

# 10 règles pour bien débuter avec Star'Ex

## Projet Sol'Ex

Atelier 21 janvier 2022 - C. Buil



<http://www.astrosurf.com/solex/>

# Pour bien débuter avec Star'Ex

## Règle 1 : bien sélectionner sa configuration Star'Ex

Une difficulté : vaste choix (réseau, focale objectif, largeur de fente...) !

Comment s'y retrouver ?

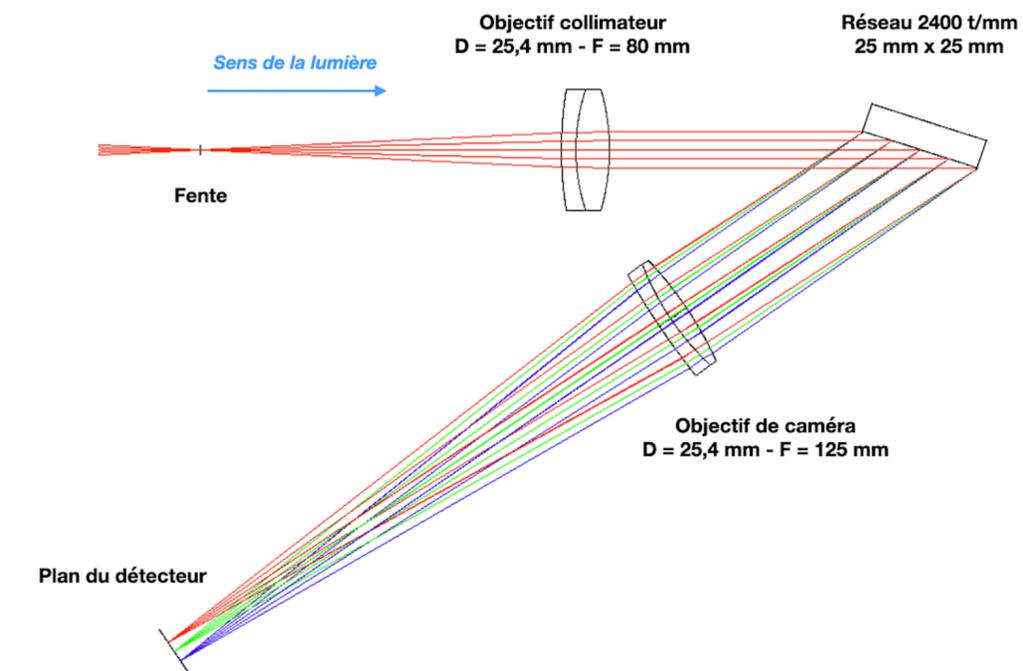
- Choisir la configuration la plus simple à mettre en oeuvre
- Choisir la configuration qui offre immédiatement des spectres spectaculaires
- Faire confiance au retour d'expérience des utilisateurs
- Prendre le chemin le plus direct entre Sol'Ex et Star'Ex

### Recommandation

Star'Ex équipé :

- d'un réseau de 2400 traits/mm (celui utilisé avec Sol'Ex)
- d'un objectif de caméra de 125 mm (configuration Sol'Ex)
- d'une caméra CMOS refroidie ASI183MM pro (pas parfait, mais bon ratio performance/coût)
- d'une fente de largeur... ? -> le choix est fonction du télescope utilisé

On vise l'observation de la raie H-alpha en haute résolution ( $R > 12000$ )

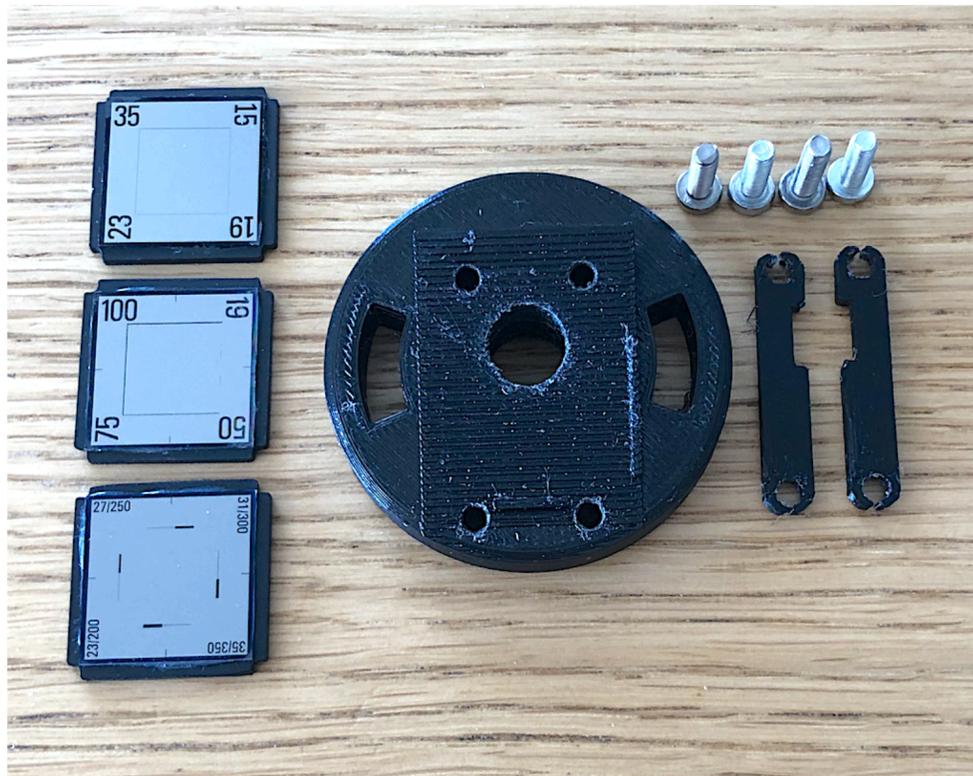




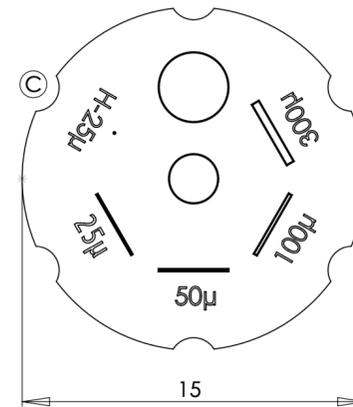
# Pour bien débuter avec Star'Ex

## Règle 3 : bien choisir la largeur de la fente (1/7)

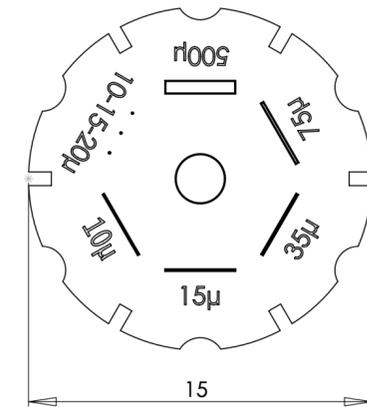
La largeur (w) de la fente est directement rattachée à la focale (F) du télescope utilisé



Fente sur verre Shelyak  
Recommandé ref. SE0116



Fente claire Shelyak  
Nickel 50 m - OP0073C



Fente claire Shelyak  
Nickel 50 m - OP0092A

Quelques options possibles pour la fente  
(achat en sus par rapport au kit Sol'Ex)

# Pour bien débuter avec Star'Ex

## Règle 3 : bien choisir la largeur de la fente (2/7)

### *Un peu de math !*

Si  $w$  est la largeur de la fente en microns

Si  $F$  est la distance focale du télescope (ou lunette) en millimètres

Si  $R$  est le pouvoir de résolution (rapport entre la longueur d'onde et le plus fin détail spectral vu)

Alors :  $w = 0,019 \times F$  et  $R = 417000 / w$

*La largeur de fente est calculée sur la base d'un seeing/guidage de 4 secondes d'arc*

#### Exemple :

Je possède une lunette de 100 mm de diamètre et de 900 mm de focale

Le rapport  $F/D$  est  $900 / 100 = 9$  -> c'est nominal !

Quelle largeur de fente dois-je adopter ?

$w = 0,019 \times F = 0,019 \times 900 = 17$  microns

On arrondi à la fente physique la plus proche disponible ->  $w = 19$  microns

D'où un pouvoir de résolution  $R = 417000 / w = 417000 / 19 = 22000$  -> c'est bien de la haute résolution spectrale !

# Pour bien débuter avec Star'Ex

## Règle 3 : bien choisir la largeur de la fente (3/7)

### Autres exemples...

Je dispose d'une lunette EVOSTAR 72ED de 420 mm de focale  
Le F/D natif est de 5,8. Je dois ajouter une Barlow 1,7x pour emmener la focale à 720 mm et un F/D de 10

D'où

$w = 0,019 \times 720 = 14$  microns -> on choisi une fente réelle de 15 microns

$R = 417000 / 15 = 28000$  -> c'est de la très haute résolution spectrale !

Je dispose d'un télescope Maksutov SKYMAX de 127 mm de diamètre et de 1500 mm de focale

Le F/D natif est de 11,8 -> Star'Ex directement au foyer (pas de Barlow)

D'où

$w = 0,019 \times 1500 = 28$  microns -> on choisi une fente réelle de 23 microns

$R = 417000 / 23 = 18000$  -> c'est de la haute résolution spectrale !

Je dispose d'un télescope Celestron 8, diamètre de 200 mm et focale de 2000 mm

Le F/D natif est de 10 -> Star'Ex directement au foyer (pas de Barlow)

D'où

$w = 0,019 \times 2000 = 38$  microns -> on choisi une fente réelle de 35 microns

$R = 417000 / 35 = 12000$  -> c'est encore de la haute résolution spectrale !

Je dispose d'un télescope Celestron 14, diamètre de 355 mm et focale de 3900 mm

Le F/D natif est de 11 -> Star'Ex directement au foyer (pas de Barlow)

D'où

$w = 0,019 \times 3900 = 74$  microns -> on choisi une fente réelle de 75 microns

$R = 417000 / 75 = 5500$  -> ce n'est plus de la haute résolution spectrale !

# Pour bien débuter avec Star'Ex

## Règle 3 : bien choisir la largeur de la fente (4/7)

Un dernier exemple...

Télescope ACUTER D=60 mm F=750 mm (et petit prix)

Le F/D natif est de 12,5 -> Star'Ex directement au foyer (pas de Barlow)

D'où

$w = 0,019 \times 750 = 14$  microns -> on choisi une fente réelle de 15 microns

$R = 417000 / 15 = 28000$  -> c'est de la très haute résolution spectrale !



# Pour bien débuter avec Star'Ex

## Règle 3 : bien choisir la largeur de la fente (5/7)

*Pour les matheux !*

### La formule $w = 0,019 \times F$ apparait structurante et importante. Mais d'où vient-elle au juste ?

D'abord il faut considérer une relation bien connue entre la taille angulaire (A) d'un objet sur le ciel et la taille linéaire (w) de cet objet au foyer d'un télescope d'une certaine longueur focale (F). Si A est en radians, et si F est en millimètres, la valeur de w en millimètres est donné par :  $w = A \times F$  (c'est une question élémentaires de géométrie qui concerne les triangles).

Si on convertie les radians en secondes d'arc et si on exprime w en microns, on trouve facilement :  $w = A \times F / 206$ ,

Faisons l'hypothèse que l'angle de seeing (turbulence en longue pose) soit de 4 secondes d'arc, d'où  $A = 4$ , on obtient bien la formule :

$$W = A \times F / 206 = 4 \times F / 206 = 0,019 \times F$$

Ce n'est pas plus compliqué. Mais pourquoi 4 secondes d'arc au juste. C'est assez arbitraire, assez conservateur, mais assez juste aussi : un bon compromis entre la résolution spectrale et la quantité de flux venant de l'étoile et qui traverse la fente. Si vous observez depuis un bon site et si vous guidez bien l'étoile sur la fente, alors vous pouvez très bien adopter  $A = 3$  secondes d'arc, et donc la formule devient :

$$w = 0,015 \times W$$

Mais d'expérience, et compte tenu des caractéristiques de Star'Ex exploité avec un réseau de 2400 t/mm (impact de l'anamorphose et de la taille des pixels du détecteur), l'usage de la formule  $w = 0,019 \times F$  apparait assez judicieux.

# Pour bien débuter avec Star'Ex

## Règle 3 : bien choisir la largeur de la fente (6/7)

*Pour les matheux encore !*

Et la formule,  $R = 417000 / w$ , me direz-vous ? C'est à peine plus compliqué. Elle vient de la relation entre le pouvoir de résolution  $R$  ( $R = \lambda / \Delta\lambda$ ) et les paramètres du spectrographe :

$$R = Fc / w \times (\tan(\alpha) + \sin(\beta) / \cos(\alpha))$$

(cette formule n'est pas très difficile à démontrer non plus, mais c'est une autre histoire - faites moi confiance, elle est juste)

avec :

alpha : l'angle d'incidence des rayons lumineux sur le réseau, soit  $\alpha = 72,4^\circ$  avec le réseau de 2400 t/mm et en visant la raie H-alpha

beta : l'angle de diffraction (à la sortie du réseau), soit  $\beta = 38,4^\circ$  dans la configuration en question

Fc : la longueur focale de l'objectif collimateur, soit  $Fc = 80$  mm dans le cas de Star'Ex

w : la largeur de la fente en millimètres

En introduisant les valeurs numériques et en exprimant w en microns, on trouve facilement (avec les arrondis) :  $R = 417000 / w$

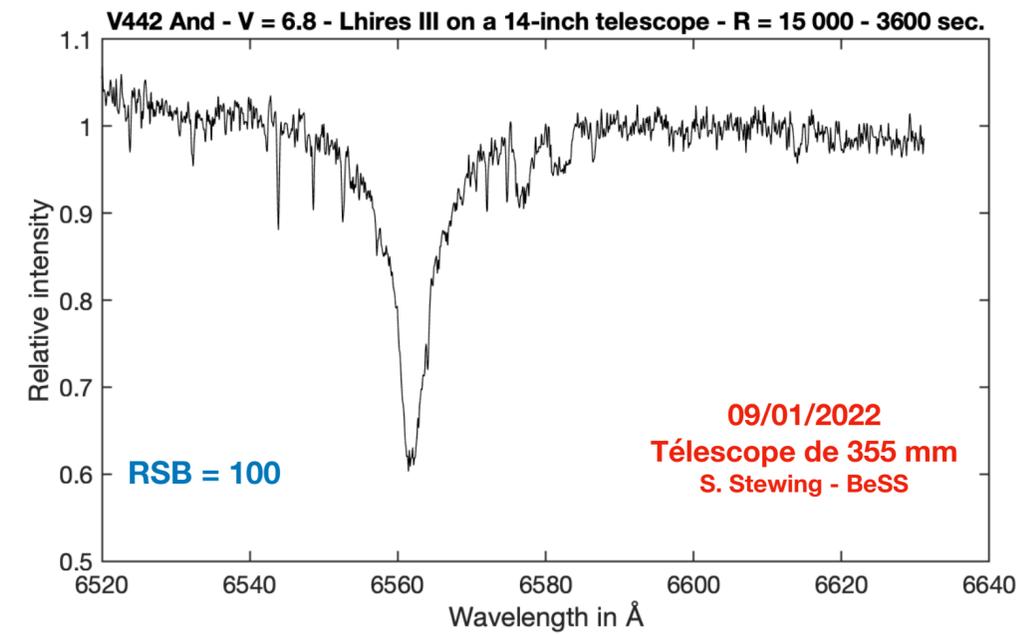
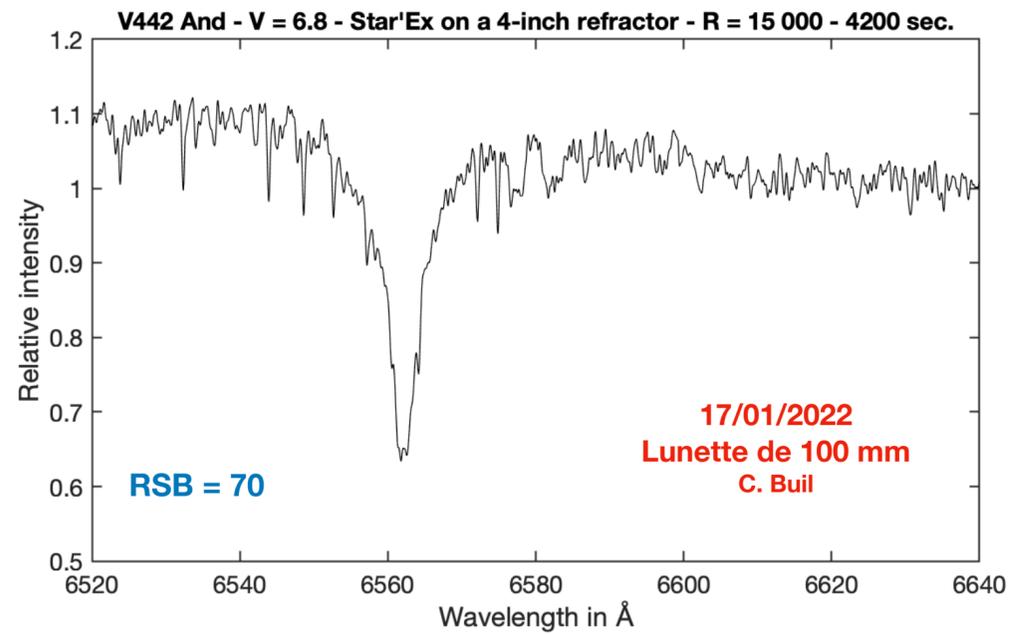
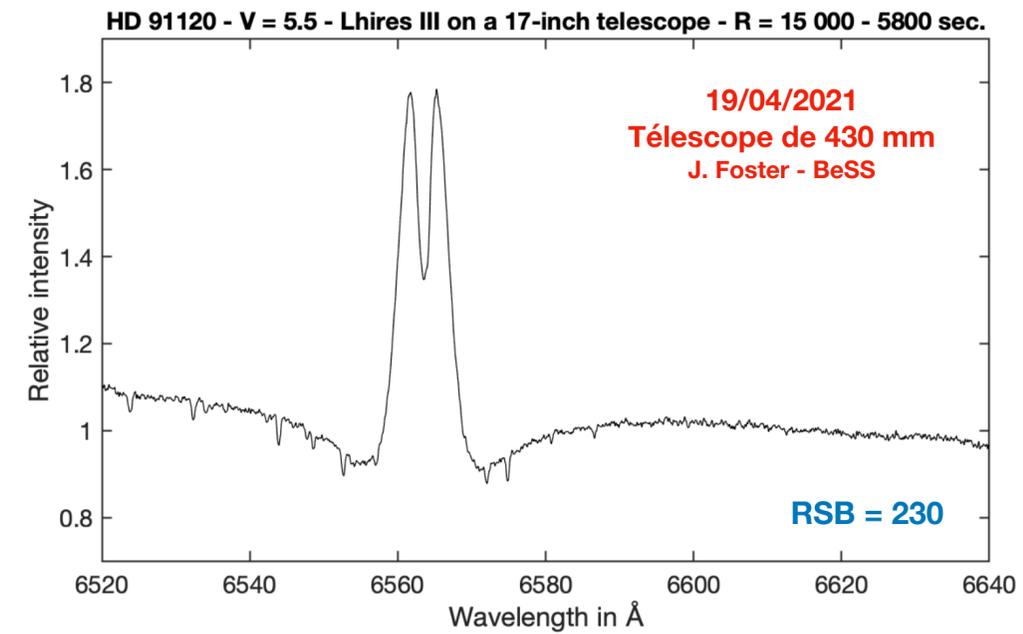
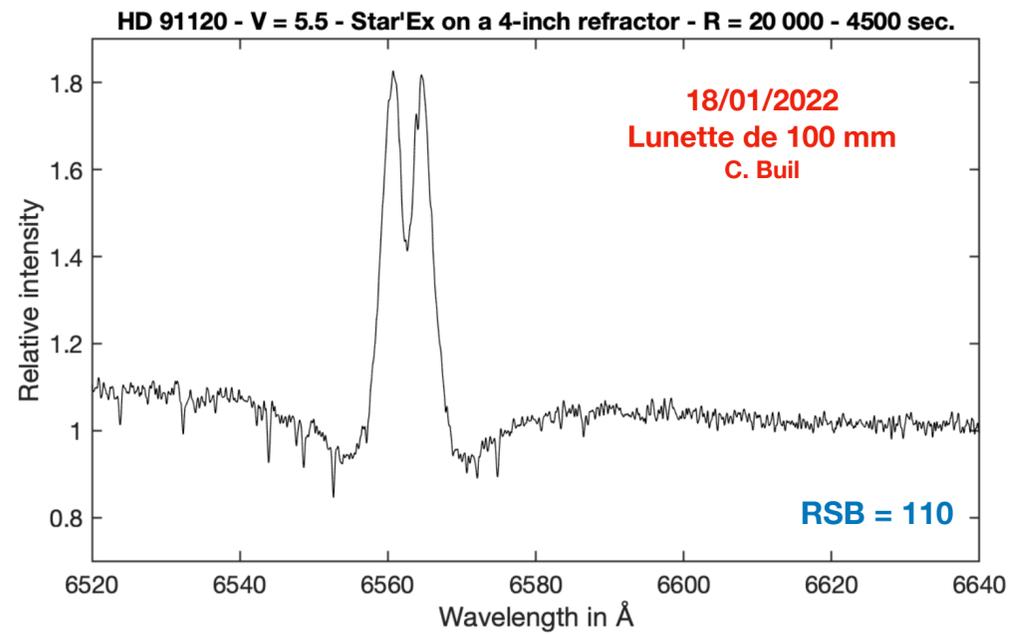
Notez que vous pouvez regrouper nos deux formules en une seule en supprimant la largeur w de la fente, ce qui donne une relation très simple entre le pouvoir de résolution R que vous pouvez atteindre et la longueur focale F de votre télescope (dans l'hypothèse d'un seeing de 4 secondes d'arc et compte tenu de la configuration instrumentale adoptée pour Star'Ex). En

gros ici :  $R = 2,1 \times 10^7 / F$

Par exemple, si  $F = 900$ , on est voisin de  $R = 23000$  (avec l'incertitude des arrondis et sachant que les aberrations optiques dégradent un peu ce résultat). On voit que la longueur focale, mais aussi le diamètre du télescope puisqu'on postule que  $F/D = 10$ , déterminent directement le pouvoir de résolution. Au flux lumineux près, vive les petits diamètres ! C'est aussi pour cela que les amateurs peuvent et doivent s'engager dans la spectrographie astronomique et peuvent faire de cette façon des observations extraordinaires !

# Pour bien débuter avec Star'Ex

## Règle 3 : bien choisir la largeur de la fente (7/7)

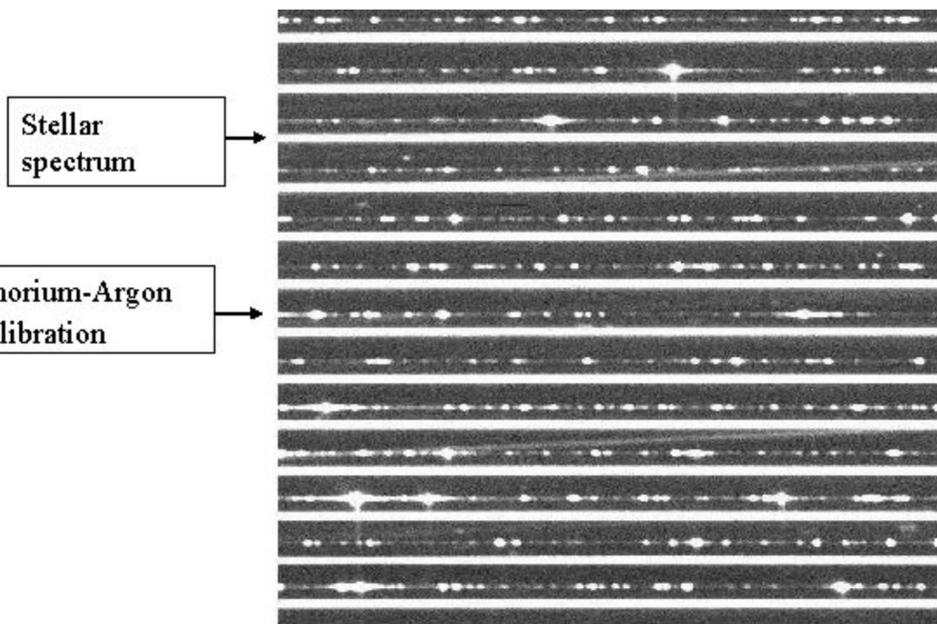


# Pour bien débiter avec Star'Ex

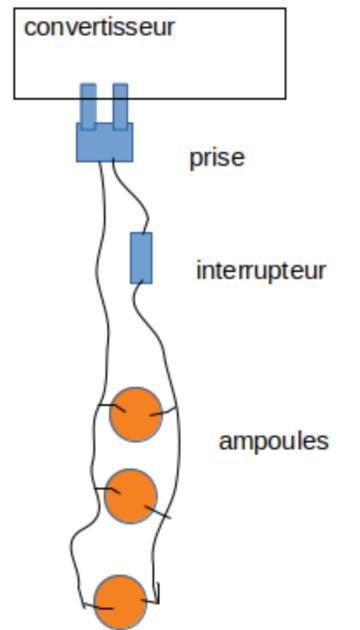
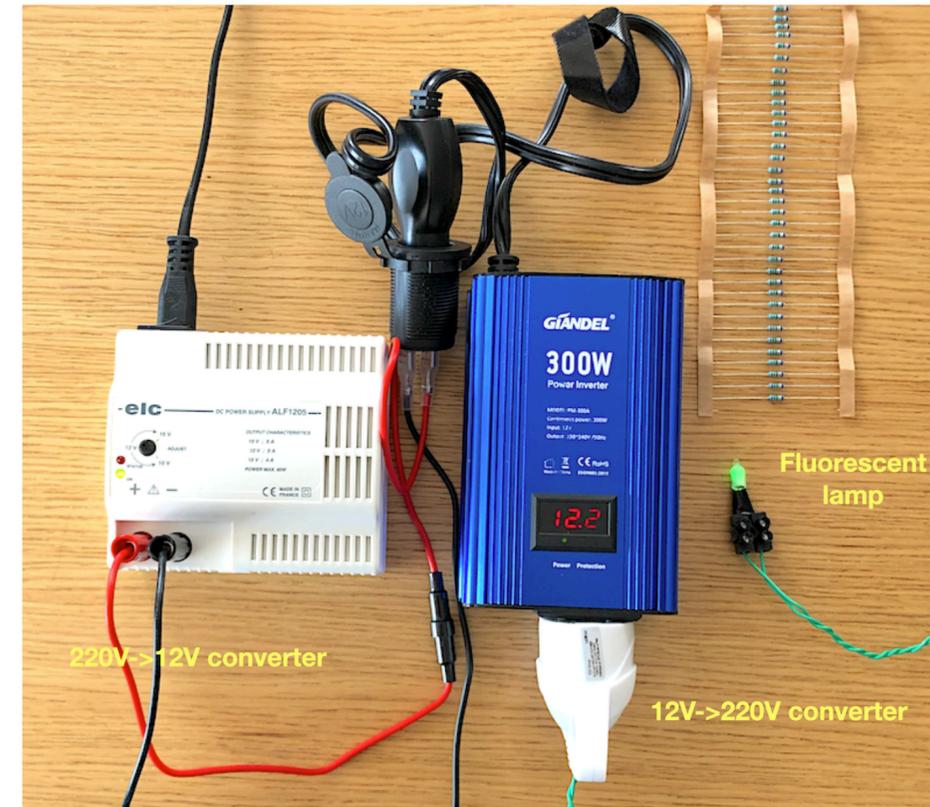
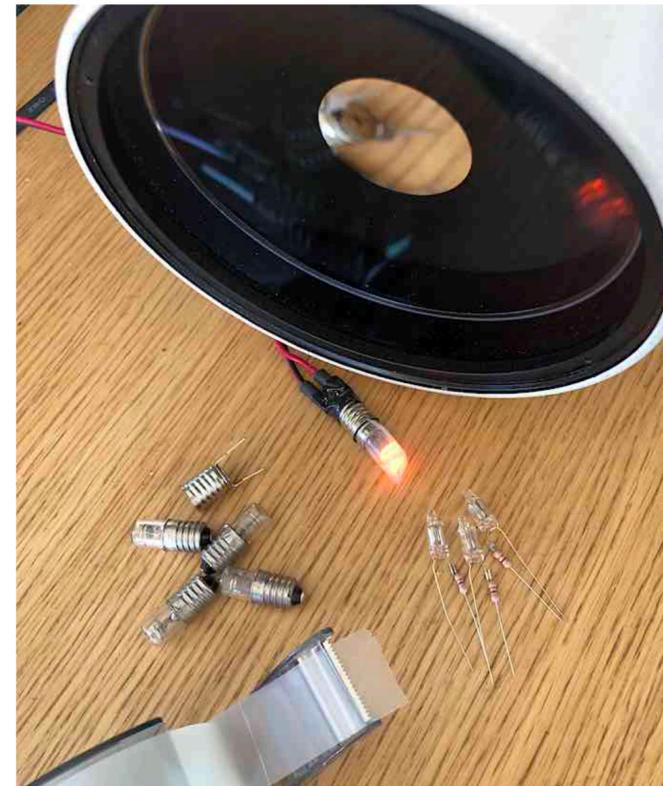
## Règle 4 : bien étalonner les spectres en longueur d'onde

### Etalonnage dans le pupille (mode latéral)

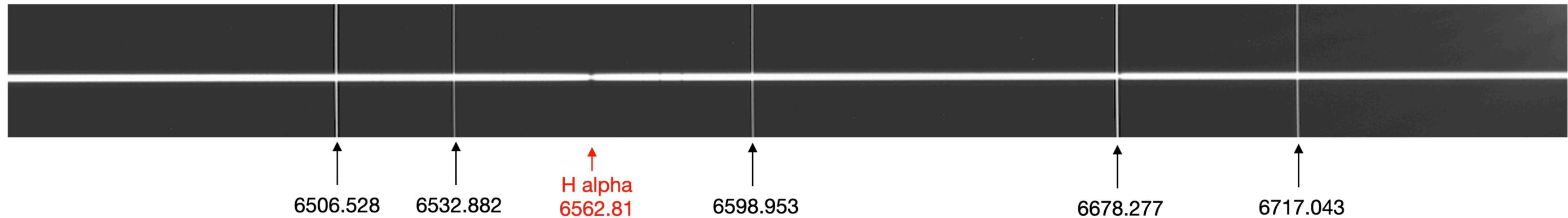
Avantages : simplicité, faible coût, fonctionnement continu - Défaits : pas habituel, traitement spécifique



Spectrographs: CORALIE, ELODIE, HARPS



Daniel Verihac



# Pour bien débuter avec Star'Ex

## Règle 5 : réduire l'impact des flexions mécaniques



Lampe étalon dans la pupille :  
« suivi » permanent des flexions

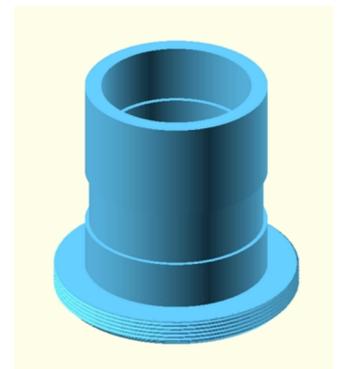
**Conseil : si possible, utiliser 4 lampes étalons**

**NB: Conduire le flux d'étalonnage via des fibres optiques (plastique..) est à l'étude**

Possibilité d'employer un module étalonnage type Alpy600 :  
suivi semi-permanent - nécessite une commande



Approcher le « focuser » du boîtier + pièces métalliques  
+ raidisseur complémentaire



Interface courte pour objectif  
de 125 mm

# Pour bien débuter avec Star'Ex

Règle 6 : s'astreindre à une discipline...

**Barthelme**  
Anzeige- und Signallampen

Liliput-Glimmlampen T2 $\frac{3}{4}$

LG

Socket E10

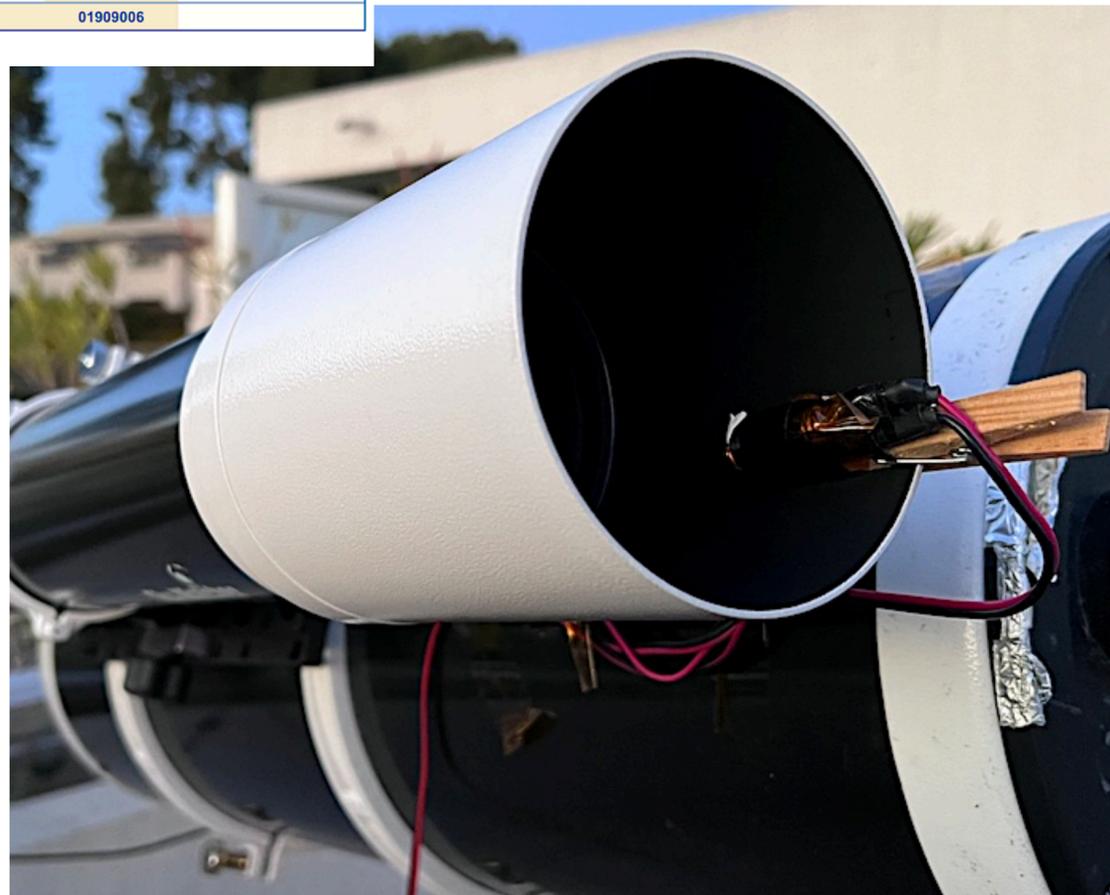
(10 x 25 mm)



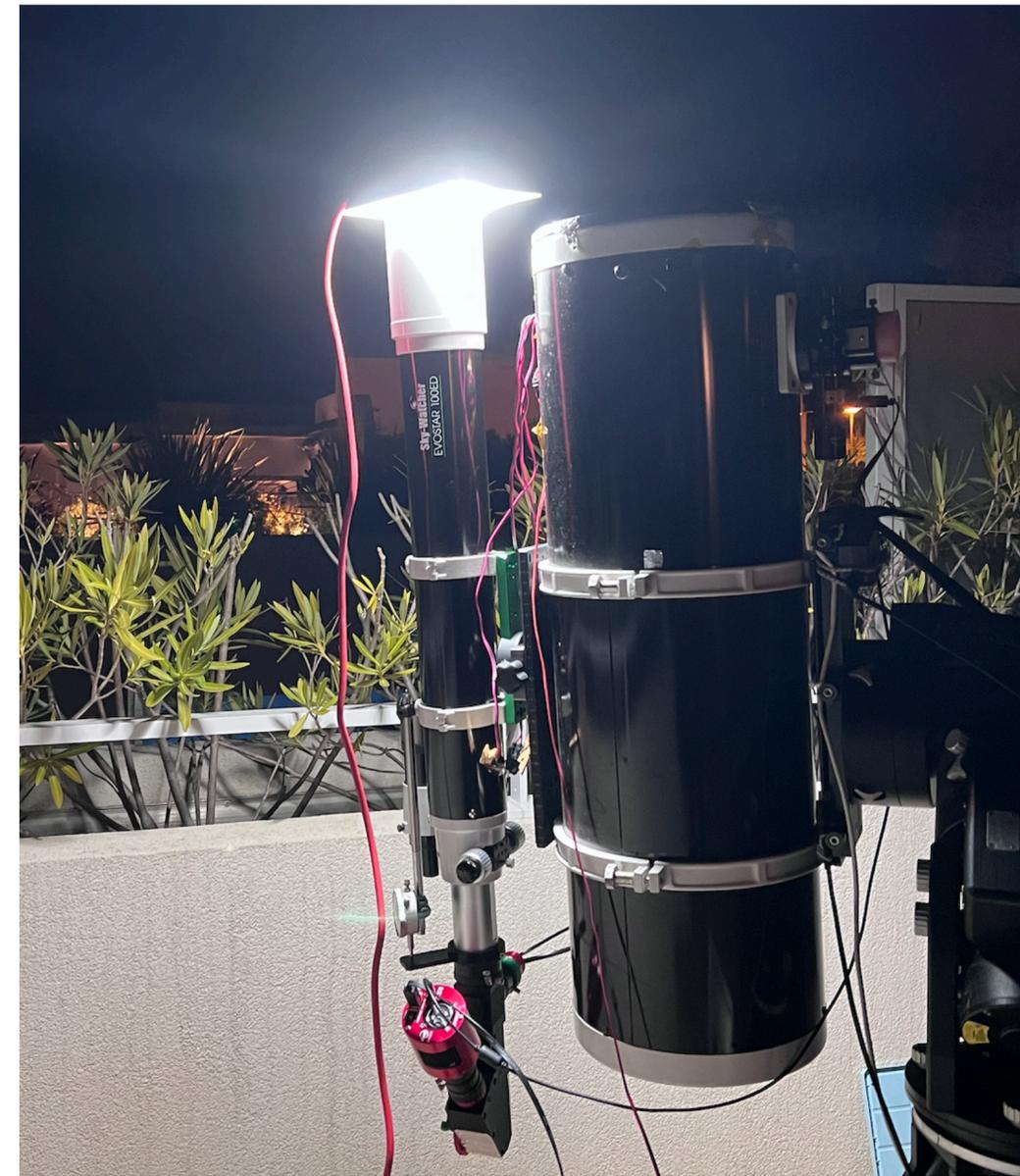
Bild 1

Spannung	Typ	Artikel-Nr.	EAN 4021553...
115V	LG 204	00012040	060002
	LG 234	00012340	060019
230V	LG 234/1 rot getaucht	00012341	060026
	LG 234/3 grün LST (Neon)	00012343	060033
400V	LG 274	00012740	060064
Lampenzieher T2 $\frac{3}{4}$		01909006	

Lampe LG 234 - Culot E10 -  
résistance intégrée



L'étalonnage spectral



L'étalonnage radiométrique  
Flat-Field avec panneau LED

# Pour bien débuter avec Star'Ex

## Règle 7 : bien utiliser la caméra

Refroidir au maximum la caméra (car expositions longues : 10-30 minutes possibles)

Orienter la caméra pour que le spectre soit bien horizontal

Décentrer légèrement la trace pour éviter la zone d'électroluminescence

Réglage gain (ASI183MM) : 150  
(compromis entre dynamique et bruit)

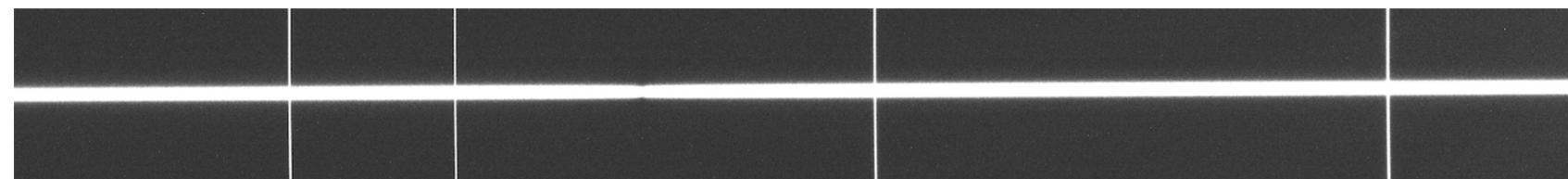
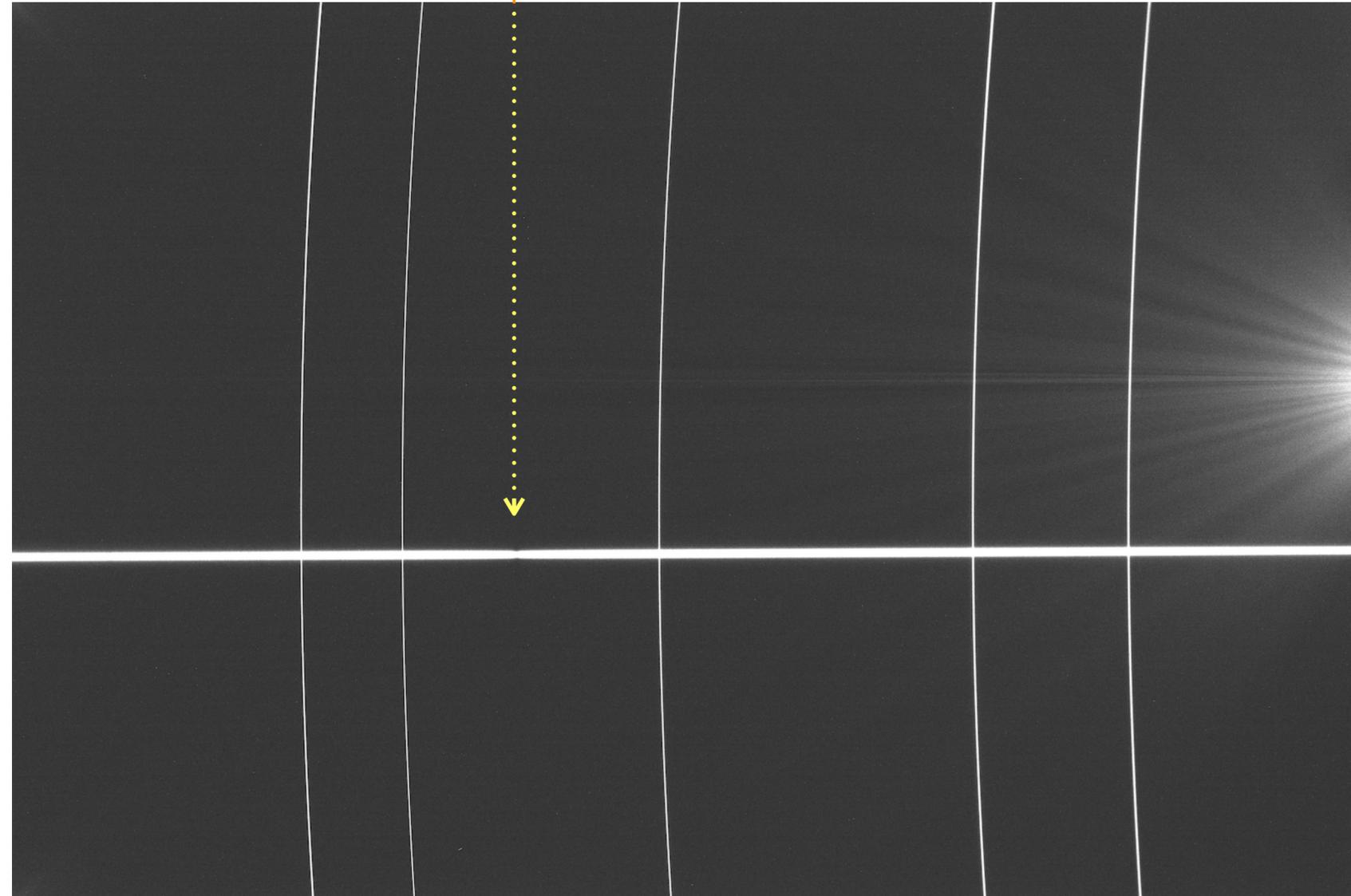
Réglage offset (ASI183MM) : 20  
(éviter les valeurs négatives)

Pratiquer le fenêtrage.  
Ici 3900 x 440 pixels.  
Volume données de 39 Mo à  
3,3 Mo



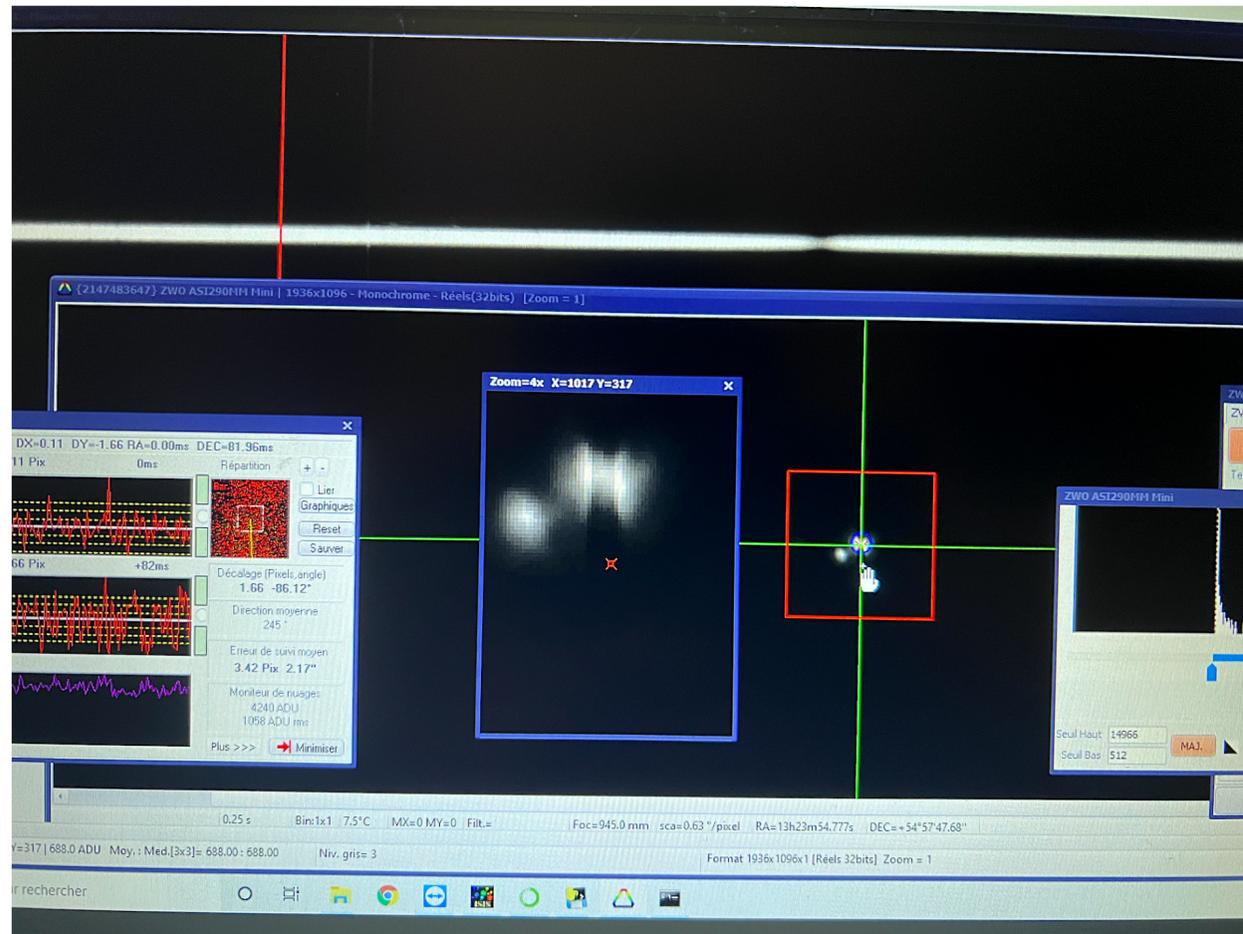
Position de la raie H-alpha, x = 2100

Spectre de l'étoile Mizar, pose de 600 s, T = -30°C

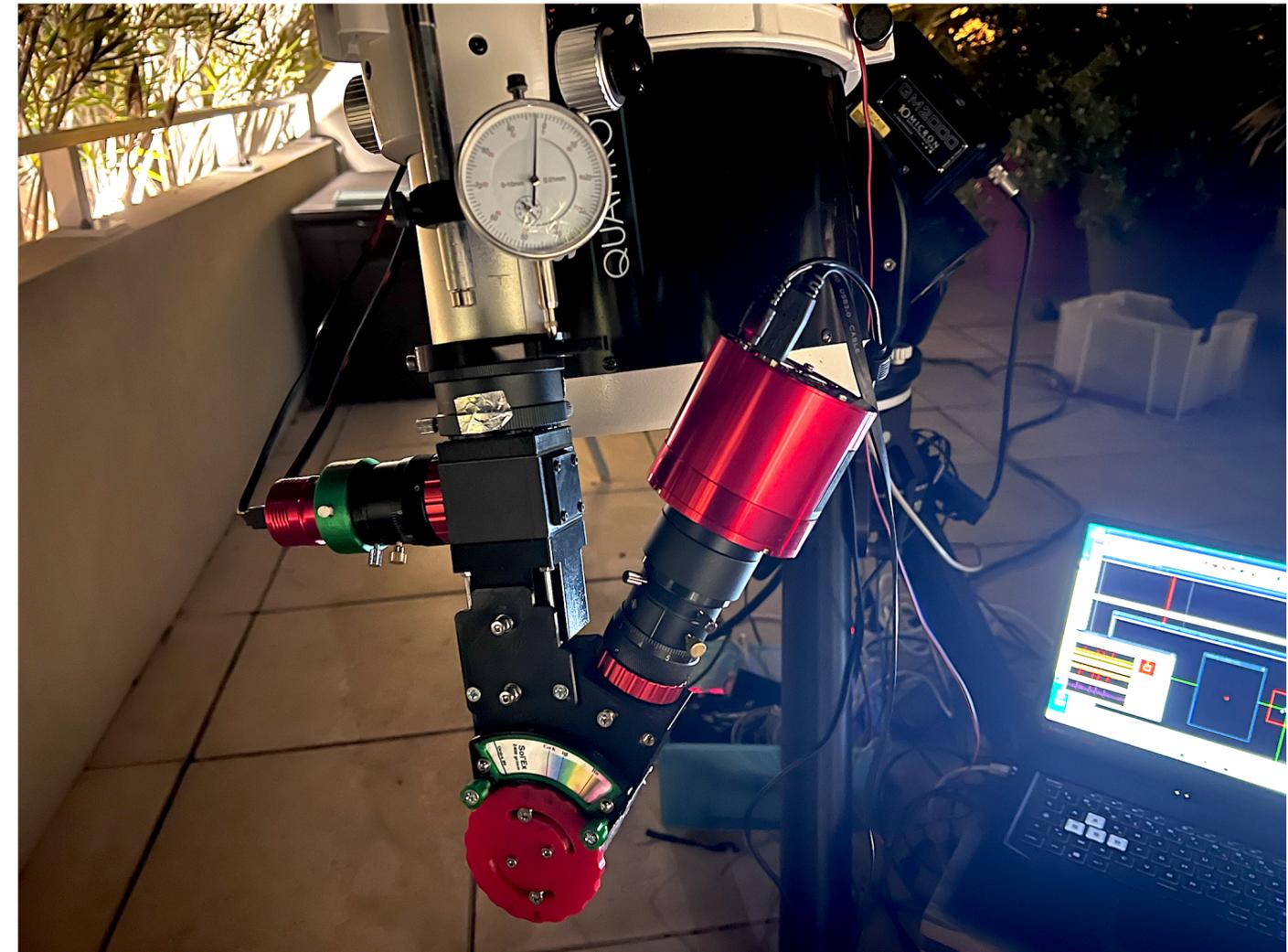


# Pour bien débuter avec Star'Ex

## Règle 8 : l'importance de bien focaliser sur la fente



**Focalisation à +/- 0,05 mm près**  
**Critère : flux maximal dans l'image, finesse de la trace**



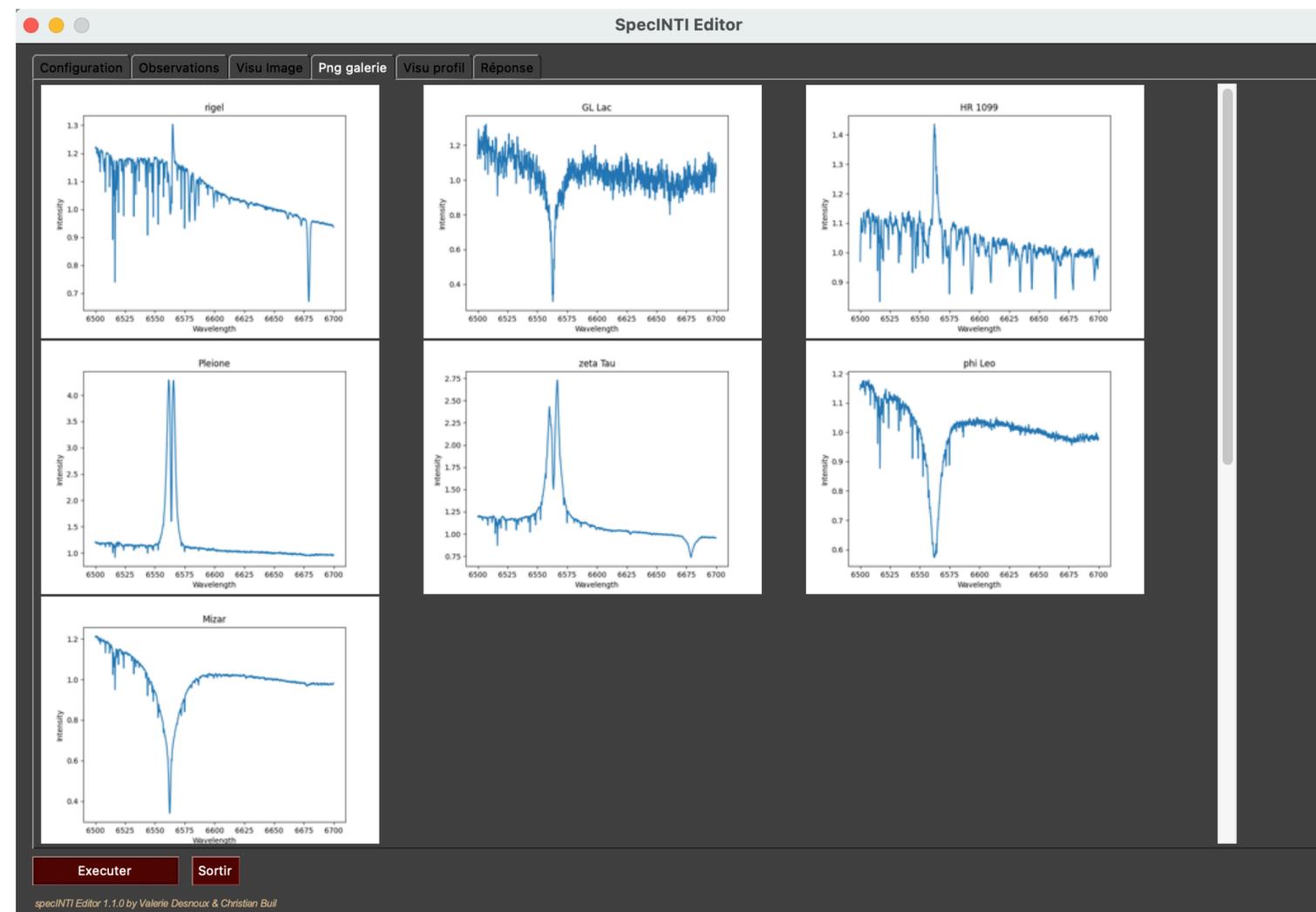
**Usage d'un micromètre de mécanicien à cadran recommandé ou motorisation fine du porte oculaire.**

# Pour bien débuter avec Star'Ex

## Règle 9 : savoir traiter les spectres

### La solution specINTI

transparence, productivité, performance, flexibilité

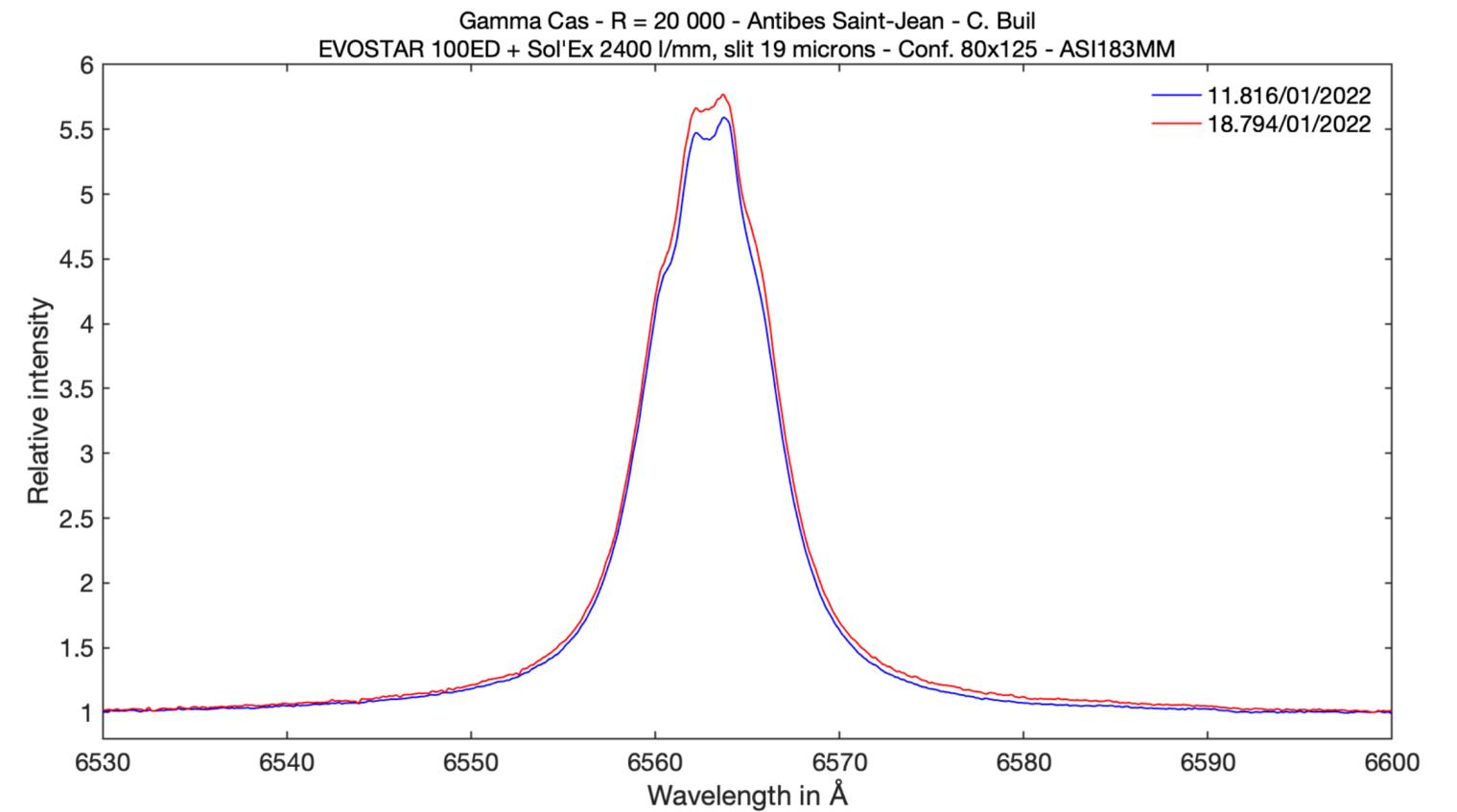
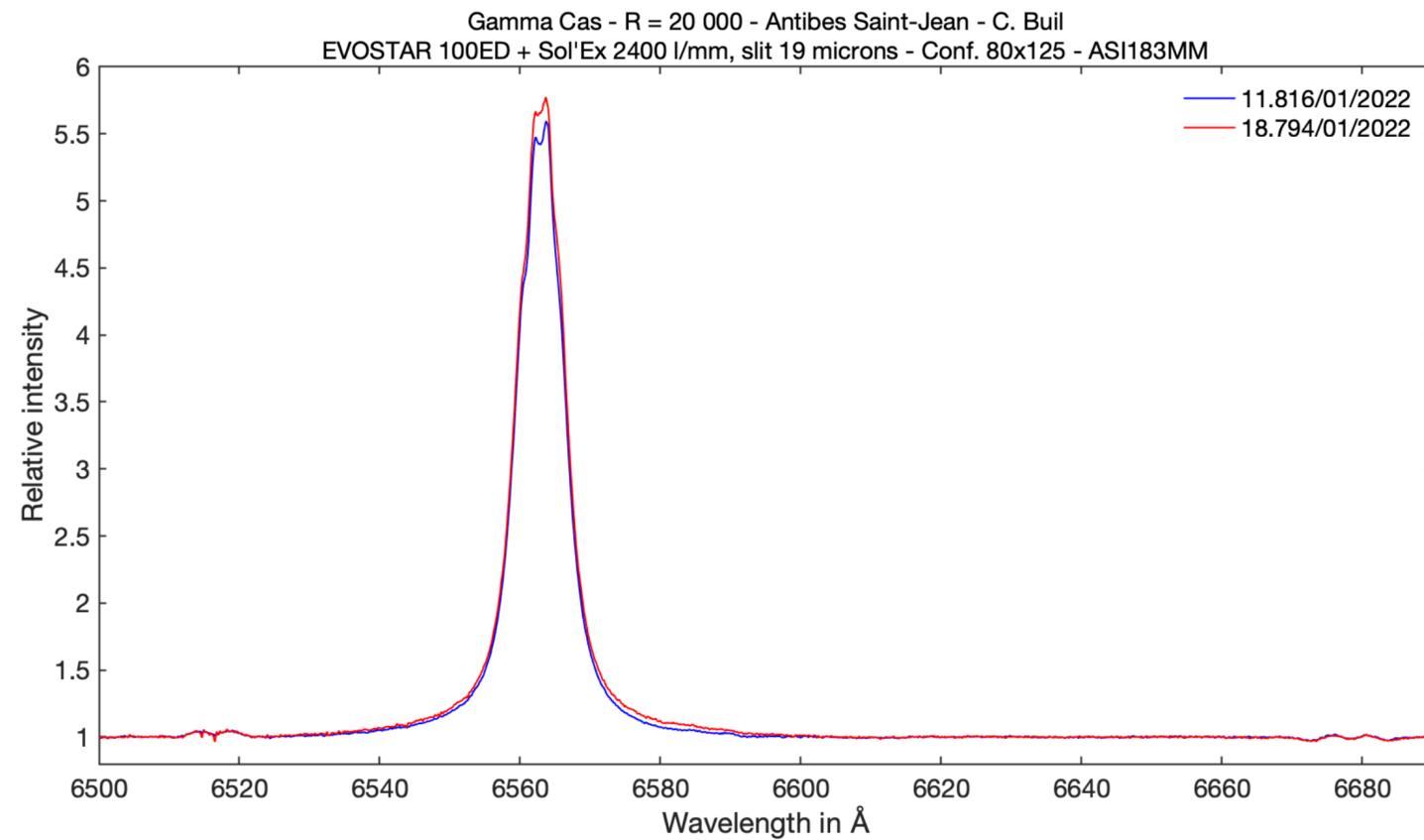


# Pour bien débuter avec Star'Ex

## Règle 10 : bien choisir les cibles (1/5)

Sélectionner des objets brillants, bien connus et attractifs

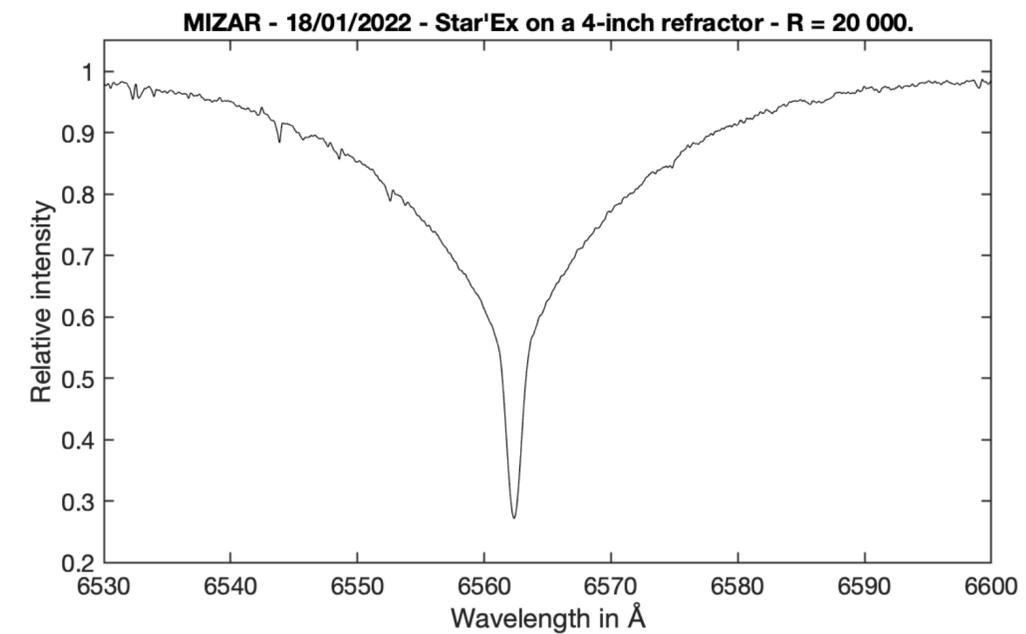
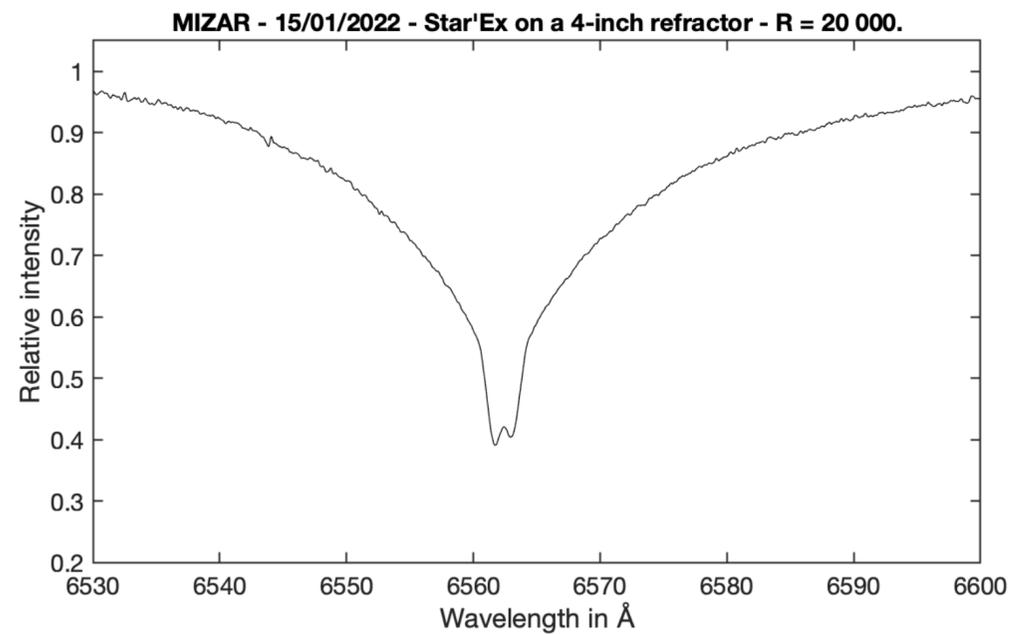
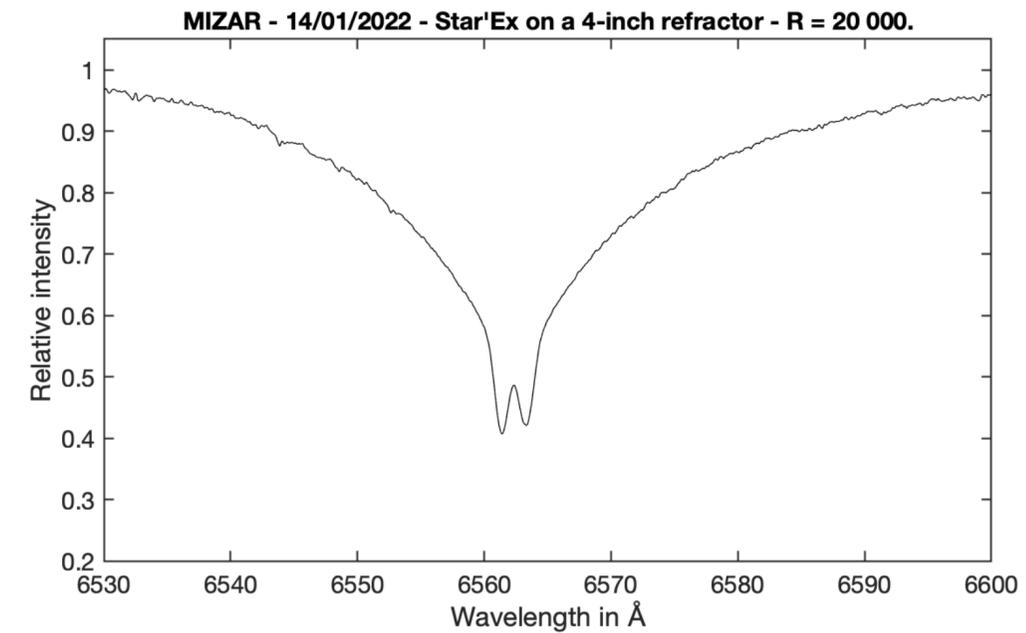
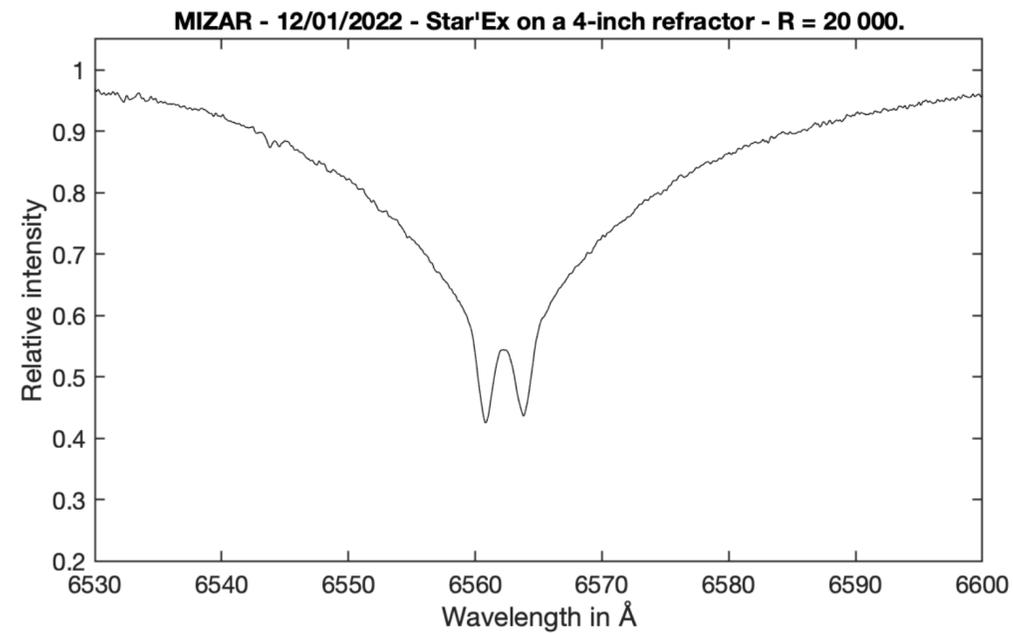
Proposition de cible #1 : gamma Cas (étoile Be, V = 2,3)



# Pour bien débuter avec Star'Ex

## Règle 10 : bien choisir les cibles (2/5)

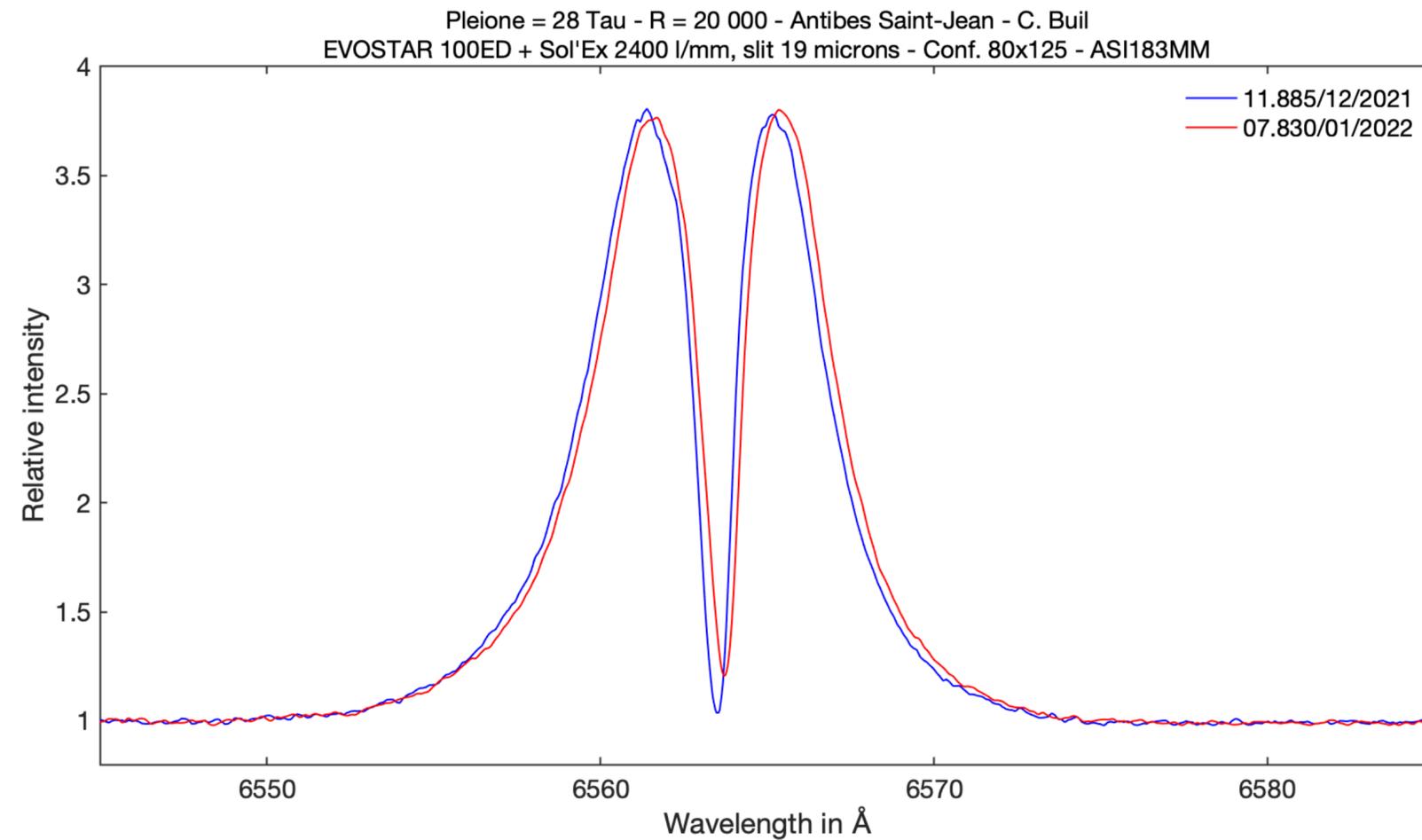
Proposition de cible #2 : Mizar = zeta UMa (double spectroscopique P = 20.5386 jours, V = 2,0)



# Pour bien débuter avec Star'Ex

## Règle 10 : bien choisir les cibles (3/5)

### Proposition de cible #3 : Pleione - 28 Tau (étoile Be, V = 5,1)

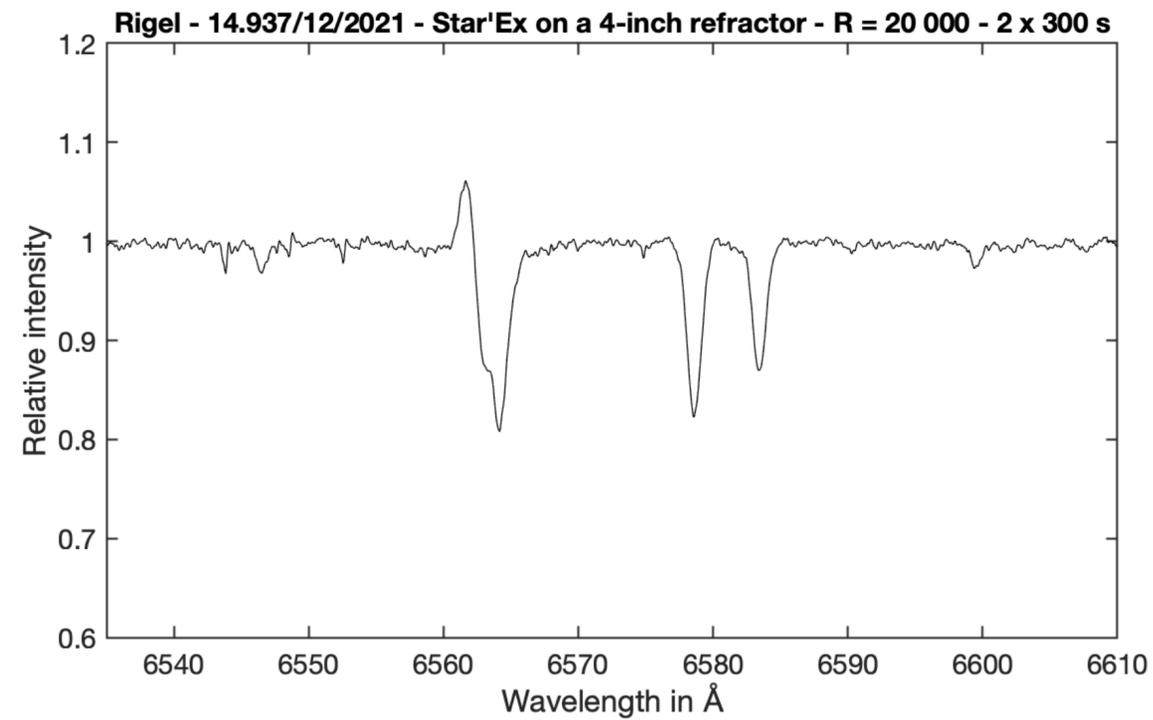


Note : le décalage en longueur d'onde des deux courbes vient du changement de la vitesse héliocentrique de la Terre dans la direction de l'étoile entre les deux dates (vitesse héliocentrique = vitesse de rotation de la Terre autour du Soleil)

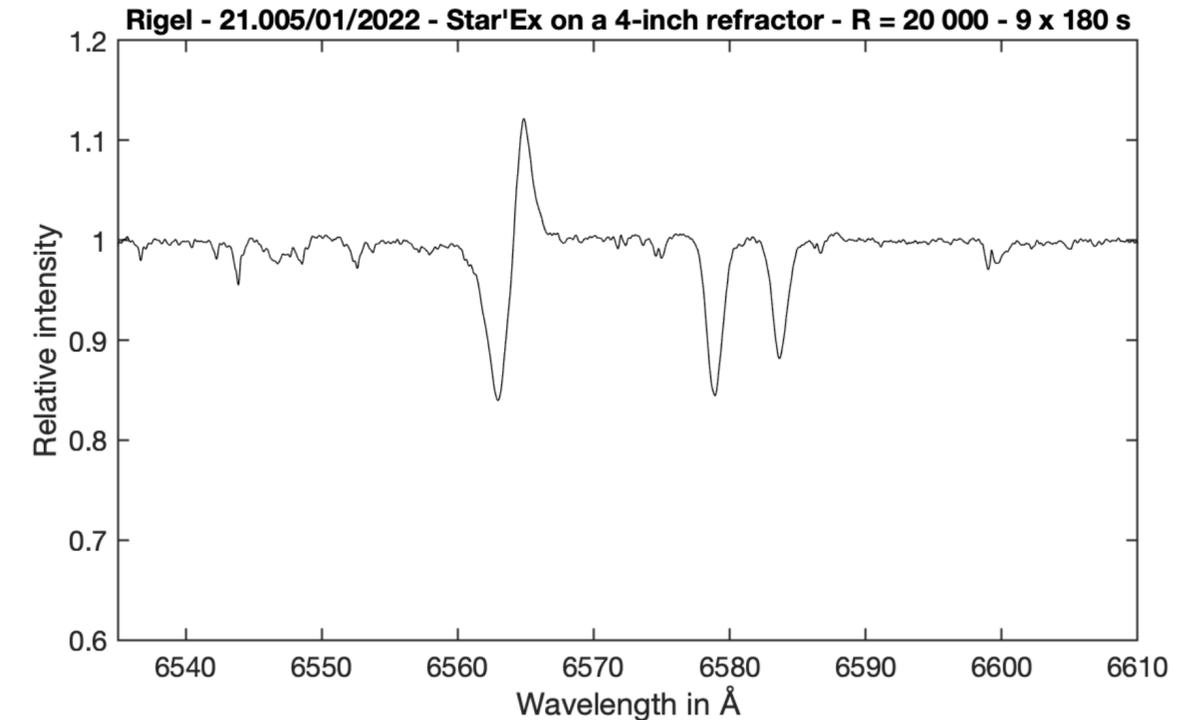
# Pour bien débuter avec Star'Ex

## Règle 10 : bien choisir les cibles (4/5)

### Proposition de cible #4 : Rigel - beta Ori (type B8Iae, V = 0,1)



**15 décembre 2021**



**21 janvier 2022**

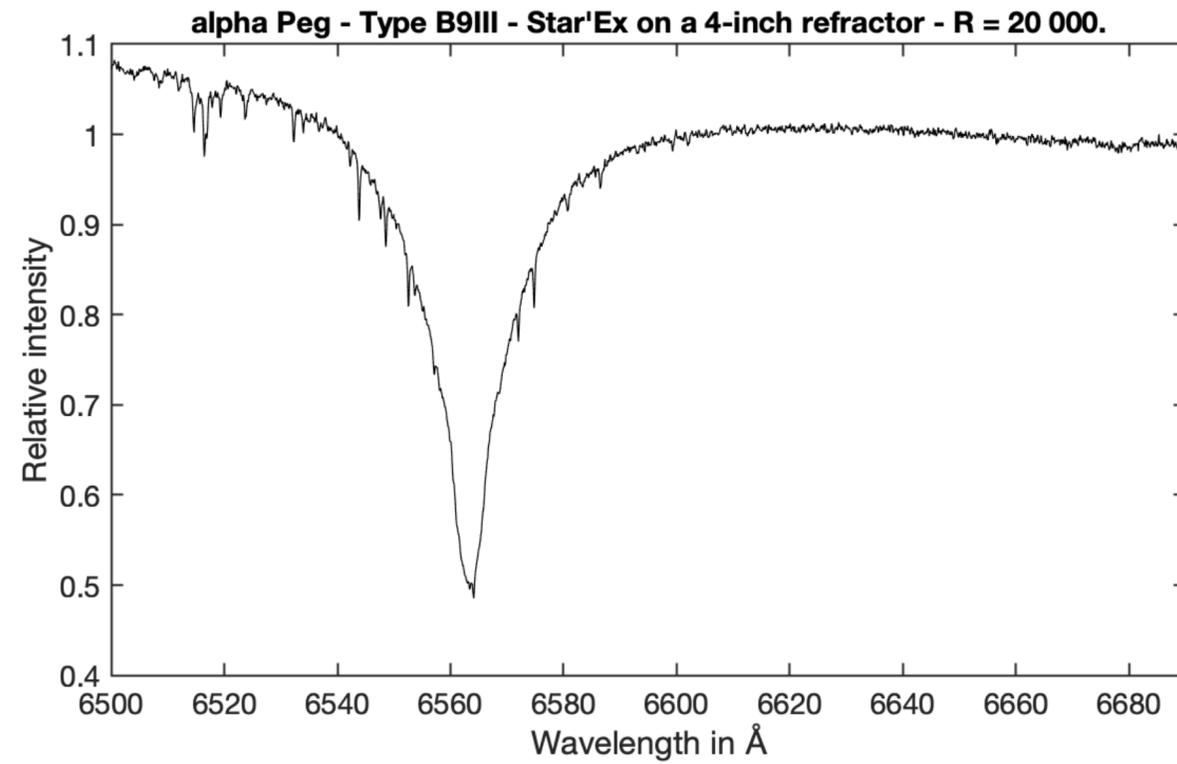
Note : les changements rapides dans l'atmosphère de cette étoile supergéante sont très bien mis en évidence grâce à la spectrographie.

# Pour bien débuter avec Star'Ex

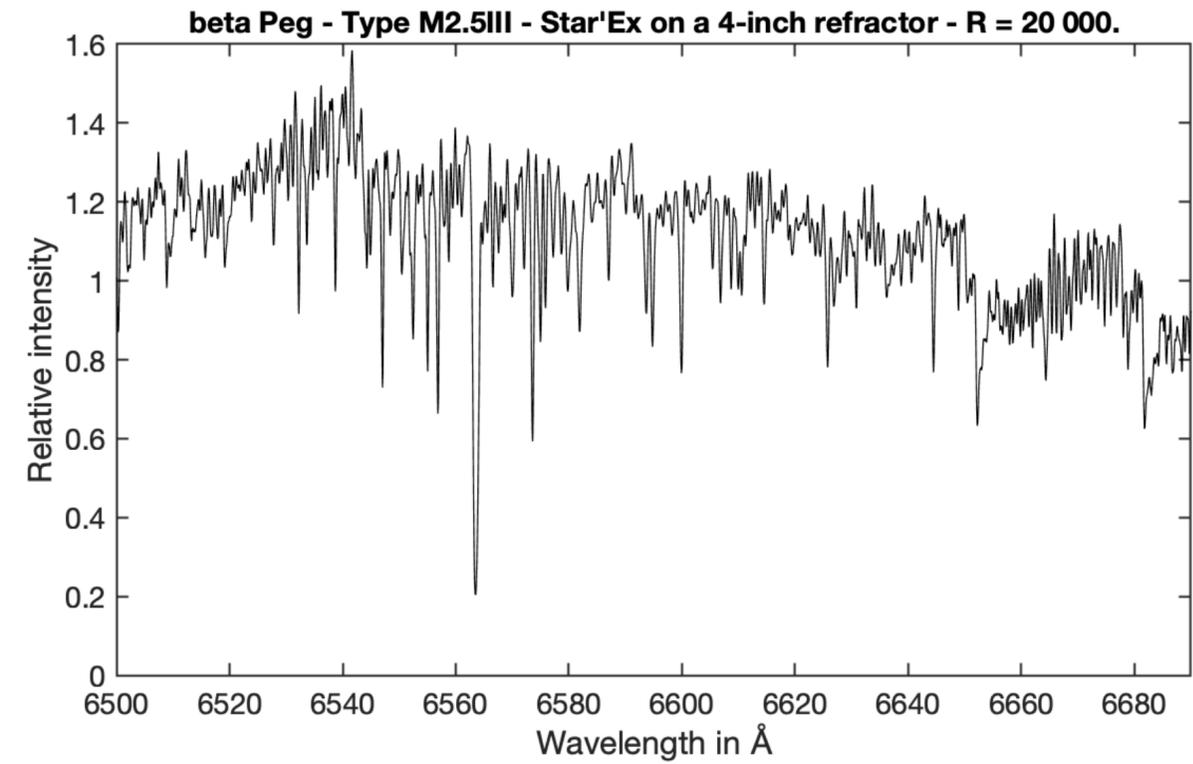
## Règle 10 : bien choisir les cibles (5/5)

Proposition de cibles #5 et #6 :

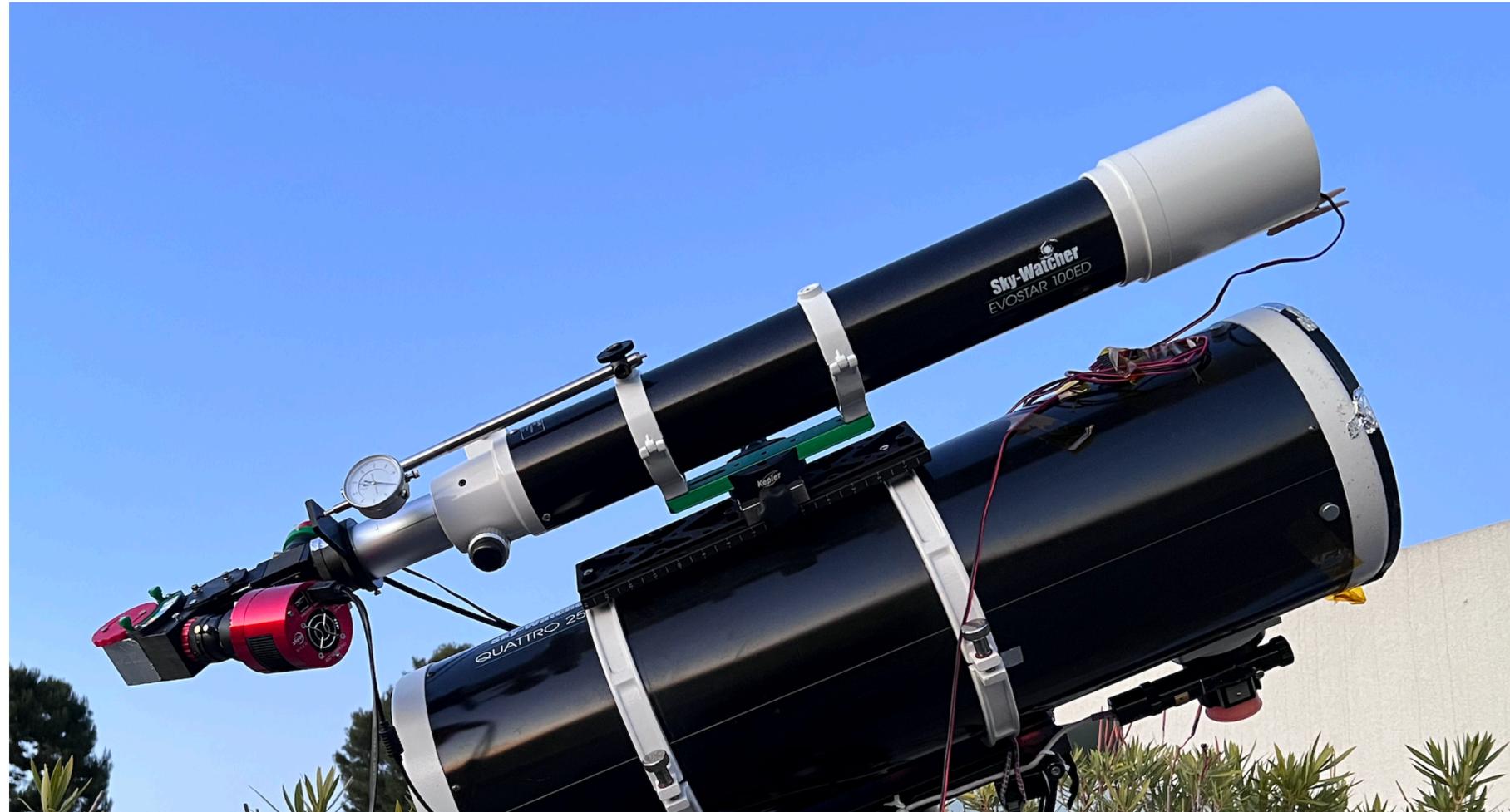
alpha Peg (type B9III, V = 2.5)



beta Peg (type M2.5III, V = 2.4)



## Projet Sol'Ex / Star'Ex



<http://www.astrosurf.com/solex/>