

Introduction à la spectroastronomie

Jean-Jacques Broussat



Spectro-vacances : OHP 2013



Spectro-vacances : OHP 2013



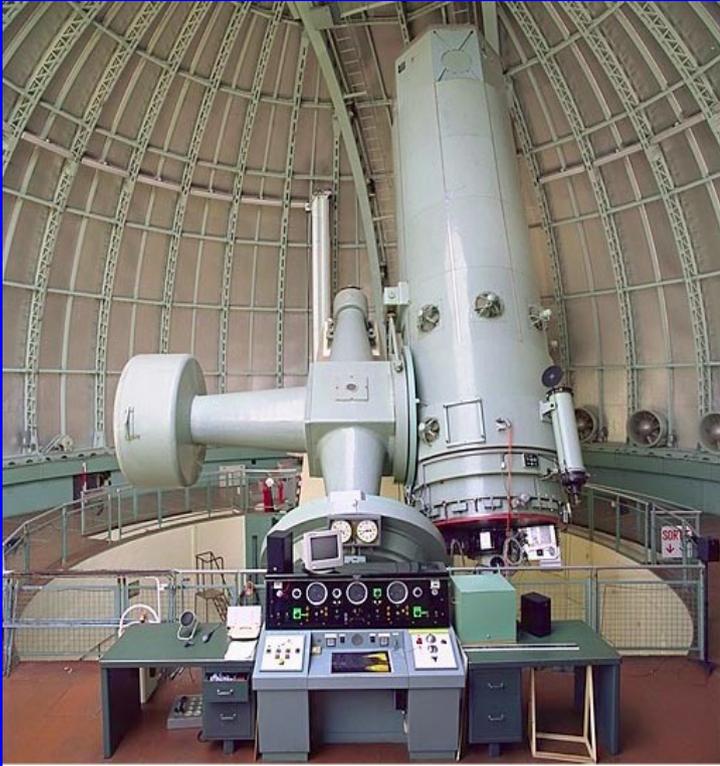
Spectro-vacances : OHP 2013



Spectro-vacances : stage OHP 2013



Spectro-vacances : stage OHP 2013



T 193

1995 : Découverte de la 1ère exoplanète

51 Pegasi b

Avec le spectroscopie ELODIE
par la méthode des vitesses radiales



Spectro-vacances : stage OHP 2013



T 152 avec le spectrographe AURELIE

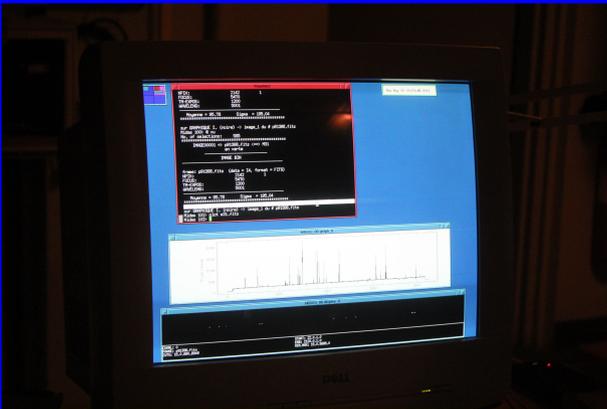
Spectro-vacances : stage OHP 2013



Les réseaux

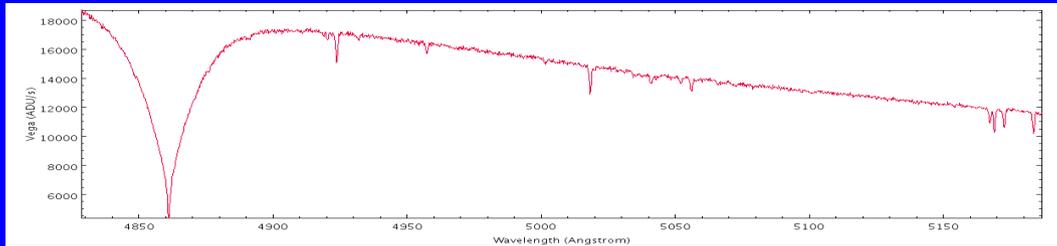


La salle de contrôle

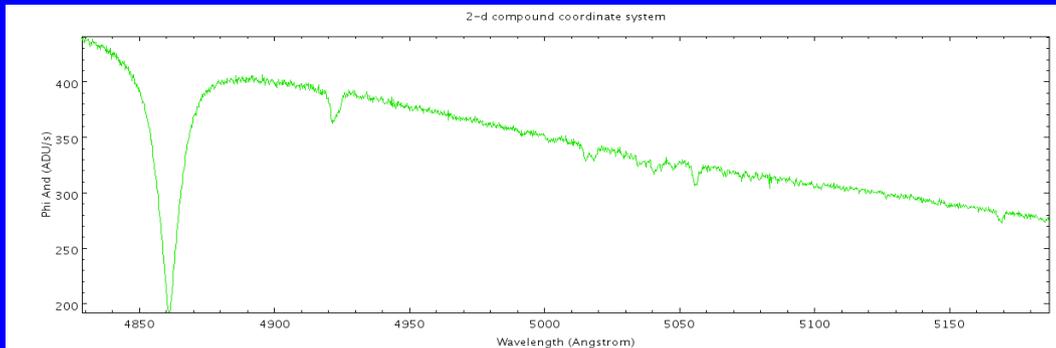


Un écran de contrôle

Spectro-vacances : stage OHP 2013



Vega
H β très large car chaude (9500K)



WR 136
Wolf-Rayet de type N
T= 70800K



Pourquoi la spectroastronomie ?

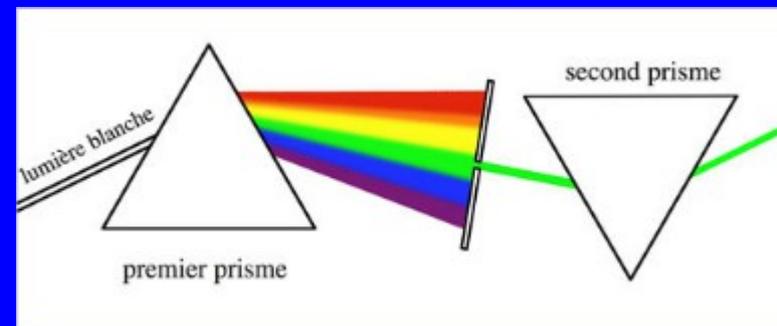
- L'astronomie est une science basée sur l'analyse de la lumière
- La spectroscopie est un élément clé dans ce process pour révéler les processus physiques et chimiques qui forment, structurent et font évoluer l'Univers.
- Il est plus facile de faire un spectre qu'une jolie photo
- Tout le monde fait des photos, peu font des spectres



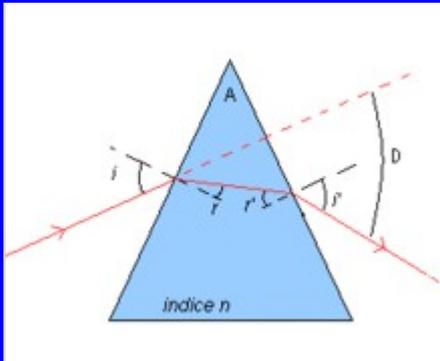
Principe de la spectroscopie



Newton - 1665



Prisme



Source : Wikipedia

$$\sin i = n \sin r$$

n : indice de réfraction

Loi de Cauchy : indice de réfraction varie selon la longueur d'onde

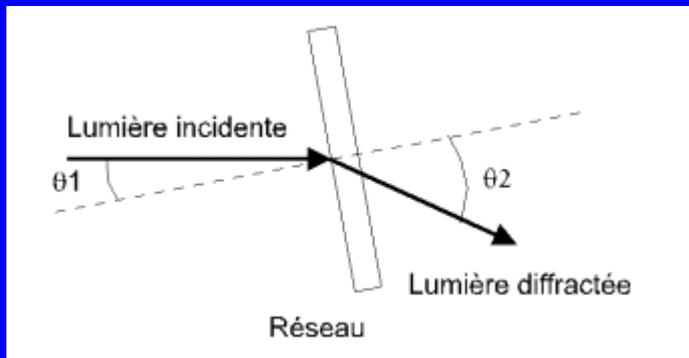
$$n(\lambda) = a + b/\lambda^2$$

Le bleu est plus dévié que le rouge : non linéaire

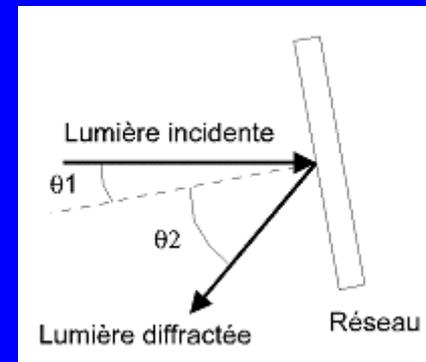


Réseau

Réseau de fentes ou rayures parallèles
Réseau par réflexion ou par transmission
Ex : CD ou DVD face à une lumière



Source : Ch. Buil



Source : Ch. Buil

Formule des réseaux :

$$\sin\theta_2 = k.n.\lambda - \sin\theta_1$$

k : ordre : ..., -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, ...

n : nombre de traits gravés par mm

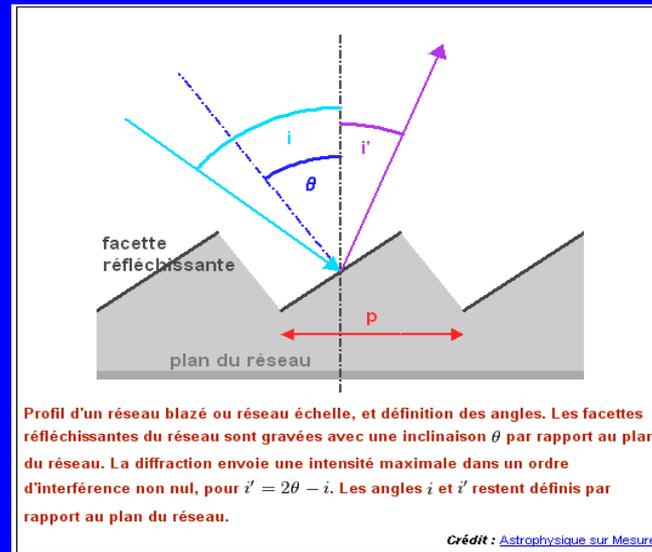
si $\theta_1 = 0$: $\sin\theta_2 = k.n.\lambda$

ordre 0 : toutes les longueurs d'onde ensemble

Introduction à la spectroastronomie 22-nov-2013



Réseau blazé

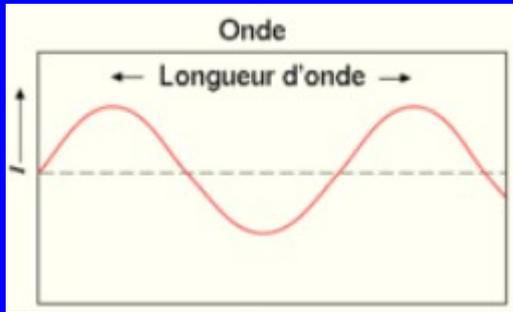


Un réseau blazé envoie le flux dans un ordre d'interférence non nul

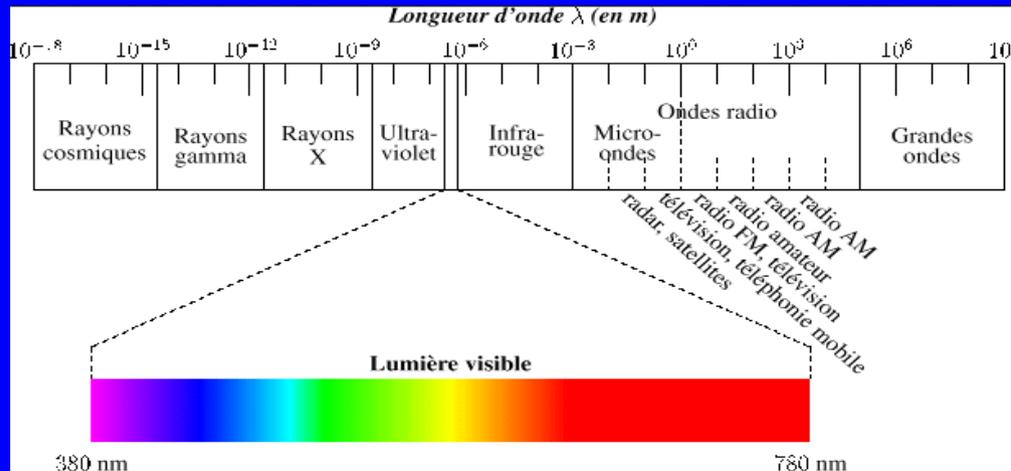
Ex : ordre 1 pour le SA, l'Alpy 600

Une onde

Théorie ondulatoire de la lumière (Huygens en 1690)



La lumière est une partie du spectre électromagnétique (Maxwell 1873)



Des particules

Photons :

Particule d'énergie élémentaire échangée lors de l'absorption ou de l'émission de lumière par la matière.

Théorie des quanta :

1900, ... Planck, Einstein, Bohr, ...

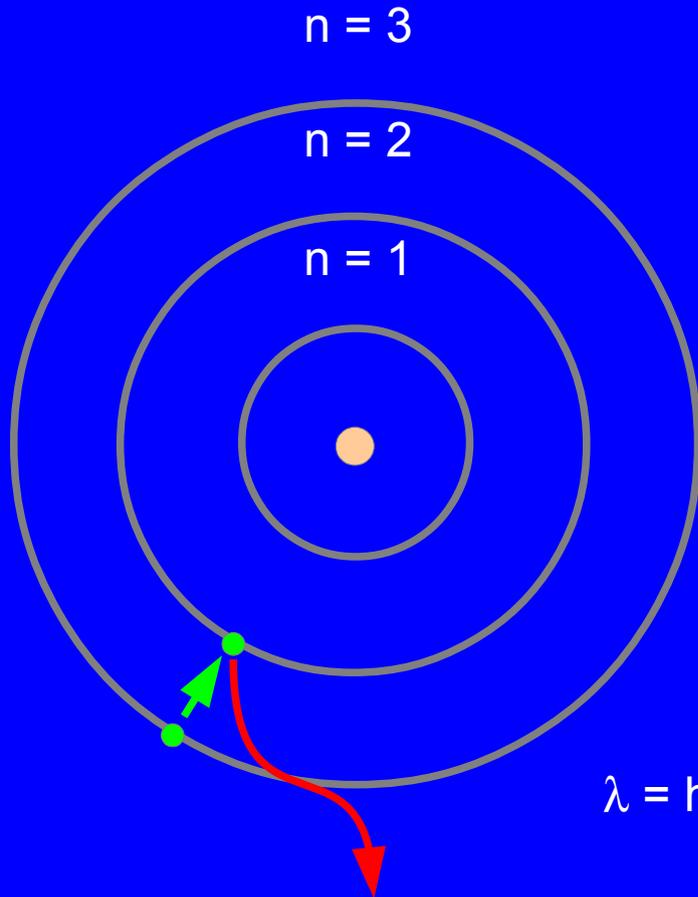
L'électron tourne sur des orbites définies (quantification des niveaux d'énergie)

L'électron peut changer d'orbite en perdant de l'énergie, en émettant un photon, pour se rapprocher du noyau

L'électron peut recevoir l'énergie d'un photon. Alors il s'éloigne du noyau en changeant d'orbite



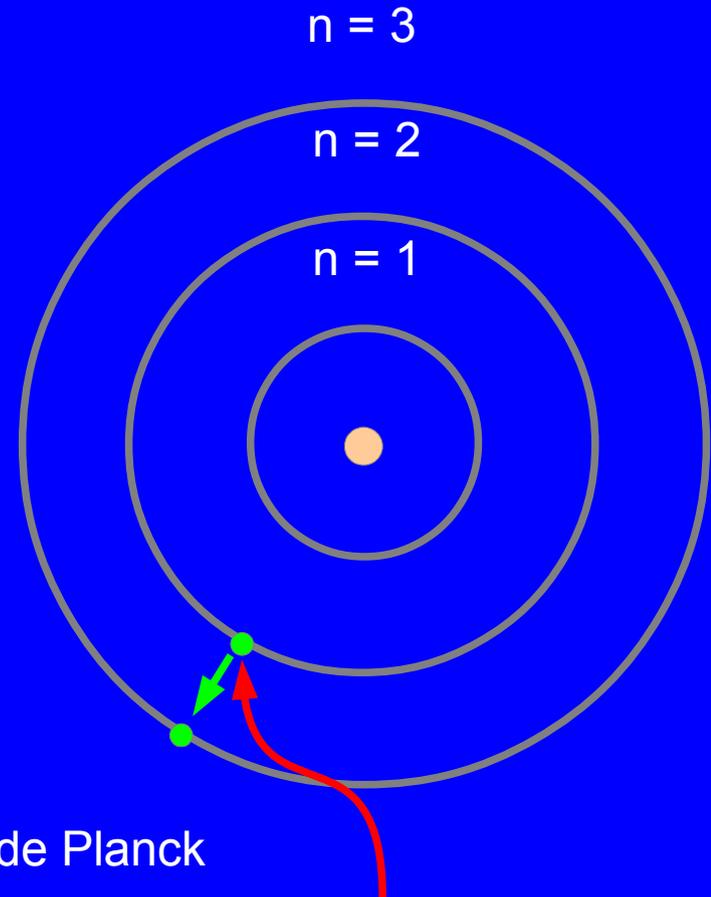
électrons et photons



Emission d'un photon

$$\lambda = hc/\Delta E$$

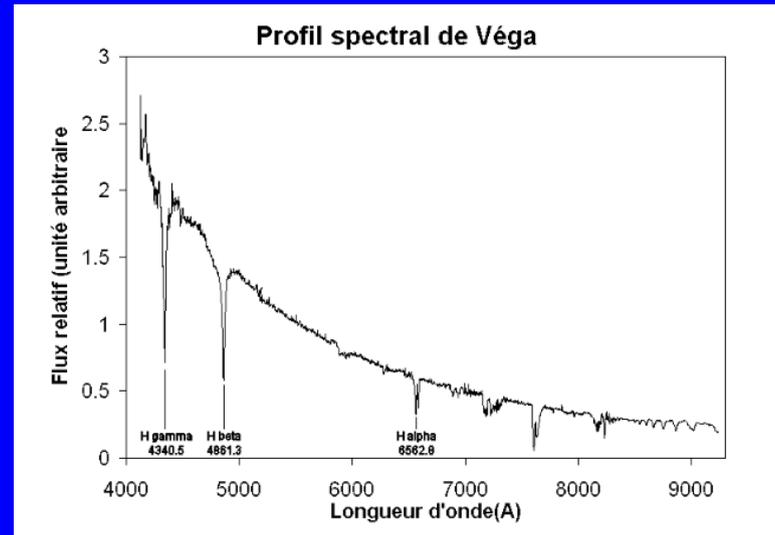
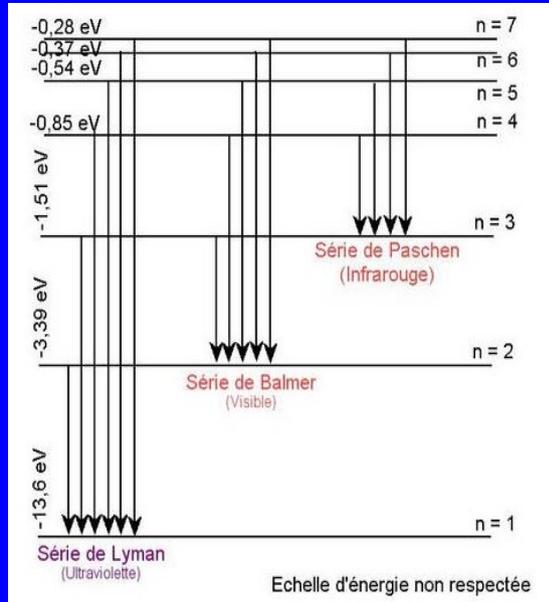
h: constante de Planck



Réception d'un photon



Séries de Lyman, Balmer, Paschen



Source : O. Thizy

Série de Balmer :

$H\alpha = 6563 \text{ \AA}$

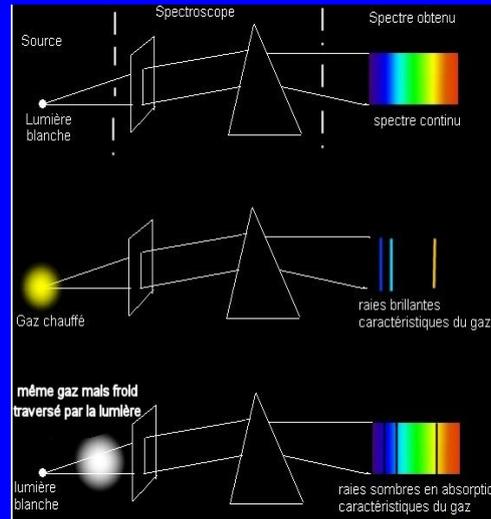
$H\beta = 4861 \text{ \AA}$

$H\gamma = 4341 \text{ \AA}$

$H\delta = 4041 \text{ \AA}$



Lois de Kirchhoff



Source : Creative Commons

- Un objet chaud, à pression élevée, incandescend produit un spectre continu
- Un gaz, basse densité, incandescend, a des raies en émission
- Un gaz, basse densité, froid, recevant de la lumière, a des raies en absorption



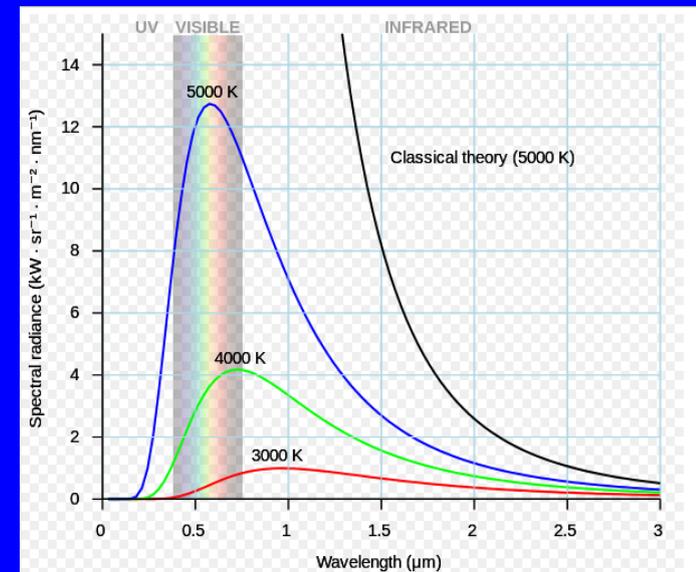
Loi de Planck

Définit la répartition de l'énergie électromagnétique (c-à-d la densité de photons) rayonnée à une température donnée.

$$L_{\lambda} = \frac{2hc_{\lambda}^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc_{\lambda}}{k\lambda T}\right) - 1}$$

Source : Wikipedia

c = vitesse de la lumière
h = cste de Planck
k = cste de Boltzmann
T = température de surface
du corps noir en °K



Source : Wikipedia

1ere information de la spectrométrie :
Le continuum du spectre va indiquer la courbe de température de l'objet.
On pourra en déduire sa température



Loi de Wien

λ_{max} est inversement proportionnel à la température

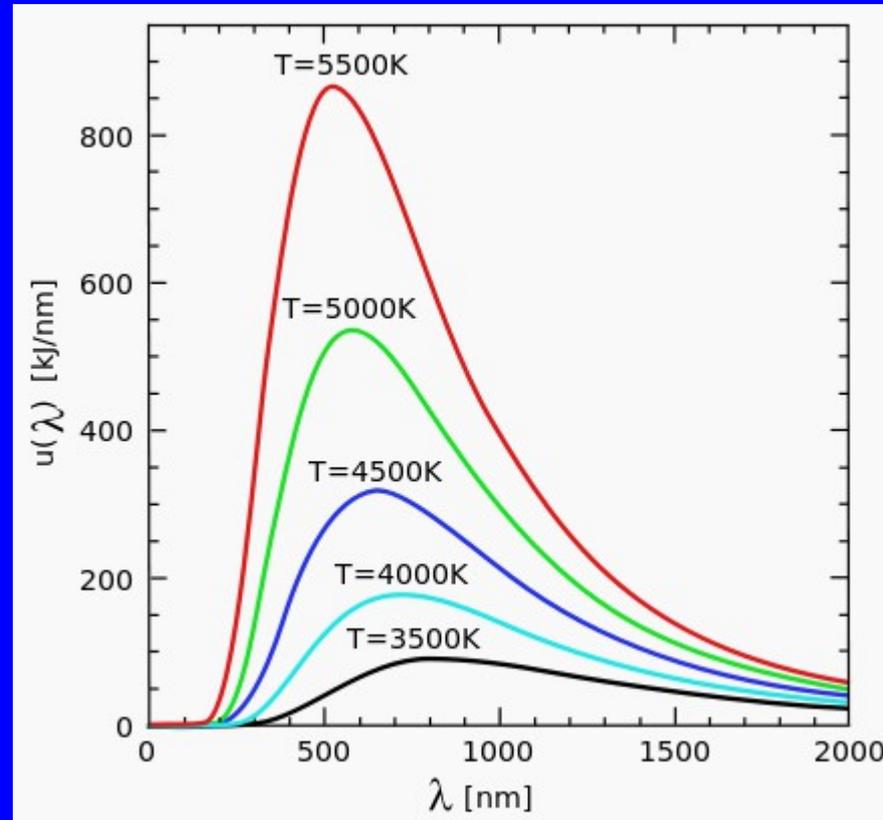
$$\lambda_{max} \approx \frac{2.898 \cdot 10^{-3}}{T}$$

Source : Wikipedia

Le soleil émet principalement à 5780K, dans le vert

Dans l'espace, il est vu blanc car la quantité de lumière émise dans tout le spectre le fait apparaître dans cette couleur

Sur Terre, il est vu jaune à cause de la diffusion de l'atmosphère



Source : Wikipedia



Paramètres mesurables avec un spectre

Température : en rapprochant le profil du spectre de la fonction de Planck

Présence des éléments chimiques : en identifiant les raies propres à chaque élément

Abondance des éléments : en mesurant l'intensité des raies d'un élément par rapport à un autre élément

Pression dans la zone absorbante : en mesurant l'élargissement des raies

Présence d'un champ électrique ou magnétique : par analyse du doublement ou du triplement des raies (effet Zeeman ou Stark)

Rotation de l'objet : En étudiant l'inclinaison des raies de l'objet (effet Doppler)

Rapprochement ou éloignement de l'objet : décalage vers le rouge (redshift) ou vers le bleu
Utilisé pour mettre en évidence l'expansion de l'univers



Spectroscopie sans fente

Avec un spectroscopie sans fente :



Source : O. Thizy



Source : Shelyak

spectre de la nébuleuse M57

Star Analyzer

100 traits/mm, monture circulaire 31,75 mm

Puissance de résolution ~ 100

$$R = \lambda / \Delta\lambda$$

$\Delta\lambda$ € distance résolvable entre deux raies

Prix : 139 € TTC Source : Shelyak



Différents montages de Star Analyzer



Source : Shelyak

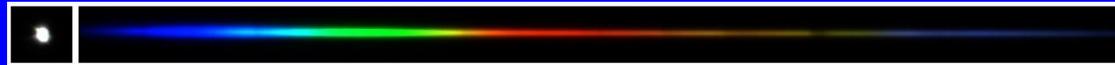
Sur APN



Source : O. Thizy

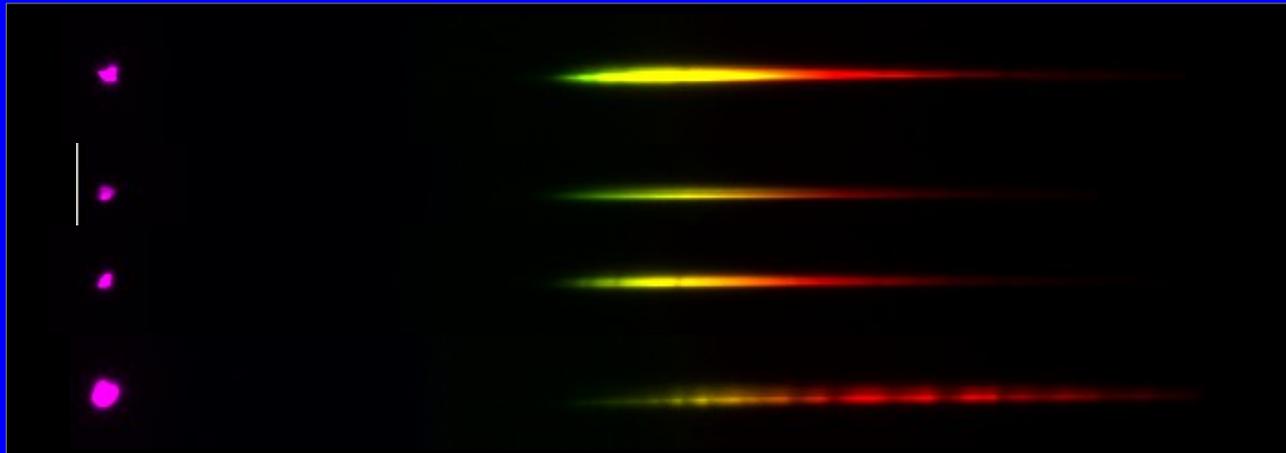
Sur caméra CCD

Exemples de spectres pris au SA 100



Source : Ch. Buil

Capella



Source : JJ Broussat

Vega

Altair

Deneb

Mira



Spectroscopes avec fente



Alpy 600

R ~ 600



LISA

R ~ 950



LHIRES III

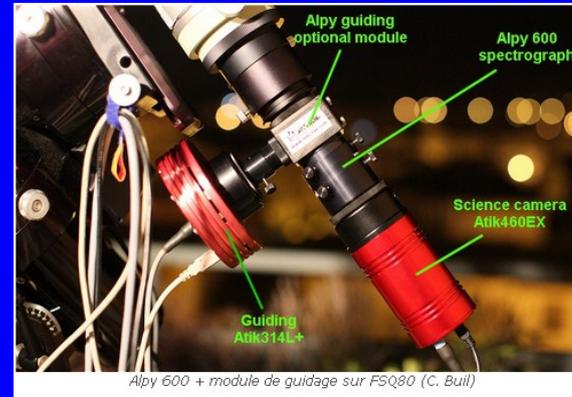
R ~ 18000

Avantages :

- Meilleure résolution
- Isolation de l'objet dans la fente
- Moins de perturbation à cause de la pollution lumineuse

ALPY 600

<p>Alpy 600 Spectroscopie Alpy 600 PF0035</p>  <p>695.00 € TTC 581.10 € HT</p> <p>Ajouter au panier</p>	<p>Module de guidage Alpy Module de guidage Alpy PF0036</p>  <p>785.00 € TTC 656.35 € HT</p> <p>Ajouter au panier</p>	<p>Module de calibration Alpy Module de calibration Alpy PF0037</p>  <p>645.00 € TTC 539.30 € HT</p> <p>Ajouter au panier</p>
---	---	---



Spectroscopie modulaire, R = 600

Différents types de monture (monture M42x0.75 standard)

Utilisation sans ou avec fentes (25 μ m, 50 μ m, 100 μ m ou 300 μ m)

Lentille optionnel pour élargir le spectre

Options :

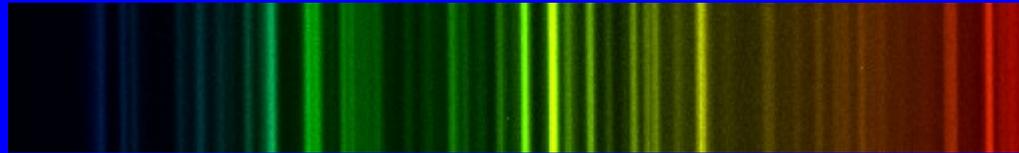
Module de guidage : utile pour les objets faibles

Module de calibration

Fente photométrique

Sortie fibre optique

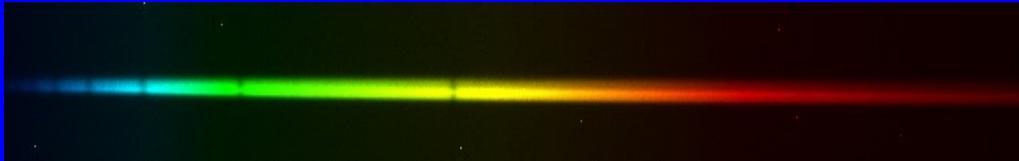
Exemples de spectres avec l'Alpy600



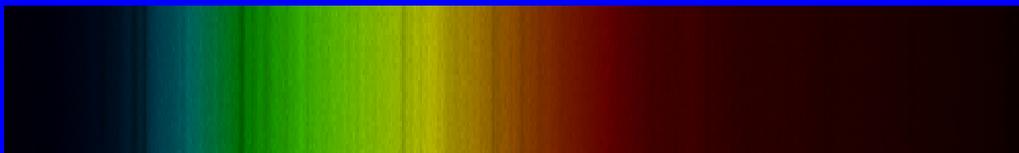
Lampe Filly (Habitat)



Lampe de bureau



λ Cygni



Ciel bleu

Source : JJ Broussat



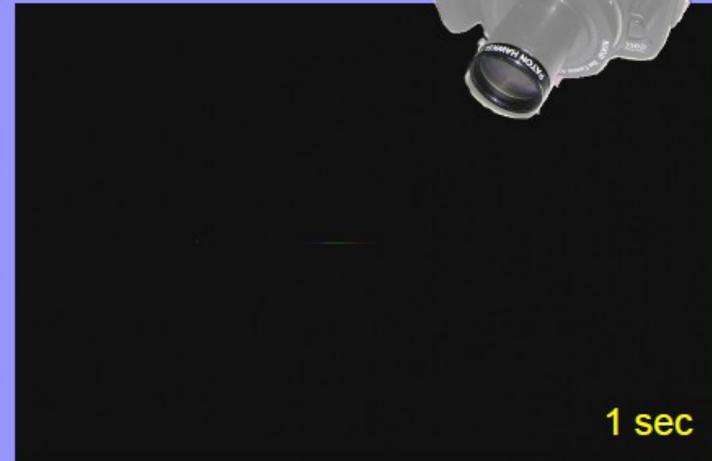
CCD vs APN ?



0.1 sec



- › Dynamique 16-bits
- › Monochrome
- › Sensibilité, contrôle de temp.



1 sec

- › Plus faible dynamique: 12-bits
- › Couleur (matrice Bayer → Pb)
- › Assez bruité

Source : O. Thizy

Lunette ou télescope



C9 + alpy 600



Lunette Televue 85 mm
+ alpy 600

Logiciels pour la spectroastronomie



AudeLA :

Traitement de données spectrales

Windows, Linux
Pointage GOTO
Acquisition
Traitement images
Scripts possibles

permet de générer des fichiers directement adaptés
à ISIS ou VisualSpec



En pratique : comment s'organiser

- 1ère étape : **choisir ses cibles et préparer le matériel** quand il fait jour
- 2ème étape : **acquisition d'une étoile de référence (ex : Vega)** puis les cibles, avec Audela
- 3ème étape : **Traiter l'étoile de référence**, avec ISIS :
 - Créer son profil spectral
 - Calibrer en X : étalonnage
 - Calibrer en Y : réponse instrumentale
- 4ème étape : **Traiter les autres cibles**, avec ISIS
- 5ème étape : **Analyser les spectres**, avec VisualSpec :
 - Intensité
 - Décalage Doppler
 -



Un peu de méthode

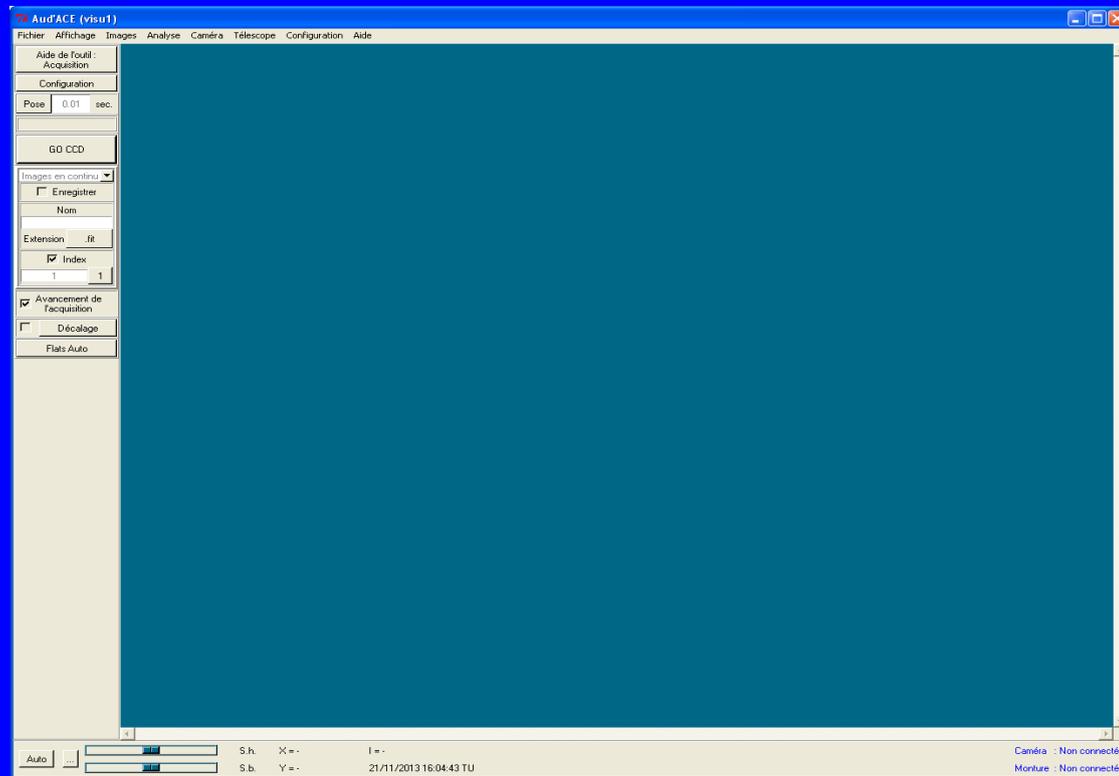
- Un répertoire par nuit d'observation
- Fichiers d'acquisition au format .fit
- Convention de noms de fichiers :
 - nom_objet-XXX
 - dark : d-XXX
 - offset : o-XXX
 - flat : f-XXX
- Au moins 11 poses (nombre impair pour éviter égalité dans les tests logiciel)
- Spectre le plus horizontal possible
- Etoile à mi-hauteur dans la fente
- Focaliser sur le spectre et pas sur l'étoile (SA 100)

Source : http://www.astroantony.com/vie_du_club/image_2012_09_reunion_rentree/memo_isis_v0.1-20120825.pdf



Audela

Source : www.audela.org



Source : JJ Broussat



ISIS

Installation :

Télécharger .NET Framework 4

<http://www.astrosurf.com/buil/isis/isis.htm>

Installer le fichier Install.zip

Créer un répertoire c:\isis_data

Y installer la base de données spectrales

Installer GNUPLOT :

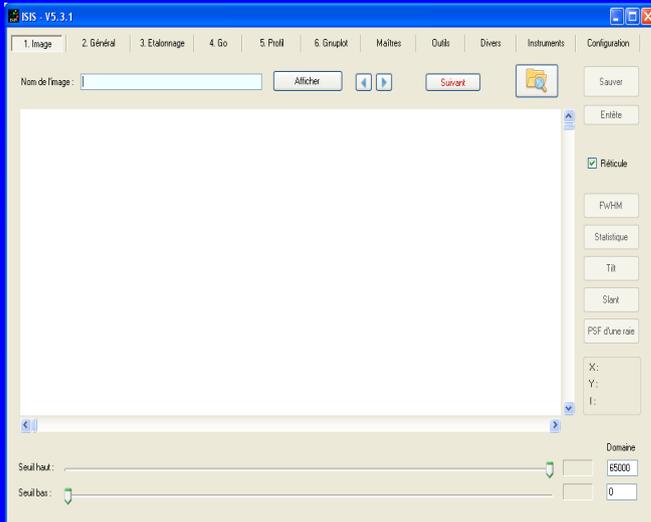
www.tatsutomatsuoka.com/gnuplot/Eng/winbin/

Installer dans c:\gnuplot

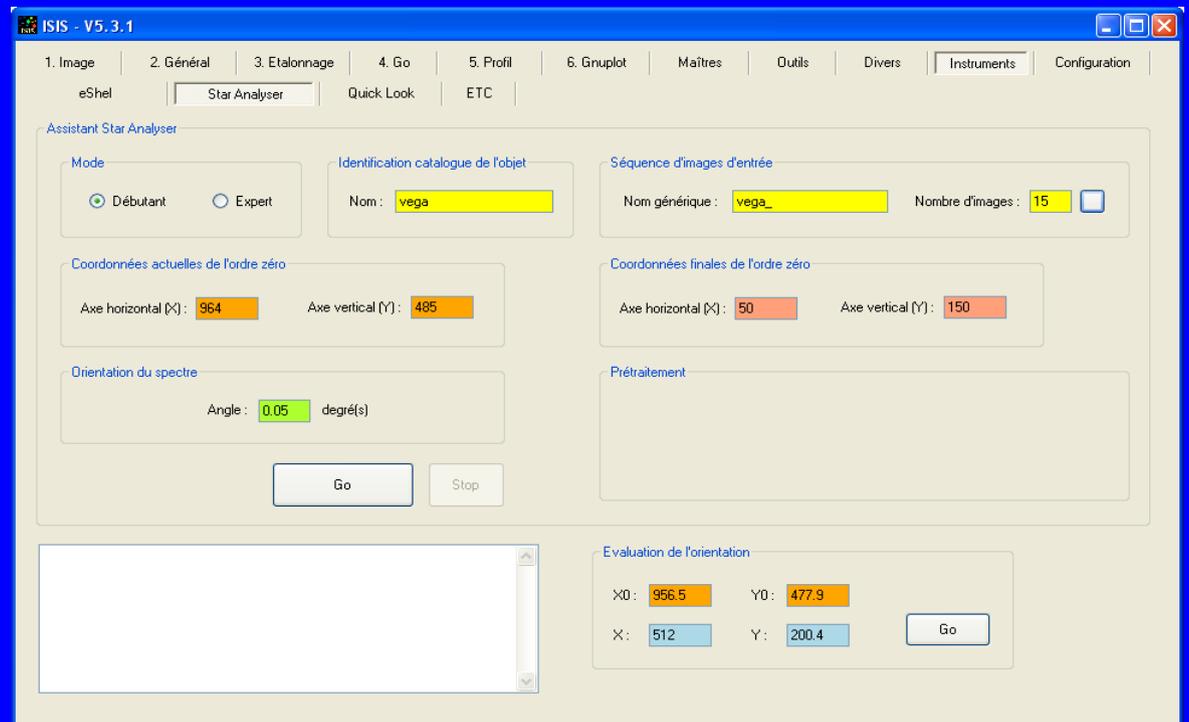
Onglet Configuration :



ISIS



Source : JJ Broussat



Source : JJ Broussat

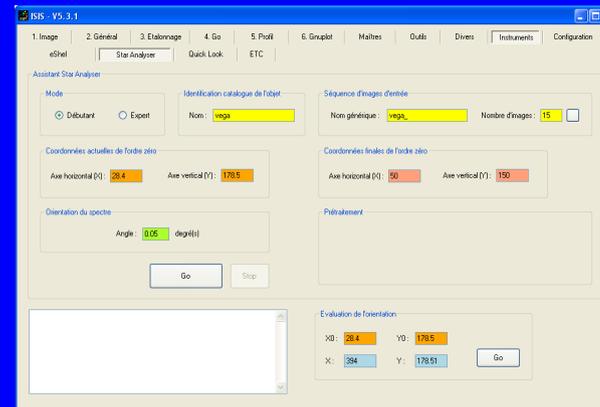
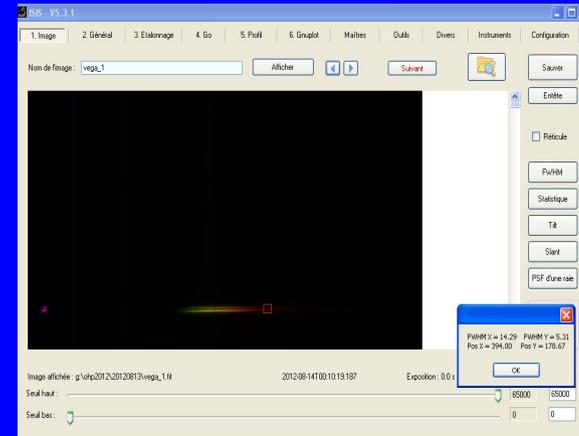


ISIS

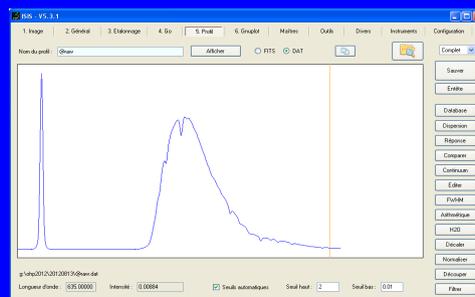
Dans l'onglet Image :
Charger le 1er fichier. Ex : vega_1.fit
Définir un rectangle à droite du spectre
Cliquer sur FWHM
Noter X et Y

Recommencer l'opération autour de l'ordre 0
Cliquer sur **Instrument**

Les champs d'ordre 0 ont été préremplis.
Dans "Evaluation de l'orientation" mettre
les coordonnées du FWHM de droite
Cliquer sur le Go de cette évaluation
Cliquer sur le Go sous "Orientation du spectre"



Source : JJ Broussat



Source : JJ Broussat

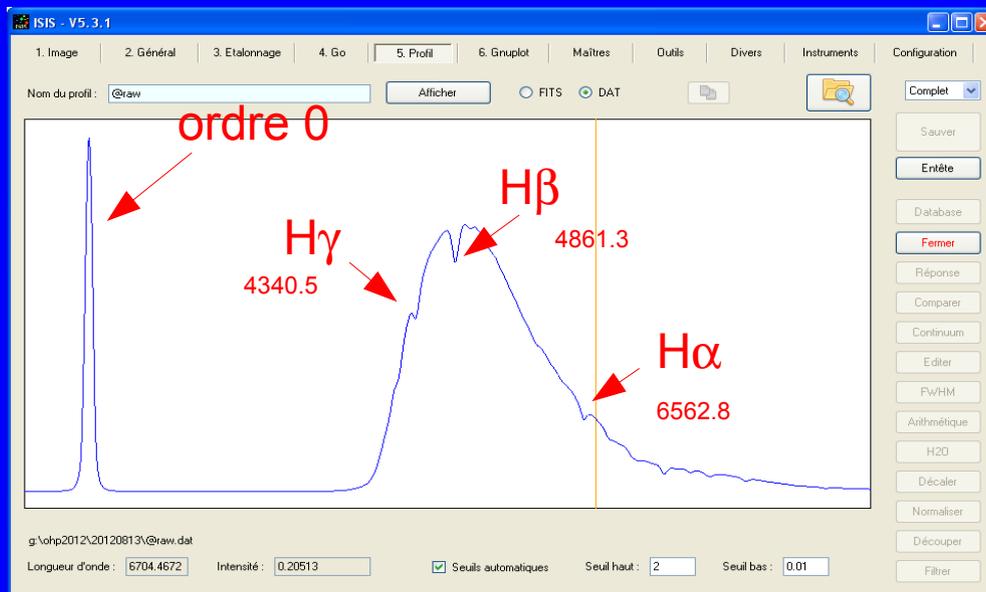
Introduction à la spectroastronomie 22-nov-2013

37

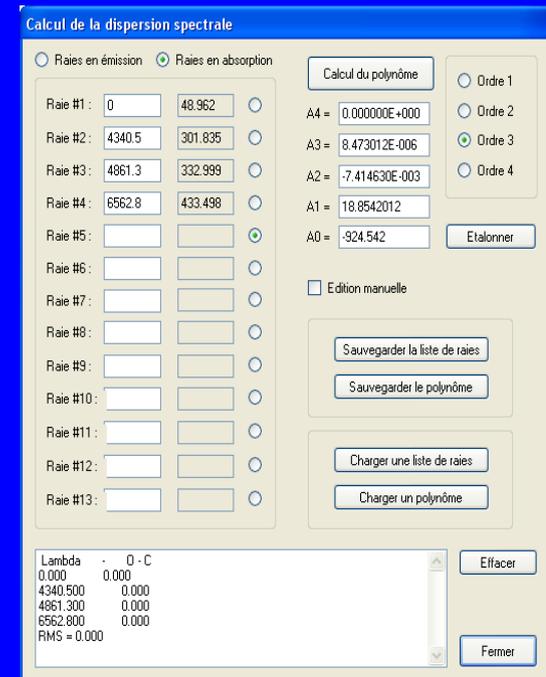


ISIS : étalonnage λ avec SA100

On vient d'obtenir un profil brut @raw.fit
Cliquer sur l'onglet Profil et sur Dispersion



Source : JJ Broussat



Source : JJ Broussat

Encadrer les raies d'ordre 0 et H α avec des double-clics pour remplir le tableau de dispersion

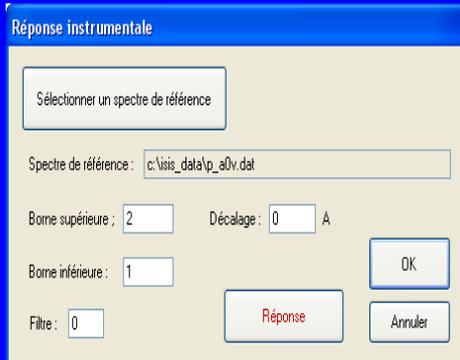
Relever la position pixel de H α
cliquer sur Etalonner

cliquer sur Découper pour éliminer les parties inutiles : <3800 et >8000

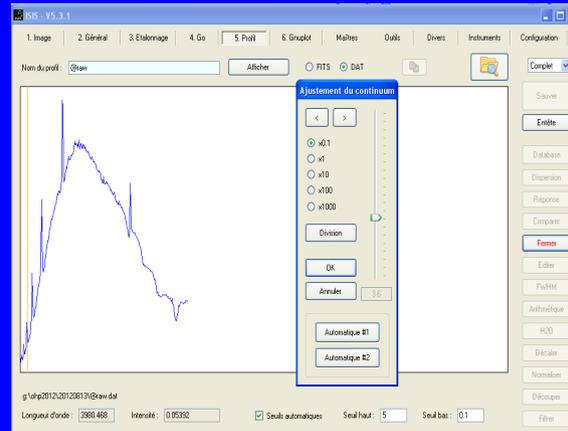


ISIS : réponse spectrale SA100

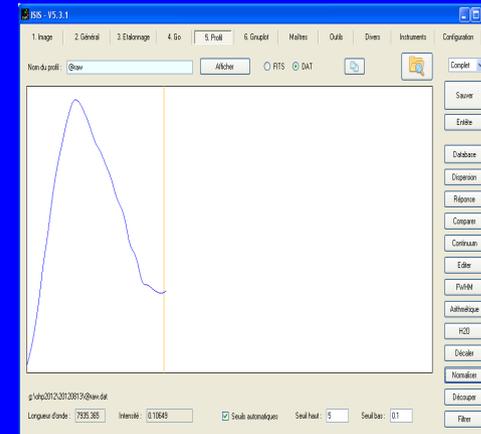
Réponse



Continuum



Sauve la réponse



Source : JJ Broussat



ISIS : profil réel de l'objet

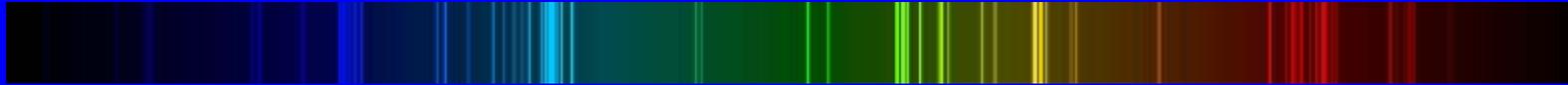
La phase précédente a généré des fichiers @objet-XXX. Ce sont des images corrigées

Dans Image, ouvrir le 1er fichier @objet-XXX

The screenshots illustrate the ISIS V5.3.1 workflow for generating a spectral profile. The first window shows the 'Image' tab with a dark image of an object. The second window shows the 'Général' (General) tab with fields for 'Nom racine' (@vega), 'Objet' (@vega2), and 'Nombre' (15). The third window shows the 'Etalonnage' (Calibration) tab with various parameters like 'Angle de tir' (0.35) and 'Angle de start' (-3.63). The fourth window shows the 'Profil' (Profile) window with a spectral profile graph. The fifth window shows the 'Réponse instrumentale' (Instrumental Response) dialog box with a 'Spectre de référence' field and 'Borne supérieure' (2) and 'Borne inférieure' (1) fields.

Source : JJ Broussat





MERCI

