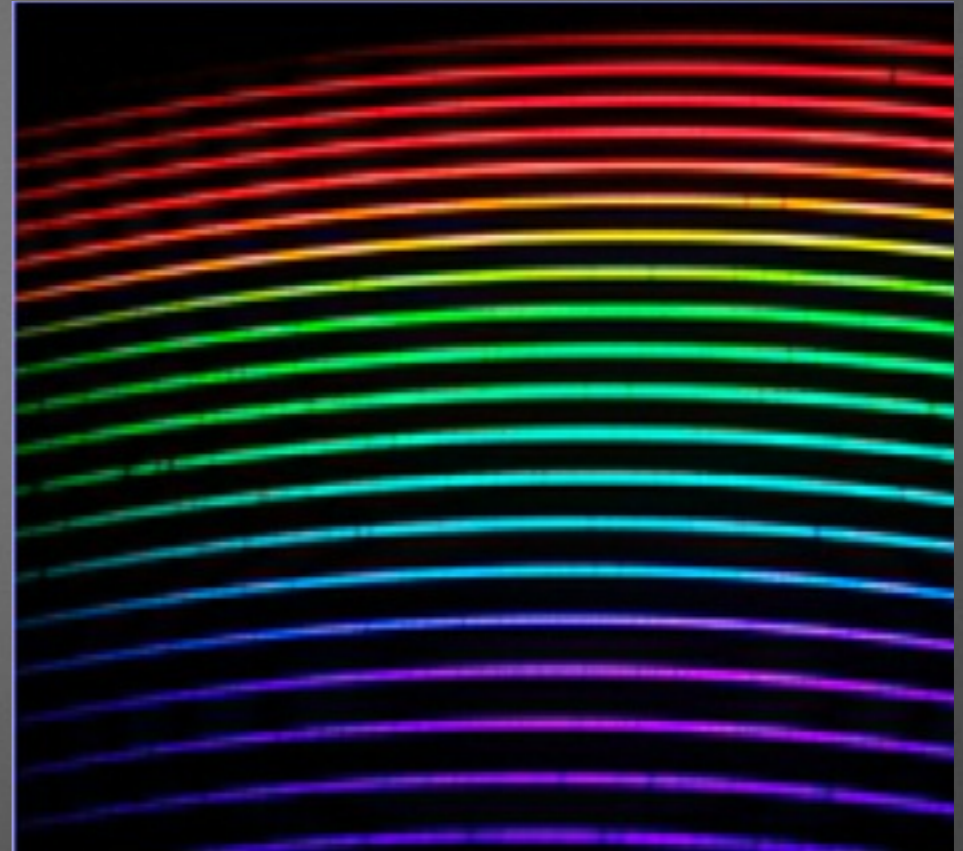


Spectroscopie échelle



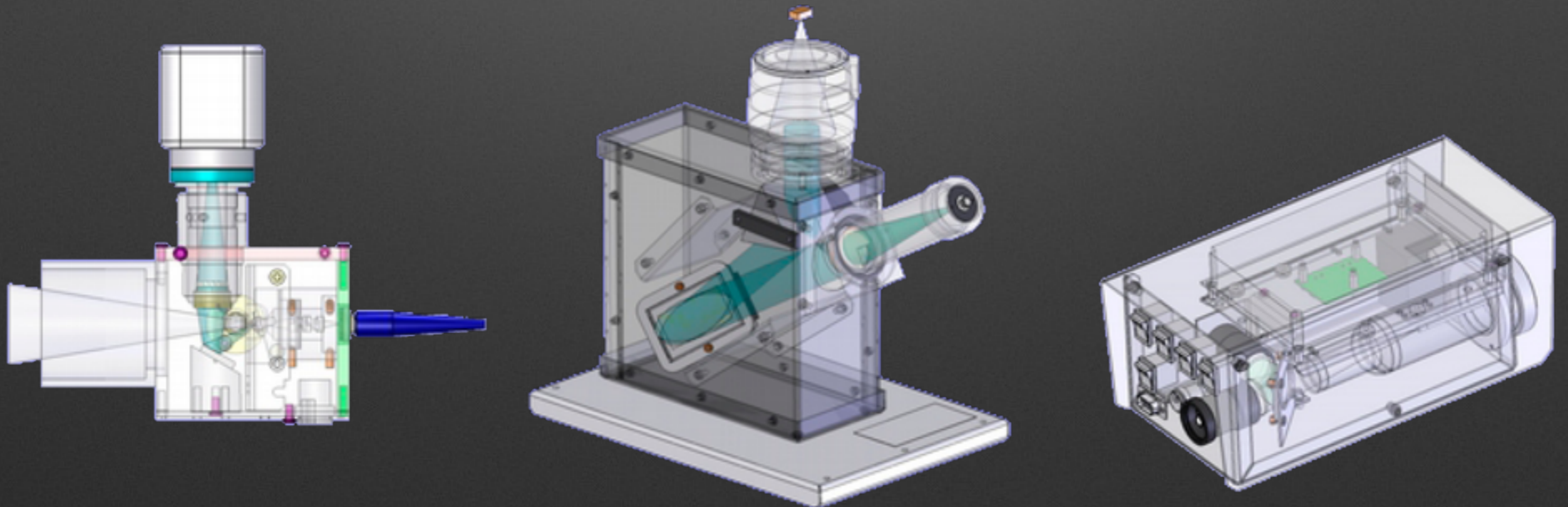
Sommaire



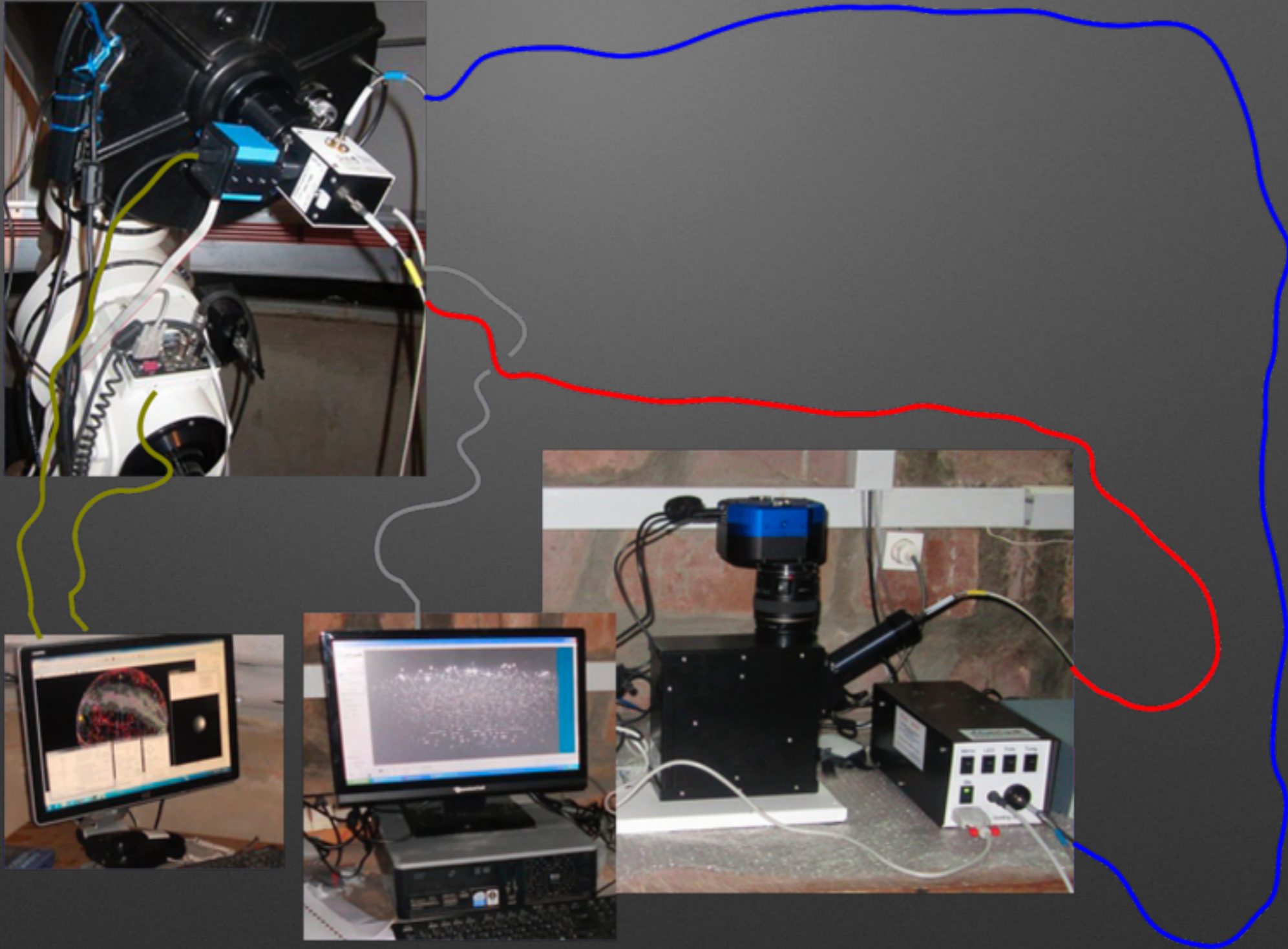
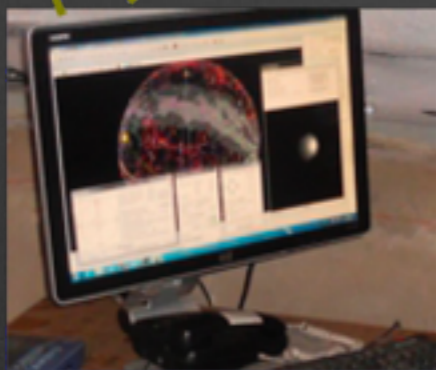
- Spectrographe eShel
- Mesures d'exoplanètes eShel
- Régulation eShel en température (cave à vin)
- VHIRES et 51 Peg
- Prototype eShel+

Spectrographe eShel

- Mis sur le marché en 2009
- Des installations un peu partout dans le monde
- A fibre optique (50um)
- Calibration Thorium-Argon
- Spectrographe échelle $R > 10000$



Spectrographe eShel - Modules

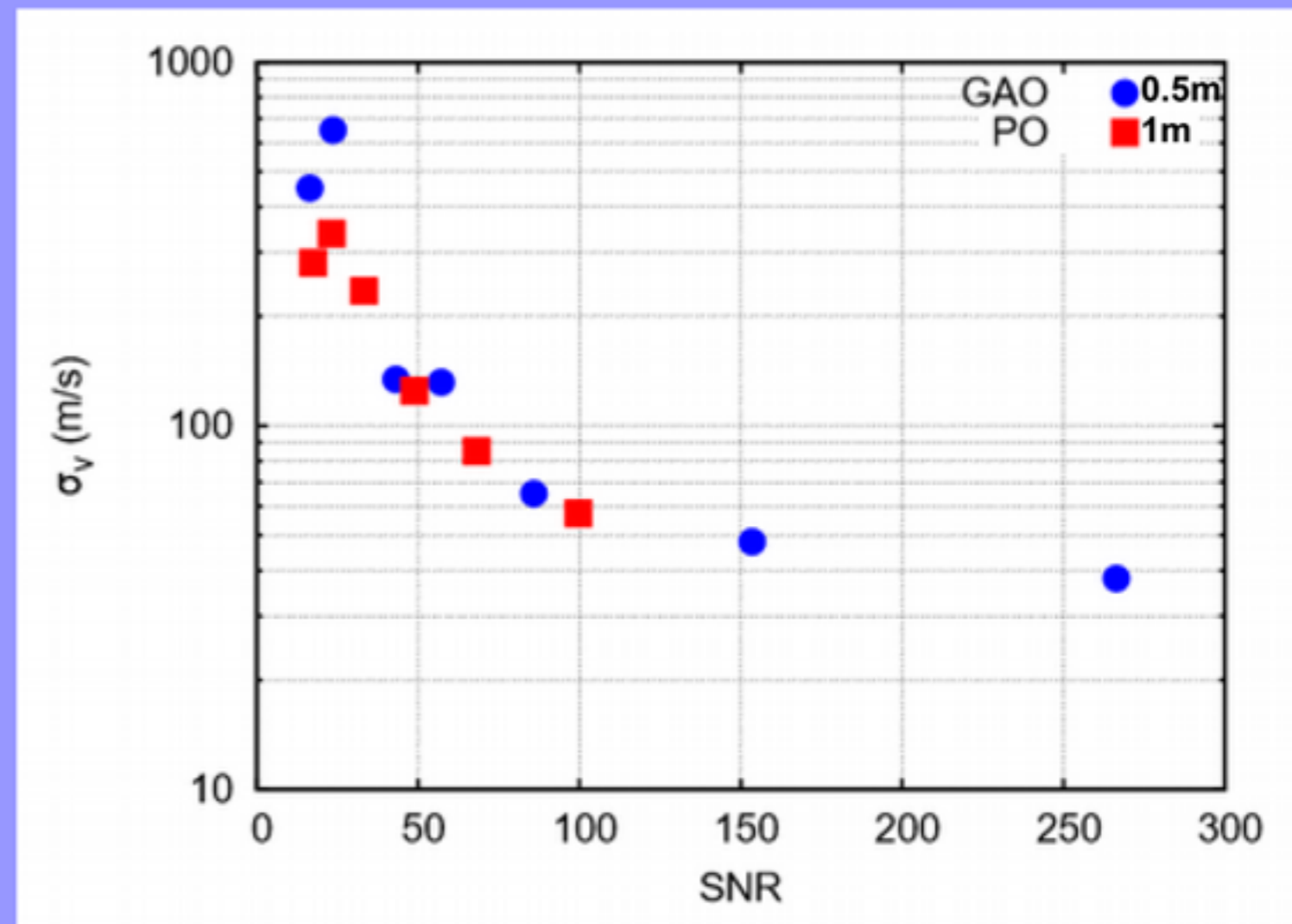


Performances eShel

	S/B = 20	S/B = 50	S/B = 100
D=20 cm F/D=5.9 (Celestron 8)	8.9	8.0	7.1
D=28 cm F/D=5.9 (Celestron 11)	9.6	8.7	7.7
D=35 cm F/D=5.9 (Celestron 14)	10.0	9.0	8.1
D=40 cm F/D=4.0 (Dobson)	10.3	9.2	8.4
D=60 cm F/D=3.5	11.0	10.0	9.1
D=100 cm F/D=3.5	11.5	10.5	9.6

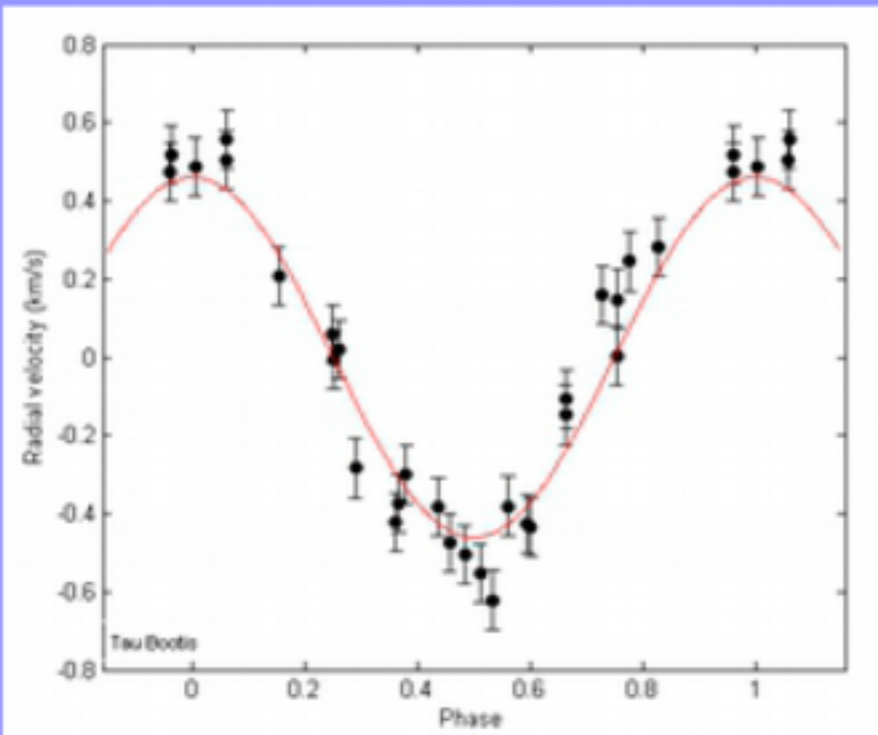
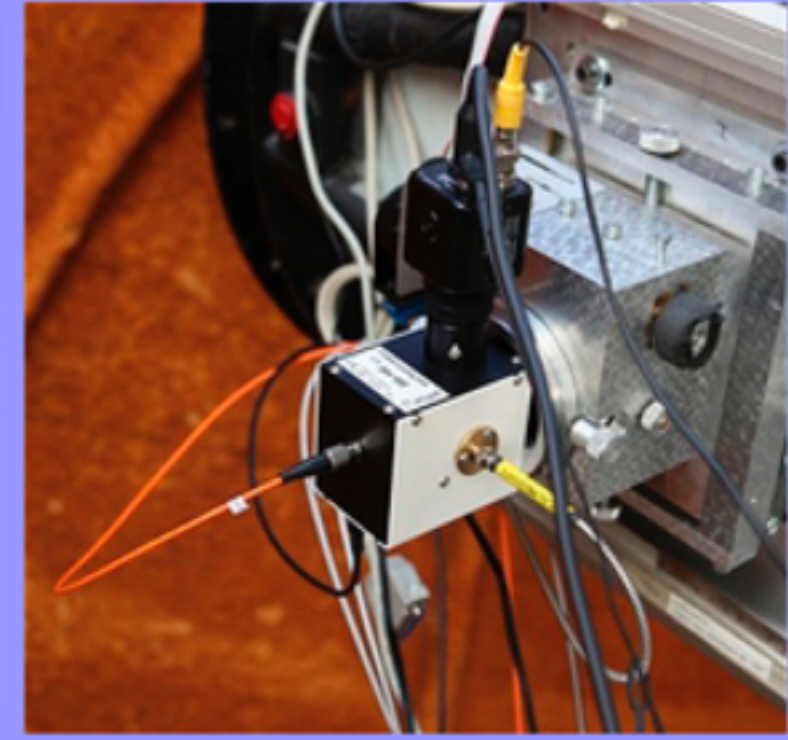
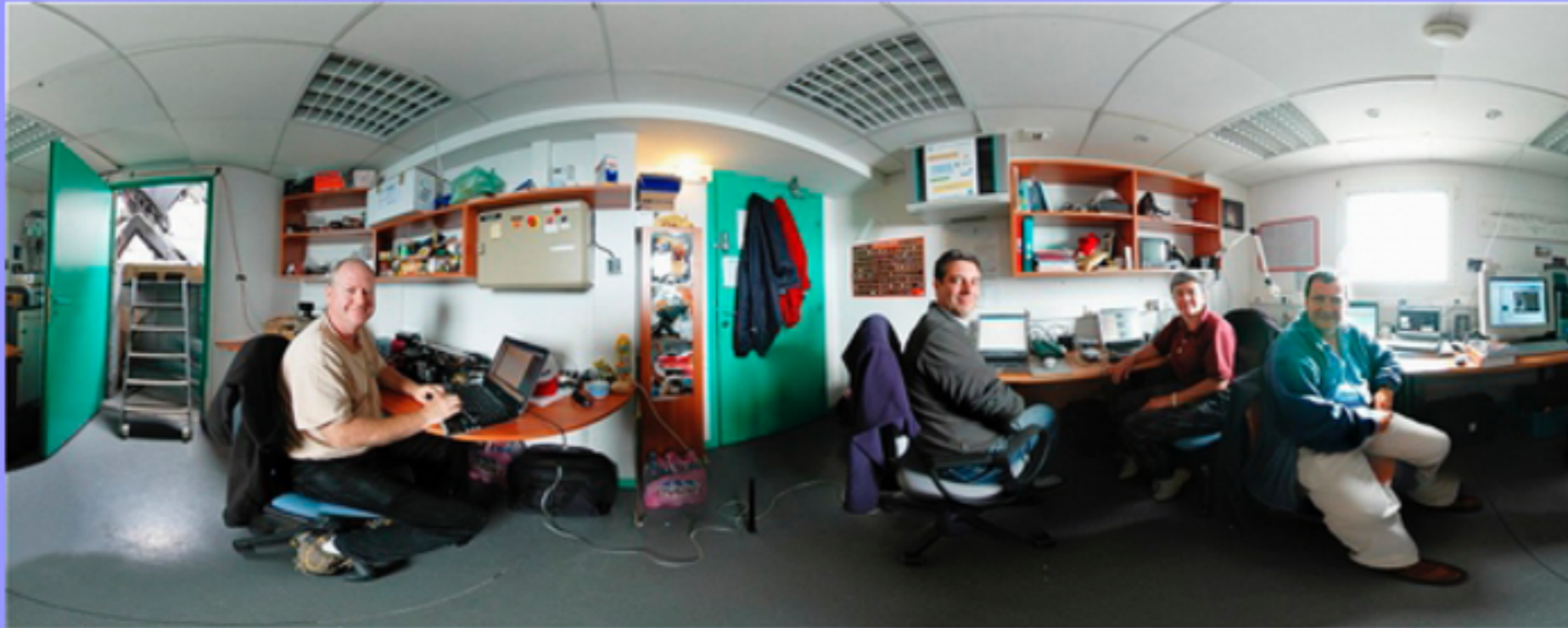
- Seeing (turbulence) : 3 secondes d'arc.
- Observation au niveau de la mer avec une étoile située 45° au dessus de l'horizon.
- Etoile de type spectral A0.
- Rapport signal sur bruit mesuré à 550 nm.
- Temps de pose de 1 heure décomposé en 6 poses individuelles de 600 secondes.
- Caméra CCD QSI-532 équipée d'un CCD KAF-3200ME (pixels de 6.8 microns, bruit de lecture de 11,4 électrons, gain de 1,3 électron/ADU et signal d'obscurité de 0,05 électron/seconde).

Magnitude	Celestron 11 - f/5.9	60 cm - f/3.5
3	37 m/s	18 m/s
4	56 m/s	28 m/s
5	95 m/s	46 m/s
6	175 m/s	75 m/s
7	360 m/s	140 m/s

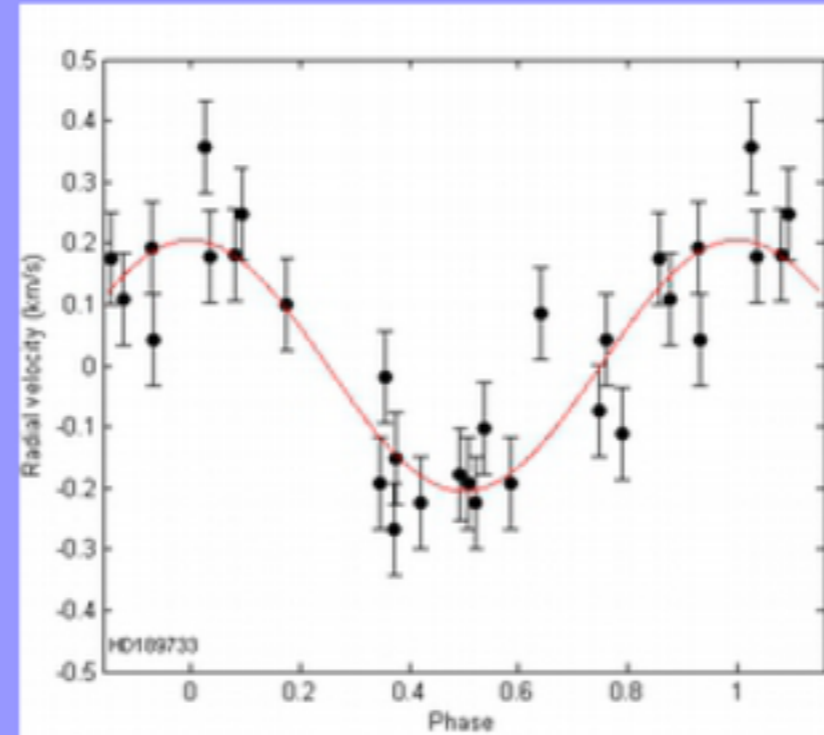


Estimating the signal to noise ratio of our spectra is not a trivial task because of the many spectral orders and lines. The SNRs were measured in a relatively line-free spectral region between 6774 Å and 6780 Å as the root-mean-square of the deviations from the maximum flux. By good seeing conditions we can reach SNR of about 100 for an F9 V star of $V = 3.6^m$ with 1 min exposure time using the spectrograph on our 0.5m RC telescope. The limiting magnitude is about $V = 10.5^m$ with the 0.5m telescope and $V = 12^m$ with the 1m telescope. To record spectra of such faint stars with still acceptable SNR, at least 1 hour of exposure time is needed. The accuracy of the derived RVs as a function of the SNR is shown in Figure 2.

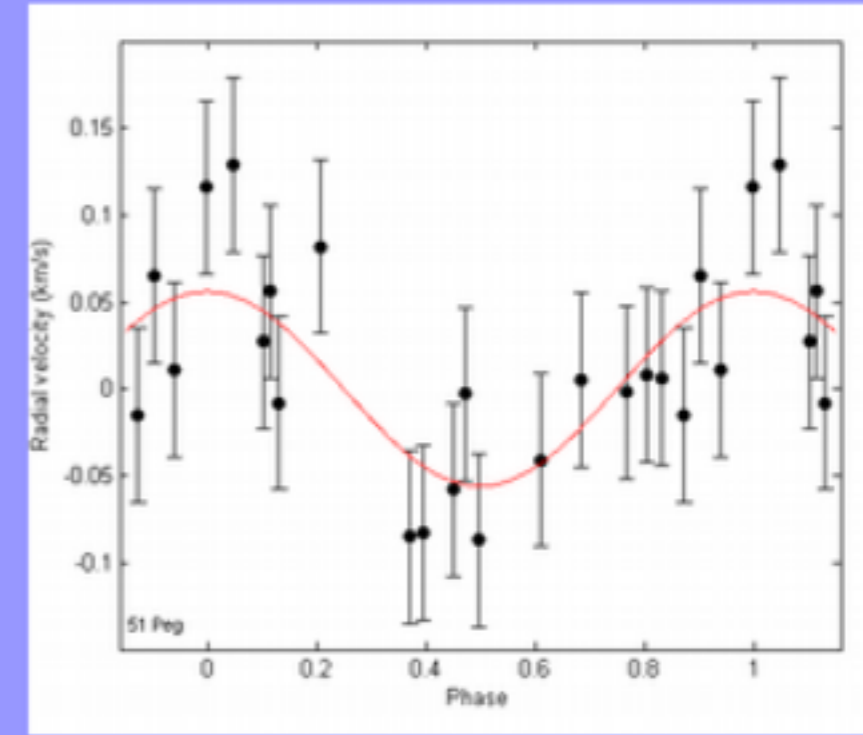
Mesures amateurs d'exoplanètes



tau Boo -b

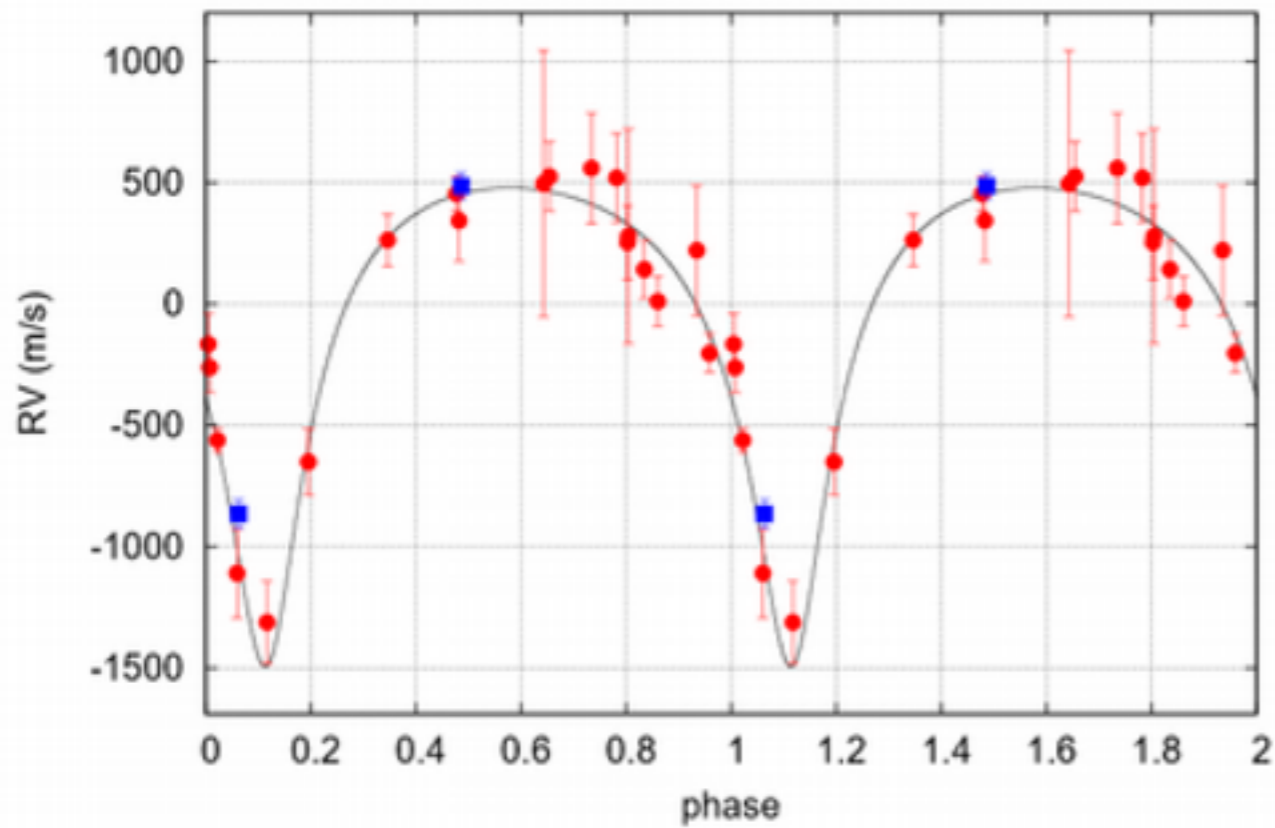


hd189733-b

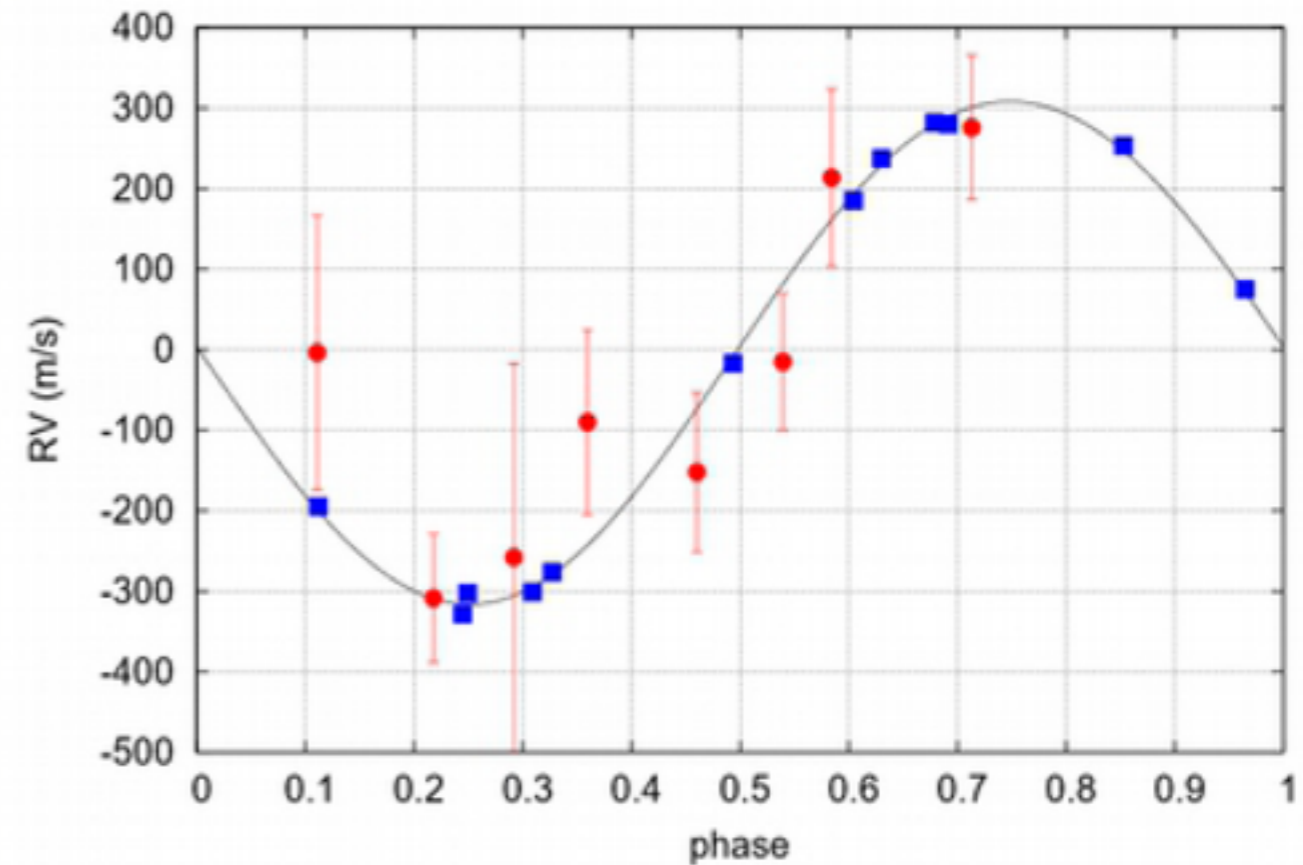


51 Peg-b

Mesures professionnelles eShel

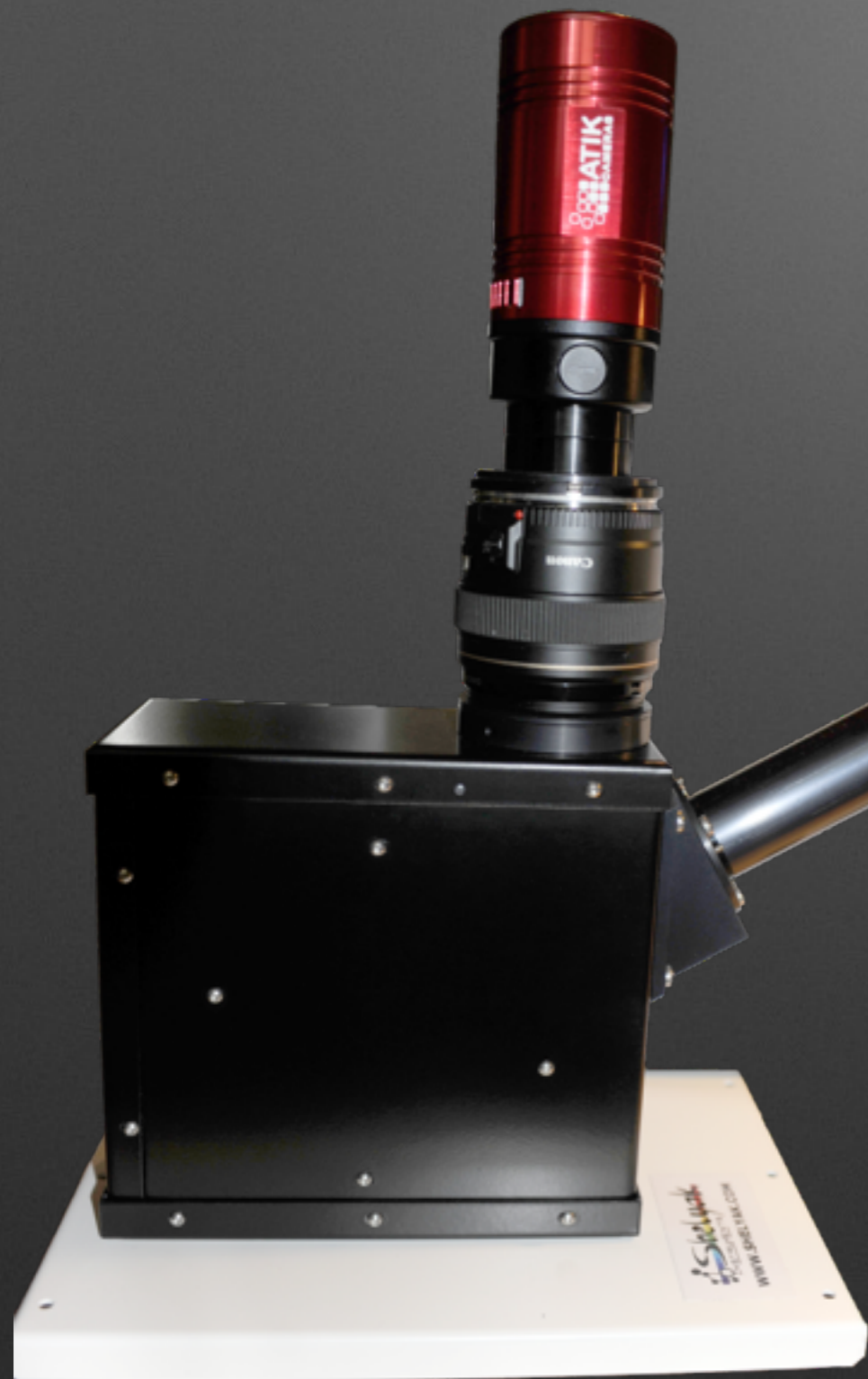


HAT-P-2b



HAT-P-22b

Régulation en température pour le spectro eShel



eShel



Observatoire de la Tourbière



Par Olivier GARDE (ARAS-CALA)

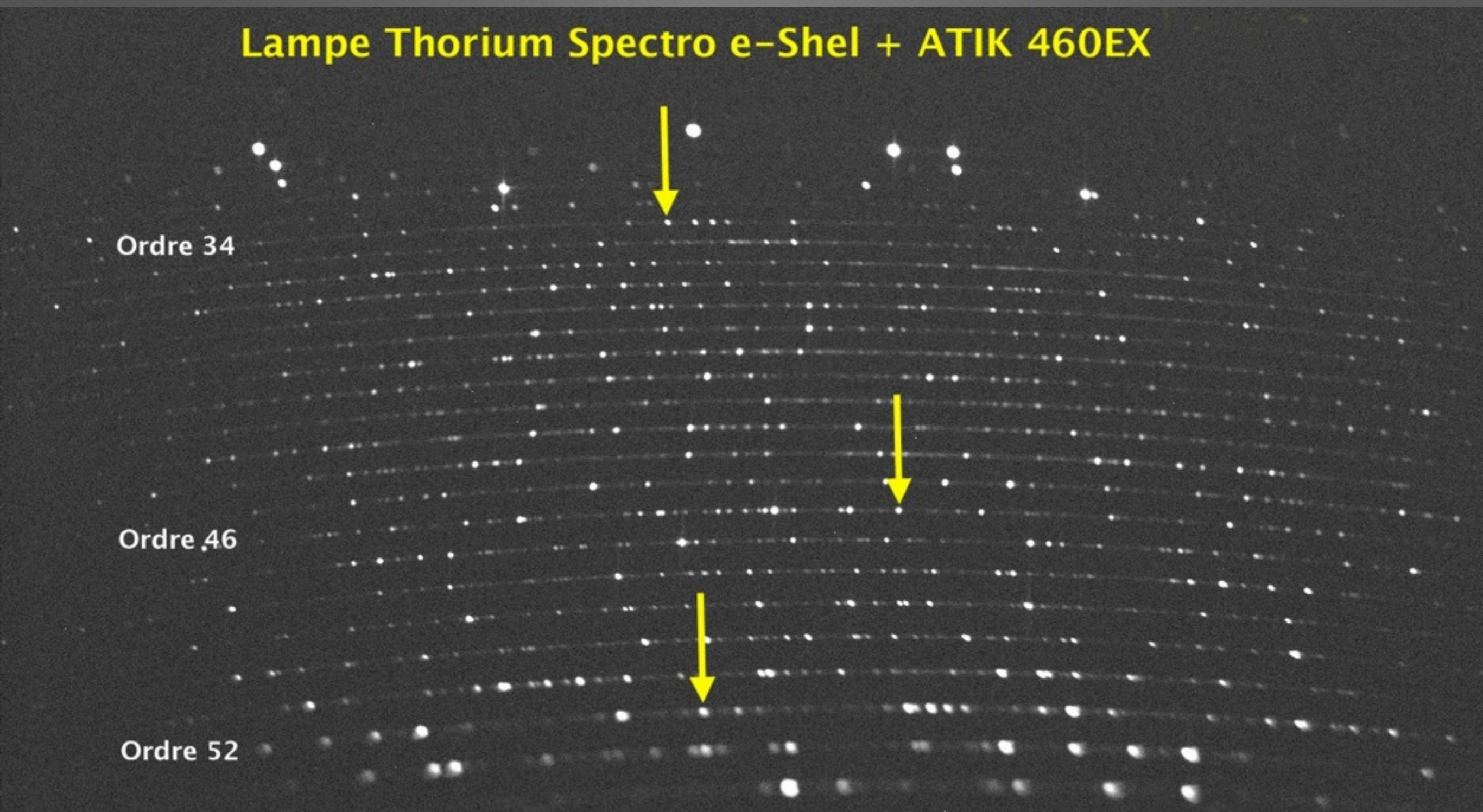
Le constat de départ

Lampe Thorium Spectro e-Shel + ATIK 460EX

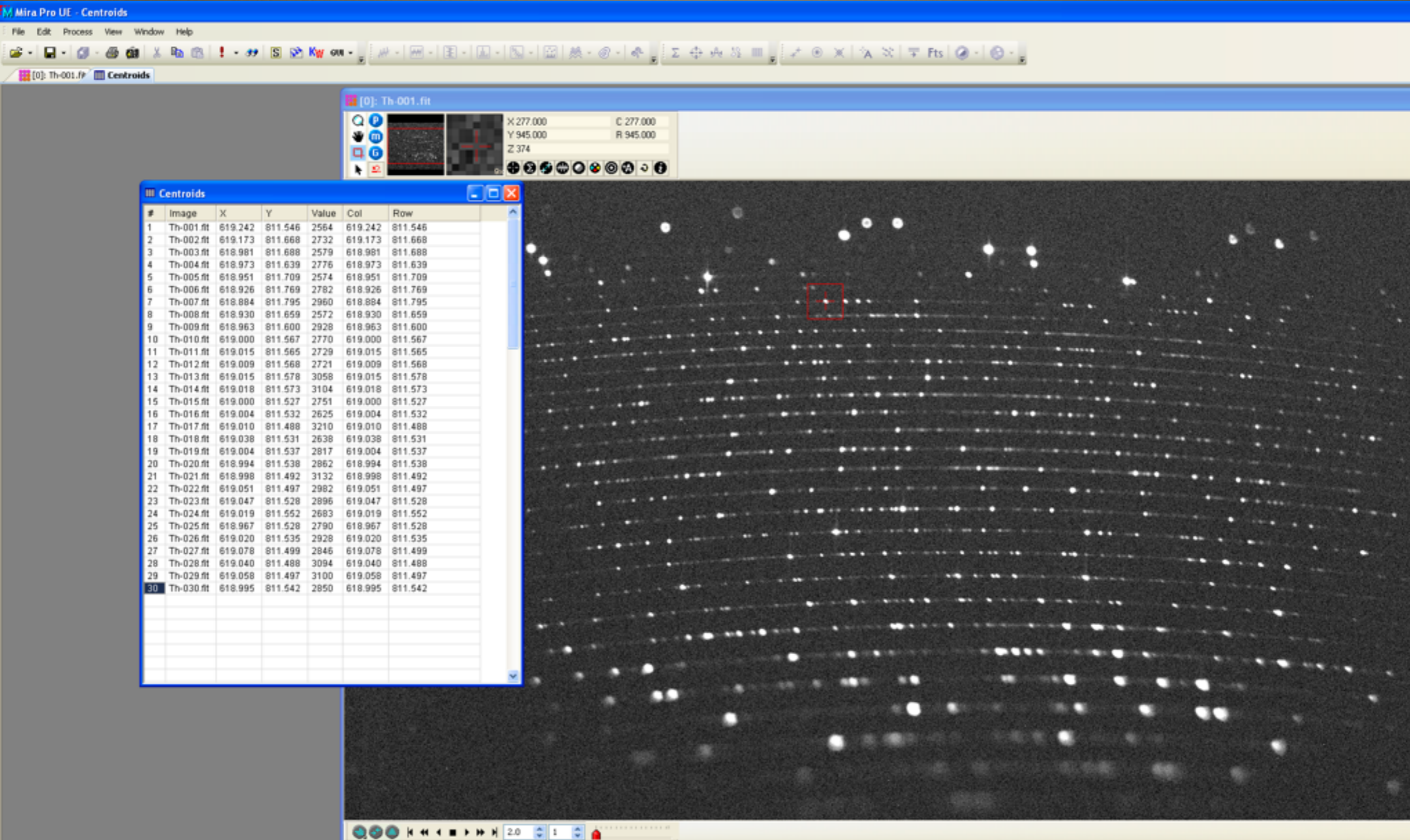
Ordre 34

Ordre 46

Ordre 52



Le constat de départ



Mesures réalisées avec MIRA Pro

Le constat de départ

Dérives maximum constatées en pixels de 9μ

Δ Température °C		Ordre 34		Ordre 46		Ordre 52	
ΔT° local	ΔT° Spectro	ΔX pixels	ΔY pixels	ΔX pixels	ΔY pixels	ΔX pixels	ΔY pixels
-0,01	1,04	0,358	-0,249	0,366	-0,227	0,415	-0,389
0,22	0,56	0,227	-0,032	0,263	0,066	0,288	0,104

Dispersion à l'ordre 34 : $0,18 \text{ \AA/pixel}$

Dispersion à l'ordre 46 : $0,133 \text{ \AA/pixel}$

Dispersion à l'ordre 52 : $0,119 \text{ \AA/pixel}$

Pour une augmentation de la température du spectro
d' **1°C** (entre 21 et 22°C)

le décalage moyen des raies est de **$2,95 \text{ km/s}$**

Pour une variation de **$0,6^\circ\text{C}$** \Rightarrow **$1,86 \text{ km/s}$**

La solution envisagée

Cave de service

LA SOMMELIERE CVDD 51B

★★★★☆ 3,8/5 (24 avis)



Enfermer le spectro dans une cave à vin

Les avantages

- Dimensions adaptées au spectro eShel
- Compresseur accessible et facile à démonter
- Chassis métallique
- Protège le spectro de la poussière
- Protège le spectro de l'humidité
- Permet d'augmenter le refroidissement de la CCD

Les modifications



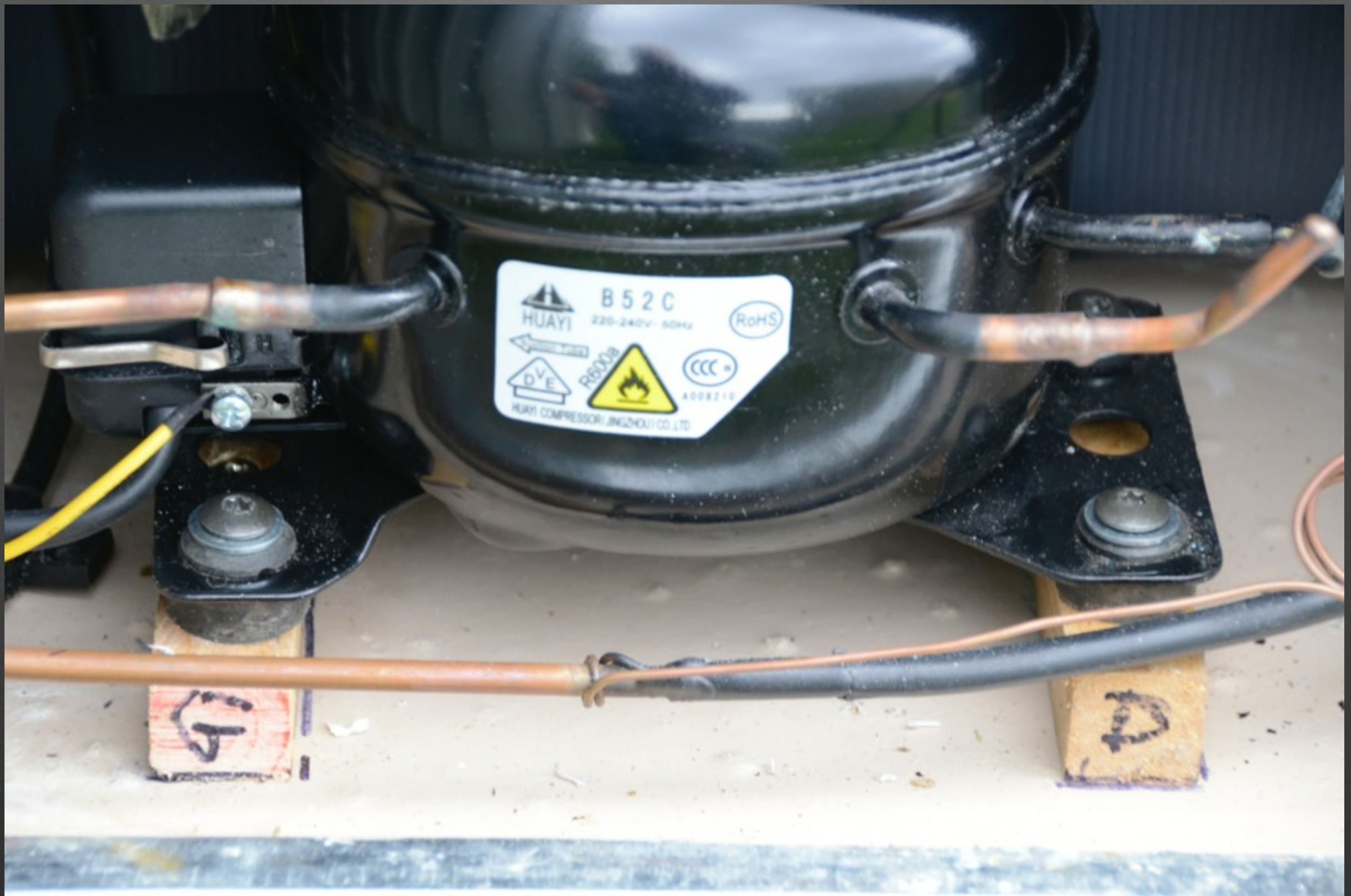
Le compresseur : source de vibrations

Les modifications



Démontage du compresseur

Les modifications



Fixation du compresseur sur la dalle béton du local

Les modifications



Fixation de la cave à vin au sol

Les modifications



Le passage des câbles et fibres

Les modifications

USB CCD

Alim 12V CCD

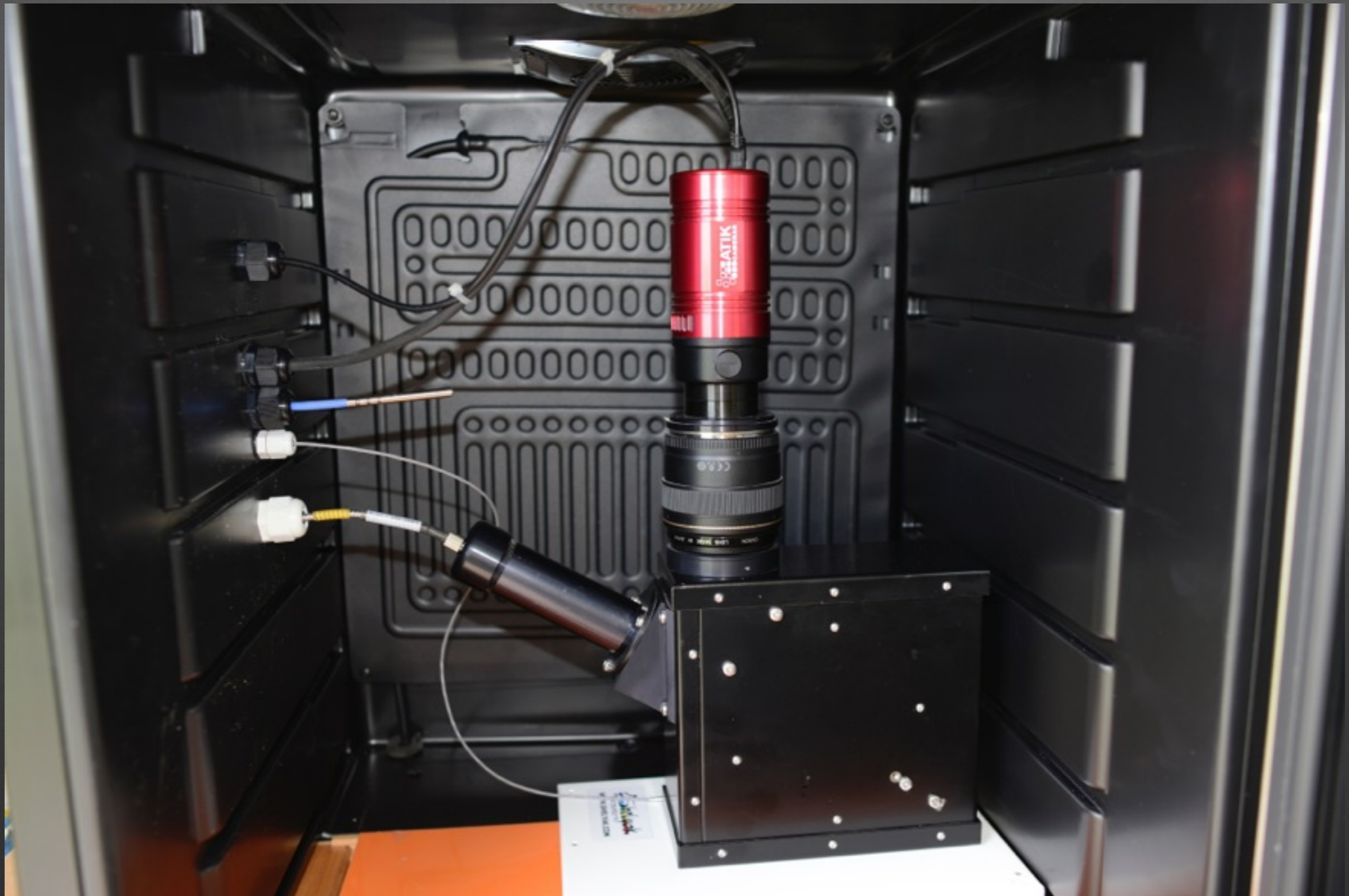
Sonde T° ambient

Sonde T° spectro

Fibre spectro

Mise en place à l'intérieur de presses-étoupes

Les modifications



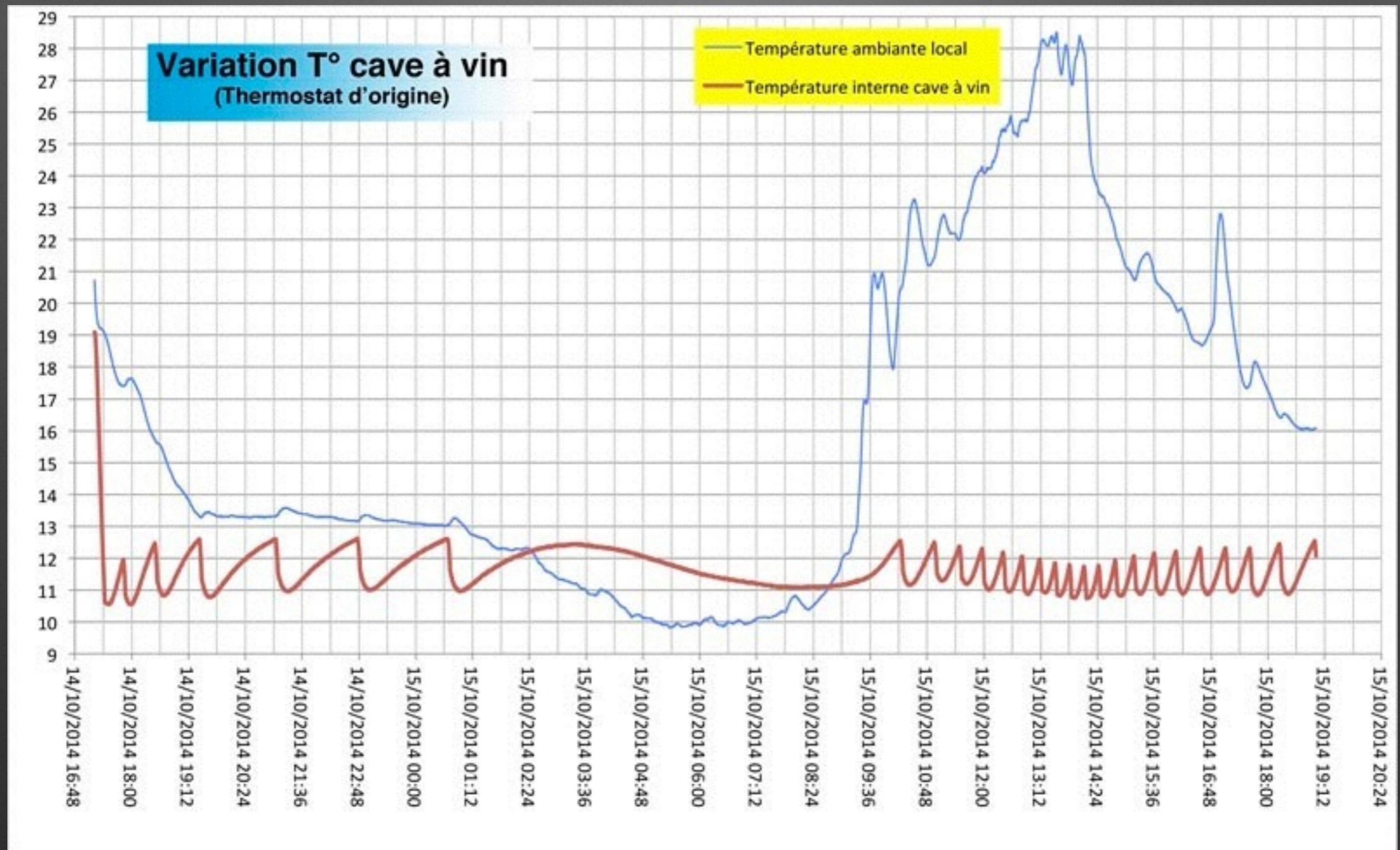
Le spectro installé à l'intérieur de la cave à vin

Les modifications



Augmenter l'inertie thermique

Utilisation avec le thermostat d'origine



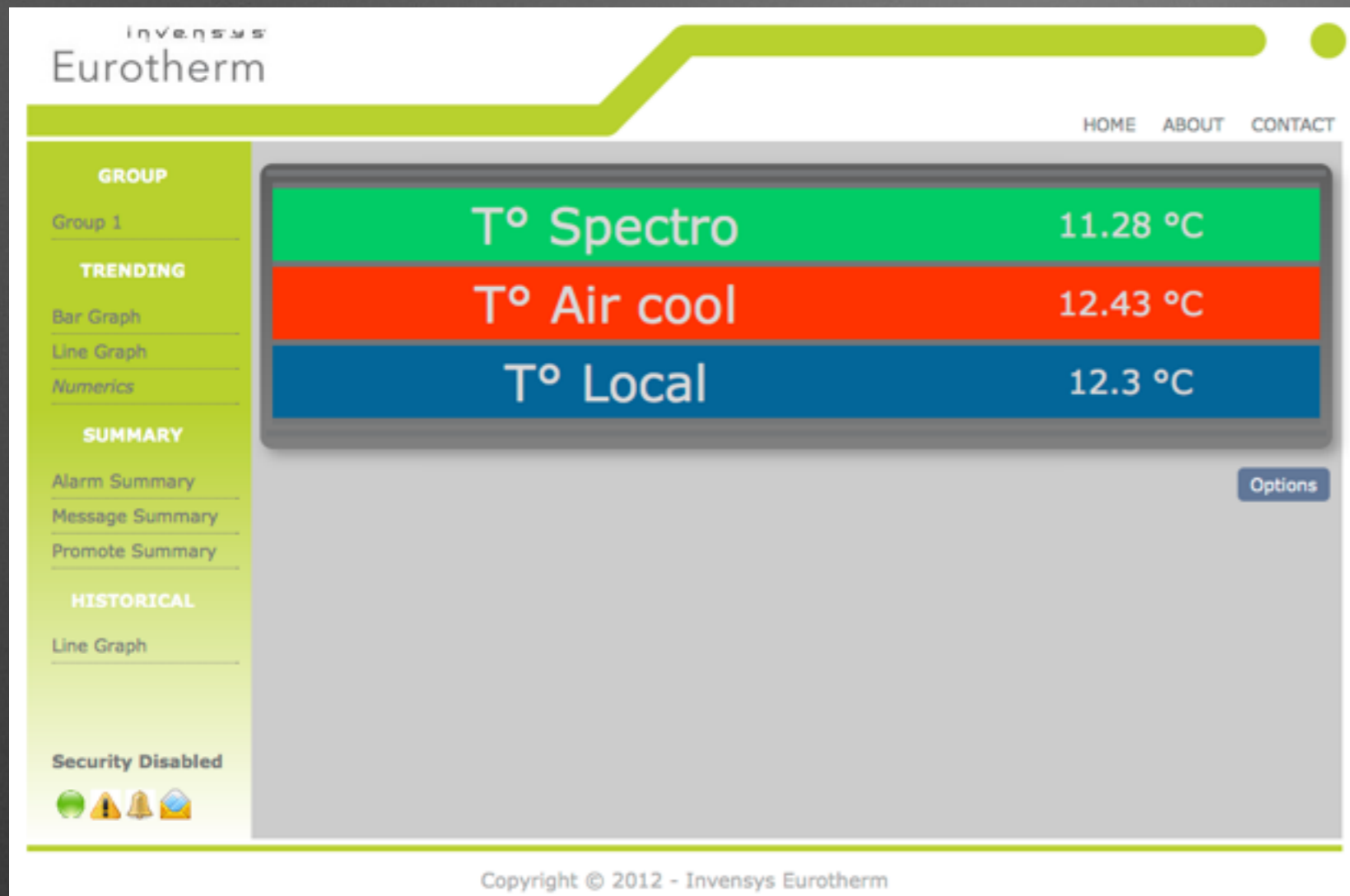
Variations sur 27 heures

Programation d'un PID



Modèle Nanodac d' Eurotherm

Avantage du Nanodac



- Nombreuses entrées et sorties
- Enregistrement des données en local
- Web interface

Utilisation de sondes PT100 classe A 3 fils

Les résultats actuels

Régulation à $\pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$

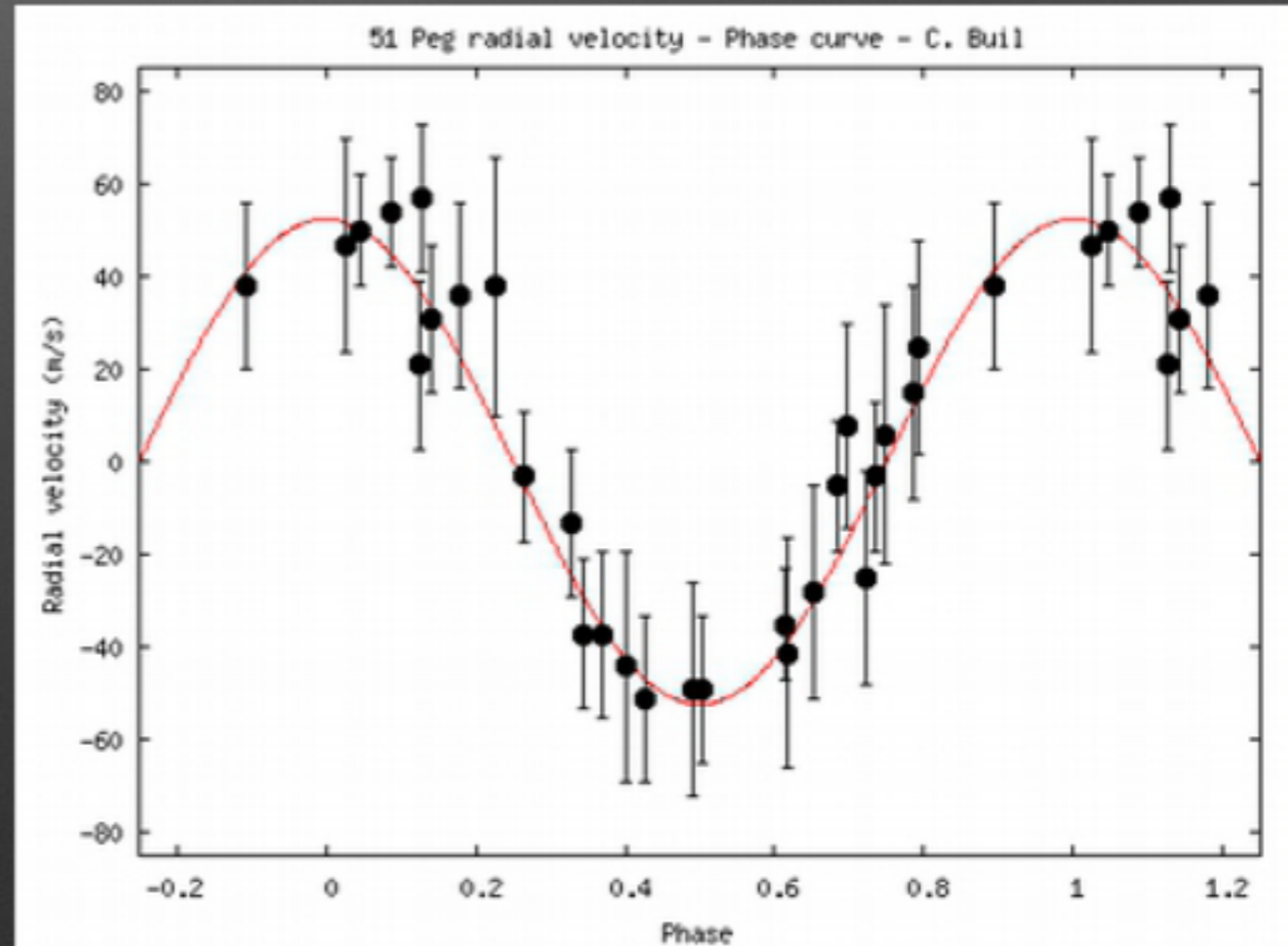
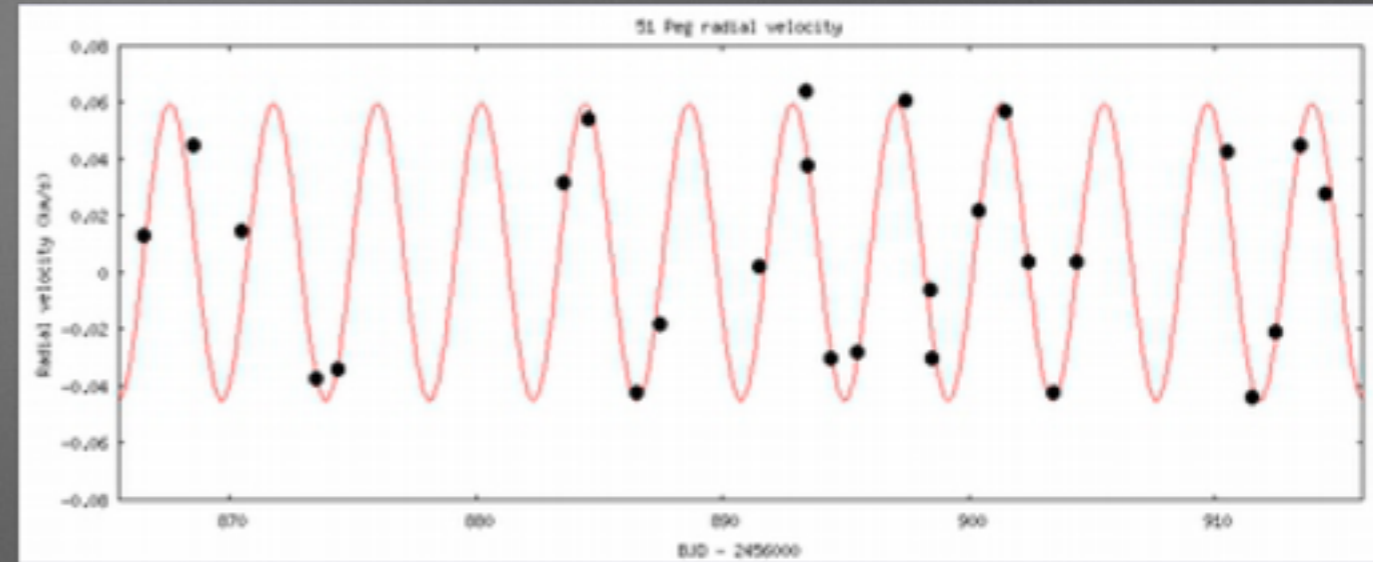
Les points à améliorer

- Problèmes de trouver les bons paramètres pour le PID
- Utiliser des sondes de température plus précises (DIN 1/10)
- Cas où la température ambiante $<$ à celle de régulation ?
- Réchauffage de la cave à vin en plus de la chaleur produite par la CCD

Le spectro dans son environnement



VHIRES : 51 Peg-B (C. Buil)



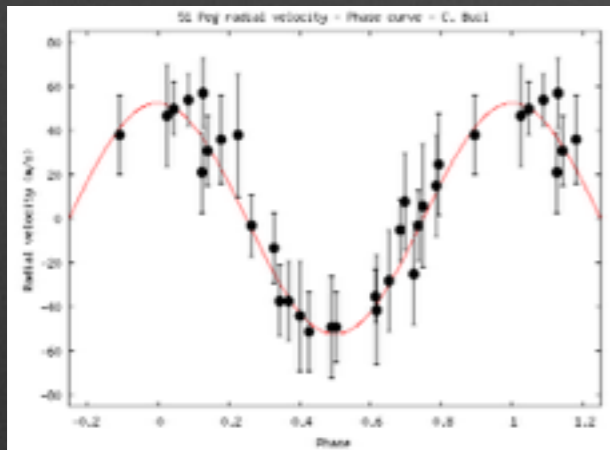
Analyse paramétrique de la précision de mesure en vitesse radiale (RV) d'un spectrographe

D'après P Hatzes, W. Cochran, M. Endl
The Detection of Extrasolar Plants using Précise Stellar
Radial Velocities
Astrophysics and Space Science Library, Vol 366,
pp55-77, 2010.

Calcul de la constante C à partir de l'observation de 51 Peg b, réalisée avec un spectrographe VHIREs-MO (été 2014, Castanet-Tolosan, OHP)

Paramètres étoile (51 Peg) : $V = 5,5$, type G2V,
 $v \sin i = 2,4$ km/s, $f(\text{Sp.T}) = 1,0$

Paramètres spectrographe : $S/N = 200$ (par
élément de résolution, exposition = 1 heure),
 $R = 50000$, $B = 660$ Å (225 raies)



Erreur de mesure caractéristique relevée : 12 m/s
à 3 sigma (+/-12 m/s), soit $\sigma = 4$ m/s.

Résolution de l'équation pour C

$$C = 2,8 \times 10^{11}$$

A comparer avec HARPS : $C = 2,4 \times 10^{11}$

The RV precision also depends on what type of star you are looking at. For a precise RV measurement you would like a star that has a plethora of stellar absorption lines that are narrow and not broadened by stellar rotation. This implies late-type stars with spectral type later than about F6. Early-type stars are hot and thus have few spectral lines for good RV measurements. They also rotate very rapidly which results in spectral lines that are very shallow and broad – difficult for determining a line position that is needed to measure the Doppler shift. Hatzes & Cochran ([31]) performed numerical simulations to determine how the RV precision depended on these various parameters. An updated version of their expression is

$$\sigma(m/s) = C(S/N)^{-1}R^{-3/2}B^{-1/2}[f(\text{Sp.T})]^{-1/2}(v \sin i/2)^{-1} \quad (2)$$

where (S/N) is the signal-to-noise ratio of the data, R is the resolving power ($= \lambda/\delta\lambda$) of the spectrograph, B is the wavelength coverage in Å of the stellar spectrum used for the RV measurement, and C is a constant of proportionality. Note that for a fixed detector size the σ should be proportional to R^{-1} as noted by [31].

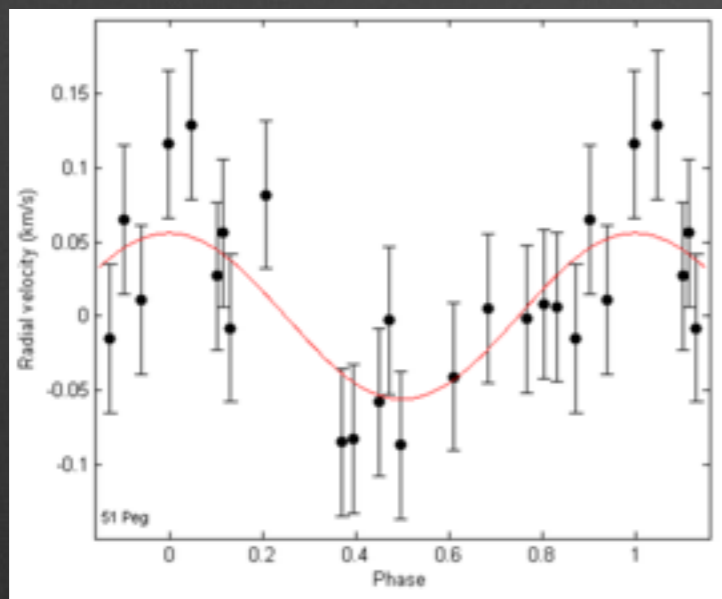
Two additional parameters are pertinent for the type of star you are observing. $v \sin i$ is the projected rotational velocity of the star in km s^{-1} . The RV precision is roughly proportional to the inverse of the rotational velocity of the star scaled to a nominal slowly rotating star that has a equatorial velocity of 2 km s^{-1} . (For stars rotating less than this nominal value the $v \sin i$ term should just be discarded.) The function $f(\text{Sp.T})$ gives the relative line density for the star as a function of stellar type. If we take $f = 1$ for a G-type star than $f \approx 0.1$ for an A-type star and $f \approx 10$ for an M-type star.

The value of the constant can be estimated using the performance of the HARPS spectrograph. For $S/N \approx 150$, $R = 110,000$ $B = 2000$ Å $\sigma = 1 \text{ m s}^{-1}$ for a G-type star. This results in $C \approx 2.4 \times 10^{11}$. With this expression one should be able to estimate the expected RV precision of a spectrograph to within a factor of a few.

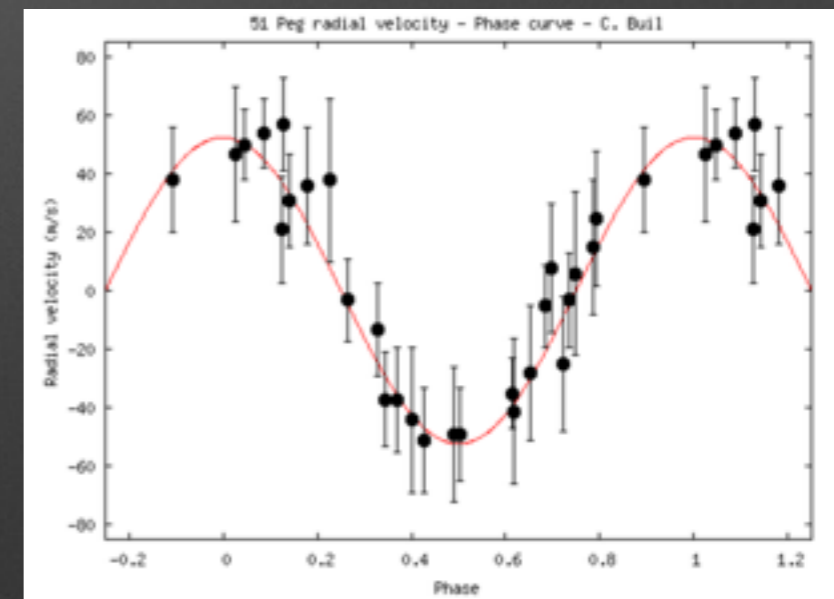
Analyse paramétrique de la précision de mesure en vitesse radiale (RV) d'un spectrographe

Exploitation

Spectrographe	B	R	S/N	Sigma (m/s)
Lhires III	120 A	15000	200	58 m/s
eShel	2800 A	11000	200	19 m/s
VHIRES-MO	660 A	50000	200	4 m/s
eShel+	3100 A	30000	200	4 m/s



Vérification : observation de 51 Peg en 2009 avec eShel et Celestron 11. Précision de mesure mesurée à 3 sigma = +/- 50 m/s. Présent calcul : +/- 57 m/s

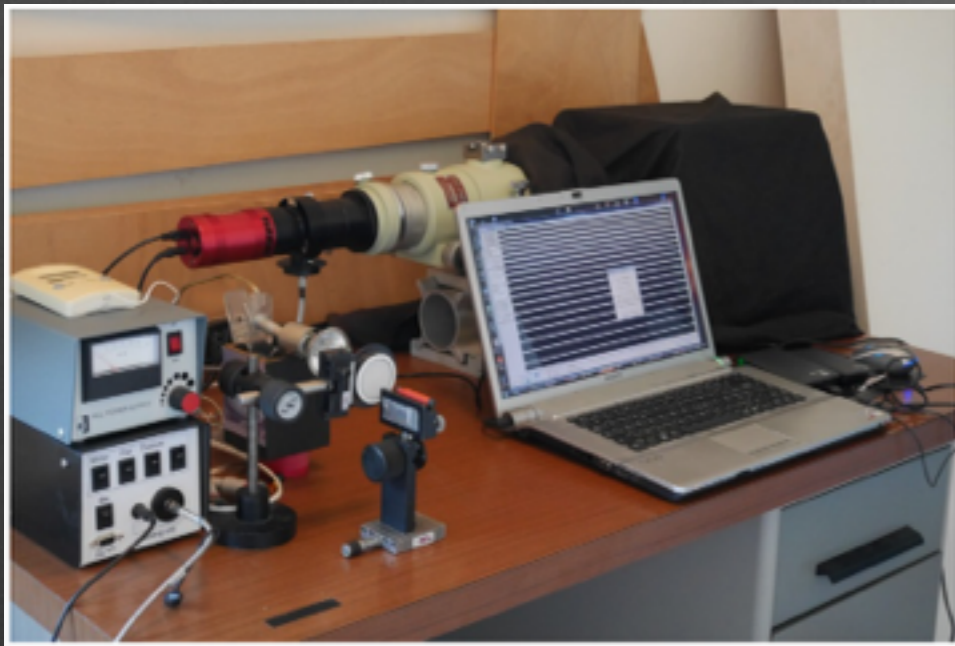


Observation de 51 Peg en 2014 avec VHIRES-MO et Celestron 9/11. Précision de mesure mesurée à 3 sigma = +/- 12 m/s.

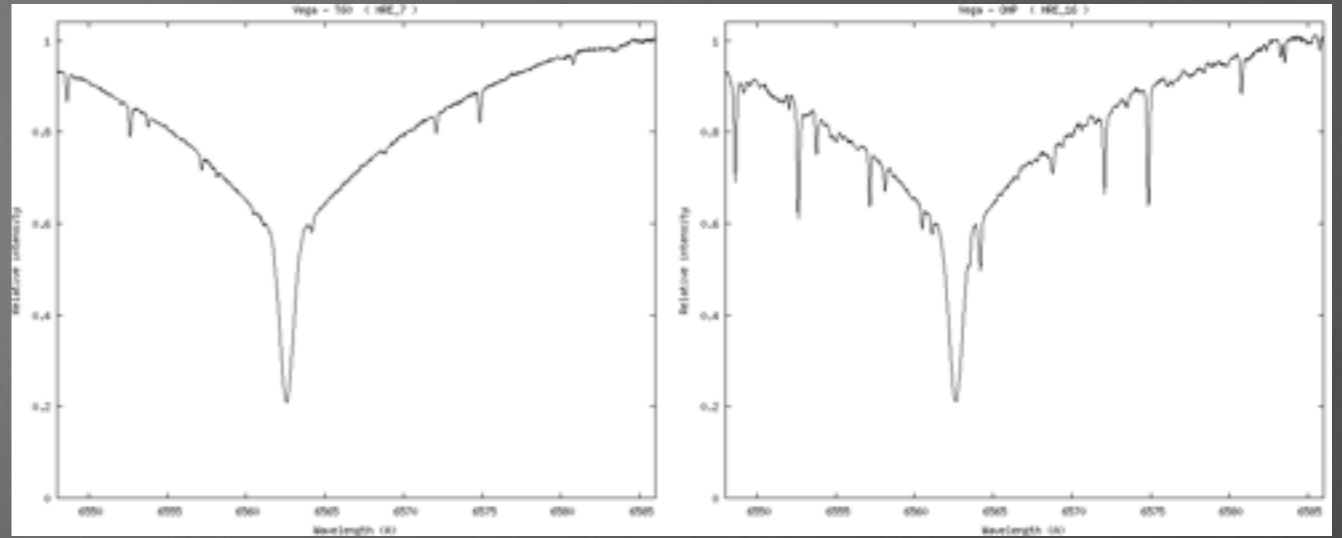
Au delà de l'incertitude de mesure (erreur aléatoire) attention aux pseudo-erreurs (1/2) !

Bruit de speckle lié à la fibre (affecte aussi bien eShel que VHIREs). Pseudo structures dans l'image du spectre liées à la géométrie de la fibre, de l'étoile dans l'entrée de fibre...

Alterner mesures étoile et mesures ThAr si pas simultanée. Extrême criticité des déformées thermo-élastique du spectromètre. Stabilisation température hautement recommandé (indice de réfraction de l'air...). Enceinte thermostat recommandée...



VHIREs-MO à l'OHP : sur table et au courant d'air -> pas idéal !



Spectre VHIREs de Véga au T60 du Pic du Midi (F/D = 3,5)

Spectre VHIREs de Véga sur Celestron 9 (F/D = 5,6). Noter « bruit » dans continuum



Solution : secouer la fibre en permanence durant l'acquisition (scrambling à 0,1 Hz)

Systémique :		26.794	sigma Dra						
NUIT	LIEU	DATE	JD	Exposition	Vh	Vestimée	Vmesurée	VR	Delta VR
HRE-16	OHP	3.8870/08/2013	873.3870	3000	-4.571	22.223	22.200	26.771	-0.023
HRE-17	OHP	4.8625/08/2014	874.3625	1500	-4.570	22.224	22.205	26.775	-0.019
HRE-20	Castanet	16.8848/08/2015	886.3848	1800	-4.256	22.538	22.515	26.771	-0.023
HRE-21	Castanet	17.8766/08/2014	887.3766	1500	-4.228	22.566	22.547	26.775	-0.019

Vérifier sur standard RV la qualité de son équipement, de son protocole, du rattachement entre instruments...

Delta RV en km/s (VHIREs-MO)
Noter sur sigma Dra cohérence à quasi **1 m/s** ! (étoile brillante)
Etablir liste de standards RV...

Au delà de l'incertitude de mesure (erreur aléatoire) attention aux pseudo-erreurs (2/2) !

Gros effort (ISIS) pour écrire un code donnant une valeur fiable de la correction barycentrique au m/s près (erreur systématique potentielle).
(noter : aucun outils professionnel en ligne accessible aux amateurs...)



1. Image | 2. General | 3. Calibration | 4. Go | 5. Profile

Helioentric velocity | Radial velocity | Atmosphere | Extinction

Compute heliocentric velocity

Day : 4.9584 | Month : 9 | Year : 2014

Object name : 51 Peg | Simbad

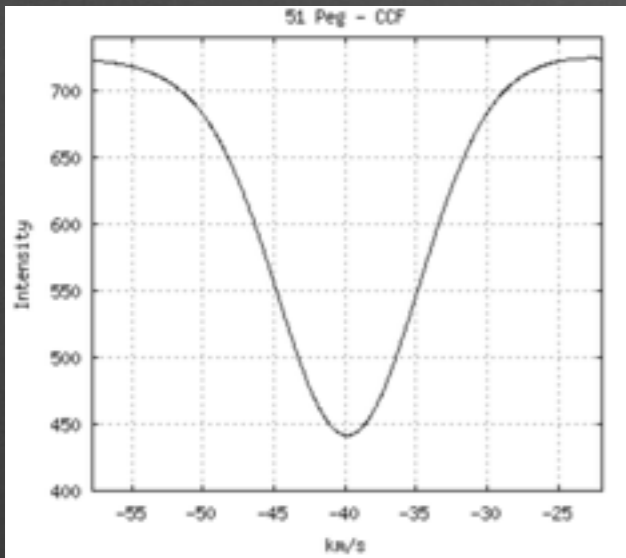
DA : 22 H 57 M 27.9800 S

DEC : +20 ° 46 ' 07.7912 "

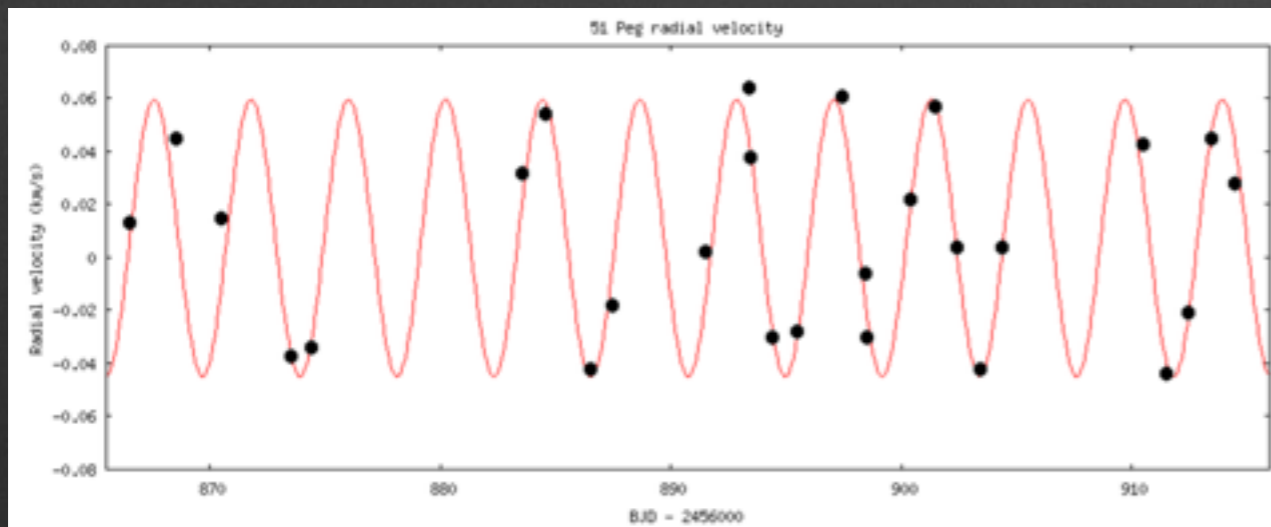
Go

Helioentric JD = 2456905.463552
Barycentric JD = 2456905.463565
Helioentric radial velocity (Vh) = 5.291 km/s
Barycentric radial velocity (Vb) = 5.297 km/s
Radial velocity of the object = $c \times (Lobs - Lrest) / Lrest + Vh$
(the object is incomming with a velocity of 5.3 km/s)
Azimut = -22.19 Elevation = 65.49 Parallax angle = -16.91
Air mass = 1.099

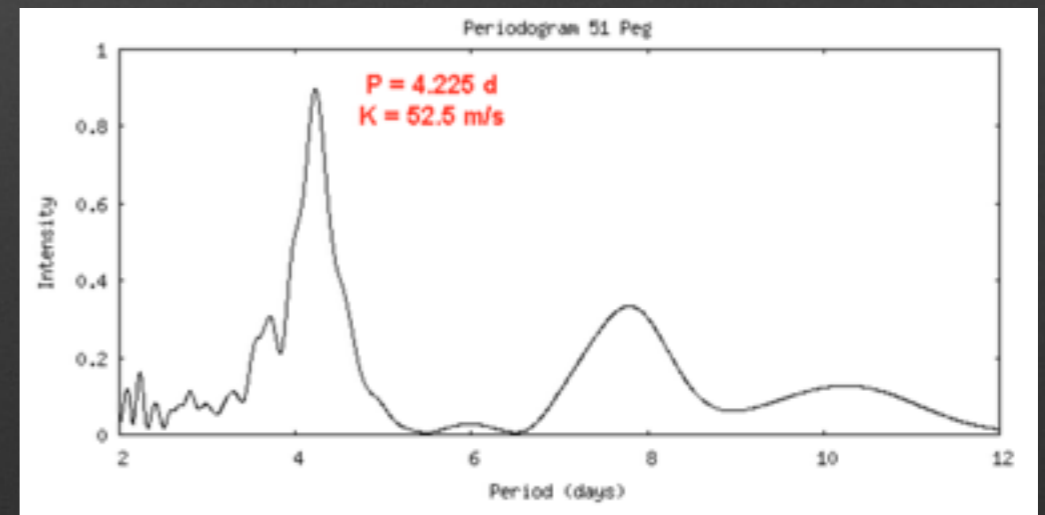
Mesure de Vitesse Radiale par une méthode Cross Correlation Function (CCF). Masque synthétique pondérée par l'intensité des raies soigneusement construit (choix quasi manuel de 225 raies VHIREs-MO, non blended, intenses, en évitant les bords d'ordre, ...)



CCF mesurée caractéristique de 51 Peg.
La vitesse radiale est évaluée en ajustant une fonction gaussienne au sens des moindres carré

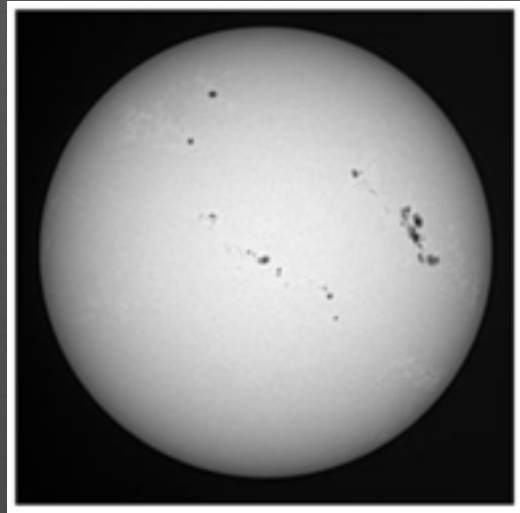


Points de mesure 51 Peg. Observer longtemps -> essayer de mutualiste les données de plusieurs observateurs (campagnes ARAS...).



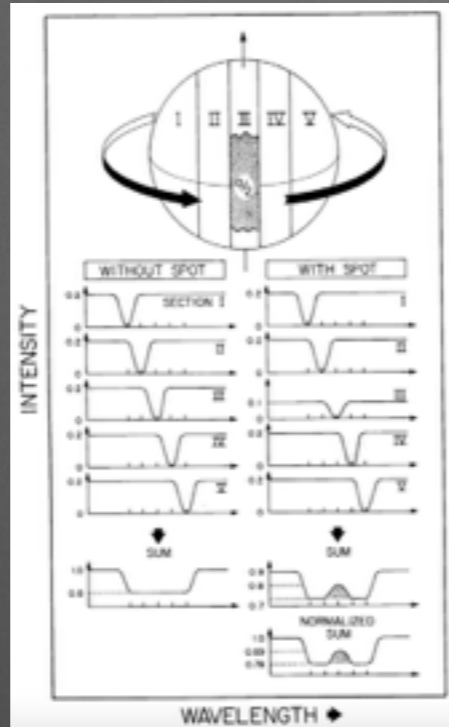
Disponibilité d'outils de diagnostic (ici périodogramme Long-Scragle)

La spectrographie Haute-Résolution de grande qualité, c'est aussi la Doppler Imagerie : un autre sujet passionnant ! (1/2)

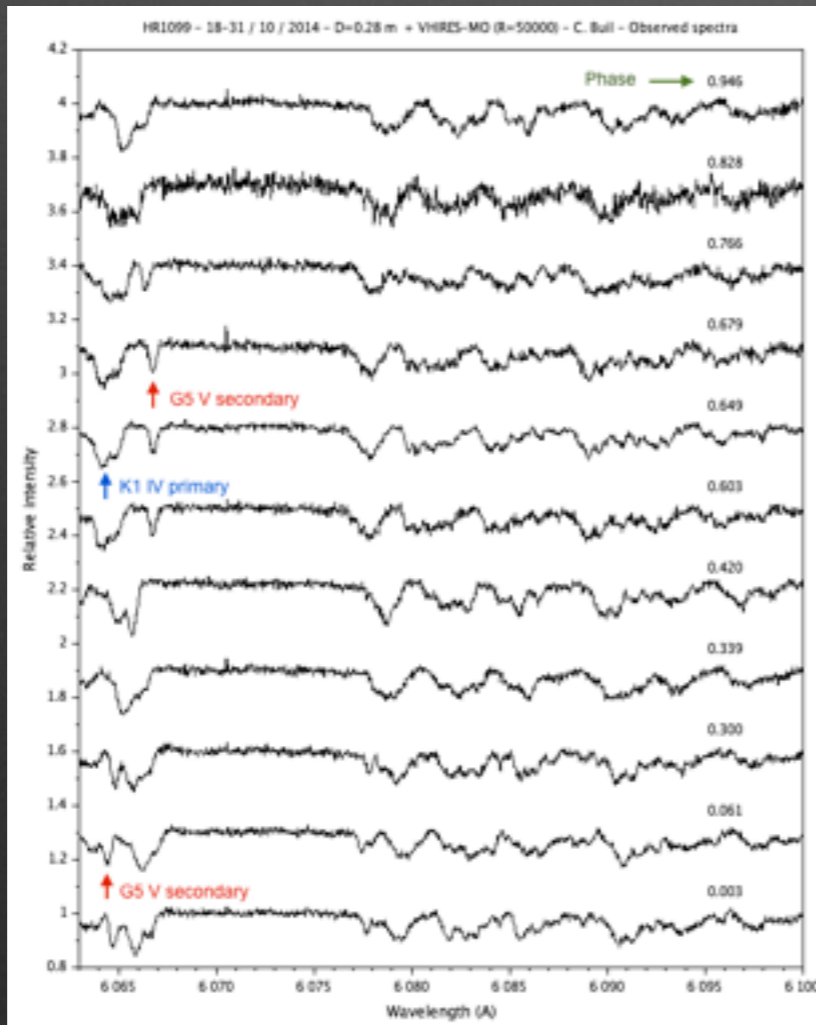
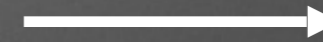
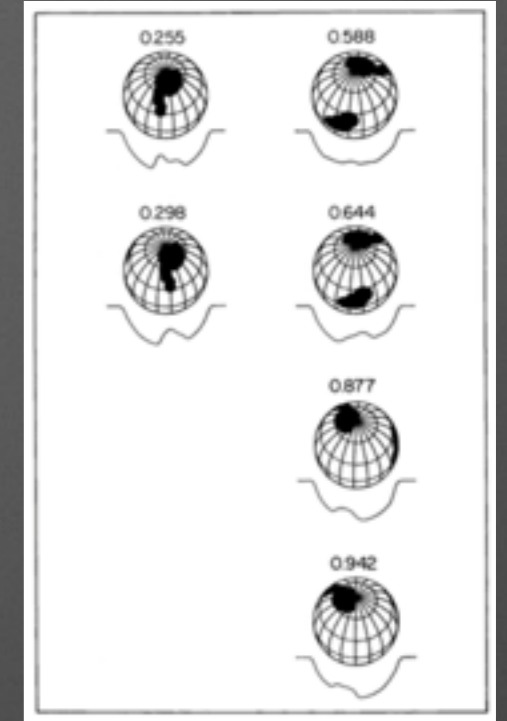


La possibilité de cartographier la surface des étoiles : fascinant !

Le principe

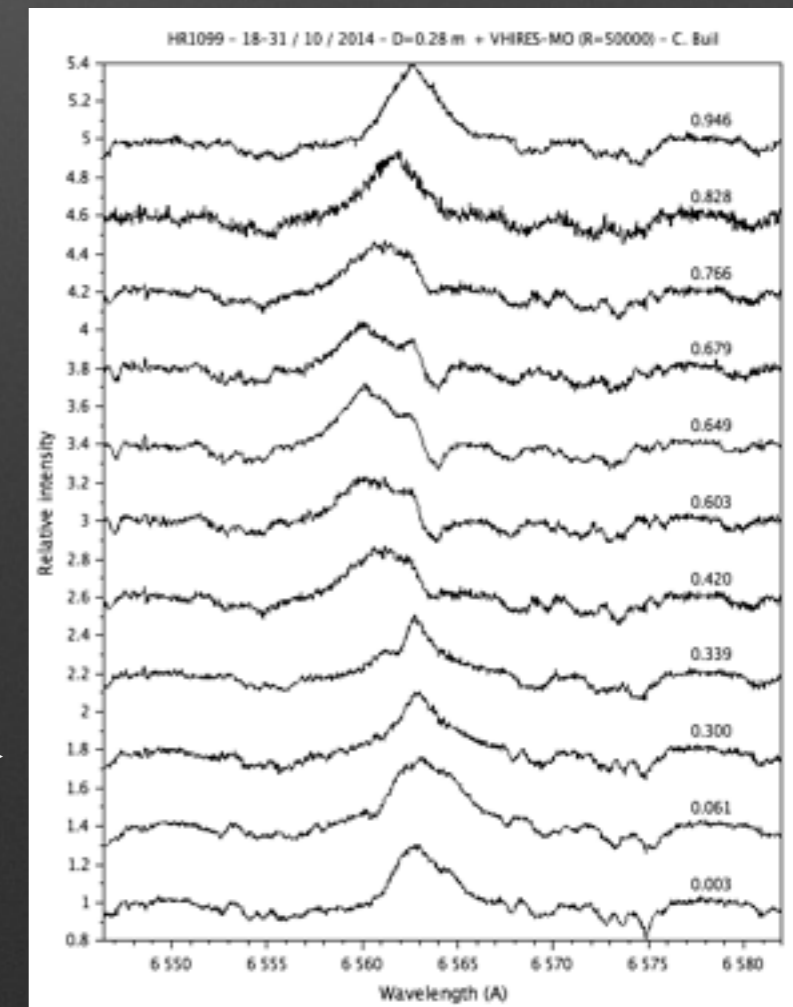


L'exemple de HR1099 (Vogt & Penrod, PASP, 95, 565, 1983)



Exemple d'analyse : variation de la raie Halpha en fonction de la phase (structures chromosphériques ?).

Composante K1IV (primaire) isolée après soustraction ajustée du spectre observé spécifiquement d'une étoile G2V (HD5268).

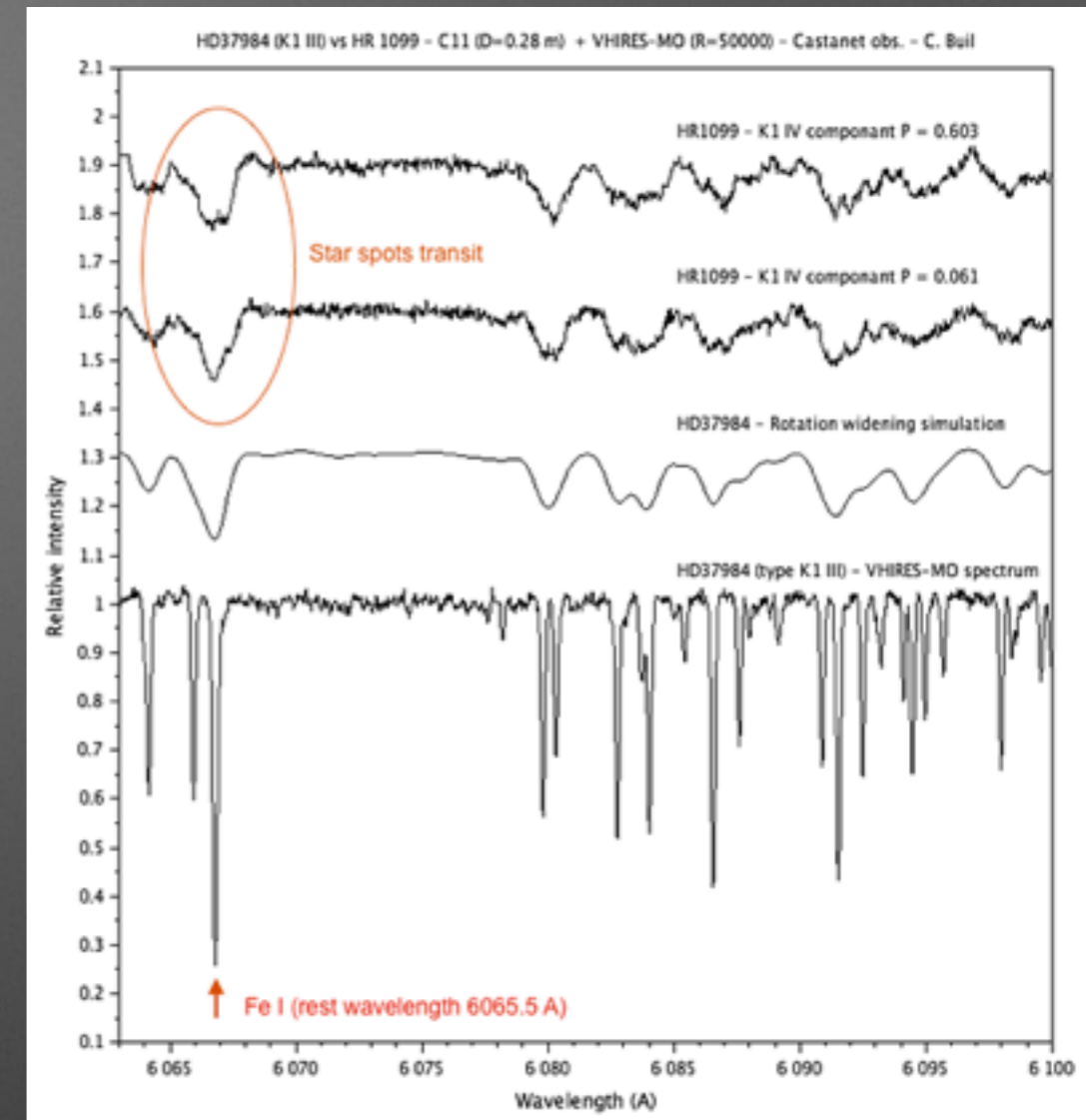
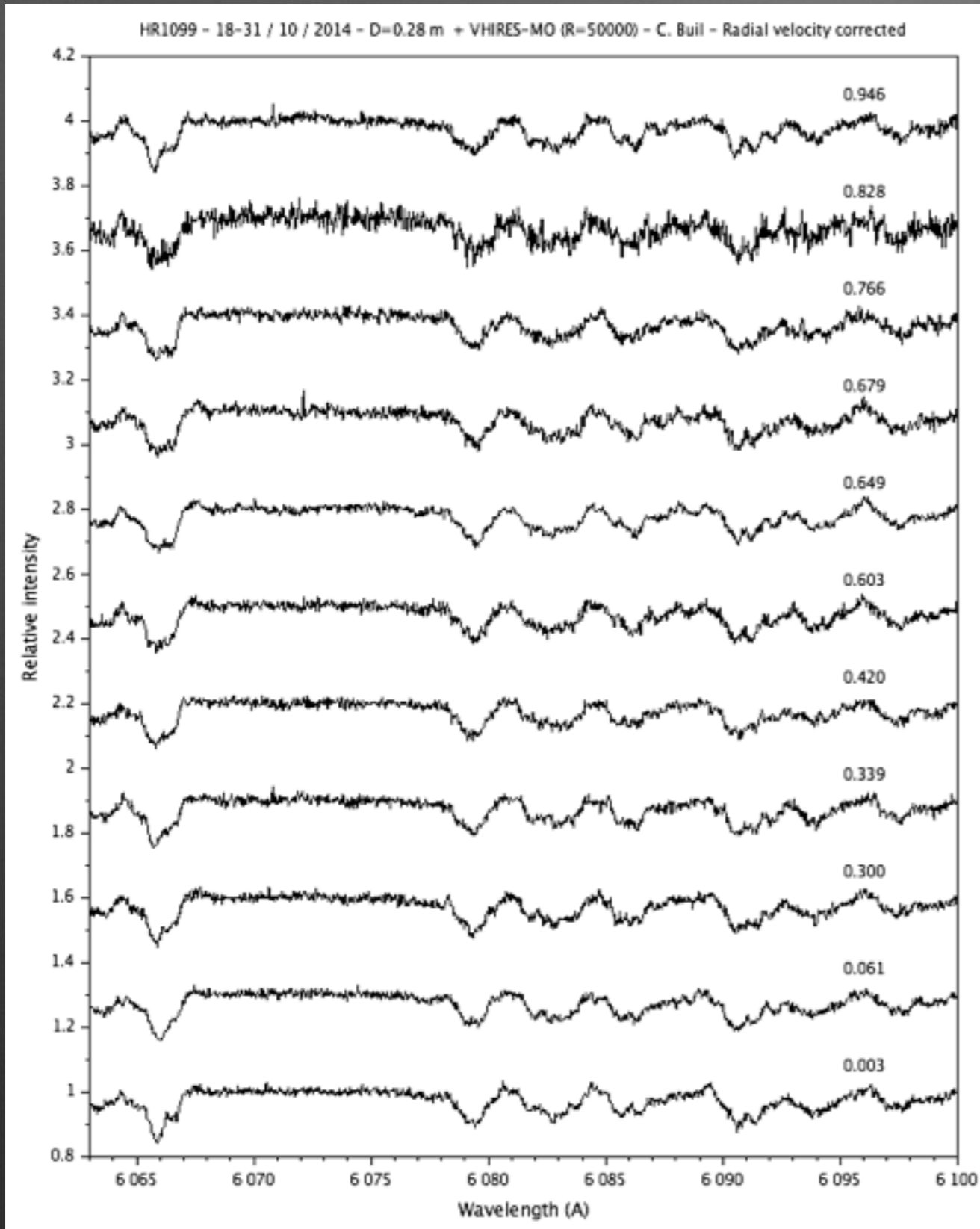


Première tentative amateur de Doppler Imagery. HR1099. VHIRES-MO spectrographe, R = 50000. Celestron 11. Octobre 2014.

Données d'observation (noter que HR1099 est un système double, ce qui complique l'analyse)



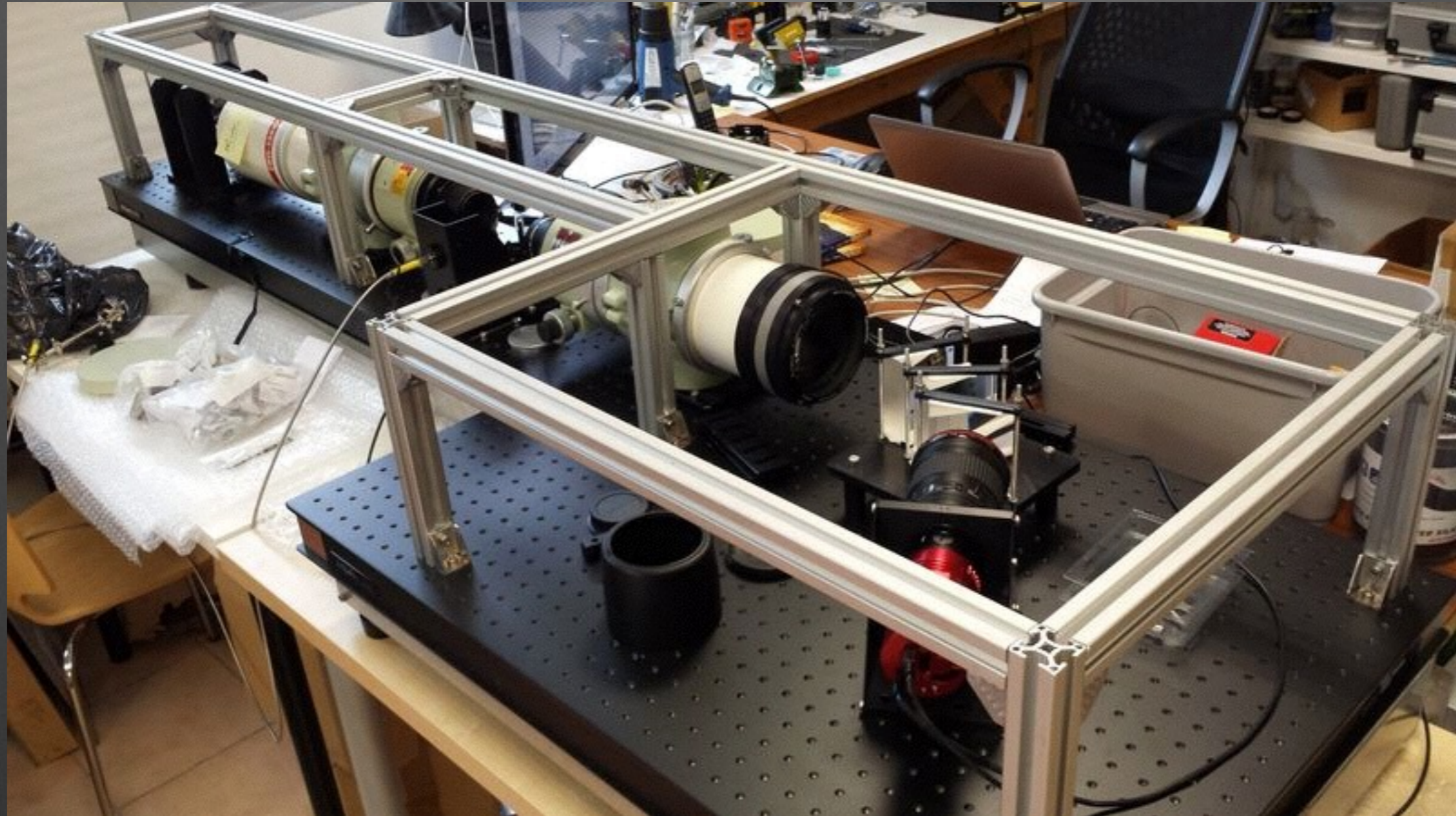
La spectrographie Haute-Résolution de grande qualité, c'est aussi la Doppler Imagerie : un autre sujet passionnant ! (2/2)



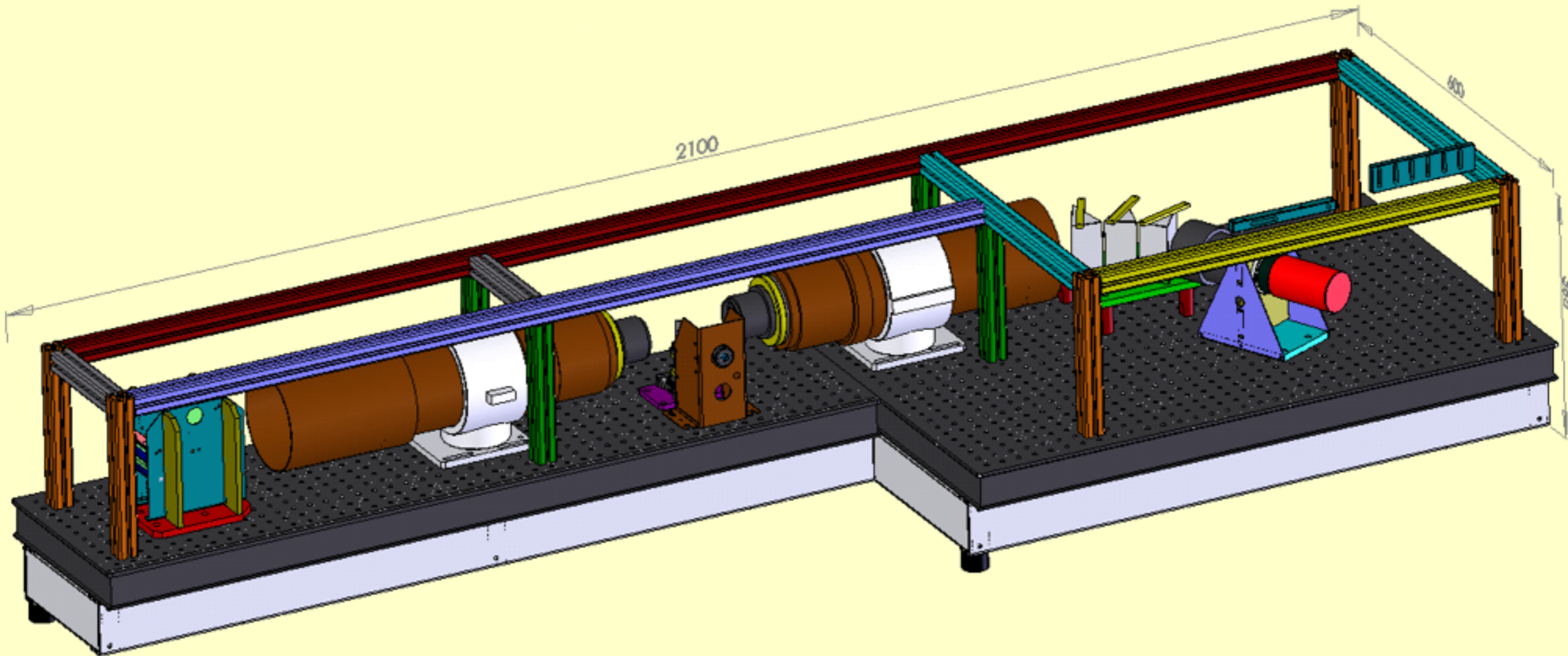
Comparaison du spectre de HR1099 pour deux dates, avec le spectre d'une étoile « normale » (non tachée), de même type (HD7984)

Détection de la surface tachée de la composante primaire (K1 IV) en fonction de la phase (rotation). raie Fe I à 6066 Å. Spectrographe VHRES-MO, télescope de 0,28 m.

eShel+



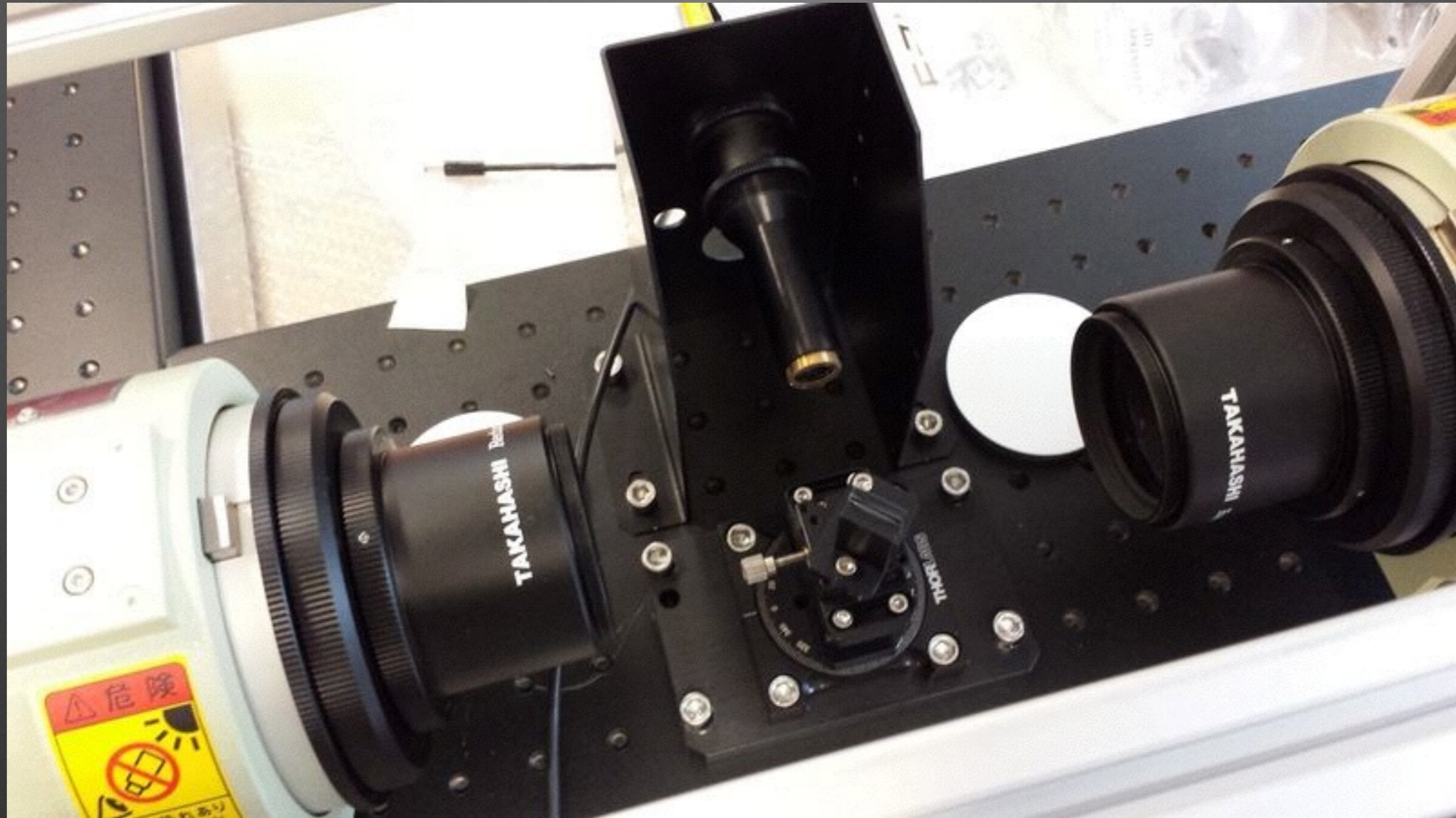
eShel+



$R=30000$

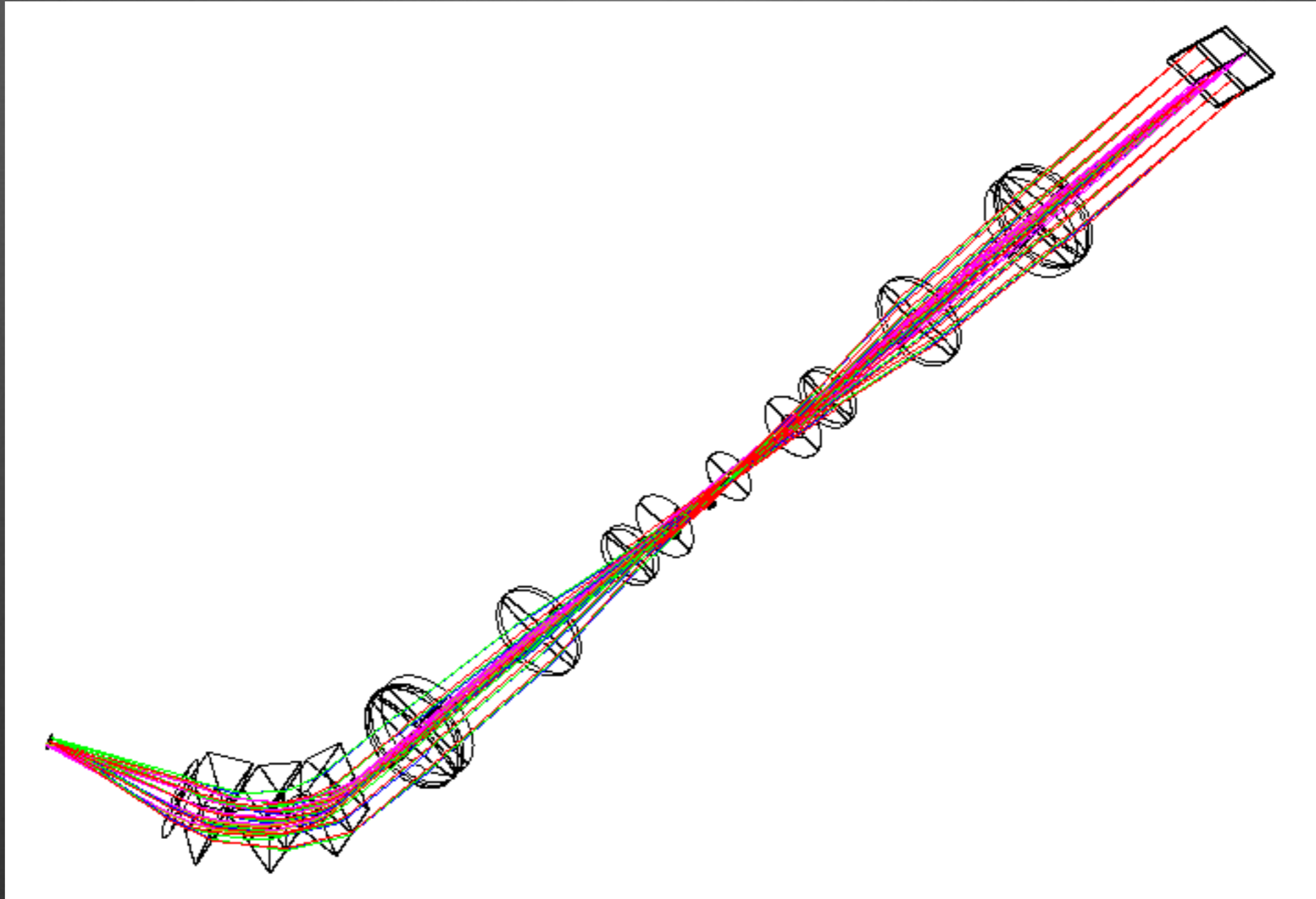
Spectro sur banc optique de 2m10 de long

eShel+



2 optiques FSQ-106 Taka

eShel+



Principe optique : Pupille blanche

eShel+

Première lumière : le spectre du Soleil