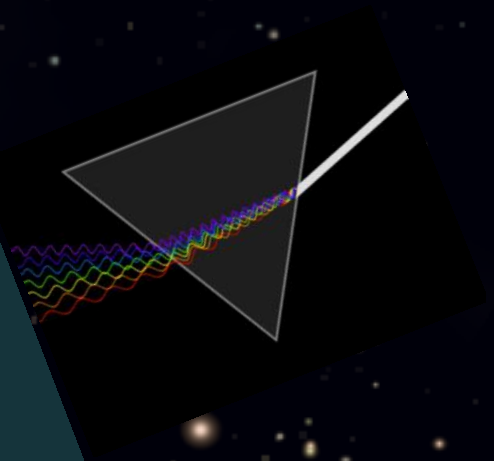
MESURE DE LA DISTANCE DES PLÉIADES DEPUIS SON JARDIN …

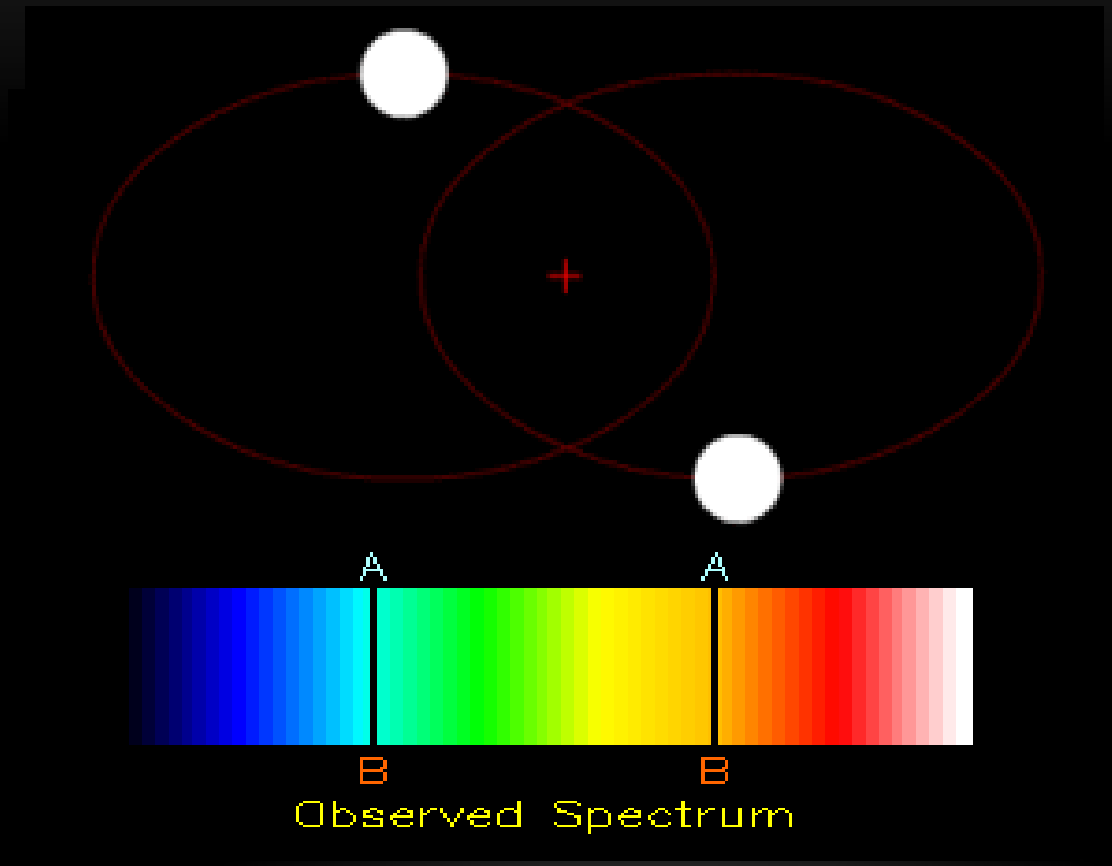


David Antao

Apam
Club d'astronomie du tarn

ETUDE D'UNE BINAIRE SPECTROSCOPIQUE SB2

COLLABORATION PRO-AM DAVID^3+V



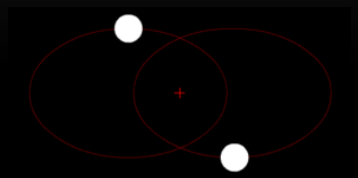
David Antao, David Brégou, David Valls-Gabaud, Vivien Pic et Antoine Cailleau

Certaines parties des résultats sont masquées, car en cours de publication…

Merci de votre compréhension !

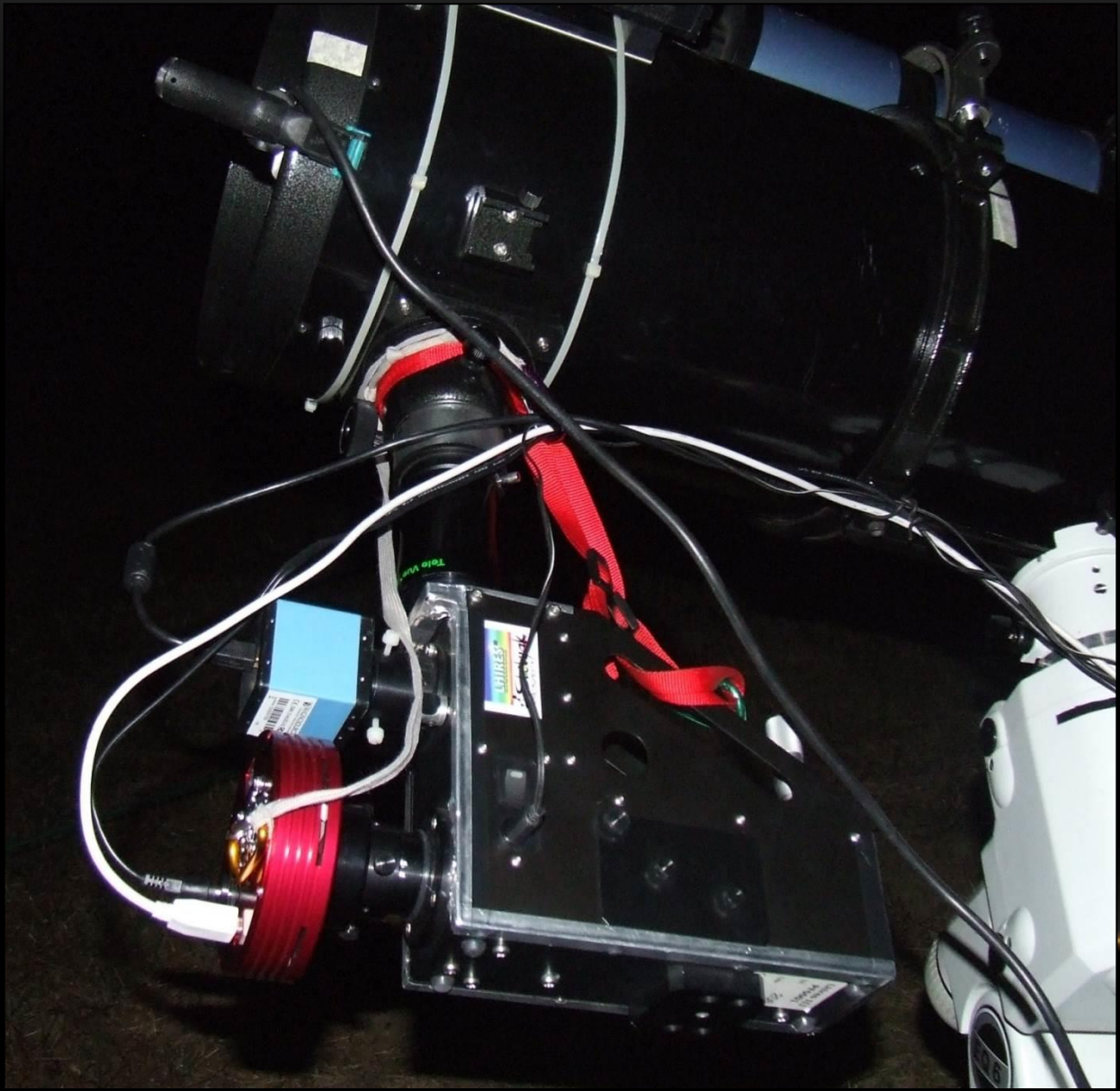
Objectif de la collaboration Pro-Am :

Séquencer, de façon la plus fréquente possible, une binaire spectroscopique.



- **BUT :** déterminer les paramètres physiques du couple.
- **MOYEN :** mesure des vitesses radiales des deux composantes sur toutes les phases.
- **FORCE :** beaucoup de temps de télescope disponible chez les amateurs
  - Matériel amateur performant : spectroscope Lhires III 2400tr/mm.
- **OBJECTIF :** déterminer les paramètres physiques d'un couple stellaire à mieux

MATÉRIEL UTILISÉ :



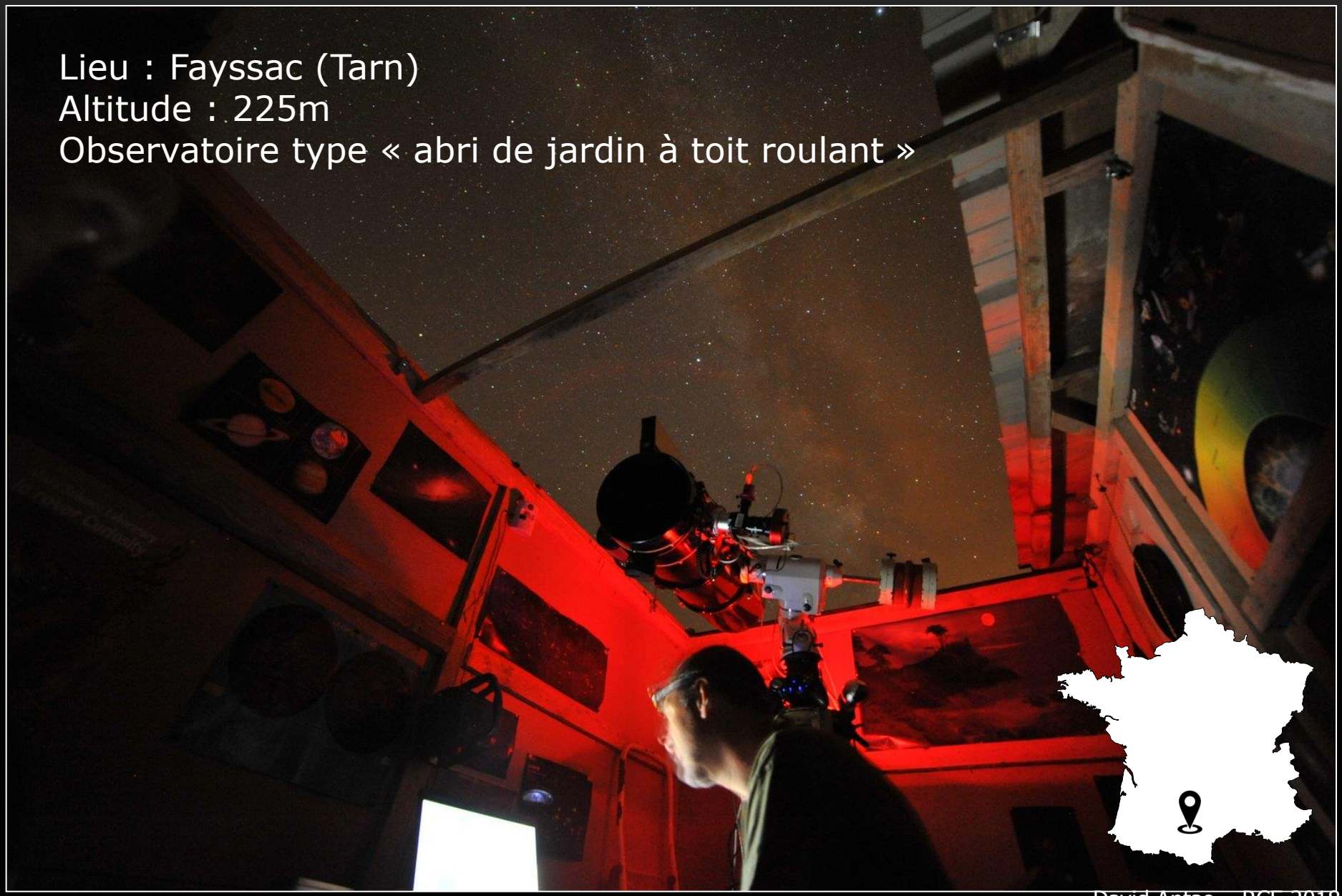
Télescope :
Newton de 0.25m à F5
porté à F10 par barlow
sur monture équatoriale

CCD de guidage :
DMK 31

CCD d'acquisition :
Atik 314L+

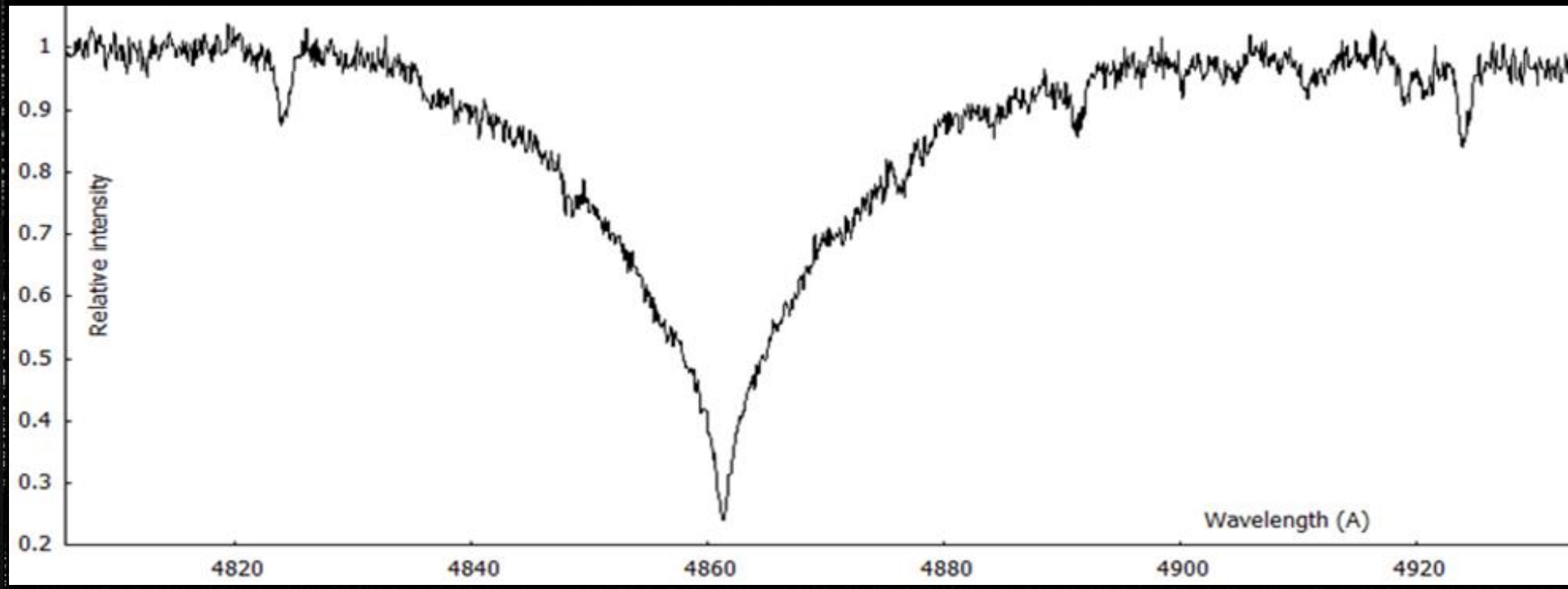
Spectroscope :
Lhires III 2400tr/mm
R 9000 à 480nm

LIEU D’OBSERVATION



Lieu : Fayssac (Tarn)
Altitude : 225m
Observatoire type « abri de jardin à toit roulant »

Photo prise lors de l'acquisition



Plan :

- Acquisition des spectres
- Comparaison des spectres amateurs et pro
- Aller plus loin que les observations…

  – Les graphiques
  – Les calculs
  – Les questions

Cible une étoile

Mag : B 6.87
Type spectral : A0V+Am

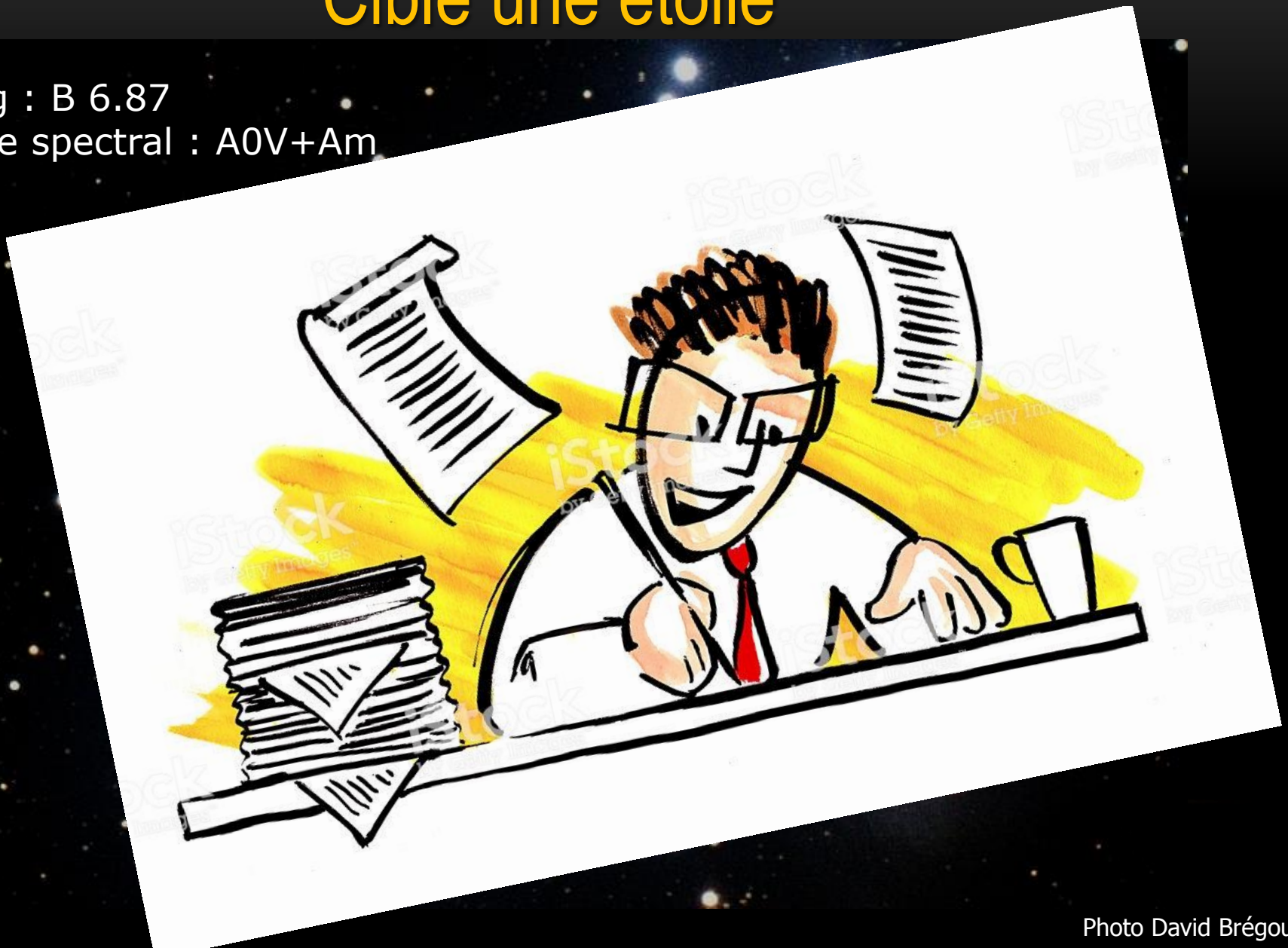


Photo David Brégou

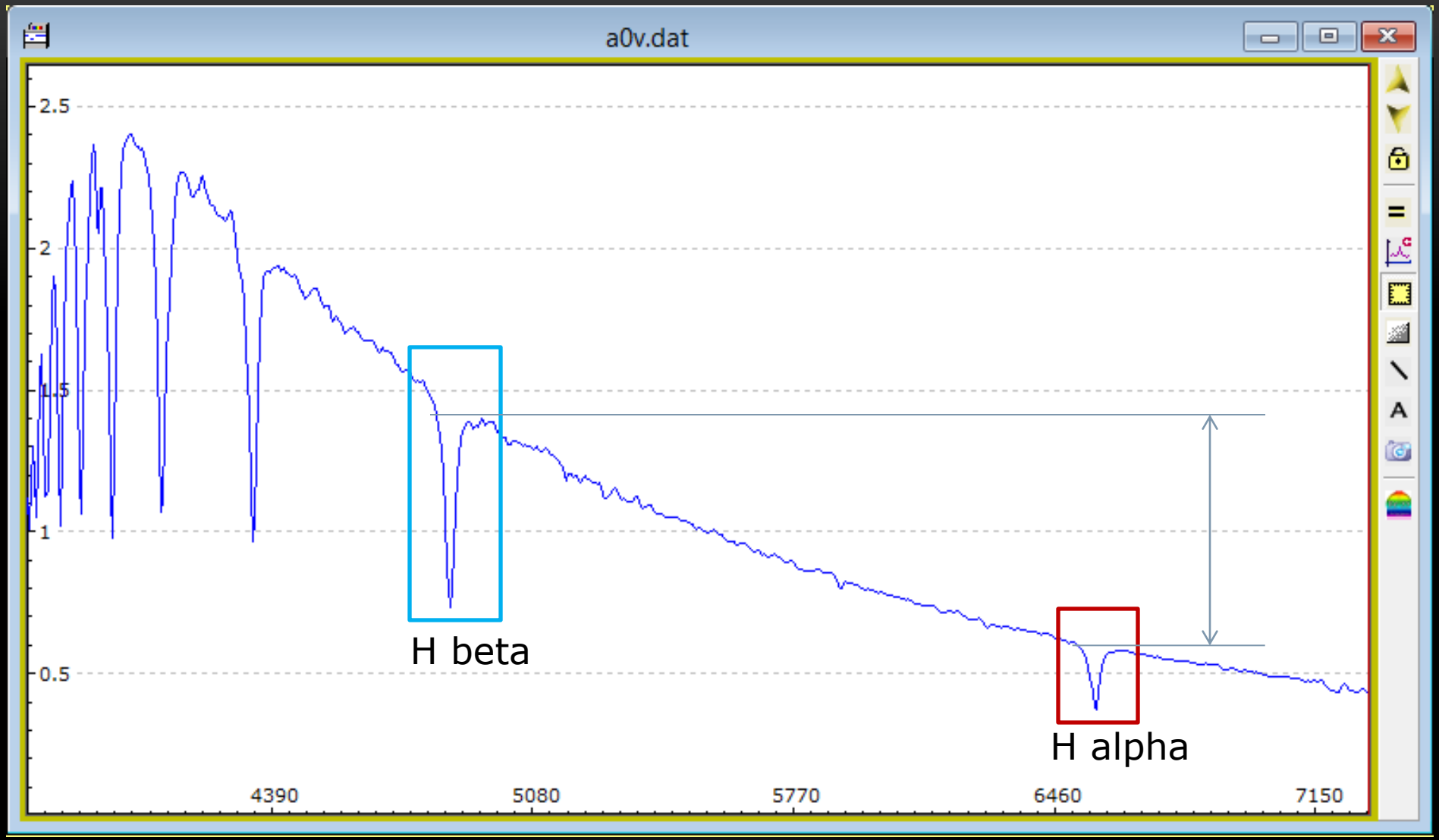
Acquisition des spectres

TRAVAUX PRÉPARATOIRES :
Choix de la longueur d'onde

- Objectif :
  - Temps de pose le plus court possible tout en conservant un rapport signal/bruit acceptable

L'idéal aurait été la raie H alpha, aussi bien pour une meilleure calibration, grâce aux raies atmosphériques, qu'un effet plus important sur le décalage spectral.

Mais, pour une étude en haute résolution, l'étoile est de faible magnitude (m_b=6,87). De plus, il s'agit d'une étoile de type A0V donc plus lumineuse dans le **bleu**.

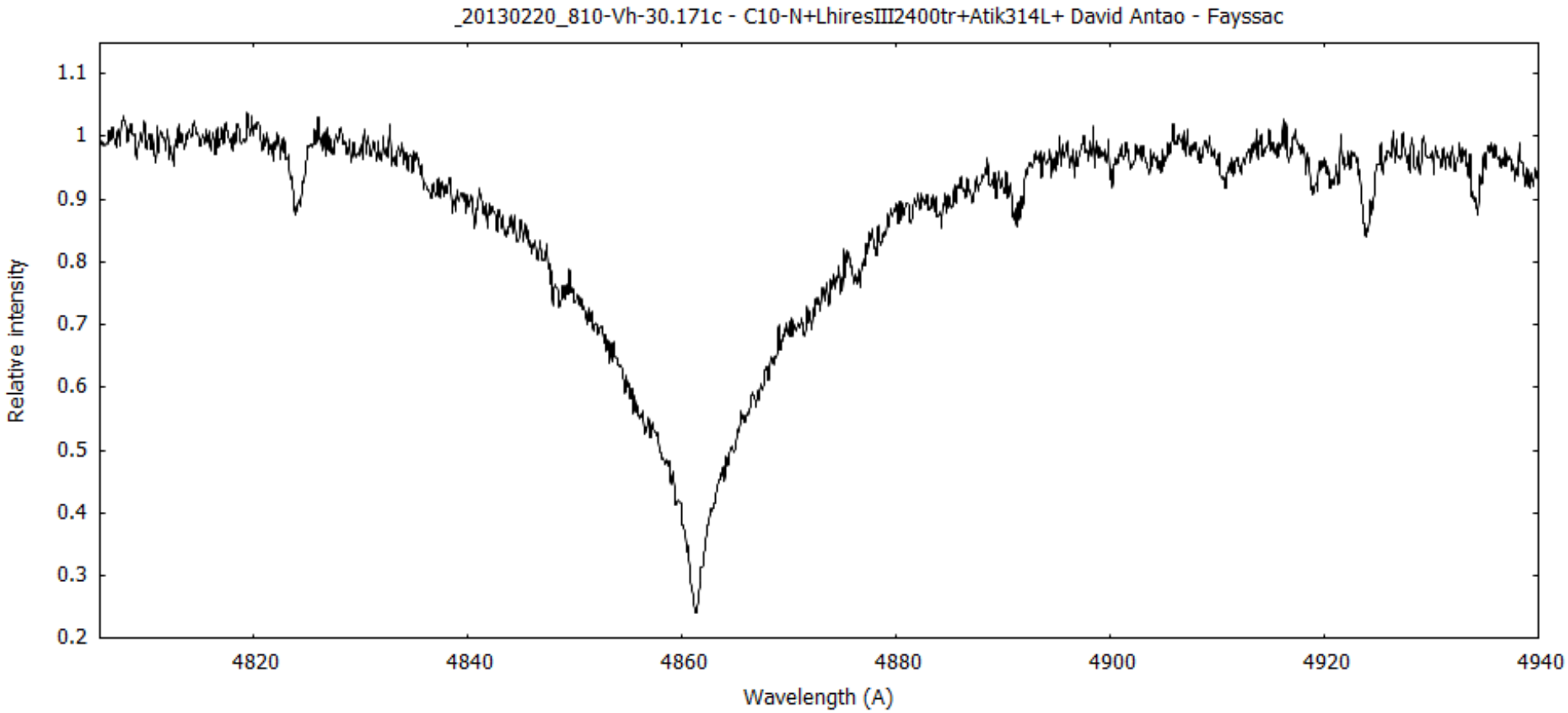


Le choix s'est donc porté sur la raie **H beta**, avec un temps d'acquisition unitaire de **20 minutes**.

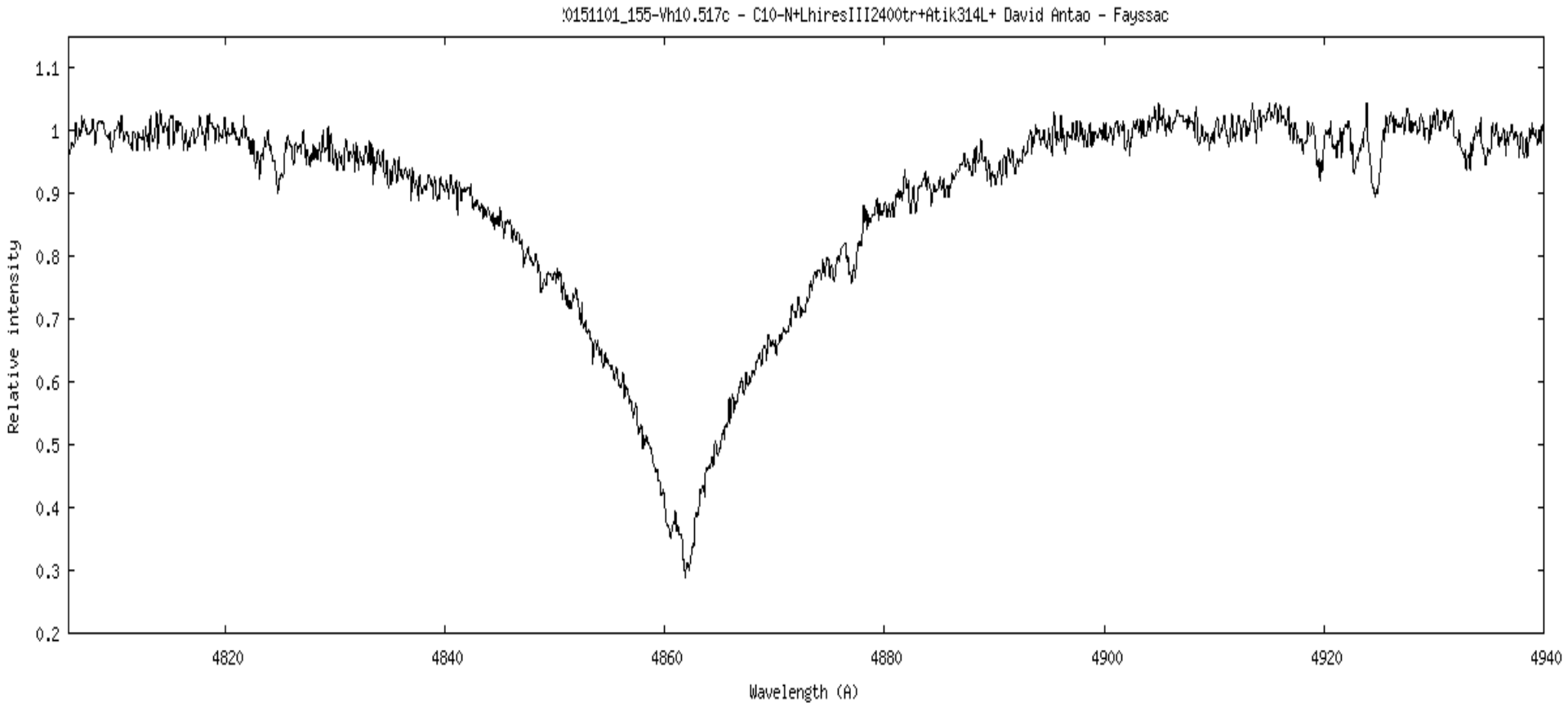
Choix d'un protocole d'acquisition :

- Spectre de la lampe de calibration
- Spectre d'étoile de référence en début de nuit
- Spectre de la lampe de calibration
- 3 spectres de la cible de 20 min
- Spectre de la lampe de calibration
- 3 spectres de la cible de 20 min
- Spectre de la lampe de calibration
- ….
- ….
- Spectre d'étoile de référence en fin de nuit
- Spectre de la lampe de calibration

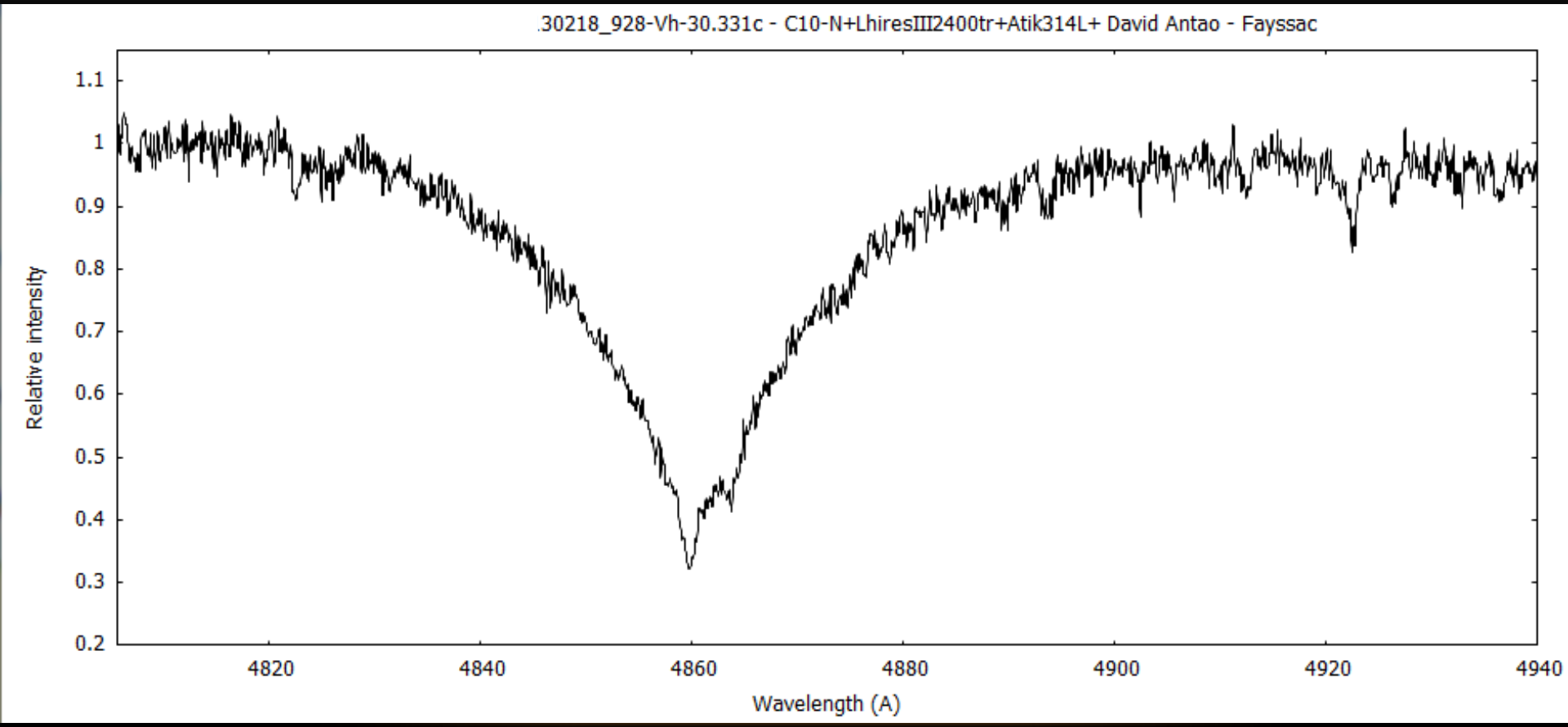
1ière nuit


_20130220_810-Vh-30.171c - C10-N+LhiresIII2400tr+Atik314L+ David Antao - Fayssac
Relative intensity
1.1
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
4820
4840
4860
4880
4900
4920
4940
Wavelength (A)

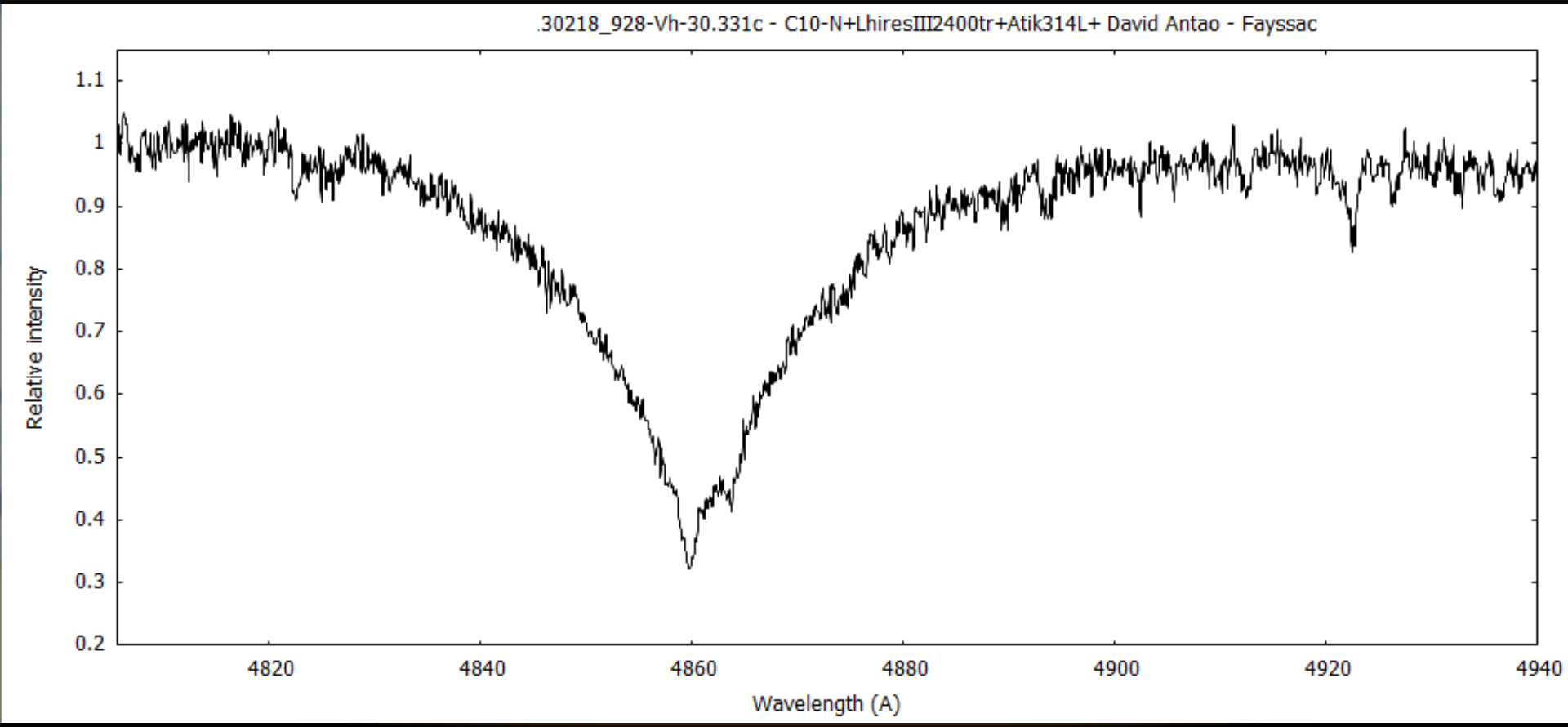
Nuit suivante



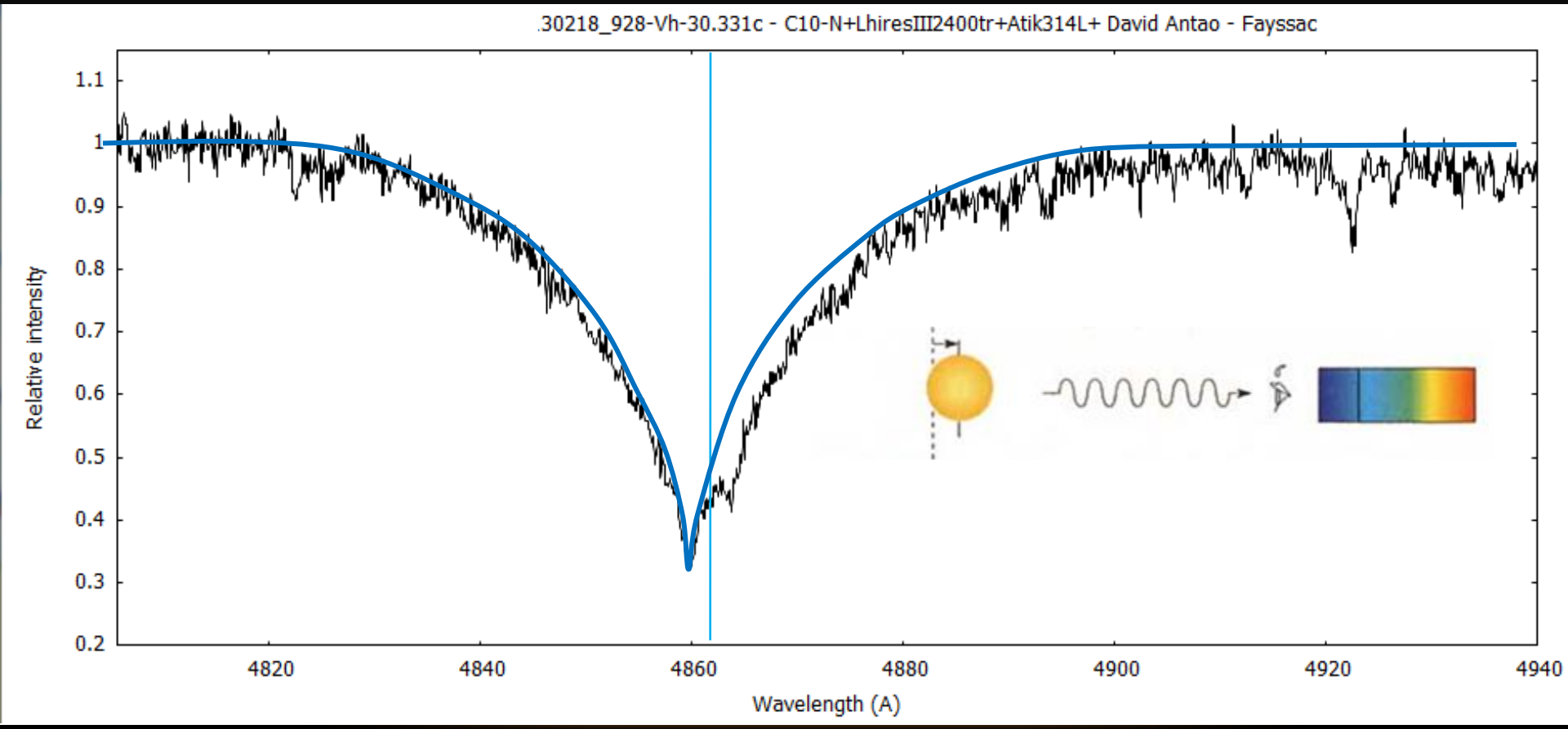
Nuit suivante



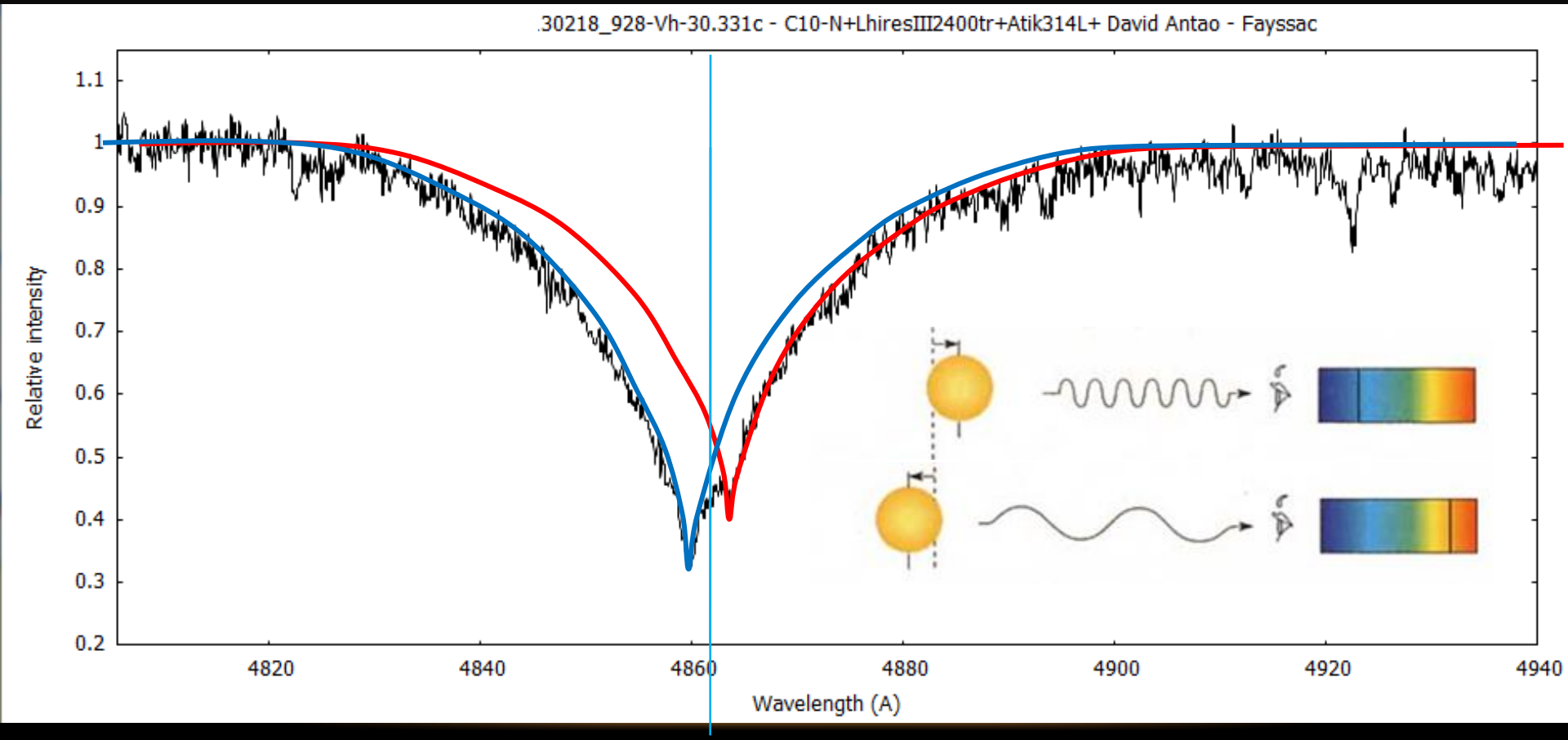
D'où vient cette forme ?



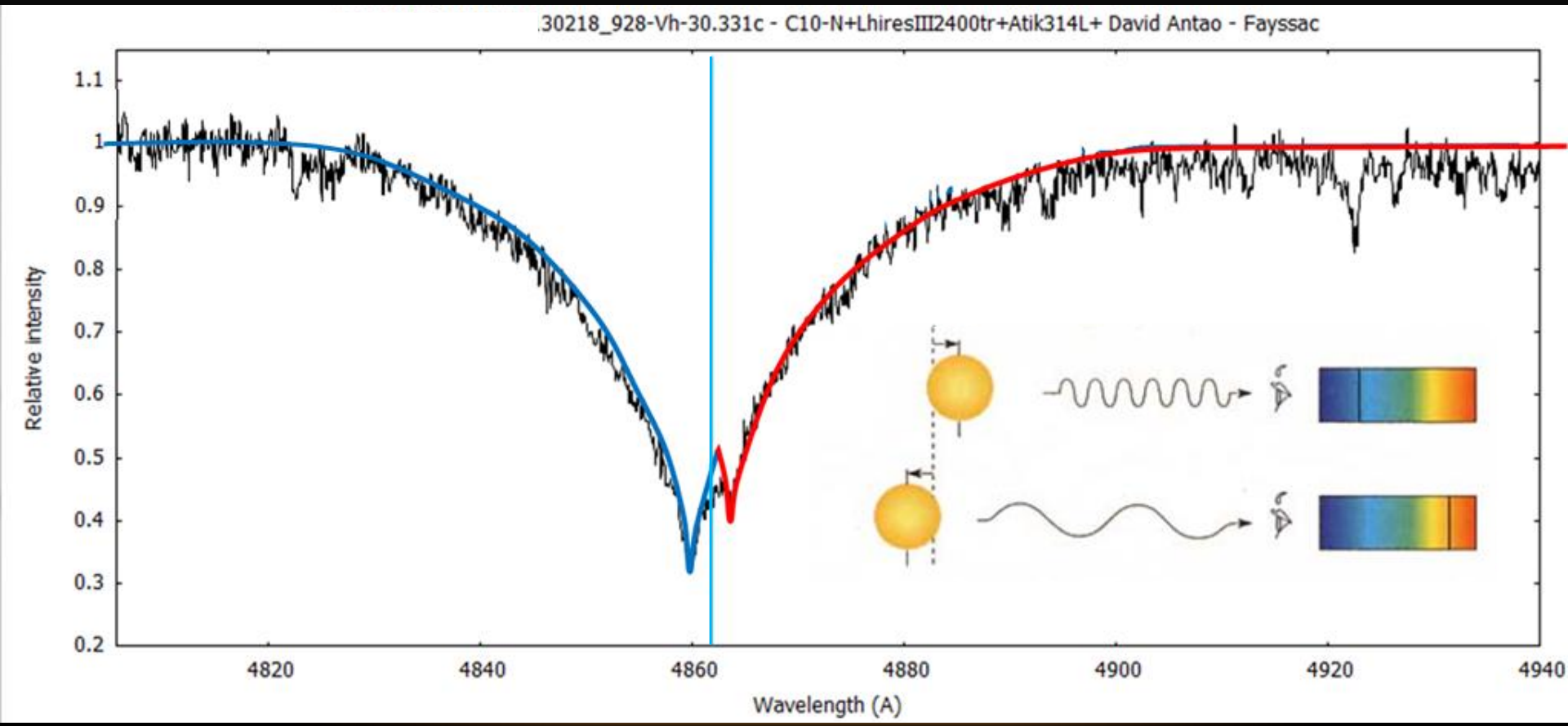
D'où vient cette forme ?



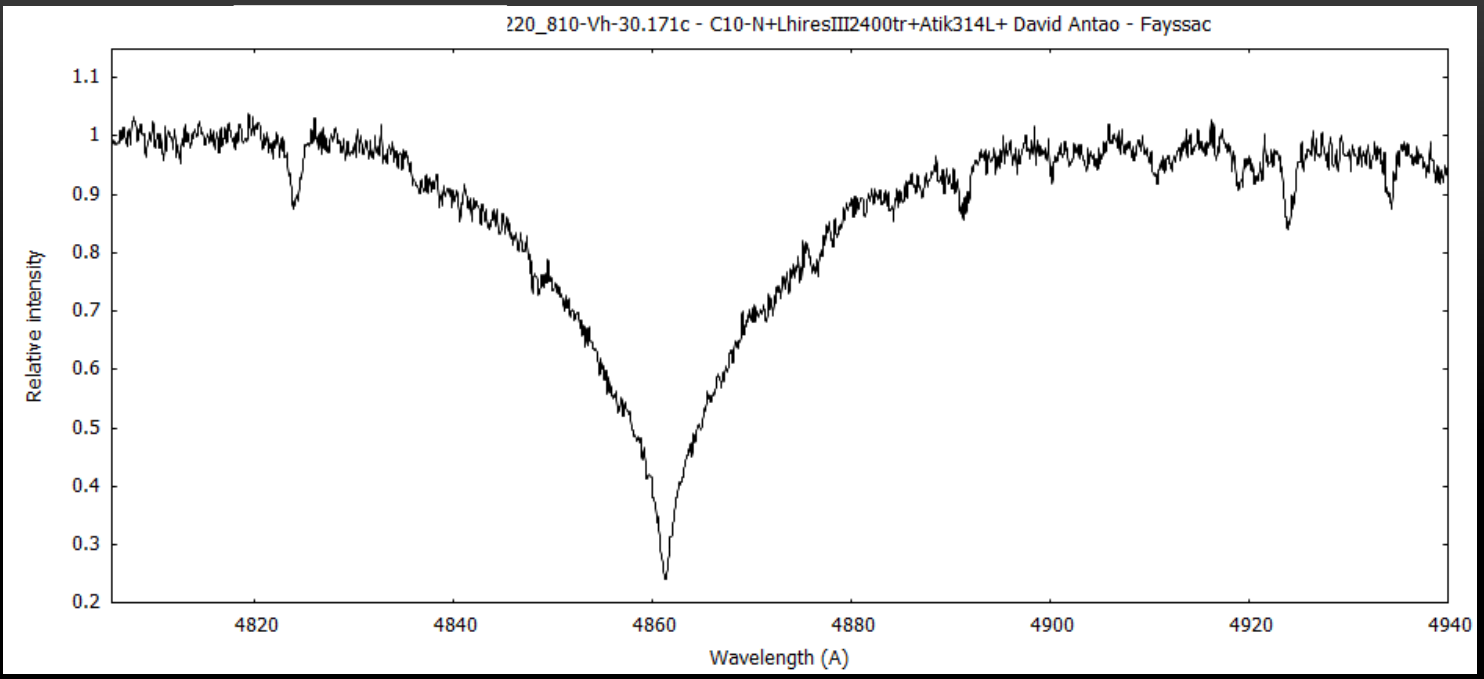
D'où vient cette forme ?

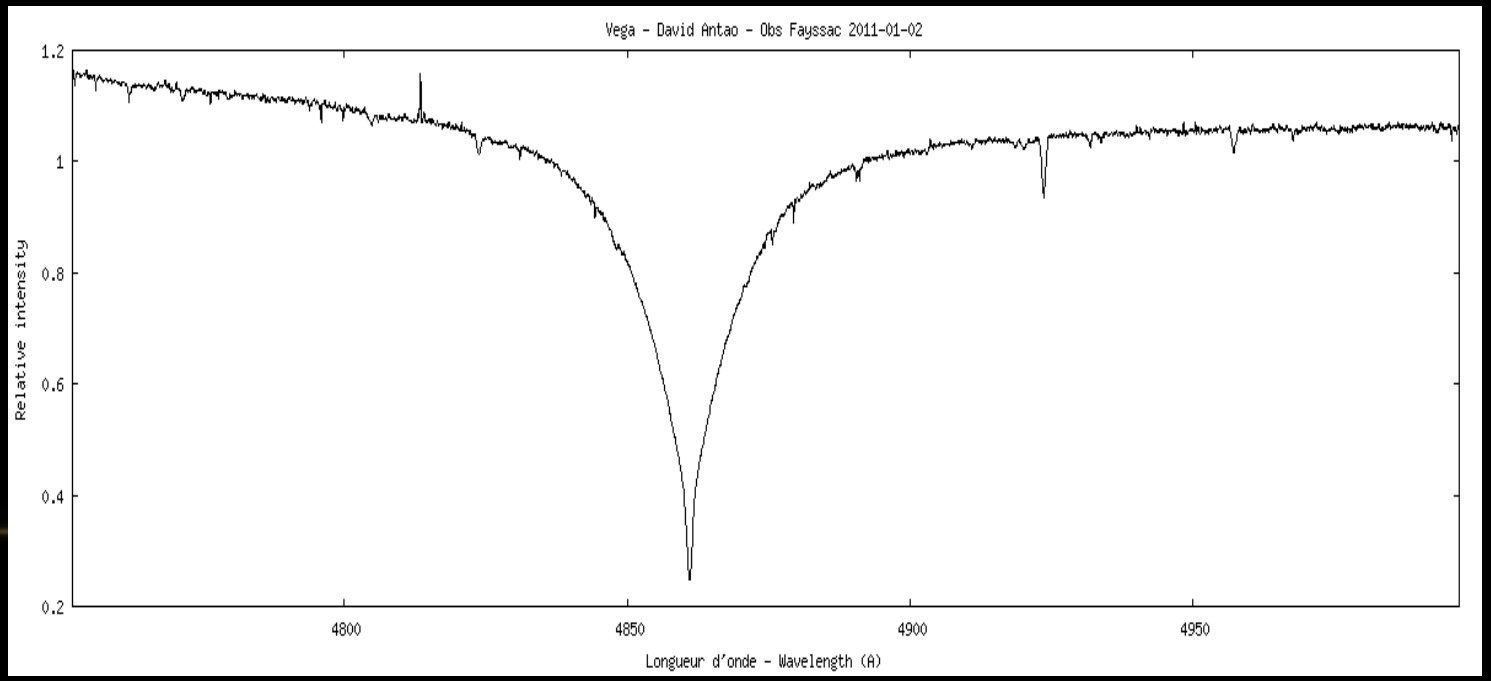


D'où vient cette forme ?

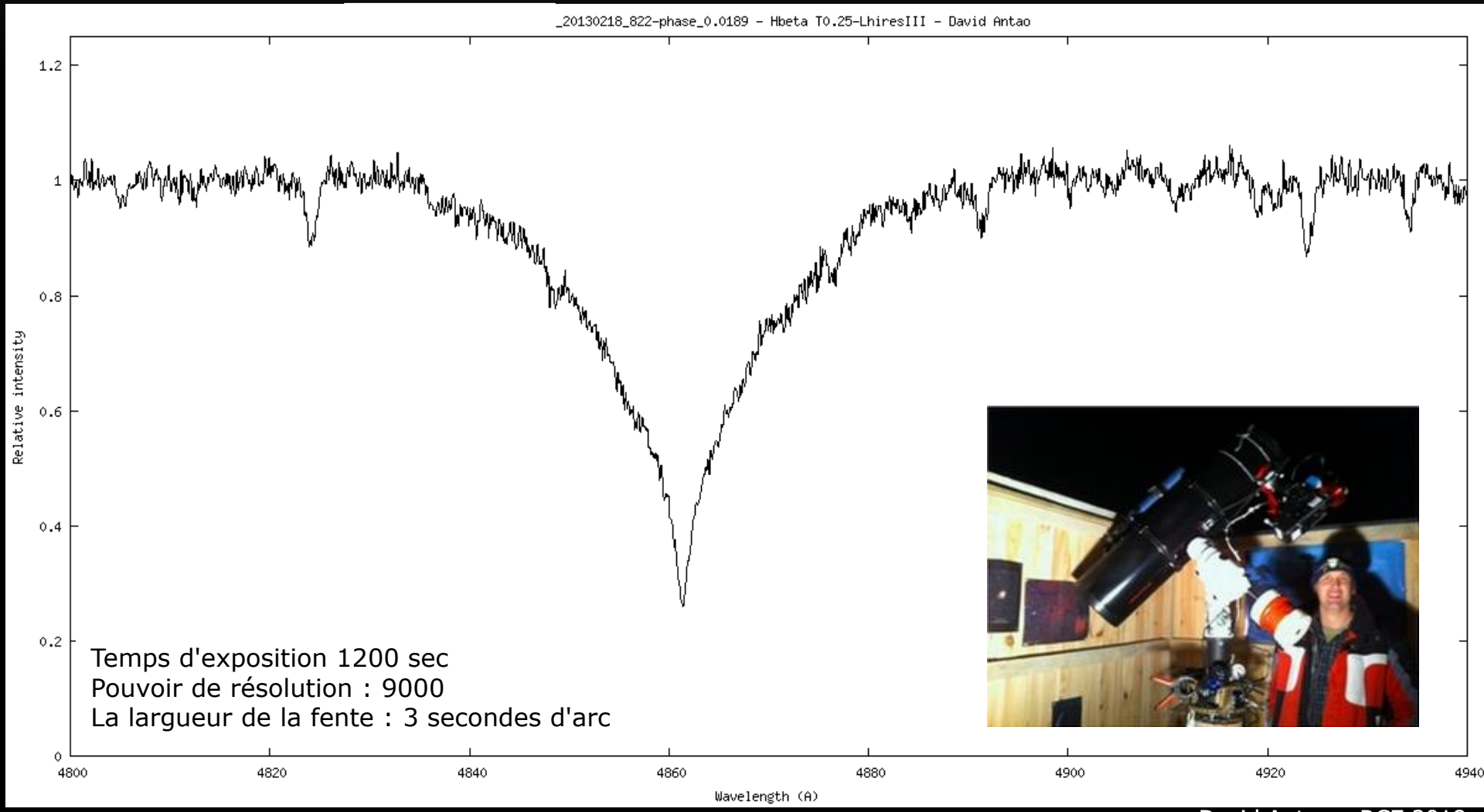


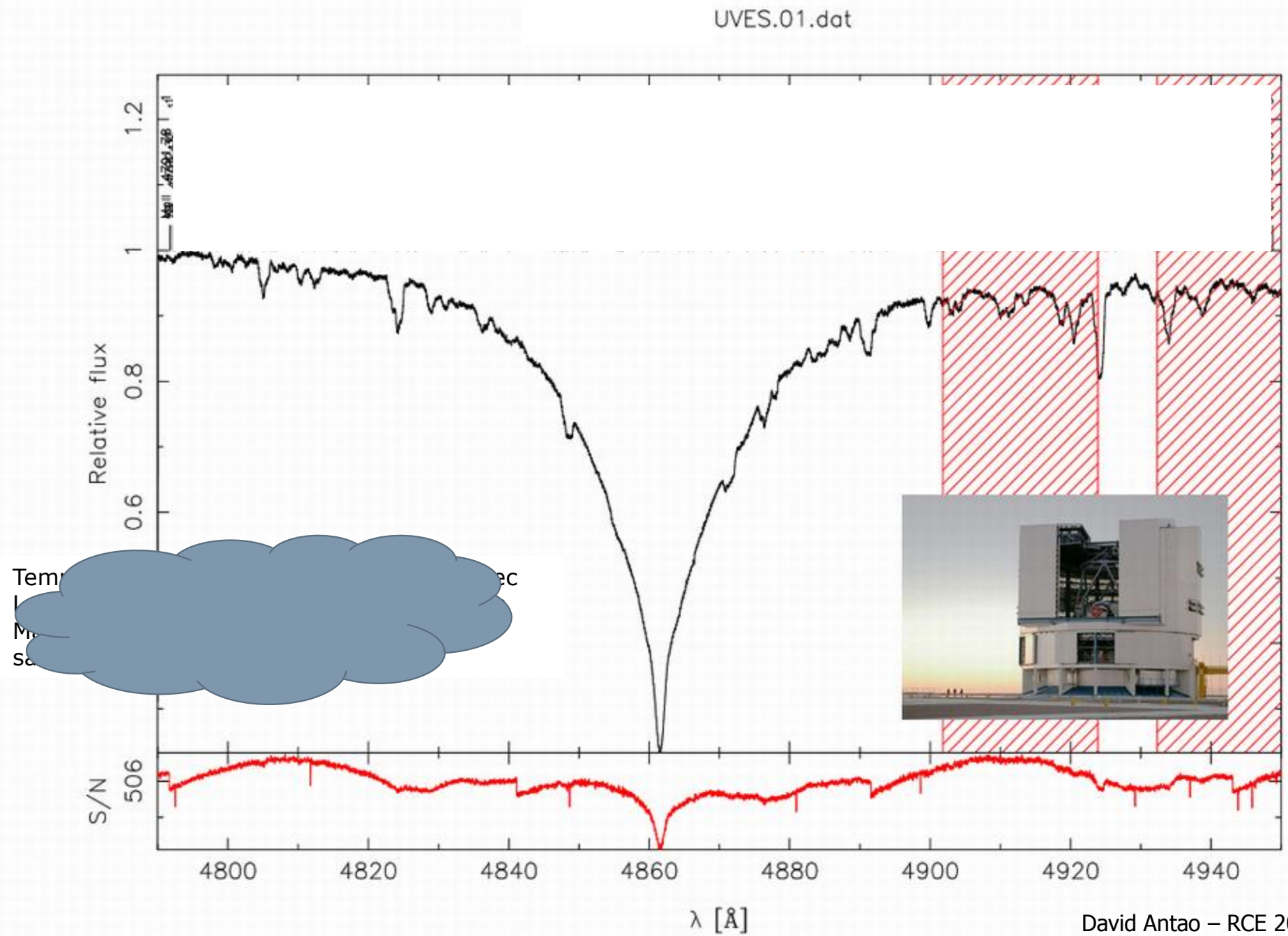
ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES SPECTRES OBTENUS PAR COMPARAISON AVEC DES SPECTRES PROFESSIONNELS


220_810-Vh-30.171c - C10-N+LhiresIII2400tr+Atik314L+ David Antao - Fayssac
Relative intensity
Wavelength (A)
1.1
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
4820
4840
4860
4880
4900
4920
4940


Vega - David Antao - Obs Fayssac 2011-01-02
Relative intensity
Longueur d'onde - Wavelength (A)
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
4800
4850
4900
4950

Exemple de spectre obtenu

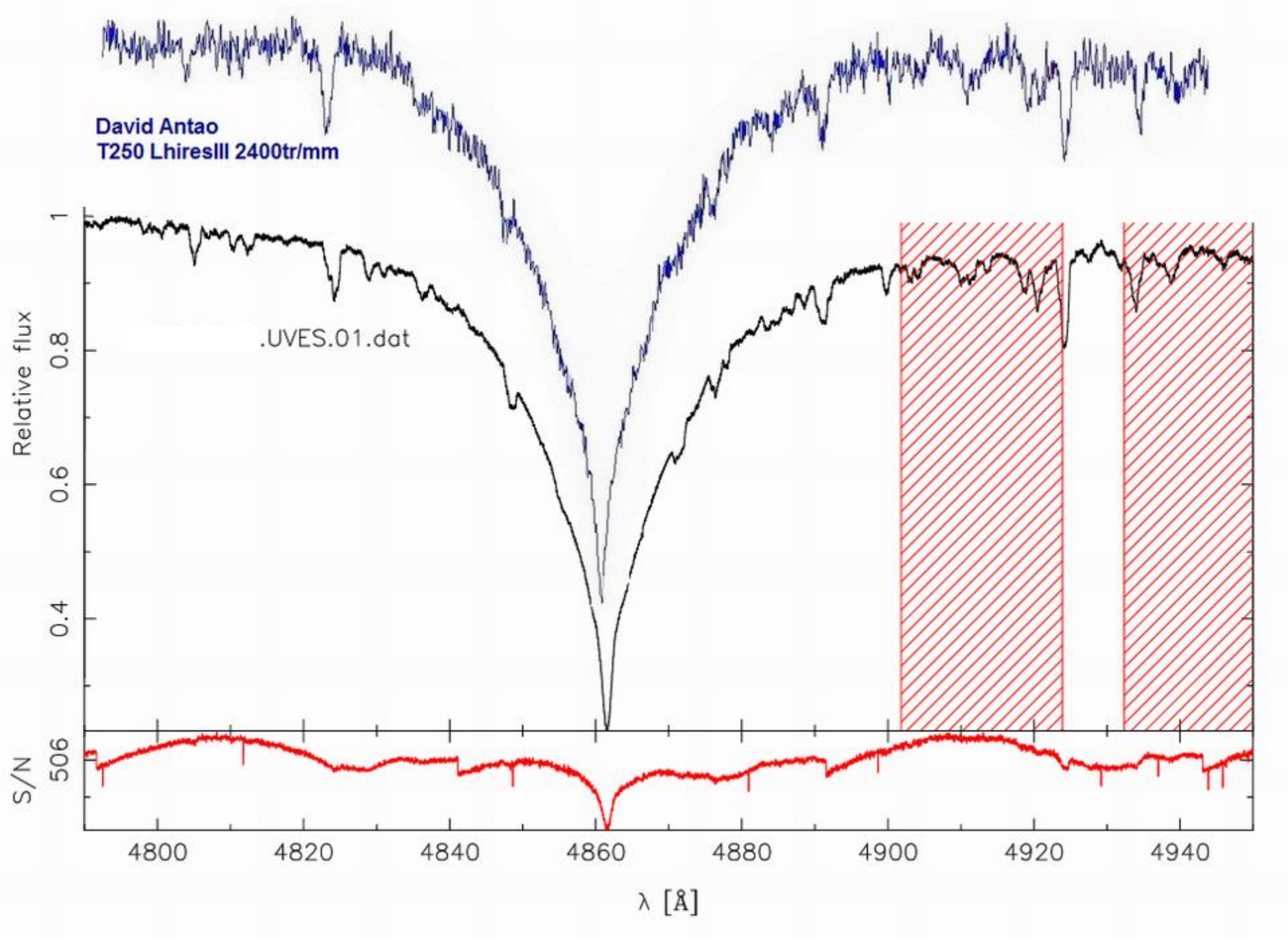


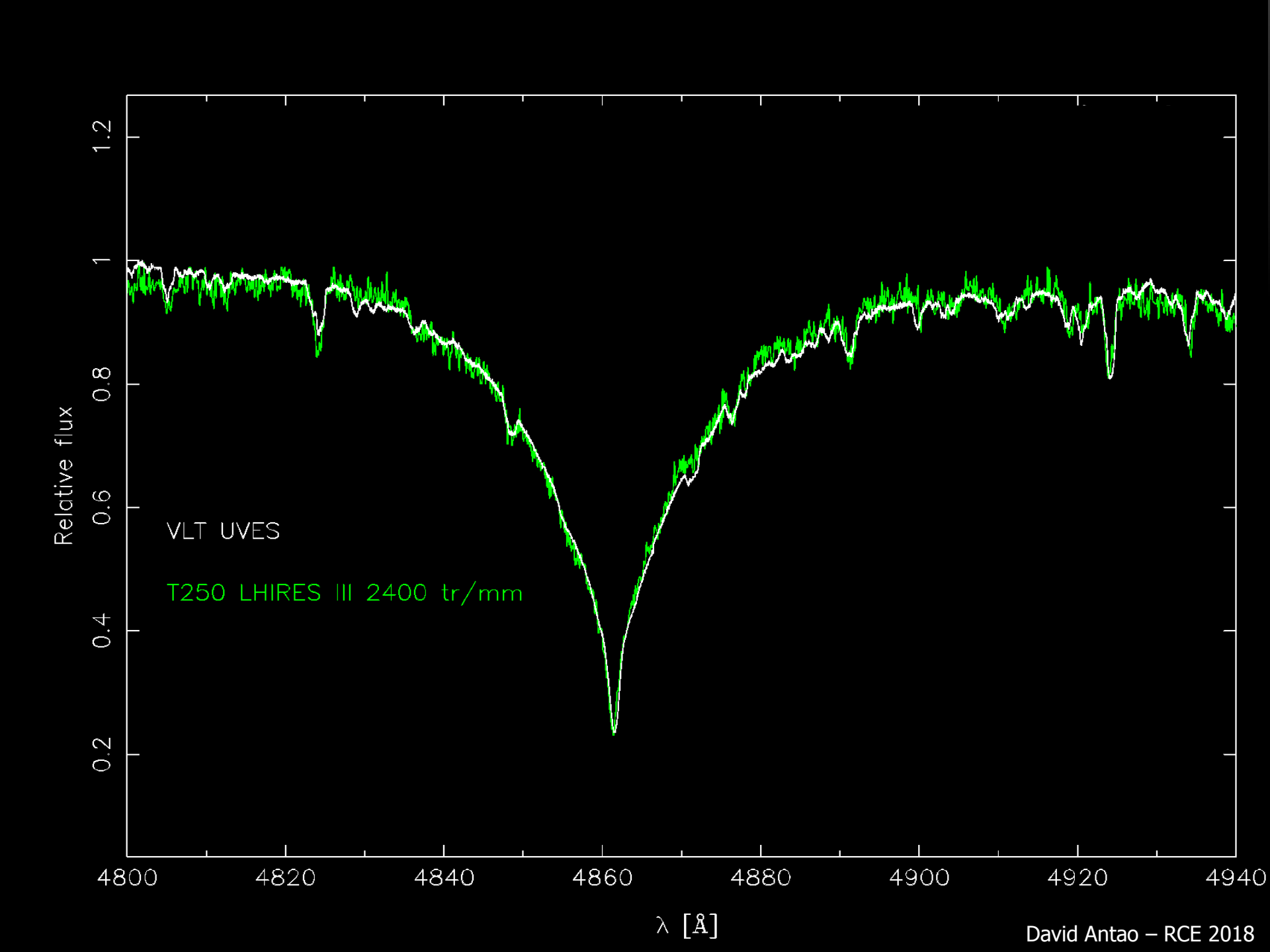


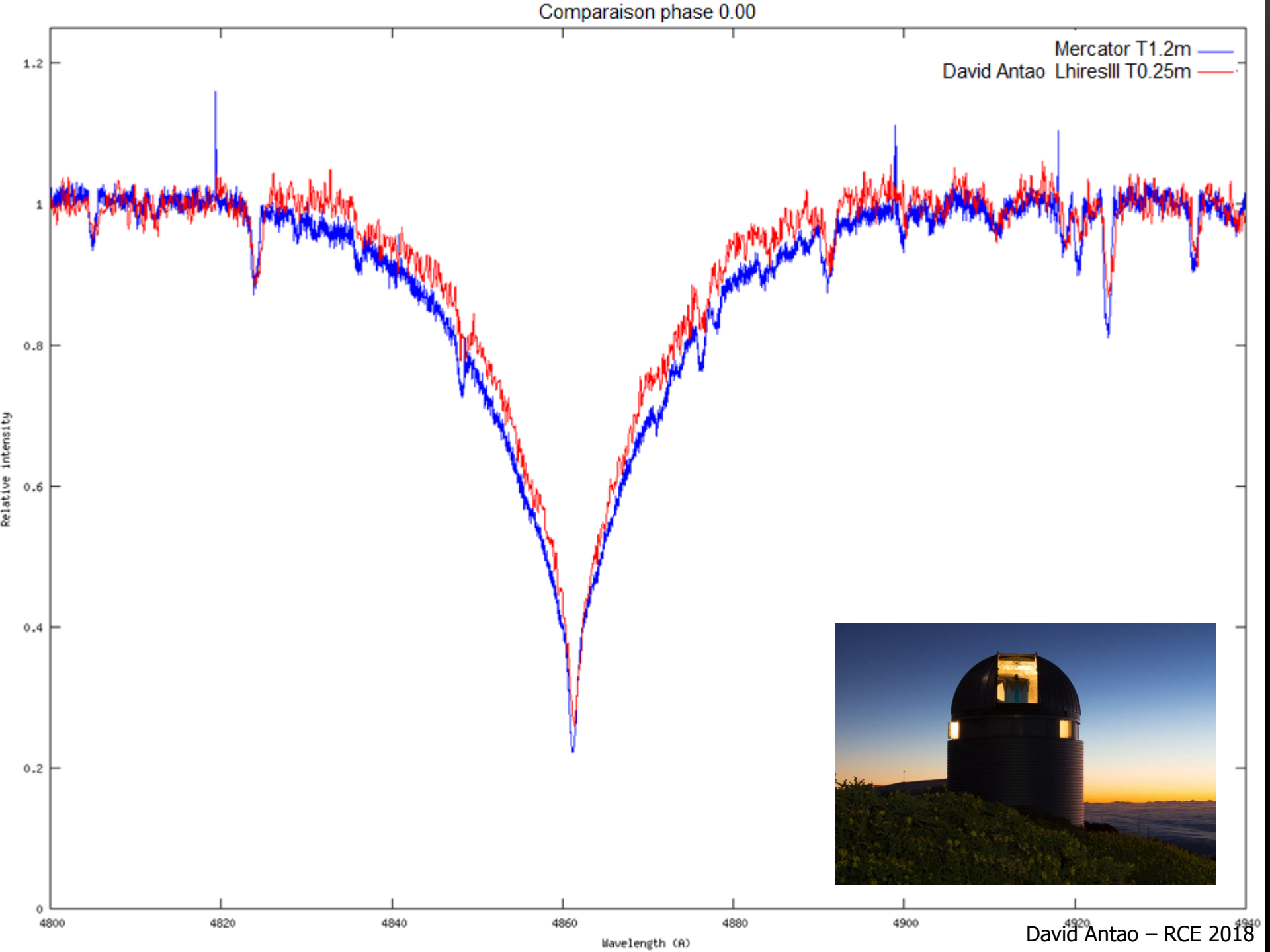
Tem
l
M
sa

ec

David Antao – RCE 2018

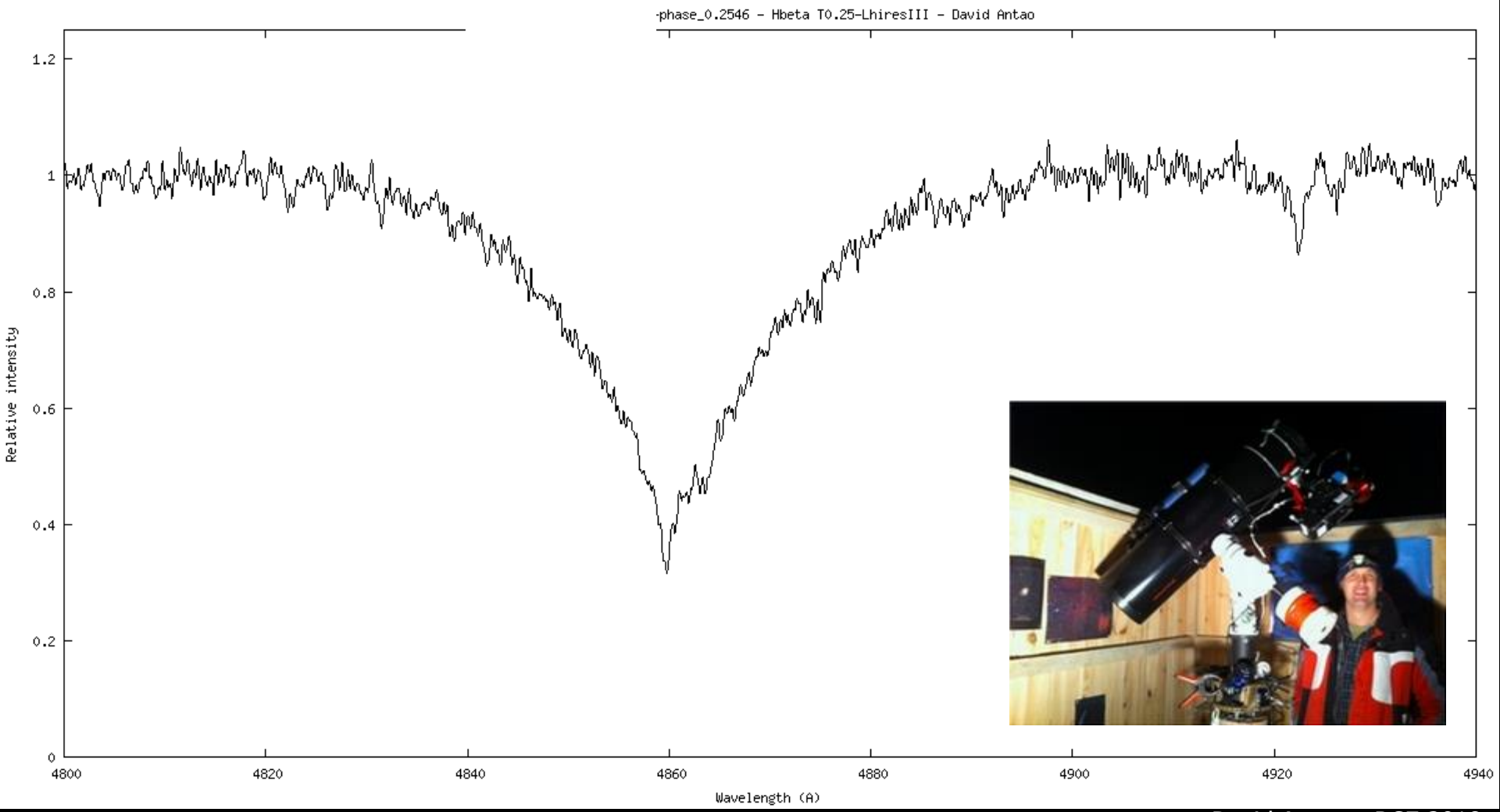

David Antao
T250 LhiresIII 2400tr/mm
.UVES.01.dat
Relative flux
1
0.8
0.6
0.4
S/N
506
4800
4820
4840
4860
4880
4900
4920
4940
λ [Å]

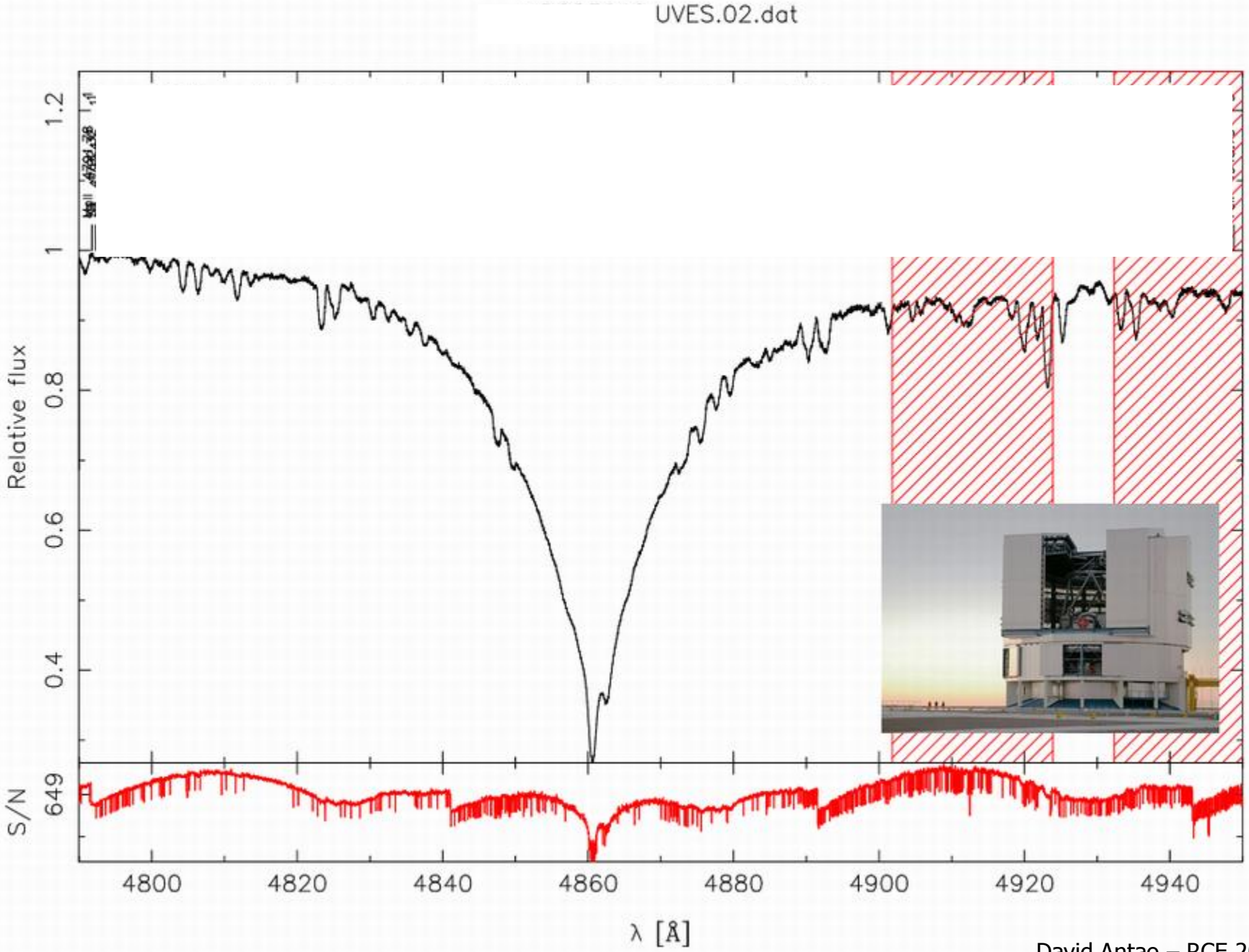

Relative flux
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
VLT UVES
T250 LHIRES III 2400 tr/mm
4800
4820
4840
4860
4880
4900
4920
4940
λ [Å]
David Antao – RCE 2018

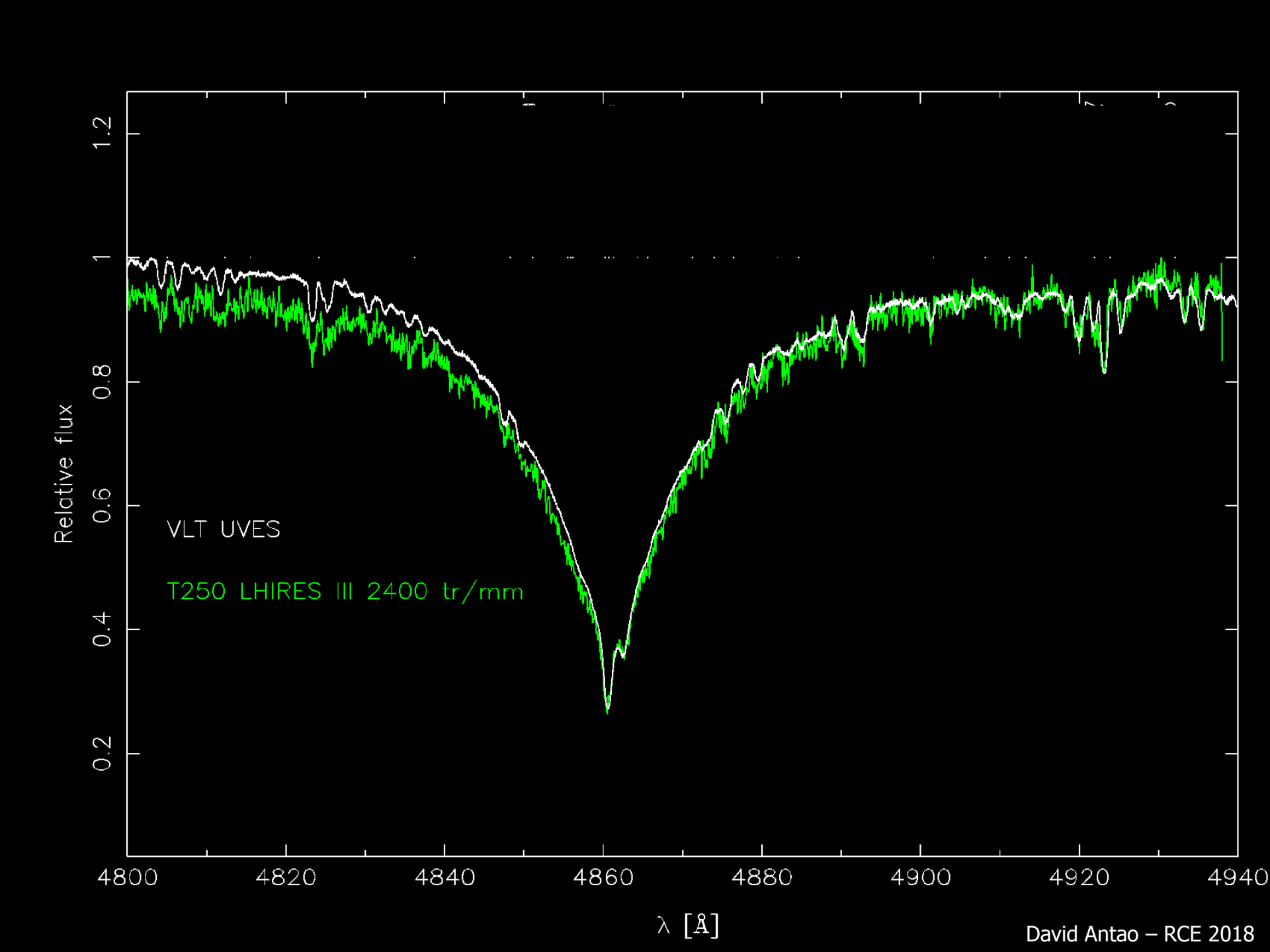


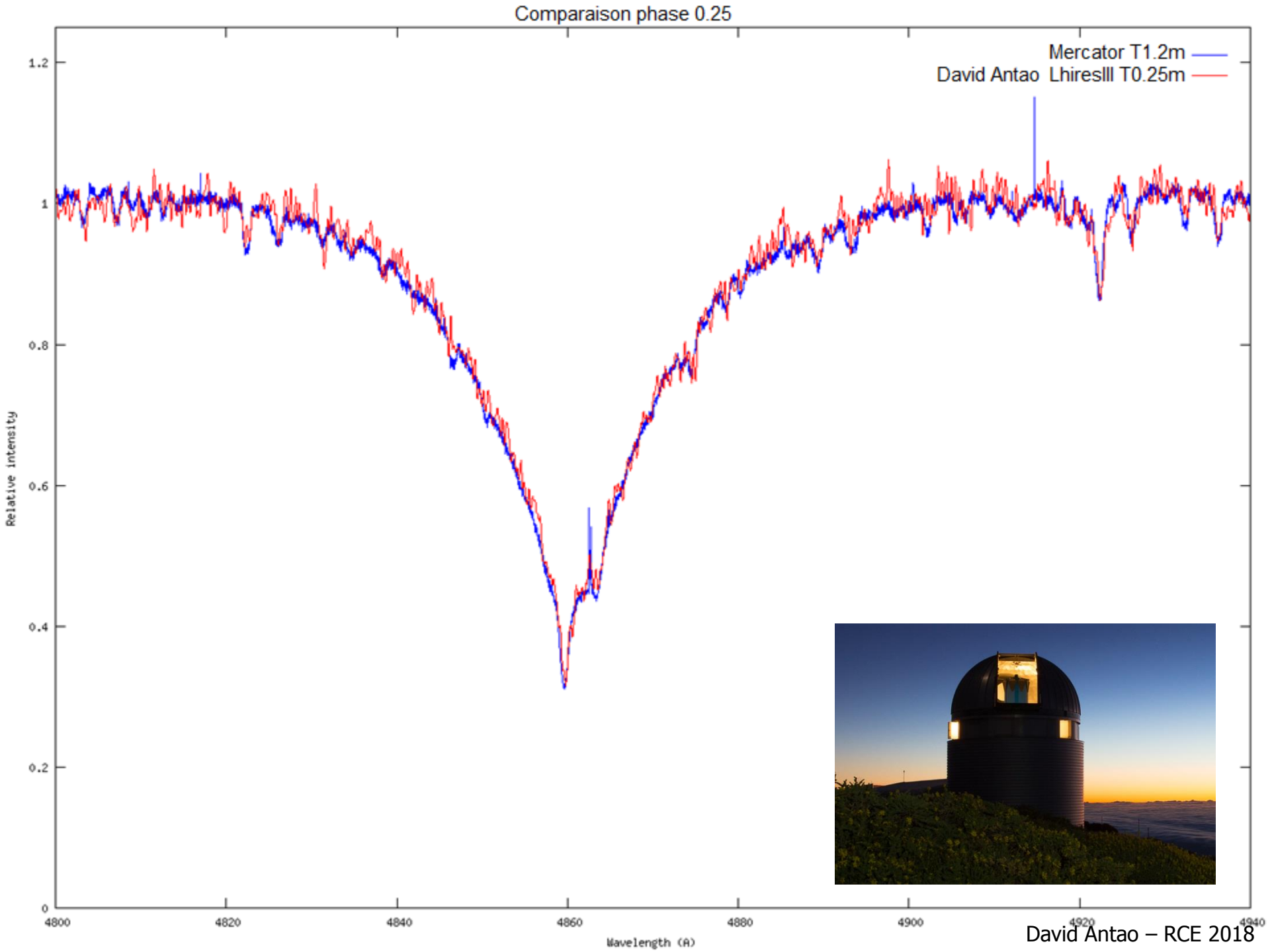
David Antao – RCE 2018

Exemple de spectre obtenu




UVES.02.dat
Relative flux
1.2
1
0.8
0.6
0.4
S/N
649
4800
4820
4840
4860
4880
4900
4920
4940
λ [Å]


VLT UVES
T250 LHIRES III 2400 tr/mm
Relative flux
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
4800
4820
4840
4860
4880
4900
4920
4940
λ [Å]
David Antao – RCE 2018



David Antao – RCE 2018

Bilan de la collaboration en chiffres

- **267** spectres haute résolution acquis
- **200** pleinement exploitables
- Observations menées sur plus de **3 ans**
  Novembre 2012 => Décembre 2015
- **104** heures d'observation au total

89%

de la période orbitale couverte par pas de 20 min

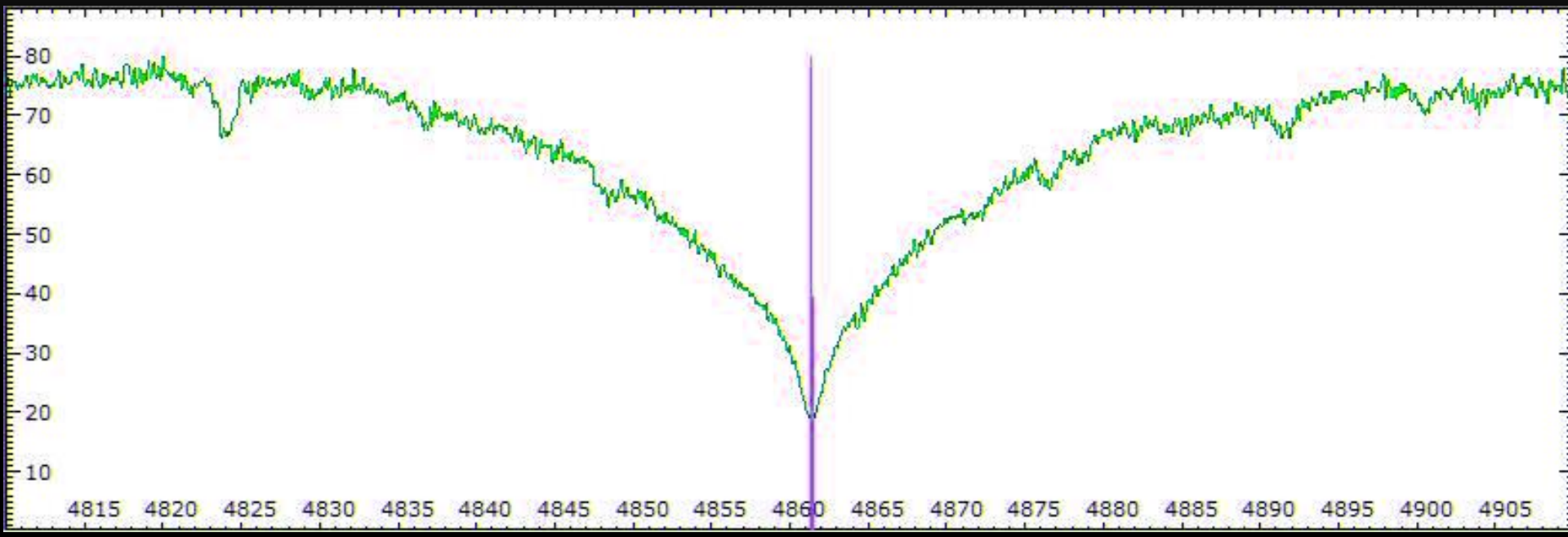
ALLER UN PEU PLUS LOIN QUE LES OBSERVATIONS …

POUR L'ÉQUIPE D'AMATEURS EN ATTENDANT LA PUBLICATION …

Bilan de la collaboration en image :

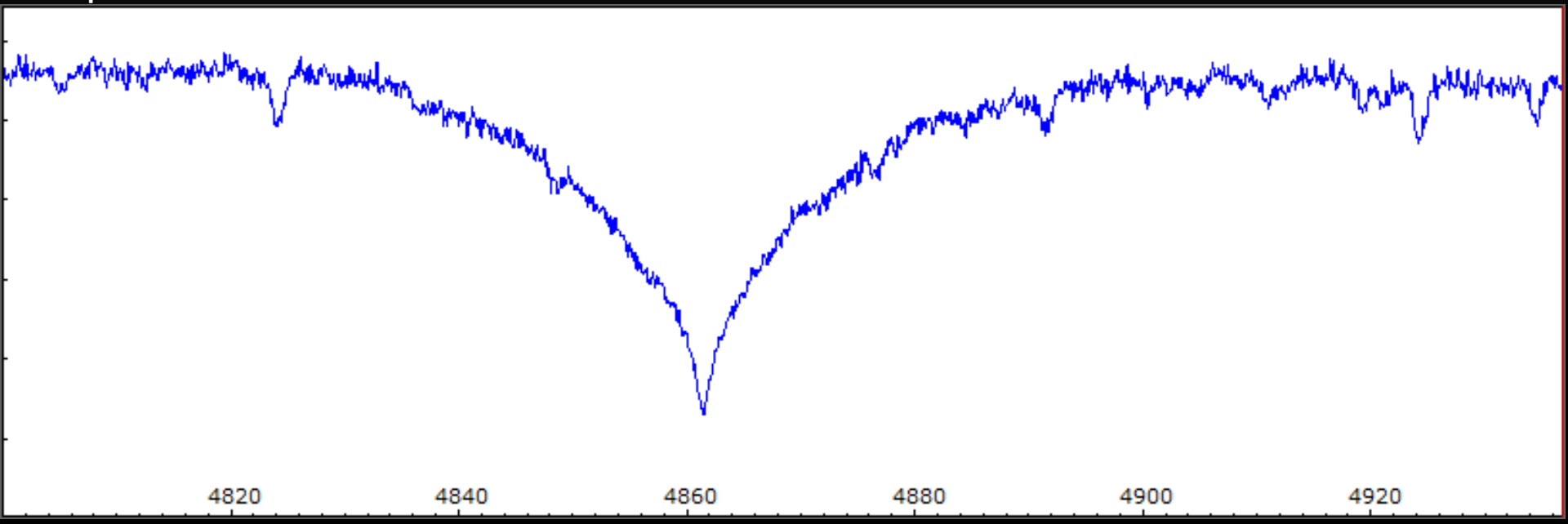
- Montage vidéo des spectres 1D
- Empilement des spectres synthétiques
- Synthèse

Montage vidéo



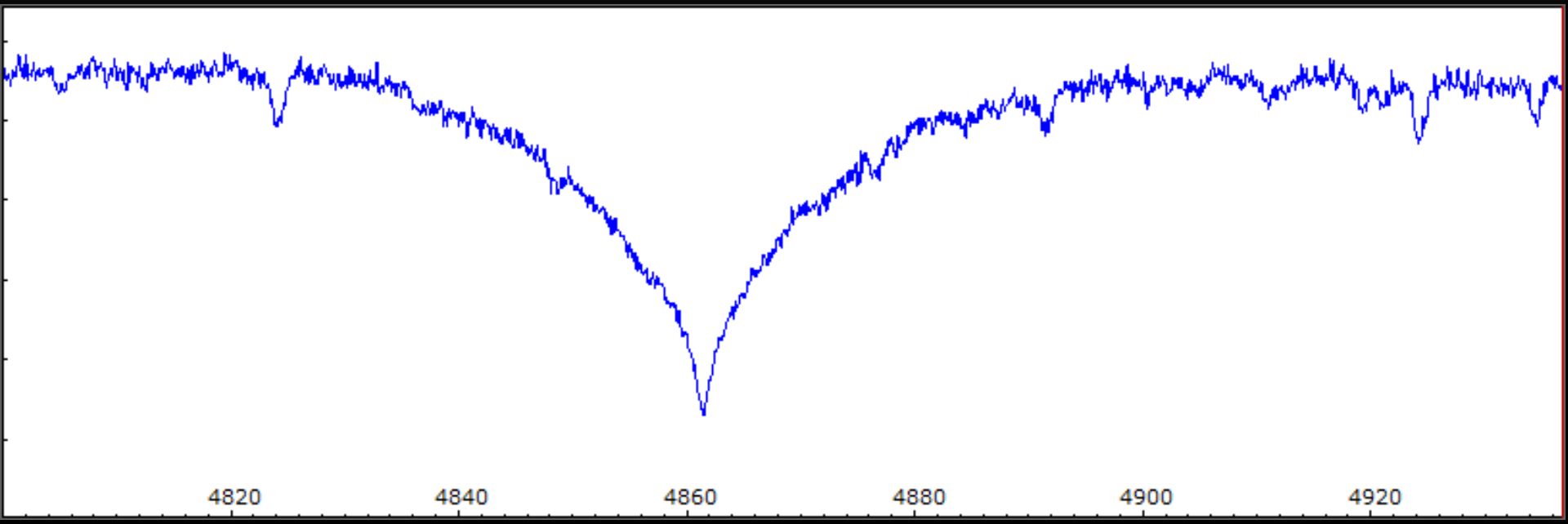
Création et empilement des spectres synthétiques

Spectre 1D



Création de spectres 2D synthétiques

Spectre 1D



Spectre synthétique 2D généré avec Vspec

Sélection des spectres entre 4800 et 4937 Angströms

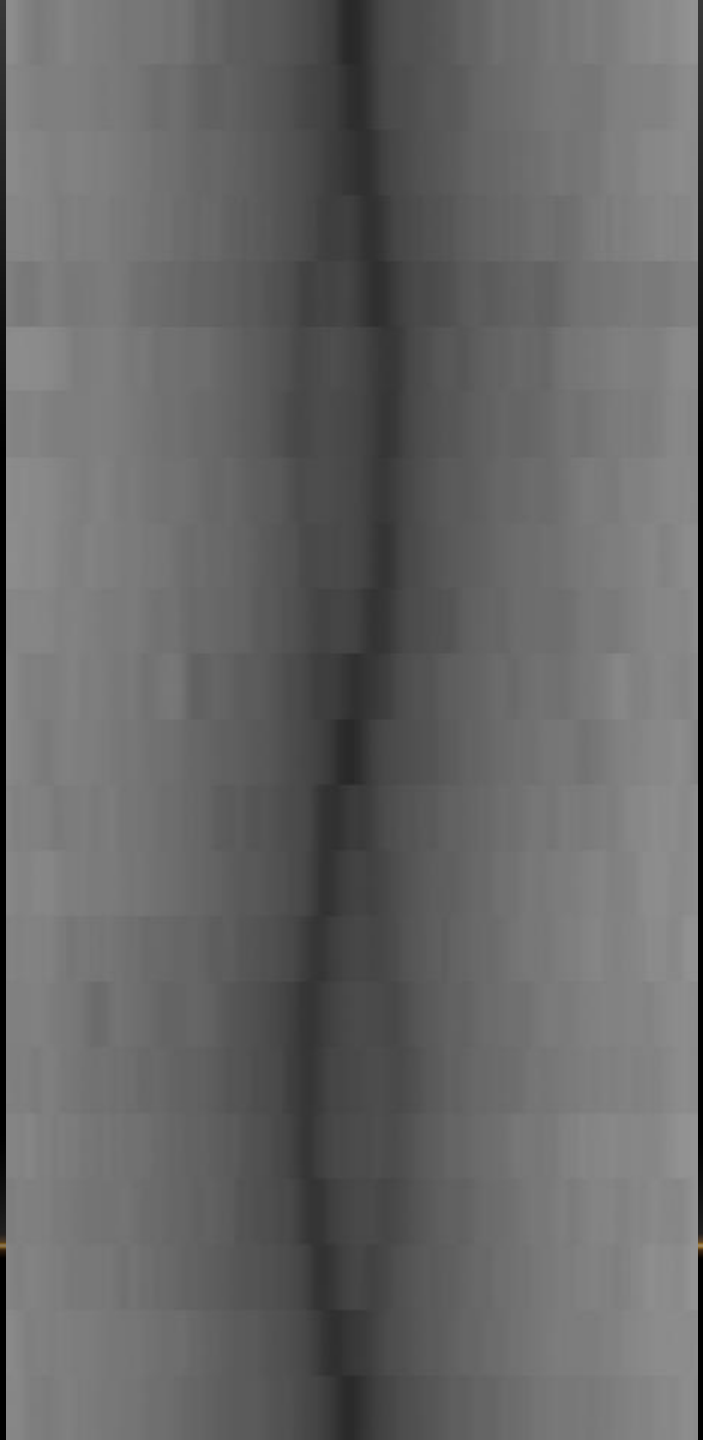
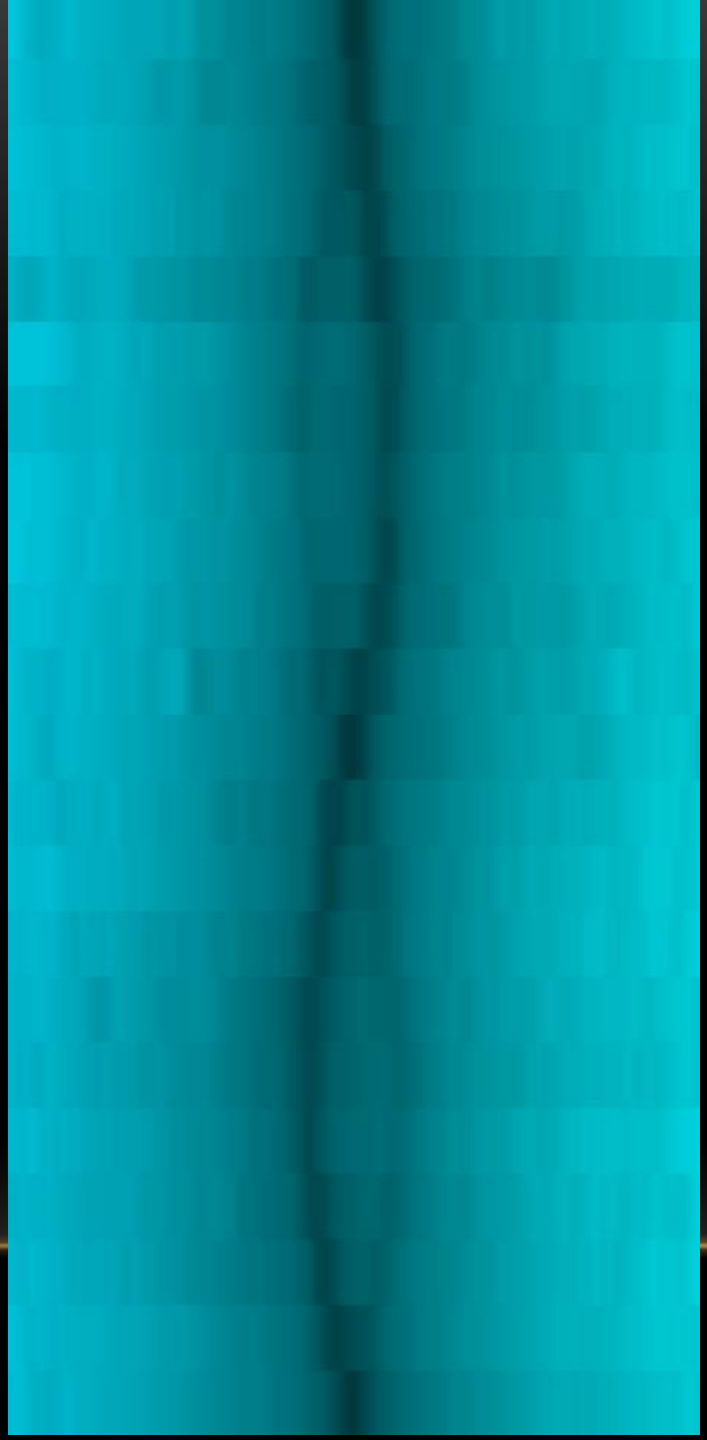


Image avec 22 spectres sélectionnés



La même chose avec
188 spectres

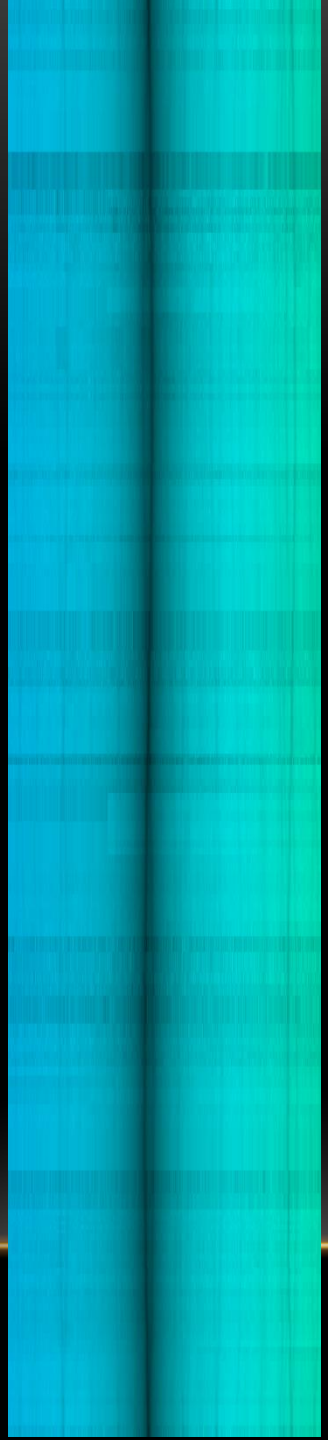
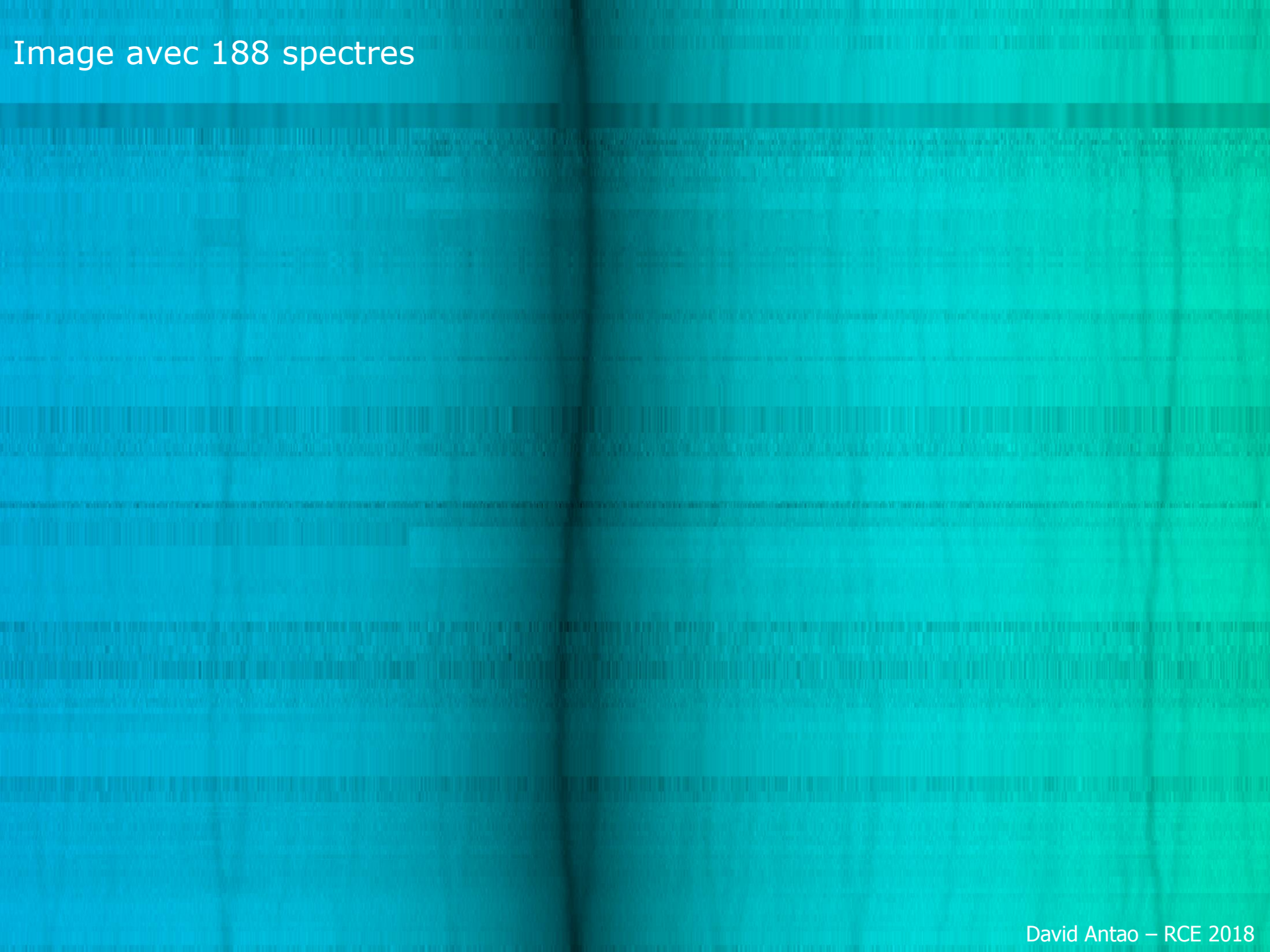
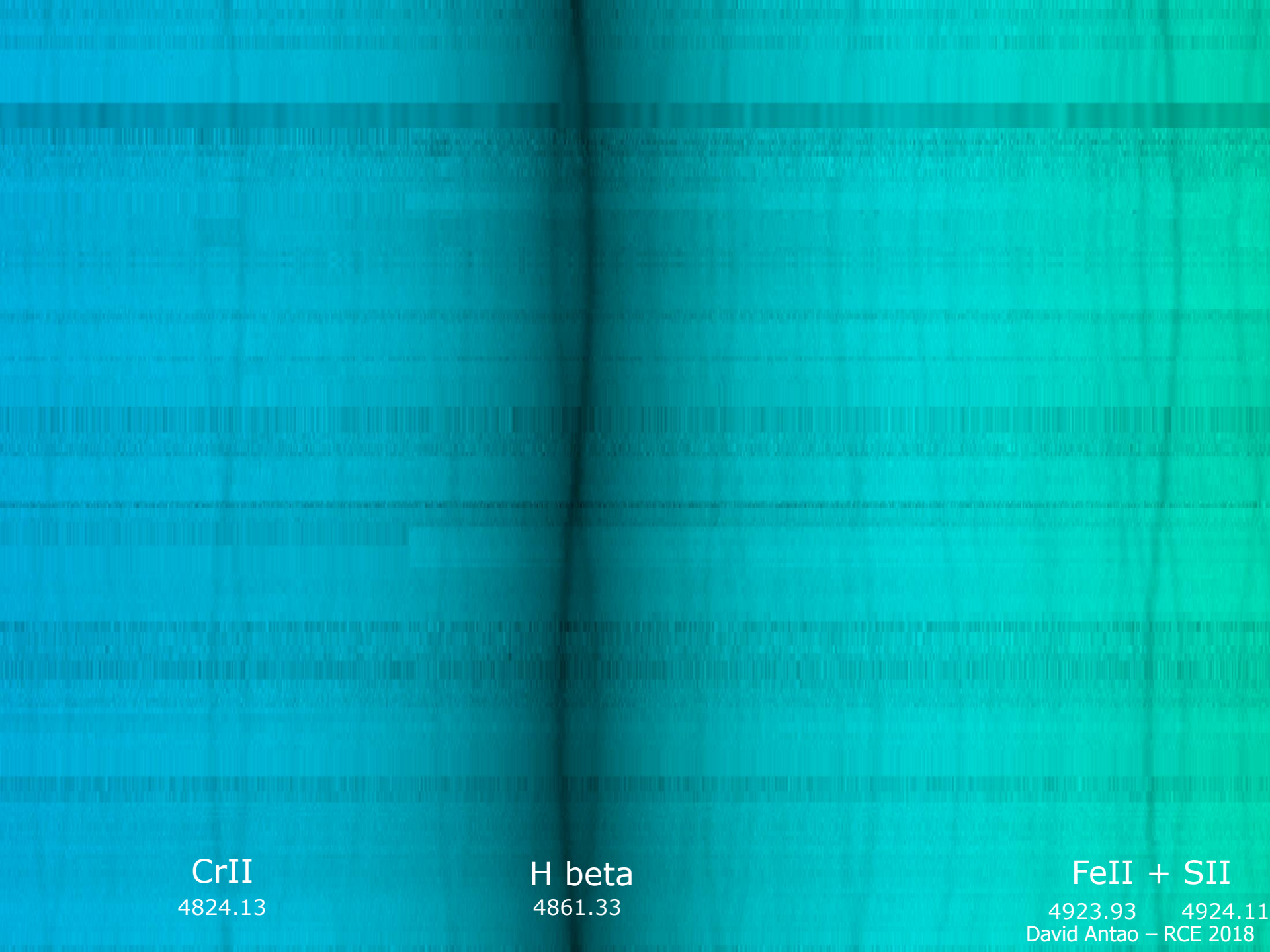
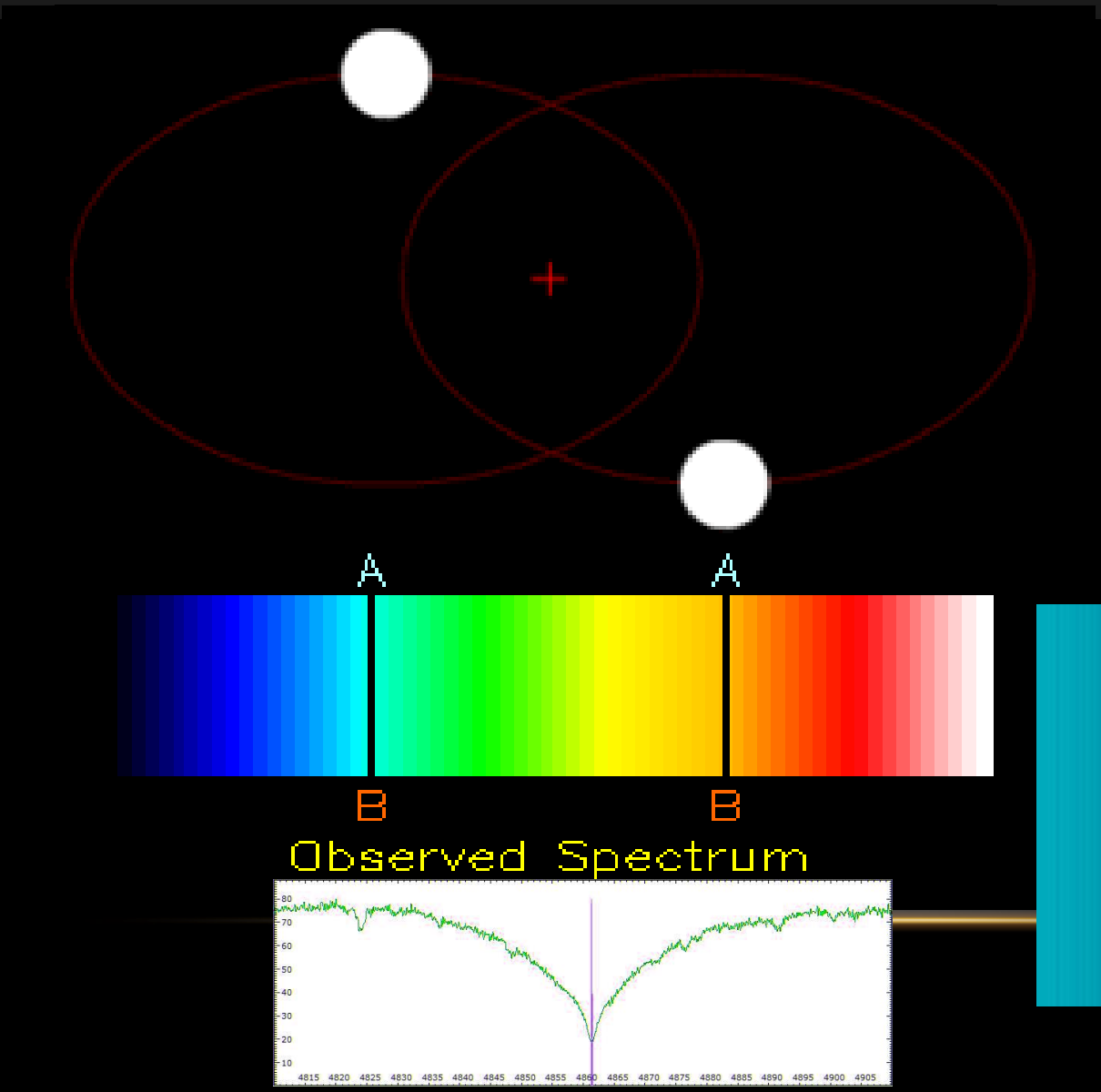


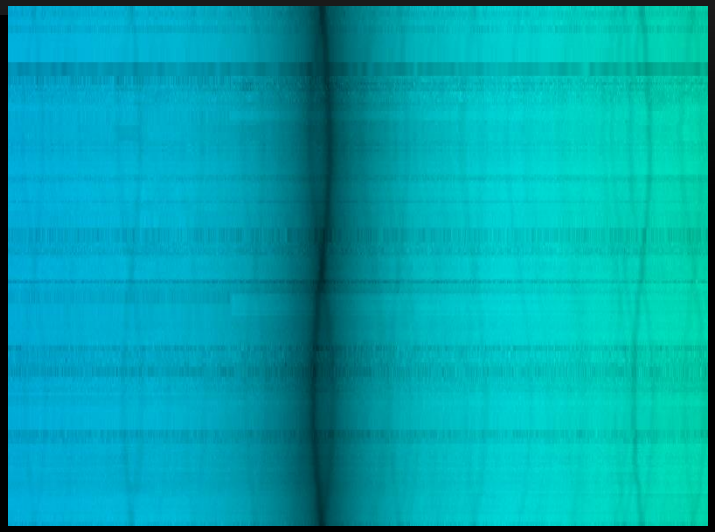
Image avec 188 spectres

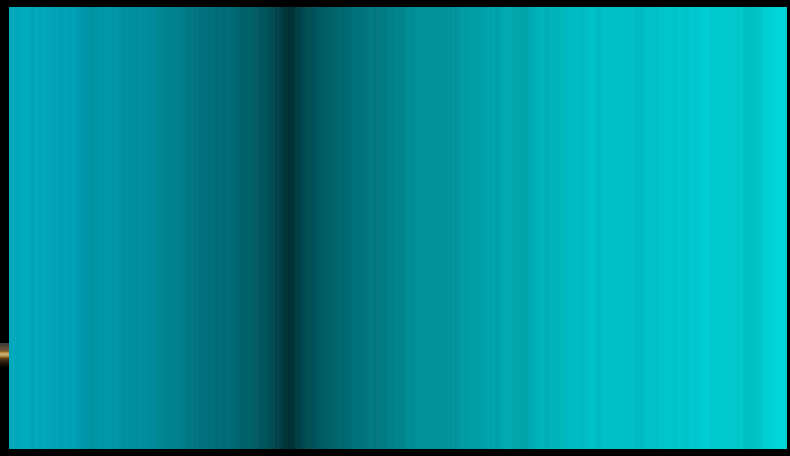



CrII
4824.13
H beta
4861.33
FeII + SII
4923.93
4924.11
David Antao – RCE 2018

Synthèse graphique





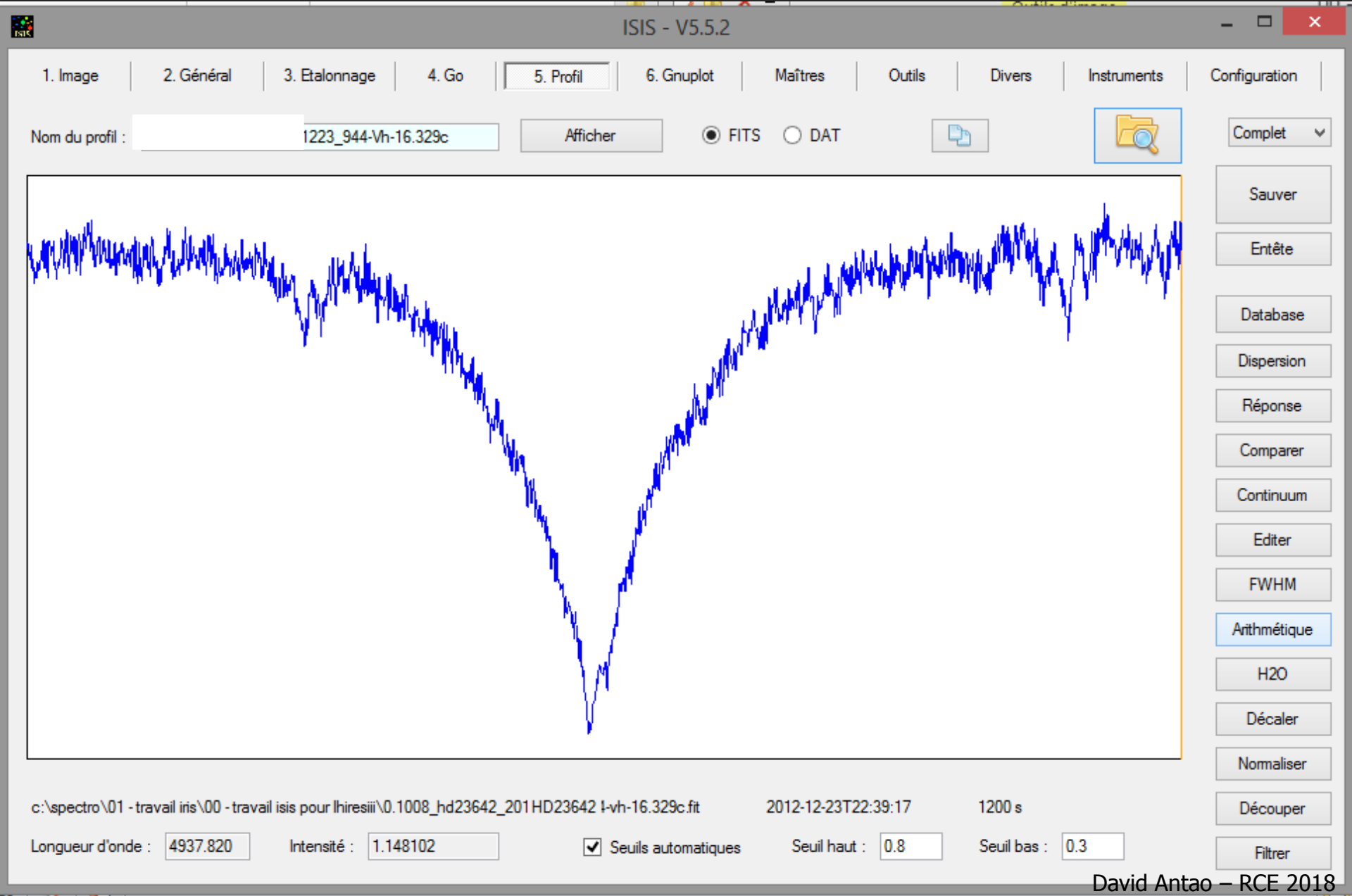


Les calculs amateurs

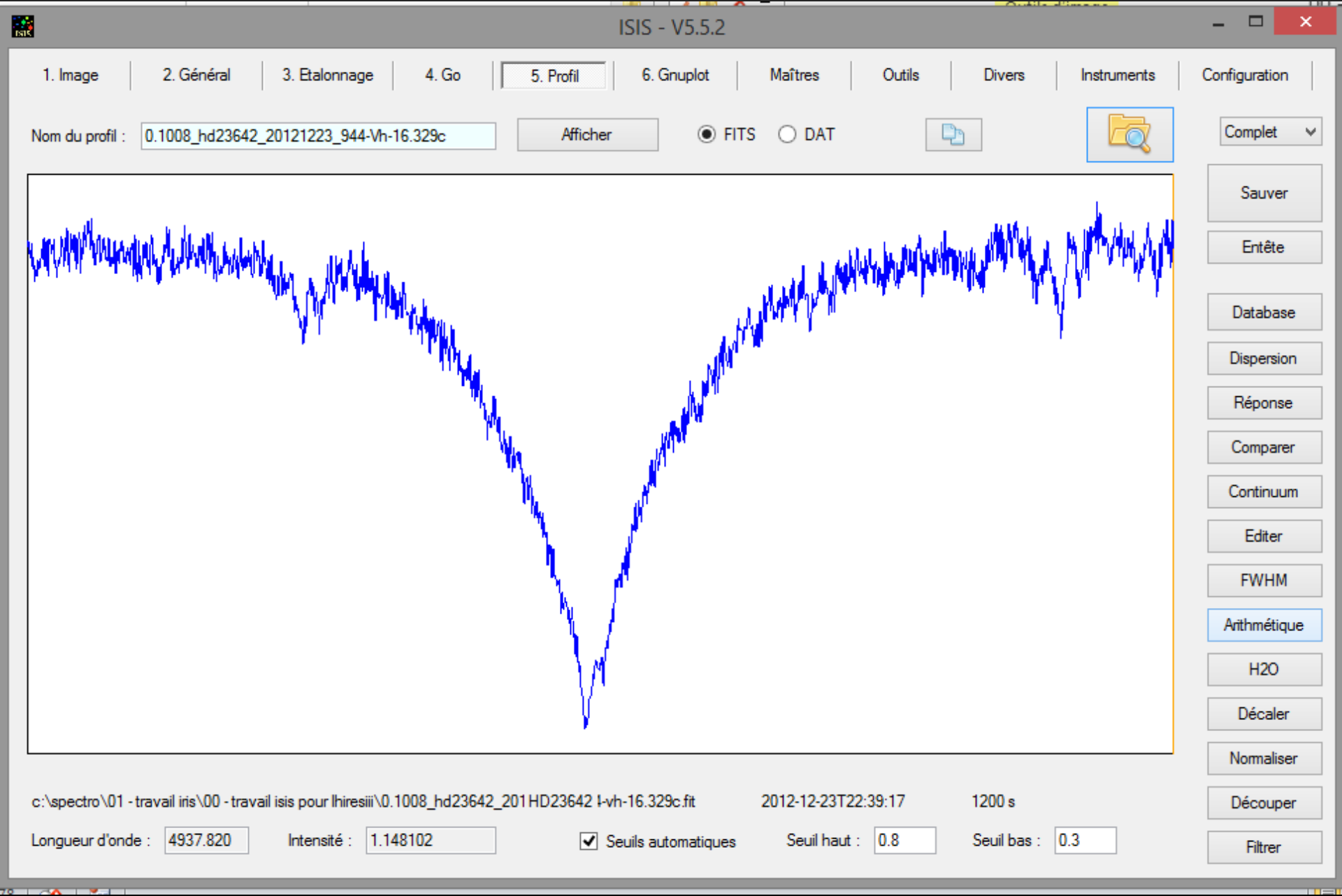
Les différentes étapes :

- Mesures des centres de raies
- Conversion en vitesse radiale
- Détermination des paramètres physiques
- Ce qu'on a pu déterminer

Mesures des centres de raies



Difficulté de mesurer les centres de raies



ISIS - V5.5.2

1. Image | 2. Général | 3. Etalonnage | 4. Go | 5. Profil | 6. Gnuplot | Maîtres | Outils | Divers | Instruments | Configuration

Nom du profil : 0.1008_hd23642_20121223_944-Vh-16.329c

Afficher

FITS DAT

x 0.50

Sauver

Entête

Database

Dispersion

Réponse

Comparer

Continuum

Editer

FWHM

Arithmétique

H2O

Décaler

Normaliser

Découper

Filtrer

c:\spectro\01 - travail iris\00 - travail isis pour lhiresiii\0.1008_hd23642_201HD23642 l-vh-16.329c.fit 2012-12-23T22:39:17 1200 s

Longueur d'onde : 4878.822 Intensité : 0.962911 Seuils automatiques Seuil haut : 0.8 Seuil bas : 0.3

ISIS - V5.5.2

1. Image | 2. Général | 3. Etalonnage | 4. Go | 5. Profil | 6. Gnuplot | Maîtres | Outils | Divers | Instruments | Configuration

Afficher | FITS | DAT | x 0.50

Profil de raie et continuum

FWHM :	0.974	A	Emission	
FWHM :	60.088	km/s	Absorption	
Position :	4860.5621	A		
EW :	1.4177	A		
Somme :	31.7777		Somme :	0.8970 / A
Moyenne :	0.3875			
Mediane :	0.3877			
Max :	0.4435			
Min :	0.3309			
Déviation :	0.0343			
RSB :	11.3			
RSB (2) :	11.6			
RSB (3) :	119.6			

Fermer

Sauver | Entête | Database | Dispersion | Réponse | Comparer | Continuum | Editer | Fermer | Arithmétique | H2O | Décaler | Normaliser | Découper | Filtrer

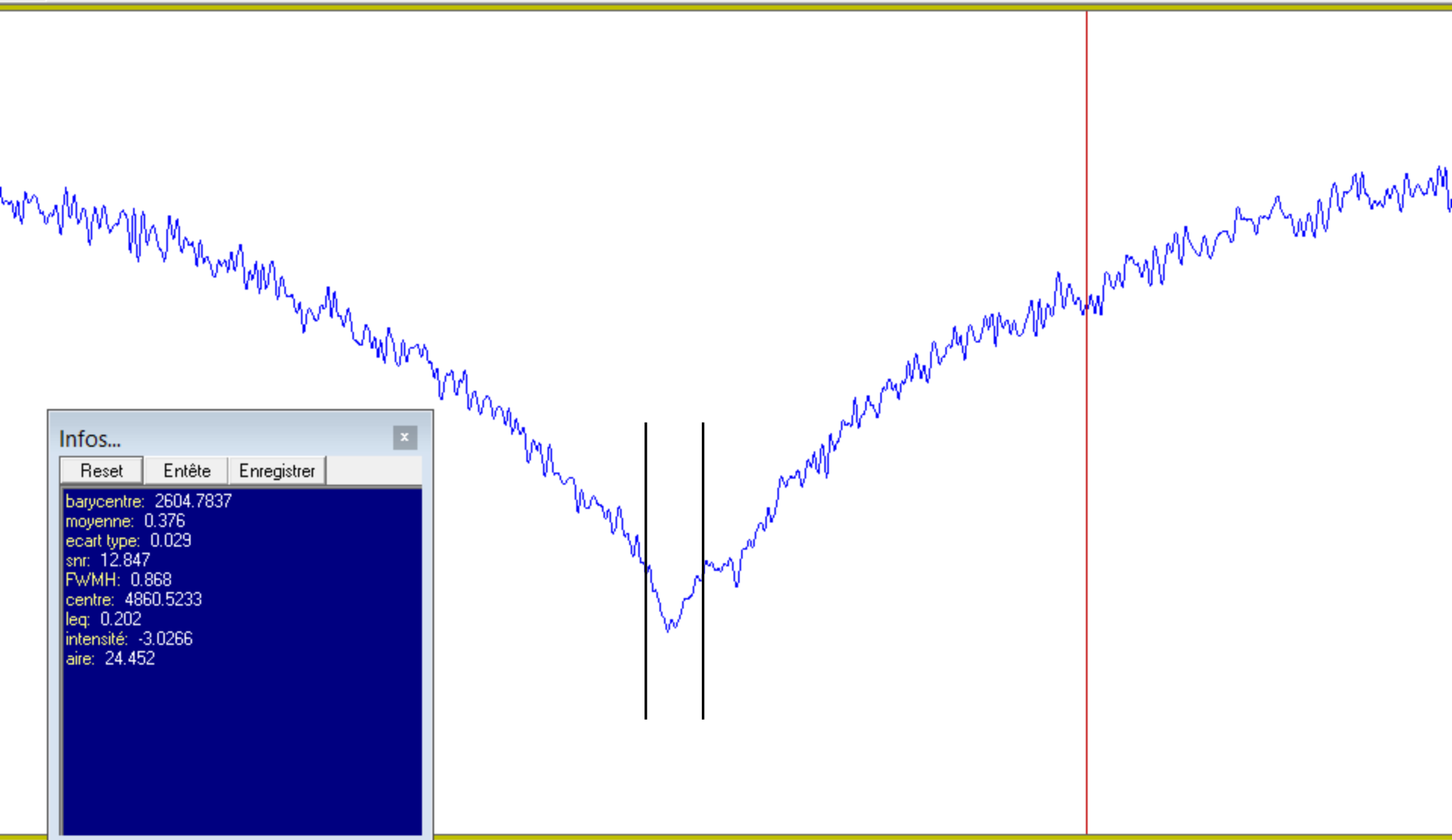
c:\spectro\01 - travail iris\00 - travail isis pour lhiresiii\0.1008_hd23642_201HD23642 l-vh-16.329c.fit 2012-12-23T22:39:17 1200 s

Longueur d'onde : 4844.665 Intensité : 0.922175 Seuils automatiques Seuil haut : 0.8 Seuil bas : 0.3

Visual Spec - [0.1008_hd23642_20121223_944-vh-16.329c.fit]

erations Spectrométrie Radiométrie Outils Assistant Fenêtre Options ?

3127 ; 4875.26 I 0.851 0.0282 (Å/pixel) 4859.74 ; 4861.55 | 1.81



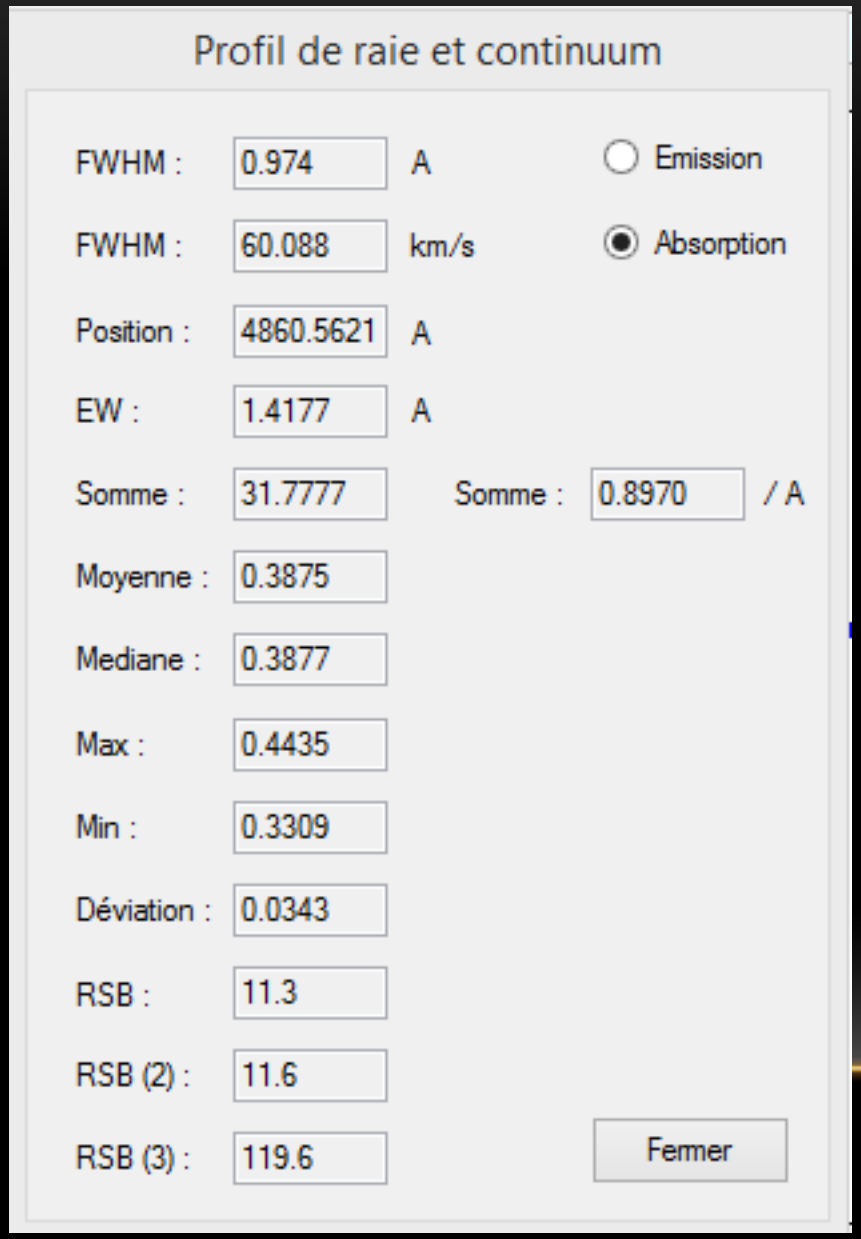
Infos...

Reset Entête Enregistrer

barycentre: 2604.7837
moyenne: 0.376
ecart type: 0.029
snr: 12.847
FWMH: 0.868
centre: 4860.5233
leq: 0.202
intensité: -3.0266
aire: 24.452

hiresIII\0.1008_hd23642_20121223_944-Vh-16.329c.fit

Constat : Ecart entre les mesures d'ISIS et de Vspec. D'où cela peut-il venir?



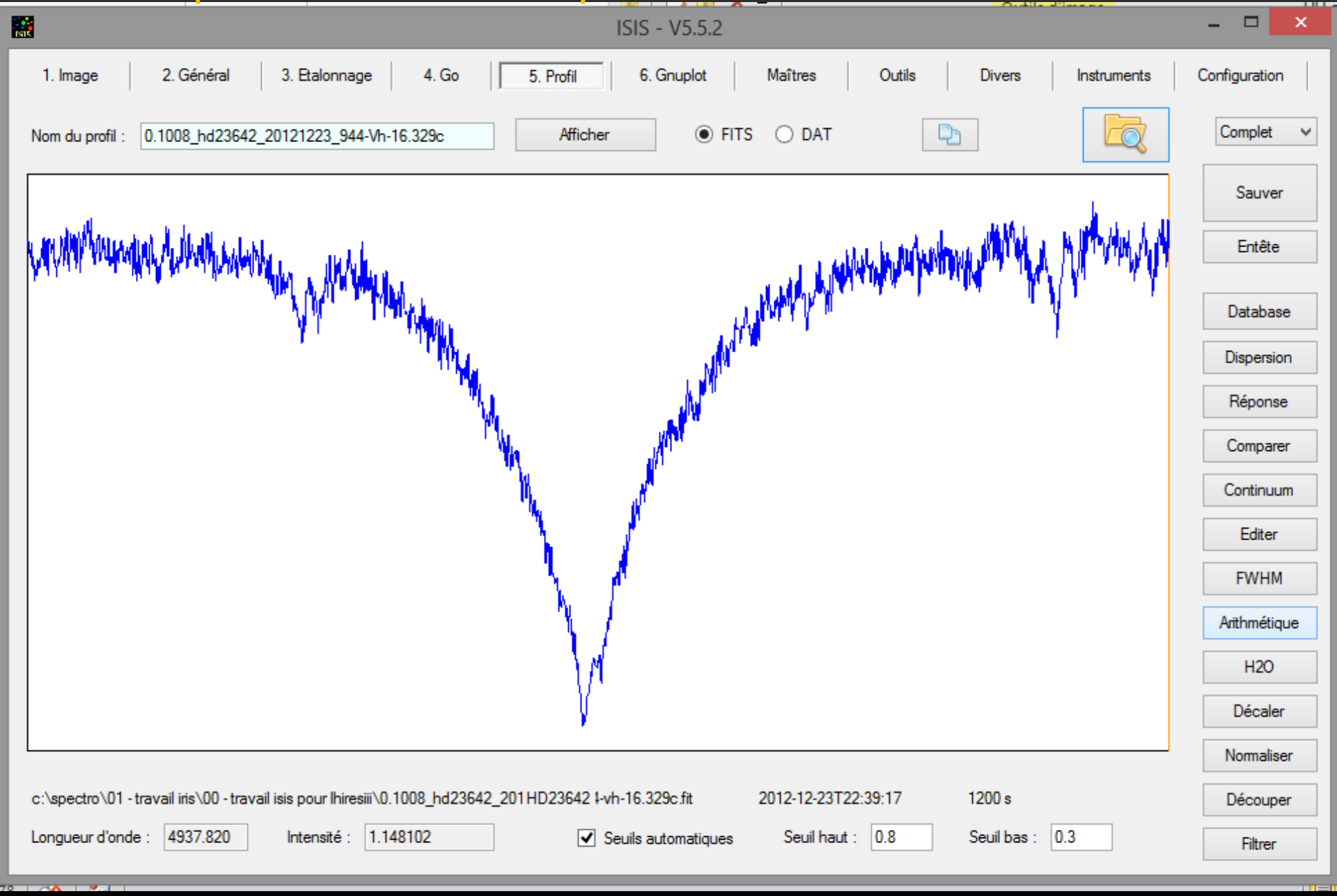
Fichier | Accueil | Insertion | Mise en page | Formules | Données | Révision | Affichage | Développeur

J134 f_x =2*ECARTYPE(C134:G134)/RACINE(5)

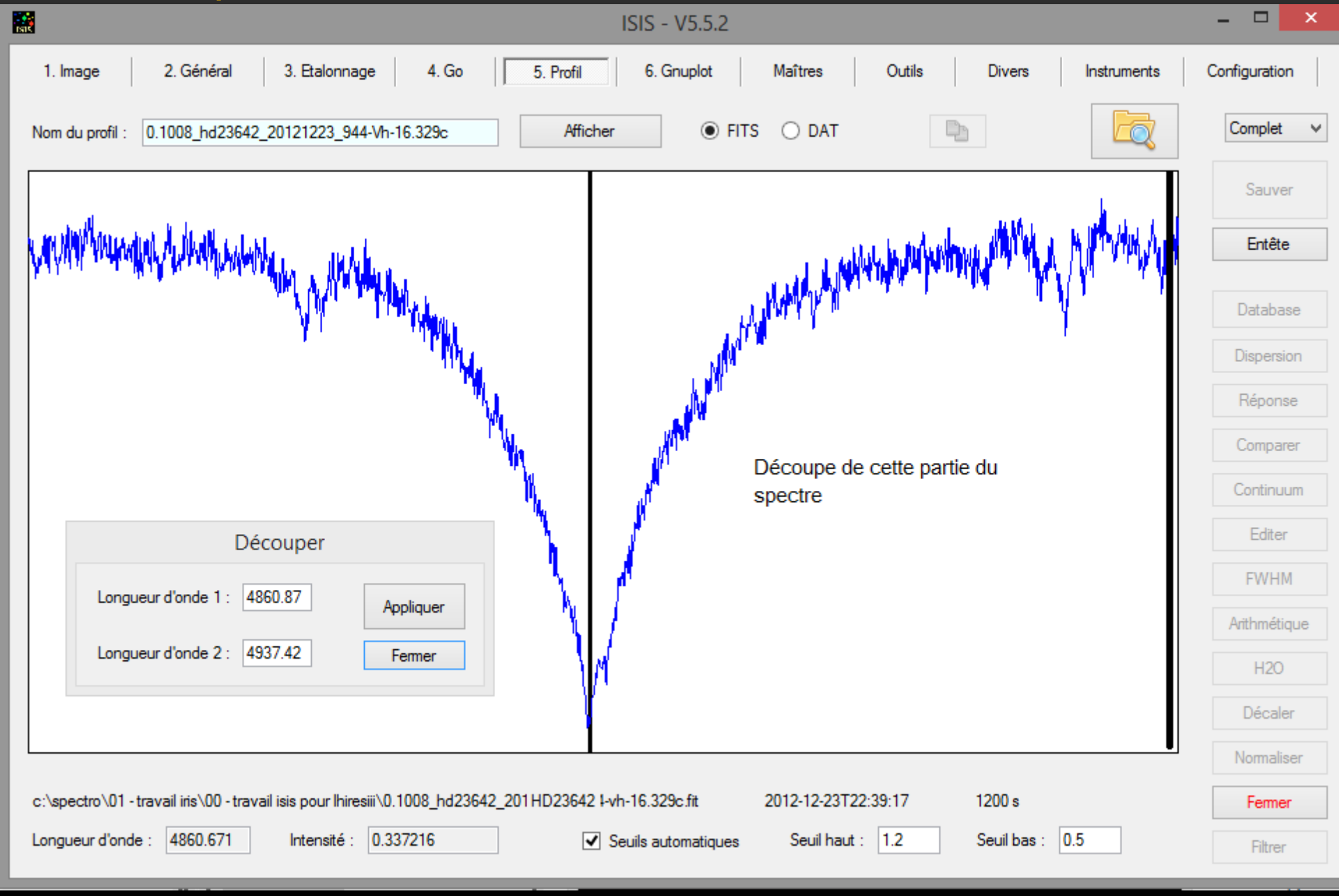
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Jour Julien	PHASE	MESURE A (vspec) 1	MESURE A (vspec) 2	MESURE A (vspec) 3	MESURE A (vspec) 4	MESURE A (vspec) 5	Moy Vspec	Ecart type	Incertitude
136	2456636.3627	0.6849	4863.035	4863.074	4863.074	4863.065	4863.064	4863.062	0.016	0.014
137	2456636.3769	0.6905	4862.905	4862.905	4862.908	4862.890	4862.914	4862.904	0.009	0.008
138	2456636.3910	0.6993	4862.924	4862.910	4862.910	4862.887	4862.873	4862.901	0.020	0.018
139	2456636.4100	0.7040	4863.046	4863.044	4863.031	4863.044	4863.026	4863.038	0.009	0.008
140	2456636.4241	0.7080	4863.022	4863.014	4863.025	4863.022	4863.014	4863.020	0.005	0.005
141	2456636.4383	0.7156	4862.954	4862.934	4862.934	4862.939	4862.939	4862.940	0.008	0.007
142	2456636.4778	0.7314	4862.922	4862.922	4862.922	4862.850	4862.850	4862.893	0.039	0.035
143	2456636.4919	0.7373	4863.020	4863.020	4863.020	4863.041	4863.041	4863.028	0.011	0.010
144	2456636.5060	0.7428	4862.942	4862.942	4862.968	4862.938	4862.959	4862.950	0.013	0.012
145	2456304.2698	0.7469	4863.038	4863.063	4863.054	4863.063	4863.039	4863.051	0.012	0.011
146	2456636.5240	0.7504	4863.157	4863.157	4863.157	4863.157	4863.157	4863.157	0.000	0.000
147	2456304.2839	0.7525	4863.000	4863.000	4863.012	4863.016	4863.000	4863.006	0.008	0.007
148	2456636.5382	0.7562	4862.940	4862.893	4862.919	4862.893	4862.940	4862.917	0.024	0.021
149	2456304.2978	0.7581	4862.844	4862.844	4862.830	4862.823	4862.846	4862.837	0.010	0.009
150	2456636.5523	0.7603	4862.92							
151	2456304.3117	0.7639	4862.81							
152	2456636.5706	0.7692	4862.92							
153	2456636.5847	0.7751	4862.88							

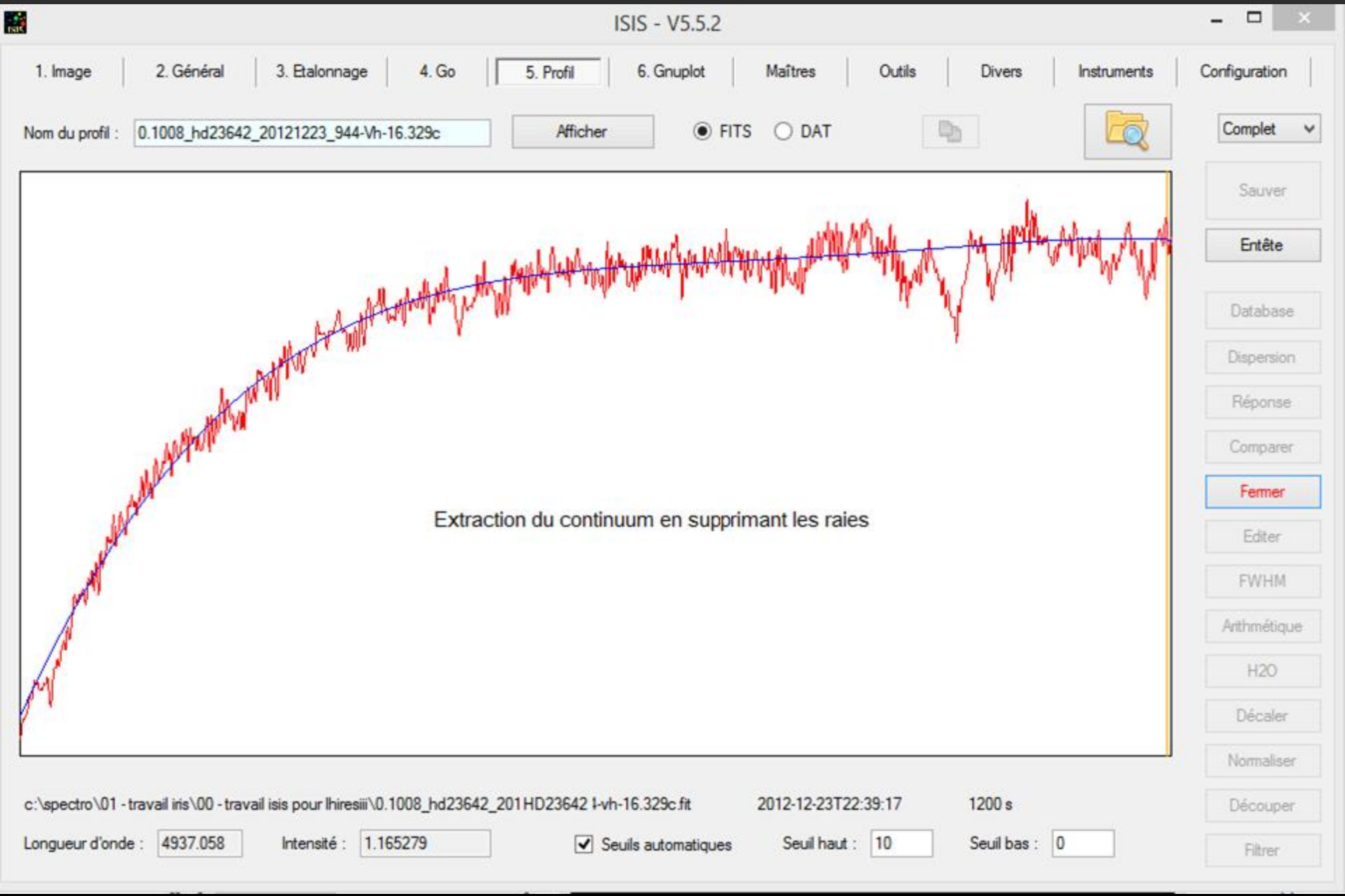
	A	B	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Jour Julien	PHASE	MESURE A (ISIS) 1	MESURE A (ISIS) 2	MESURE A (ISIS) 3	MESURE A (ISIS) 4	MESURE A (ISIS) 5	Moy ISIS	Ecart type	Incertitude
136	2456636.3627	0.6849	4863.042	4863.049	4863.042	4863.044	4863.045	4863.044	0.003	0.002
137	2456636.3769	0.6905	4862.978	4862.989	4863.000	4862.990	4863.002	4862.992	0.010	0.009
138	2456636.3910	0.6993	4862.893	4862.902	4862.900	4862.906	4862.902	4862.900	0.005	0.004
139	2456636.4100	0.7040	4863.043	4863.051	4863.045	4863.047	4863.045	4863.046	0.003	0.003
140	2456636.4241	0.7080	4863.001	4862.996	4862.978	4863.009	4863.007	4862.998	0.012	0.011
141	2456636.4383	0.7156	4862.898	4862.904	4862.905	4862.906	4862.902	4862.903	0.003	0.003
142	2456636.4778	0.7314	4862.975	4862.961	4862.964	4862.964	4862.969	4862.966	0.006	0.005
143	2456636.4919	0.7373	4862.966	4862.965	4862.970	4862.970	4862.970	4862.968	0.002	0.002
144	2456636.5060	0.7428	4862.976	4862.952	4862.945	4862.971	4862.984	4862.966	0.016	0.015
145	2456304.2698	0.7469	4863.163	4863.163	4863.169	4863.141	4863.168	4863.161	0.011	0.010
146	2456636.5240	0.7504	4863.085	4863.105	4863.100	4863.095	4863.095	4863.096	0.007	0.007
147	2456304.2839	0.7525	4862.959	4862.959	4862.959	4862.960	4862.960	4862.959	0.001	0.001
148	2456636.5382	0.7562	4862.913	4862.910	4862.913	4862.911	4862.914	4862.912	0.002	0.002
149	2456304.2978	0.7581	4862.851	4862.851	4862.845	4862.855	4862.844	4862.849	0.005	0.004
150	2456636.5523	0.7603	4863.034	4863.038	4863.035	4863.039	4863.035	4863.036	0.002	0.002
151	2456304.3117	0.7639	4863.023	4863.029	4863.028	4863.033	4862.990	4863.021	0.018	0.016
152	2456636.5706	0.7692	4863.057	4863.057	4863.057	4863.058	4863.057	4863.057	0.000	0.000
153	2456636.5847	0.7751	4862.984	4862.981	4862.992	4862.991	4862.992	4862.988	0.005	0.005

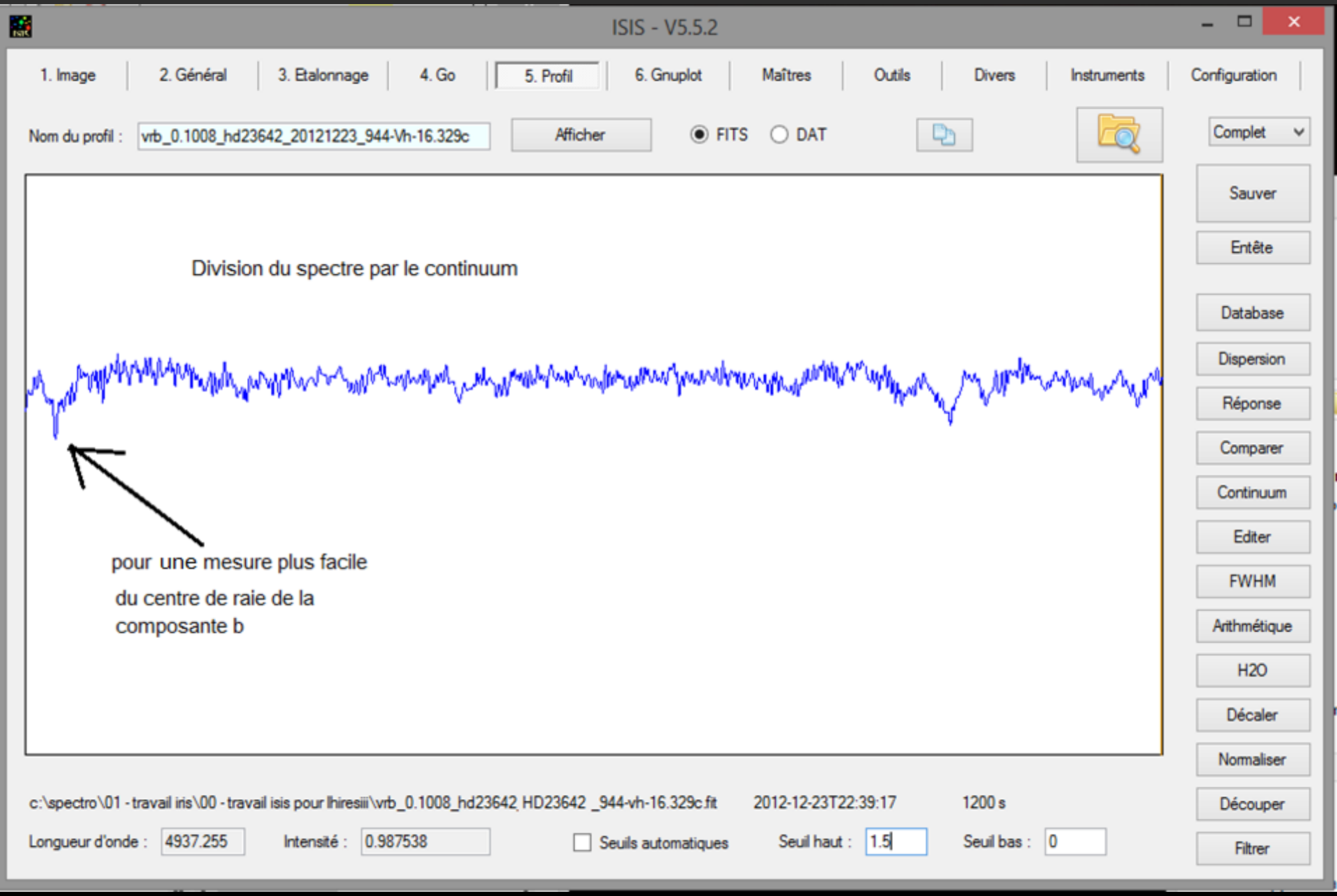
Encore plus de difficulté pour mesurer la seconde raie



Principe utilisé




ISIS - V5.5.2
1. Image
2. Général
3. Etalonnage
4. Go
5. Profil
6. Gnuplot
Maîtres
Outils
Divers
Instruments
Configuration
Nom du profil :
0.1008_hd23642_20121223_944-Vh-16.329c
Afficher
FITS
DAT
Complet
Sauver
Entête
Database
Dispersion
Réponse
Comparer
Fermer
Editer
FWHM
Arithmétique
H2O
Décaler
Normaliser
Découper
Filtrer
Extraction du continuum en supprimant les raies
c:\spectro\01 - travail iris\00 - travail isis pour lhiresiii\0.1008_hd23642_201HD23642 I-vh-16.329c.fit
2012-12-23T22:39:17
1200 s
Longueur d'onde :
4937.058
Intensité :
1.165279
Seuils automatiques
Seuil haut :
10
Seuil bas :
0


ISIS - V5.5.2
1. Image
2. Général
3. Etalonnage
4. Go
5. Profil
6. Gnuplot
Maîtres
Outils
Divers
Instruments
Configuration
Nom du profil :
vrb_0.1008_hd23642_20121223_944-Vh-16.329c
Afficher
FITS
DAT
Complet
Sauver
Entête
Database
Dispersion
Réponse
Comparer
Continuum
Editer
FWHM
Arithmétique
H2O
Décaler
Normaliser
Découper
Filtrer
Division du spectre par le continuum
pour une mesure plus facile
du centre de raie de la
composante b
c:\spectro\01 - travail iris\00 - travail isis pour lhiresiii\vrb_0.1008_hd23642_HD23642 _944-vh-16.329c.fit
2012-12-23T22:39:17
1200 s
Longueur d'onde :
4937.255
Intensité :
0.987538
Seuils automatiques
Seuil haut :
1.5
Seuil bas :
0

Fichier | Accueil | Insertion | Mise en page | Formules | Données | Révision | Affichage | Développeur

J134 — =2*ECARTYPE(C134:G134)/RACINE(5)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Jour Julien	PHASE	MESURE A (vspec) 1	MESURE A (vspec) 2	MESURE A (vspec) 3	MESURE A (vspec) 4	MESURE A (vspec) 5	Moy Vspec	Ecart type	Incertitude
136	2456636.3627								0.016	0.014
137	2456636.3769								0.009	0.008
138	2456636.3910								0.020	0.018
139	2456636.4100								0.009	0.008
140	2456636.4241								0.005	0.005
141	2456636.4383								0.008	0.007
142	2456636.4778								0.039	0.035
143	2456636.4919								0.011	0.010
144	2456636.5060								0.013	0.012
145	2456304.2698								0.012	0.011
146	2456636.5240								0.000	0.000
147	2456304.2839								0.008	0.007
148	2456636.5382								0.024	0.021
149	2456304.2978								0.010	0.009
150	2456636.5523									
151	2456304.3117									
152	2456636.5706									
153	2456636.5847									

	A	B	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Jour Julien	PHASE	MESURE A (ISIS) 1	MESURE A (ISIS) 2	MESURE A (ISIS) 3	MESURE A (ISIS) 4	MESURE A (ISIS) 5	Moy ISIS	Ecart type	Incertitude
136	2456636.3627								0.003	0.002
137	2456636.3769								0.010	0.009
138	2456636.3910								0.005	0.004
139	2456636.4100								0.003	0.003
140	2456636.4241								0.012	0.011
141	2456636.4383								0.003	0.003
142	2456636.4778								0.006	0.005
143	2456636.4919								0.002	0.002
144	2456636.5060								0.016	0.015
145	2456304.2698								0.011	0.010
146	2456636.5240								0.007	0.007
147	2456304.2839								0.001	0.001
148	2456636.5382								0.002	0.002
149	2456304.2978								0.005	0.004
150	2456636.5523								0.002	0.002
151	2456304.3117								0.018	0.016
152	2456636.5706								0.000	0.000
153	2456636.5847								0.005	0.005

Conversion en vitesse radiale

Mesure de la raie sur le spectre

Valeur émise de la raie

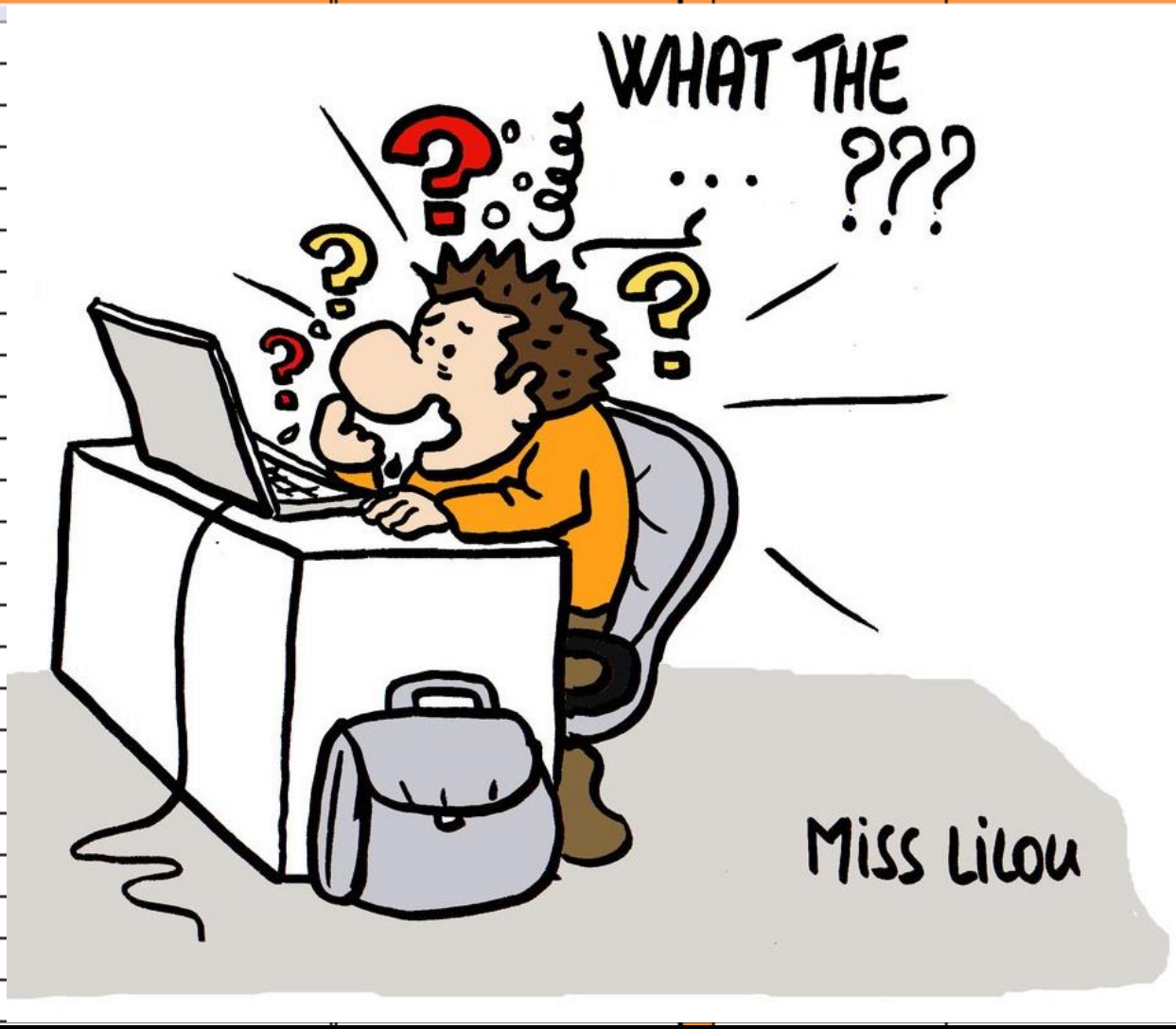
Vitesse de la lumière

$$Vr = \frac{\lambda o - \lambda e}{\lambda e} . c$$

Vitesse radiale

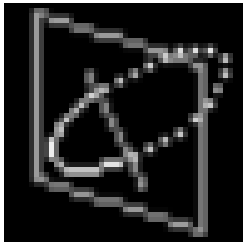
X43 | f_x =(C43-4861.33)/4861.33*299792.458

	A	C	K	R	X	Z	AB
	Jour Julien	MESURE A (vspec) Angström	MESURE B (vspec) Angström		VR A Vspec Km/s	VR B Vspec Km/s	
43	2456290.4136						1
44	2456285.4978						1
45	2456285.5118						5
46	2456285.5257						8
47	2456285.5486						6
48	2456290.4794						1
49	2456285.5626						1
50	2456290.4933						3
51	2456285.5765						1
52	2456290.5072						6
53	2456642.4434						4
54	2456290.5212						3
55	2456642.4575						2
56	2456285.6049						
57	2456642.4716						8
58	2456342.3293						5
59	2456342.3432						9
60	2456342.3572						5
61	2456342.3741						5
62	2456642.4716						6
63	2456635.2983						1
64	2456635.3478						9
65	2456342.4350						8
66	2456635.3124						8



Détermination des paramètres physiques

2004: The Journal of Astronomical Data 10, 3. © *D.O. Johnson*



Spectroscopic Binary Solver

Delwin Owen Johnson

Department of Astronomy, San Diego State University. San Diego, CA 92182-1221, USA

Received 12 October 2004 ; accepted 9 november 2004

Mesures

Fichier Edition Format Affichage

```
STAR1
6206.6167
6206.6621
6206.6761
6206.6900
6216.4839
6216.4978
6216.5117
6216.5300
6216.5439
6216.5579
6216.5780
6216.6091
6216.6230
6216.6369
6216.6547
6216.6686
6216.7004
6344.3167
6344.3306
6344.3445
6344.3624
6344.3763
6344.3903
6344.4080
6344.4219
6285.3597
6344.4358
```

Mesures

Fichier Edition Format Affichage

```
6361.4616
6344.2678
STAR2
6206.6621
6344.4080
6344.4219
6285.3597
6285.3737
6285.3876
6290.3373
6290.3513
6290.3652
6285.4509
6290.3792
6285.4648
6285.4788
6290.4136
6285.4978
6285.5118
6285.5257
6285.5486
6290.4794
6285.5626
6290.4933
6285.5765
6290.5072
6642.4434
6290.5212
```

Data file = C:\Spectro\04b - Campagnes d'observations\HD23642 - Pléiades\06 - Calculs sur HD23642\Donné...

Orbital Parameters

0 Longitude of Periastron (star1) 360

0.0 Eccentricity 0.99

0 Semi-Amplitude (star 1) 200 0 Semi-Amplitude (star 2) 200

-50 Systemic Velocity (star 1) 150 -50 Systemic Velocity (star 2

Fixed | Star 1 | Star 2

ω 0.000 180.000 deg

e = e = 0

K = km/s

Orbit Period and Phase

1 Orbital Period 100

0.0 Phase Shift 1.0

Read File

Period

Solve

Error Est

Options

Pivotal Pts

Help

Exit

RMS

100

50

0

On y travaille, c'est pour bientôt !

Observation Chart | Period and Phase Charts | Sampling Chart | Data and Parameters

Radial Velocity (km/s)

200 100 0 -100 -200

6100 6200 6300 6400 6500 6600 6700

Modified Julian Date

Data file = C:\Spectro\04b - Campagnes d'observations\HD23642 - Pléiades\06 - Calculs sur HD23642\Donné...

Orbital Parameters

0 Longitude of Periastron (star1) 360

0.0 Eccentricity 0.99

0 Semi-Amplitude (star 1) 200 0 Semi-Amplitude (star 2) 200

-50 Systemic Velocity (star 1) 150 -50 Systemic Velocity (star 2)

Fixed | Star 1 | Star 2

ω 0.000 180.000 deg

e = 0.2 e = 0

K = km/s

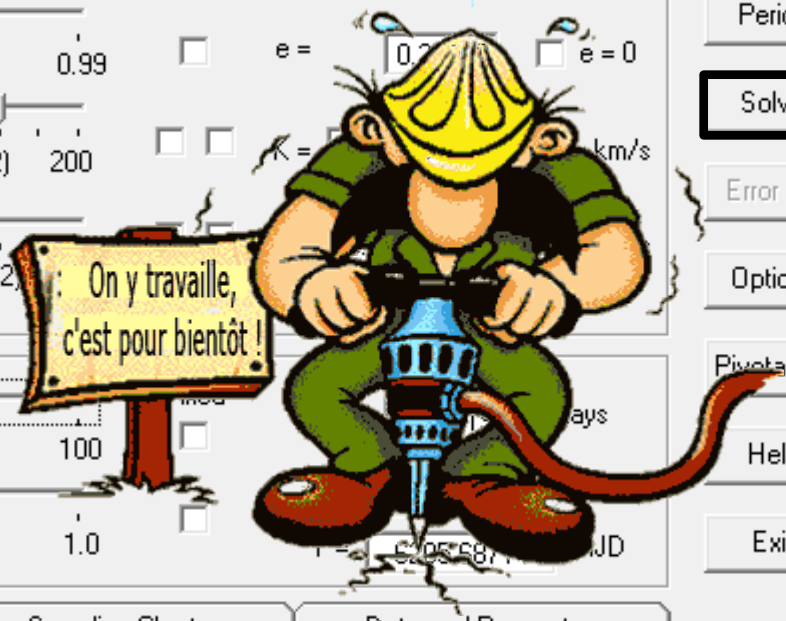
Orbit Period and Phase

1 Orbital Period 100

0.0 Phase Shift 1.0

ays

JD



Read File

Period

Solve

Error Est

Options

Pivotal Pts

Help

Exit

RMS

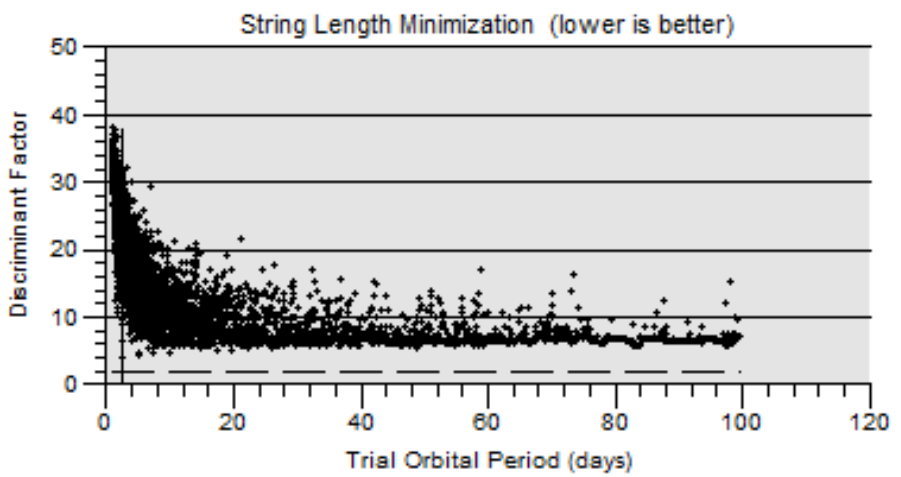
27.3398

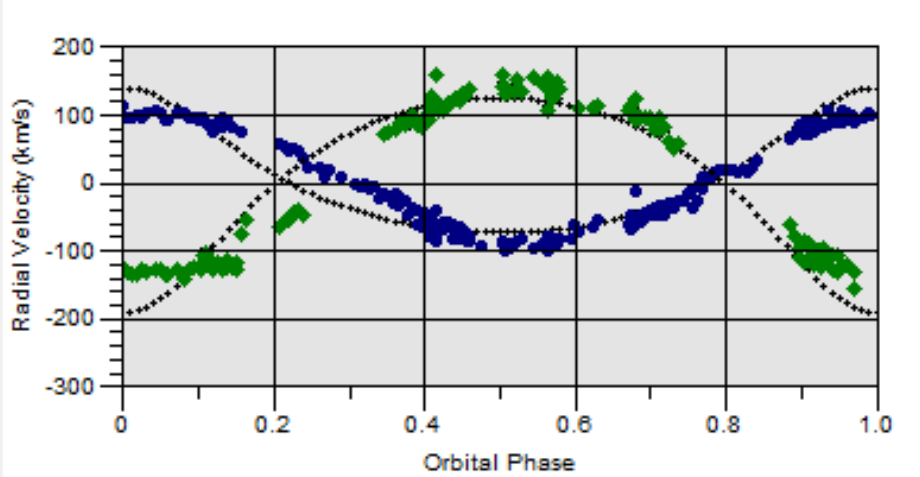
100

50

0

Observation Chart | **Period and Phase Charts** | Sampling Chart | Data and Parameters





Data file = C:\Spectro\04b - Campagnes d'observations\HD23642 - Pléiades\06 - Calculs sur HD23642\Donné...

Orbital Parameters

0 Longitude of Periastron (star1) 360

0.0 Eccentricity 0.99

0 Semi-Amplitude (star 1) 200 0 Semi-Amplitude (star 2) 200

-50 Systemic Velocity (star 1) 150 -50 Systemic Velocity (star 2)

Fixed | Star 1 | Star 2

ω 0.000 180.000 deg

e = e = 0

K = km/s

Orbit Period and Phase

1 Orbital Period 100

0.0 Phase Shift 1.0

ays

JD

On y travaille, c'est pour bientôt !

Read File

Period

Solve

Error Est

Options

Pivotal Pts

Help

Exit

RMS

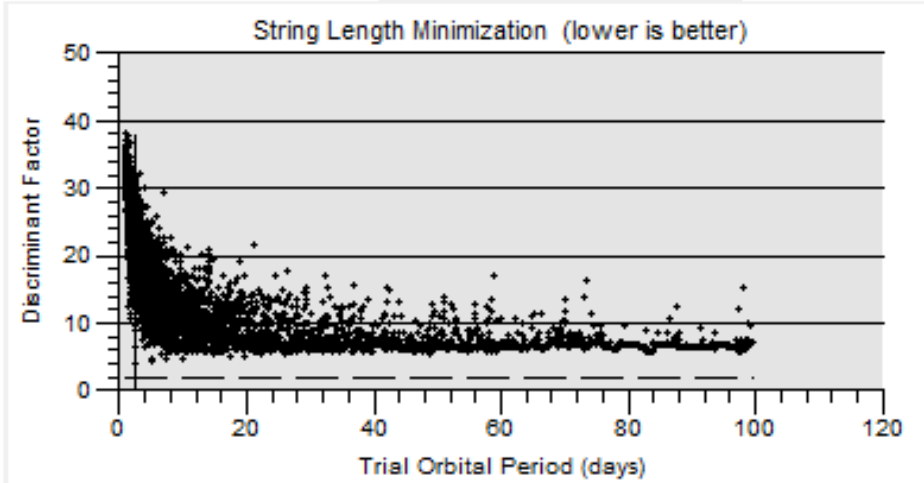
8.4062

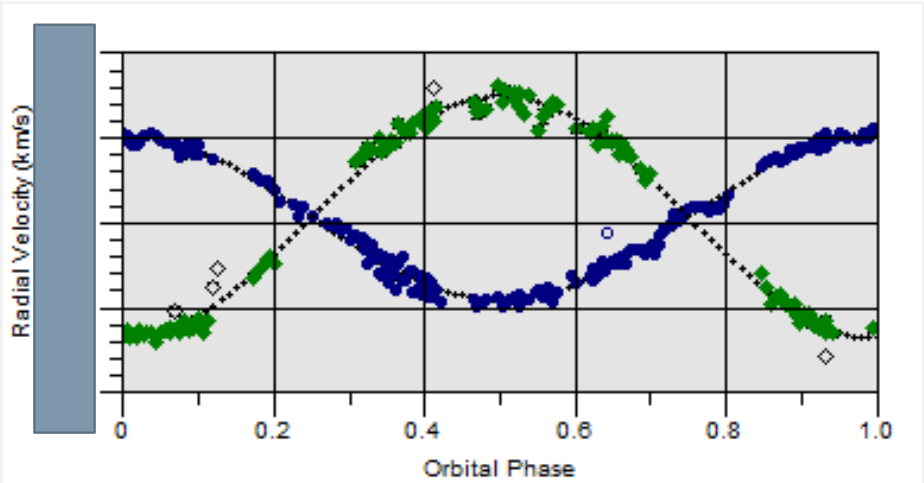
100

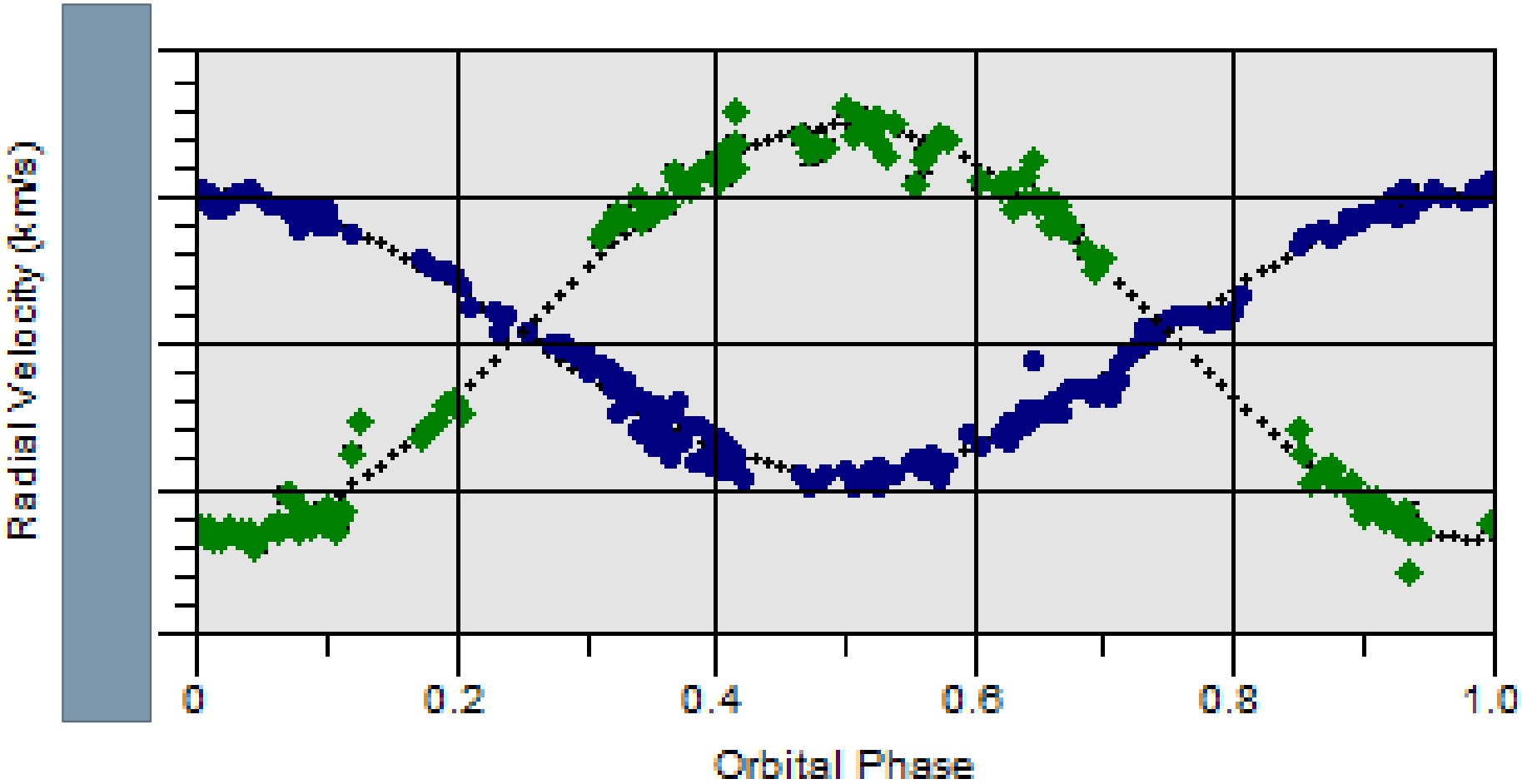
50

0

Observation Chart | **Period and Phase Charts** | Sampling Chart | Data and Parameters






Radial Velocity (km/s)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
Orbital Phase

Data file = C:\Spectro\04b - Campagnes d'observations\HD23642 - Pléiades\06 - Calculs sur HD23642\Donné...

Orbital Parameters

0 Longitude of Periastron (star1) 360

0.0 Eccentricity 0.99

0 Semi-Amplitude (star 1) 200 0 Semi-Amplitude (star 2) 200

-50 Systemic Velocity (star 1) 150 -50 Systemic Velocity (star 2)

Fixed | Star 1 | Star 2

ω 0.000 180.000 deg

e = e = 0

K = km/s

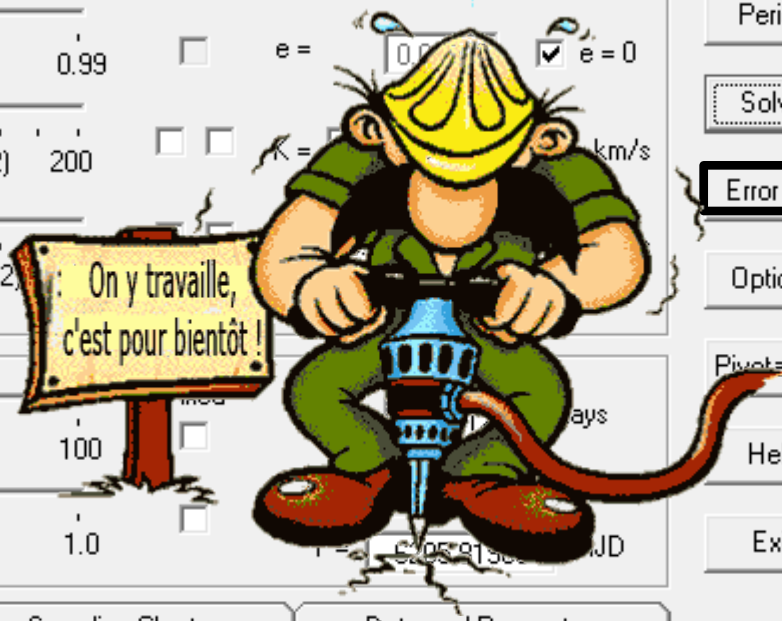
Orbit Period and Phase

1 Orbital Period 100

0.0 Phase Shift 1.0

ays

JD



Read File

Period

Solve

Error Est

Options

Pivotal Pts

Help

Exit

RMS

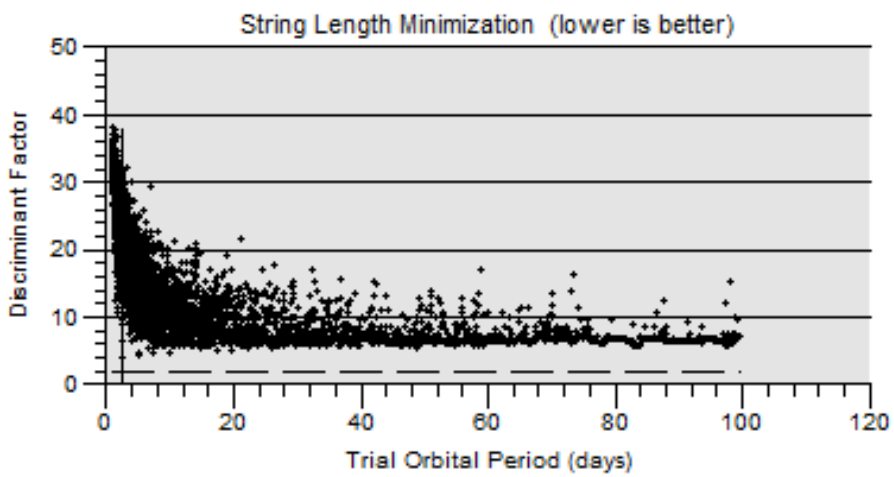
8.4062

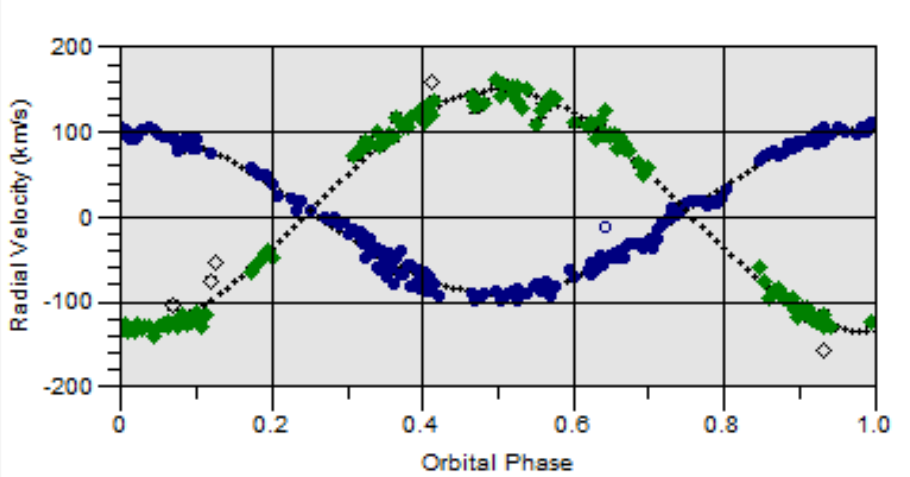
100

50

0

Observation Chart | **Period and Phase Charts** | Sampling Chart | Data and Parameters





Data file = C:\Spectro\04b - Campagnes d'observations\HD23642 - Pléiades\06 - Calculs sur HD23642\Donné...

Orbital Parameters

0 Longitude of Periastron (star1) 360

0.0 Eccentricity 0.99

0 Semi-Amplitude (star 1) 200 0 Semi-Amplitude (star 2) 200

-50 Systemic Velocity (star 1) 150 -50 Systemic Velocity (star 2

Fixed | Star 1 | Star 2

ω 0.000 180.000 deg

e = e = 0

K = km/s

Orbit Period and Phase

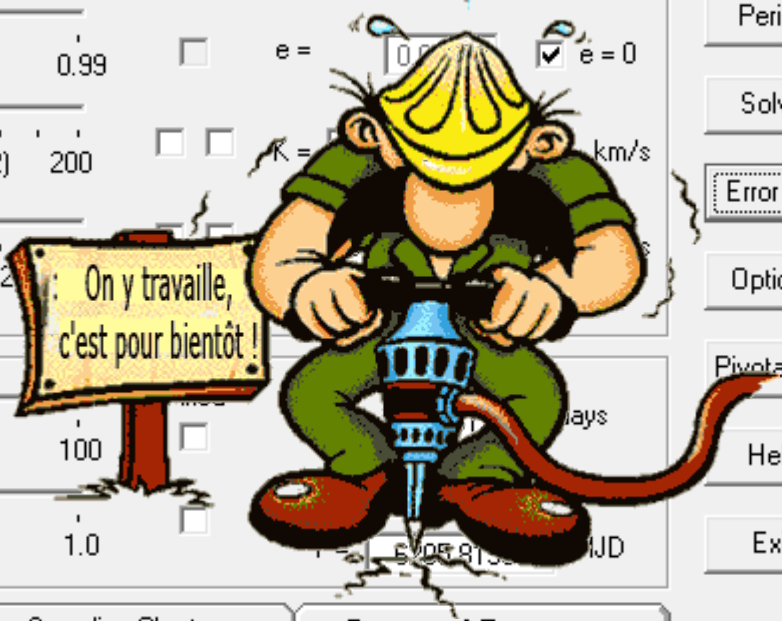
1 Orbital Period 100

0.0 Phase Shift 1.0

Read File | Period | Solve | Error Est | Options | Pivotal Pts | Help | Exit

RMS 8.4062

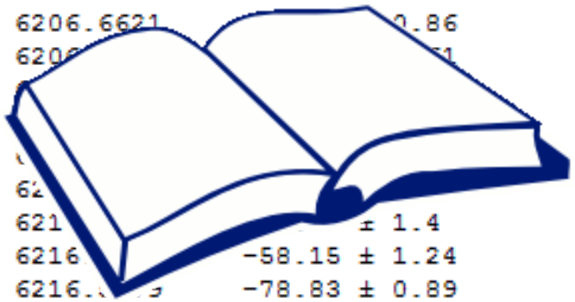
100 50 0



Observation Chart | Period and Phase Charts | Sampling Chart | **Data and Parameters**

```
  Modified        Radial
 Julian Date     Velocity

STAR1
   6206.6167     -48.79 ± 1.34
   6206.6621          0.86
   620
   62
   621                ± 1.4
   6216          -58.15 ± 1.24
   6216.         -78.83 ± 0.89
```

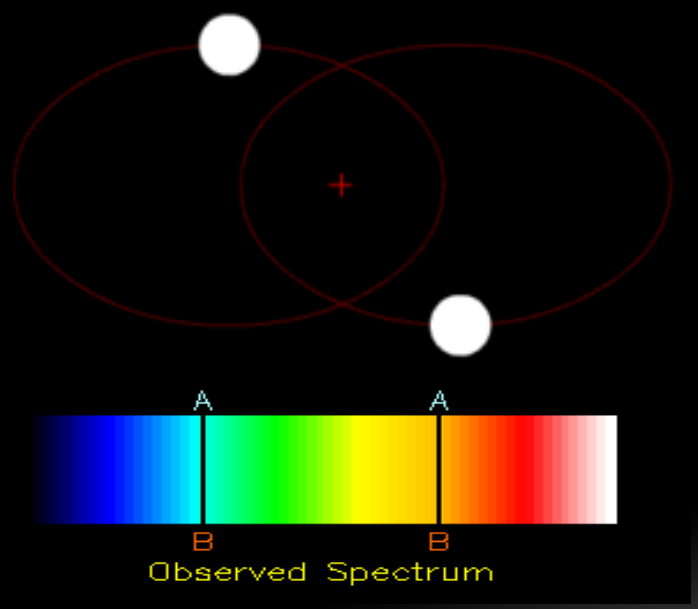


```
                P A R A M E T E R   S U M M A R Y
Long. of Periastron  =  undefined
        Eccentricity =  0.00000        (circular)
  Semi-Amplitude (1) =                                km/s
  Semi-Amplitude (2) =                                 km/s
   Systemic Velocity =                                m/s
      Orbital Period =                                e-05 days
  Time of Periastron =
         a1 sin(i)   =
         a2 sin(i)   =
        m1 sin³(i)   =
        m2 sin³(i)   =
```

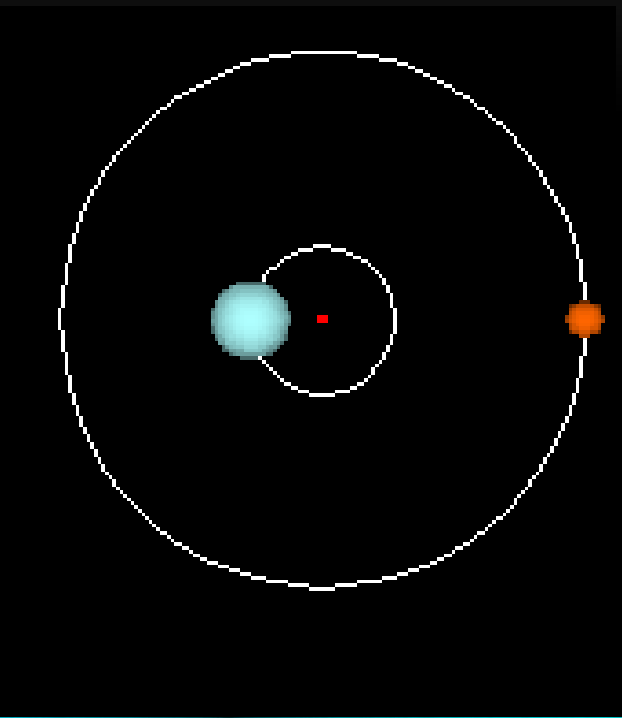
```
P A R A M E T E R   S U M M A R Y
Long. of Periastron  =  undefined
        Eccentricity =                          )
  Semi-Amplitude (1) =                          525   km/s
  Semi-Amplitude (2) =                          9326   km/s
   Systemic Velocity =                          16   km/s
      Orbital Period =                          -5.88e-05 days
  Time of Periastron =                          MJD
          a1 sin(i)  =                           km
          a2 sin(i)  =                           km
         m1 sin³(i)  =                           Msol
         m2 sin³(i)  =                           Msol
```

Ce qu’on a pu déterminer

Au début de la collaboration



Ce qu'on a pu déterminer



Aller encore plus loin…

On connaît la magnitude de l'étoile, ou on peut la mesurer facilement, en tenant compte de l'extinction interstellaire.

On connaît le type spectral.

On a déterminé la masse des étoiles en fonction du sin i.

Peut-on en évaluer la magnitude absolue ?
Si oui, on pourrait avoir une idée de la distance.

$$m - M = 5 \log D - 5$$

Suivi photométrique en parallèle du suivi spectroscopique

Télescope :
Réfracteur Petzval apochromatique de 0.1m à F/D 5 sur monture équatoriale allemande

CCD de guidage :
Dual chip CCD TC237

CCD d'acquisition :
SBig ST2000Xm (CCD KAI 2020)

Filtre :
H alpha Astrodon (654,3 nm), bande passante 5 nm

Lieu d’observation

Lieu : Castres (Tarn)

Altitude : 178 m

Observatoire type « Coupole Télé-opérée »

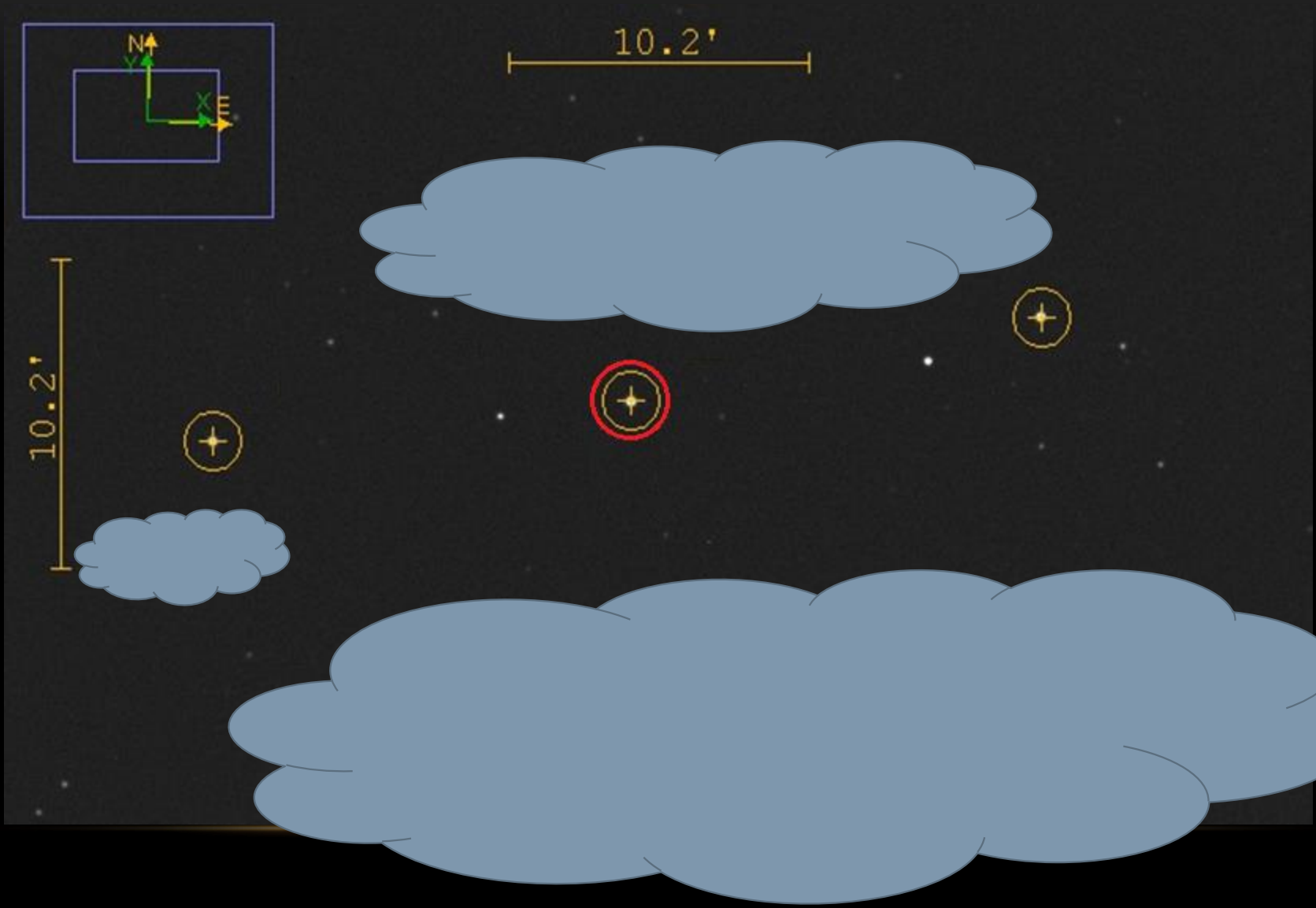
Travaux préparatoires :
Choix des filtres photométriques

- Objectif :
  - Temps de pose assez long pour réduire l'effet de la scintillation, mais assez court pour rester dans le domaine de linéarité et un échantillonnage temporel élevé par rapport à la période (~ 2,5 j).

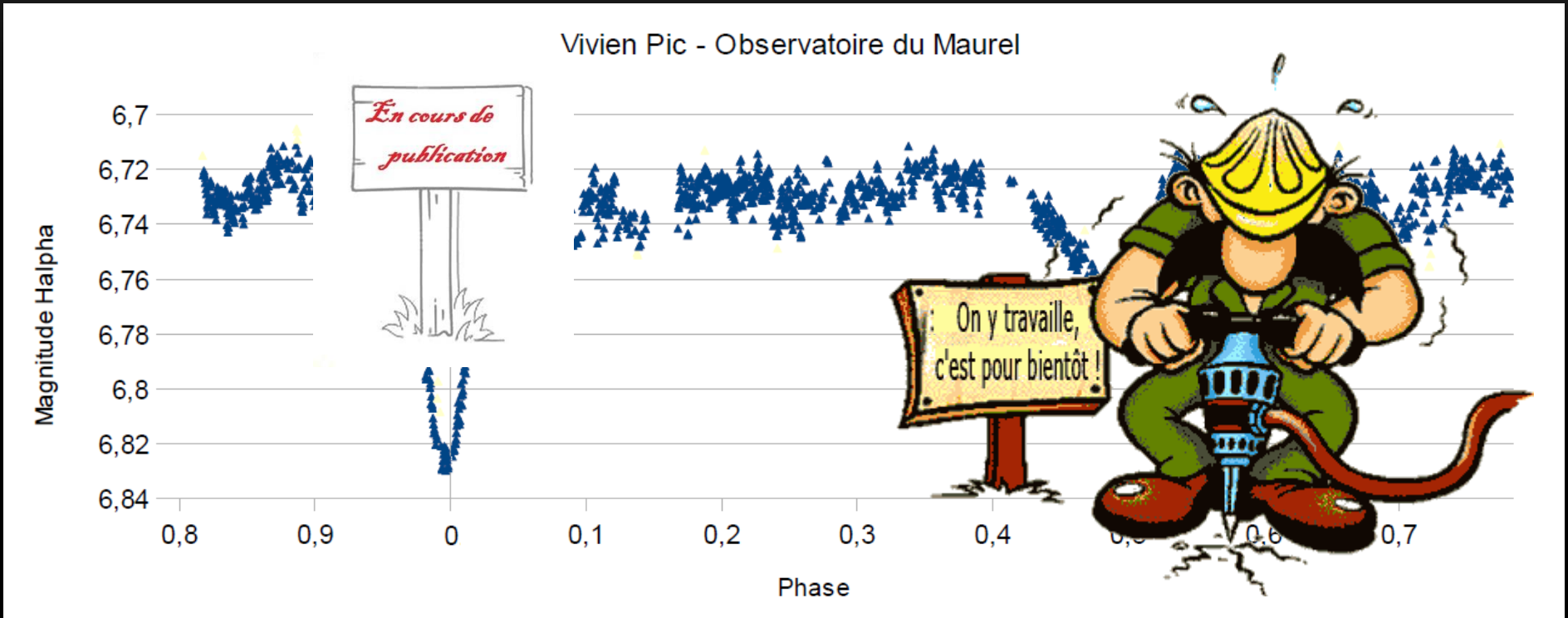
L'idéal aurait été d'observer en bande large, dans le vert (nombreuses références), mais la forte luminosité (mb. 6,87) et la répartition des étoiles de comparaison dans le champs ont imposé de travailler à courte focale et petit diamètre (scintillation).

Comme il s'agit d'une étoile de type A0V, plus lumineuse dans le **bleu**, nous avons choisi le filtre H alpha (5nm) pour réduire le flux et obtenir un bon rapport S/B avec des poses de 60s.

Champs d'étoiles



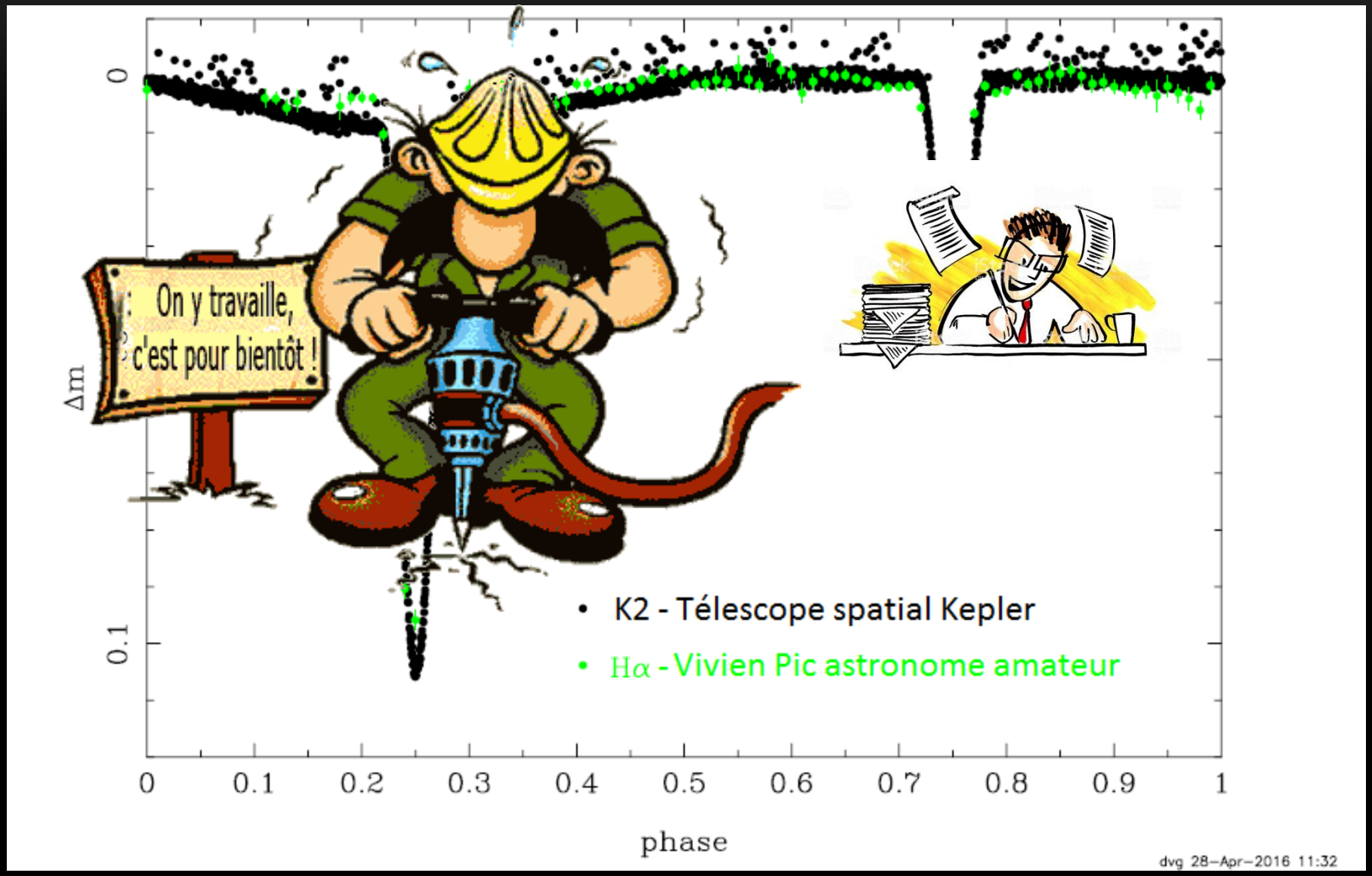
SUIVI PHOTOMÉTRIQUE EN PARALLÈLE DU SUIVI SPECTROSCOPIQUE



Observatoire du Maurel

Observateur : Vivien Pic
Télescope : réfracteur 106 mm F/D=5
Instrument : Sbig ST2000Xm
Filtre : Halpha Astrodon 5nm

Comparaison photométrie Vivien Pic avec le satellite spatial Kepler



Détermination des paramètres en amateur

En spectroscopie (RMS 9.9) :

Période : [illegible]

Excentricité : 0.0

Semi-Amplitude : K1 9[illegible]

Semi-Amplitude : K2 1[illegible]

Vitesse radiale du syst[illegible]

Masse étoile 1 . sin^3 [illegible]

Masse étoile 2 . sin^3 [illegible]

Demi grand axe a1 . si[illegible]m

Demi grand axe a2 . si[illegible]km

En photométrie :

Période : [illegible]

Excentricité : 0[illegible]

Inclinaison (°) [illegible]

Rayon étoile 1 [illegible] 0.04

Rayon étoile 2 [illegible] 0.05

Bilan mesures des amateurs avant la publication par le professionnel

Rayon étoile 1 4 Rayon solaire

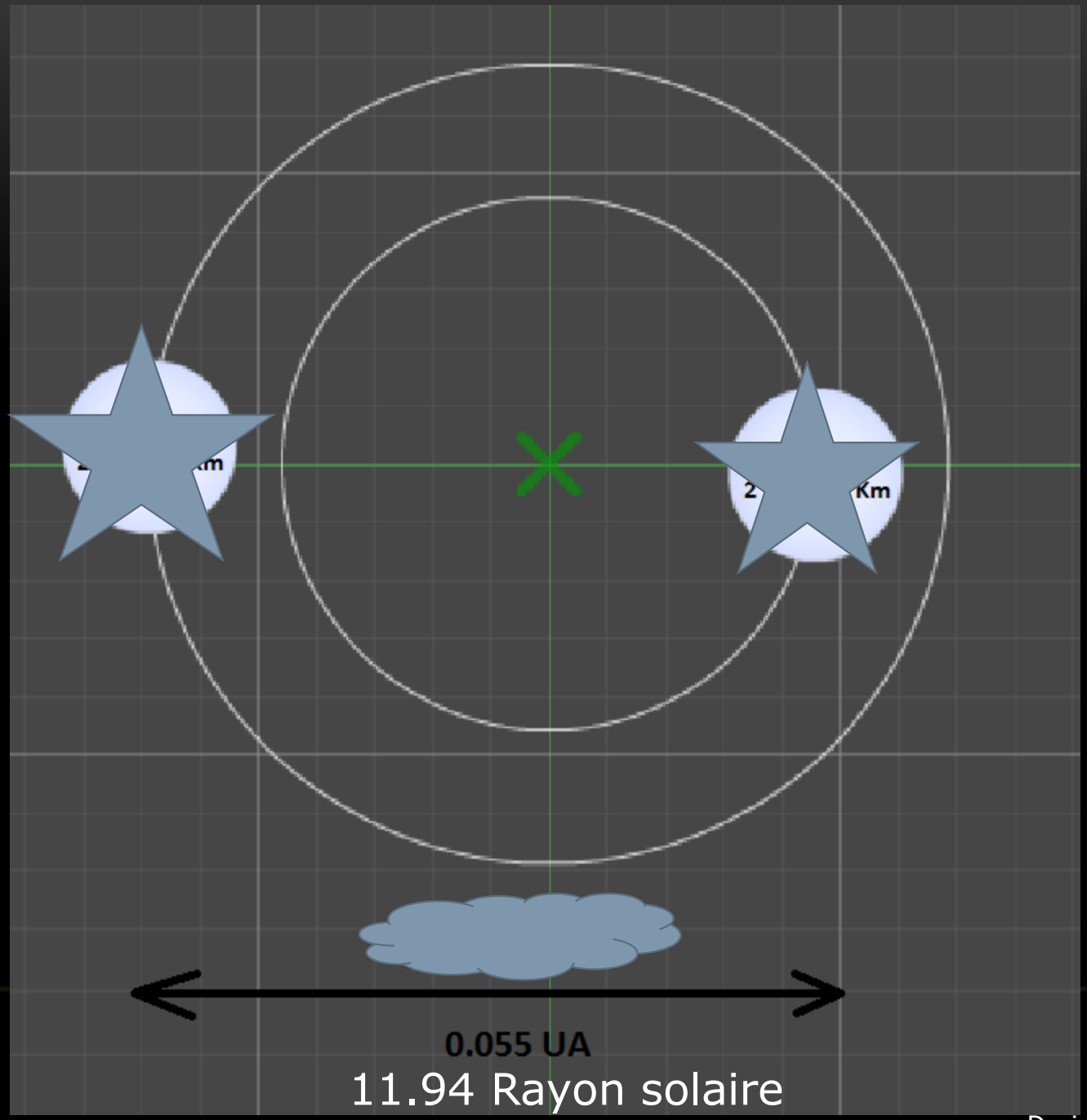
Rayon étoile 2 5 Rayon solaire

Masse étoile 1 30 Masse solaire

Masse étoile 2 25 Masse solaire

Demi grand axe a1 : 89e+4 Km

Demi grand axe a2 : 16 e+4 Km

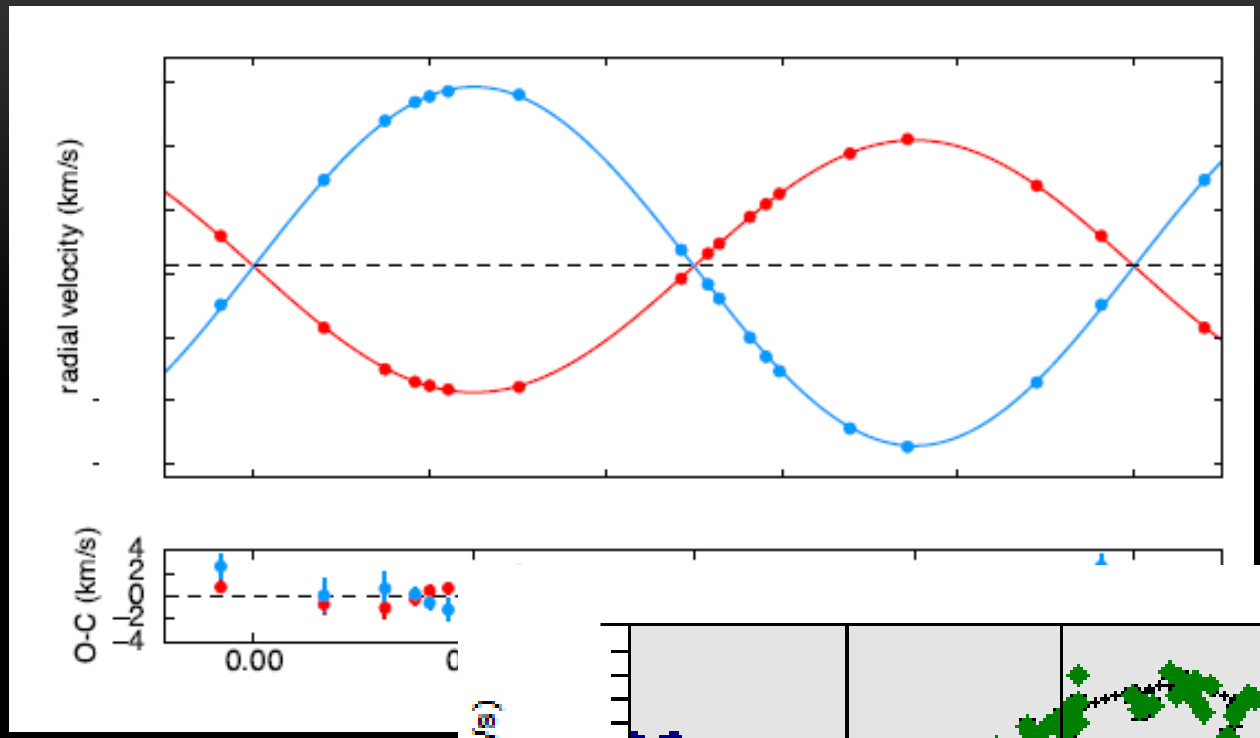


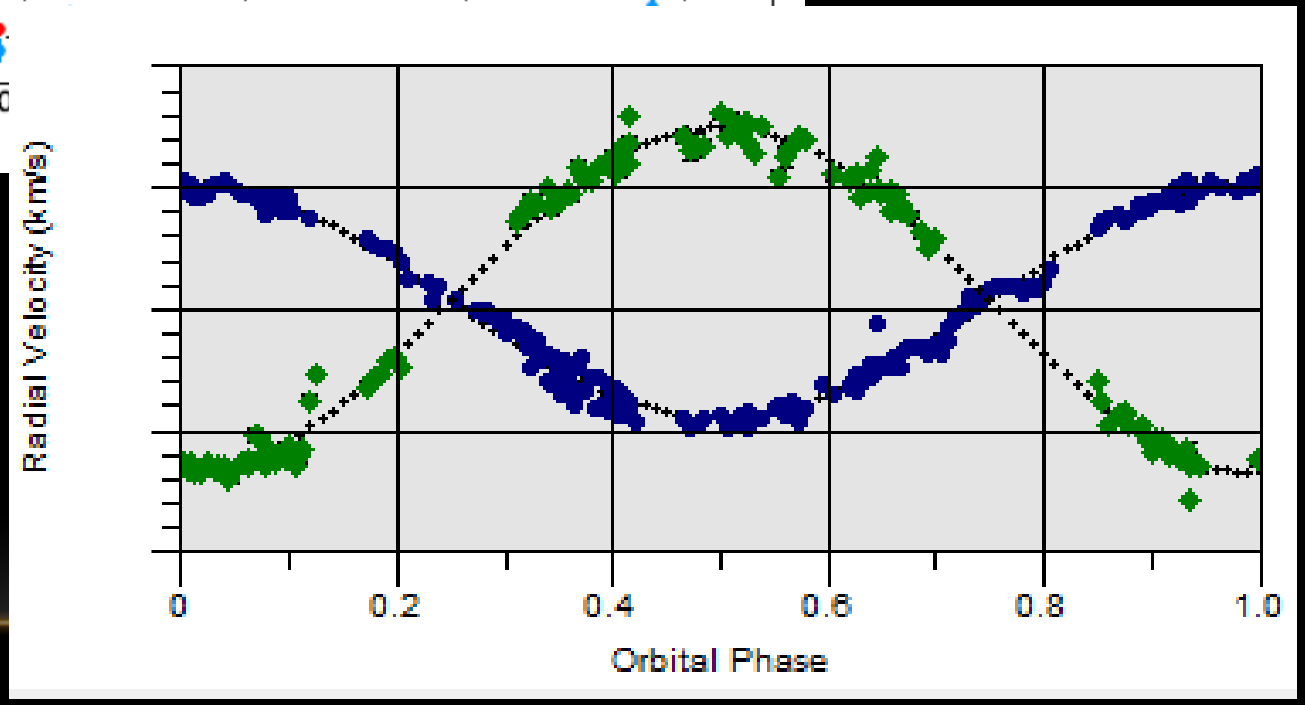
11.94 Rayon solaire

arXiv: [illegible] 2016

David^2+Vivien

Parameter	Symbol	Value	Units
Orbital period		[illegible]08 ± 0.00000050	days
Orbital inclination	i	78[illegible]11	deg
Primary radial velocity amplitude	K_1	[illegible]	km s^{-1}
Secondary radial velocity amplitude	K_2	[illegible]	km s^{-1}
Systemic radial velocity		[illegible]	km s^{-1}
Primary mass		[illegible]	$M_\odot$
Secondary mass		[illegible]3	$M_\odot$
Primary radius	R_1	[illegible]	$R_\odot$
Secondary radius	R_2	[illegible]	$R_\odot$
Orbital semi-major axis	a	11.9[illegible] ± [illegible]	$R_\odot$


radial velocity (km/s)
O-C (km/s)
4
2
0
-2
-4
0.00


Radial Velocity (km/s)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
Orbital Phase

Mesures distance en amateurs

Calculs réalisés avec l'aide d'Antoine Cailleau

Luminosité : $L = 4\pi\, r^2\, \sigma\, T^4$

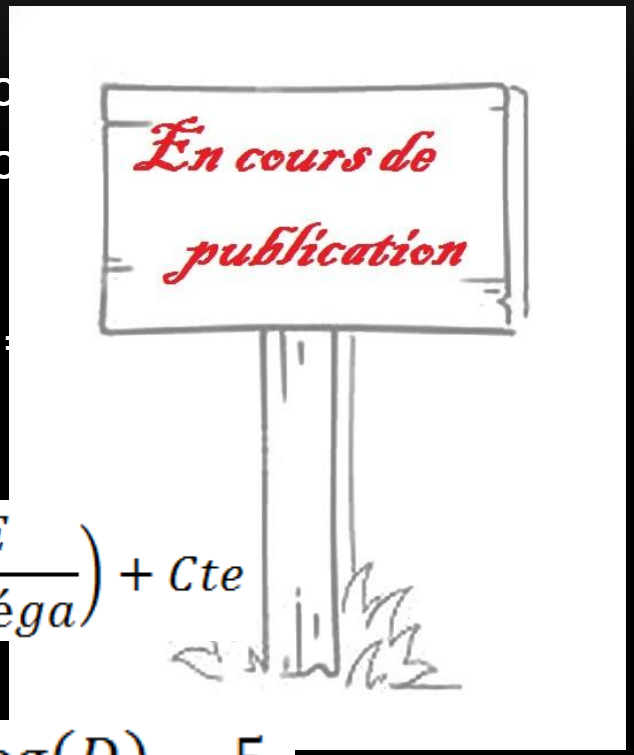
Eclat du sytéme à 10pc : $E = \frac{L}{4\pi\,(10)^2}$

Magnitude absolue : $M = -2.5 log\left(\frac{E}{E\ Véga}\right) + Cte$

Module de distance : $m - M = -2.5\log(D) - 5$

Etc

Etc



Avec une extinction interstellaire estimé à 0

Distance mesurée à environ

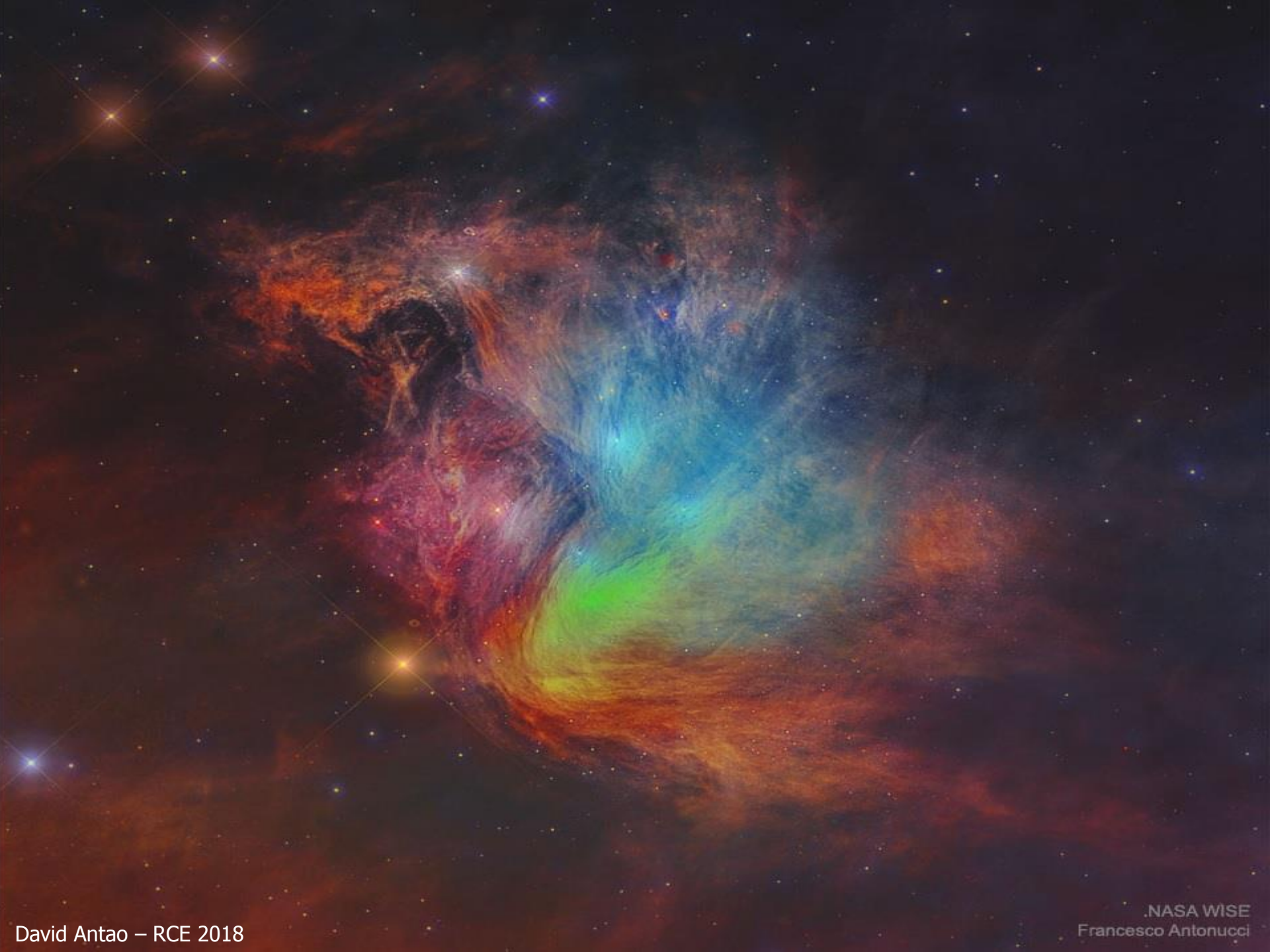
Avec une extinction interstellaire estimé à 0

Distance mesurée à environ

Distance mesurée par Gaïa =

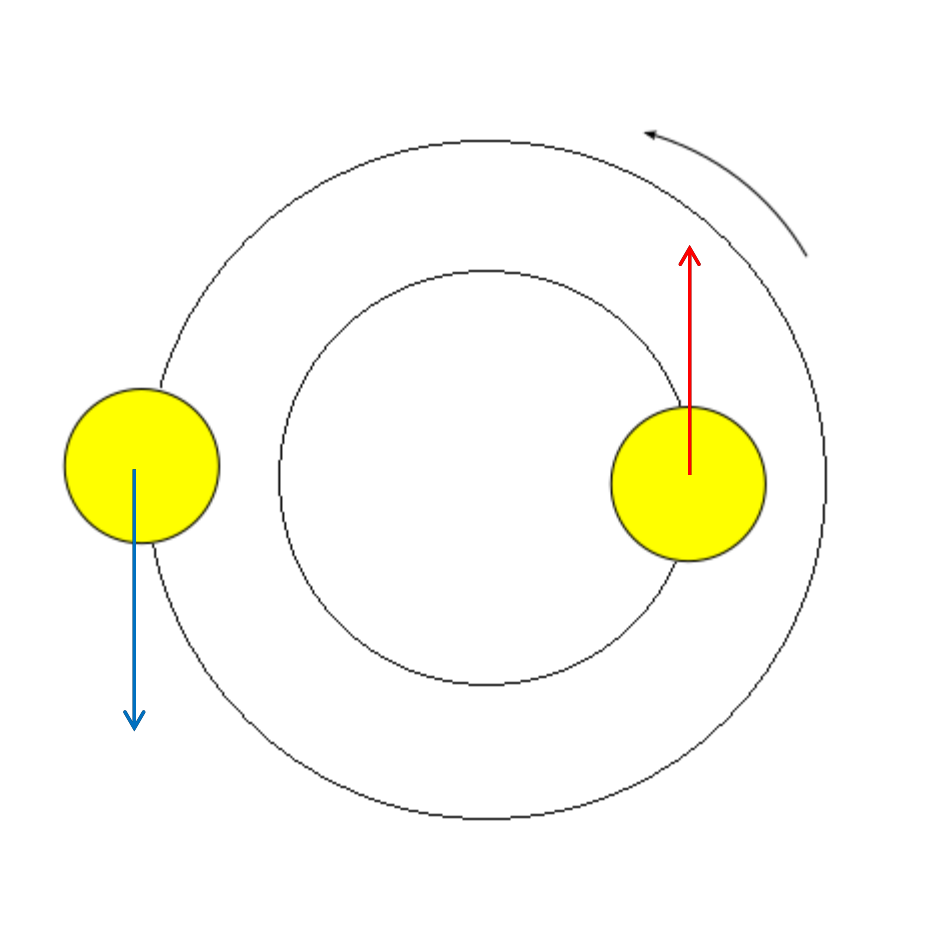
On voit qu'il y a du décalage certain par rapport aux données de Gaïa. Décalage très certainement dû à la mauvaise estimation de l'absorption interstellaire et également dû à certains paramètres de correction non maîtrisés.

Photo Vivien Pic



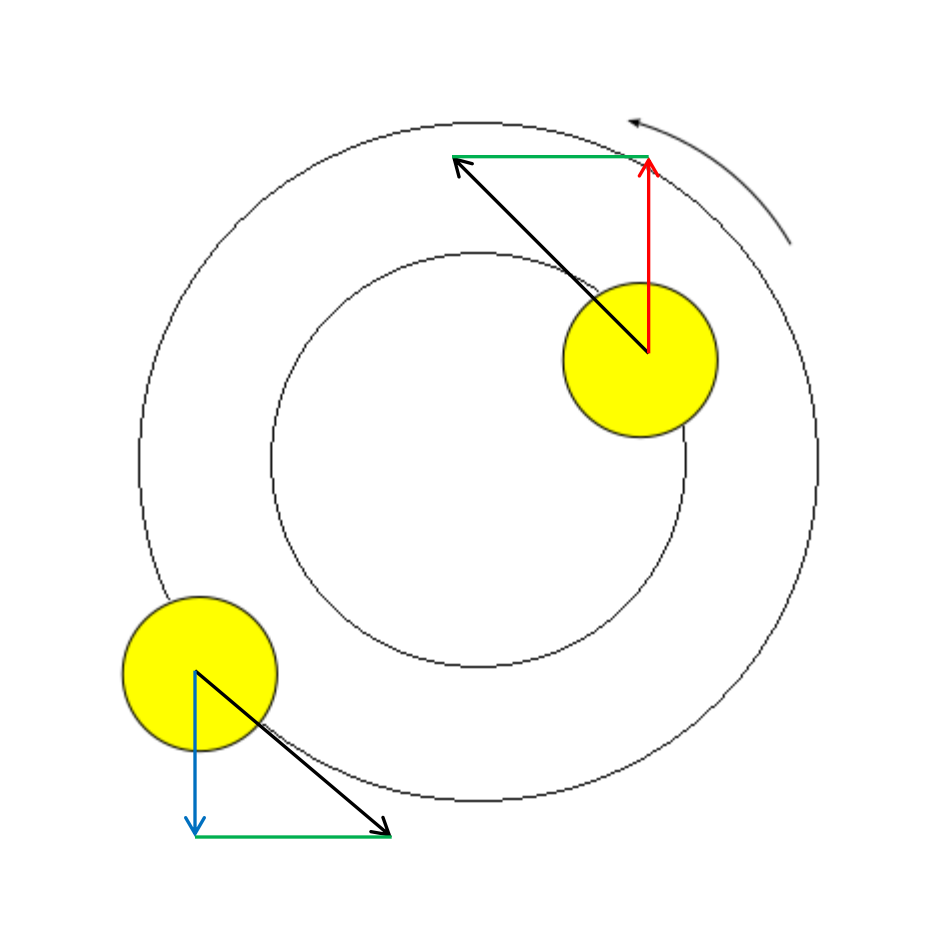
David Antao – RCE 2018

On a pu visualiser un autre effet



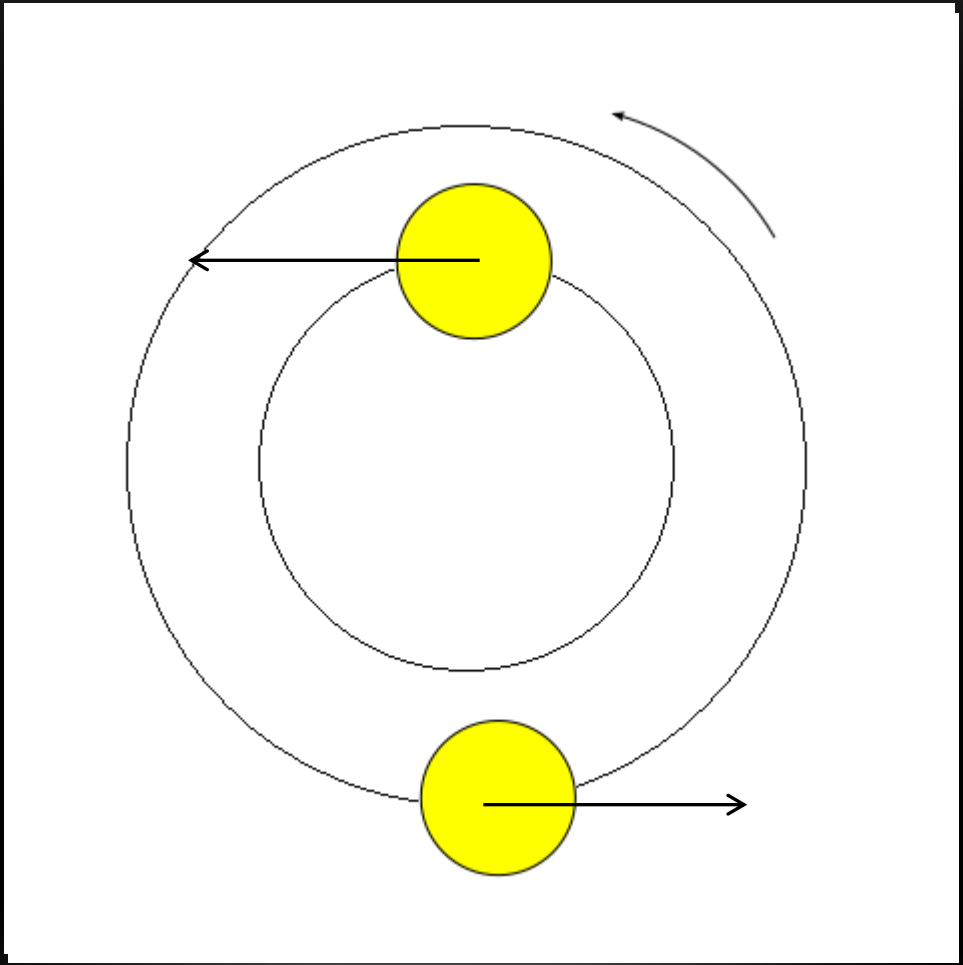
Vers l'observateur

On a pu visualiser un autre effet



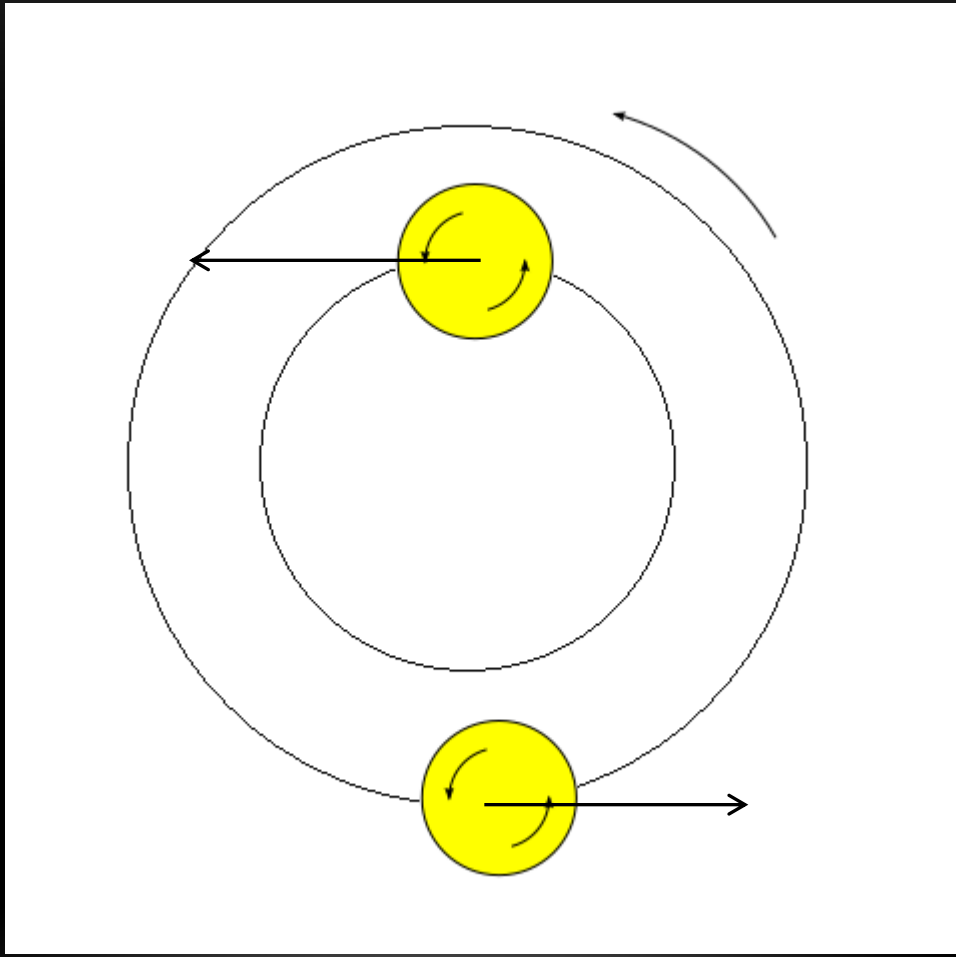
Vers l'observateur

On a pu visualiser un autre effet

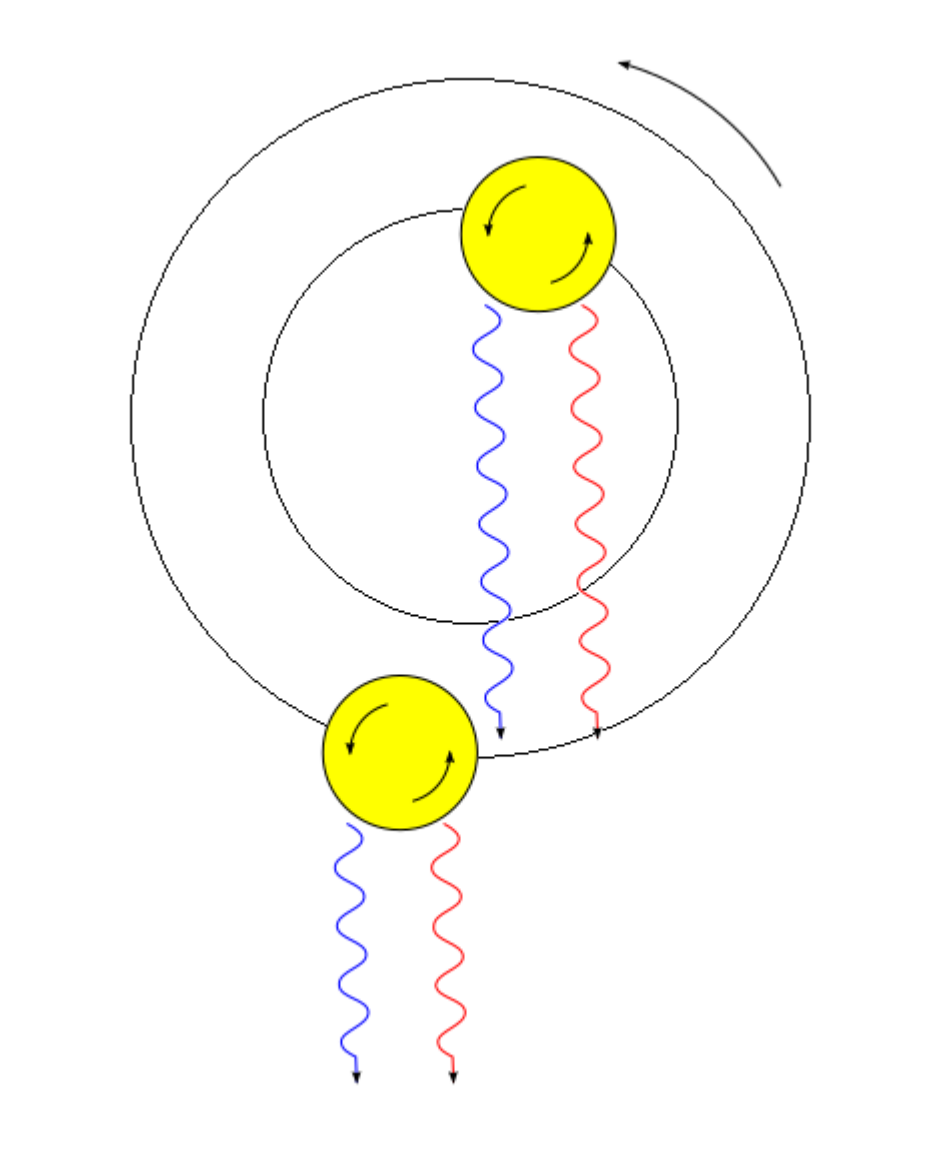


Vers l’observateur

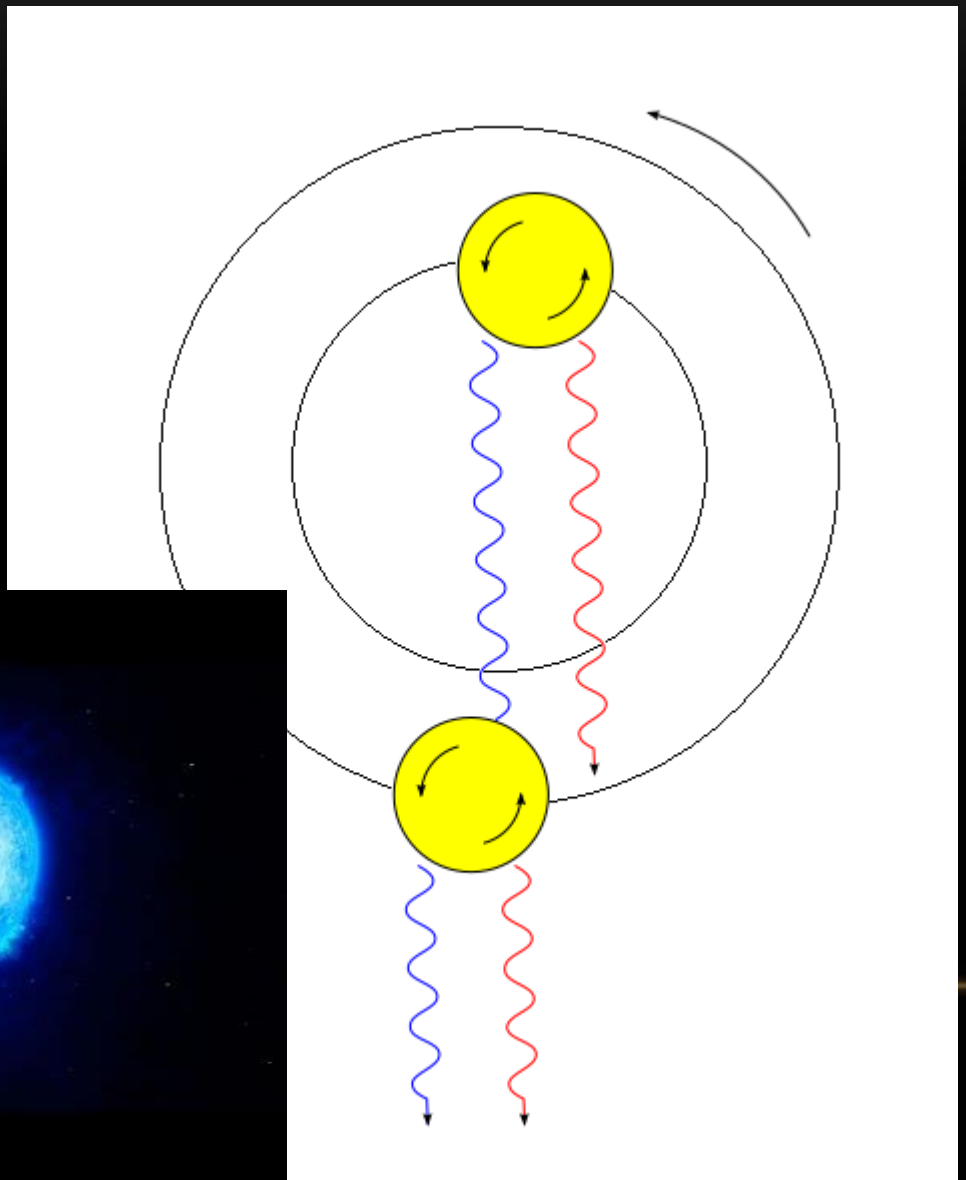
L’effet Rossiter-McLaughlin



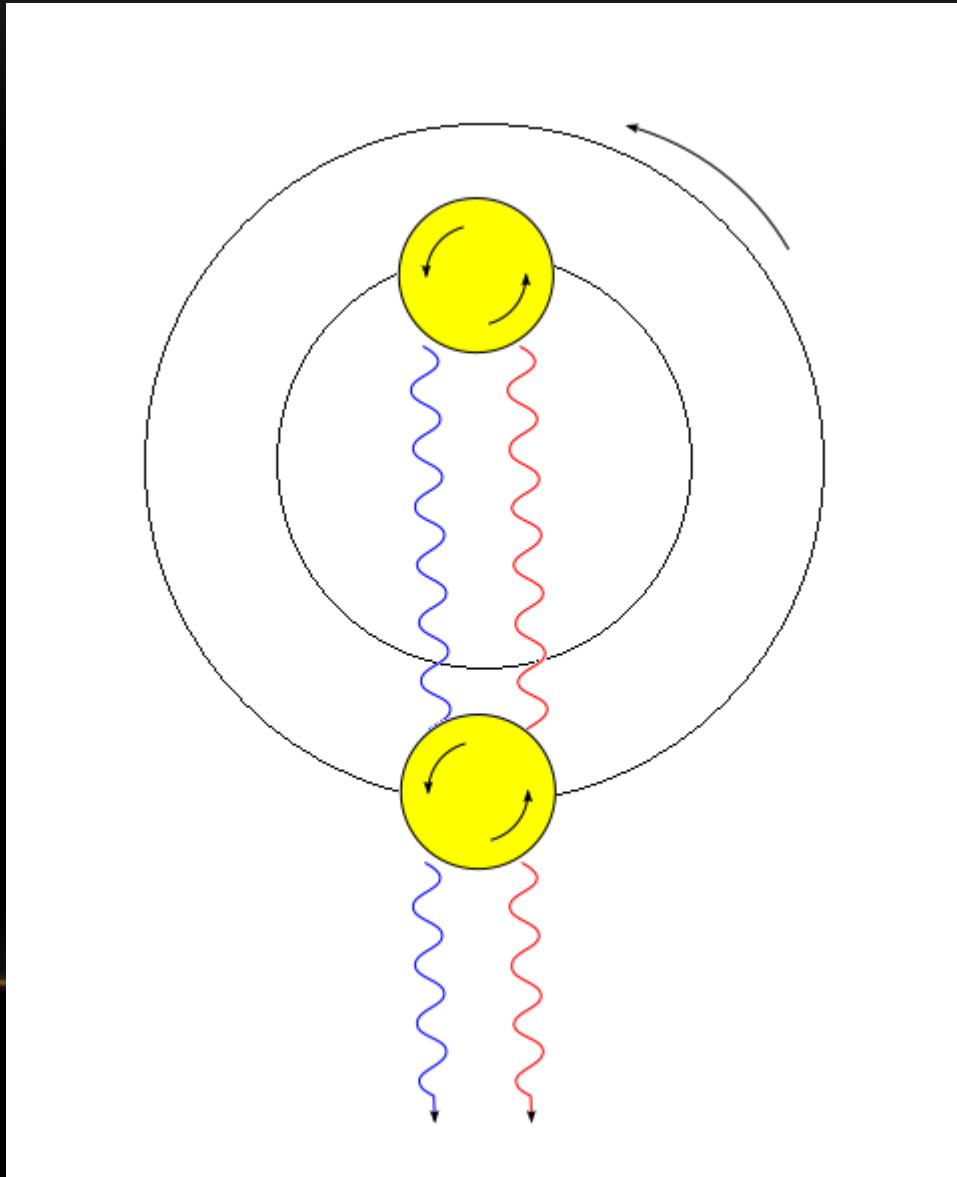
L’effet Rossiter-McLaughlin



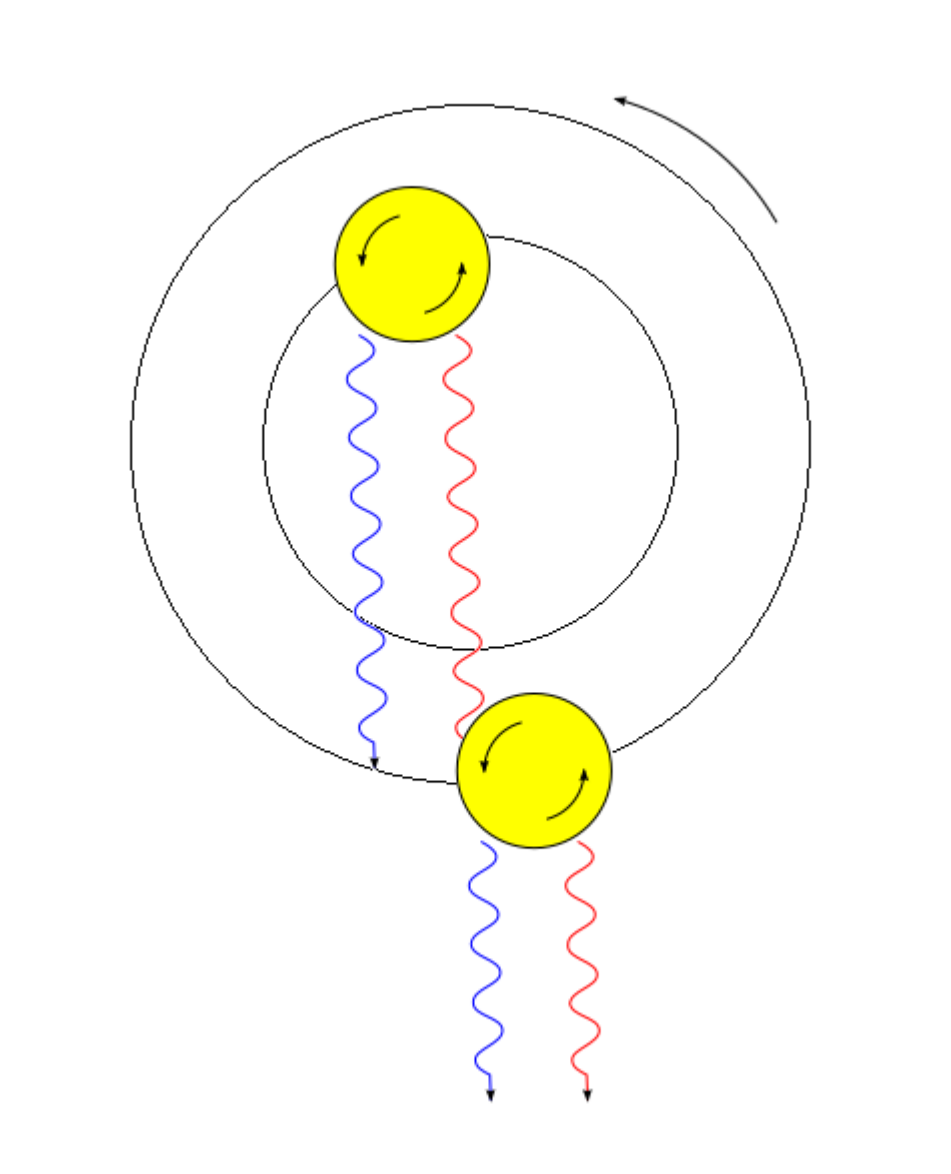
L’effet Rossiter-McLaughlin



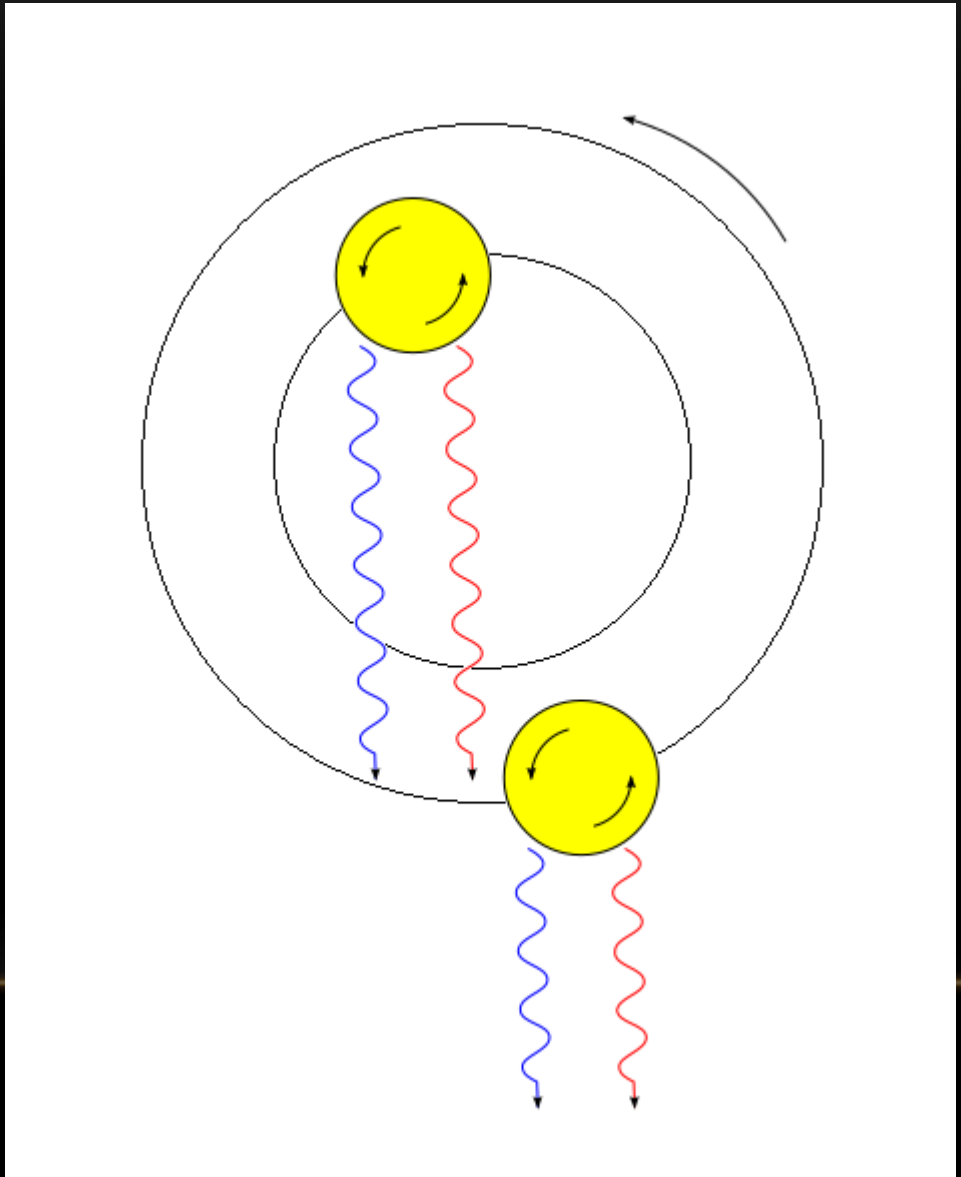
L’effet Rossiter-McLaughlin



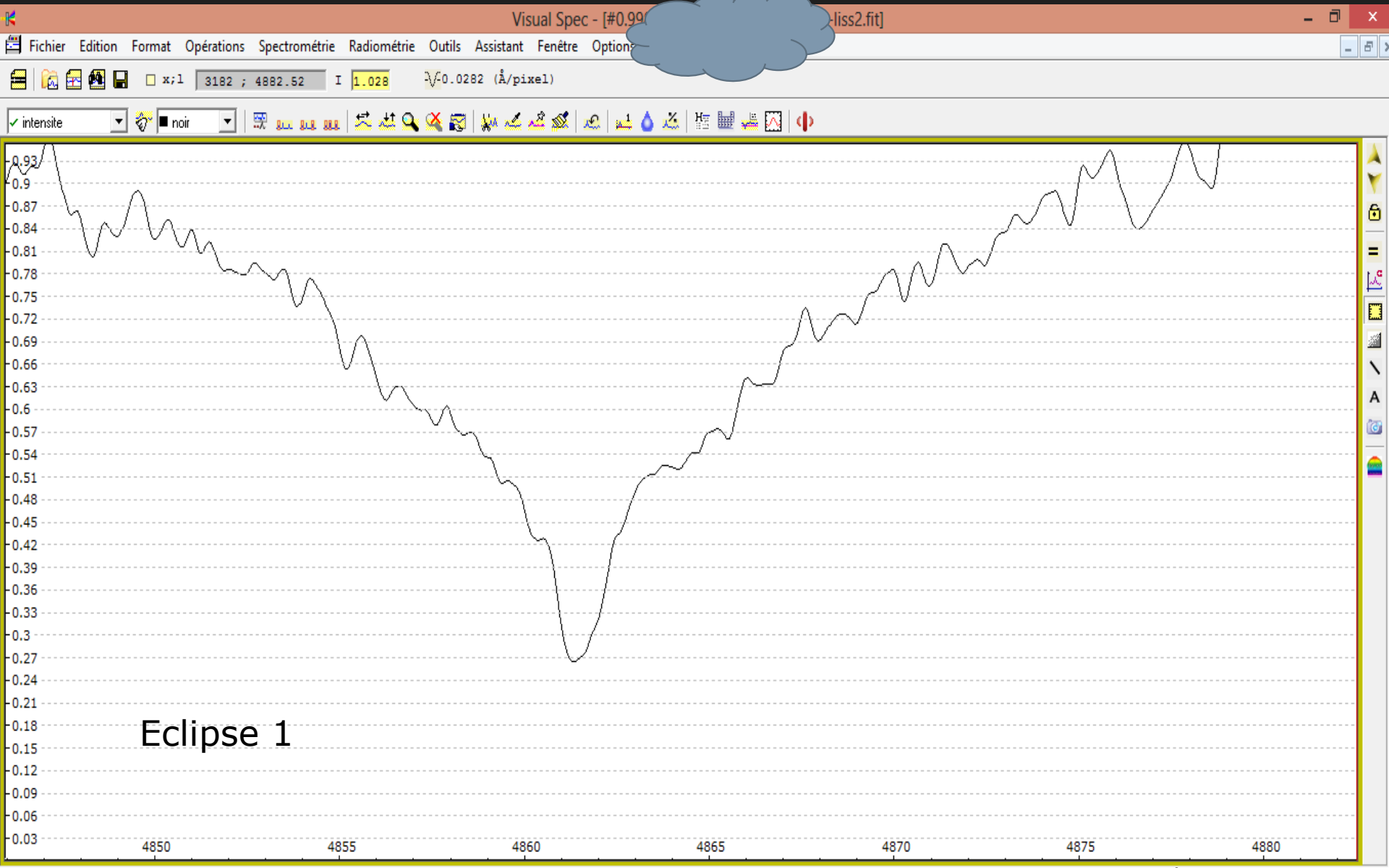
L’effet Rossiter-McLaughlin



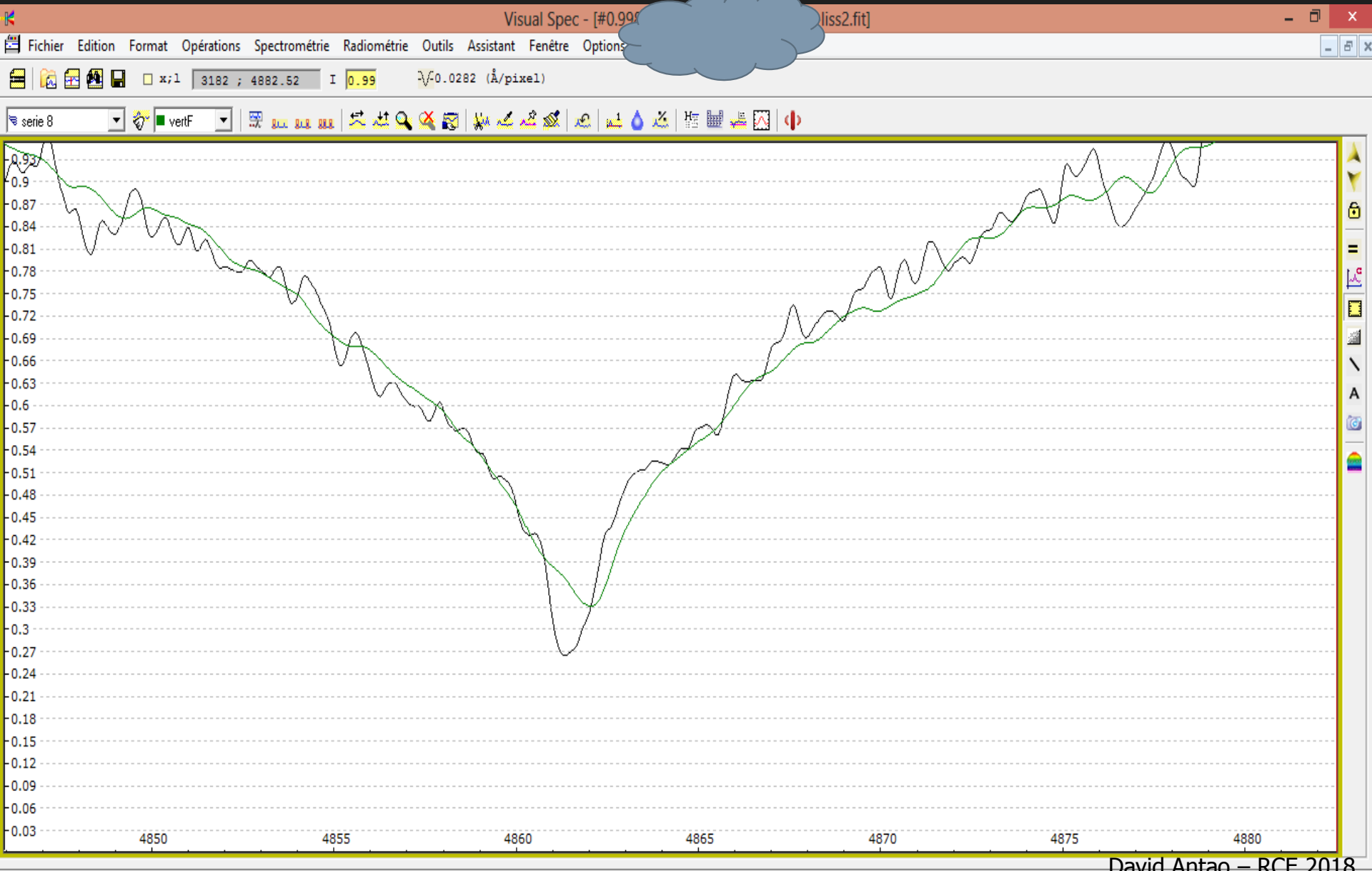
L’effet Rossiter-McLaughlin



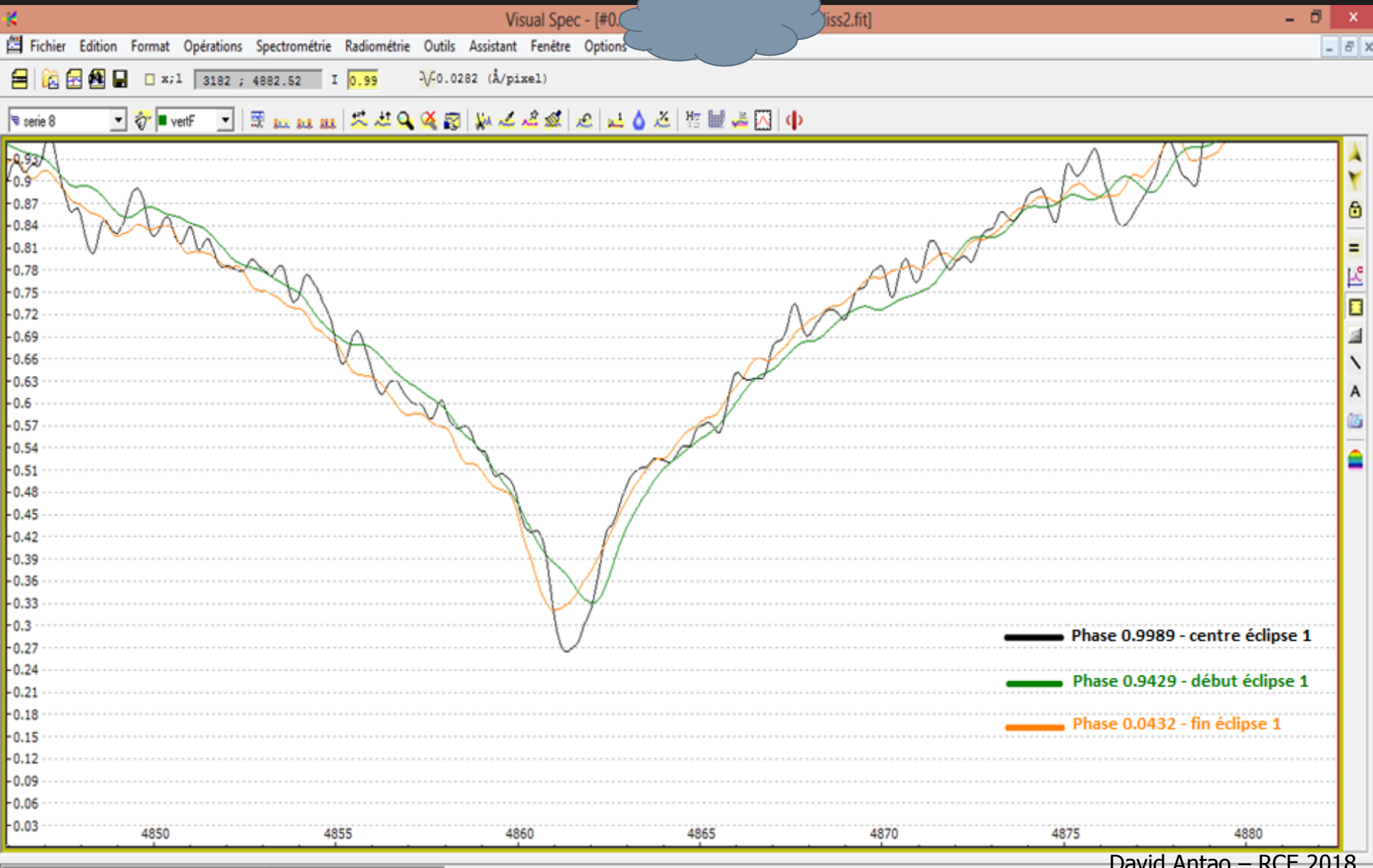
L'effet Rossiter-McLaughlin



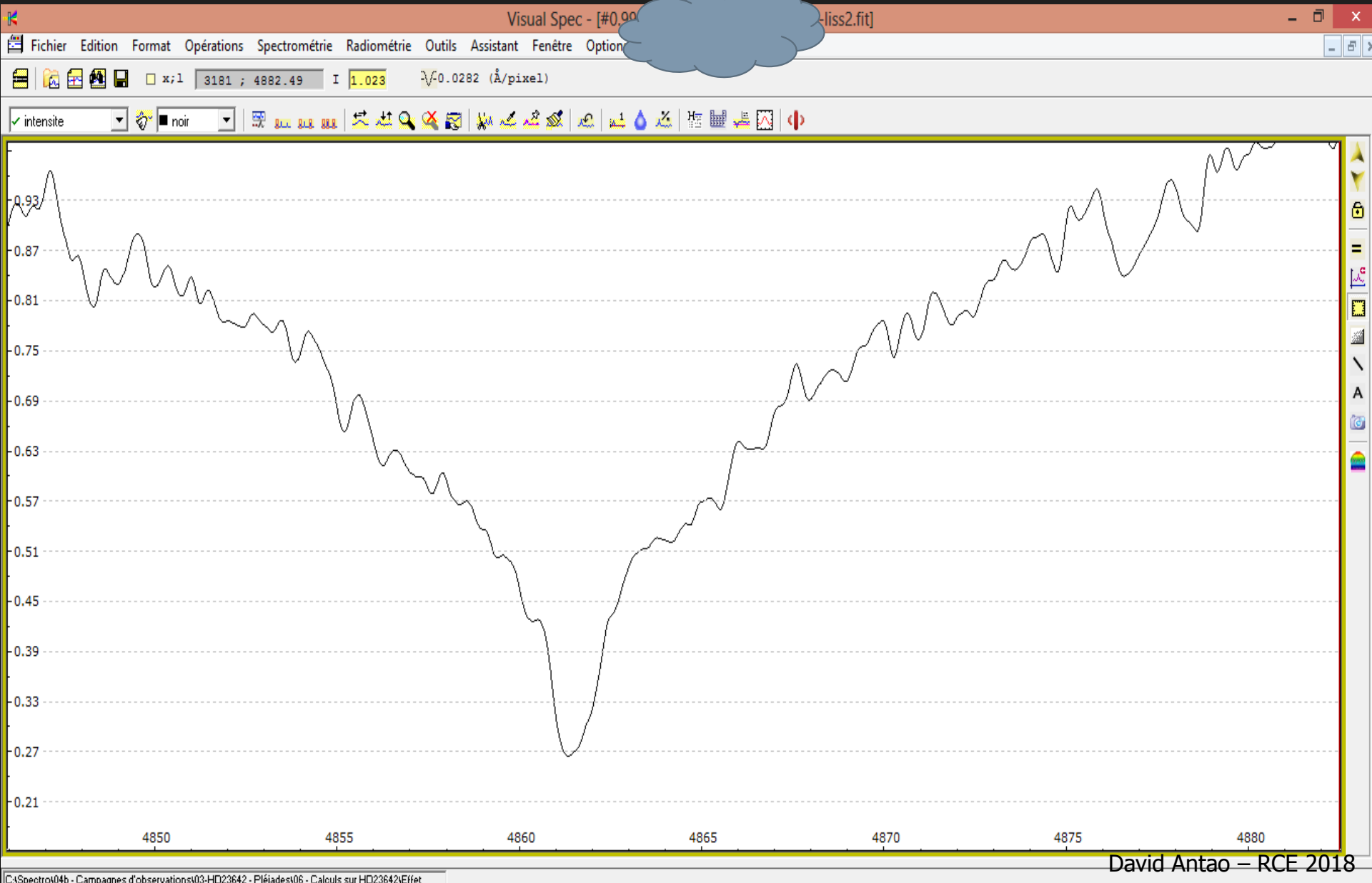
L'effet Rossiter-McLaughlin



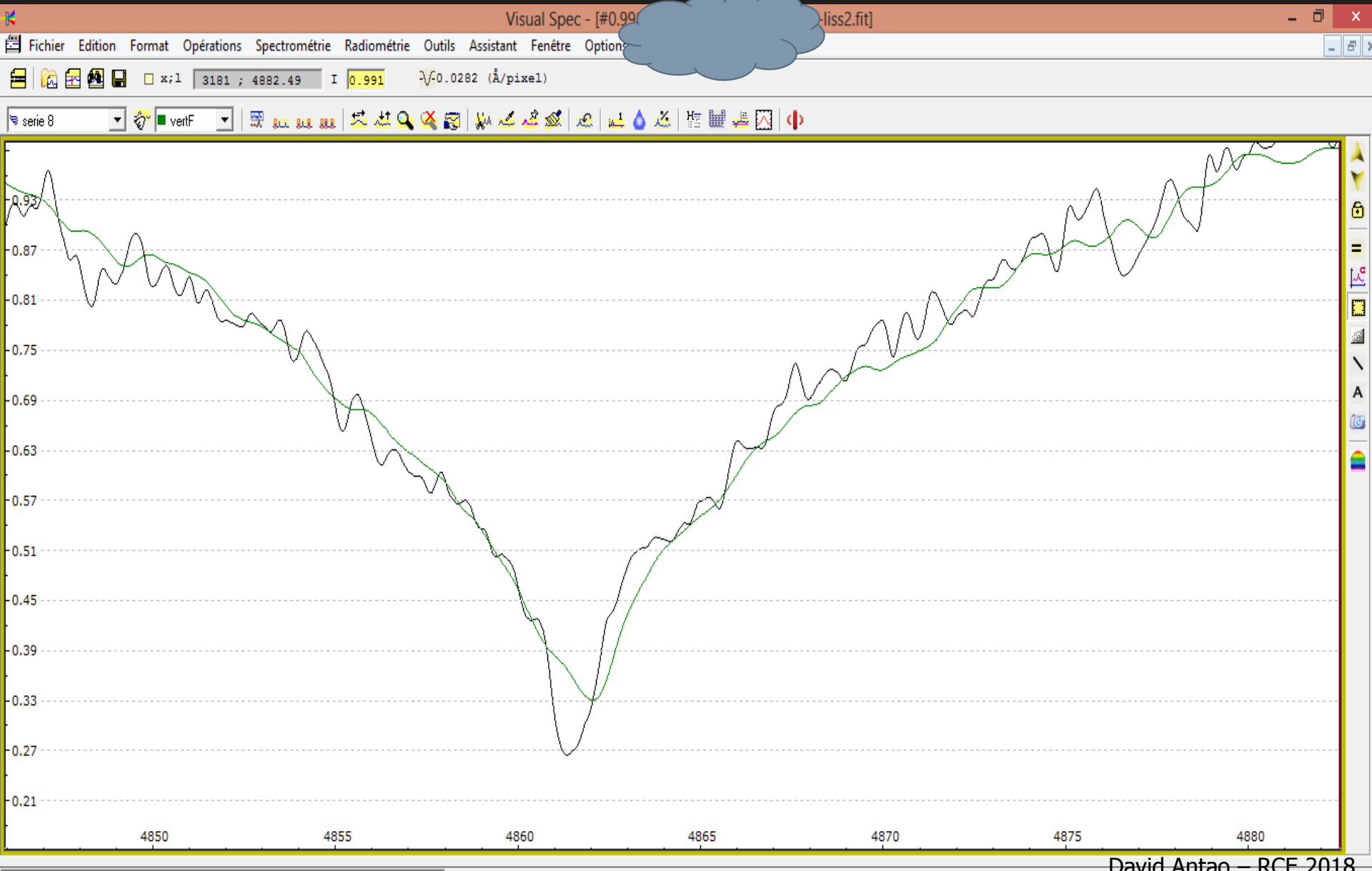
L'effet Rossiter-McLaughlin



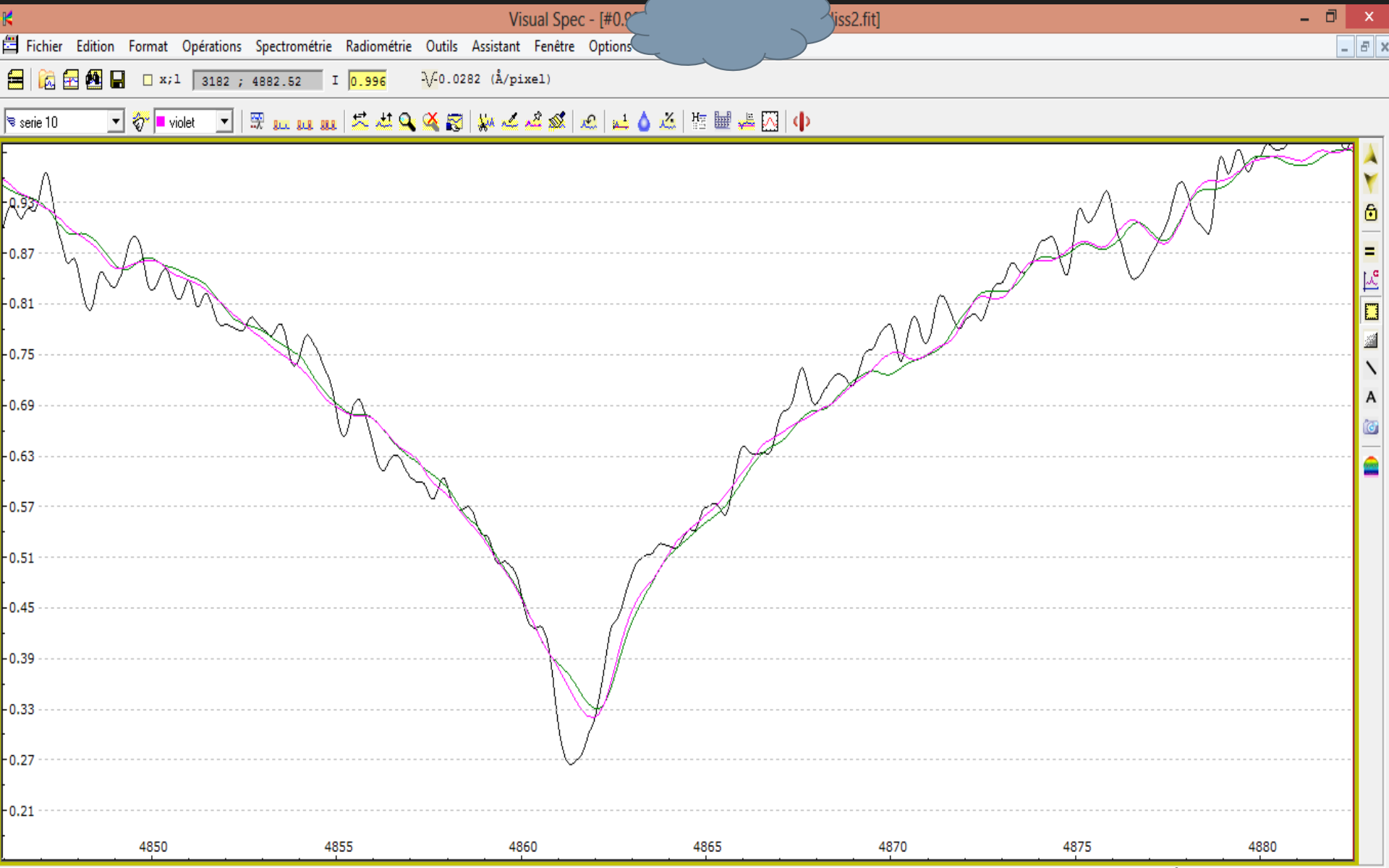
L'effet Rossiter-McLaughlin



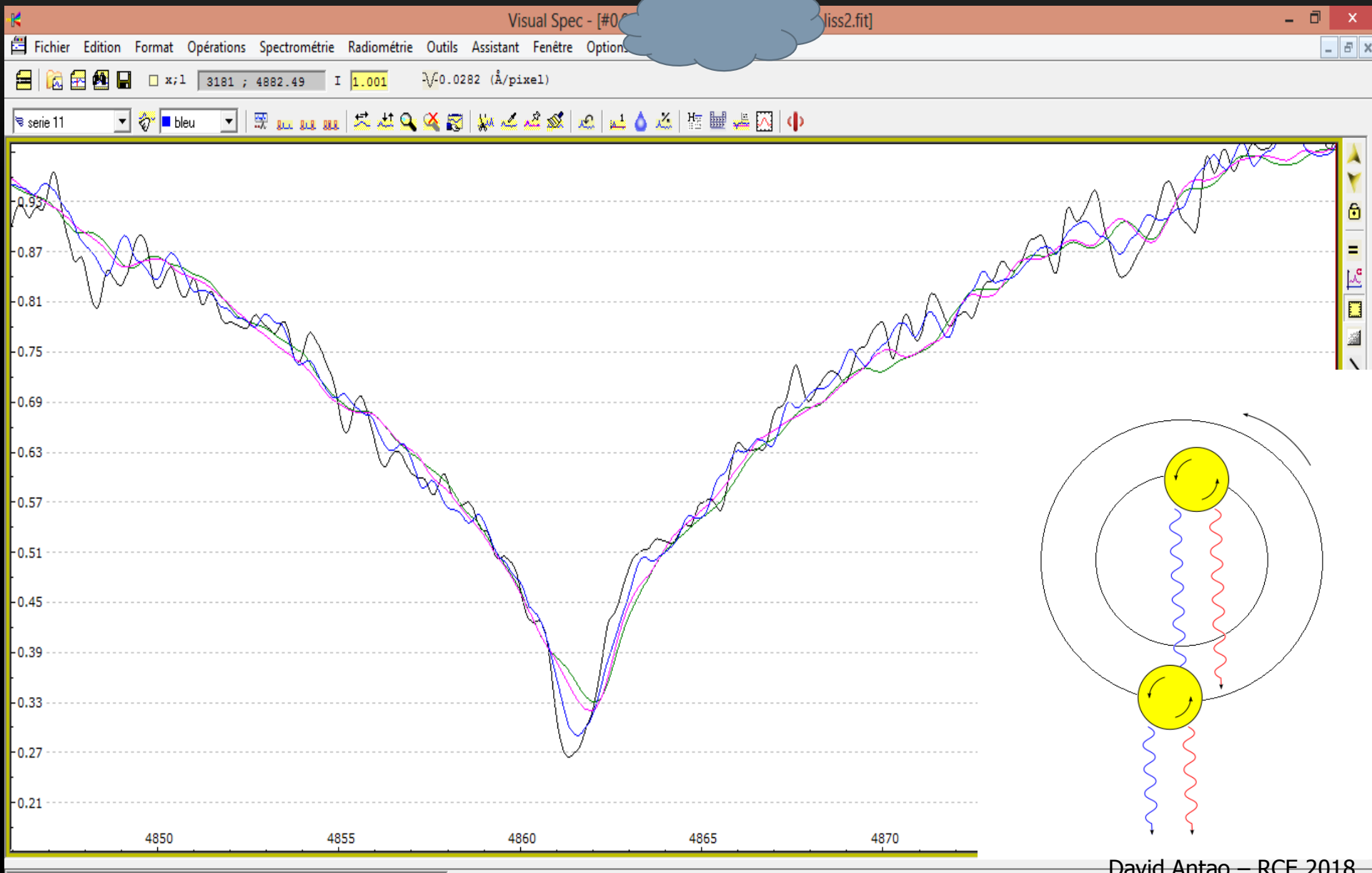
L'effet Rossiter-McLaughlin



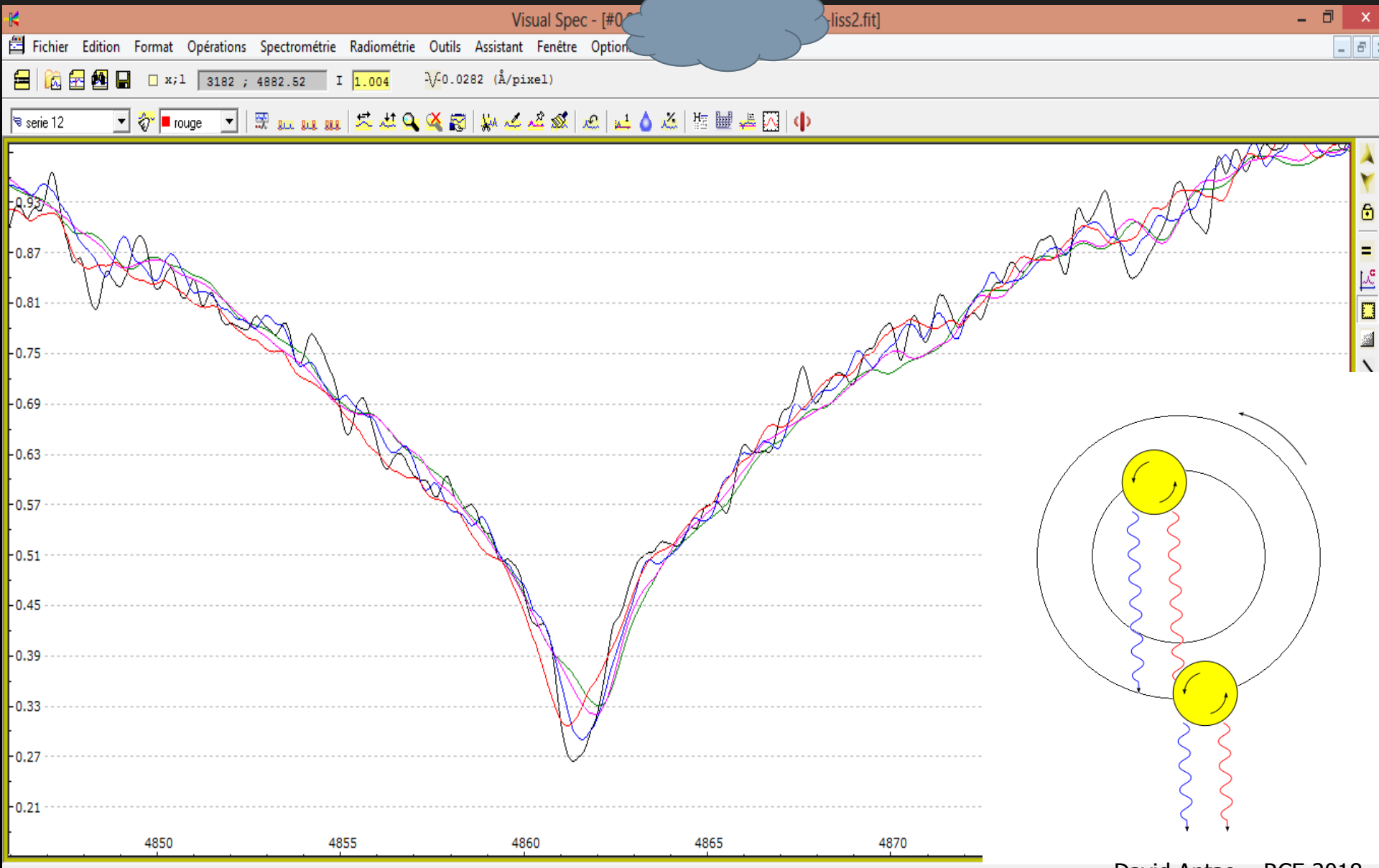
L'effet Rossiter-McLaughlin



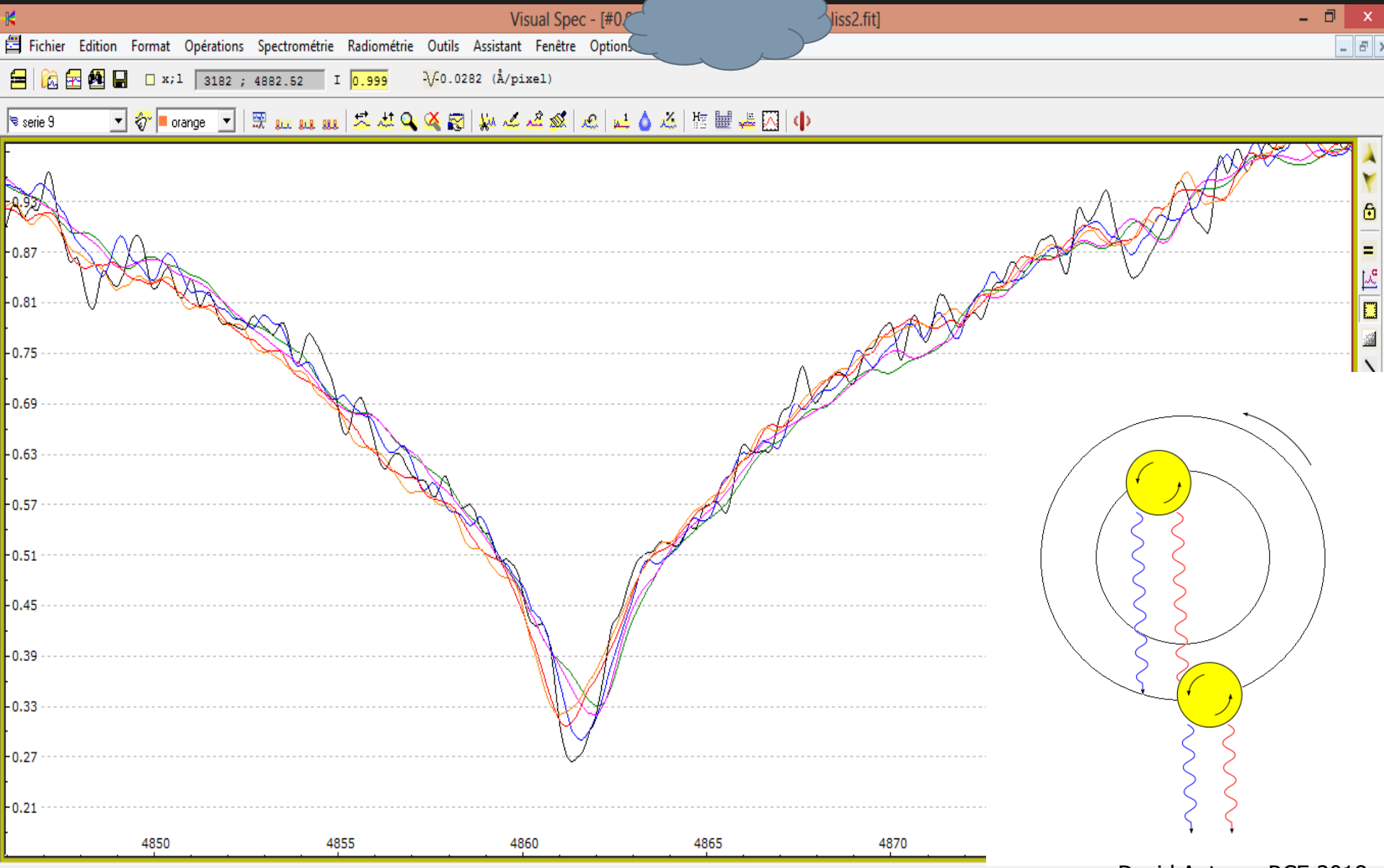
L'effet Rossiter-McLaughlin



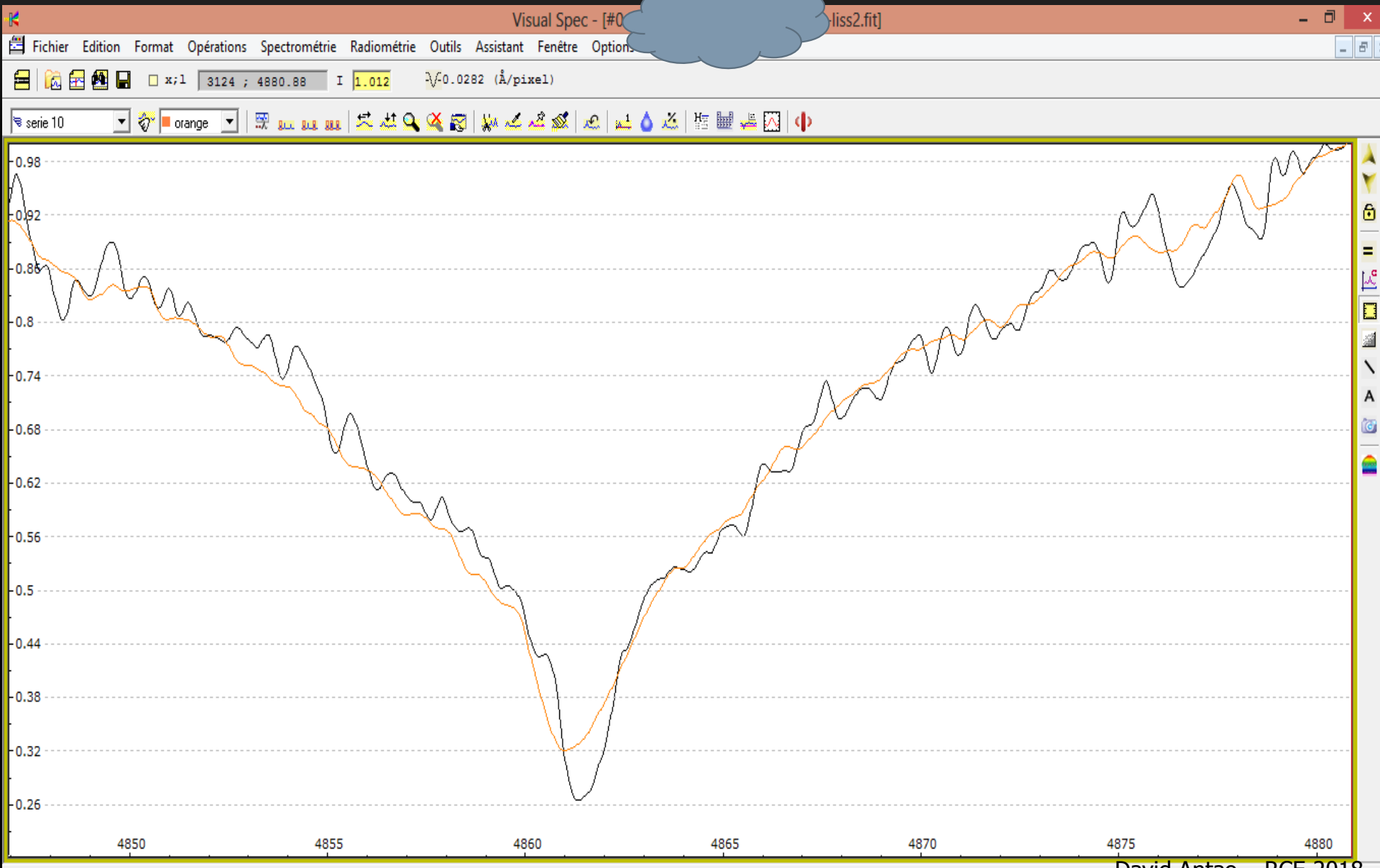
L'effet Rossiter-McLaughlin



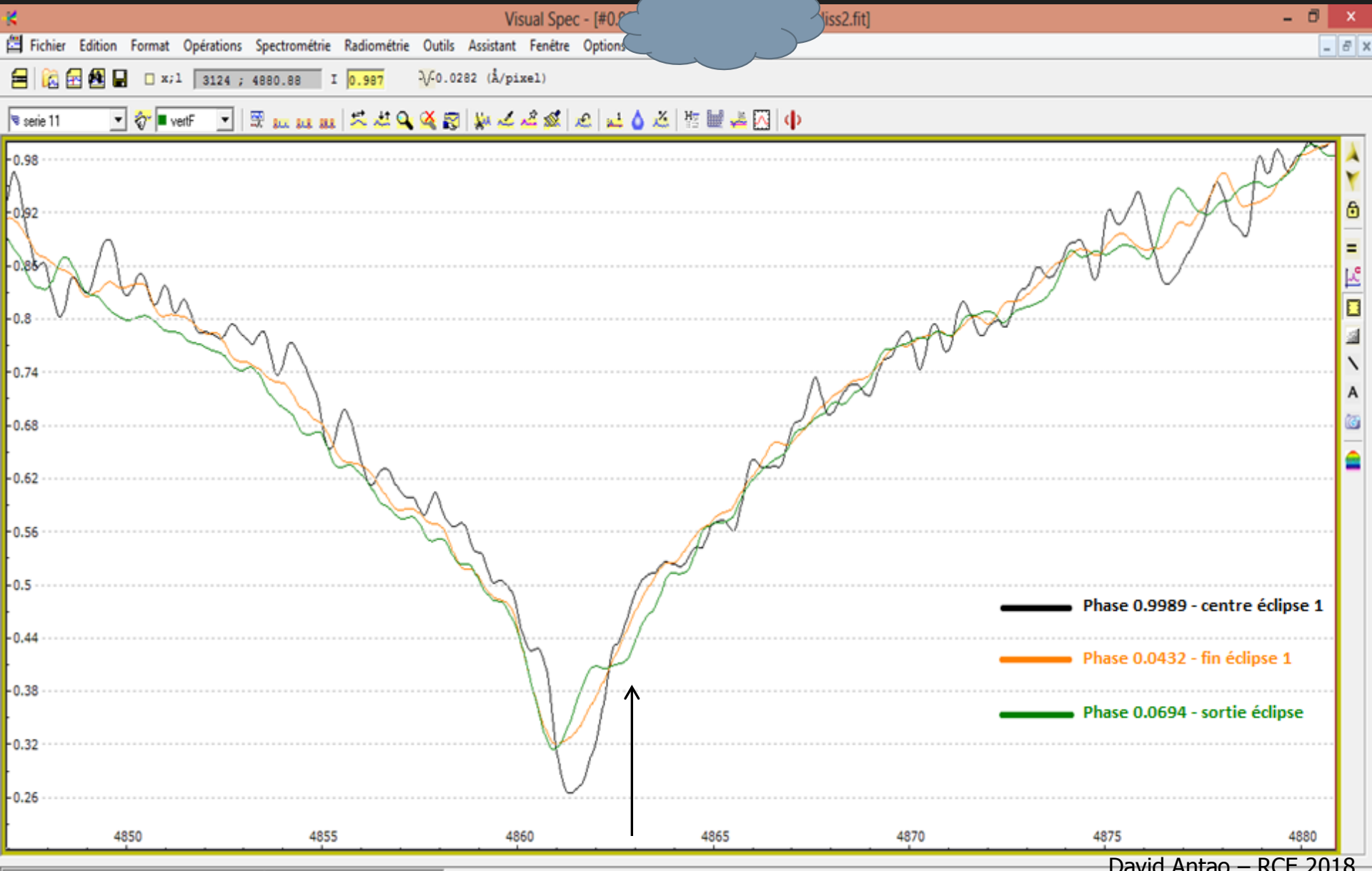
L'effet Rossiter-McLaughlin



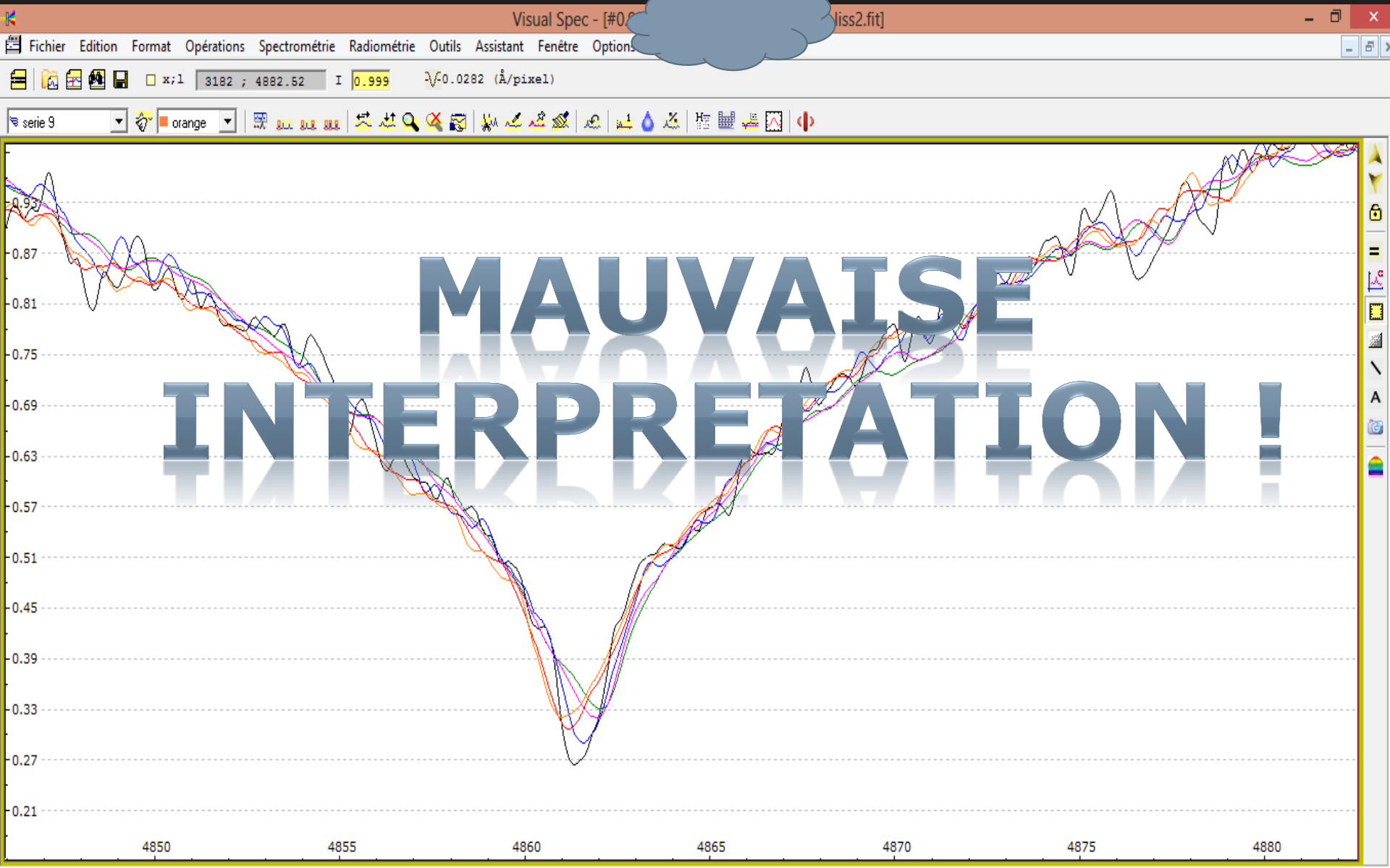
La sortie de l'éclipse



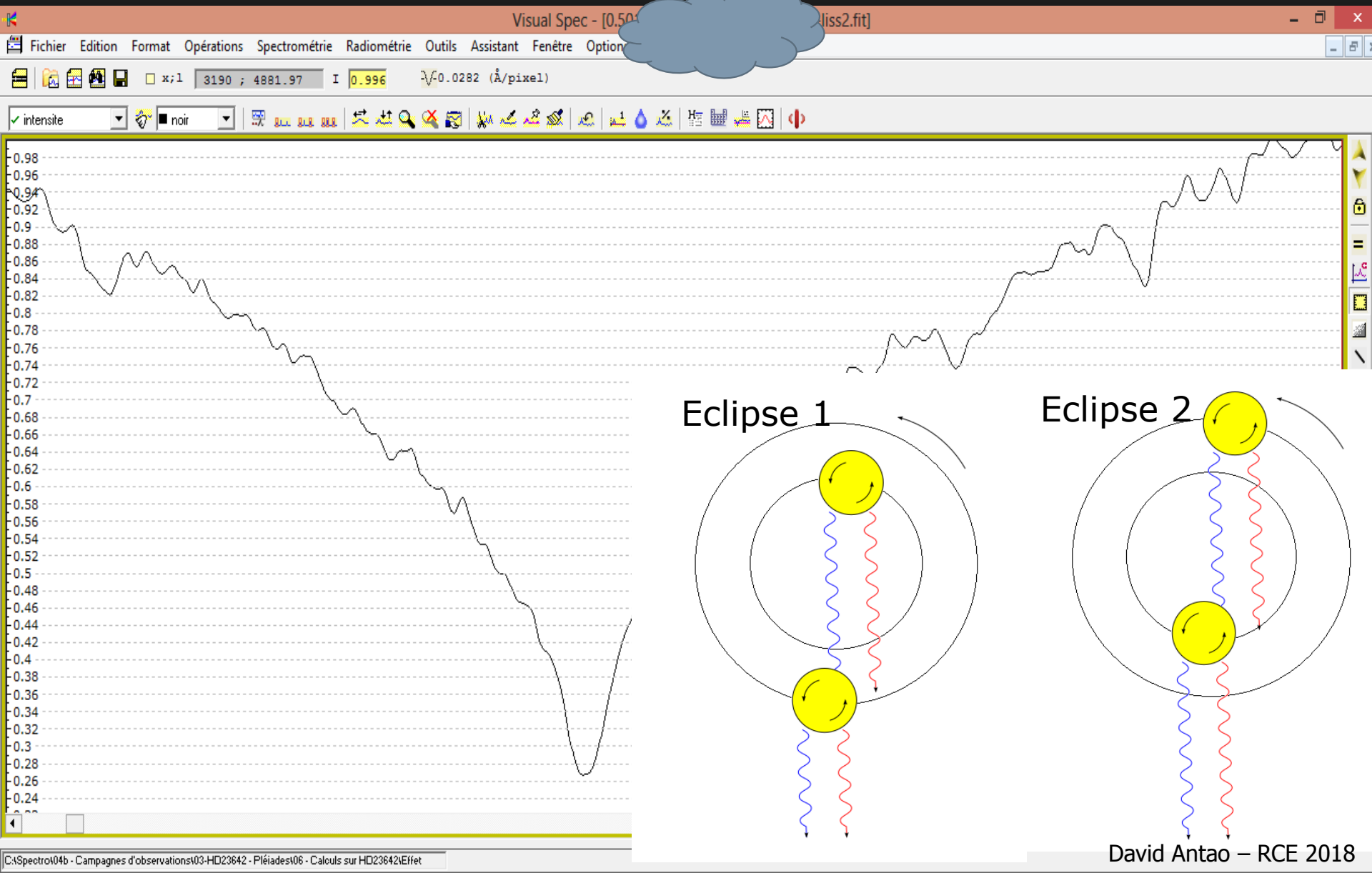
La sortie de l'éclipse



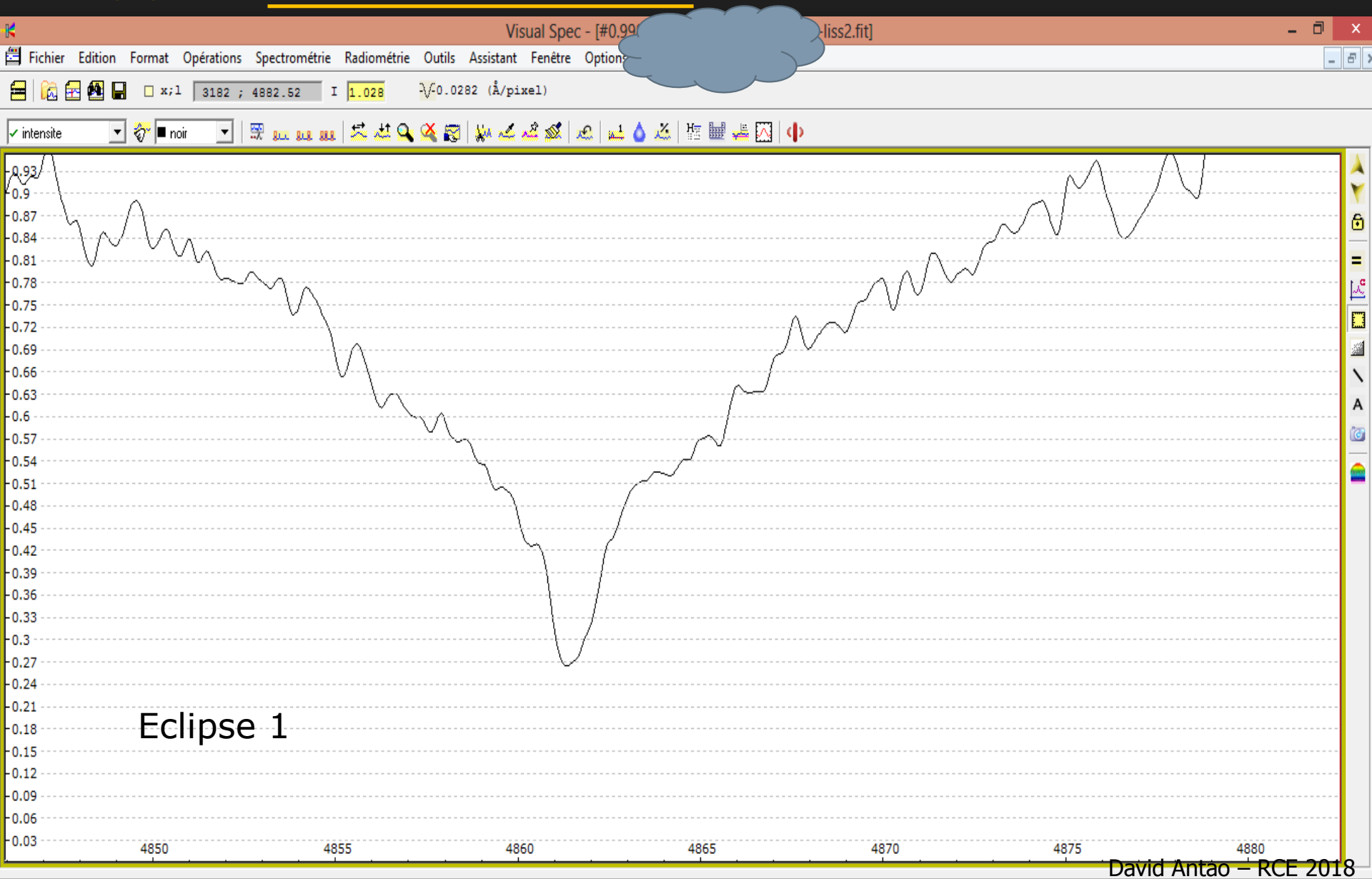
L'effet Rossiter-McLaughlin



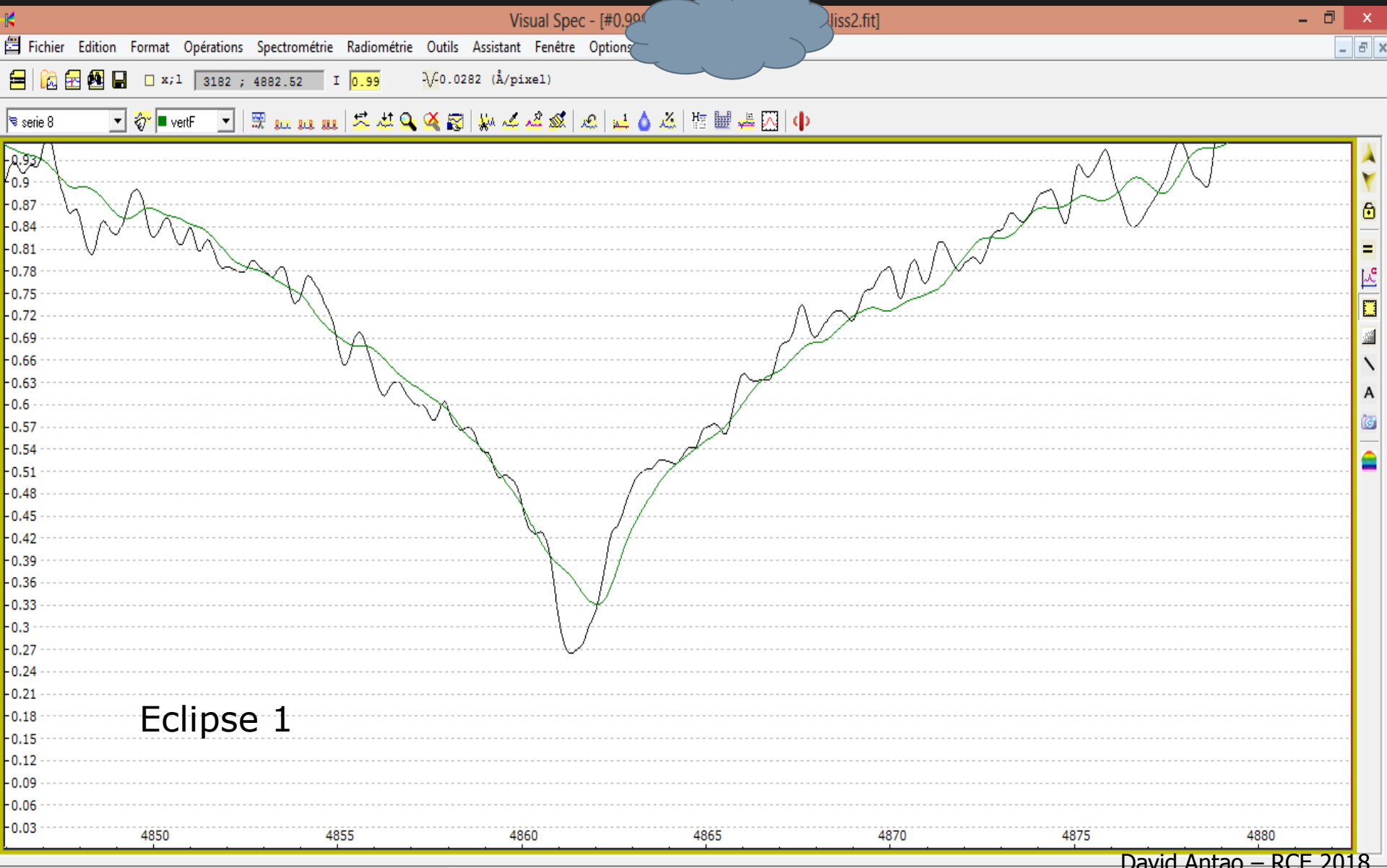
Pour l'autre éclipse l'effet devrait être dans le même sens.



Pour l'autre éclipse l'effet devrait être dans le même sens.

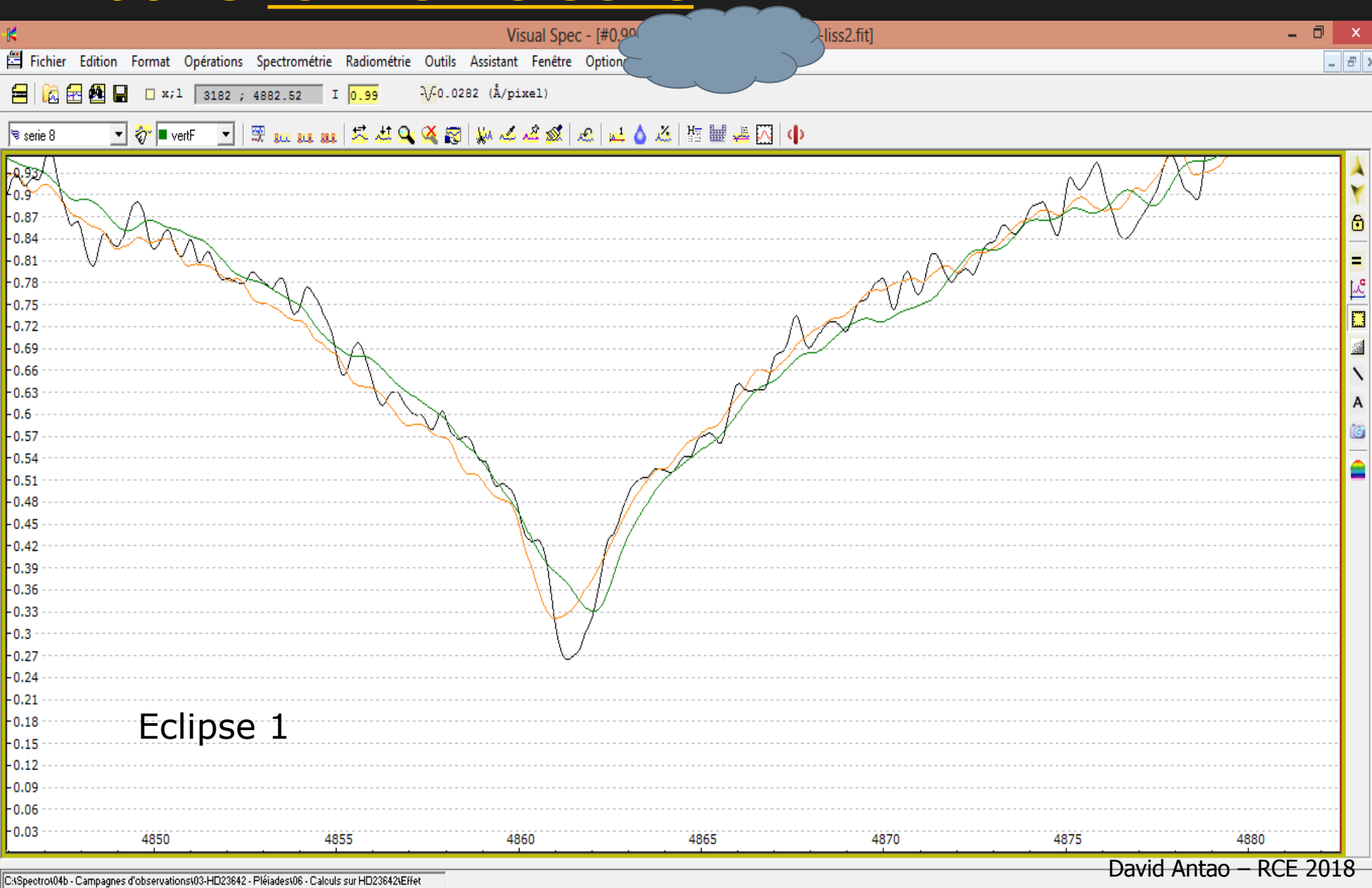


Pour l'autre éclipse l'effet devrait être dans le même sens.

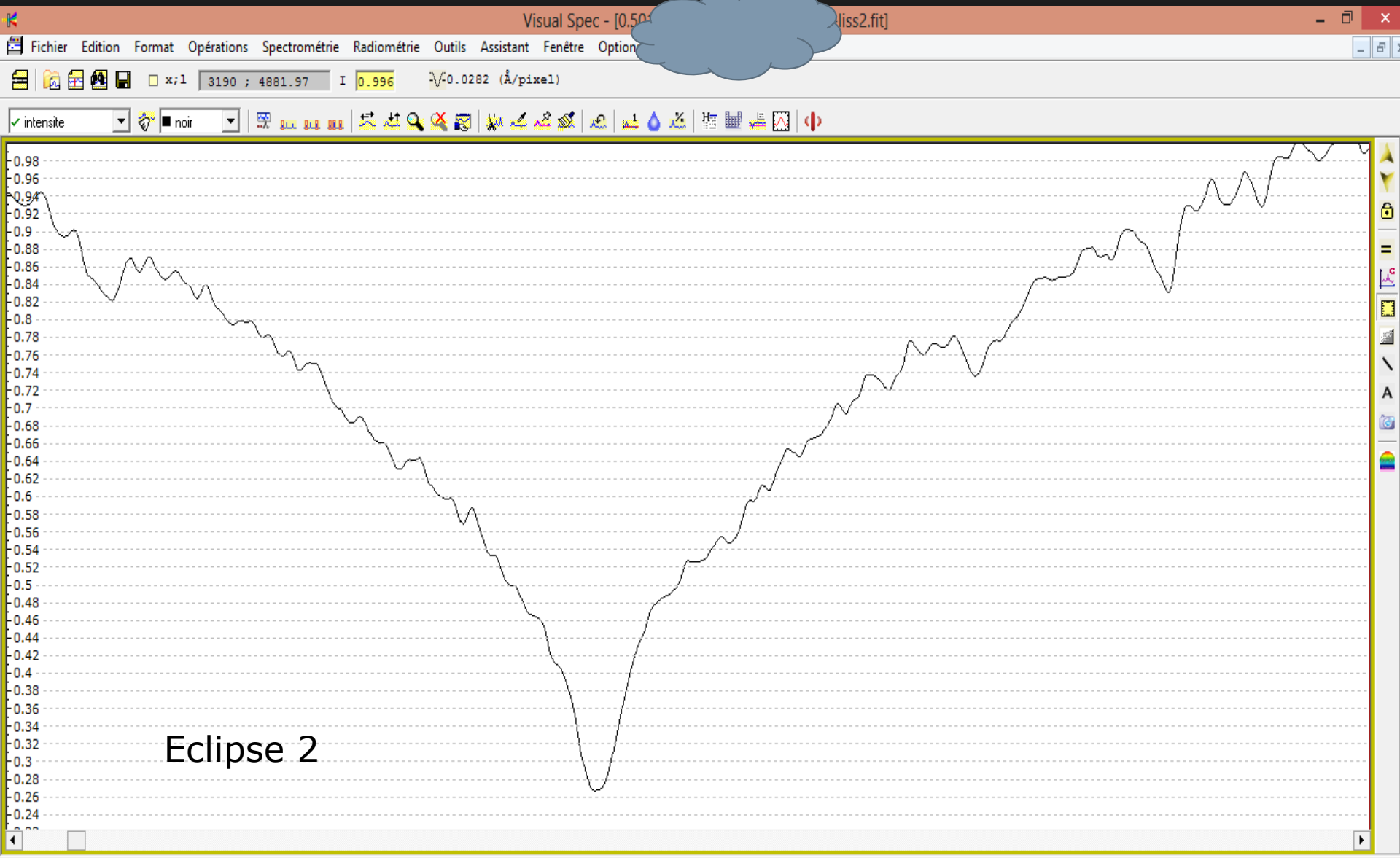


David Antao – RCE 2018

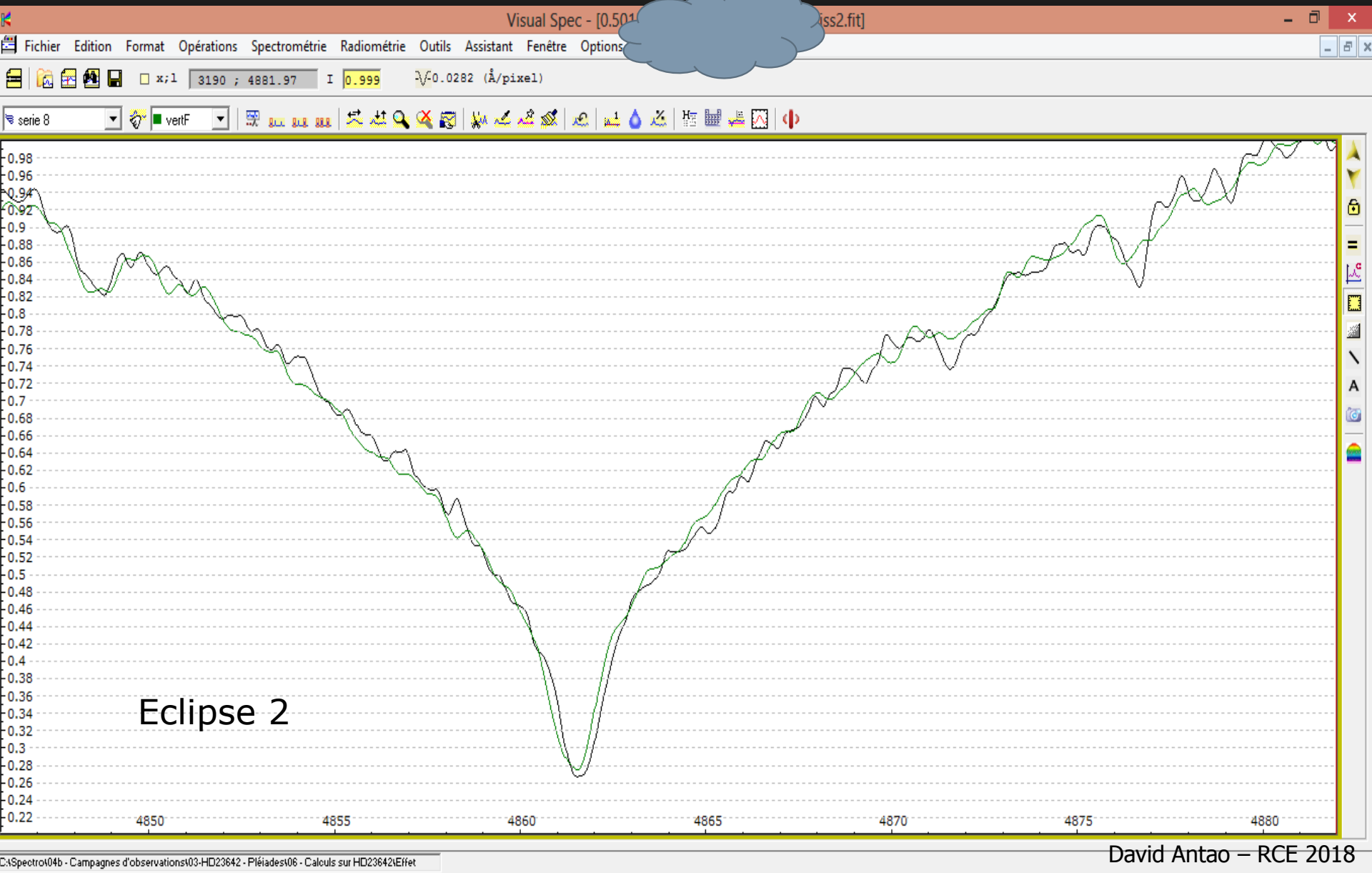
Pour l'autre éclipse l'effet devrait être dans le même sens.



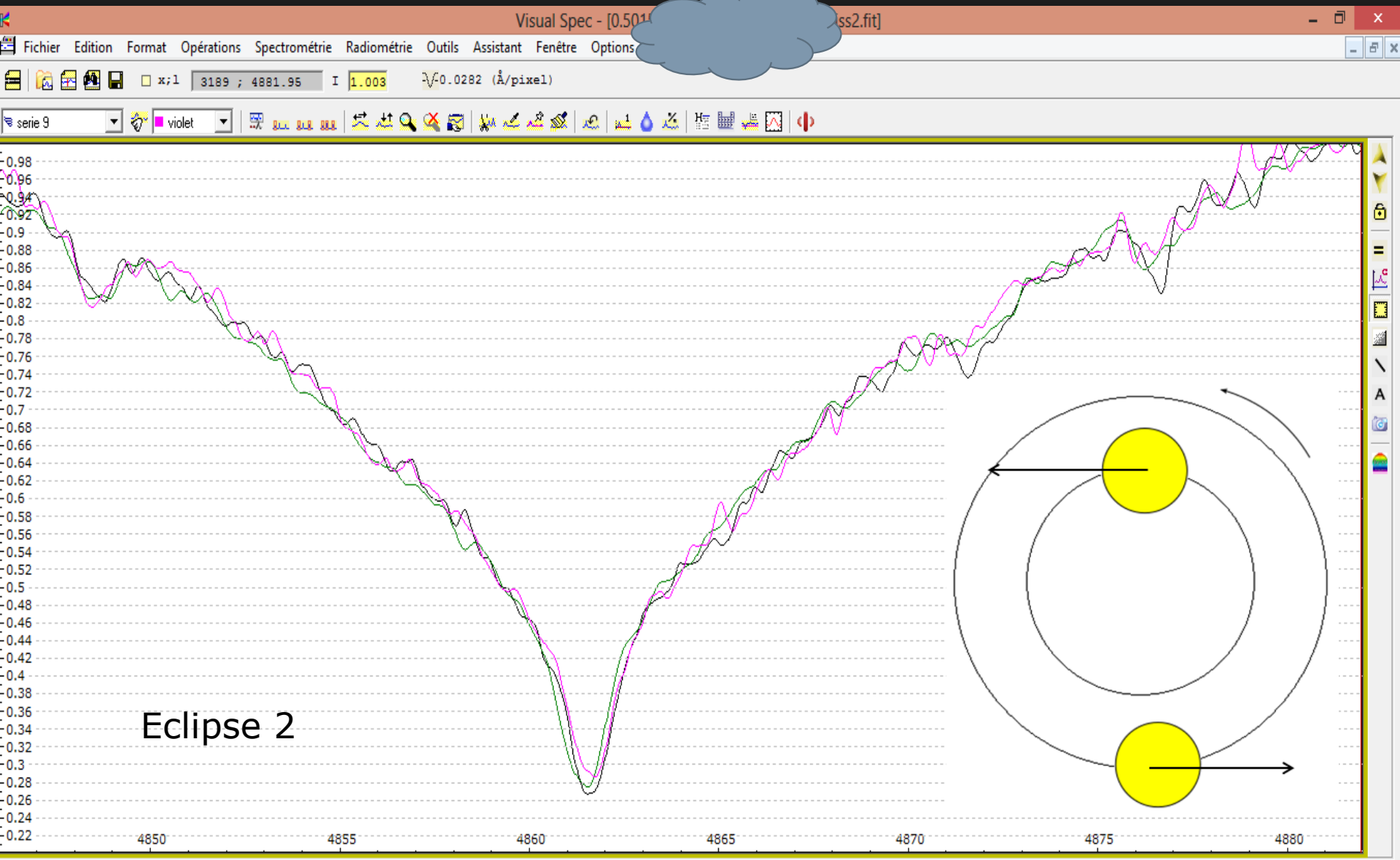
Pour l'autre éclipse l'effet devrait être dans le même sens.



Pour l'autre éclipse l'effet devrait être dans le même sens.



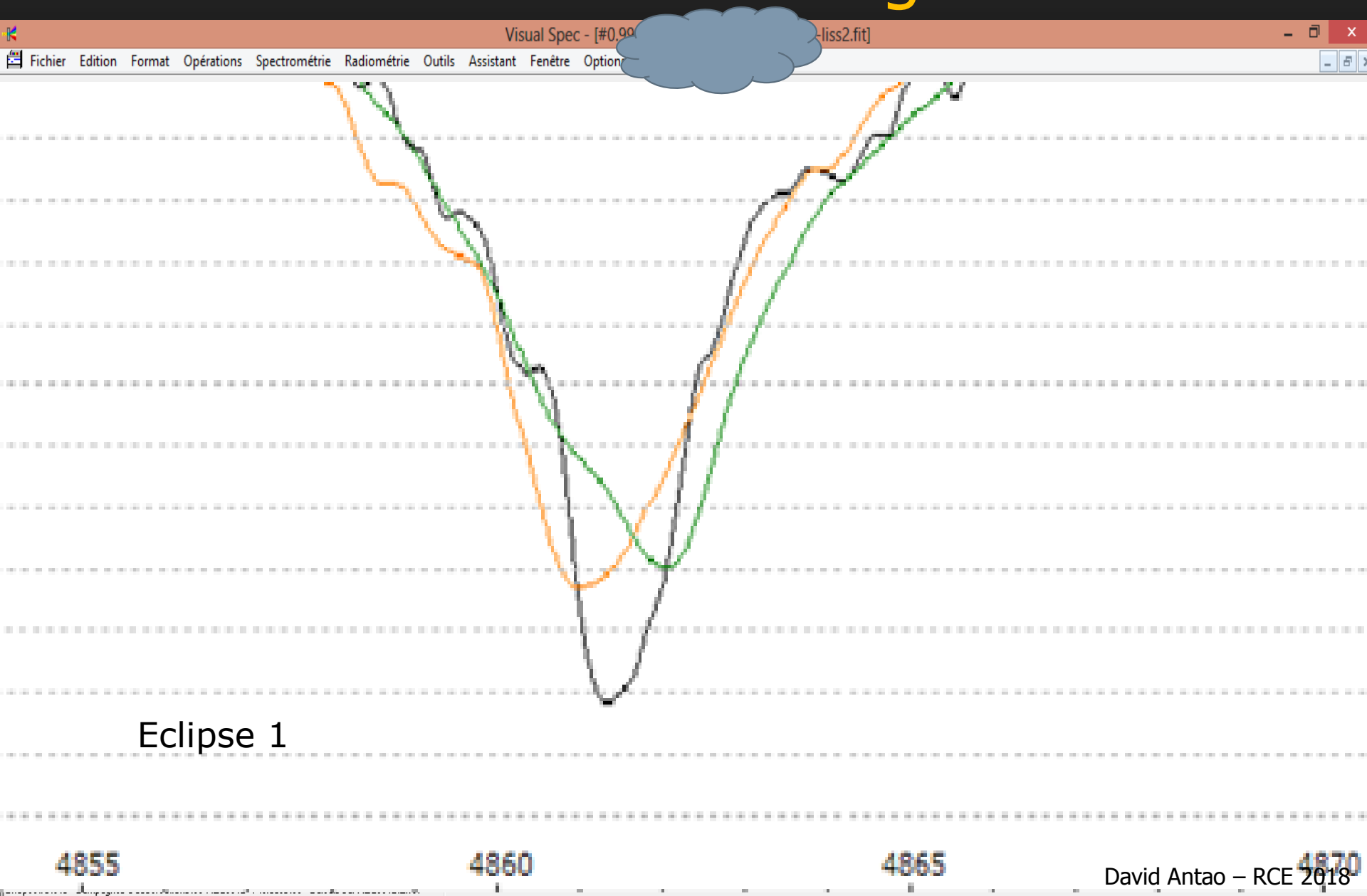
Pour l'autre éclipse l'effet devrait être dans le même sens.



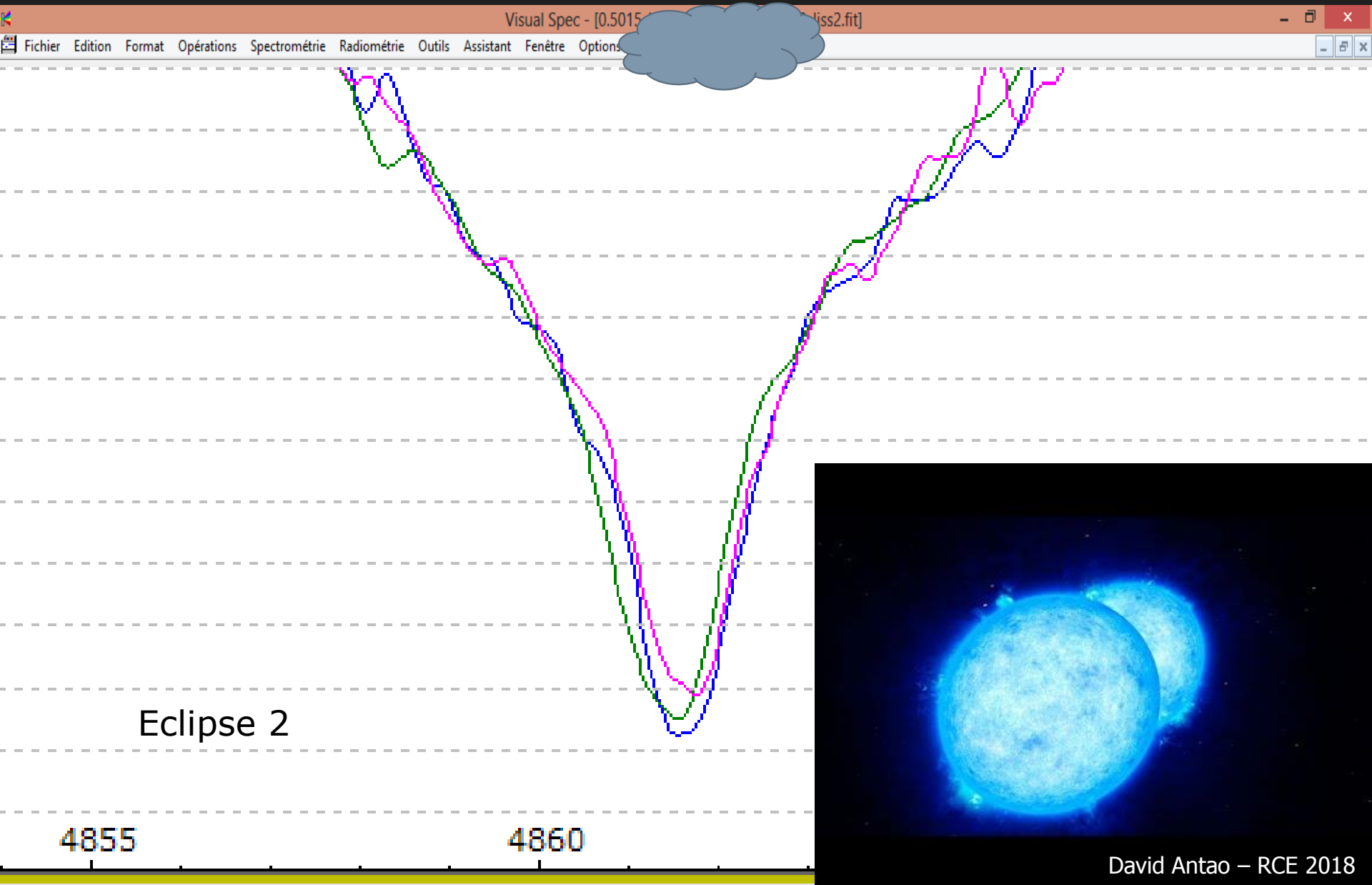
L’effet Rossiter-McLaughlin

L’effet doit être plus discret…

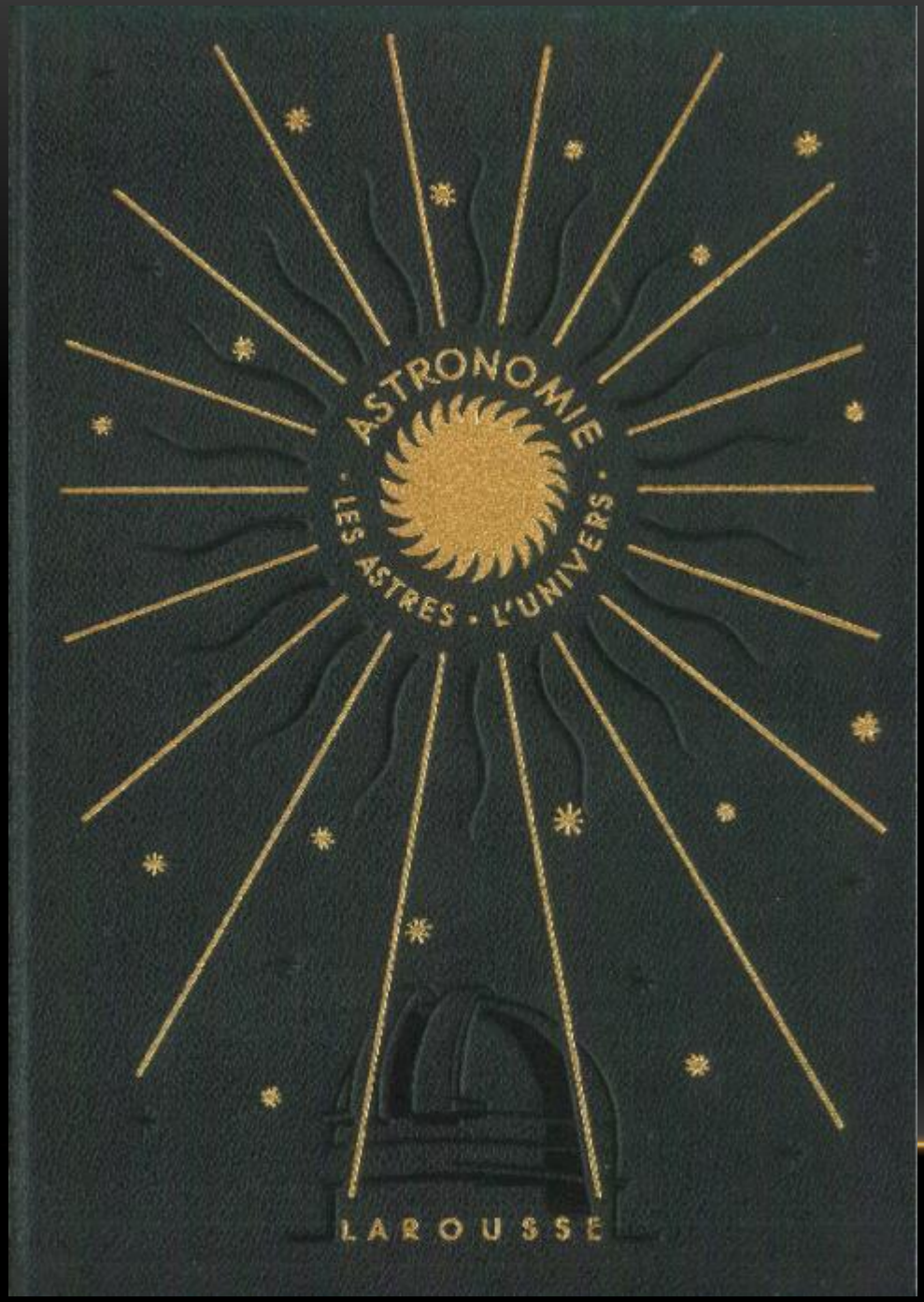
L'effet Rossiter-McLaughlin



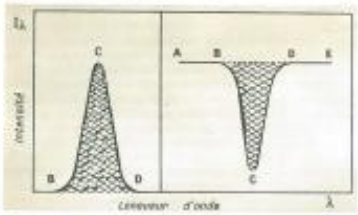
L'effet Rossiter-McLaughlin



Quelques jours après cette réflexion personnelle …



ASTRONOMIE, LES ASTRES, L'UNIVERS
L.Rudaux/G.de Vaucouleurs
Larousse, 1948



Largeur et profil des raies spectrales. La courbe représentant les variations de l'énergie transportée par le rayonnement en fonction de la longueur d'onde définit le « profil » de la raie considérée, soit en émission, *à gauche*, soit en absorption, *à droite*. L'aire hachurée limitée par cette courbe mesure l'énergie totale émise ou absorbée par la raie.

en 1908, à l'observatoire du Mont-Wilson, par Hale, qui observa, dans des spectres à grande dispersion des taches, le dédoublement de nombreuses raies et vérifia que les composantes présentaient les polarisations prévues; d'après l'écartement des composantes, des champs magnétiques atteignant jusqu'à 4 000 gauss furent ainsi mis en évidence; nous avons dit que ces champs sont attribués aux mouvements tourbillonnaires des électrons dans les taches (livre II, chap. VIII).

La décomposition magnétique des raies spectrales, toujours très faible, ne peut être observée, même dans des spectres à grande dispersion, qu'en présence de champs intenses; si la dispersion est insuffisante, ou le champ plus faible, on observe seulement un léger élargissement des raies dont l'interprétation devient délicate, car de nombreuses causes interviennent pour produire la largeur des raies spectrales.

L'examen des spectres reproduits dans ces pages montre en effet, à l'évidence, que les raies spectrales ont des largeurs assez différentes les unes des autres : les unes sont très fines, d'autres parfois très larges; mais les plus fines présentent toujours une largeur mesurable. Cette largeur procède de causes multiples, les unes instrumentales, les autres naturelles.

Les causes instrumentales (largeur de la fente, diffraction et diffusion de la lumière) peuvent être étudiées au laboratoire, leur importance déterminée et leur influence corrigée par le calcul dans les résultats finals, de sorte que nous pourrons ne pas en tenir compte dans ce qui suit et supposer les appareils idéalement parfaits.

Même dans ce cas, les raies spectrales se trouvent élargies par des causes inhérentes à la nature des choses, et que nous allons passer en revue :

1° Tout d'abord, les raies spectrales possèdent une *largeur naturelle*, due à ce que les atomes, tout comme les stations de T. S. F., n'émettent pas une longueur d'onde unique, mais toute une gamme de longueurs d'onde, d'ailleurs étroitement groupées autour d'une longueur d'onde moyenne : c'est ce qu'on appelle, pour des raisons que nous ne pouvons développer ici, l'*élargissement par amortissement* ; cette largeur naturelle des raies est de l'ordre de deux *millièmes* d'angström ;

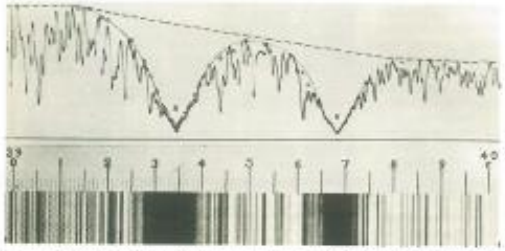
2° Ensuite, dans une masse gazeuse qui émet ou absorbe, les atomes sont animés de mouvements rapides et désordonnés, d'autant plus rapides que la température est plus élevée : c'est l'*agitation thermique* ; par suite, les

Largeurs comparées des raies de la série de Balmer de l'hydrogène, dans une Étoile naine : ζ Grande Ourse, type dA2, *en haut*, et dans une Supergéante : α Cygne, type cA2, *en bas*. Phot. D. Chalonge et D. Barbier, Jungfraujoch (1935).

longueurs d'onde des radiations émises ou absorbées par ces atomes sont plus ou moins déplacées dans un sens ou dans l'autre par l'effet Doppler-Fizeau, suivant la valeur de la composante radiale de leur mouvement au moment de l'émission ou de l'absorption, composante qui diffère d'un atome à l'autre et change sans cesse par suite des chocs; dans l'ensemble, cela produit un élargissement des raies qui atteint quelques *centièmes* d'angström aux températures stellaires;

3° Mais les chocs entre atomes ont encore un autre effet, car s'ils surviennent *pendant* qu'un des deux atomes émet (ou absorbe) une radiation, l'émission se trouve brutalement interrompue, et l'on démontre qu'il en résulte une légère modification de la longueur d'onde observée de la radiation émise : c'est l'*élargissement par collision* ; cet effet devient surtout sensible lorsque la densité du gaz (sa pression) est assez élevée, car les chocs sont alors évidemment beaucoup plus fréquents; il est donc très faible dans les Étoiles géantes dont l'atmosphère est très raréfiée, mais devient notable dans les Étoiles naines beaucoup plus denses; on voit apparaître là un phénomène susceptible de conduire à la discrimination spectroscopique des Étoiles géantes et des Étoiles naines (p. 340);

4° Mais un autre phénomène optique, jouant aussi dans le même sens, intervient encore pour accentuer fortement cette distinction : c'est l'*effet Stark*, qui consiste en une décomposition des raies spectrales sous l'influence des *champs électriques*, très analogue à l'effet Zeeman dans les champs magnétiques. Dans les atmosphères des Étoiles, il n'existe pas de champs électriques à grande échelle analogues aux champs magnétiques



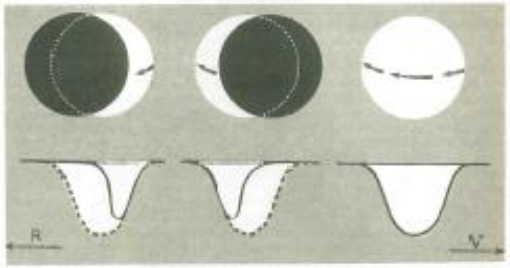
Le spectre solaire dans la région des raies H et K du calcium ionisé (λ 3 900-4 000 A). *En haut*, enregistrement de la courbe d'énergie. *En bas*, photographie directe (Atlas de Rowland). Noter la largeur considérable des raies H et K, dont les « ailes » se rejoignent vers 3 950 A. D'après E. Petit, observatoire du Mont-Wilson (1940).

des taches solaires; mais nous savons qu'aux hautes températures régnant dans ces atmosphères, de nombreux atomes se trouvent *ionisés* : ils ne sont donc plus électriquement neutres et créent autour d'eux de petits champs électriques capables d'agir sur les autres atomes qui viennent à passer en tous sens dans leur voisinage, et de modifier ainsi par effet Stark les radiations émises par ces atomes; dans l'ensemble, il en résulte un simple élargissement des raies, qui est évidemment très peu marqué si les atomes sont généralement très écartés les uns des autres, c'est-à-dire si la pression est faible comme dans les Étoiles géantes, mais qui devient, au contraire, très important — il peut dépasser *plusieurs* angströms — si les atomes sont rapprochés les uns des autres, c'est-à-dire si la pression est élevée comme dans les Étoiles naines. Telle est l'origine de cette différence d'aspect caractéristique des raies spectrales des Géantes et des Naines, que nous avions signalée et qui est à la base de la puissante méthode de détermination des parallaxes spectroscopiques (livre III, chap. I et III). Un autre effet entre encore en jeu à ce point de vue, dont nous parlerons dans le dernier paragraphe;

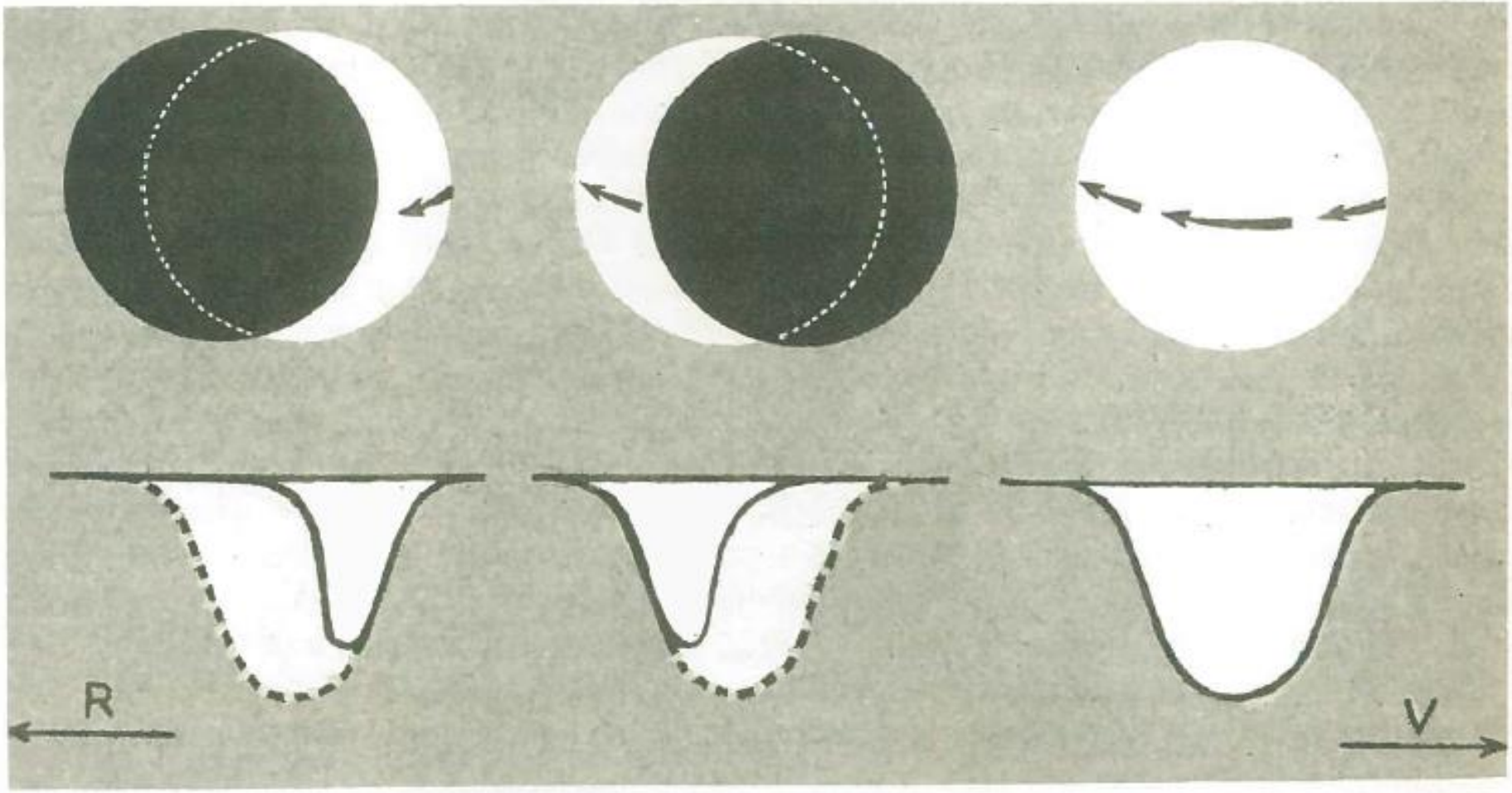
Fig. 152. — Principe de l'élargissement des raies spectrales des Étoiles animées d'un mouvement de rotation rapide. A chaque zone de l'Étoile correspond une raie plus ou moins déplacée vers le rouge ou le violet suivant la valeur de sa vitesse radiale, donnant naissance, dans l'ensemble, à une raie élargie ayant le profil indiqué.

5° Il existe pourtant des Étoiles de la branche des Naines, surtout des types B et A, comme *Algol* ou *Albaïr*, dont les raies spectrales sont larges et diffuses, alors que d'autres Étoiles des mêmes types et de caractéristiques comparables, par exemple *Véga*, présentent des raies fines, preuve qu'il ne s'agit pas ici d'un effet Stark. Cette particularité fut expliquée par O. Struve, vers 1925, par la *rotation* des Étoiles sur elles-mêmes; en effet, il est bien certain que les Étoiles, comme le Soleil, doivent être animées de mouvements de rotation, et il n'y a aucune raison de supposer que les axes de rotation soient tous orientés dans le même sens et parallèles dans l'espace : certains doivent être dirigés par hasard vers la Terre, d'autres, au contraire, être perpendiculaires au rayon visuel et aussi dans toutes les inclinaisons intermédiaires ; mais si nous considérons une Étoile tournant autour d'un tel axe à peu près perpendiculaire au rayon visuel, on voit facilement (*fig.* 152) qu'un de ses bords s'approche de l'observateur pendant que l'autre s'en éloigne, ainsi que nous l'avons déjà expliqué plus haut pour le Soleil, et les divers points de sa surface se présentent avec toutes les vitesses intermédiaires ; il se produit donc un déplacement Doppler-Fizeau variable d'un point à un autre, et comme tous les points de la surface concourent à la formation du spectre observé de l'Étoile, il en résulte au total un élargissement des raies du spectre suivant une loi facile à calculer. La comparaison du *profil* des raies spectrales, c'est-à-dire de la distribution de l'intensité lumineuse dans leur largeur, ainsi calculé avec ceux qui étaient observés a démontré que cette explication était la bonne, et il est ainsi devenu possible de déceler des vitesses de rotation considérables, atteignant souvent 100 kilomètres par seconde à l'équateur, et parfois plus (jusqu'à 300), alors que celle du Soleil ne dépasse pas 2 kilomètres par seconde.

Ces valeurs inattendues ont été pourtant confirmées de différentes façons. Ne retenons, pour son ingéniosité, que la suivante, qui avait déjà été imaginée il y a une quarantaine d'années par l'astronome américain F. Schlesinger, mais ne fut appliquée avec succès qu'à partir de 1924, d'abord par E. Rossiter et D. B. Mc Laughlin : considérons une binaire à éclipses, comme *Algol*, dont une composante est beaucoup plus brillante que l'autre (elle apparaît alors comme une binaire spectroscopique à un seul spectre observable); il arrive un moment au cours de l'éclipse — que nous supposerons centrale pour simplifier — où la composante obscure cache à moitié le disque de la composante brillante et, par conséquent, à ce moment, la lumière reçue de l'autre provient, en majeure partie, des régions du globe stellaire qui s'éloignent (par exemple) de nous; par suite, la raie spectrale accusera un déplacement prépondérant vers le rouge; au contraire, lorsque le milieu de l'éclipse est dépassé, et que cette moitié du disque lumineux vient à être cachée à son tour, cependant que l'autre reparaît, la lumière provient surtout des régions qui s'approchent, et les raies spectrales se trouvent déplacées vers le violet. On conçoit qu'il soit ainsi possible, par une analyse précise des spectres obtenus pendant les différentes phases de l'éclipse, de déterminer la vitesse de rotation de l'Étoile : or, la vitesse ainsi obtenue concorde parfaitement avec celle qui peut être déduite de la seule largeur des raies spectrales de l'Étoile observée en dehors des éclipses, ce qui confirme entièrement la validité des déductions précédentes.



Déformation et déplacement des raies spectrales des binaires à éclipses par effet de rotation. Le profil des raies spectrales, élargi par la rotation de l'Étoile, *à droite*, se trouve, pendant les éclipses, successivement modifié et le centre de gravité de la raie déplacé dans un sens, puis dans l'autre, suivant que la portion non éclipsée du globe stellaire s'approche, *à gauche*, ou s'éloigne, *au centre*, de l'observateur.



DÉFORMATION ET DÉPLACEMENT DES RAIES SPECTRALES DES BINAIRES A ÉCLIPSES PAR EFFET DE ROTATION. Le profil des raies spectrales, élargi par la rotation de l'Étoile, *à droite*, se trouve, pendant les éclipses, successivement modifié et le centre de gravité de la raie déplacé dans un sens, puis dans l'autre, suivant que la portion non éclipsée du globe stellaire s'approche, *à gauche*, ou s'éloigne, *au centre*, de l'observateur.

L'ambition raisonnable
Tableau de Gilbert Garcin

COLLABORATION PRO-AM DAVID^3

David Antao, David Brégou, David Valls-Gabaud et Vivien Pic

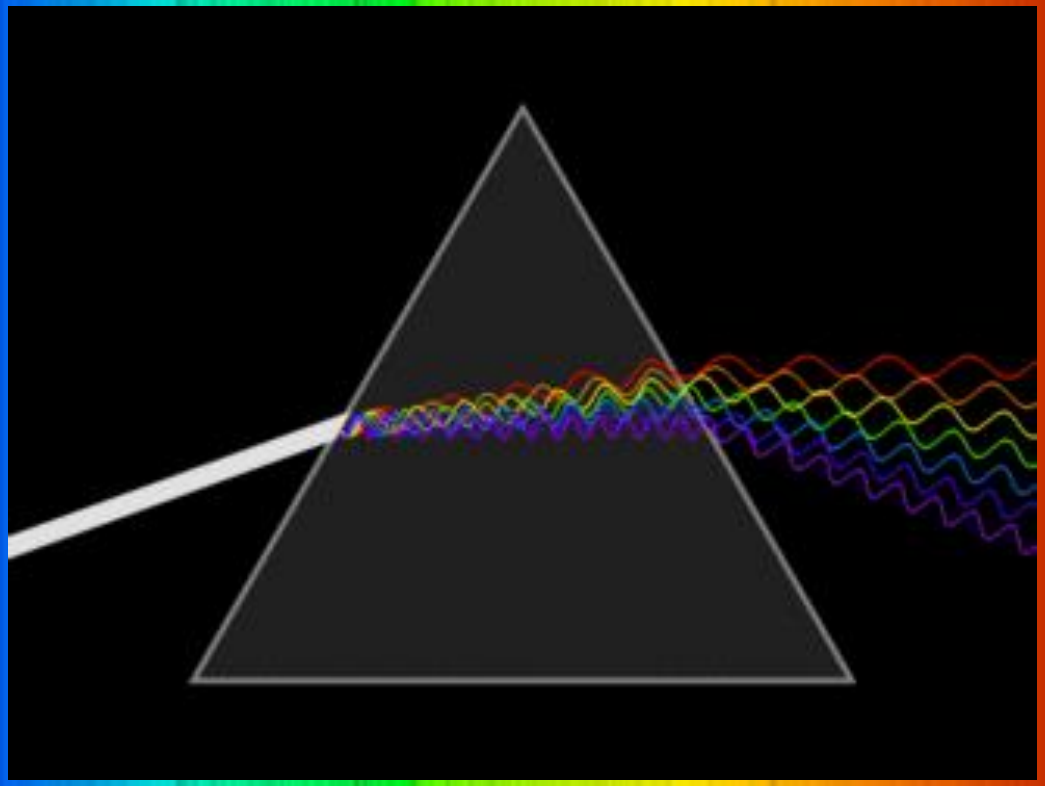
On attend avec impatience la publication pour comparer avec nos résultats !

Remerciements à Christian Buil, Valérie Desnoux, Delwin Owen Johnson, Claude Vidal, Véronique Ducousso, Antoine Cailleau Prisca Bousquet et mes amis de l'Apam à qui j'en fais voir de toutes les couleurs.

POUR CEUX QUI SONT DE LA RÉGION TOULOUSAINE ET QUI SONT INTÉRESSÉS, SPOC EST LÀ POUR VOUS AIDER !!!

Contact :
davidantao@net-c.com

La spectroscopie quel monde fascinant !

Un monde riche de réflexions pour notre plus grande joie …

Merci de votre écoute !