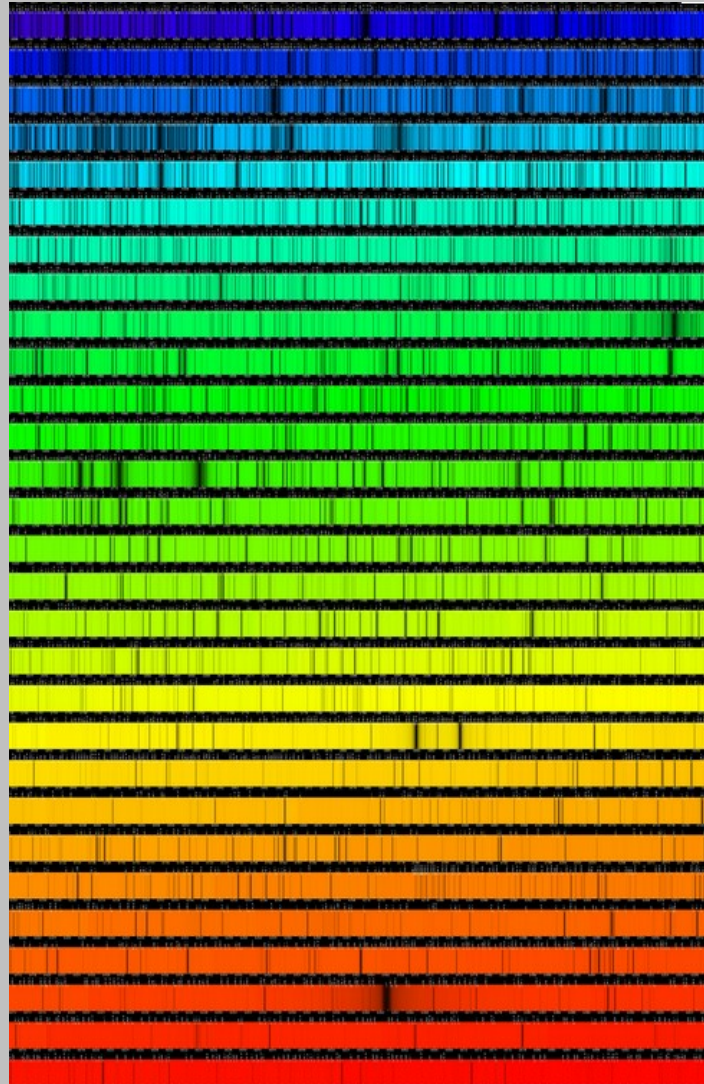


La spectroastronomie pour tous

Jean-Jacques Broussat



CAA 16 SEPT 2015

1



Quelques idées fausses

- Ce n'est que pour les pros
- Il faut un gros télescope
- Il faut être expert en informatique
- Tout a déjà été fait
- Je ne suis pas assez bon
- Un spectre, ce n'est pas joli
- La spectro, ce n'est pas varié
- Il ne fait pas assez beau chez moi
- Un spectre ne bouge jamais



**IL EST PLUS FACILE DE FAIRE UN
SPECTRE D'ETOILE QU'UNE BELLE
IMAGE DU CIEL PROFOND**



La spectro, c'est quoi ?

- La lumière blanche est dispersée par un prisme (expérience de Newton)

Ex : arc-en-ciel



source : wikipedia

- Inconvénient du prisme :
la loi de dispersion n'est pas linéaire
- Donc utilisation de réseau :
Plaque de verre avec des stries (Ex : 100 l/mm ou 600 l/mm)
Réseau holographique (2400 l/mm)



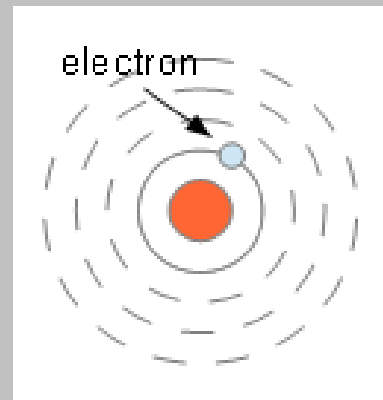
A quoi cela sert ?

- Mesurer la température d'une étoile
- Quantifier les composants d'un objet céleste
- Connaître les vitesses radiales
 - A été utilisé pour découvrir la première exoplanète
- Classer les étoiles selon leur type : O B A F G K M
- Etudier l'évolution d'étoiles variables, de novae, de supernovae
- Calculer la pression absorbante
- Détecter la présence de champ magnétique (effet Zeeman) ou électrique (effet Stark) en analysant le doublement ou le triplement des raies
- Déterminer la vitesse de rotation d'un objet (Jupiter, Saturne)
- Mesurer l'expansion de l'univers (redshift)
- ...



Un peu d'énergie, voyons !

Electrons tournent autour du noyau sur des orbites qui ont un rayon quantifié



L'hydrogène a un électron autour du noyau

Chaque orbite correspond a un niveau d'énergie

Les orbites ont un indice "n" .

$n = 1$ est le niveau fondamental. C'est l'orbite la plus proche du noyau. L'atome est neutre



Vous prendrez bien un peu de mécanique quantique

- L'énergie des différents niveaux est :

$$E_n = -\frac{E_0}{n^2}$$

E_0 Energie d'ionisation (13,6 eV pour H)

n niveau d'énergie

- L'électron absorbe ou émet un photon (donc de l'énergie)
- Relation de Planck-Einstein :

$$E = h \cdot \nu$$

h constante de Planck = $4,1343359 \times 10^{-15}$ eV.s⁻¹

ν fréquence de l'onde



Electron baladeur

- Electron passe d'une orbite m à une orbite n

$$h \nu = E_m - E_n = (- E_0 / m^2) - (- E_0 / n^2) = E_0 (1/n^2 - 1/ m^2)$$

comme $\lambda = c/\nu$ c : vitesse de la lumière

$$\text{On a : } hc / \lambda = E_0 (1/n^2 - 1/ m^2)$$

$$\text{Ou : } 1 / \lambda = R_H (1/n^2 - 1/ m^2)$$

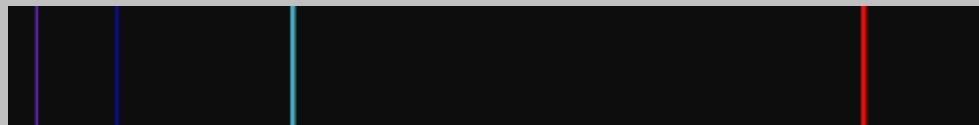
R_H Constante de Rydberg



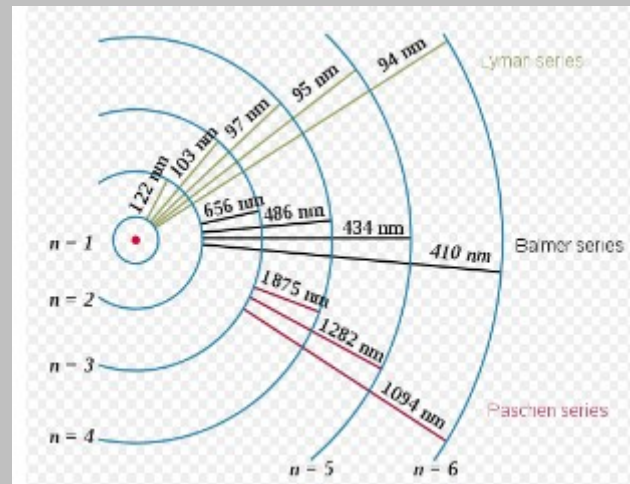
Raies de Balmer

- Dans le visible
- Si dans un atome d'hydrogène, l'électron quitte ou arrive au niveau $n=2$:

Notation	Niveau haut	Niveau bas	Longueur d'onde (Å)
H α	3	2	6563
H β	4	2	4861
H γ	5	2	4340
H δ	6	2	4101
H ϵ	7	2	3970



Les raies de l'hydrogène



Source : Wikipedia

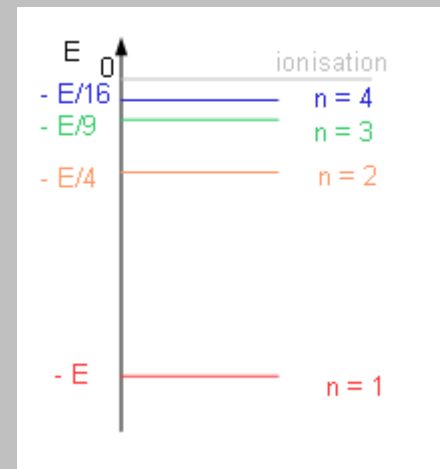
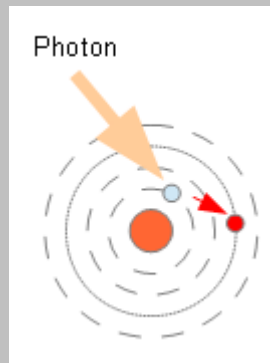


Vous prendrez bien un photon ?

- L'électron est poussé vers les couches extérieures
- Si l'énergie reçue est suffisante ($\geq 13,6$ eV pour H), l'électron est éjecté et est libre. L'atome est alors dit ionisé une fois
- Si il perd 2 électrons, il est ionisé deux fois,
- En spectroastronomie, l'état d'ionisation est représenté par des chiffres romains :

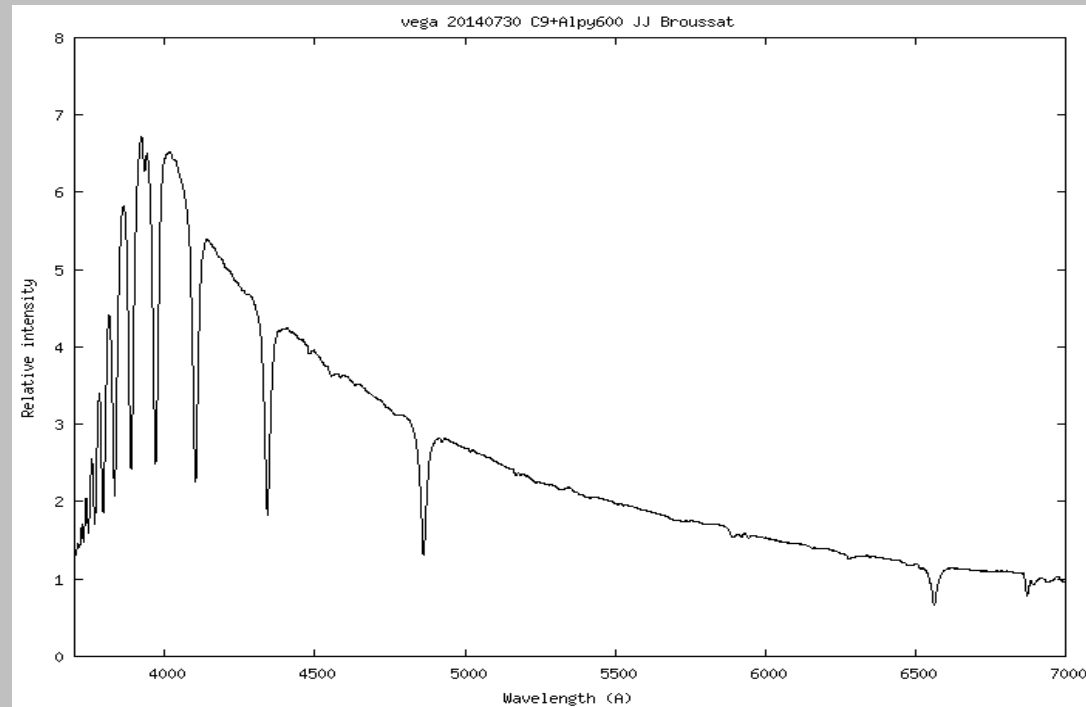
CII, CIII, CIV, HeI, HeII

L'état neutre est "I"



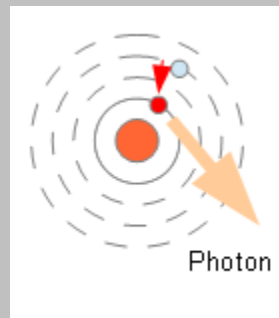
absorption

- L'électron absorbe de l'énergie et s'éloigne du noyau en absorbant le photon
- La raie de lumière correspondante sera donc plus faible



Emission

- L'électron a une tendance à se désexciter et à revenir vers le noyau.
- Il change de couche d'énergie en émettant un photon



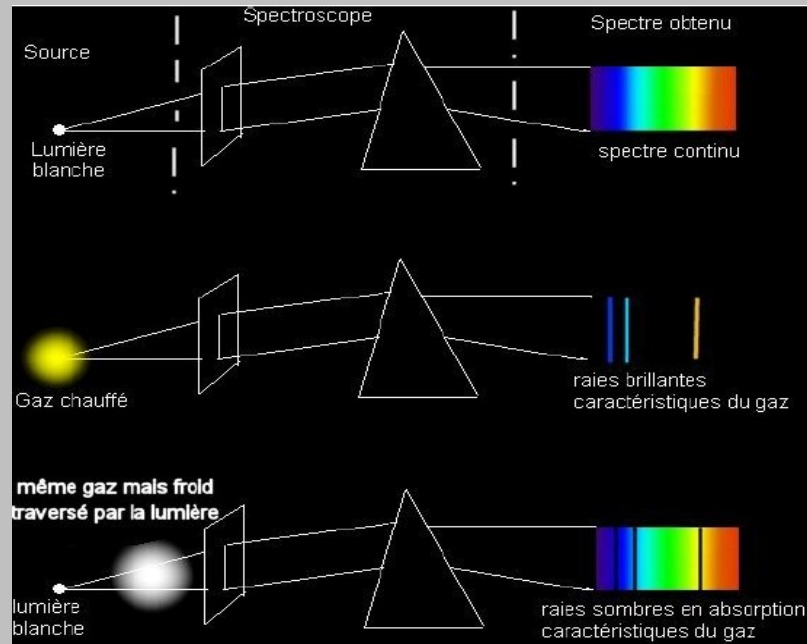
- Ex : Nébuleuse planétaire NGC 6543



Source : F. Cochard

Emission ou absorption ?

- Lois de Kirchhoff



- 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



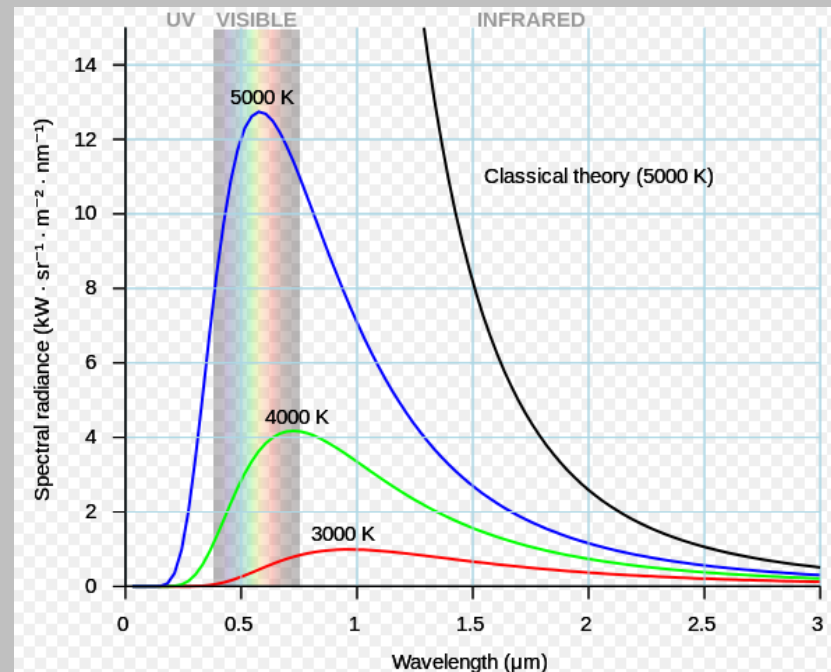
ça va chauffer !

- Loi de Planck

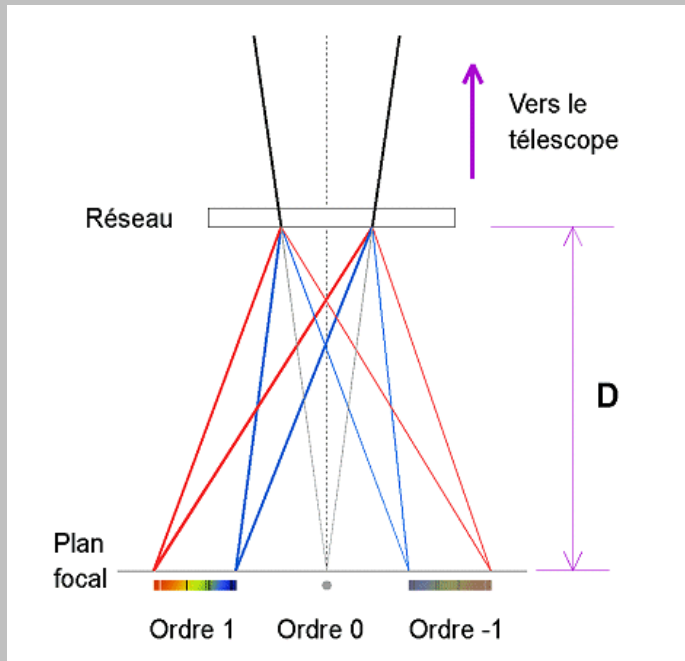
L'intensité du rayonnement à une température $T^{\circ}\text{K}$ est fonction de la longueur d'onde :

$$I(\lambda) = 2 \cdot h \cdot c^2 / (\lambda^5 \cdot e^{(h \cdot c / \lambda \cdot k \cdot T)} - 1)$$

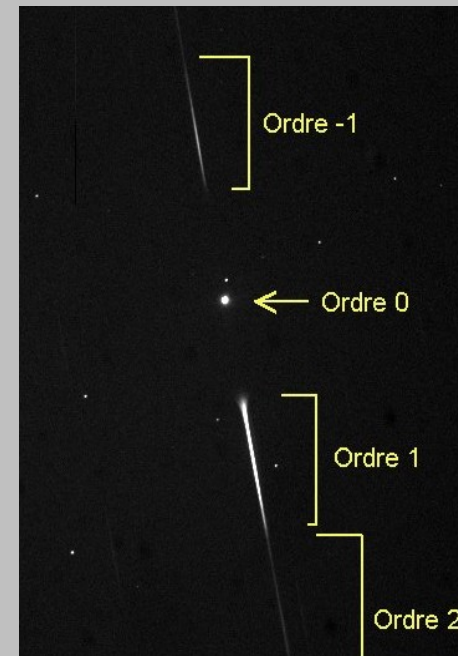
- h constante de Planck
- c vitesse de la lumière
- k constante de Boltzmann



Ordre de dispersion



Source : Ch. Buil



Source : Ch. Buil

Ordre 0 : image de l'étoile au foyer

Réseau blazé : concentre l'énergie lumineuse sur un ordre, en principe $n = 1$

Spectroscopie Echelle : traite plusieurs ordres simultanément

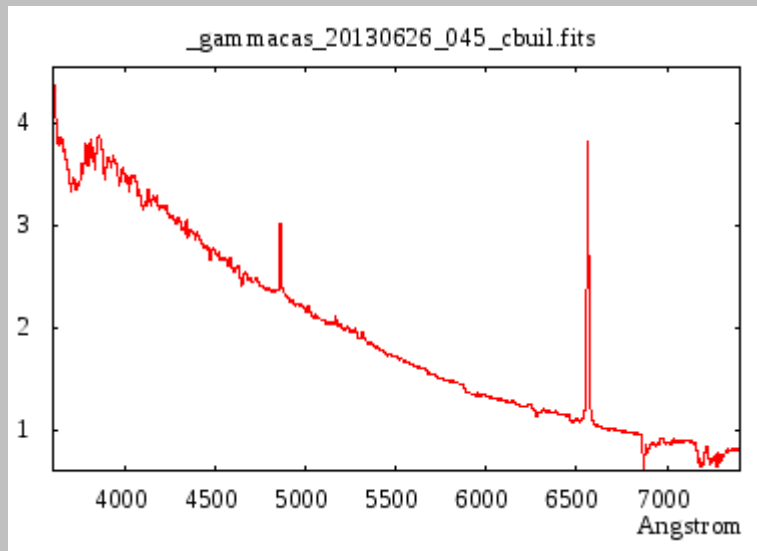


Réolvons

- La résolution d'un spectroscopie est sa possibilité de distinguer 2 raies voisines :

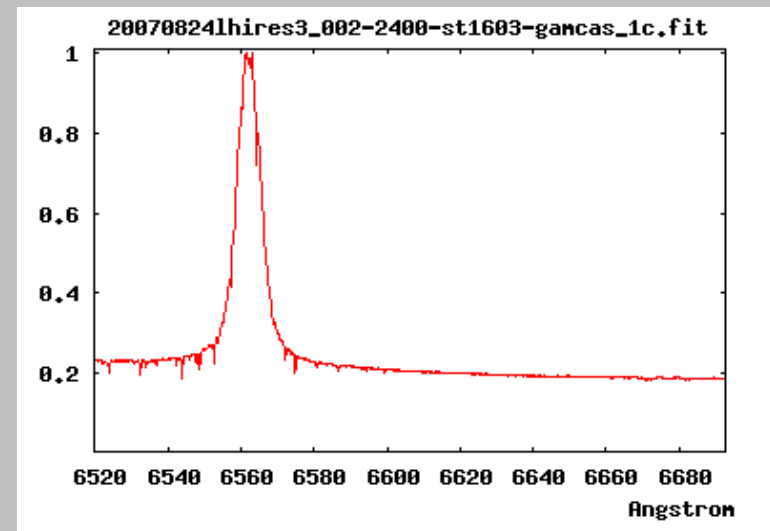
$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$$

- Ex : 100, 600, 1000, 17000



Source : Ch. Buil

Alpy 600 : R = 600



Source : O. Thizy

Lhires III : R = 17000



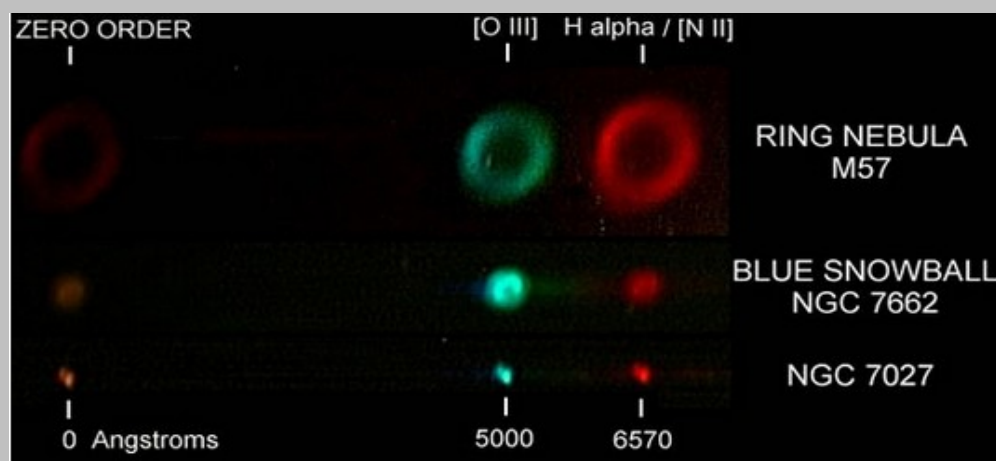
Spectroscopes

- Star analyser
- alpy 600
- Lhires III
- Eshell



Star analyzer

- 100 l/mm
- Pas de fente
- Monté sur une bague 31,75 mm, comme un filtre
- Disponible au club



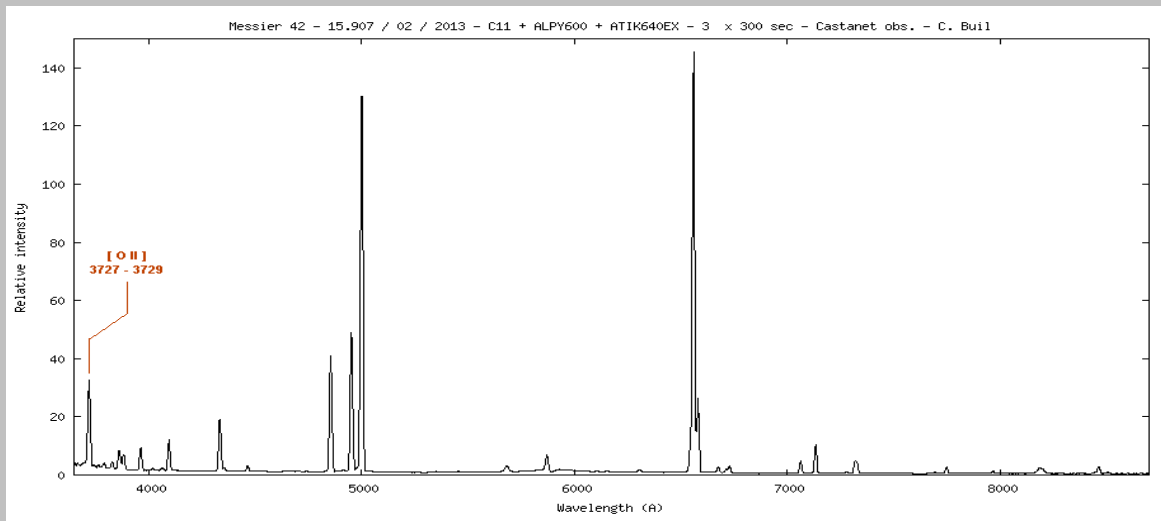
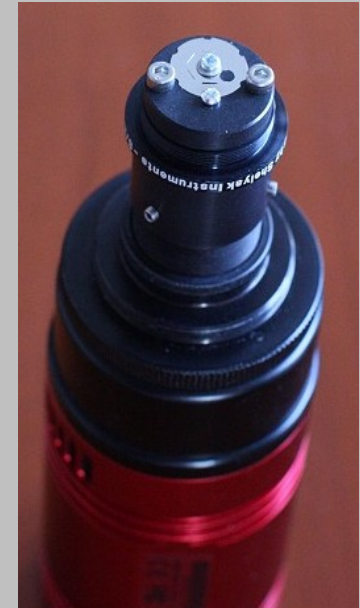
Source : shelyak

[OIII], [NII] : raies interdites car n'existent que dans le milieu interstellaire à cause de la basse densité.



alpy600

- 600 l/mm
- $R = 600$
- Avec fente
permet une meilleure résolution et calibration
- jusqu'à F/4, prévoir éventuellement un réducteur de focale
- Utilisé par JJB

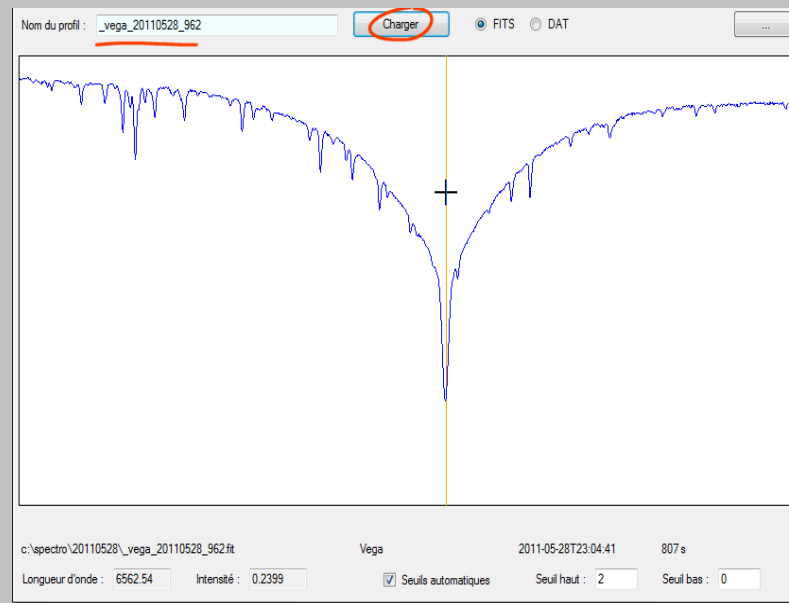


Source : Ch. Buil



Lhires III

- 2400 l/mm en standard
autres options : 150, 300, 600, 1200 l/mm
- $R = 17000$
- Avec fente
- F/10
- Disponible au Club



Source : Ch. Buil

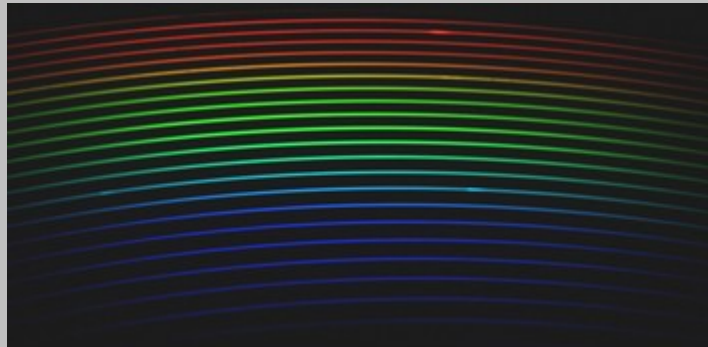
CAA 16 SEPT 2015

21



Eshell

- Fibre optique
- $R > 10000$
- F/5



source : Ch. Buil



Exemples de matériel : Alpy 600



Exemple de matériel : Lhires III



CAA 16 SEPT 2015

24



Préparation d'une session

Choix des cibles et étoiles de référence

- A faire de jour
- Choisir les cibles
- Choisir les étoiles de référence pour chaque cible

Utile pour la réponse instrumentale

Etoiles de type A, B

A la même latitude que la cible afin d'avoir l'absorption de la même masse d'air

Près de la cible

Lien pour trouver des étoiles de référence :

- <http://www.astronomie-amateur.fr/Documents/%20Spectro/ReferenceStarFinder.xlsm>
- Lettre d'informations ARAS :
<http://www.astrosurf.com/aras/novae/InformationLetter/InformationLetter.html>



Exemple de cibles de référence

Reference Star Finder F. Teyssier 2015

Distance: 10 R.A. hh: 10 mn: 0 Altitude [°]: 7.27
 Nb Stars: 7 Dec. °: 45 Date: 26/08/2015 Heure (UT): 22:00
 Seuils E_{B-V}: 0.05 0.1

Tri: ☒ Distance ☐ Hauteur

Simbad data base
 A and B spectral type main sequence stars ("V")
 Vmag < 6
 EB-V computed
 1044 stars
Miles data base Type A and B

Site: Longitude 1.15 ° (+ = EST) Latitude 50 °

Site

#	Name	R.A.	Dec	V	B-V	E _{B-V}	Sp. Ty	Sp. Typ	Distance	h	Δ h	Miles
1	HD 79763	09 17 31.2	+ 46 49 02.0	5.953	0.06	0.04	A1	A1V	7.6	7.5	0.2	
2	HD 82621	09 34 49.4	+ 52 03 05.3	4.479	0.04	0	A2	A2V	8.2	13.2	5.9	
3	HD 90840	10 30 06.4	+ 38 55 30.5	5.793	0.08	0	A4	A4V	8.3	3.2	-4.1	
4	HD085235	09 52 58.7	+ 54 03 51.5	4.56		0	A3	A3IV	9.1	15.7	8.5	s0364
5	HD079633	09 17 58.6	+ 51 19 19.9	9.04		0.01	A3	A3	9.4	12	4.7	s0342
6	HD 87696	10 07 25.8	+ 35 14 40.9	4.488	0.18	0	A7	A7V	9.9	-1.7	-9	
7	HD 77327	09 03 37.5	+ 47 09 23.5	3.6	0	0	A1	A1Vn	10	7.5	0.3	

Tableur

Selected list of bright symbiotics stars of interest

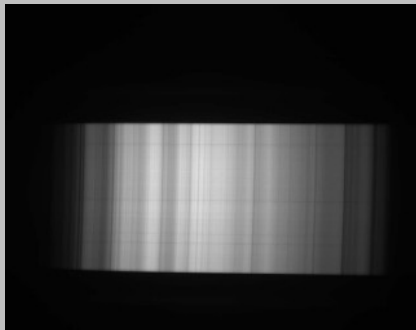
Target						Reference Star				
#	Name	AD (2000)	DE (2000)	Mag V *	Interest	Name	AD (2000)	DE (2000)	Mag V	E(B-V) Sp Type
1	AX Per	1 36 22.7	54 15 2.5	11.6	++	HD 6961	01 11 06.2	+ 55 08 59.6	4.33	0 A7V
2	UV Aur	5 21 48.8	32 30 43.1	10		HD 39357	05 53 19.6	+ 27 36 44.1	4.557	A0V
3	ZZ CMi	7 24 13.9	8 53 51.7	10.2		HD 61887	07 41 35.2	+ 03 37 29.2	5.955	A0V
4	BX Mon	7 25 24	-3 36 0	10.4	+	HD 55185	07 11 51.9	- 00 29 34.0	4.15	A2V
5	V694 Mon	7 25 51.2	-7 44 8	10.5	++	HD 55185	07 11 51.9	- 00 29 34.0	4.15	A2V
6	NQ Gem	7 31 54.5	24 30 12.5	8.2		HD 64145	07 53 29.8	+ 26 45 56.8	4.977	A3V
7	I CrB	15 59 30.1	25 55 12.6	10.4	++	HD 143894	16 02 17.7	+ 22 48 16.0	4.817	0 A3V
8	AG Dra	16 1 40.5	66 48 9.5	9.7	++	HD 145454	16 06 19.7	+ 67 48 36.5	5.439	0 A0Vn

Lettre d'informations
sur ARAS



Préparation d'une session

- A faire de jour
- Focalisation de la caméra acquisition et mise en horizontal du spectre



Focalisation de la caméra de guidage

-



Session

- offsets
-
- darks
-
- flats
-
- étoile de référence
-
- cible
-



Conditions de réussite

- Maîtriser le télescope
 - Mise en station
 - Pointage, guidage
- Maîtriser les bases de l'imagerie
 - Acquisition
 - Prétraitement
- Travailler en réseau
 - club
 - Internet : spectro-I, ARAS, ...
 - Rencontres : RCE, WETAL, stages OHP, ...
 - Mettre des spectres dans les bases : Bess, ARAS, ...

