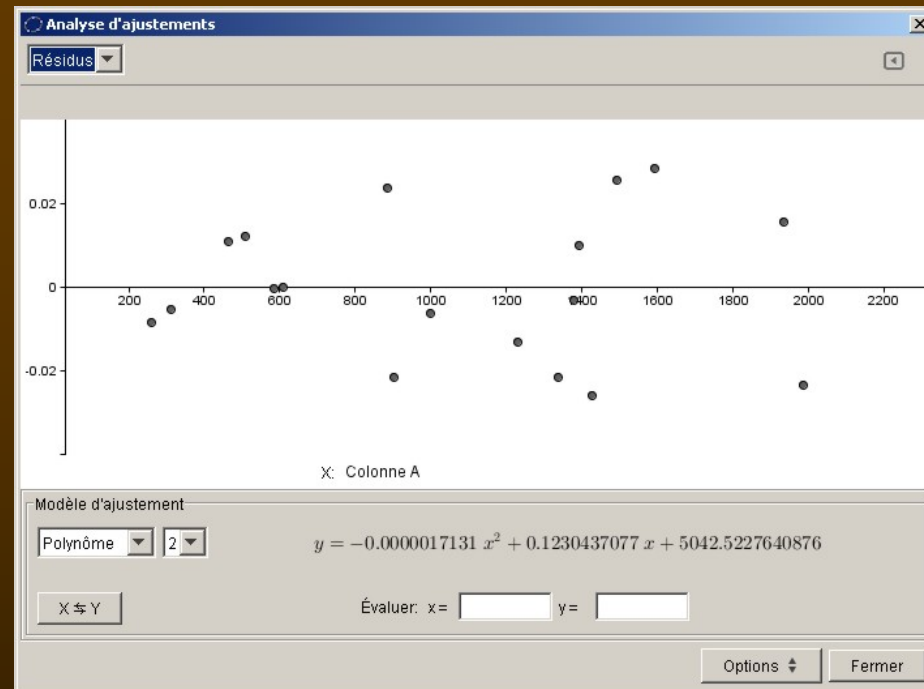


T6 – Etalonnage : ajustement polynômial

- Visualiser les résidus

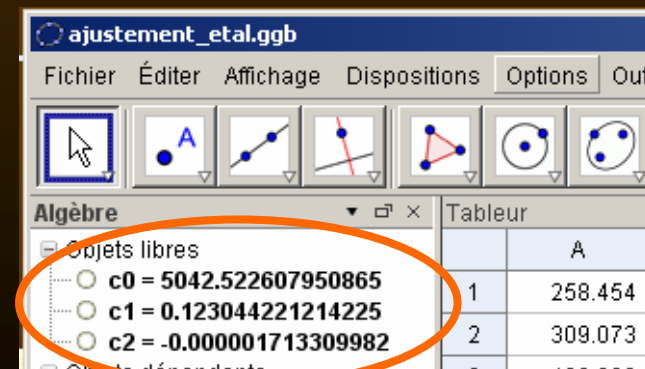
Les valeurs sont devenues très petites :
0.02 Å maximum d'amplitude.

- Revenir à la fenêtre *Nuage*.



- Dans la fenêtre de saisie, créer les objets coefficients du polynôme :

$c_0 = 5042.52607950865$
 $c_1 = 0.1230344221214225$
 $c_2 = 0.000001713309982$



T6 – Etalonnage : ajustement polynômial

- ▶ Dans la col. C du tableur calculer les longueurs d'onde correspondantes aux positions (col. A) avec l'ajustement correspondant à :

$$y = c0 + c1 x + c2 x^2$$

avec les valeurs de la col. A pour x.

Syntaxe de la cellule C1 : = c0+c1*A1+c2*A1^2

- ▶ Et dans la col. D faire les différences col. C – col. B
- ▶ Calculer l'écart type de ces résidus.

syntaxe geogebra : $\sigma = \text{EcartType}[D1:D18]$

	A	B	C	D
1	258.454	5074.2007		
2	309.073	5080.383		
3	462.306	5099.0522		
4	508.84	5104.7011		
5	582.976	5113.6724		
6	606.368	5116.5032		
7	884.875	5150.0842		
8	900.9	5151.961		
9	996.966	5163.4847		
10	1230.512	5191.3223		
11	1336.559	5203.8962		
12	1378.371	5208.8648		
13	1392.646	5210.5672		
14	1424.864	5214.3389		
15	1492.296	5222.3517		
16	1591.424	5234.0271		
17	1933.499	5274.0393		
18	1985.806	5280.0853		

T6 – Etalonnage : ajustement polynômial

- ▶ Dans la col. C du tableur calculer les longueurs d'onde correspondantes aux positions (col. A) avec l'ajustement correspondant à :

$$y = c0 + c1 x + c2 x^2$$

avec les valeurs de la col. A pour x.

Syntaxe de la cellule C1 : = c0+c1*A1+c2*A1^2

- ▶ Et dans la col. D faire les différences col. C – col. B
- ▶ Calculer l'écart type de ces résidus.

syntaxe geogebra : $\sigma = \text{EcartType}[D1:D18]$

	A	B	C	D
1	258.454	5074.2007	5074.2094	0.0087
2	309.073	5080.383	5080.3886	0.0056
3	462.306	5099.0522	5099.0405	-0.0117
4	508.84	5104.7011	5104.6888	-0.0123
5	582.976	5113.6724	5113.6722	-0.0002
6	606.368	5116.5032	5116.5027	-0.0005
7	884.875	5150.0842	5150.0598	-0.0244
8	900.9	5151.961	5151.9826	0.0216
9	996.966	5163.4847	5163.4906	0.0059
10	1230.512	5191.3223	5191.3358	0.0135
11	1336.559	5203.8962	5203.9178	0.0216
12	1378.371	5208.8648	5208.8681	0.0033
13	1392.646	5210.5672	5210.5568	-0.0104
14	1424.864	5214.3389	5214.3655	0.0266
15	1492.296	5222.3517	5222.3256	-0.0261
16	1591.424	5234.0271	5233.999	-0.0281
17	1933.499	5274.0393	5274.0235	-0.0158
18	1985.806	5280.0853	5280.1083	0.023

T6 – Etalonnage : ajustement polynômial

Précision de calcul de vitesses radiales

Dans le domaine étudié vers 5200 Å nous mesurons de longueurs d'onde pour calculer leur décalage et en déduire la vitesse radiale de l'objet.

$$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c} \quad \frac{\Delta \lambda}{\lambda_0} = \frac{\Delta v}{c}$$

Si l'on estime que l'erreur ne dépasse pas 1.5σ , nous arrivons à un Δv de ± 1.5 km/s.



T7 – Mesures et identification des raies solaires

◆ Mesures

En possession d'une courbe d'étalonnage, il faut passer au spectre du Soleil (ou de l'étoile).

▶ Appliquer le protocole :

- mesurer les positions avec soins les raies du spectre du Soleil

Se servir de la commande ***l_pos*** pour mesurer la position.

- reporter la position dans le tableur (Excel ou Geogebra)
- calculer les longueurs d'onde en appliquant le polynôme d'étalonnage



T7 – Mesures et identification des raies solaires

◆ Identifications

Prendre un catalogue de raies et à la précision des mesures, repérer les éléments et les longueurs d'onde susceptibles d'être identifiées avec la raie étudiée.

Utiliser le catalogue de Moore disponible au CDS (Centre de Données Stellaires) de Strasbourg.

VI/71A Revised version of the ILLSS Catalogue (Coluzzi 1993-1999)
Révision de *Identification List of Lines in Stellar Spectra* (Moore 1959)

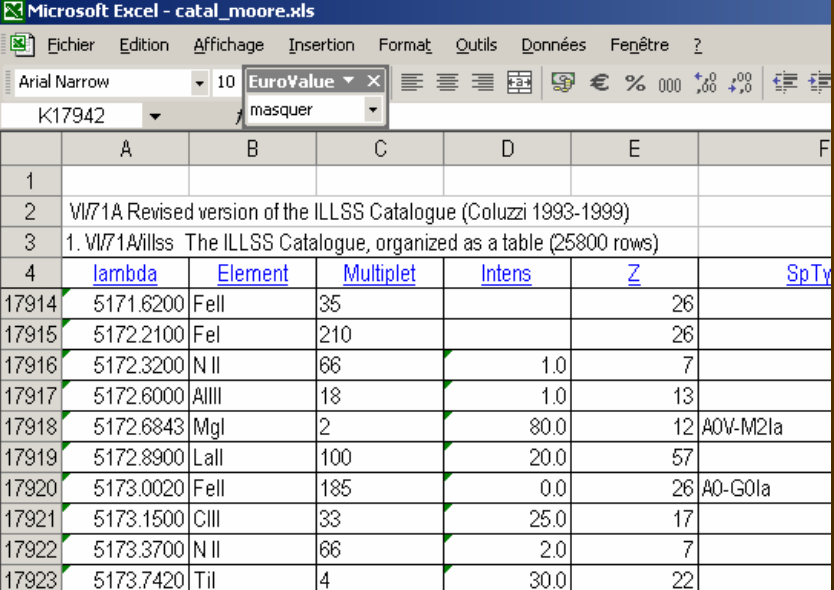
Pour le construire et télécharger : <http://vizier.u-strasbg.fr/cgi-bin/VizieR?-source=VI/71A/illss>

▶ Prendre le document stage - fichier : *catal_moore.xls*

T7 – Mesures et identification des raies solaires

◆ Identifications

▶ Pour chaque raie mesurée faire un copier-coller des données des raies des éléments dont la valeur est proche de la longueur d'onde trouvée par l'ajustement.



	A	B	C	D	E	F
1						
2	VW71A Revised version of the ILLSS Catalogue (Coluzzi 1993-1999)					
3	1. VW71A/illss The ILLSS Catalogue, organized as a table (25800 rows)					
4	<u>lambda</u>	<u>Element</u>	<u>Multiplet</u>	<u>Intens</u>	<u>Z</u>	<u>SpTy</u>
17914	5171.6200	FeII	35		26	
17915	5172.2100	Fel	210		26	
17916	5172.3200	N II	66	1.0	7	
17917	5172.6000	AlIII	18	1.0	13	
17918	5172.6843	MgI	2	80.0	12	A0V-M2Ia
17919	5172.8900	LaI	100	20.0	57	
17920	5173.0020	FeII	185	0.0	26	A0-G0Ia
17921	5173.1500	CIII	33	25.0	17	
17922	5173.3700	N II	66	2.0	7	
17923	5173.7420	TiI	4	30.0	22	

Ne copier que les données des col. A, B et C.



T7 – Mesures et identification des raies solaires

◆ Exemple de feuille de calcul

Coefficients de l'ajustement

	A	B	C	D	E
1		C0	C1	C2	
2		5042.52261	0.123044221	-1.7133E-06	
3					
4					
5	987.334	5162.33817	5162.2880	Fel	1089
6			5162.3400	CIII	33
7			5162.3800	Fel	210
8			5162.4700	GdII	140
9			5162.5300	CrI	15
10					
11	1029.773	5167.41338	5167.2800	Lall	95
12			5167.3216	Mgl	2
13			5167.4910	Fel	37
14			5167.7000	Fel	717
15			5167.9600	CrI	207

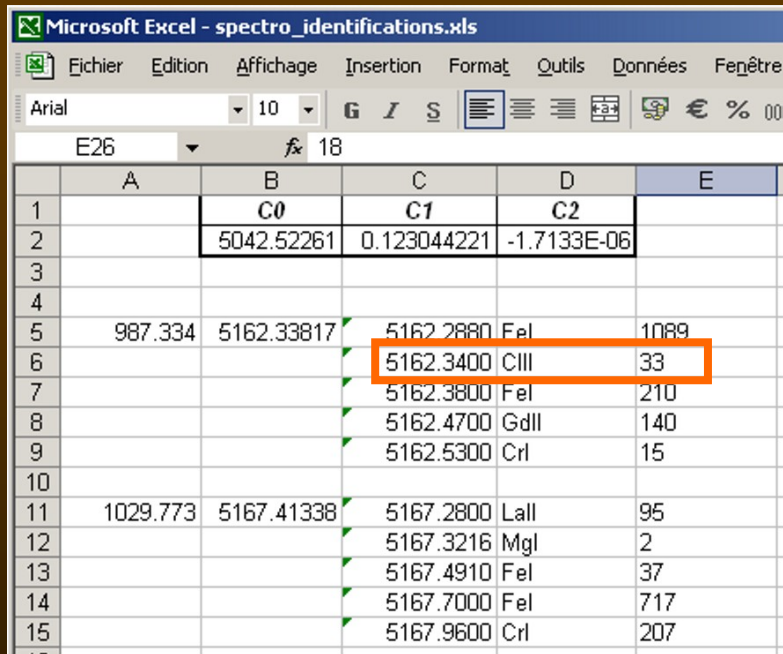
Copier-coller du catalogue des raies proches de la longueur d'onde calculée.

Mesures de positions

Longueurs d'onde calculées

T7 – Mesures et identification des raies solaires

◆ Exemple de feuille de calcul



	A	B	C	D	E
1		C0	C1	C2	
2		5042.52261	0.123044221	-1.7133E-06	
3					
4					
5	987.334	5162.33817	5162.2880	Fel	1089
6			5162.3400	CIII	33
7			5162.3800	Fel	210
8			5162.4700	GdIII	140
9			5162.5300	CrI	15
10					
11	1029.773	5167.41338	5167.2800	Lall	95
12			5167.3216	MgI	2
13			5167.4910	Fel	37
14			5167.7000	Fel	717
15			5167.9600	CrI	207

- Calculer les décalages entre des longueurs d'onde calculées et les longueurs d'onde catalogues.

- Eliminer les trop grands décalages.

La présence de plusieurs raies d'un même multiplet accroît la probabilité d'une bonne identification.

◆ Les identifications retenues sont fonction du type spectral de l'objet, étoiles chaudes avec éléments ionisés, objets froids avec peu d'éléments ionisés.

Dans l'exemple ci-dessus, CIII à 5162.34 Å peut être éliminée d'office.



FIN