# *Rapport mission Pic du Midi AT60 : S46-2016*

# *Du 28 novembre au 4 décembre 2016*

**Equipe :** David Brégou, Antoine Belmonte, Gérard Arlic et David Antao (Responsable de mission)

**Objectif de la mission :** Mesurer l'expansion de l'Univers en refaisant la loi de Hubble –Lemaître version amateur.

**Instrument :** Le spectrographe ALPY600 monté sur le T60 du Pic du midi

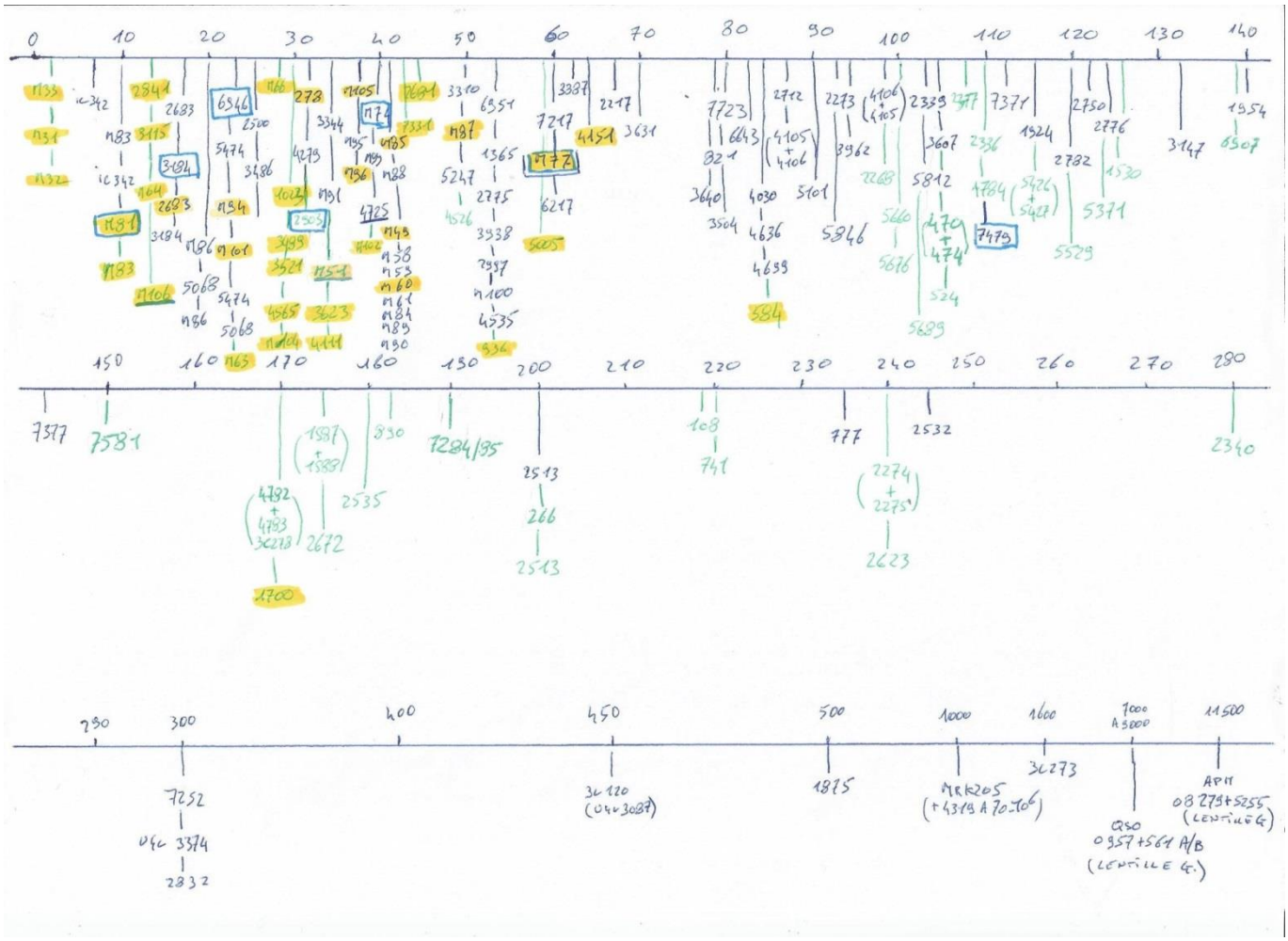
## *I – Bref historique de la loi Lemaître-Hubble :*

Durant les années 1910, un astronome peu connu réalise des spectres des nébuleuses spirales, dont on ne connaît pas exactement la nature. Il s'aperçoit que leurs spectres sont presque toujours décalés vers le rouge, signe que toutes ces nébuleuses s'éloignent de nous.
En 1908 Henrietta Leavitt qui recensait les étoiles variables Céphéides, décide de classer les Céphéides du petit nuage de Magellan sur un graphique en fonction de leur rythme d'oscillation. Elle s'aperçoit que ce graphique ressemble à une droite. Elle a établi une corrélation mathématique entre la luminosité et la variation de cette luminosité. Il devient alors possible de mesurer la distance de ces étoiles en observant leur rythme de variation.
En 1916, Harlow Shapley complète la découverte d'Henrietta Leavitt en réalisant les premières mesures de distance des Céphéides. Il estime le diamètre de la Voie Lactée à 300 000 années-lumières.
En 1923, Edwin Hubble observe la première Céphéide de la grande nébuleuse d'Andromède. Et avec l'aide de son assistant Milton Humason, Hubble parvient à calculer la distance de la nébuleuse d'Andromède : environ 2 500 000 années-lumière. Elle est donc située en dehors de la Voie Lactée. Il s'agit d'une autre galaxie !
En 1929, Hubble, en croisant ses données avec celles de Vesto Slipher, découvre que plus les galaxies sont éloignées, plus elles s'éloignent rapidement de nous. Il établit la loi de Hubble et prouve que l'Univers est en expansion.
Mais 2 ans avant, George Lemaître avait déjà établi cette proportionnalité entre la distance et la vitesse des galaxies. Il va pousser plus loin sa théorie et émettre l'hypothèse de l'atome primitif. Puisque le temps éloigne les galaxies, il y eu un moment initial extrêmement dense et chaud, qu'il nomme l'atome primitif. Cela reste la meilleure théorie actuellement connue depuis 1949 sous le nom du modèle du Big-Bang.
En 2017, l'UAI renomme la loi de Hubble en loi de Hubble-Lemaître.

## *II – Préparation avant la mission : Sélections des galaxies : orientation et distance*

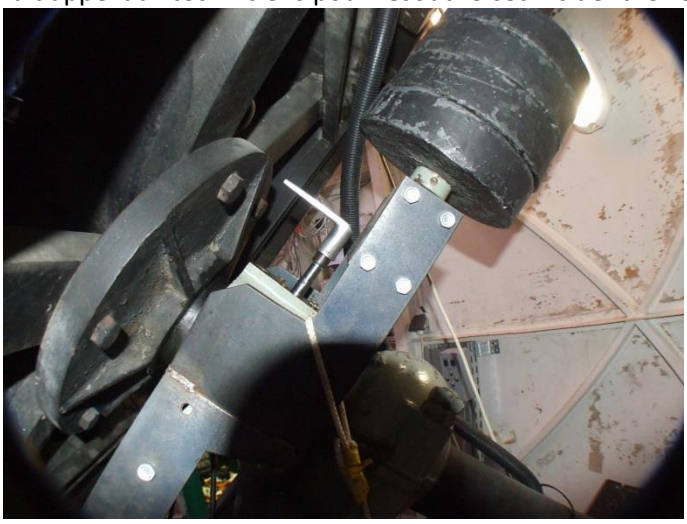
Un long travail de sélection des galaxies a été réalisé en amont de la mission. Le but était de choisir des galaxies en fonction de leur distance et de leur visibilité au cours de la nuit. On s'est centré sur des galaxies vues de face ou légèrement de ¾ pour réduire l'effet Doppler-Fizeau dû à la rotation proprement dite de la galaxie. Ce travail a été réalisé principalement grâce aux livres « Splendeurs du ciel profond » de Laurent Ferrero et au site Simbad du CDS de Strasbourg.

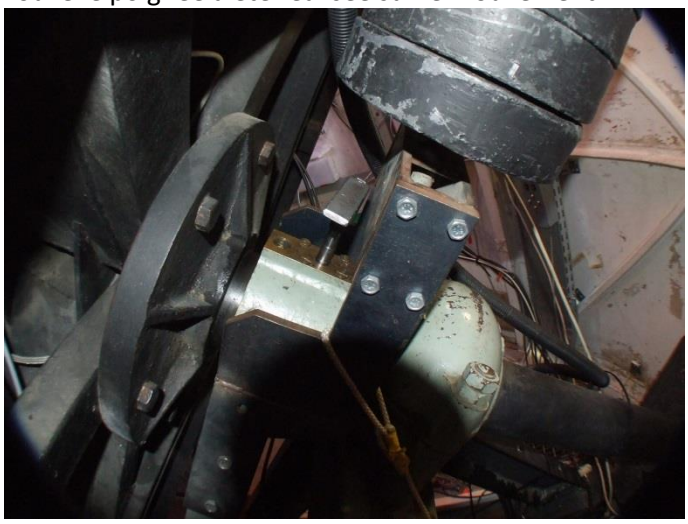
En voici la synthèse. C'est notre feuille de route.



## *III – La mission :*

Tout au long de la semaine on a eu une météo très favorable ! Observation durant les 6 nuits de 18h à 7h. Soit 78h de ciel nocturne exploitable !
A notre arrivée, nous avons remarqué que le T60 avait du mal à être manipulé. Il y a un problème sur le frein. On a fait appel aux techniciens pour résoudre cet incident. Une nouvelle poignée a été réalisée sur le mouvement AD.





Liste des observations par nuit :

Nuit du 28 novembre :

- Beta Ceti
- Alpha Peg
- NGC7479
- Beta Eri
- NGC1700
- Gam Ori

- NGC1875
- Darks 3600sec à -15°C

Nuit du 29 novembre :

- Vénus
- Mars
- Folmahaut
- NGC7252
- Zeta Peg
- NGC7479
- Alpha Tri
- NGC777
- Pollux
- NGC2532
- NGC3640
- Darks 3600sec à -15°C

Nuit du 30 novembre :

- Altair
- NGC7377
- Eta Pisc
- M74
- Delta Gem
- NGC2339
- 15Rho Pup
- NGC2903
- M87
- Darks 3600sec à -15°C

Nuit du 1 décembre :

- NGC7723
- M77
- Eps Tau
- Tentative confirmation nébuleuse planétaire Ra48
- 3C120
- Beta Uma
- QSO0957+561AB

Nuit du 2 décembre :

- Lune
- Lune cendrée
- Gam Peg
- NGC7541
- Alpha Ari
- NGC821
- Alpha Lep
- NGC1954
- Procyon Alpha Cmi
- NGC2513
- APM08279_5255

Nuit du 3 décembre :

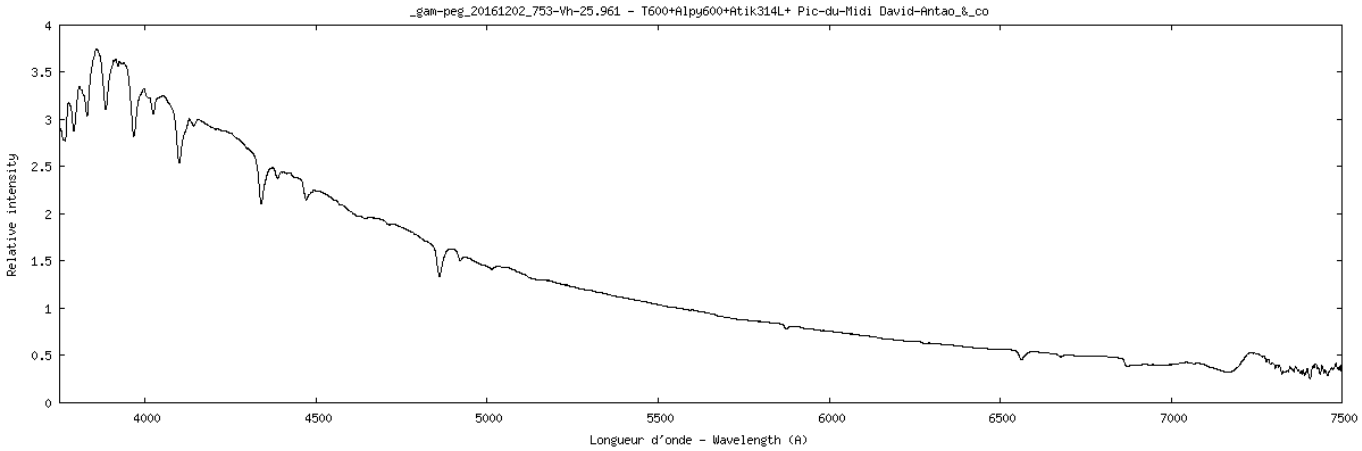
- Alpha And ou Gamma Peg  Alpha Peg (mauvaise notation lors de l'acquisition…)
- NGC266
- Castor
- NGC2500
- NGC2776

## *IV – Le traitement et l'analyse :*

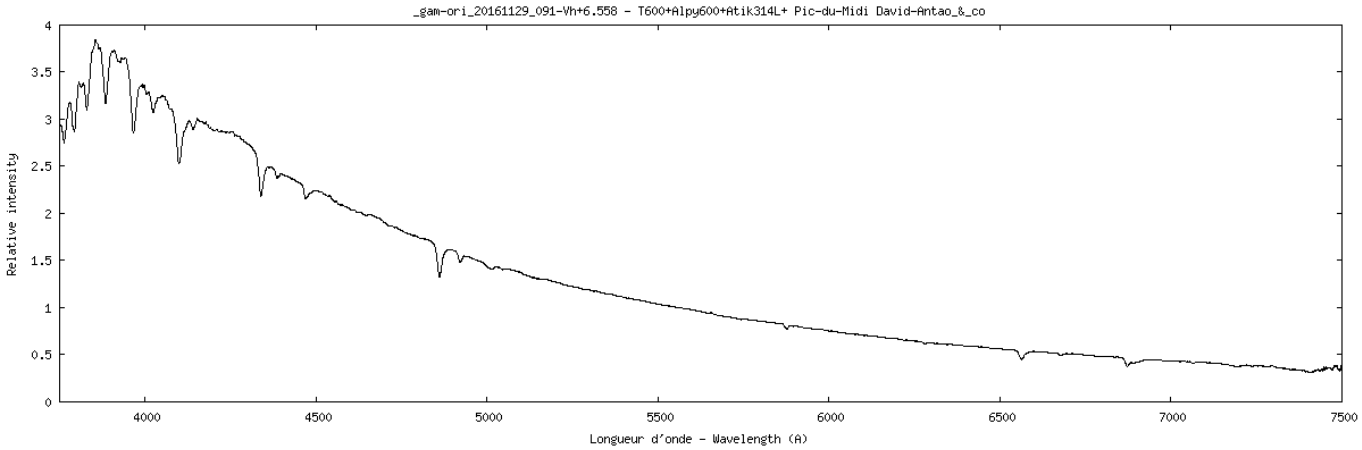
La réduction des spectres a été particulièrement délicate. Les galaxies sont des objets étendus, on a rencontré des difficultés lors de la réduction des spectres avec le « smile ». Le traitement a été réalisé grâce au logiciel ISIS développé et mis à disposition gratuitement par Christian Buil. Les vitesses radiales ont été mesurées avec le logiciel Vspec développé et mis à disposition gratuitement également par Valérie Desnoux. On les remercie grandement de leur travail pour l'apport qu'ils apportent à la communauté des astronomes amateurs et tout particulièrement Christian Buil pour tous ses travaux précurseurs. Il nous a ouvert une grande porte vers le monde de l'astrophysique amateur.

## Les étoiles de références :

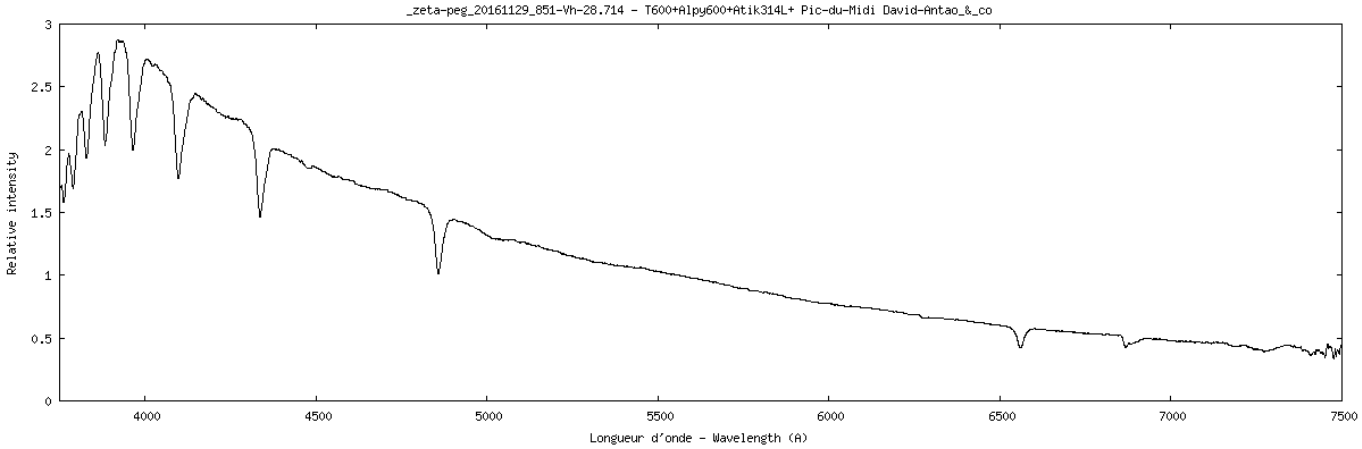
**Gam-Peg - Type spectral B2IV - Mag 2.84**
**RMS de calibration 0.32**



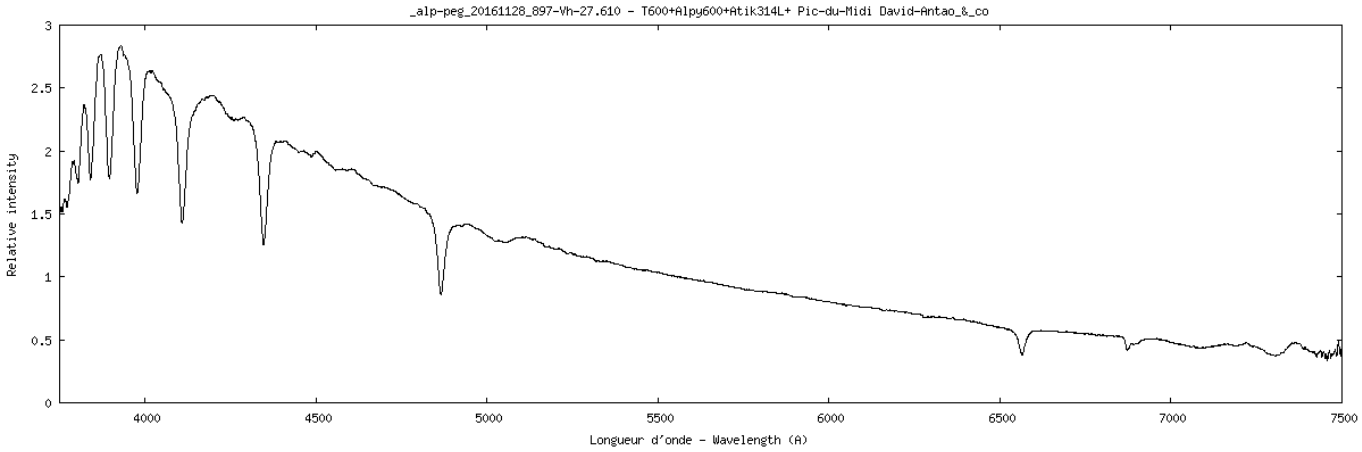

**Gam-Ori - Type spectral B2V – Mag 1.64**
**RMS de calibration 0.53**



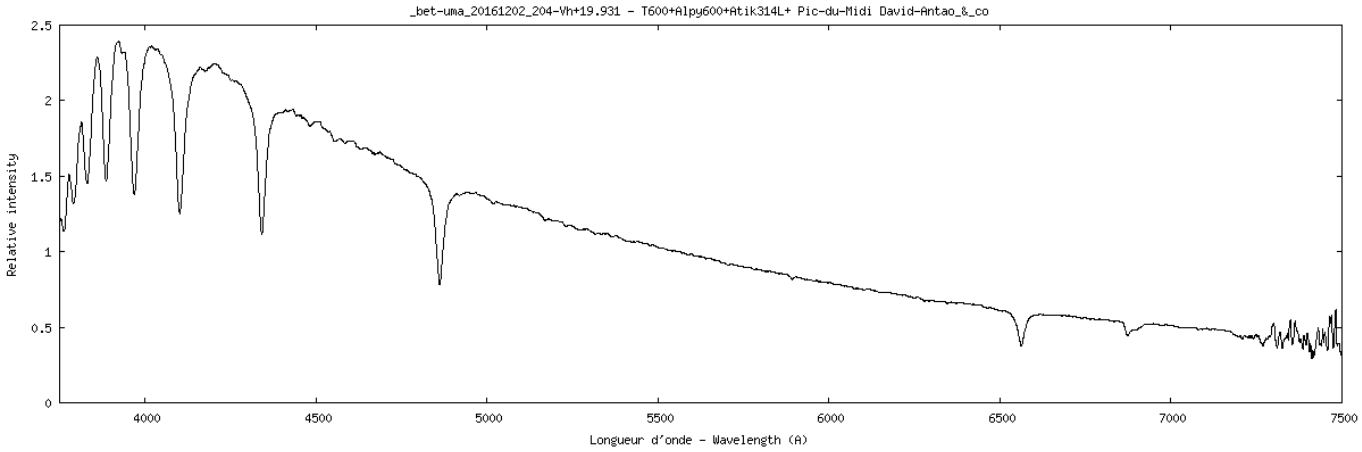

**Zeta-Peg - Type spectral B8V – Mag 3.41**
**RMS de calibration 0.70**



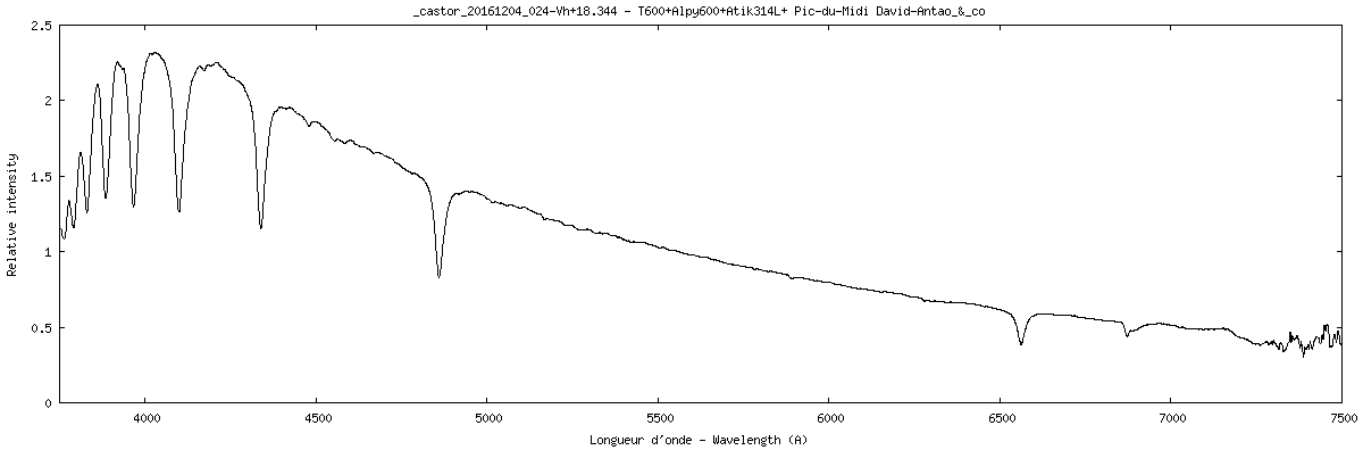
**Alpha-Peg - Type spectral B9III – Mag 2.48**
**RMS de calibration 0.52**



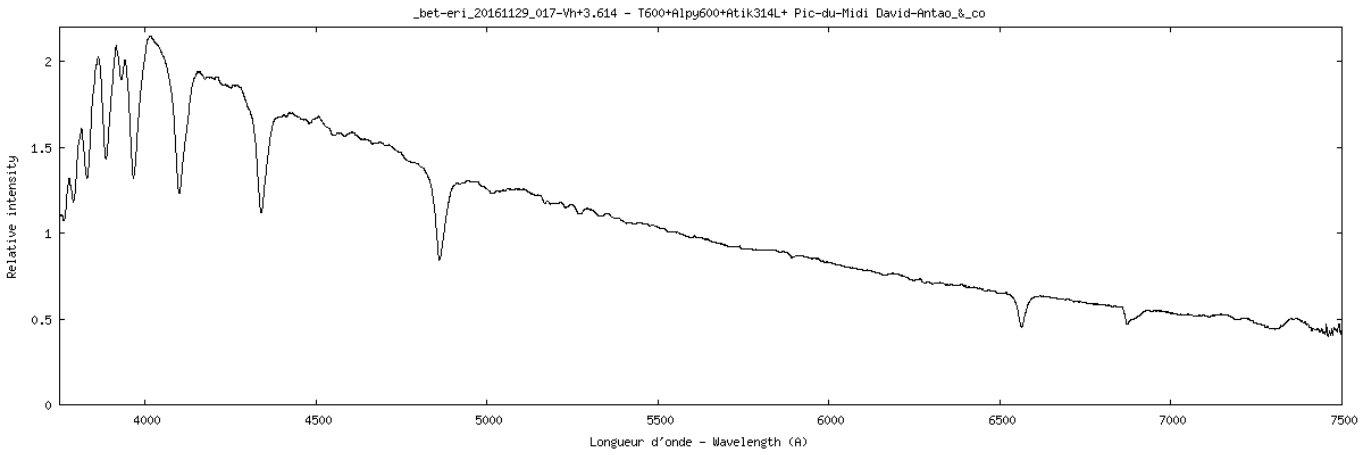

**Beta-Uma - Type spectral A1IV – Mag 2.37**
**RMS de calibration 0.50**



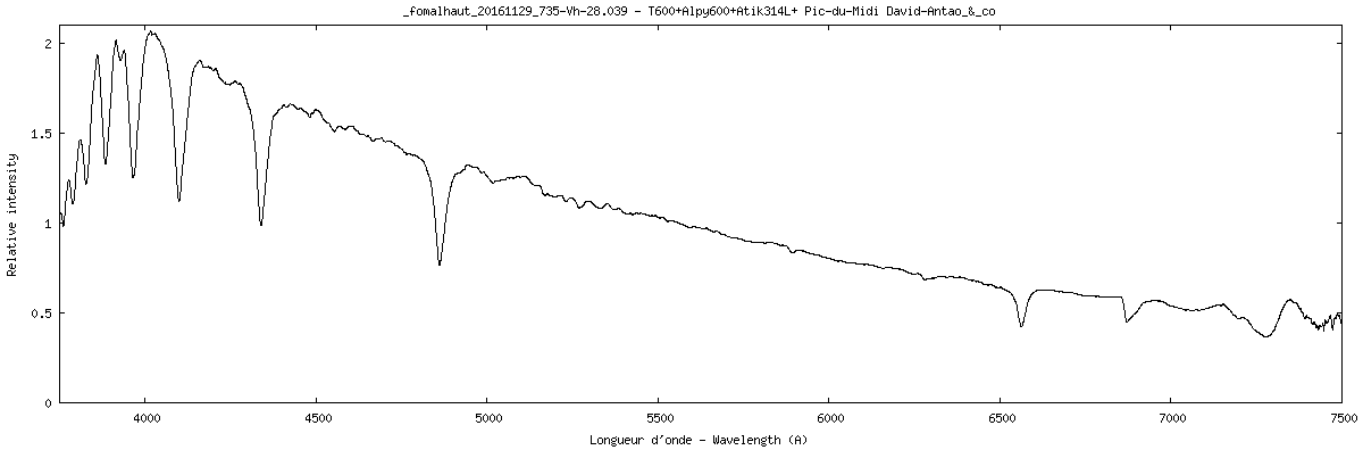

**Castor - Type spectral A1V+A2V – 1.58**
**RMS de calibration 0.87**



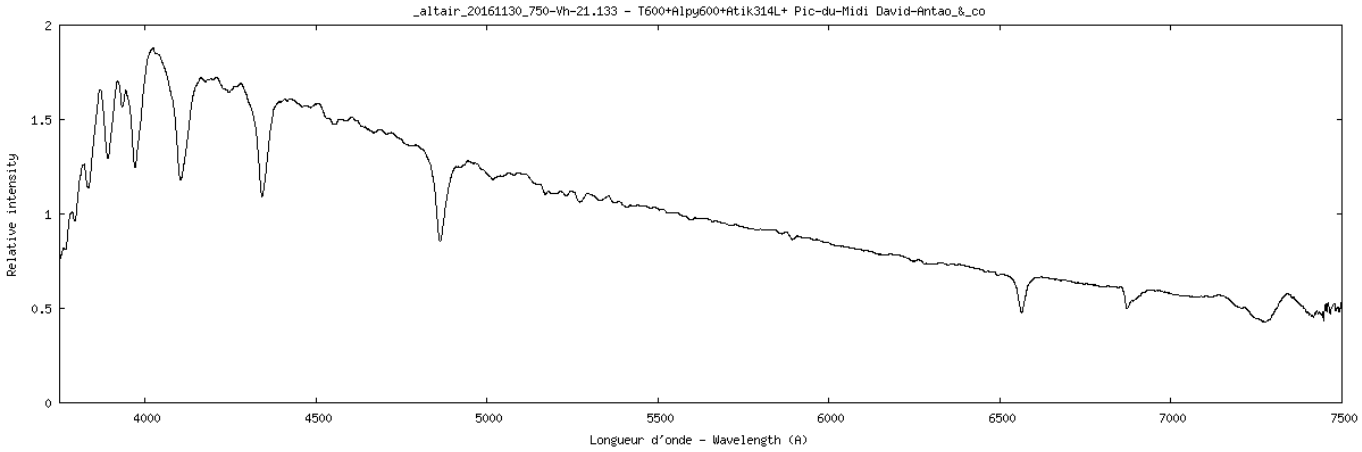

**Beta-Eri - Type spectral A3IV – Mag 2.79**
**RMS de calibration 0.51**



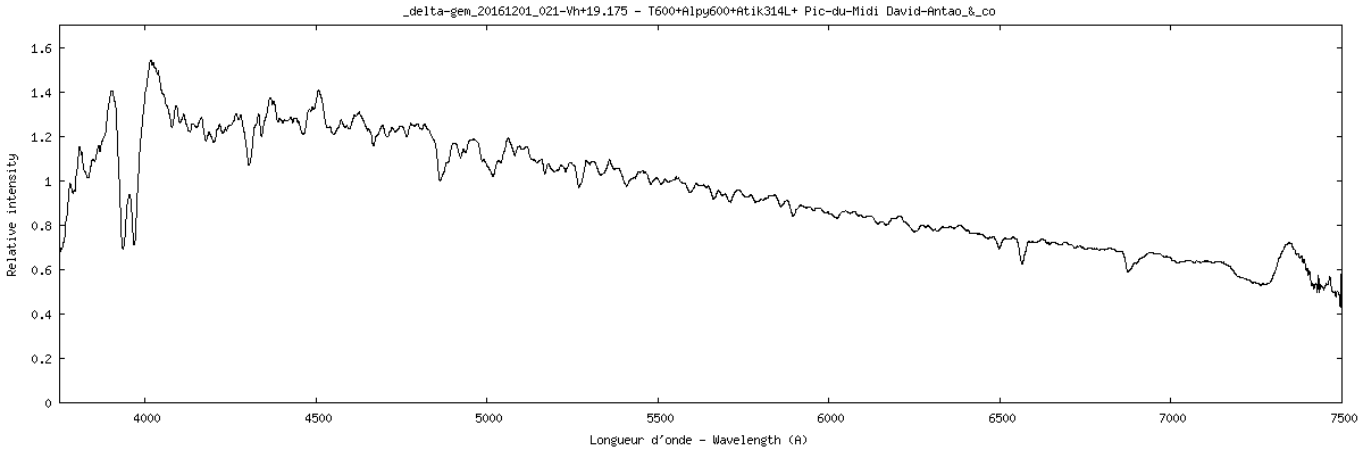
**Fomalhaut - Type spectral A4V – Mag 1.16**
**RMS de calibration 0.32**



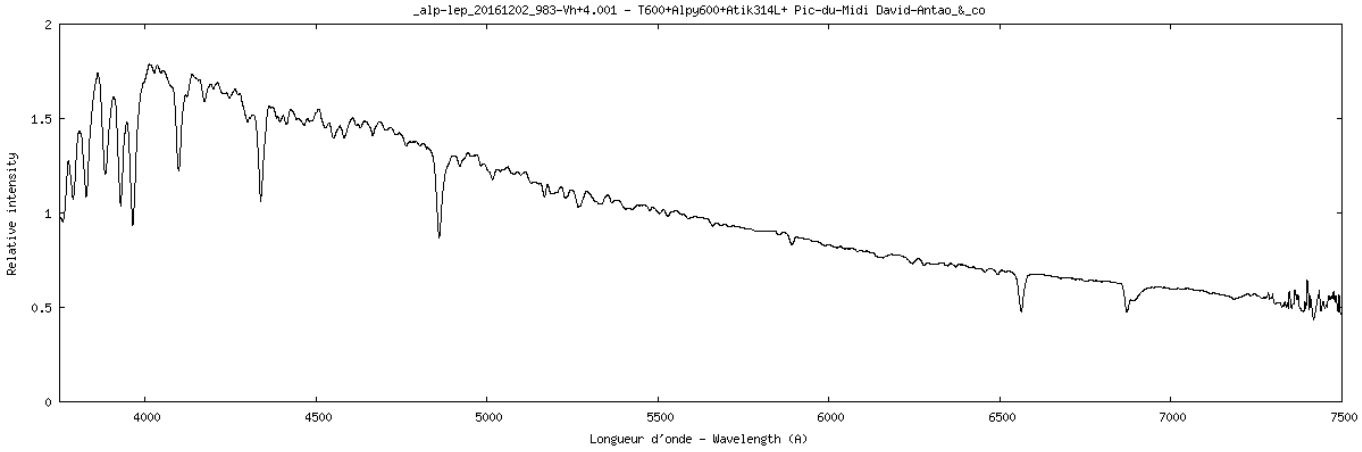

**Altair - Type spectral A7Vn – 0.76**
**RMS de calibration 0.52**



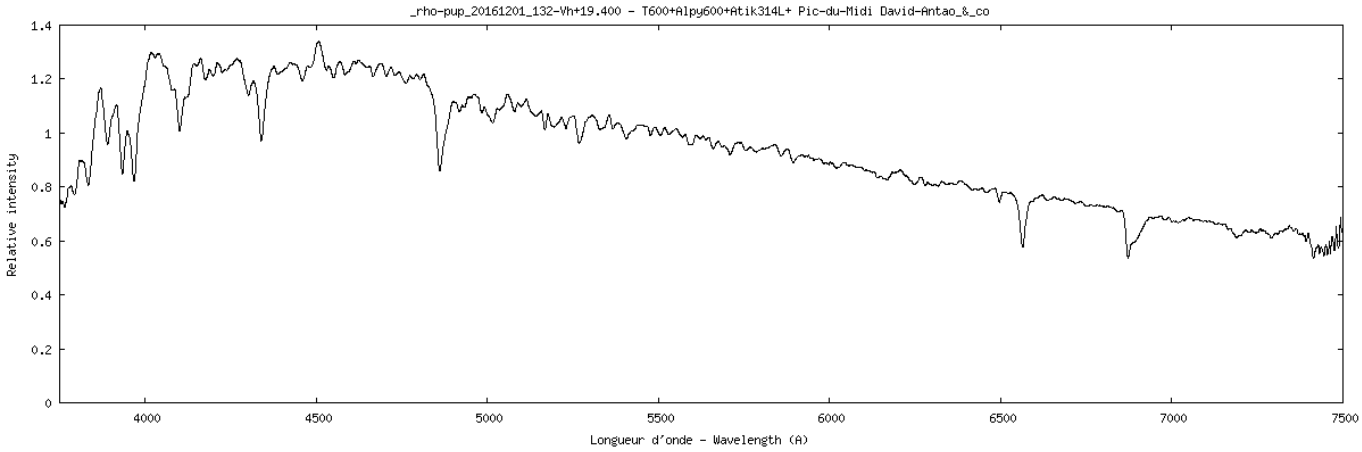

**Delta-Gem - Type spectral A8V+K6V – Mag 3.53**
**RMS de calibration 0.53**



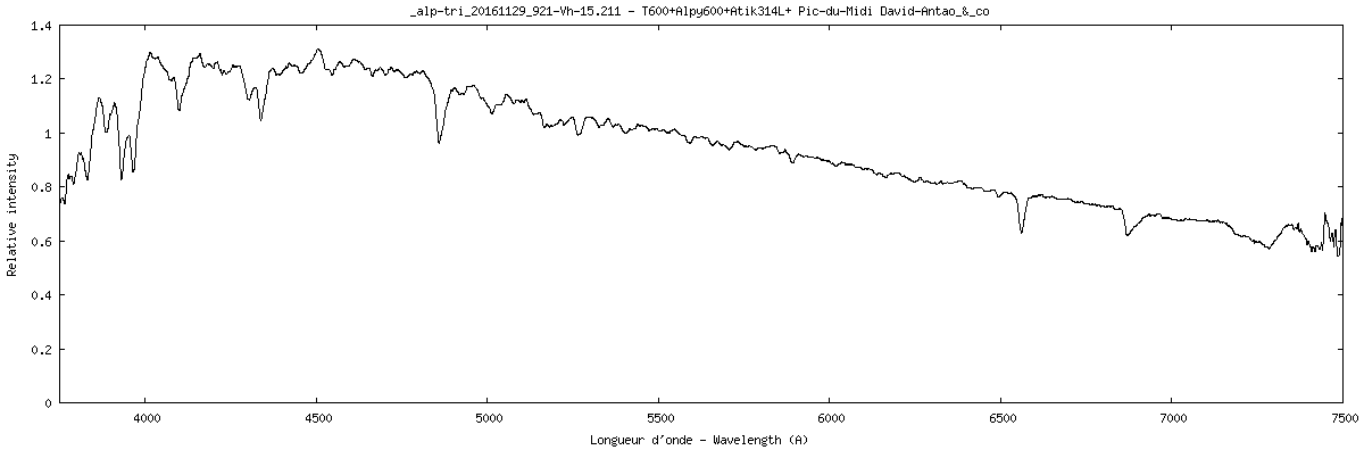

**Alpha-Lep - Type spectral F0Ib – 2.57**
**RMS de calibration 0.43**



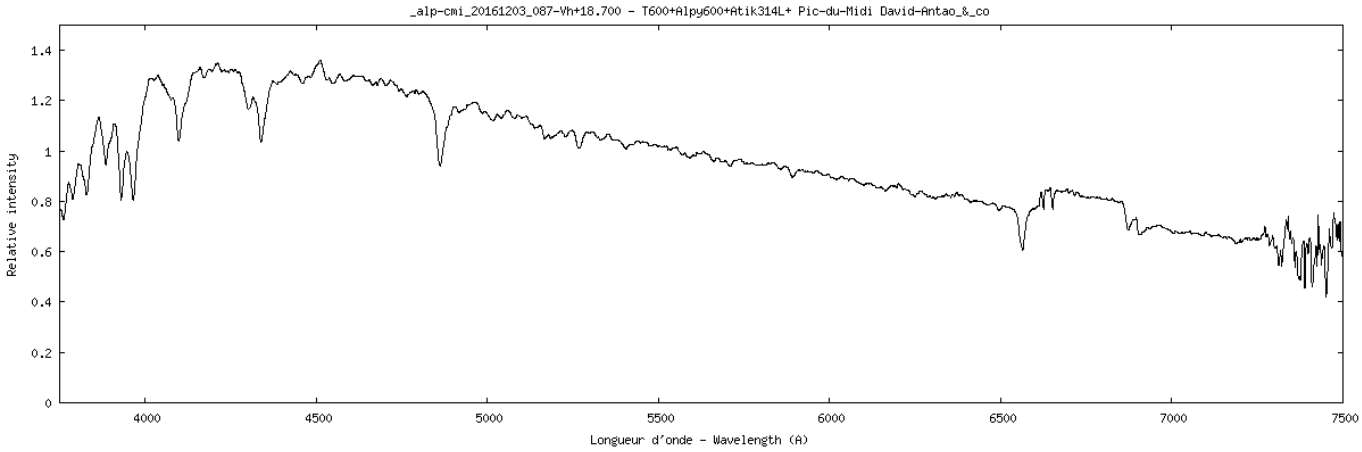
**15Rho-Pup - Type spectral F5II – 2.81**
**RMS de calibration 0.52**



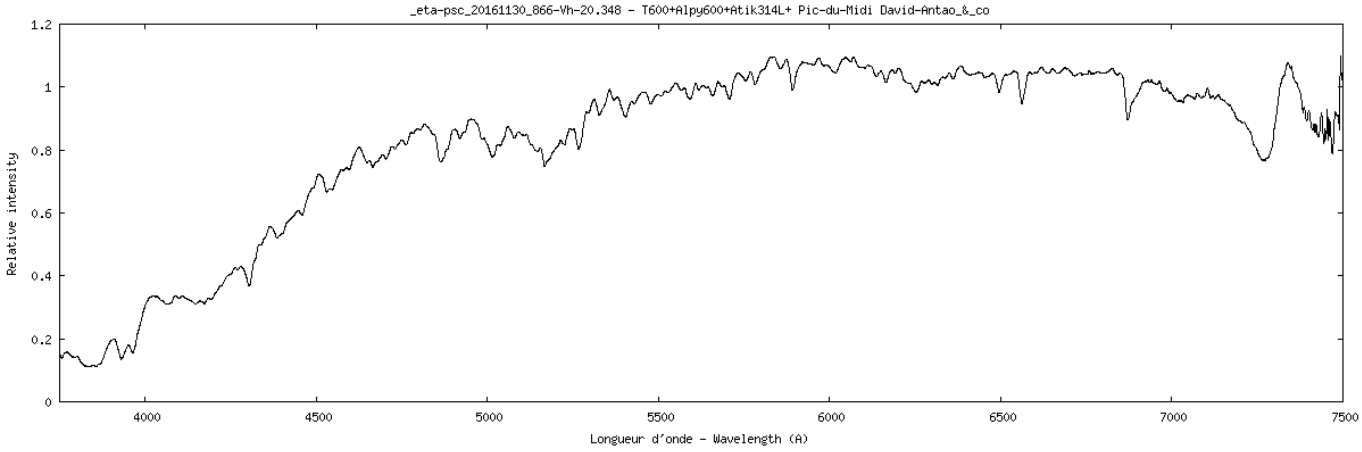

**Alpha-Tri - Type spectral F5III – Mag 3.42**
**RMS de calibration 0.72**



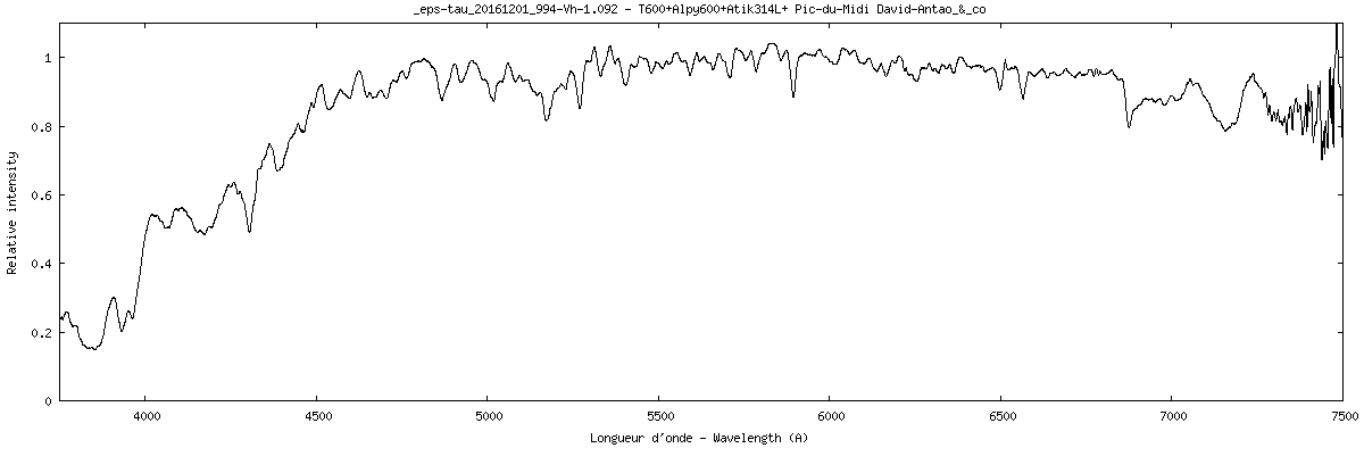

**Procyon Alpha-Cmi - Type spectral F5IV-V – Mag 0.37**
**RMS de calibration 0.43**



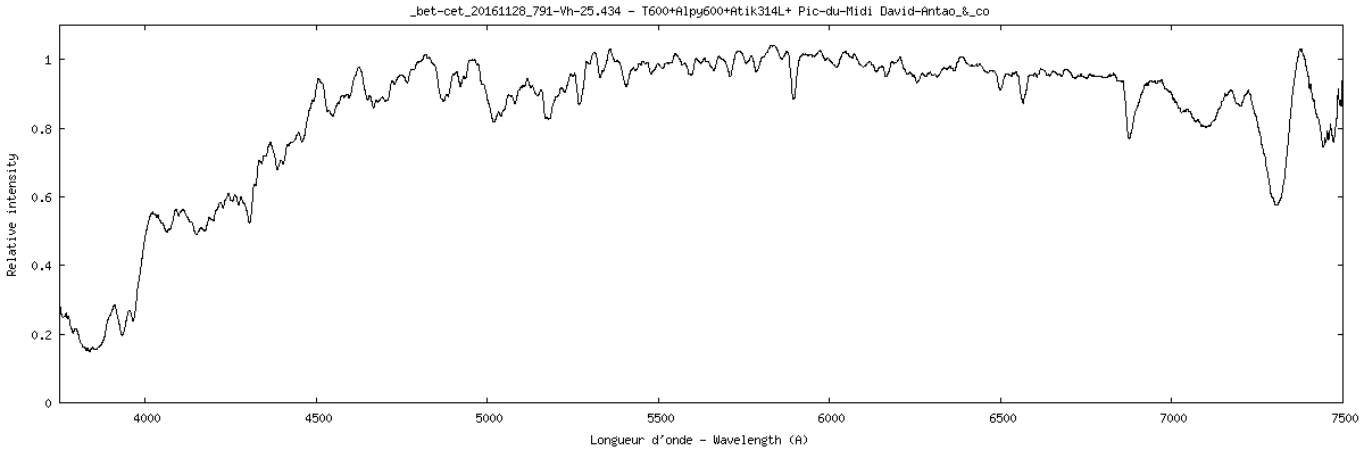

**Eta-Psc - Type spectral G7IIIa – Mag 3.62**
**RMS de calibration 0.35**



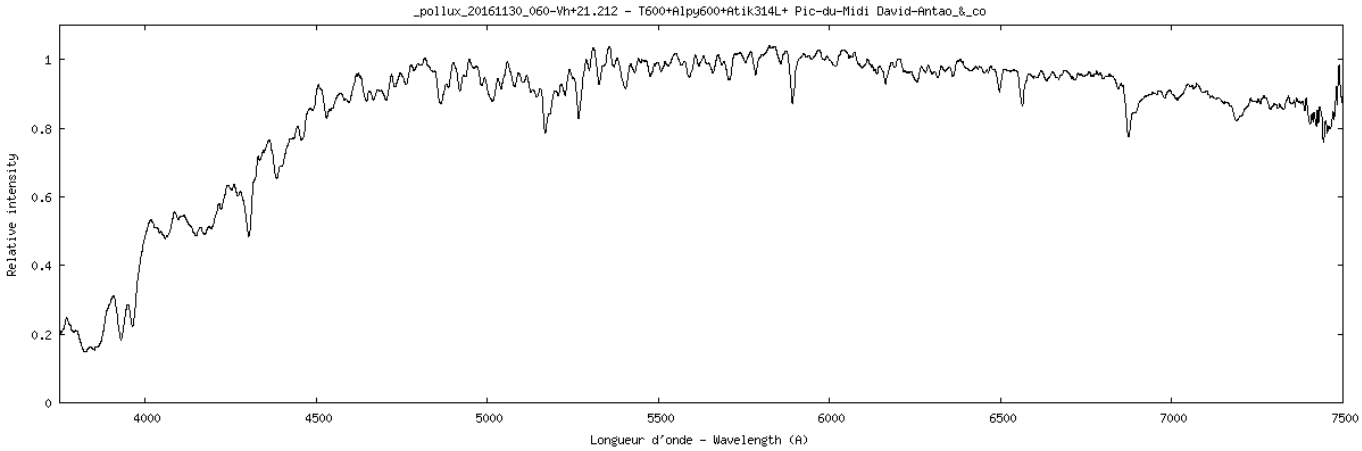
**Eps-Tau - Type spectral G9.5III – Mag 3.53**
**RMS de calibration 0.50**



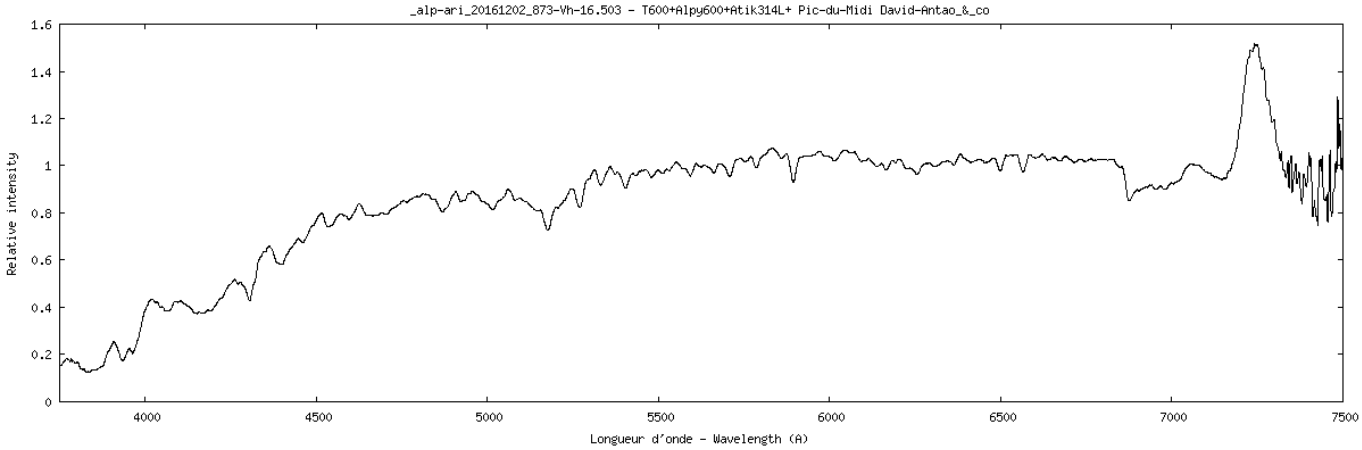

**Beta-Cet - Type spectral G9.5IIICH – Mag 2.01**
**RMS de calibration 0.50**



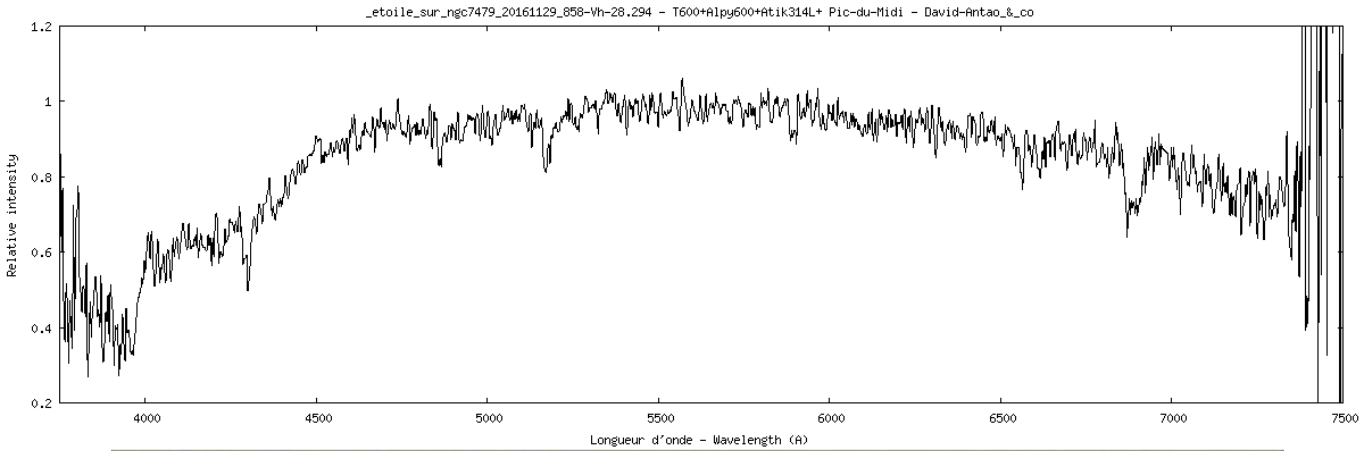

**Pollux - Type spectral K0IIIb – Mag 1.14**
**RMS de calibration 0.40**

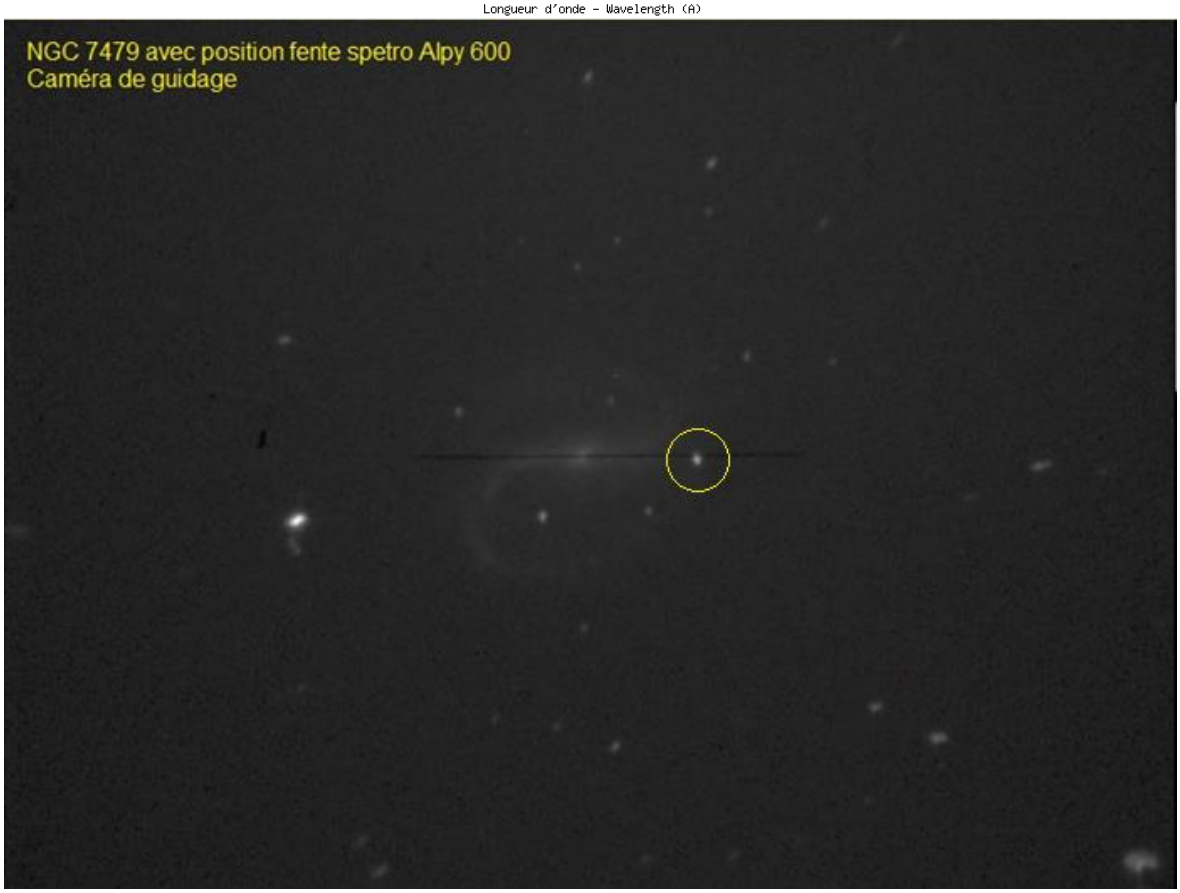


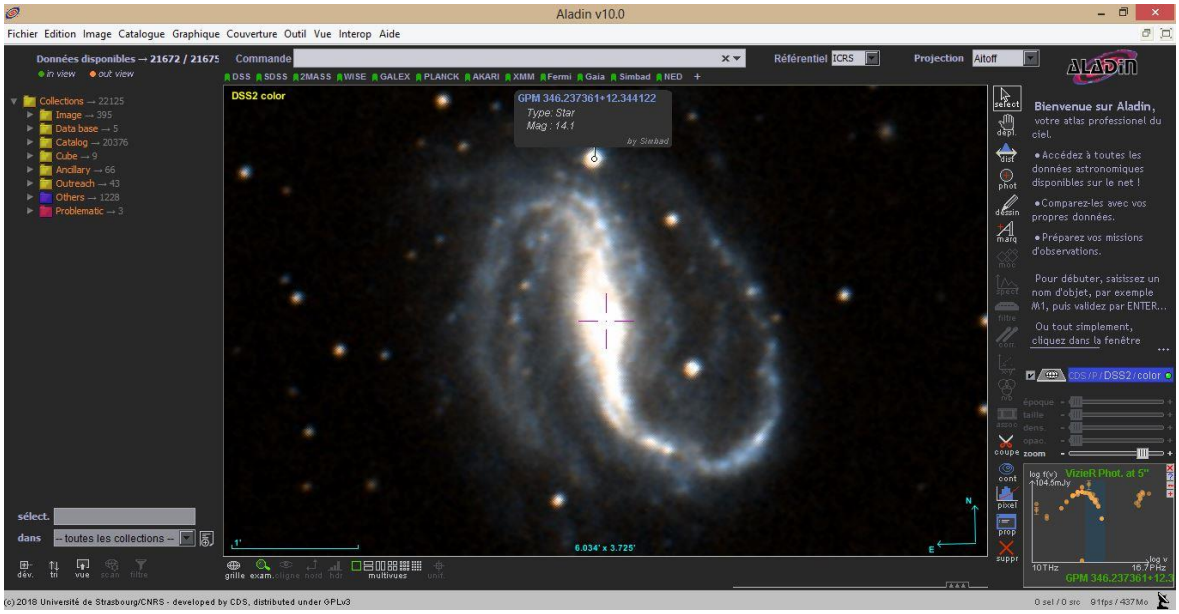

**Alpha-Ari - Type spectral K2-IIIb – Mag 2.01**
**RMS de calibration 0.46**

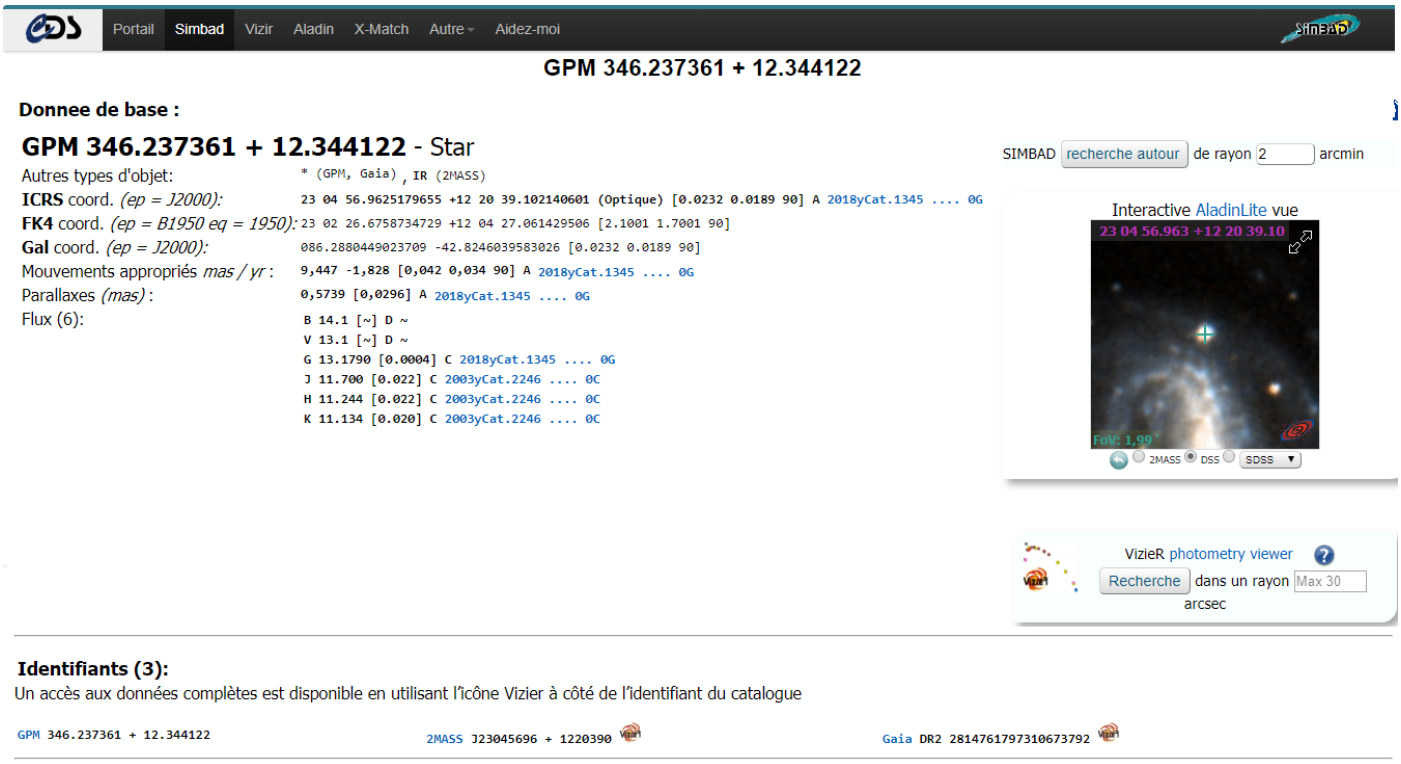


**Etoile Gaia DR2 2814761797310673792 (GPM346.237361+12.344122) situé sur NGC7479 type spectral non répertorié**



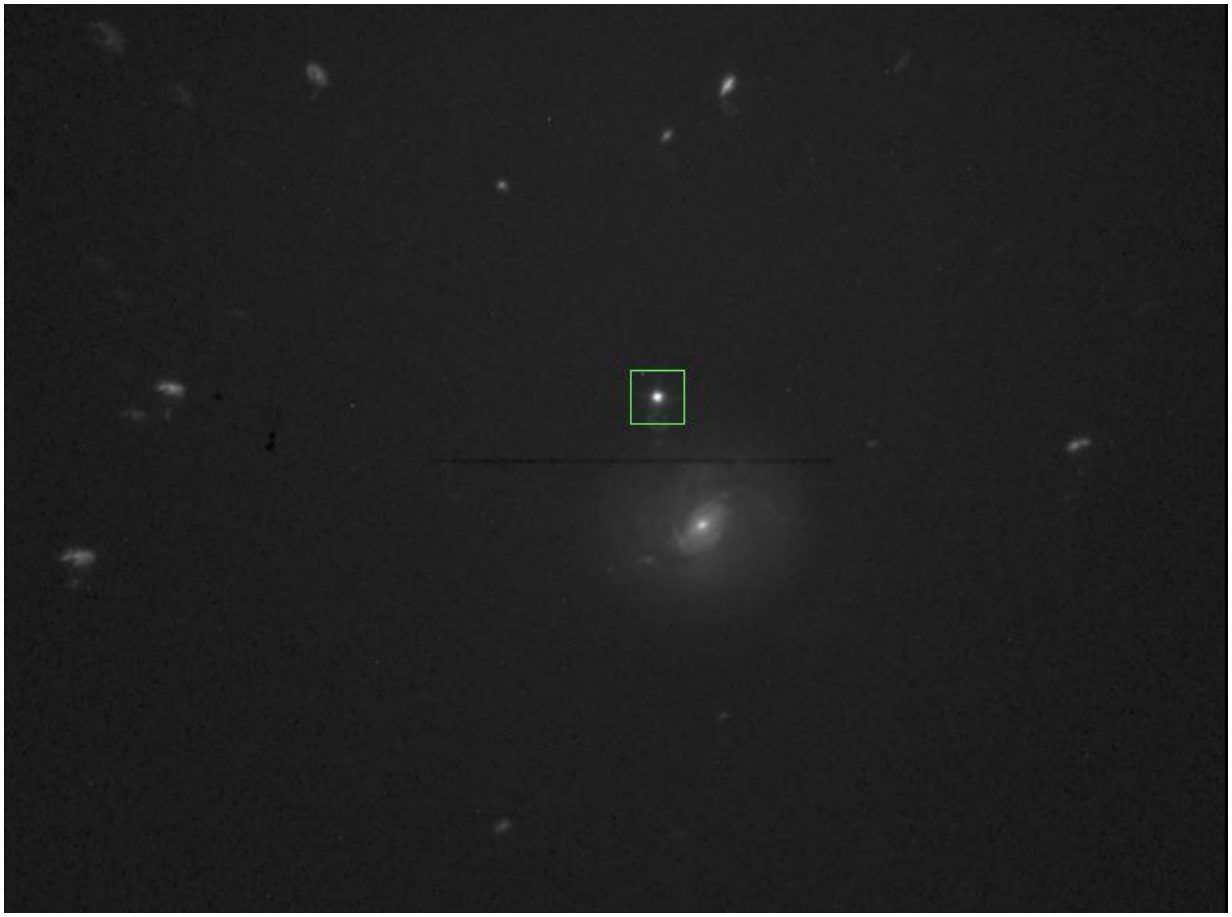



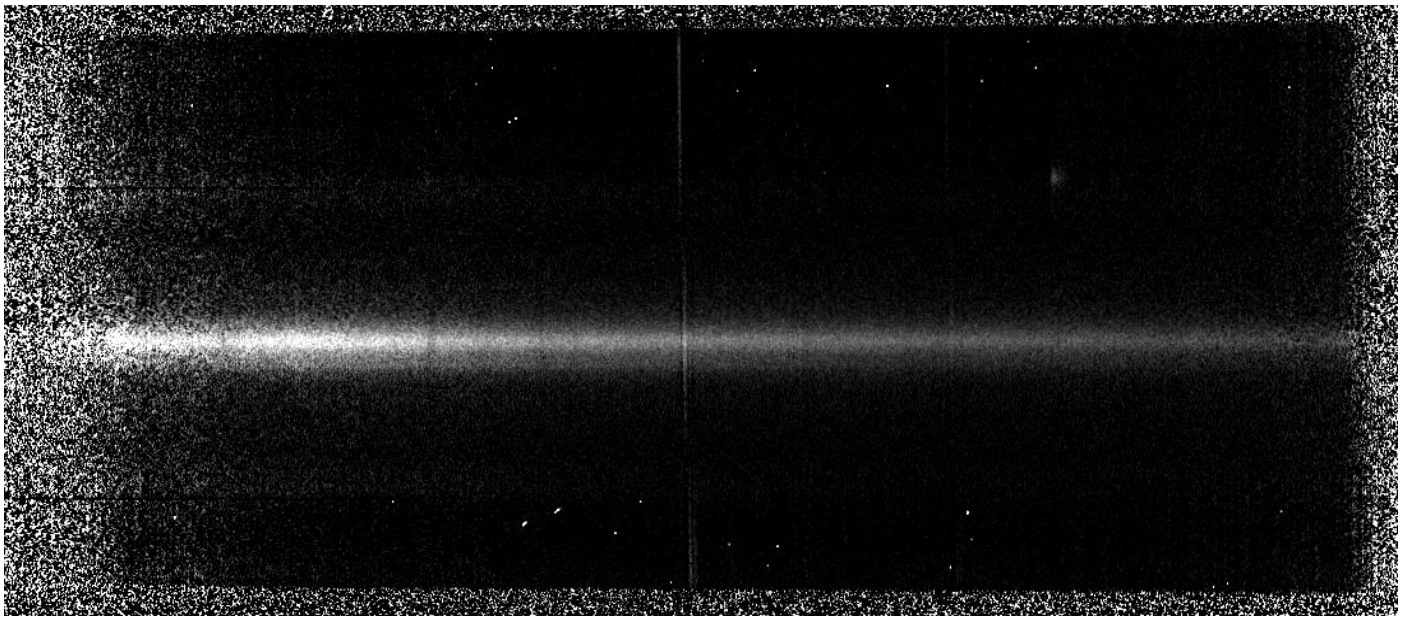


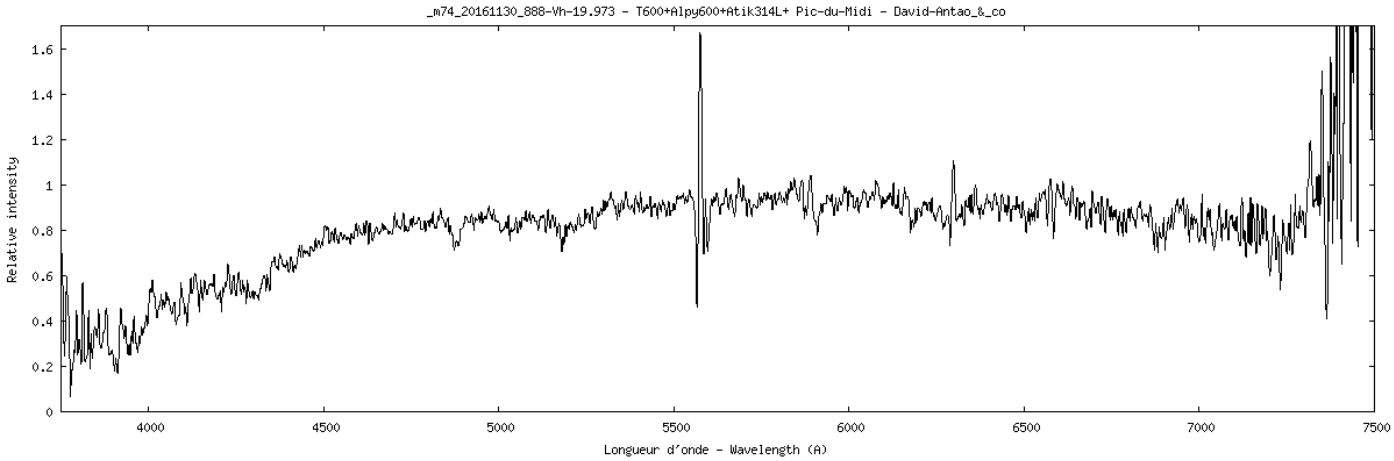

# Les différents spectres des galaxies et quasar en image 2D et 1D :

Les informations contenues dans l'image 2D sont aussi très importante !

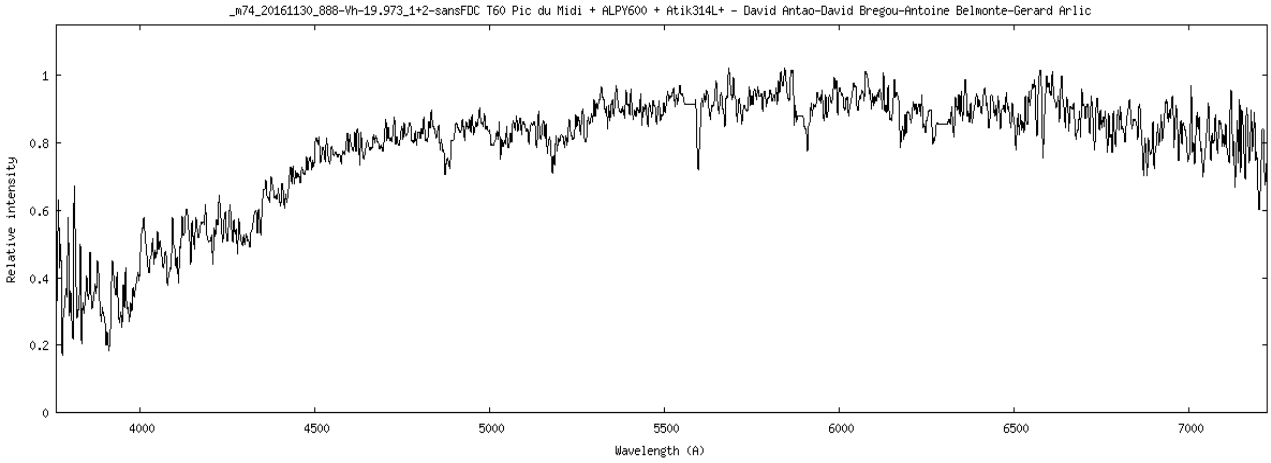
## *M74*



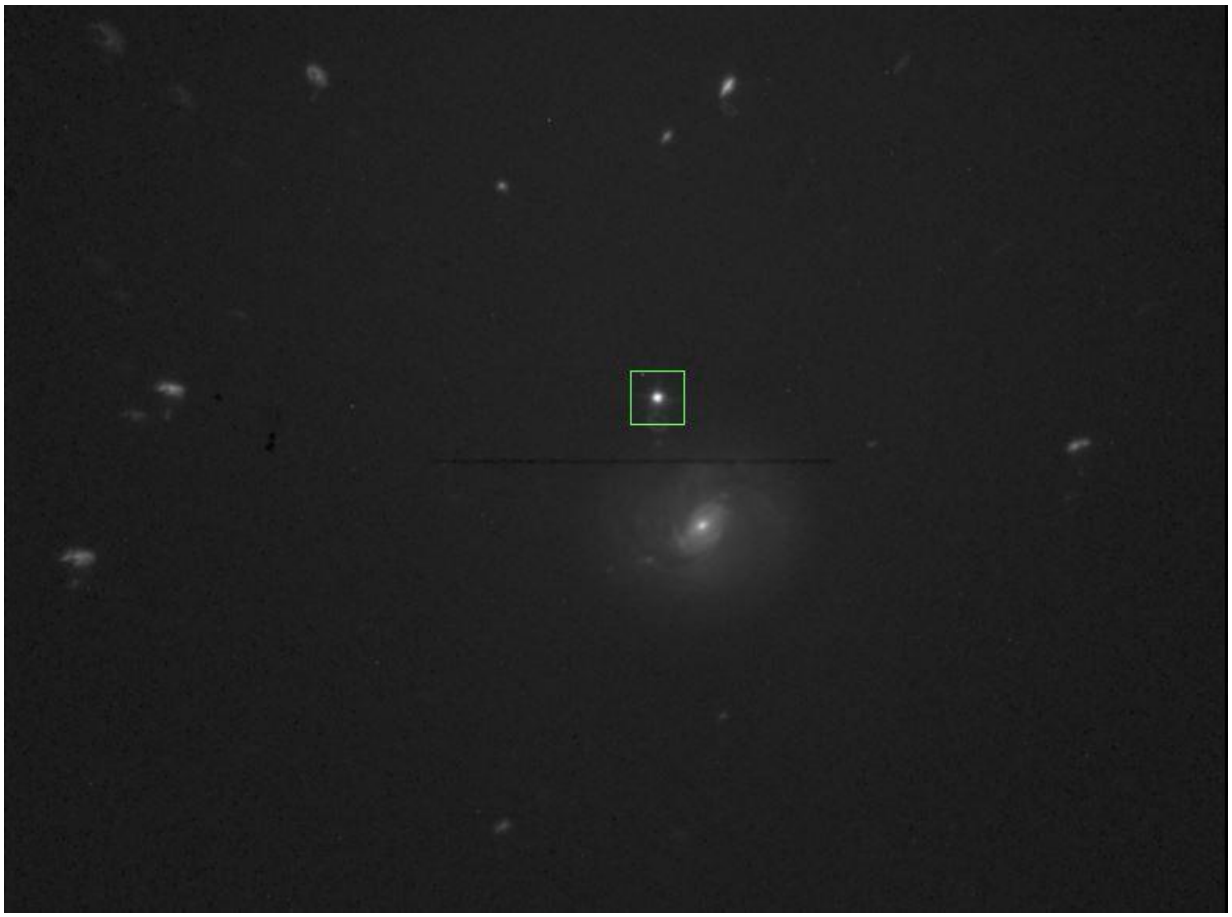


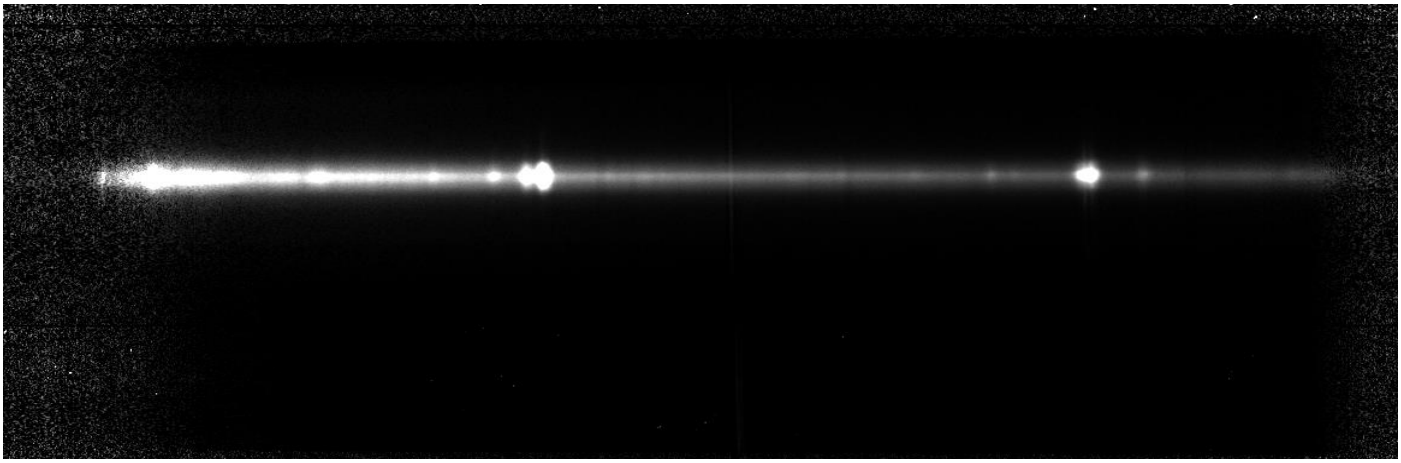


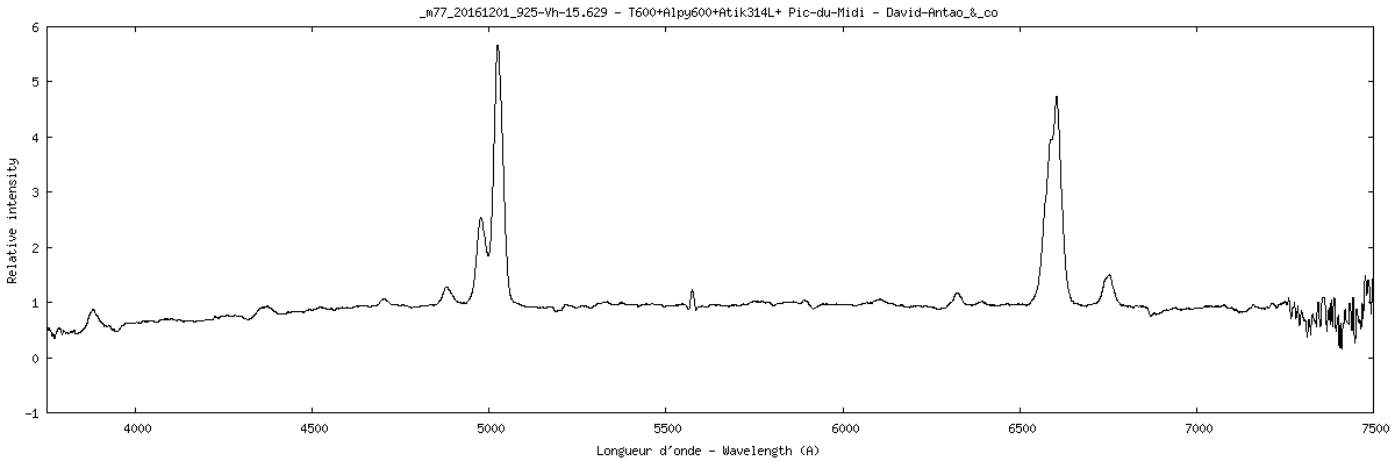

## Suppression reste raies du fond du ciel



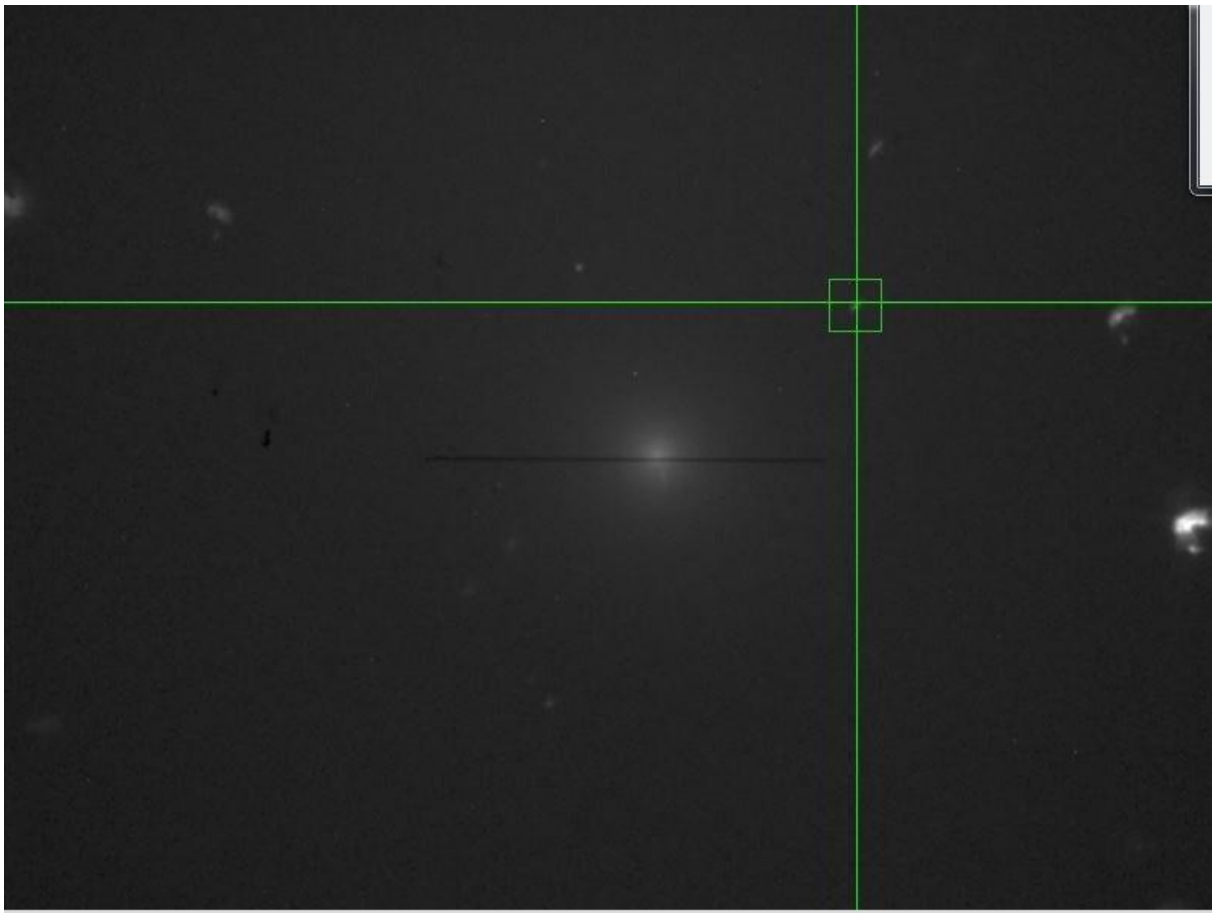
# M77

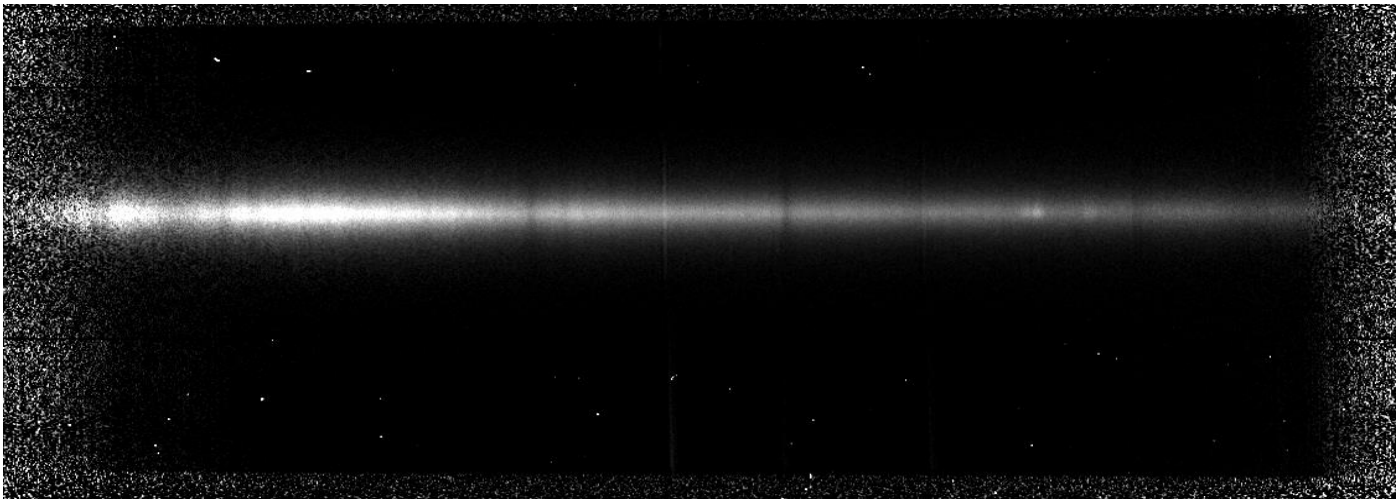


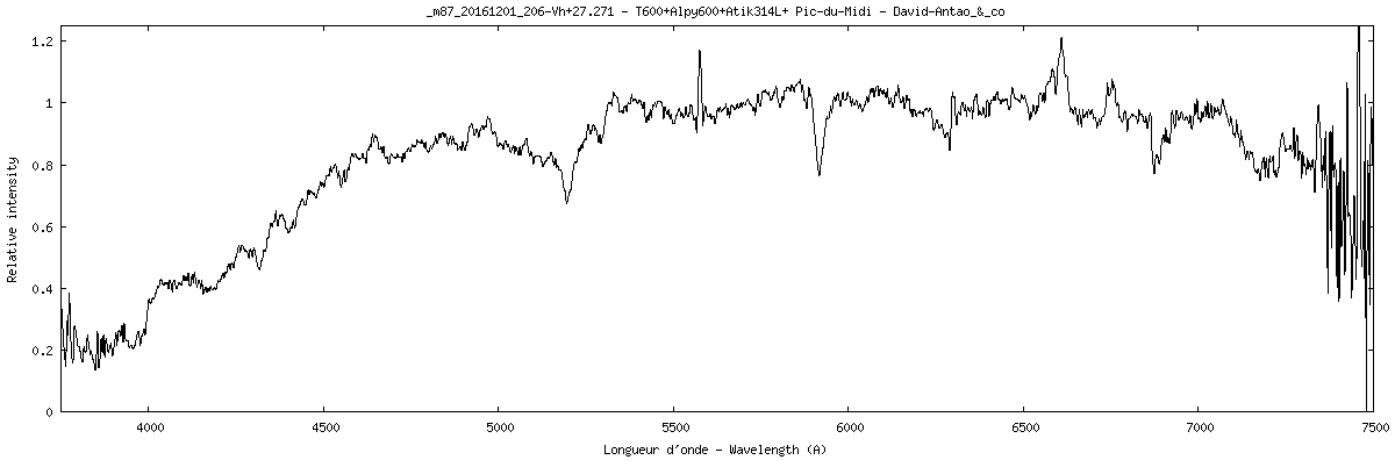



_m77_20161201_925-Vh-15.629 - T600+Alpy600+Atik314L+ Pic-du-Midi - David-Antao_&_co
Relative intensity
Longueur d'onde - Wavelength (A)
6
5
4
3
2
1
0
-1
4000
4500
5000
5500
6000
6500
7000
7500

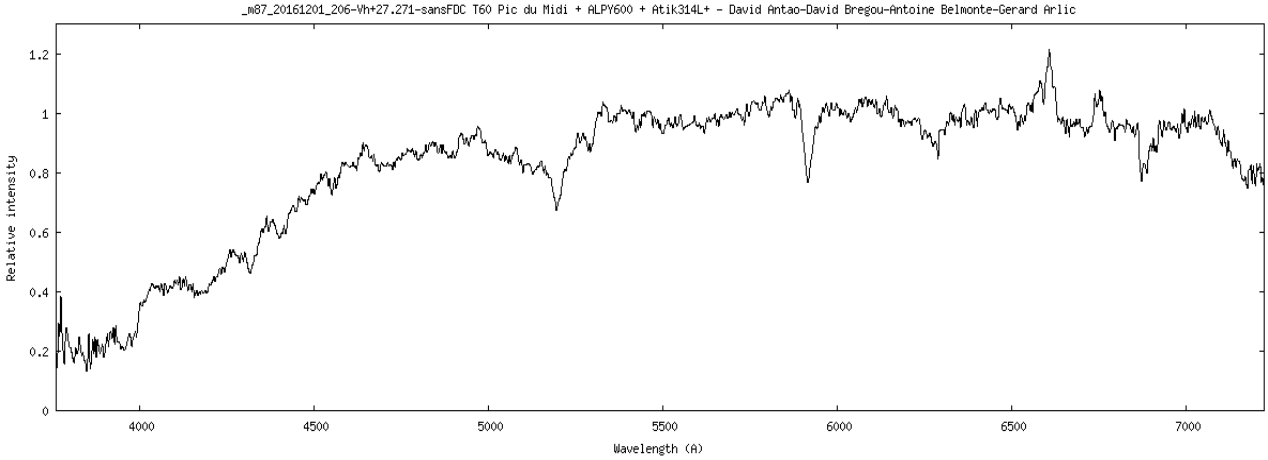
# M87



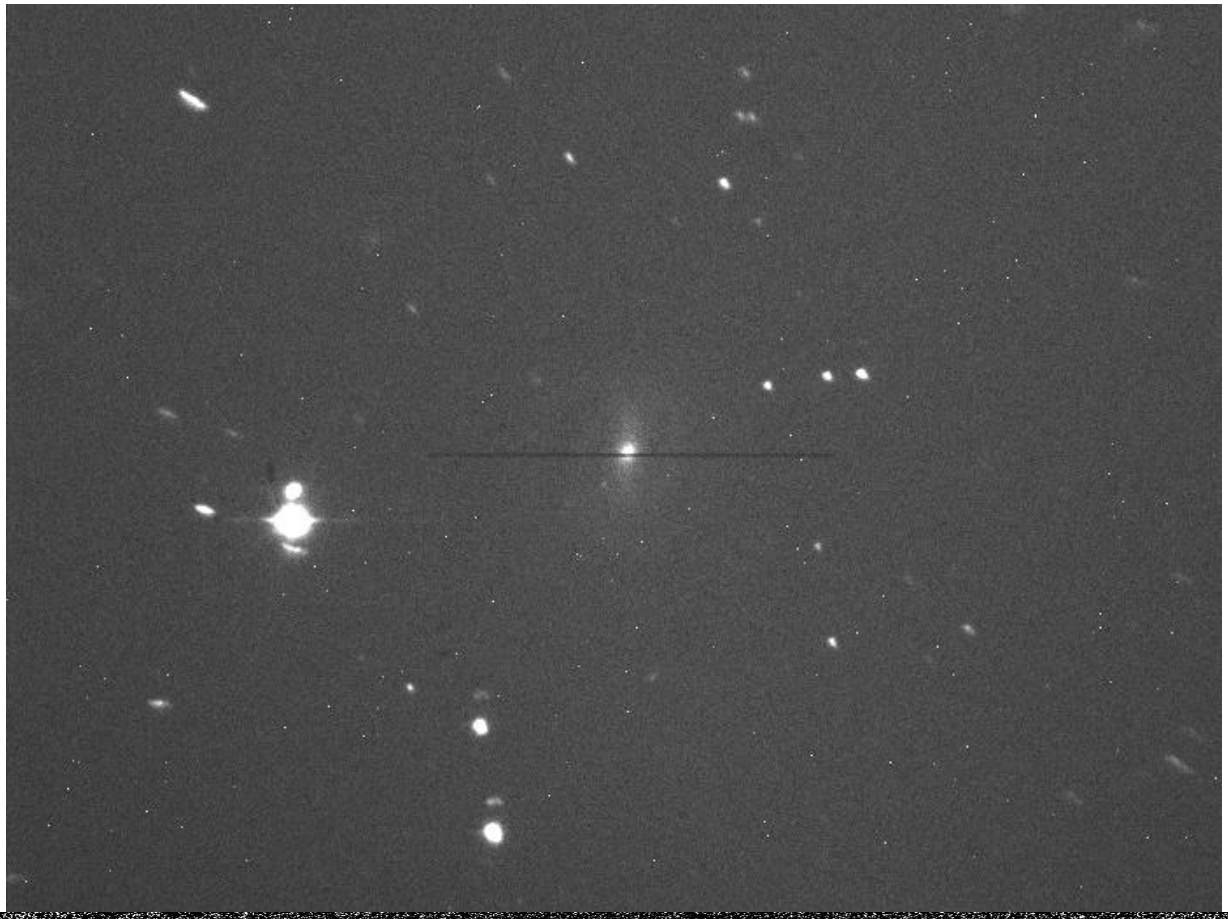


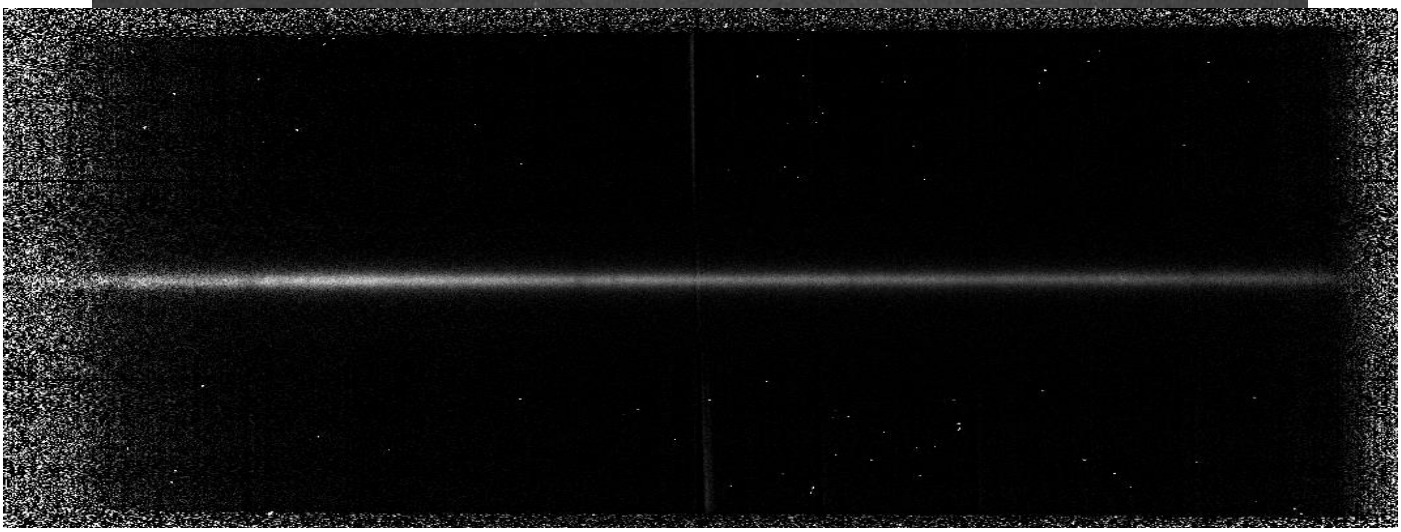

_m87_20161201_206-Vh+27.271 - T600+Alpy600+Atik314L+ Pic-du-Midi - David-Antao_&_co
Relative intensity
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
4000
4500
5000
5500
6000
6500
7000
7500
Longueur d'onde - Wavelength (A)

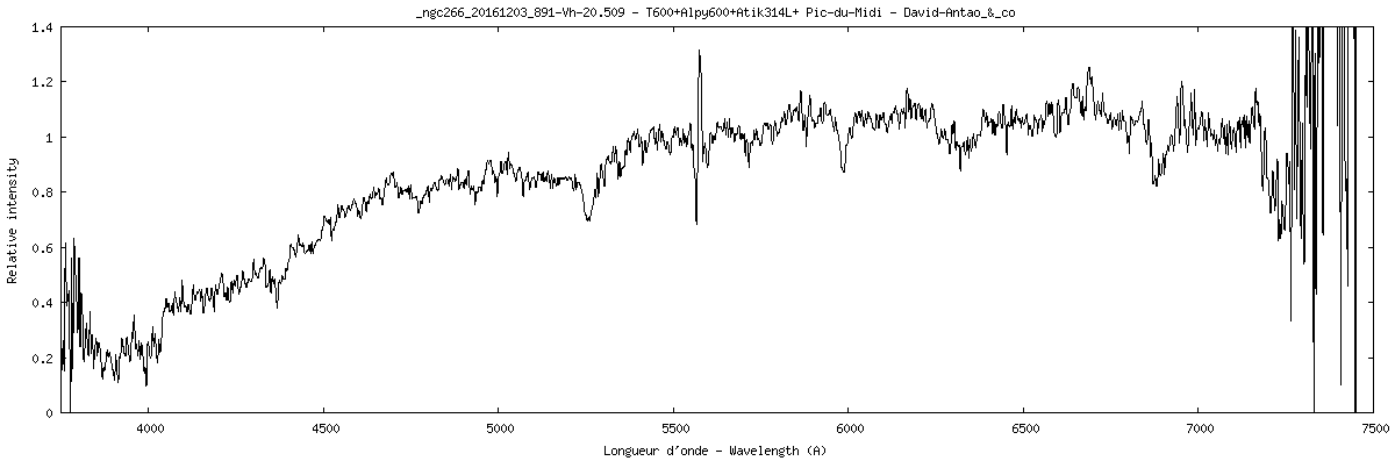
**Suppression reste raies du fond du ciel**



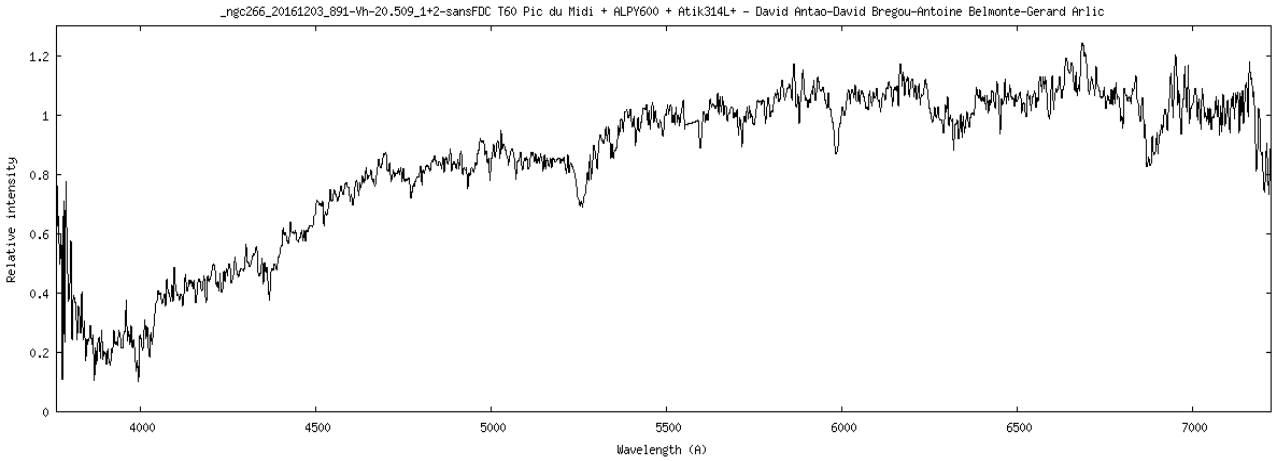

## *NGC266*



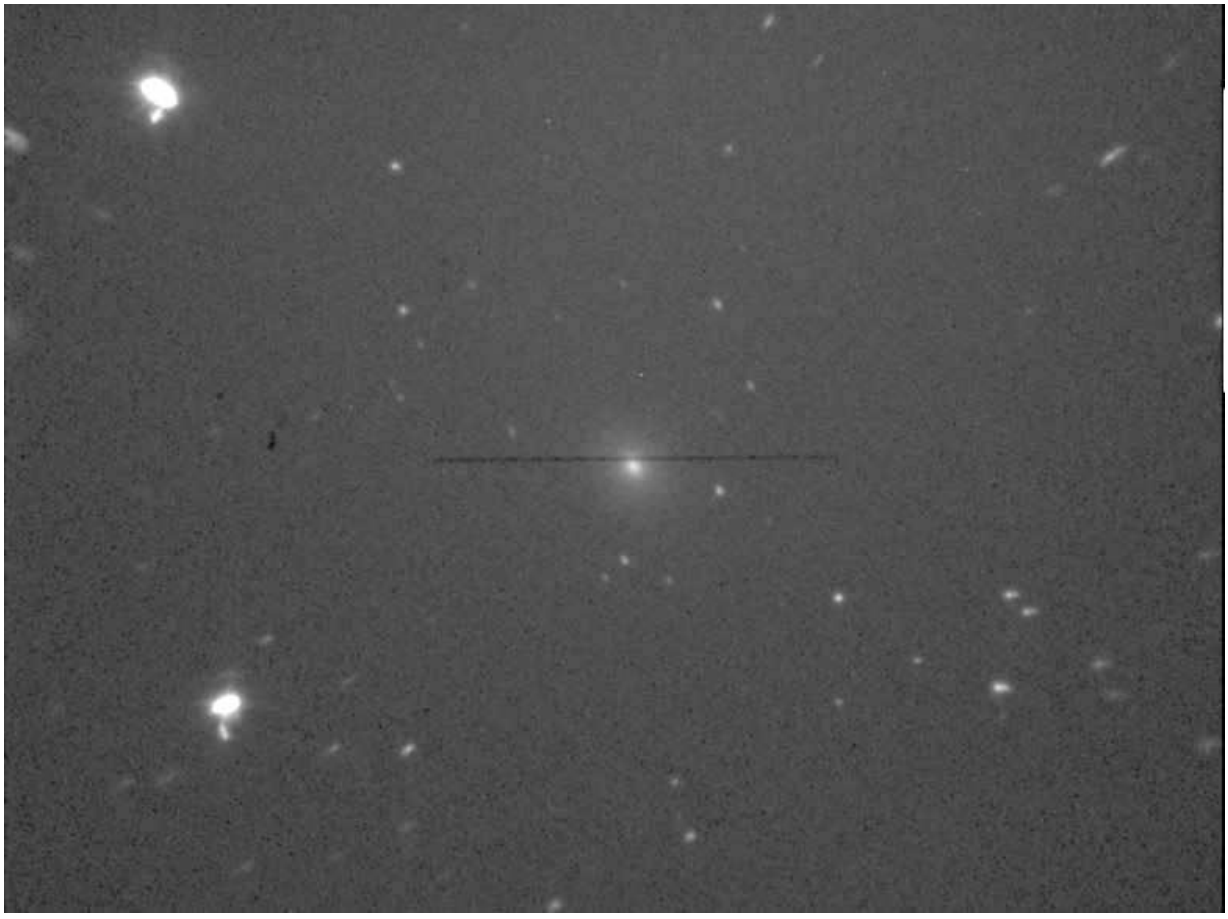


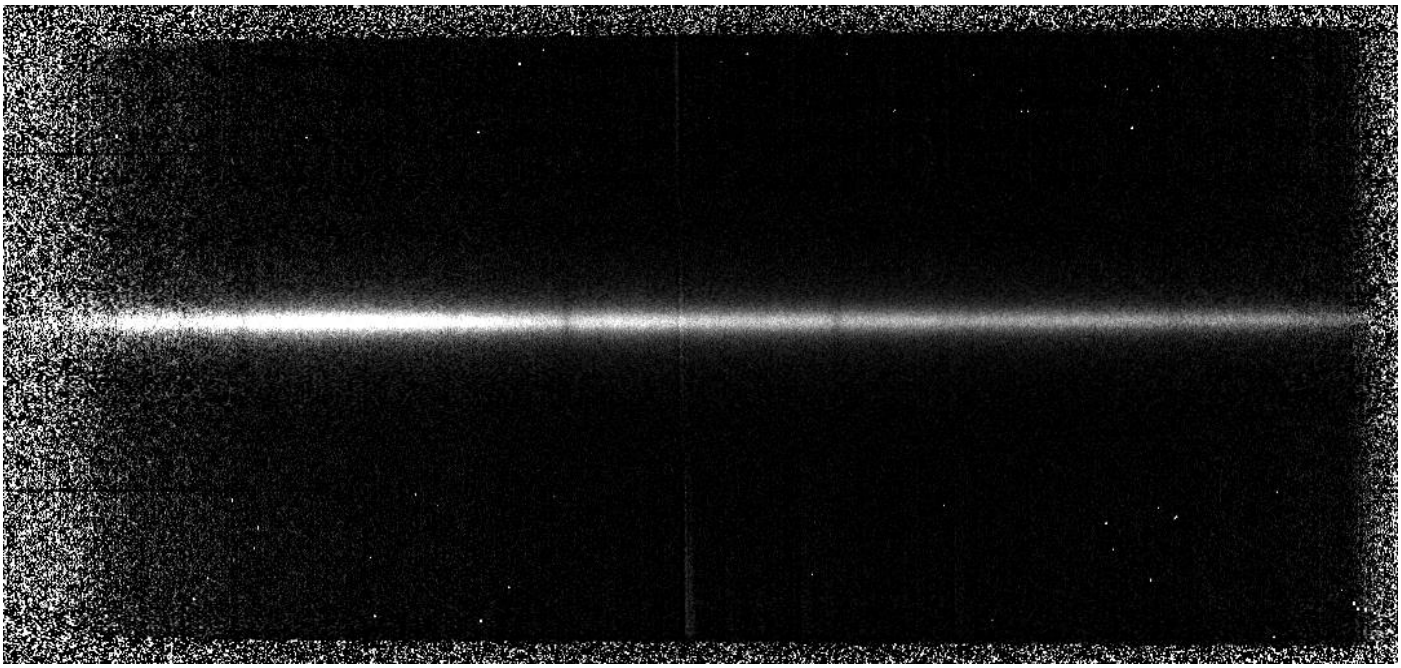


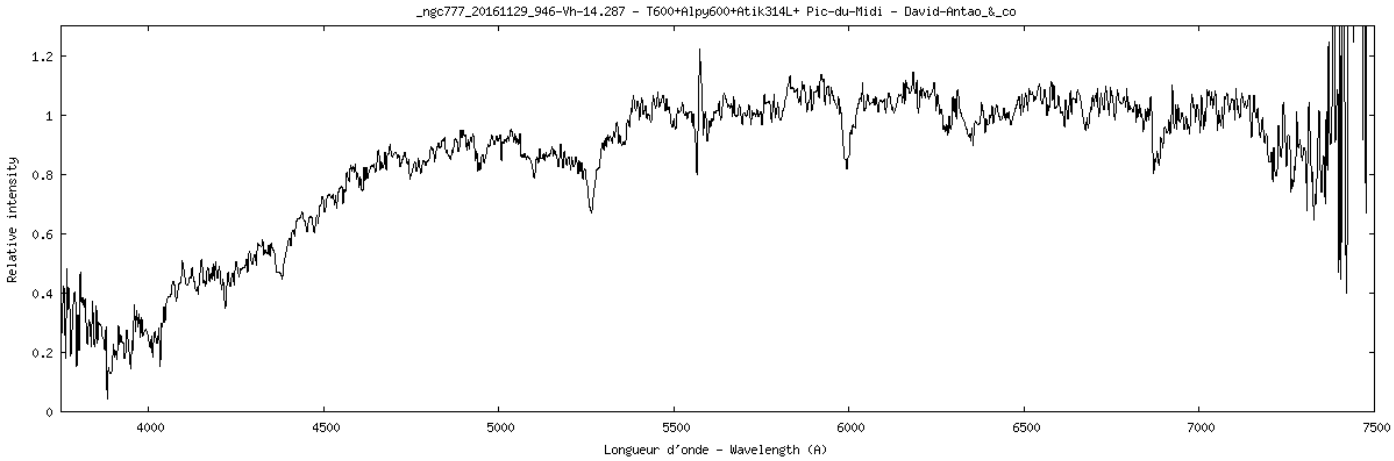

**Suppression reste raies du fond du ciel**



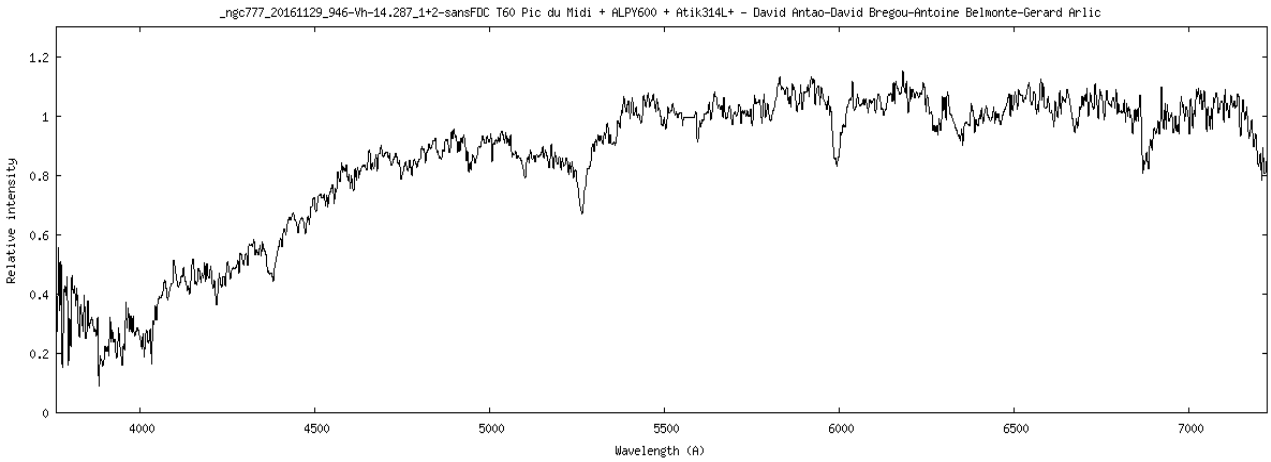

## *NGC777*



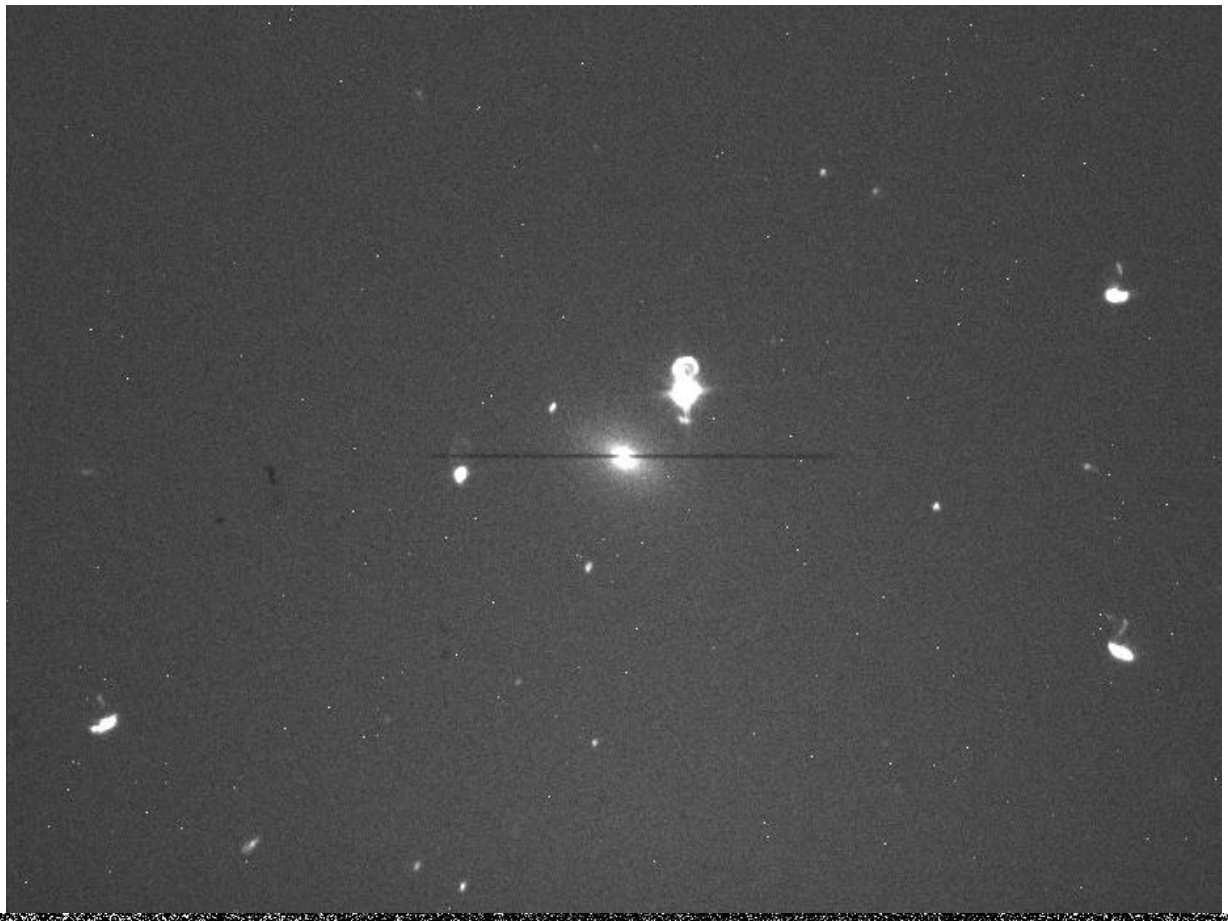


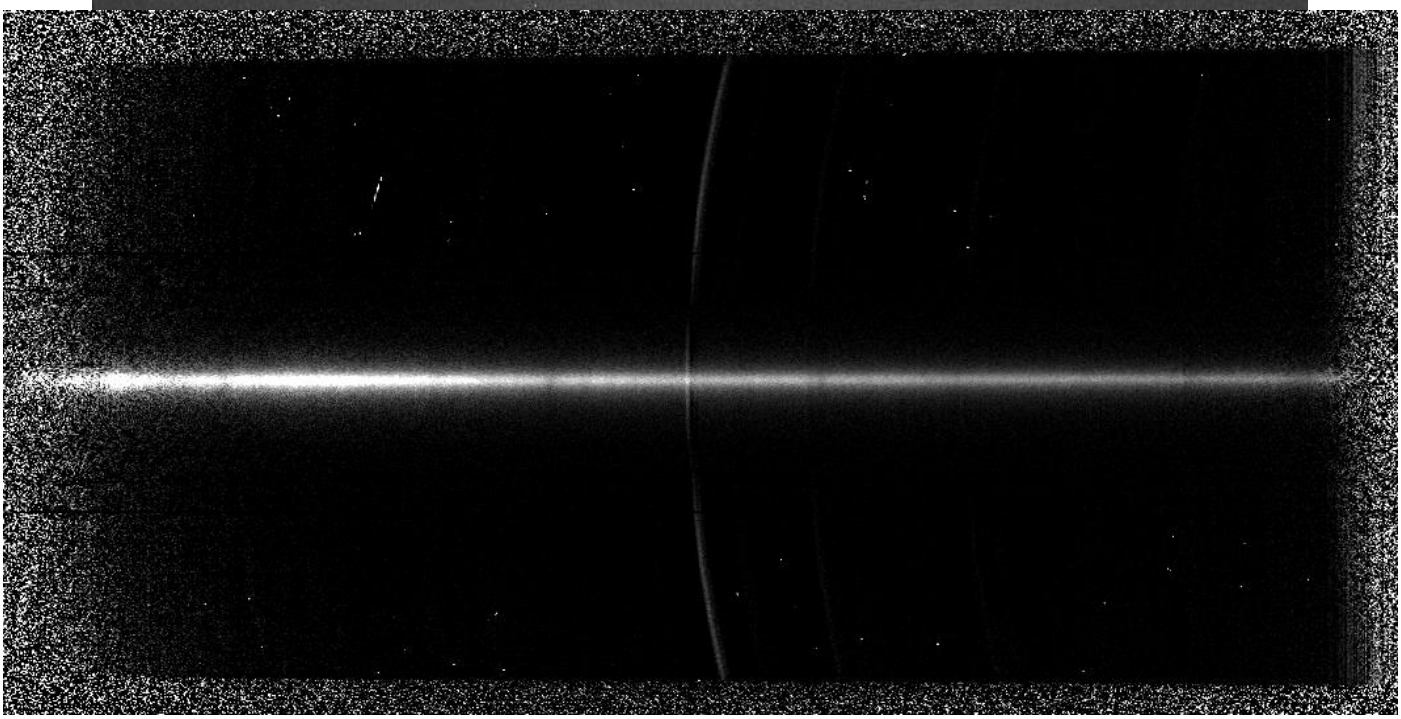



## Suppression reste raies du fond du ciel

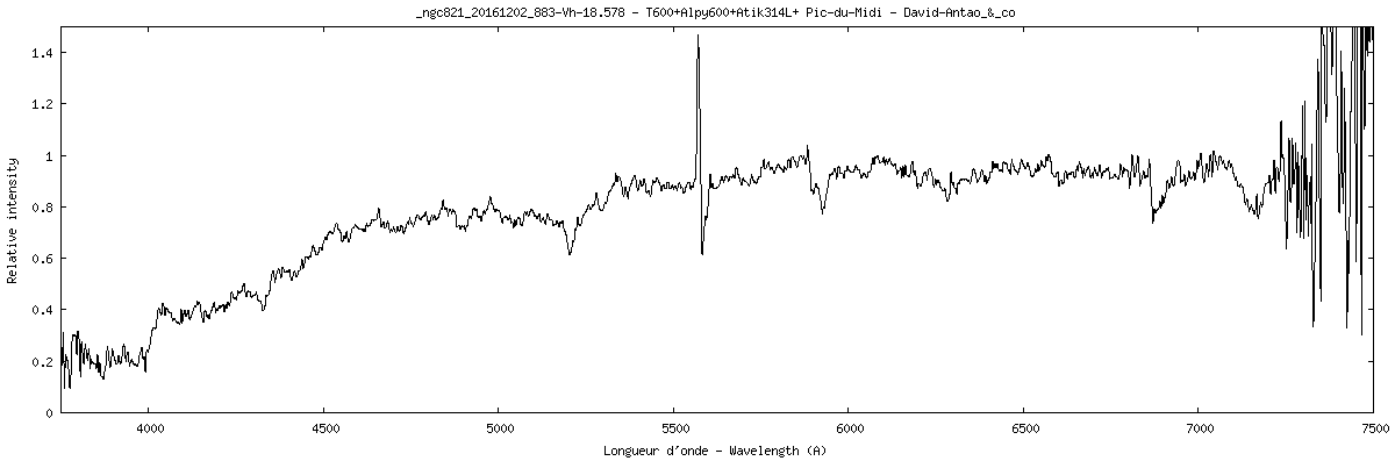


# NGC821

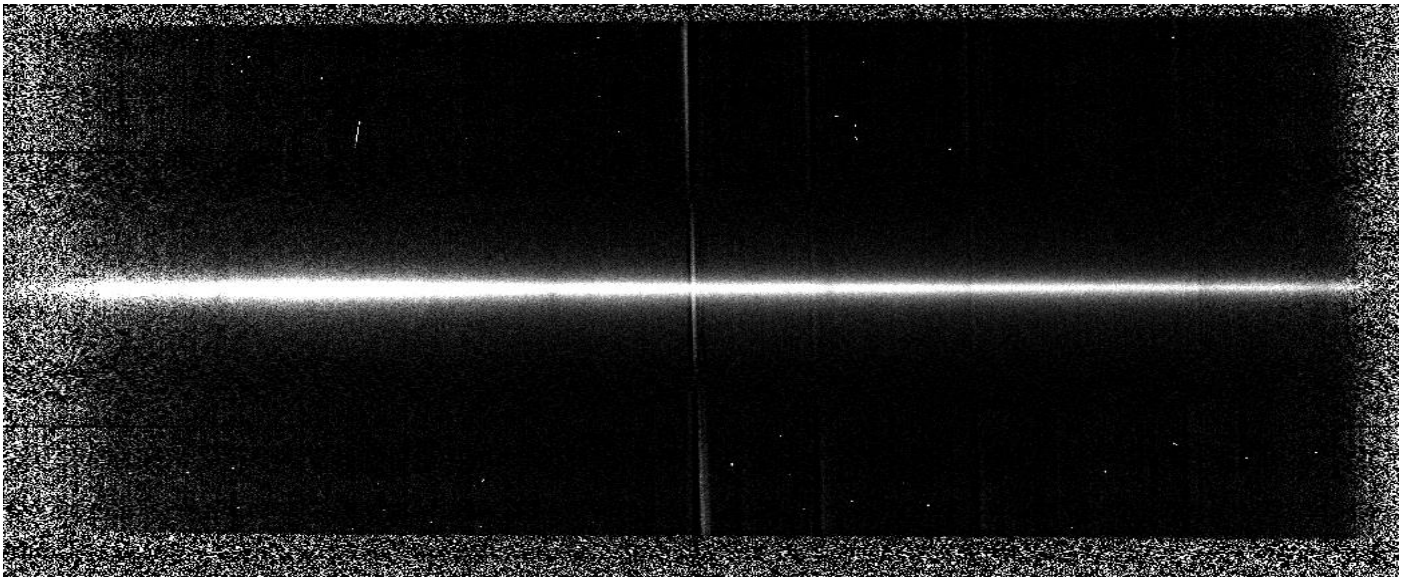


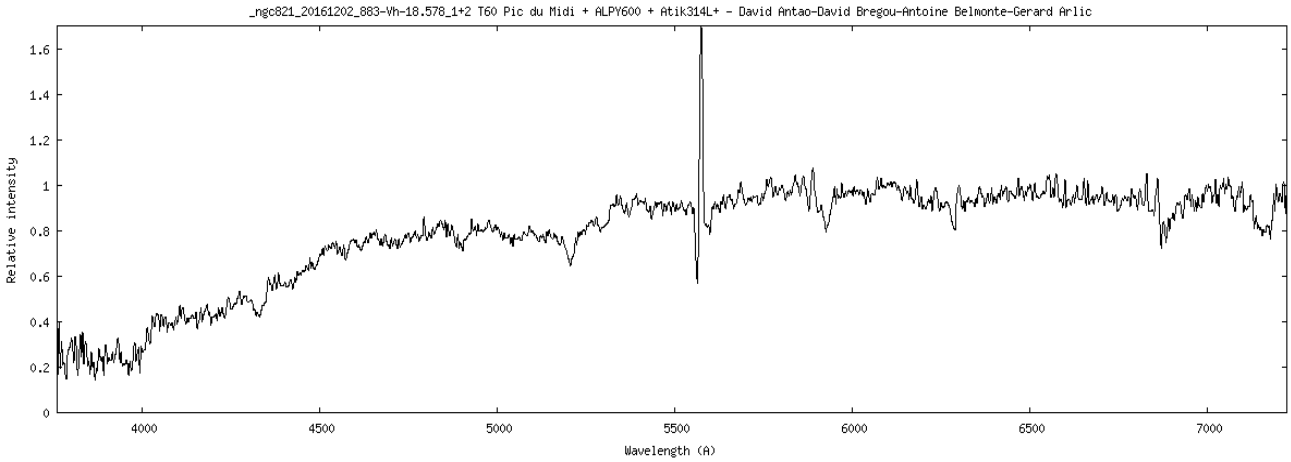


C’est  utile de regarder l’image 2D traitée. Ce que je n’avais pas fait pour ce traitement. Le fait de mettre l’image 2D pour ce rapport de mission m’a permis de m’apercevoir de cette erreur de smile. Ci-dessous le spectre 1D avec cette erreur de traitement. Je vais refaire le traitement et je vais pouvoir voir comment cela impacte mon résultat final.

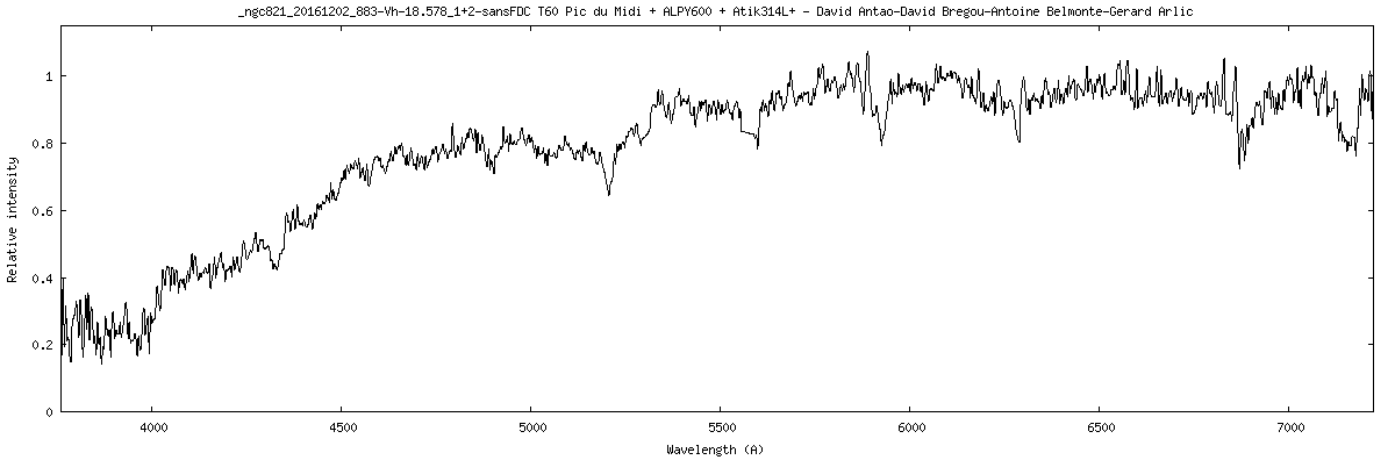



## Traitement refait

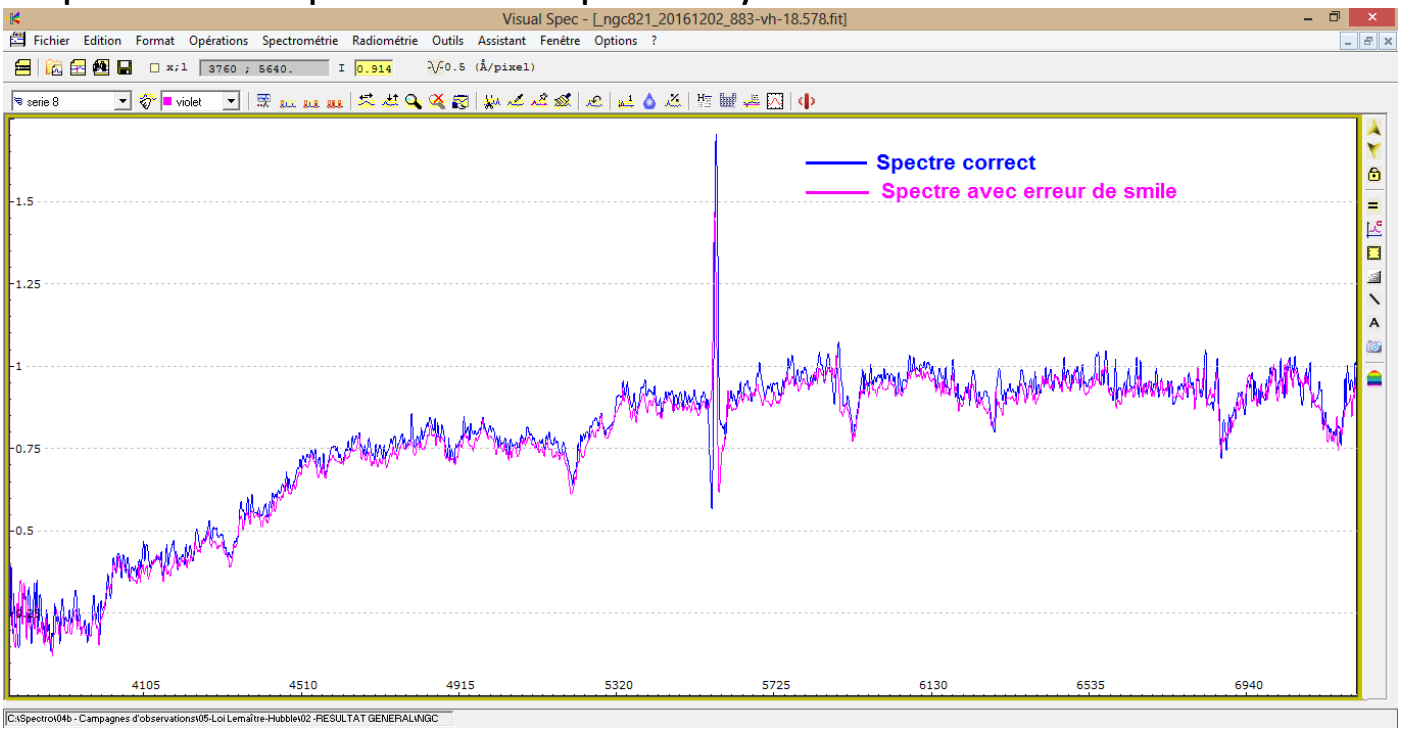




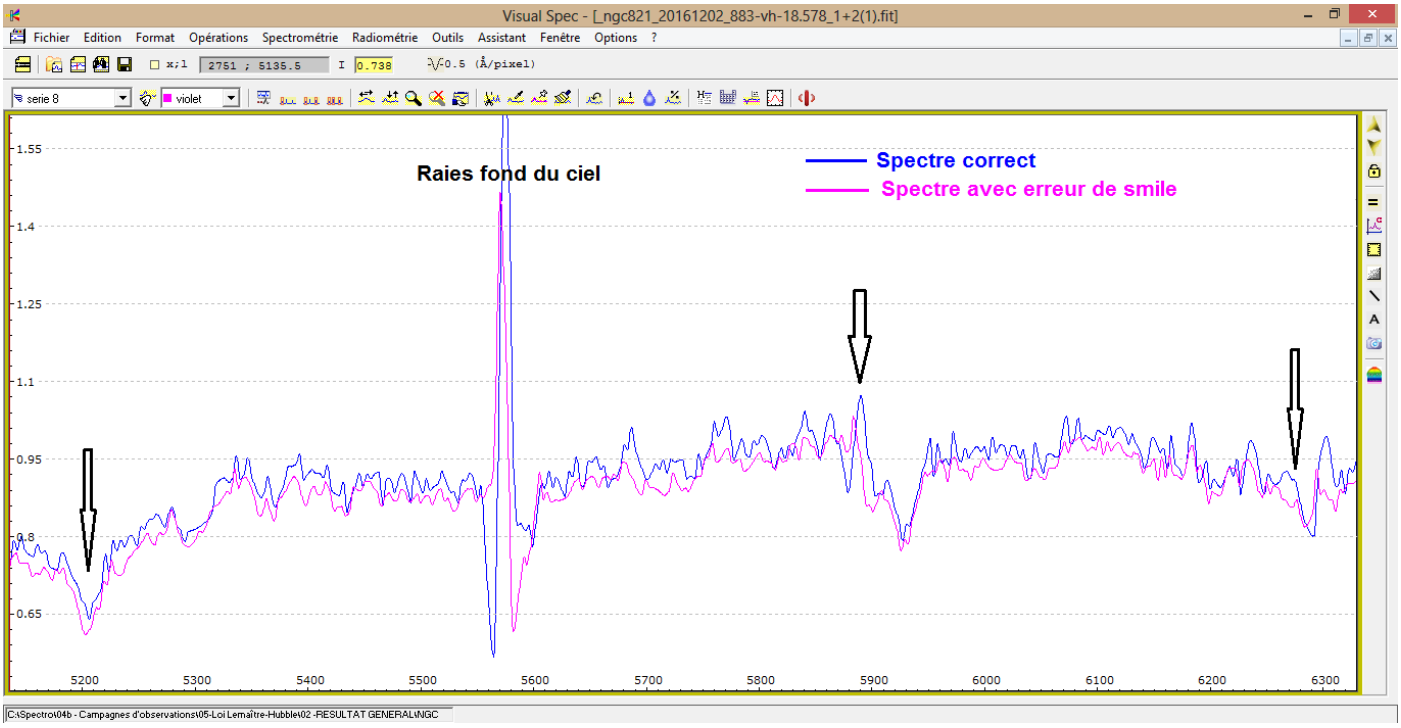

## Suppression reste raies du fond du ciel



**Comparaison entre le spectre correct et le spectre où il y a l'erreur de smile.**

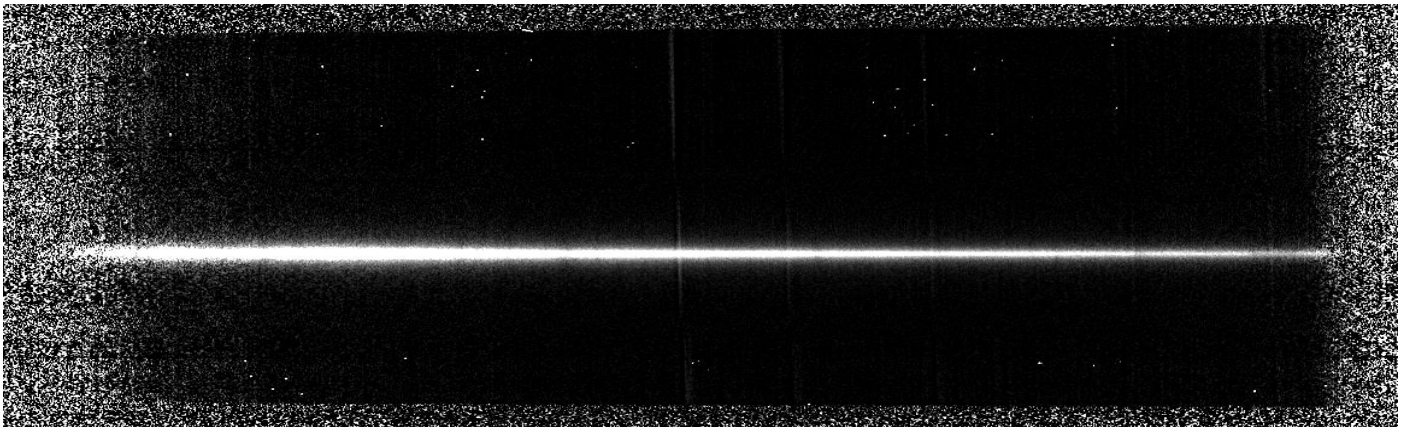


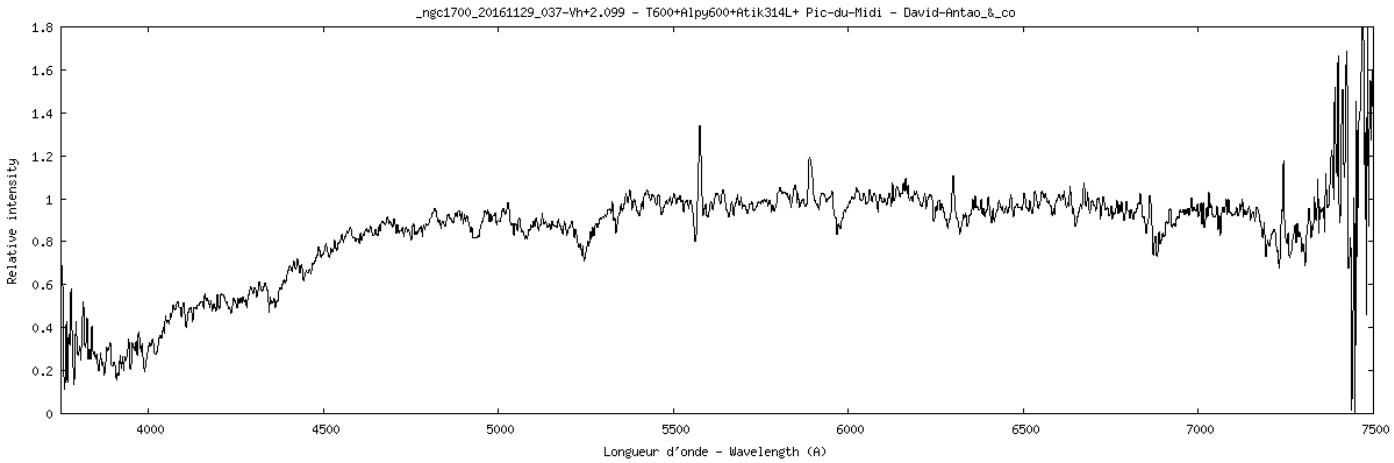

**ZOOM**



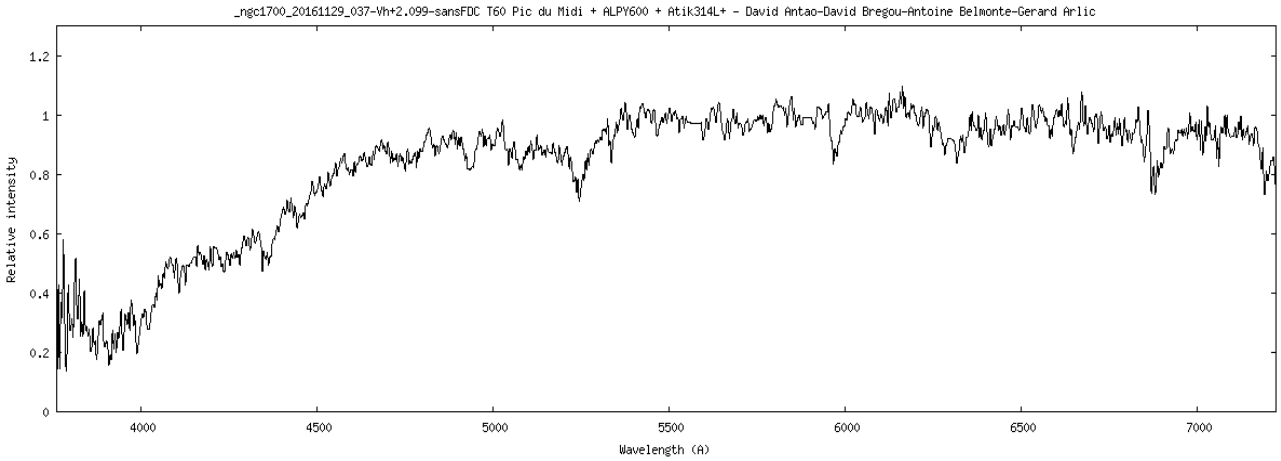

**On voit des différences qui vont être significatives pour une mesure de Vr précise.**

## *NGC1700*

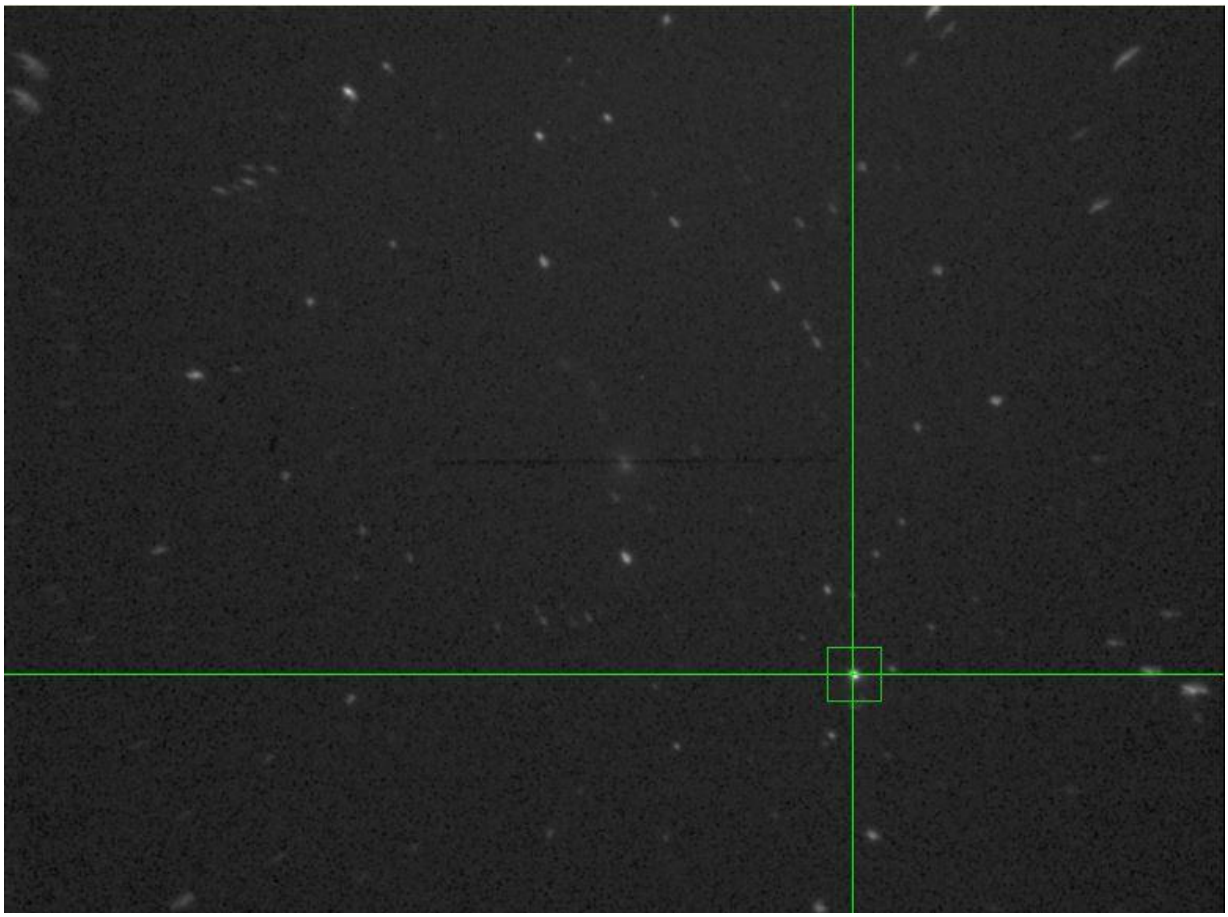


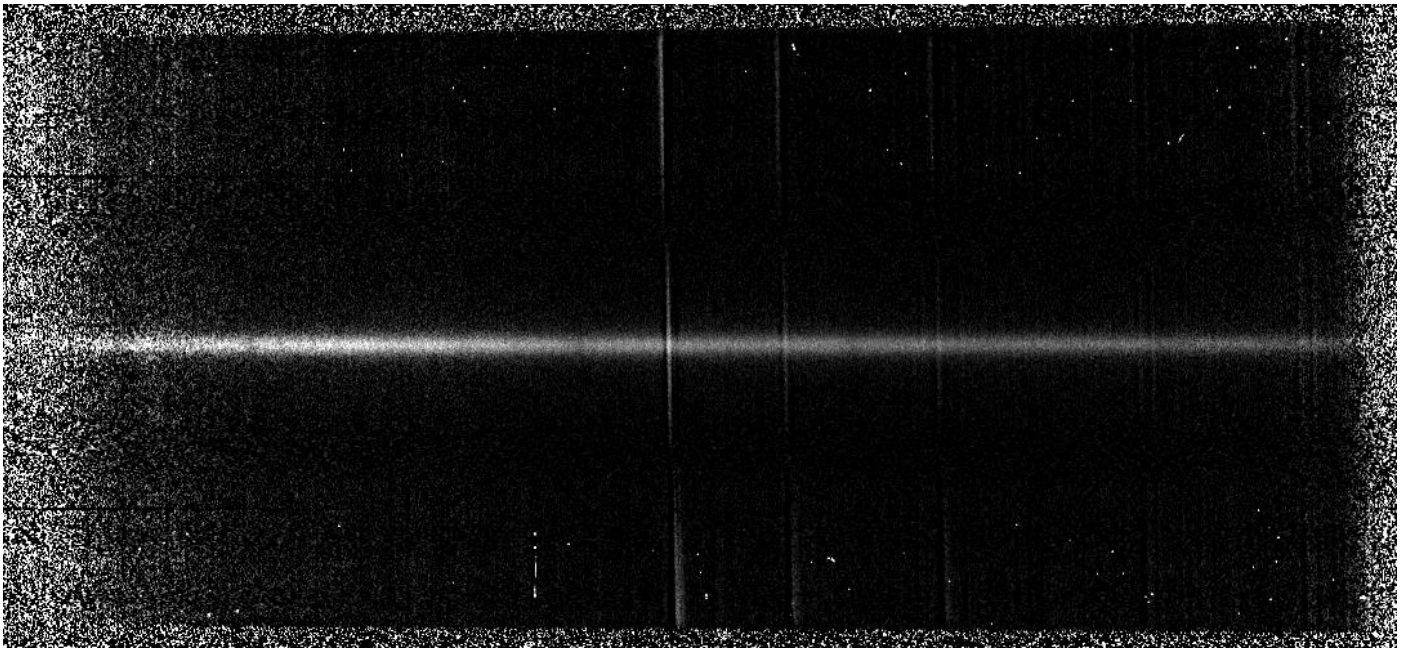


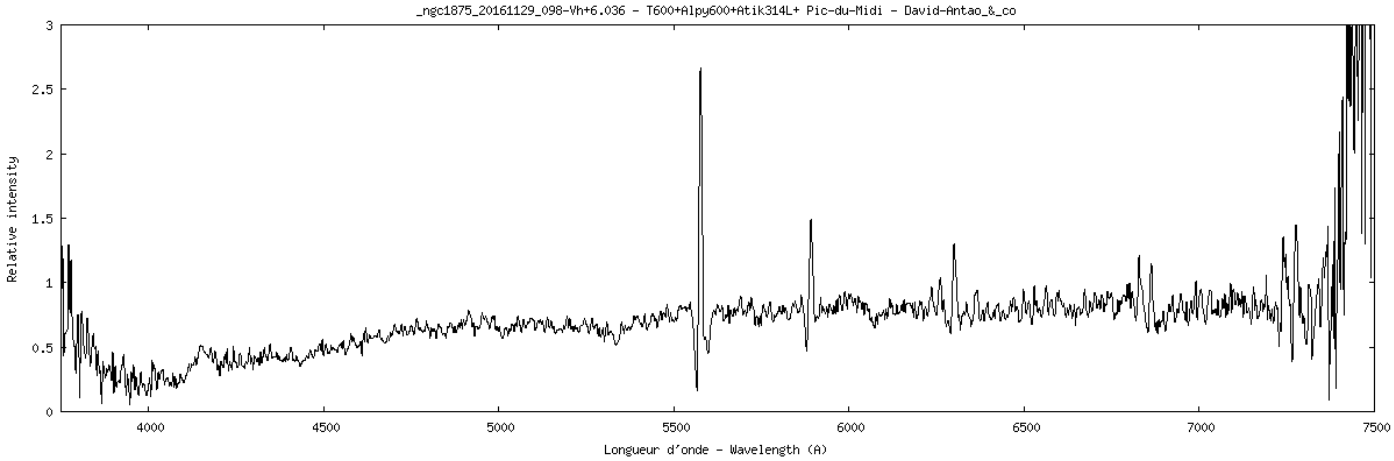

**Suppression reste raies du fond du ciel**



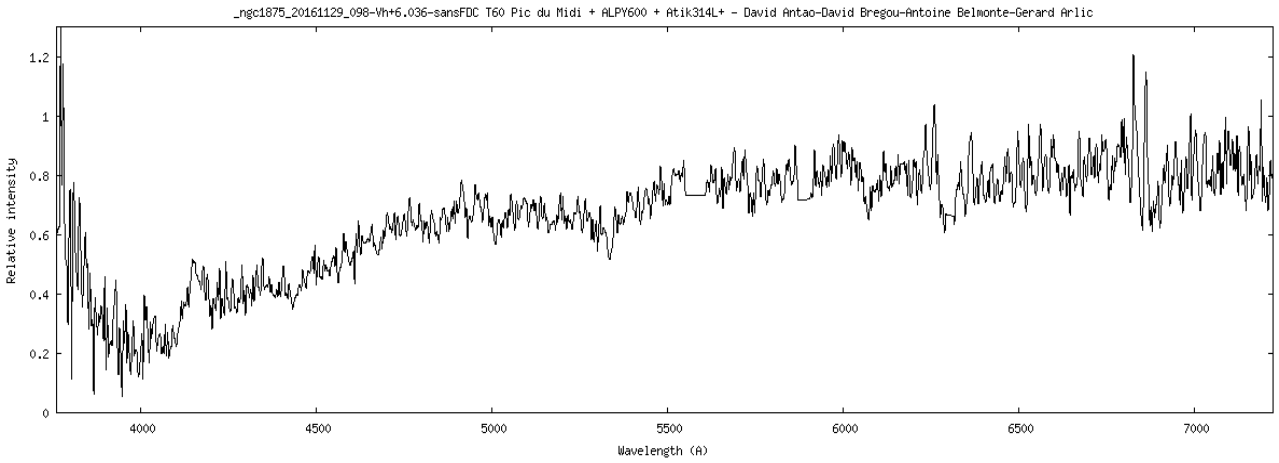

## *NGC1875*



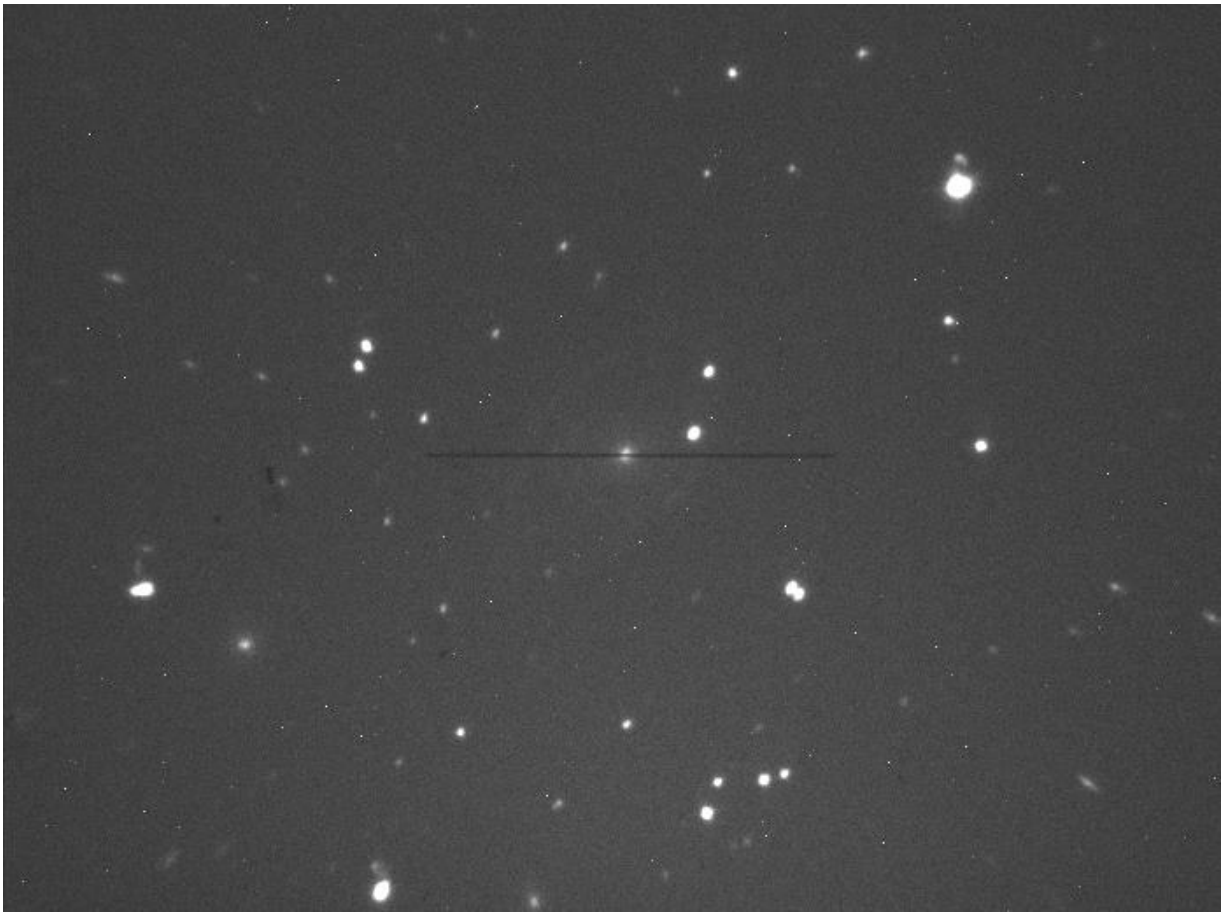


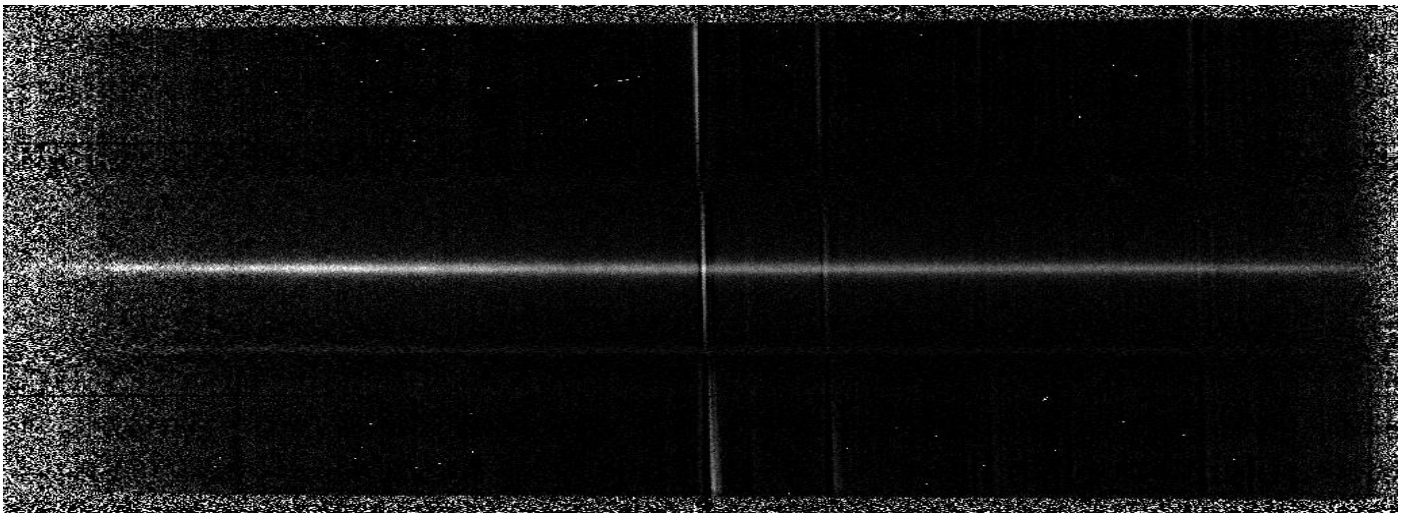


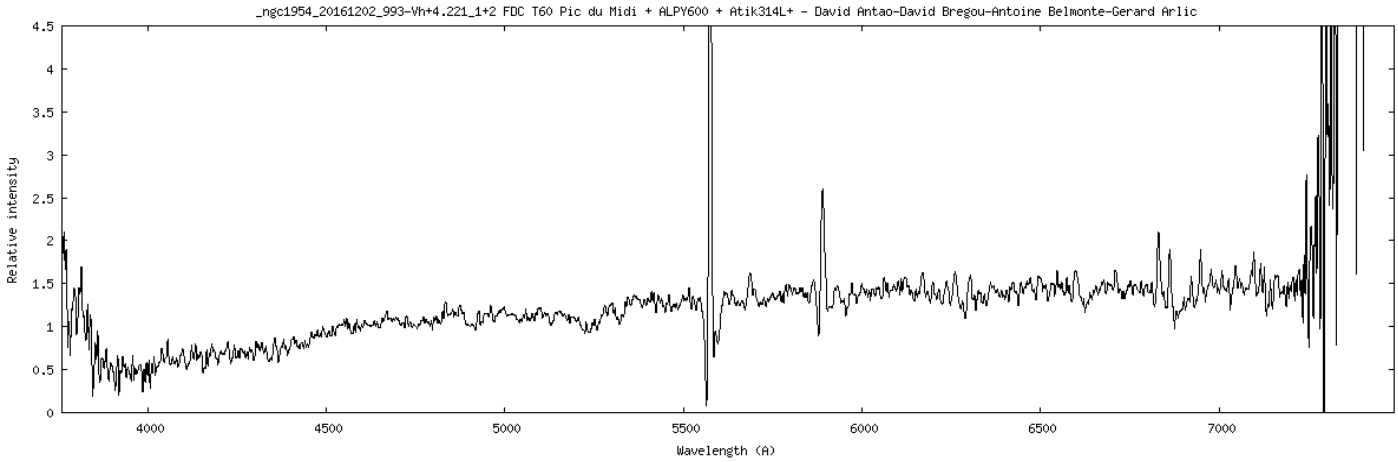

## Suppression reste raies du fond du ciel



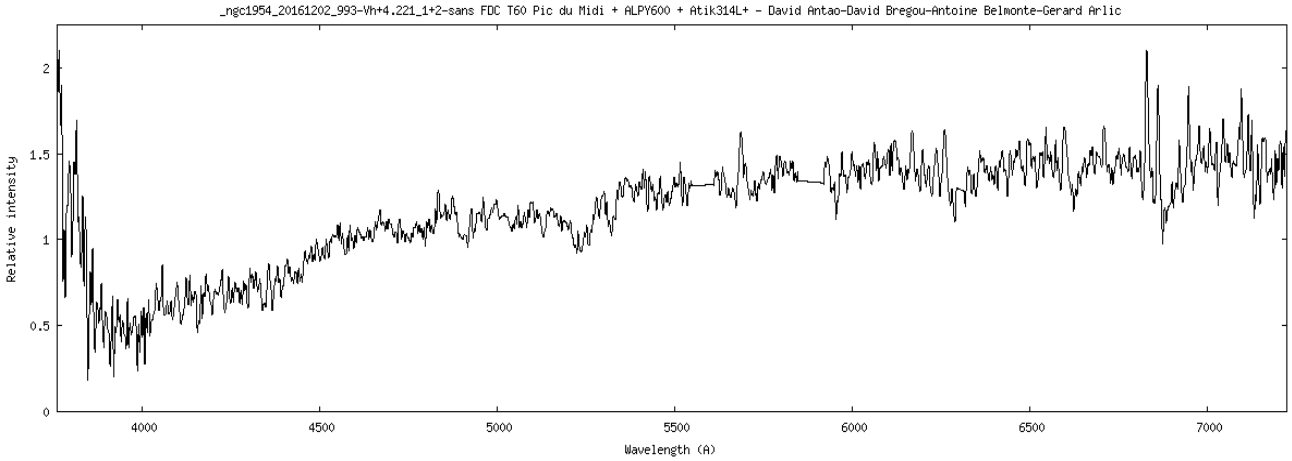
# NGC1954



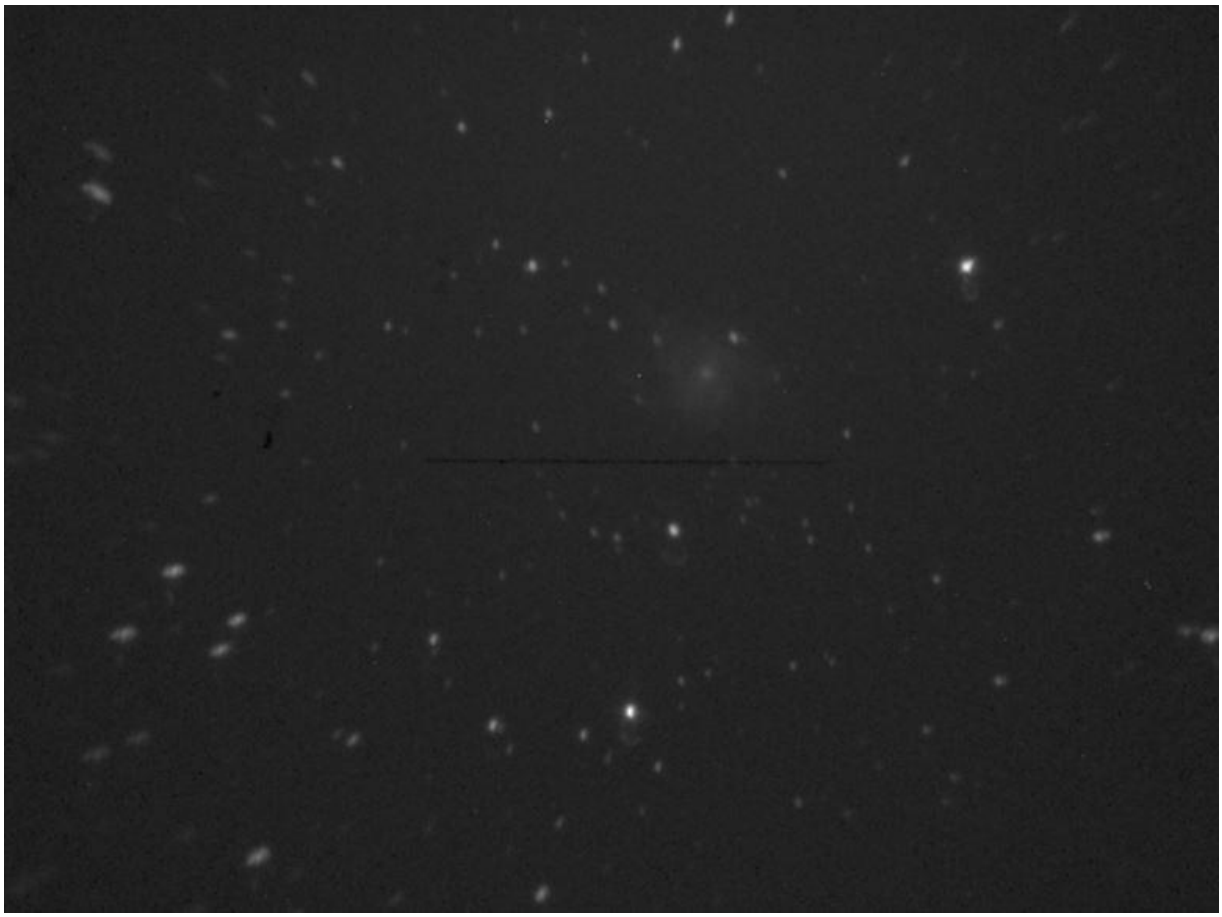


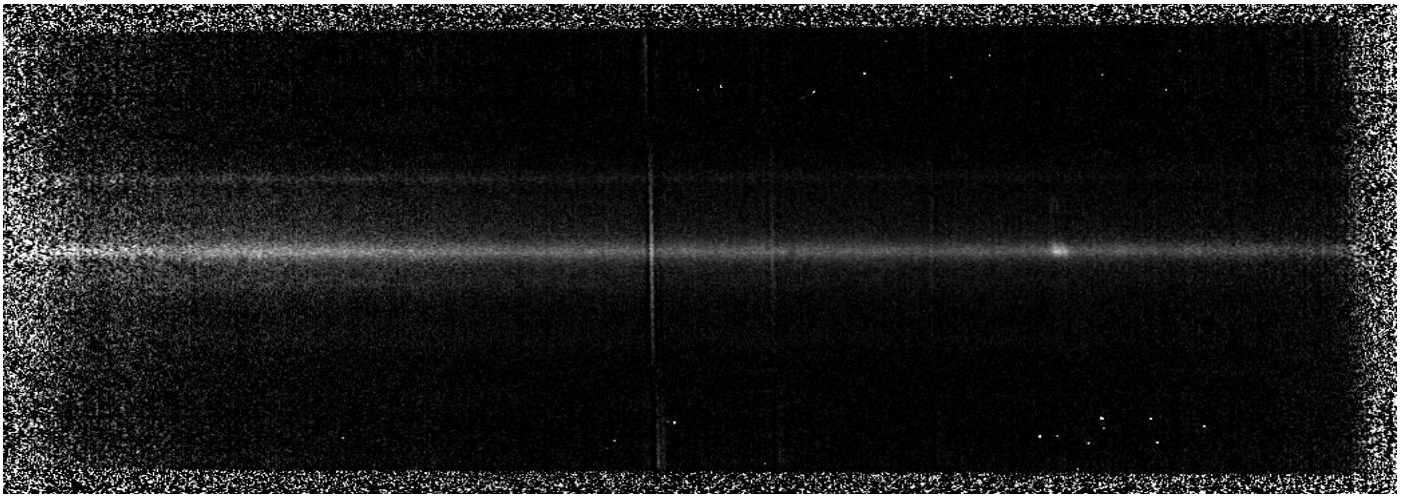

_ngc1954_20161202_993-Vh+4.221_1+2 FDC T60 Pic du Midi + ALPY600 + Atik314L+ - David Antao-David Bregou-Antoine Belmonte-Gerard Arlic
Relative intensity
Wavelength (A)
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5
4000
4500
5000
5500
6000
6500
7000

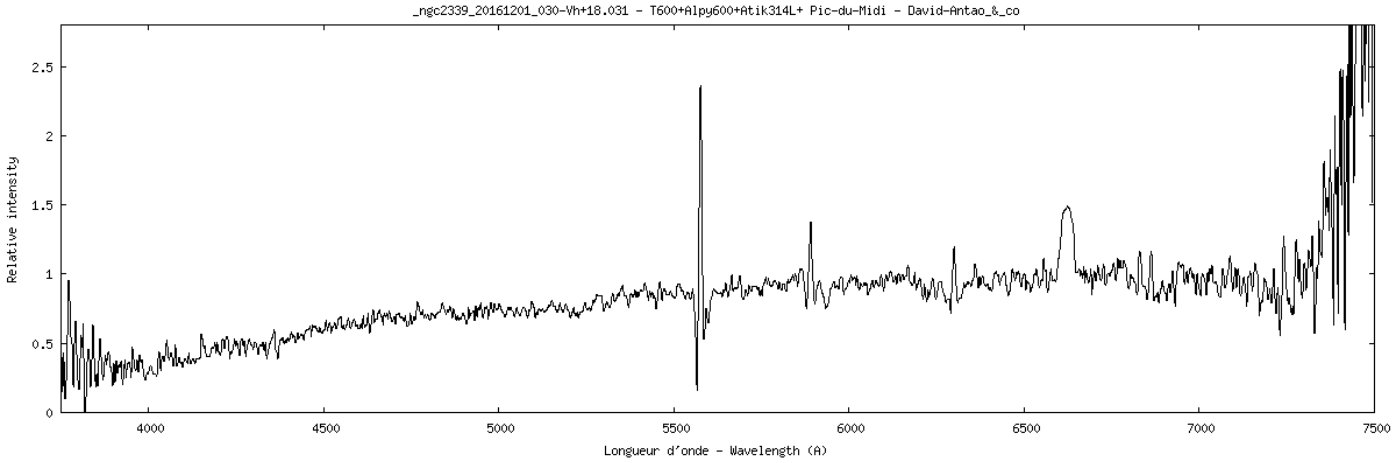
## Suppression reste raies du fond du ciel



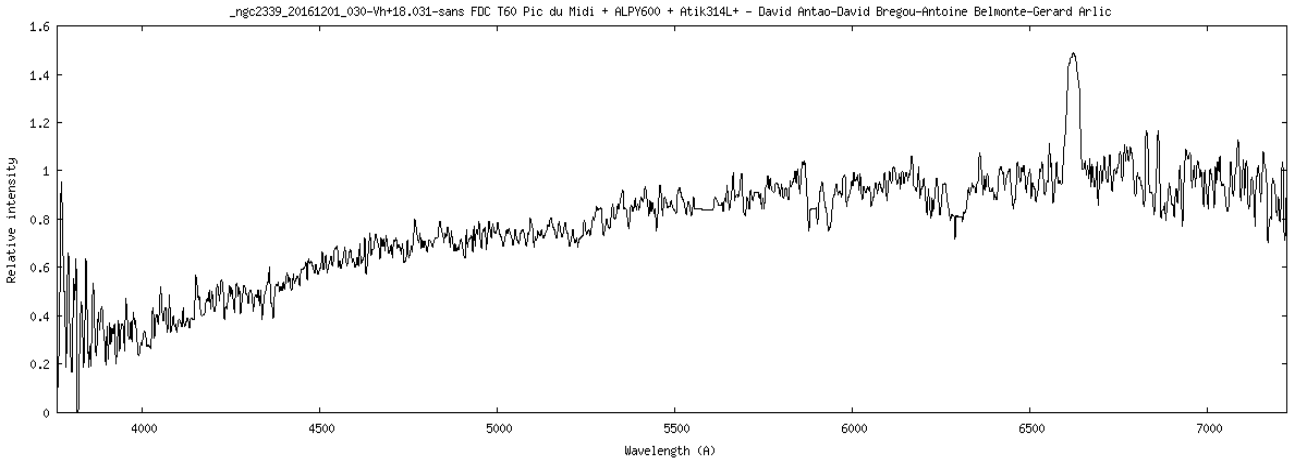

# *NGC2339*



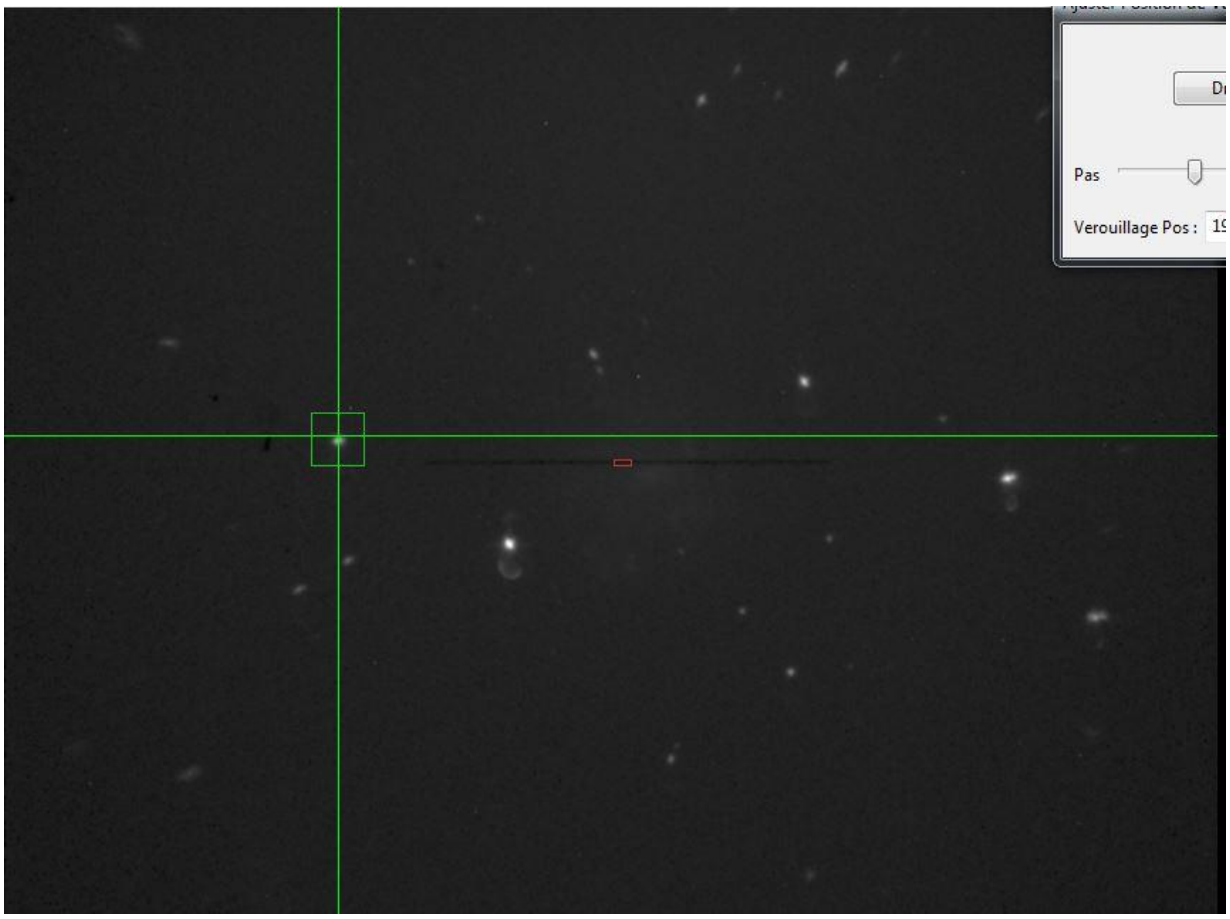


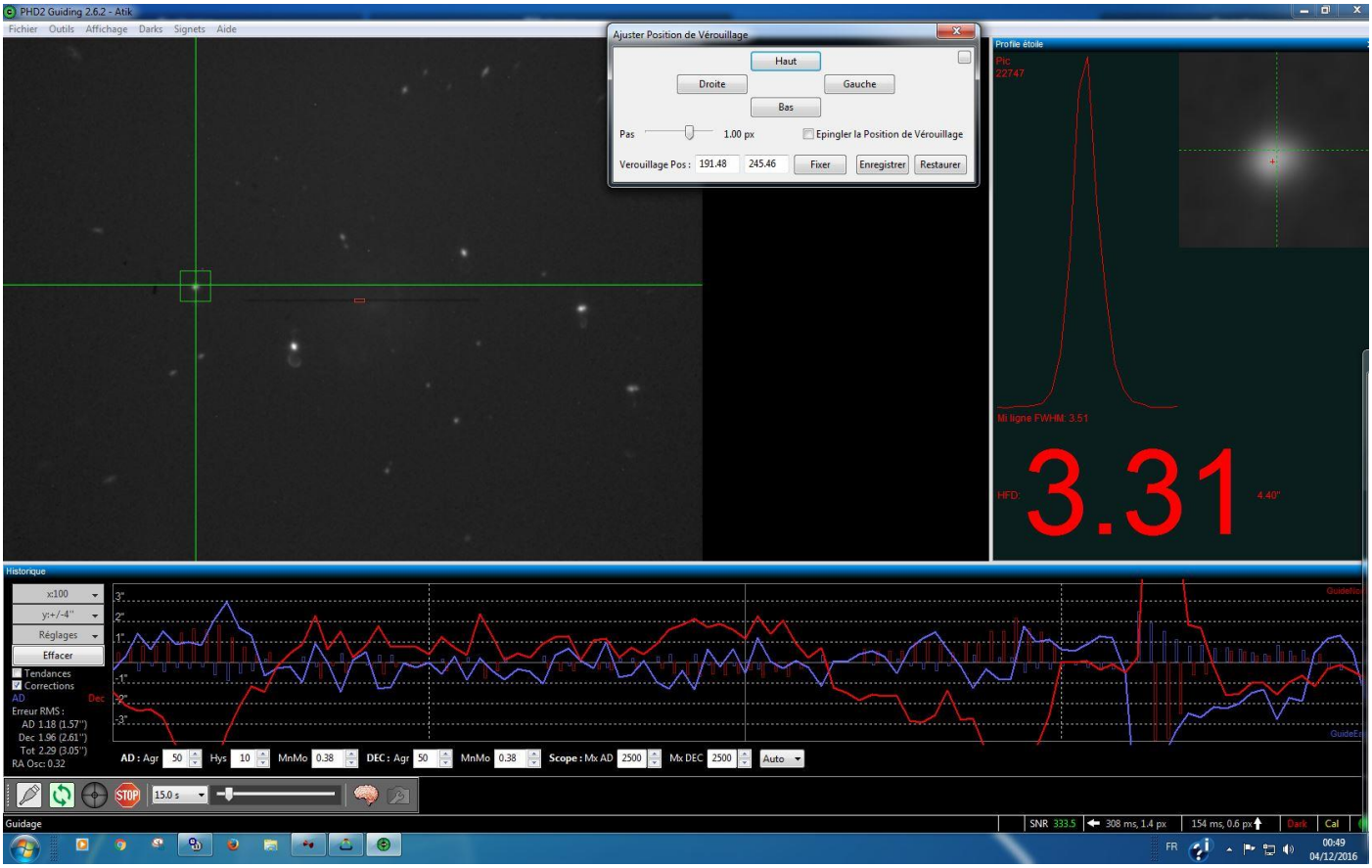


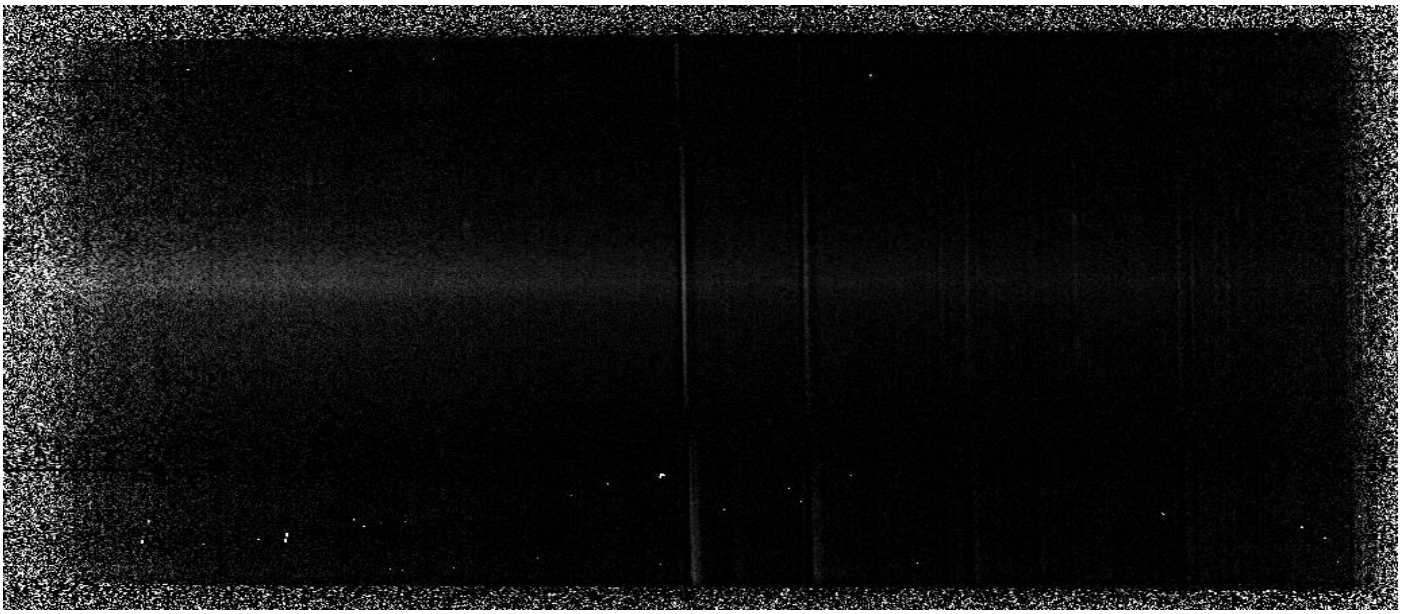

**Suppression reste raies du fond du ciel**

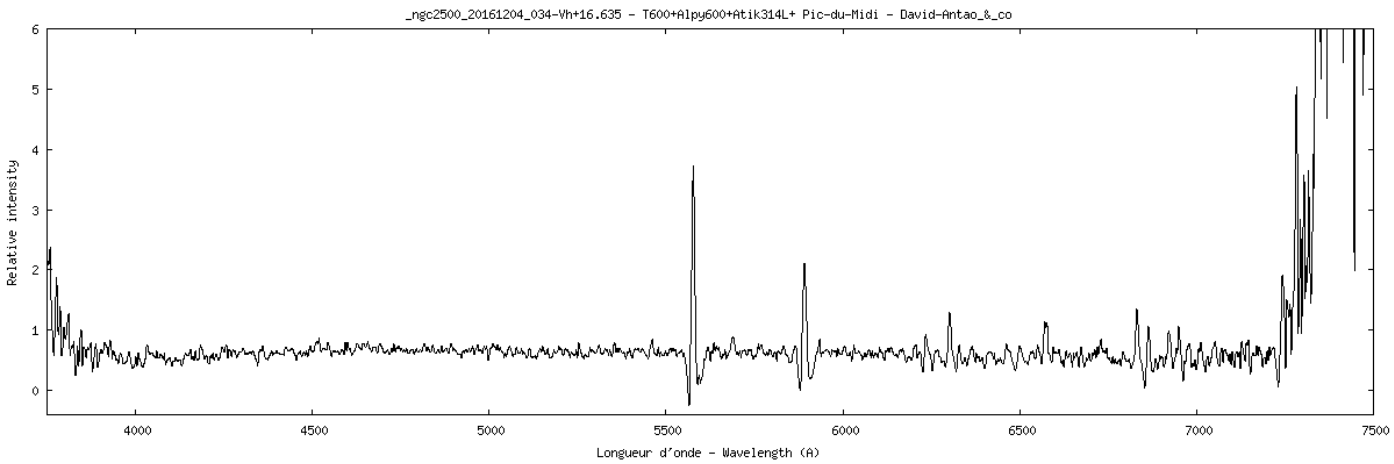



## *NGC2500*

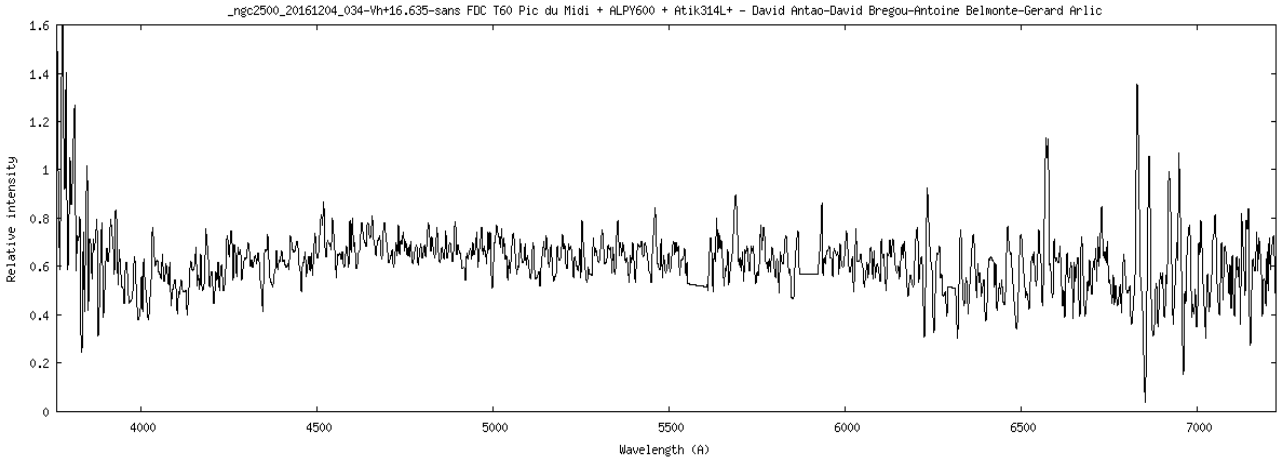



PHD2 Guiding 2.6.2 - Atik
Fichier Outils Affichage Darks Signets Aide
Ajuster Position de Vérouillage
Haut
Droite
Gauche
Bas
Pas
1.00 px
Epingler la Position de Vérouillage
Verouillage Pos : 191.48 245.46
Fixer
Enregistrer
Restaurer
Profile étoile
Pic
22747
Mi ligne FWHM: 3.51
HFD:
3.31
4.40"
Historique
x:100
y:+/-4"
Réglages
Effacer
Tendances
Corrections
AD
Dec
Erreur RMS :
AD 1.18 (1.57")
Dec 1.96 (2.61")
Tot 2.29 (3.05")
RA Osc: 0.32
AD : Agr 50 Hys 10 MnMo 0.38 DEC : Agr 50 MnMo 0.38 Scope : Mx AD 2500 Mx DEC 2500 Auto
STOP
15.0 s
Guidage
SNR 333.5
308 ms, 1.4 px
154 ms, 0.6 px
Dark
Cal
FR
00:49
04/12/2016

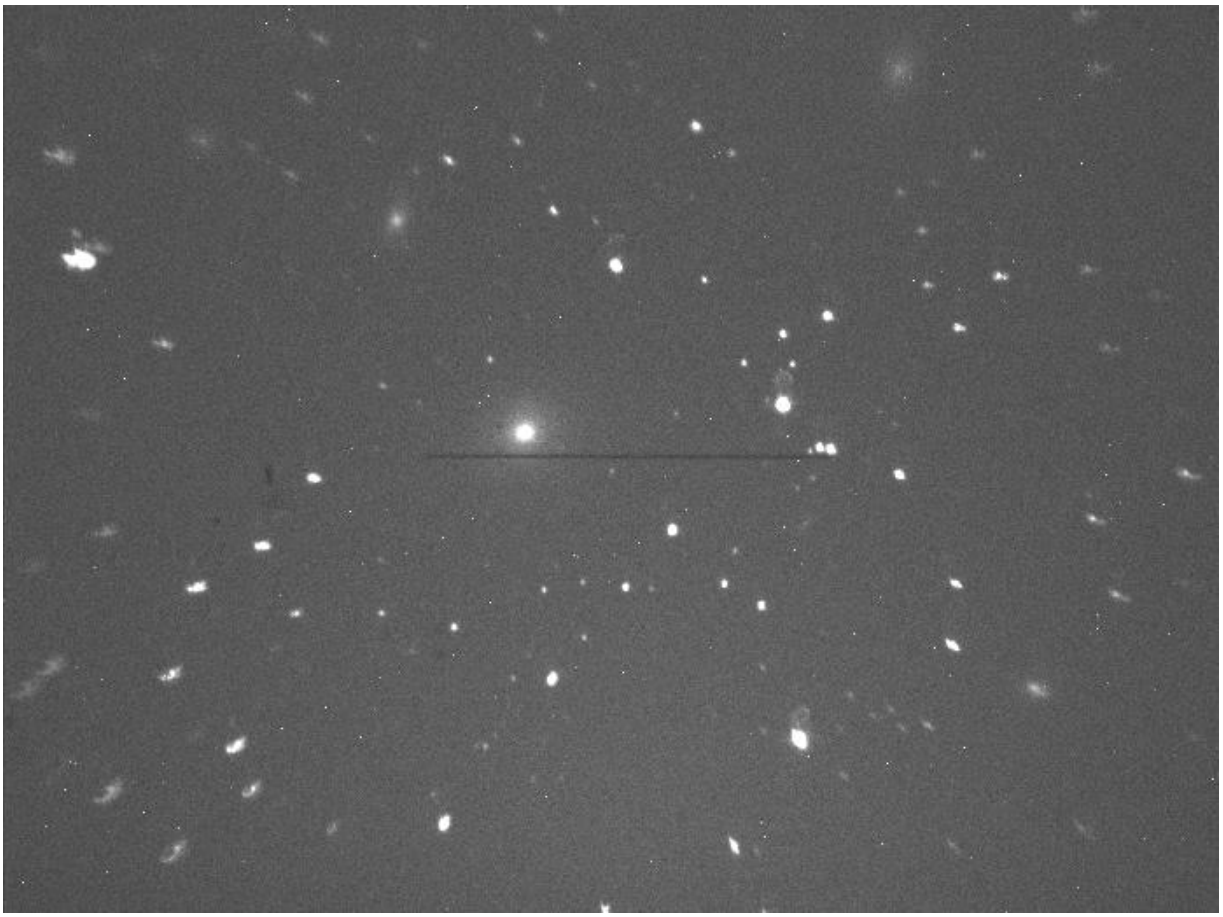


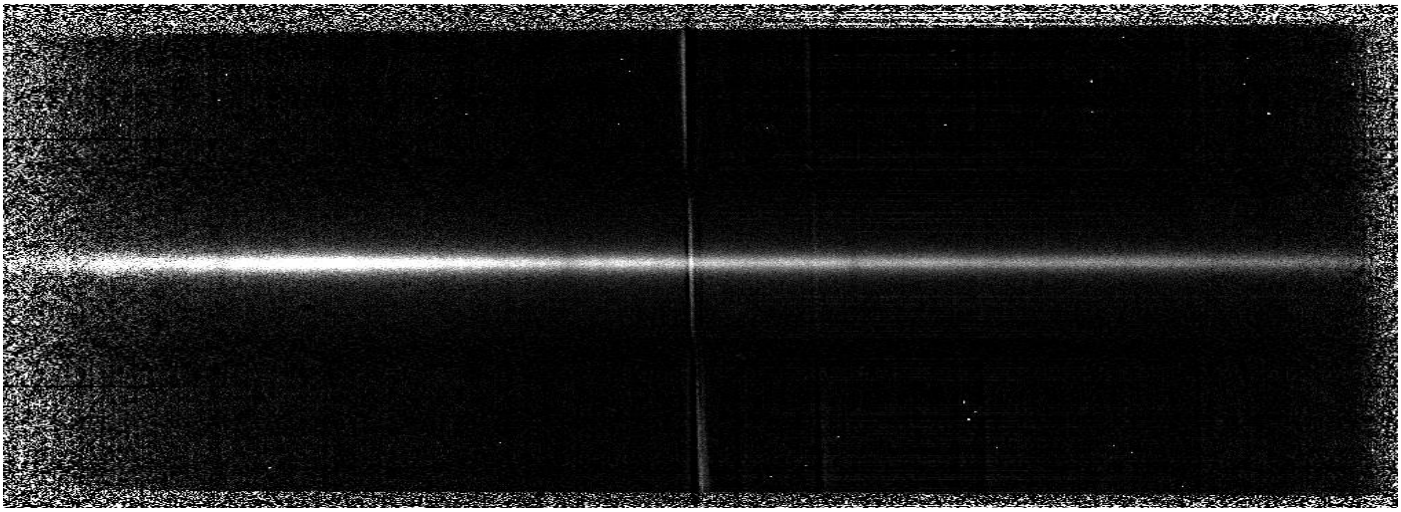

_ngc2500_20161204_034-Vh+16.635 - T600+Alpy600+Atik314L+ Pic-du-Midi - David-Antao_&_co
Relative intensity
0
1
2
3
4
5
6
4000
4500
5000
5500
6000
6500
7000
7500
Longueur d'onde - Wavelength (A)

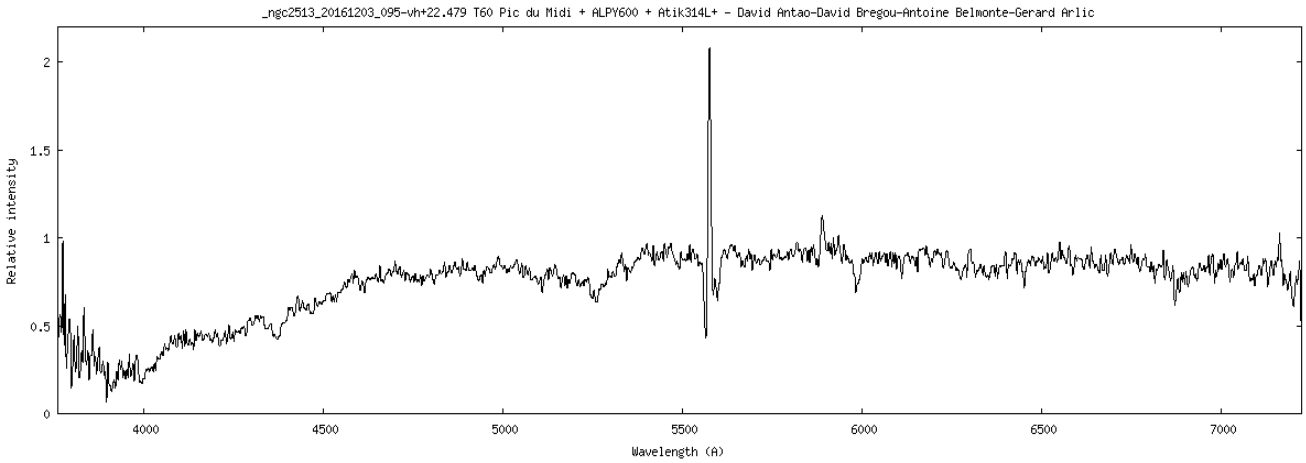
## Suppression reste raies du fond du ciel



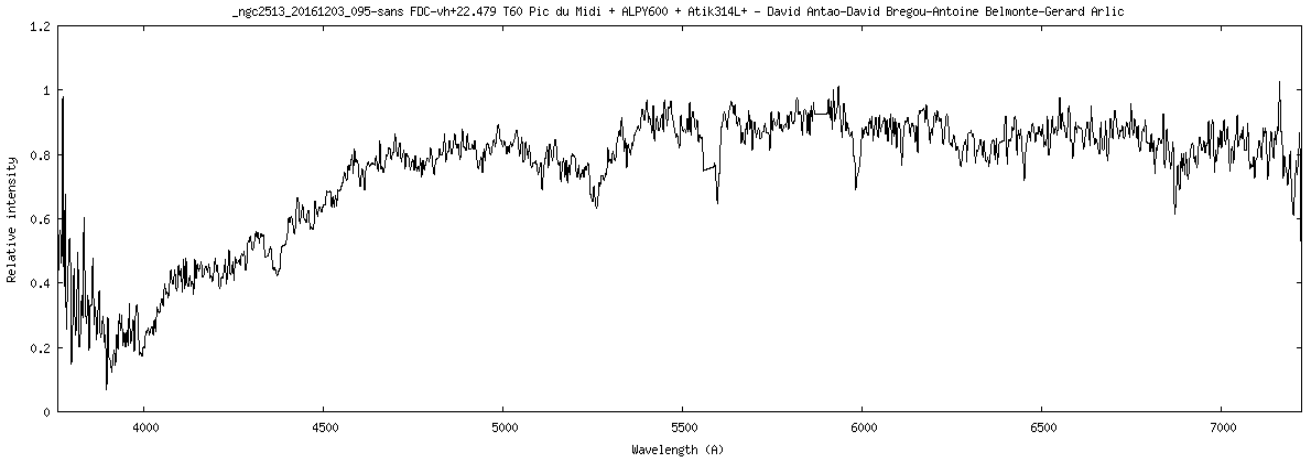

# *NGC2513*



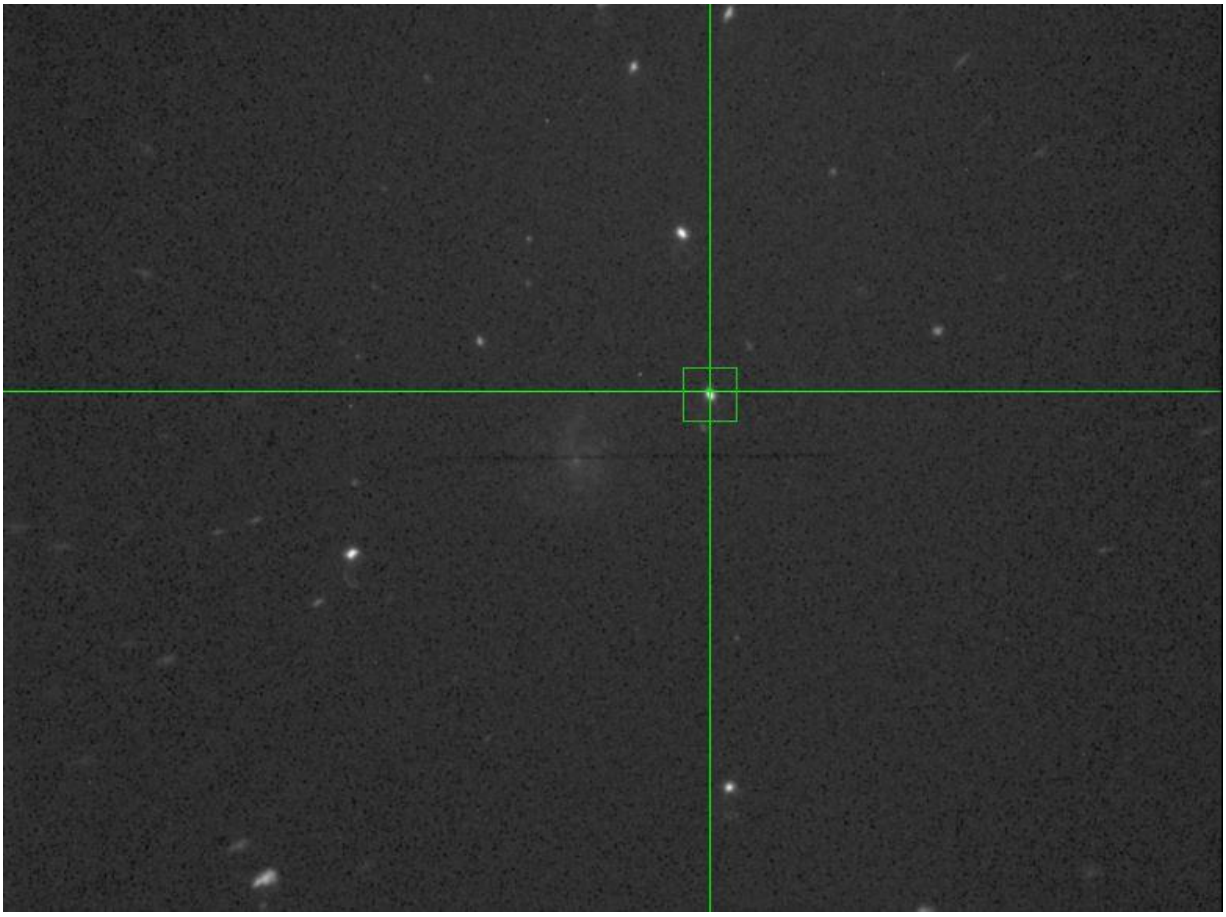


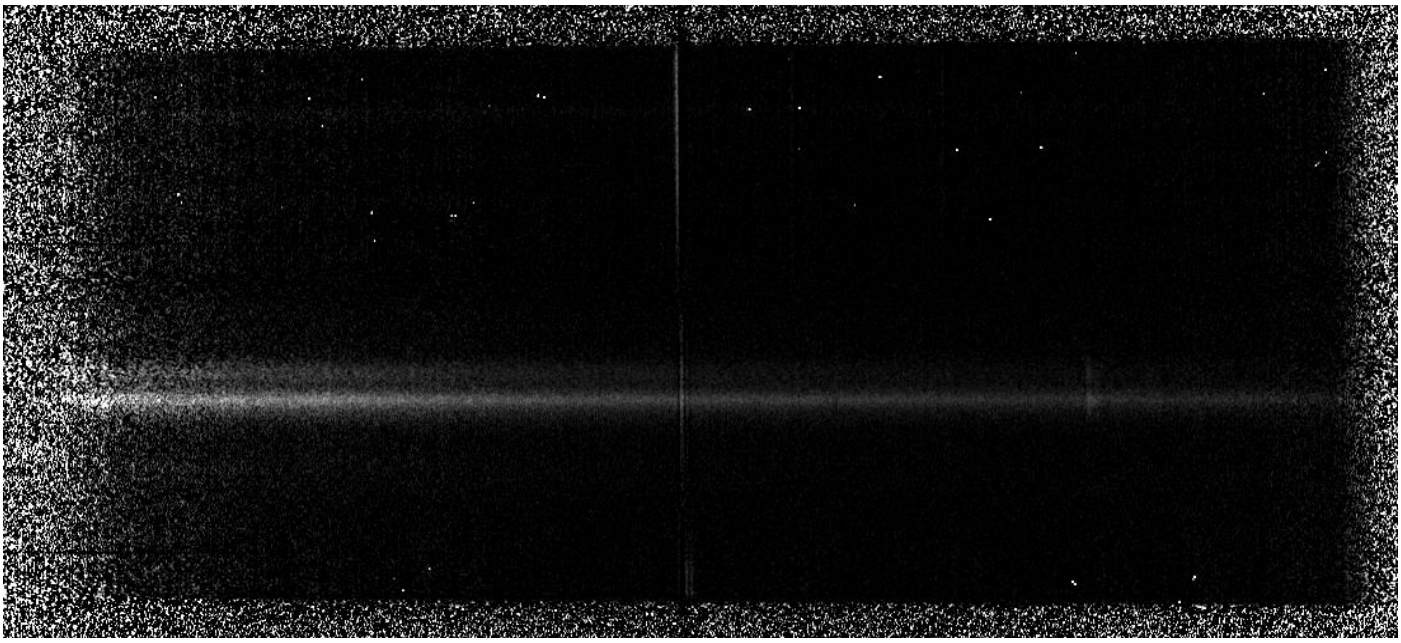


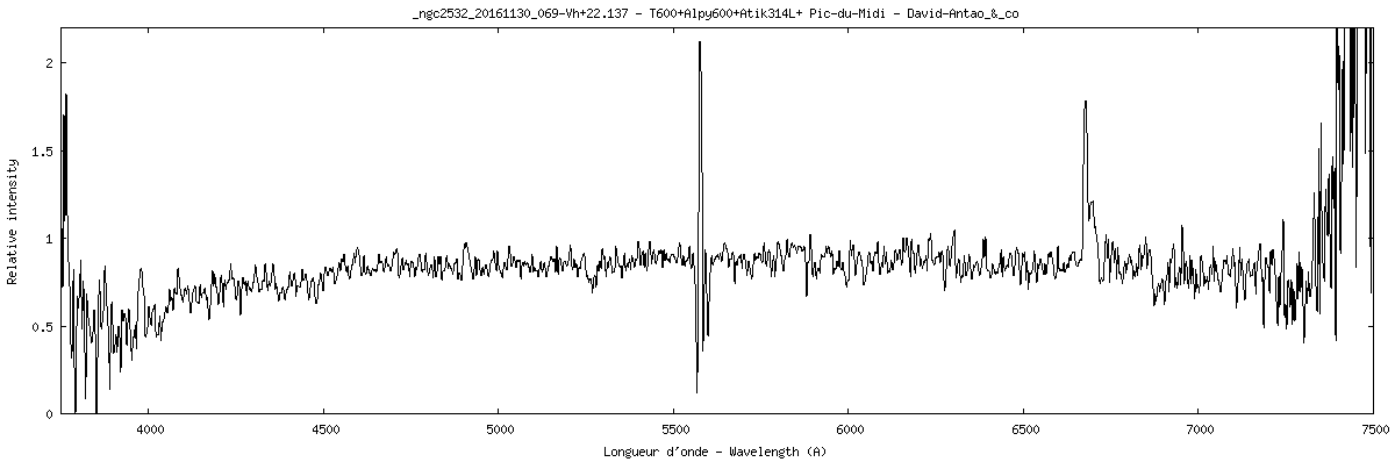

**Suppression reste raies du fond du ciel**



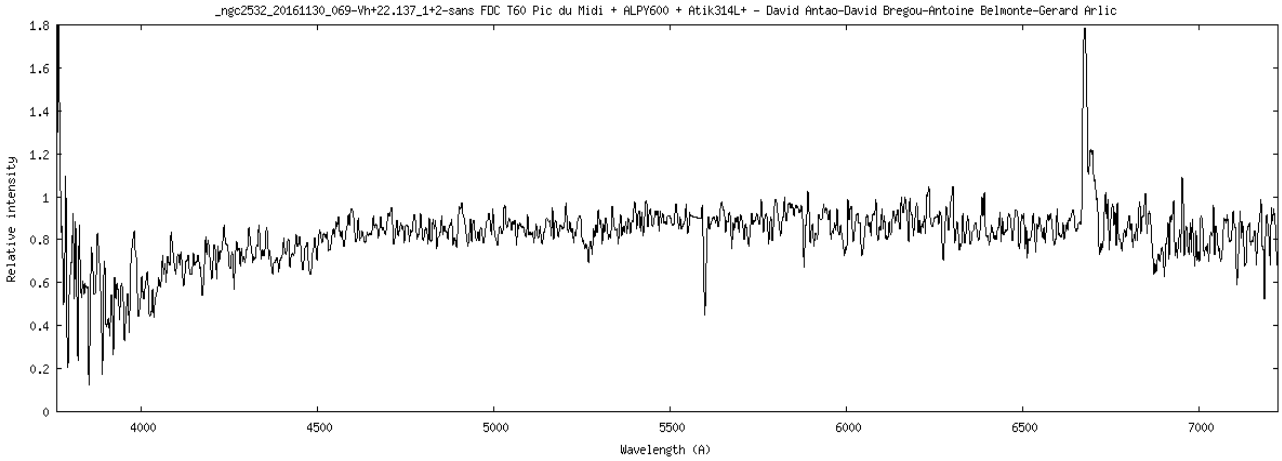

## *NGC2532*



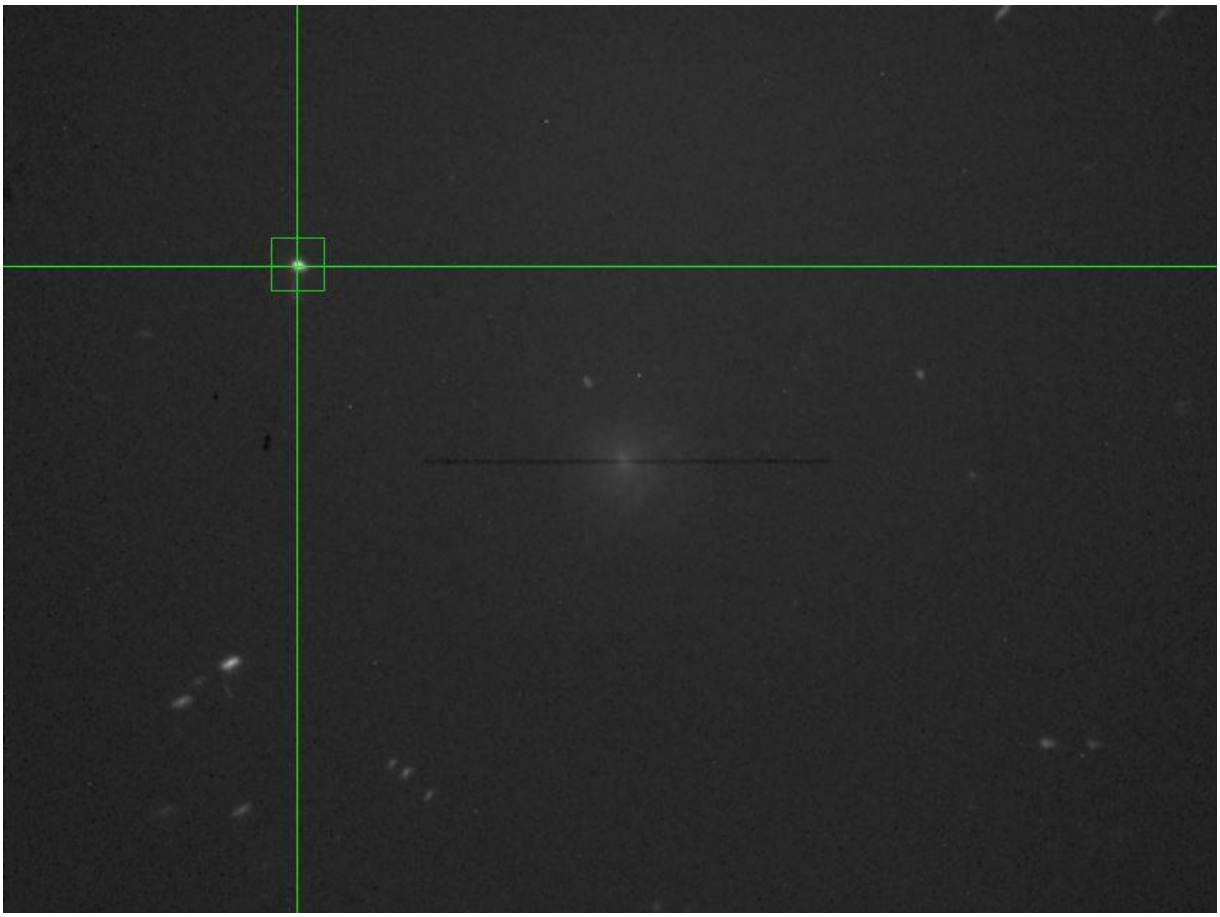


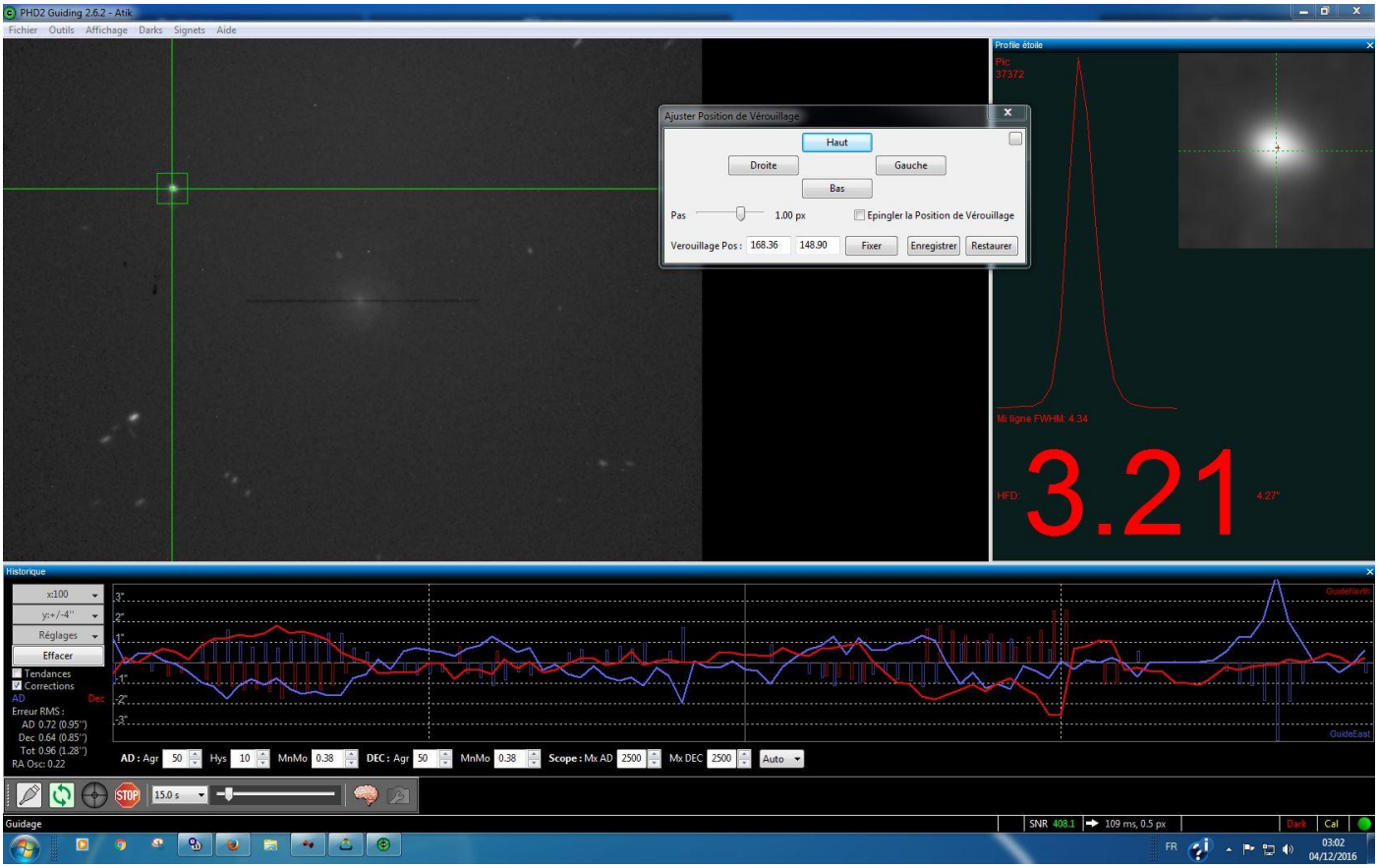


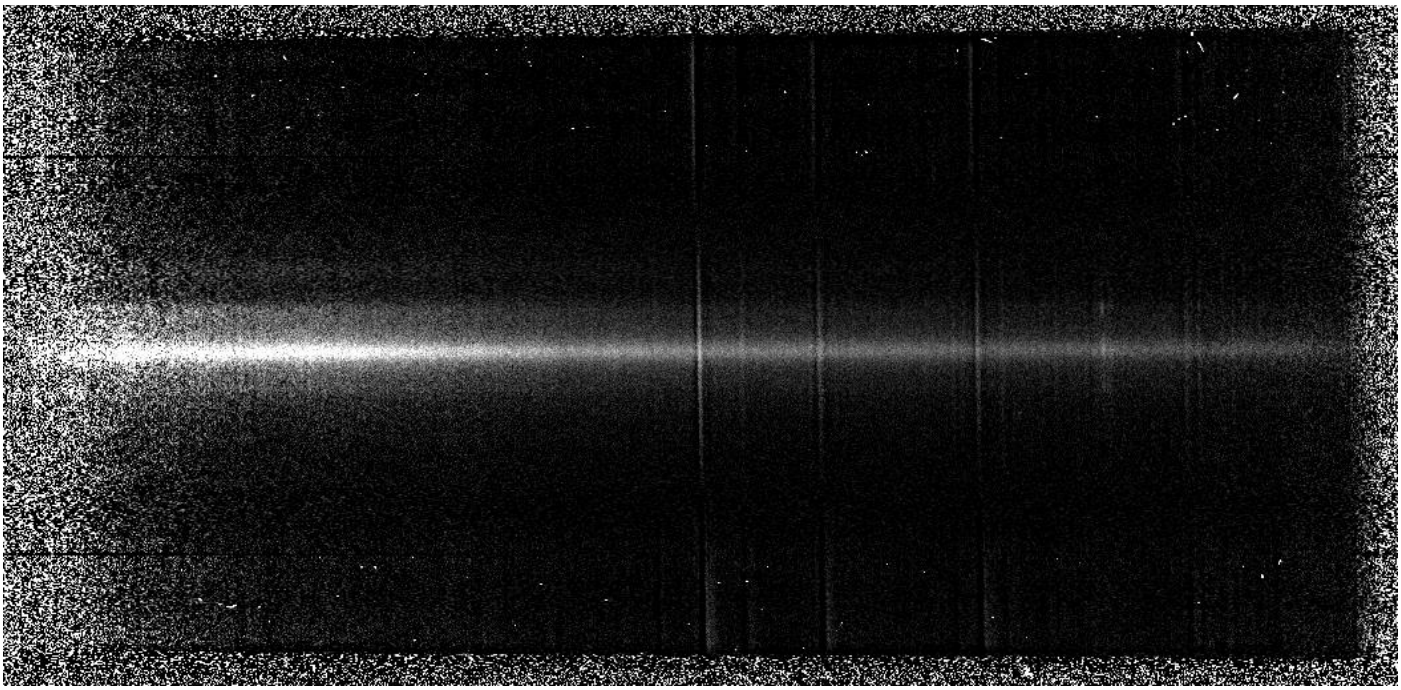

## Suppression reste raies du fond du ciel

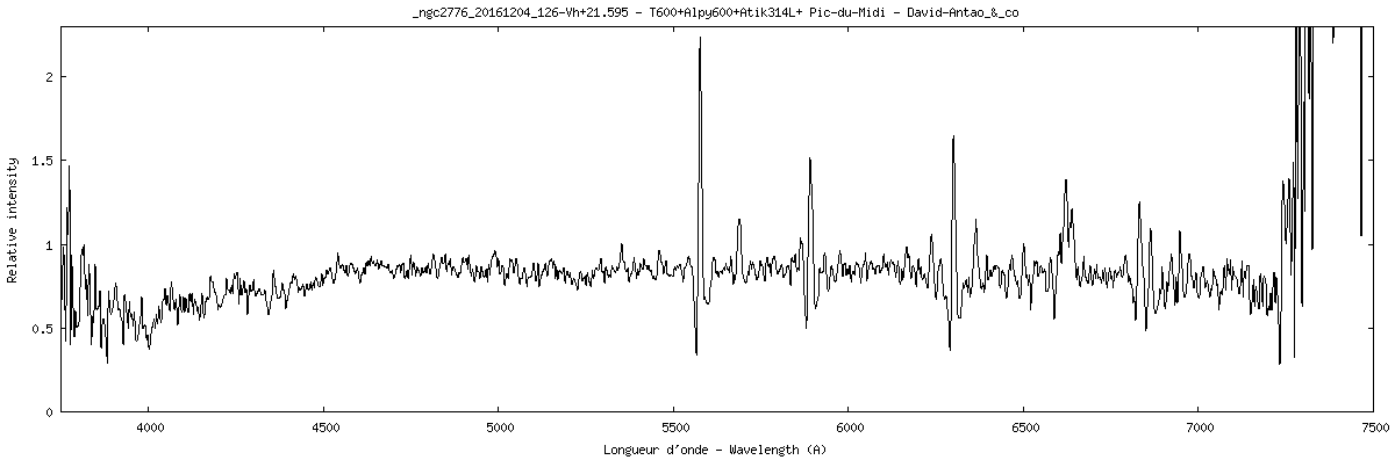


# NGC2776

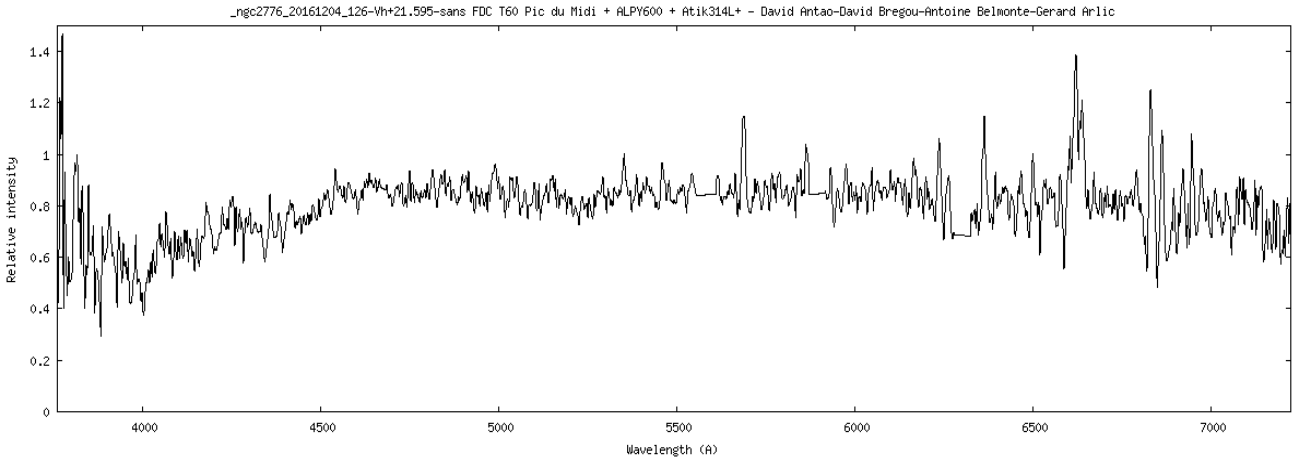



PHD2 Guiding 2.6.2 - Atik
Fichier Outils Affichage Darks Signets Aide
Ajuster Position de Vérouillage
Haut
Droite
Gauche
Bas
Pas
1.00 px
Epingler la Position de Vérouillage
Verouillage Pos : 168.36 148.90
Fixer
Enregistrer
Restaurer
Profile étoile
Pic
37372
Mi ligne FWHM: 4.34
HFD:
3.21
4.27"
Historique
x:100
y:+/-4"
Réglages
Effacer
Tendances
Corrections
AD
Dec
Erreur RMS :
AD 0.72 (0.95")
Dec 0.64 (0.85")
Tot 0.96 (1.28")
RA Osc: 0.22
AD : Agr 50 Hys 10 MnMo 0.38
DEC : Agr 50 MnMo 0.38
Scope : Mx AD 2500 Mx DEC 2500
Auto
STOP
15.0 s
Guidehertil
GuideEast
Guidage
SNR 408.1
109 ms, 0.5 px
Dark
Cal
FR
03:02
04/12/2016

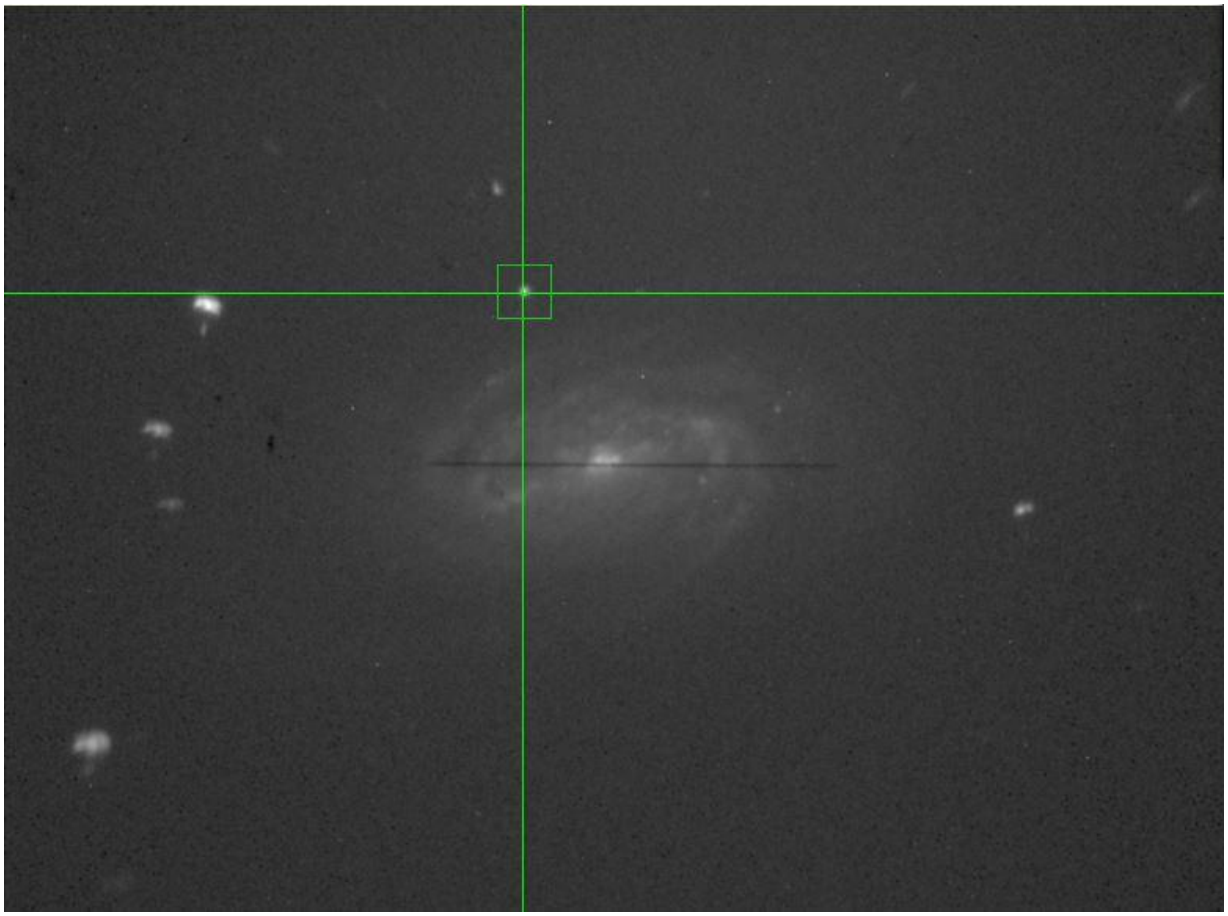


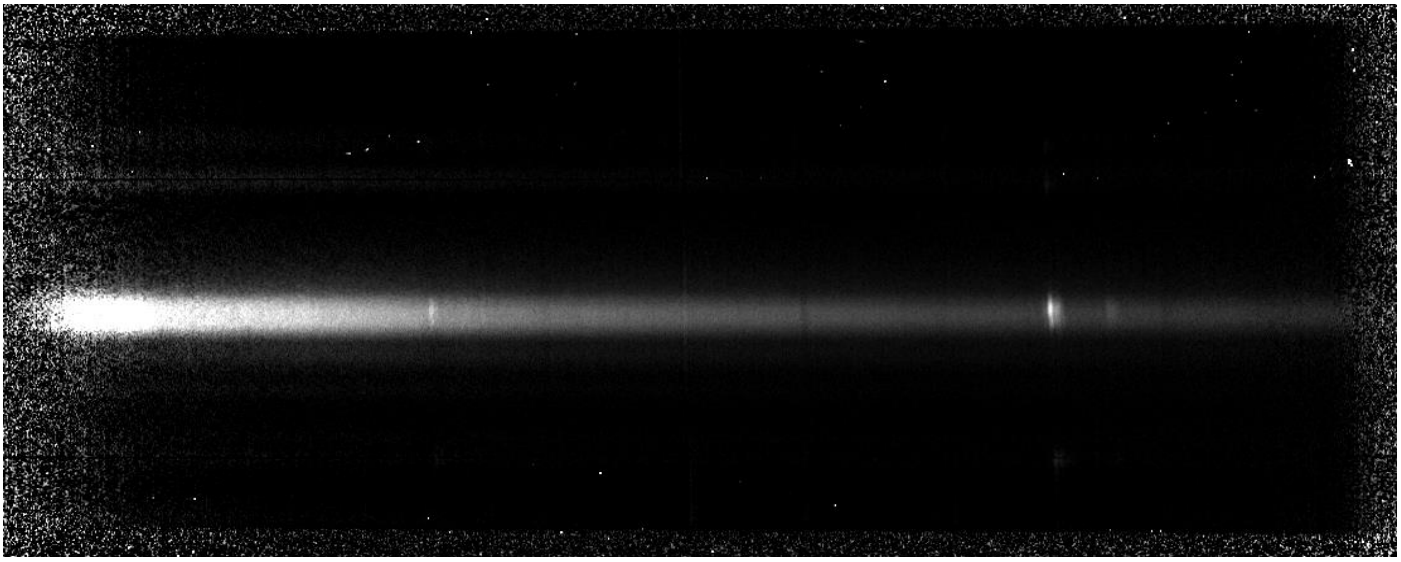


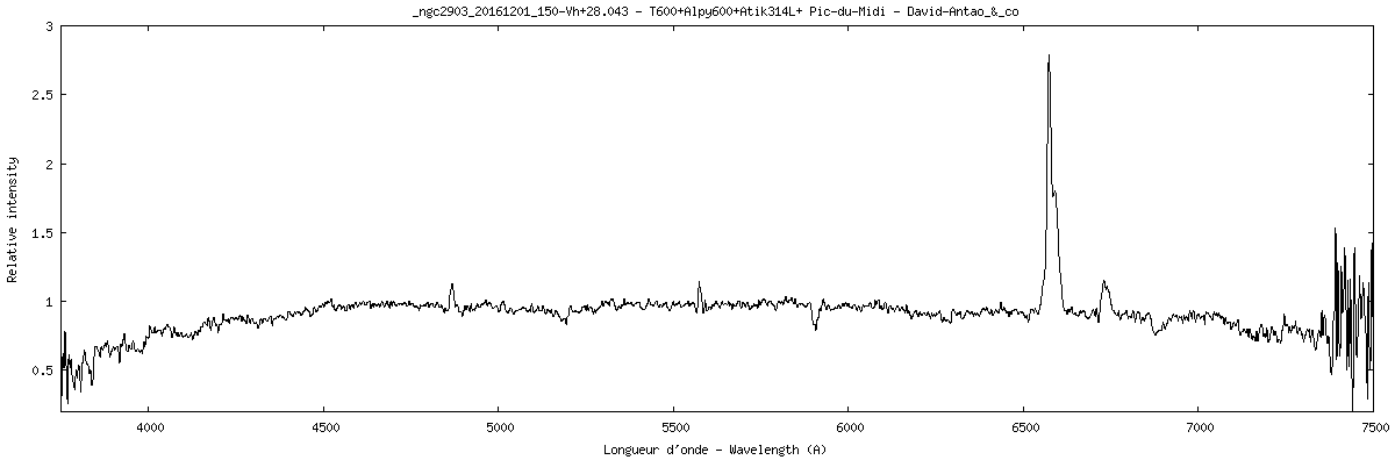

## Suppression reste raies du fond du ciel



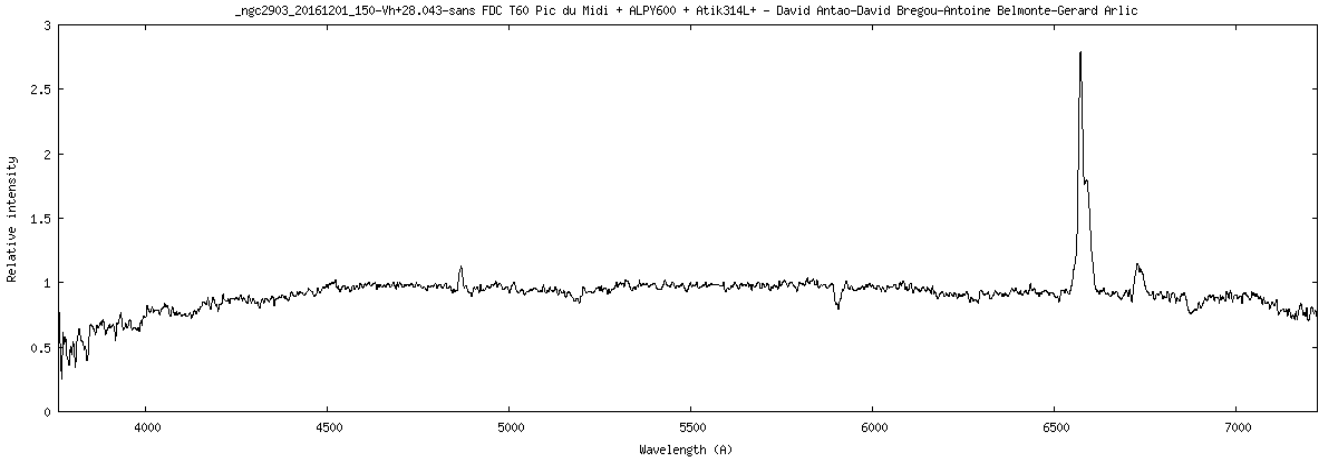
# NGC2903



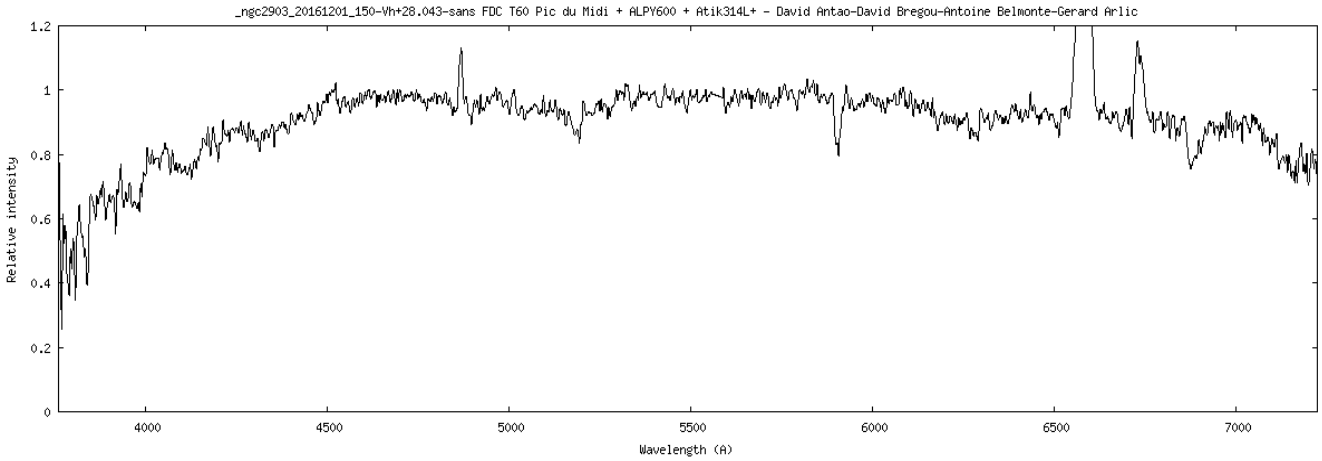



_ngc2903_20161201_150-Vh+28.043 - T600+Alpy600+Atik314L+ Pic-du-Midi - David-Antao_&_co
Relative intensity
3
2.5
2
1.5
1
0.5
4000
4500
5000
5500
6000
6500
7000
7500
Longueur d'onde - Wavelength (A)

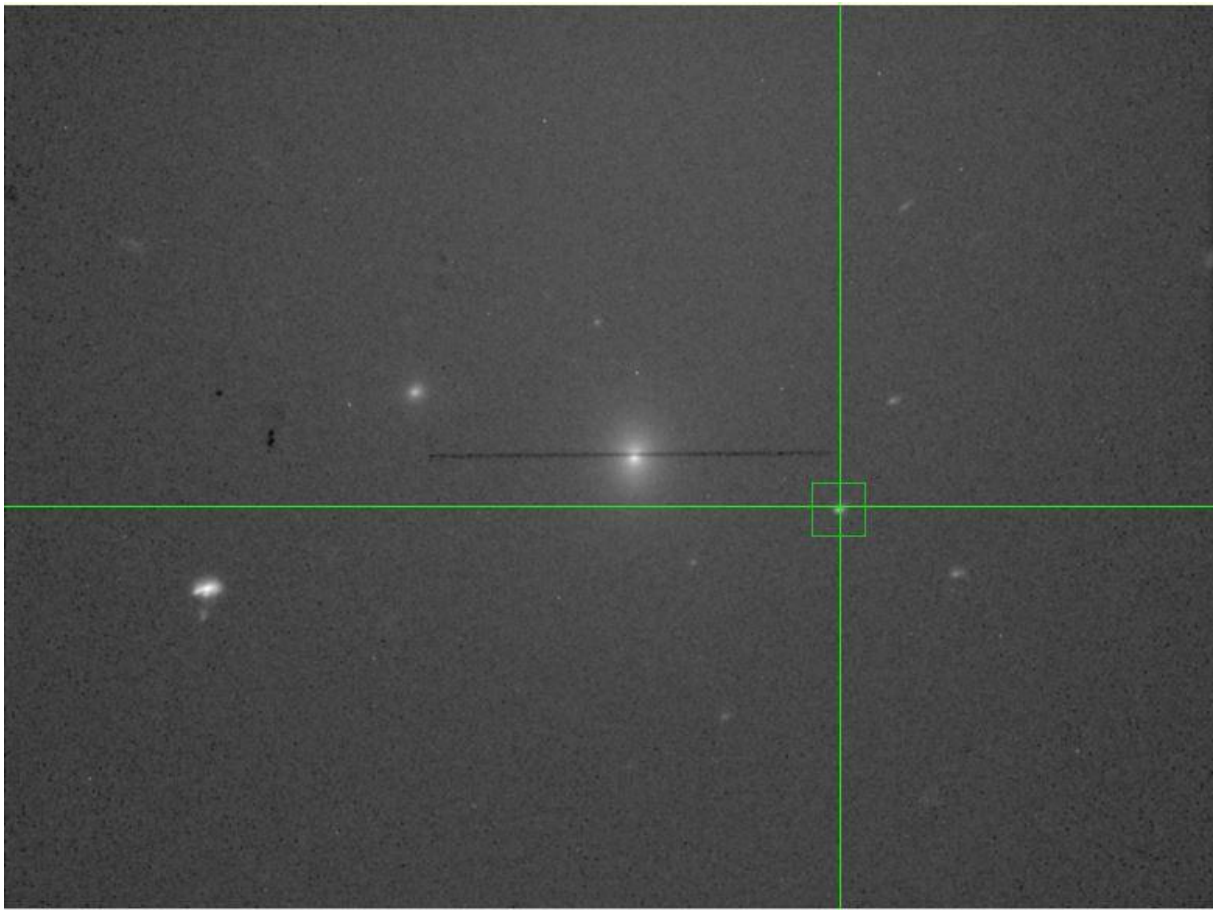
## Suppression reste raies du fond du ciel

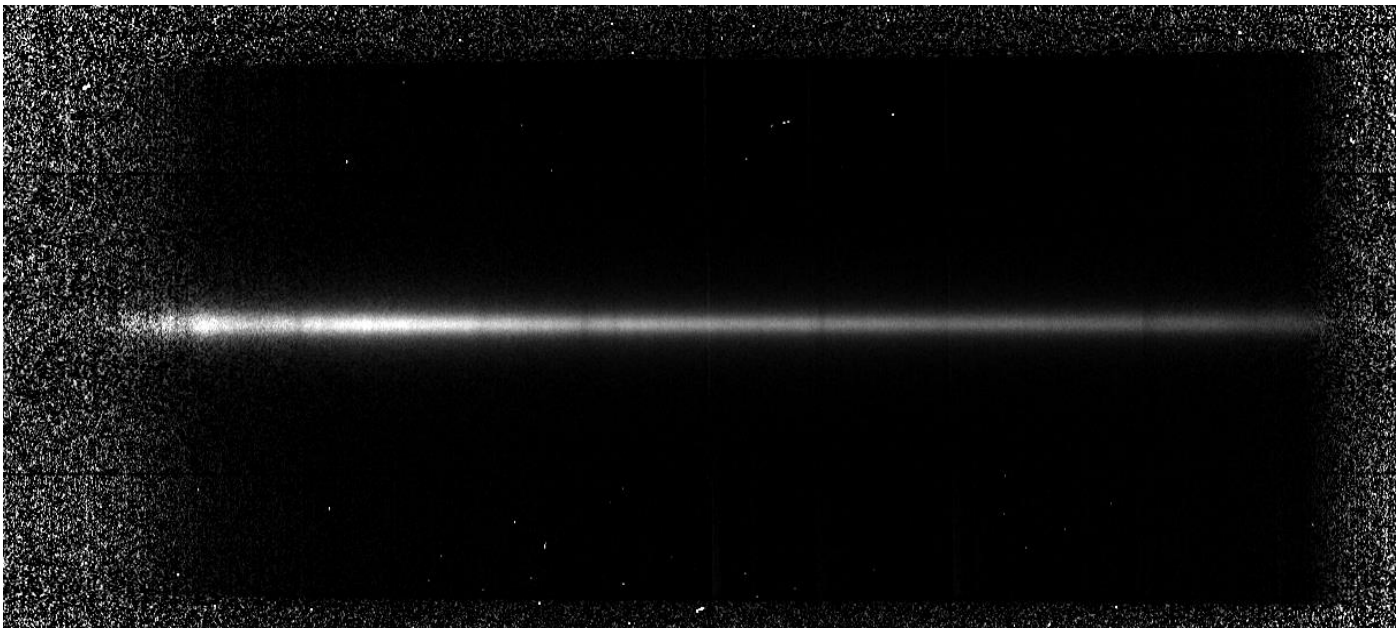


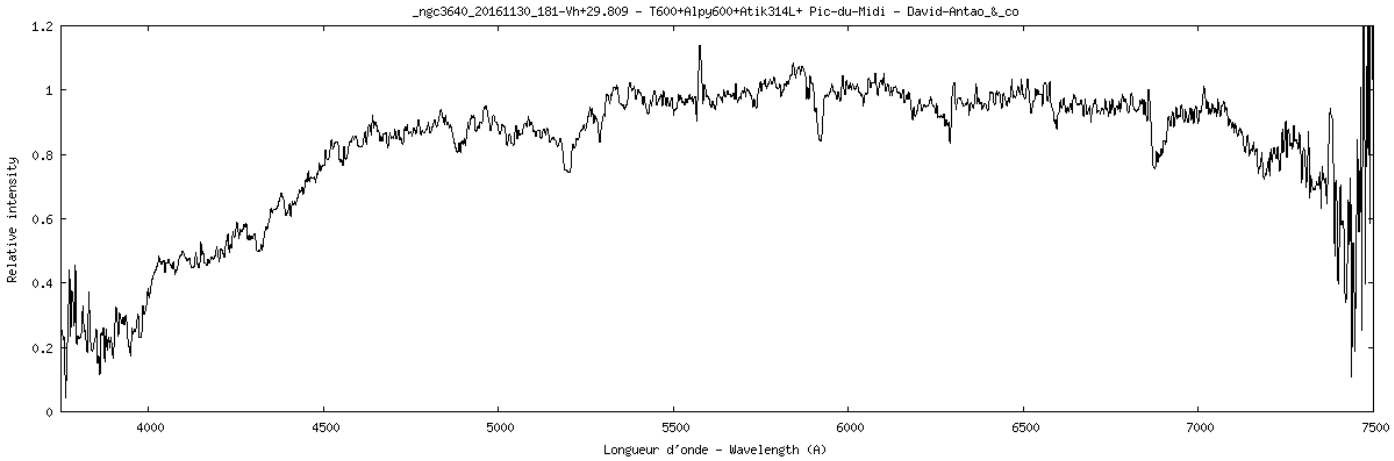

## Zoom sur le continuum



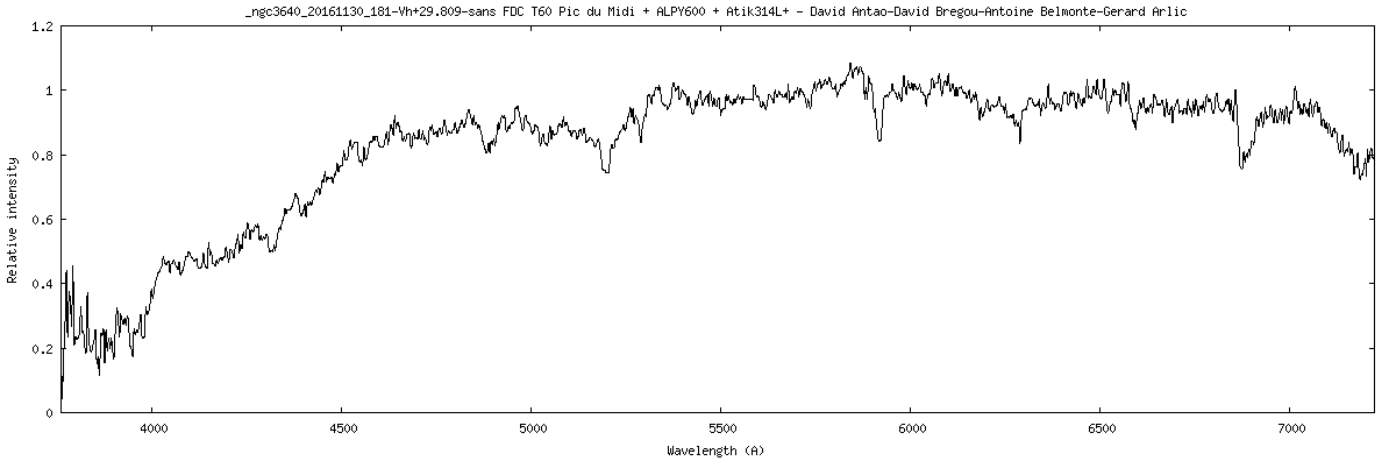

# *NGC3640*



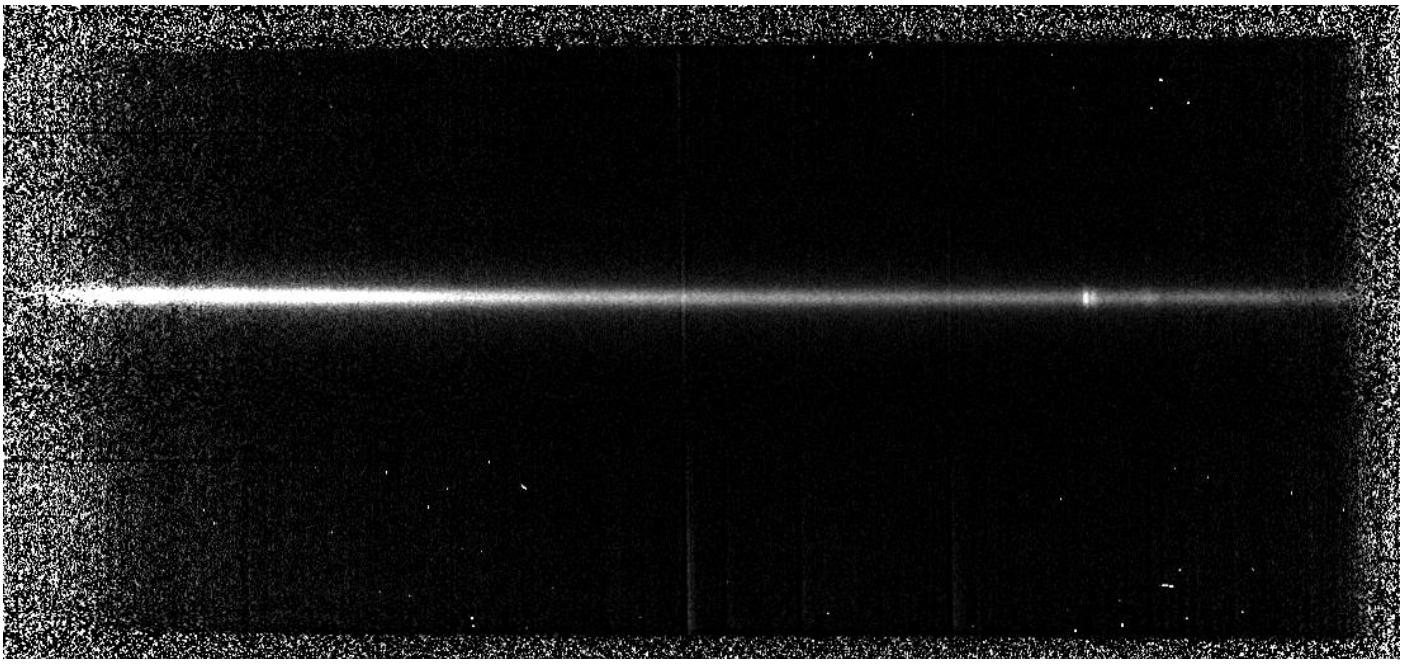


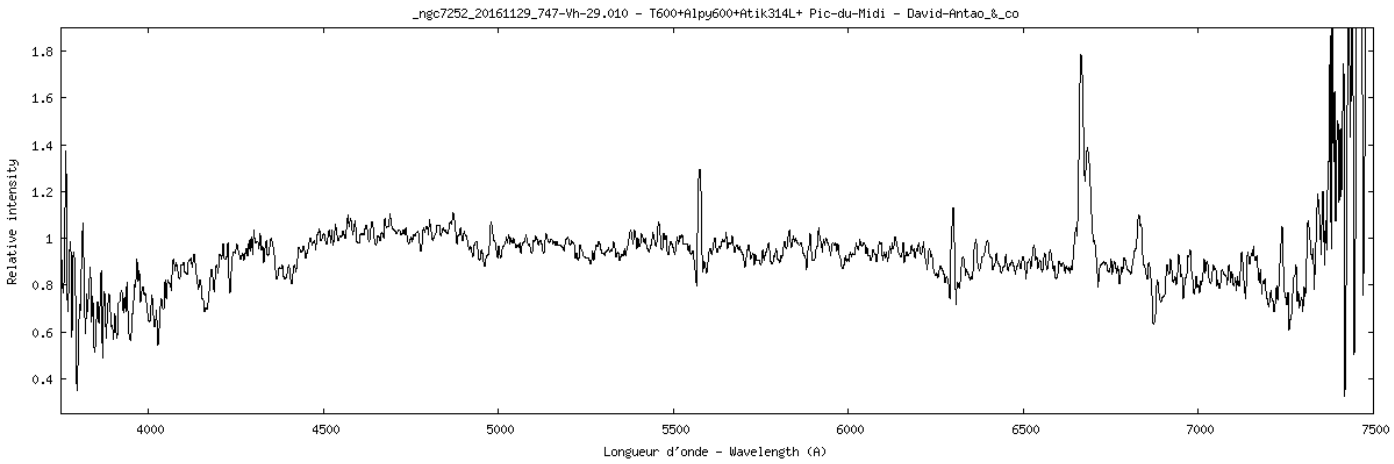



## Suppression reste raies du fond du ciel

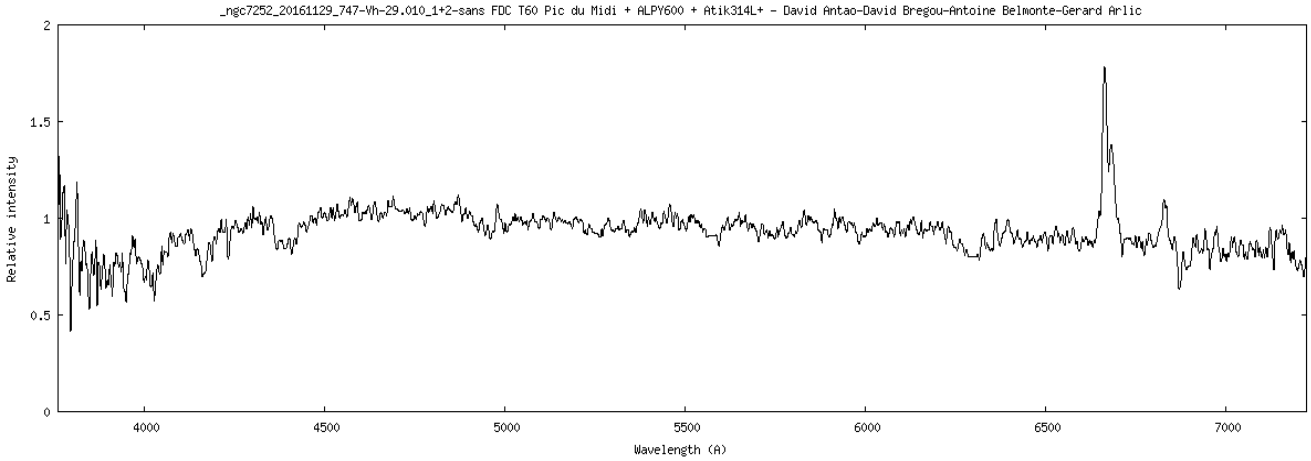


# NGC7252

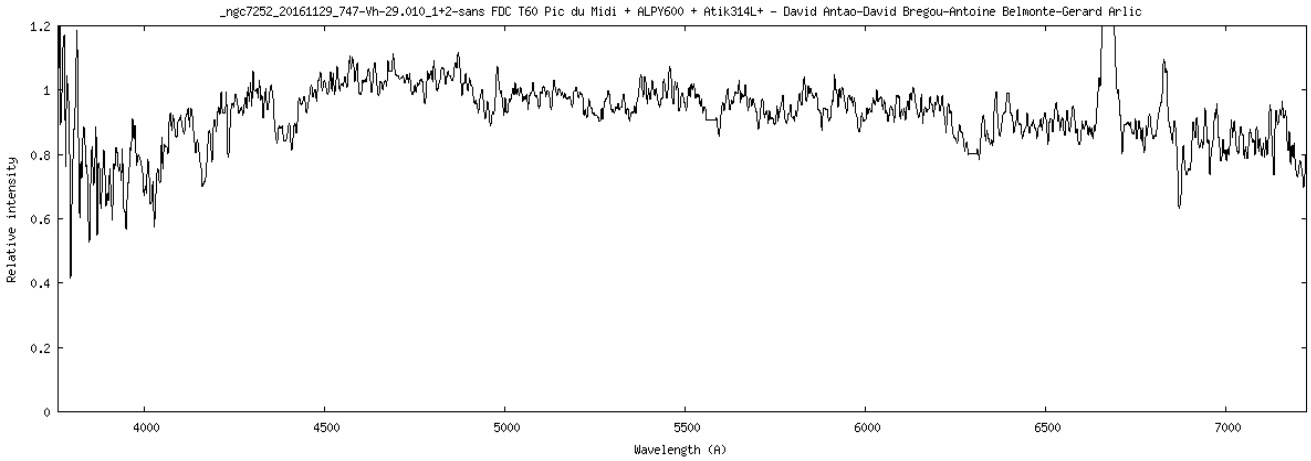



_ngc7252_20161129_747-Vh-29.010 - T600+Alpy600+Atik314L+ Pic-du-Midi - David-Antao_&_co
Relative intensity
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
4000
4500
5000
5500
6000
6500
7000
7500
Longueur d'onde - Wavelength (A)

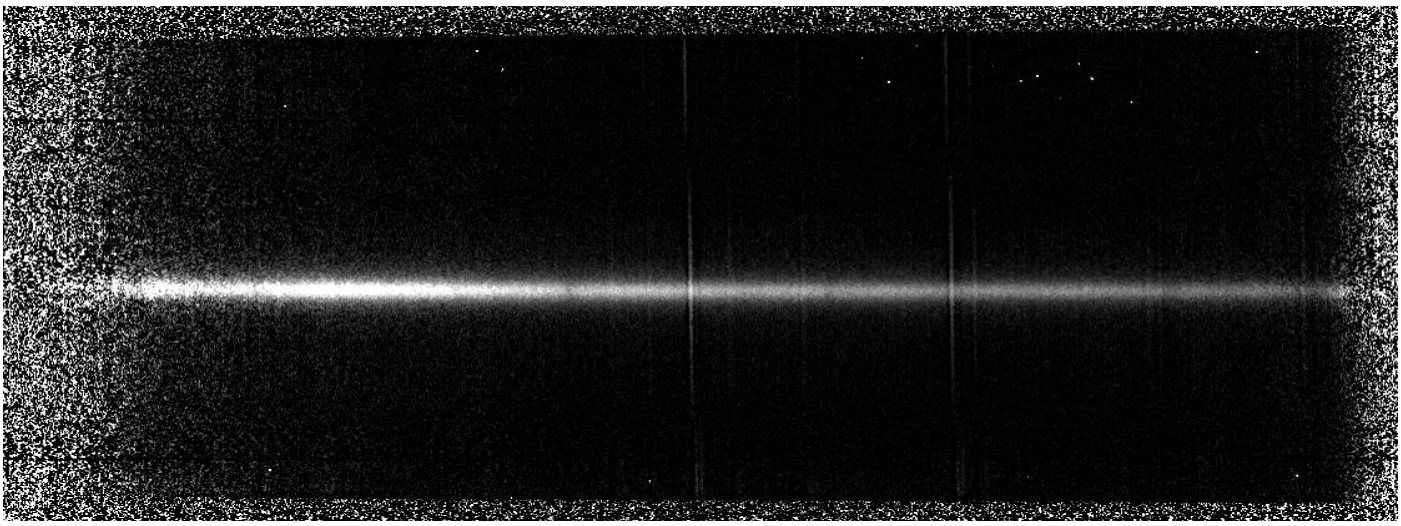
## Suppression reste raies du fond du ciel

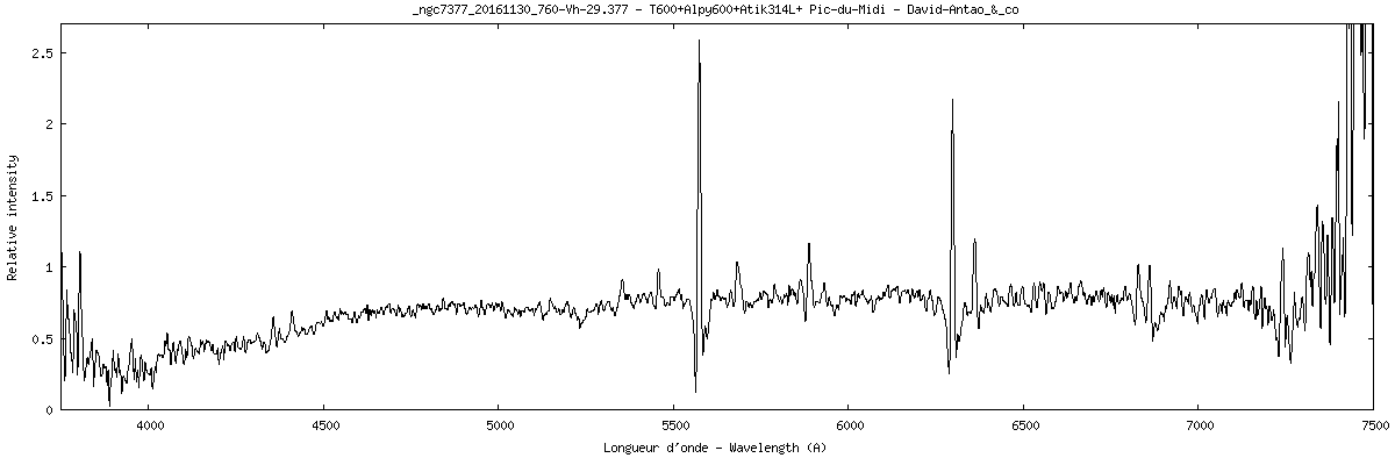



## Zoom sur le continuum

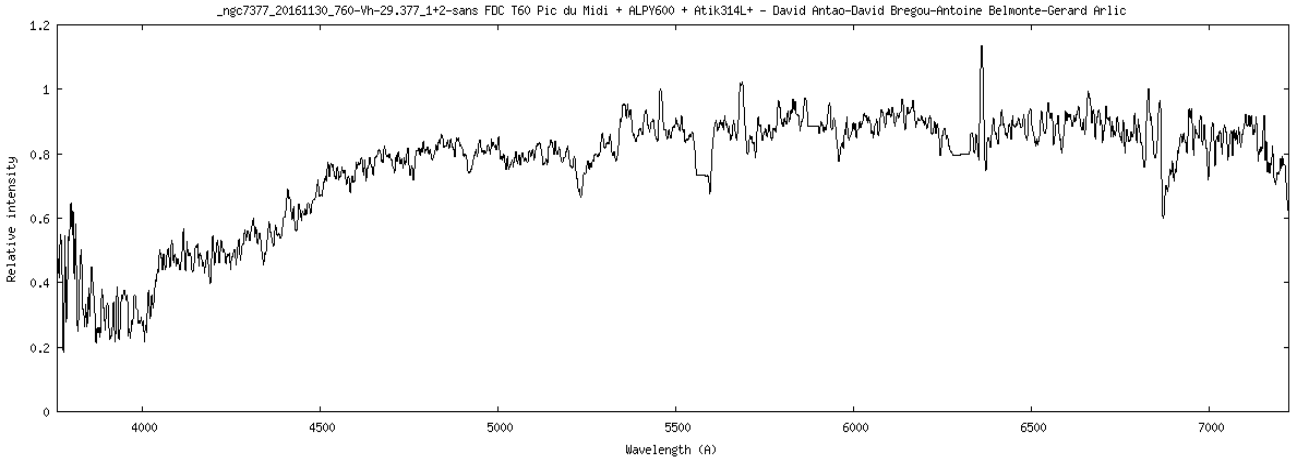



# *NGC7377*



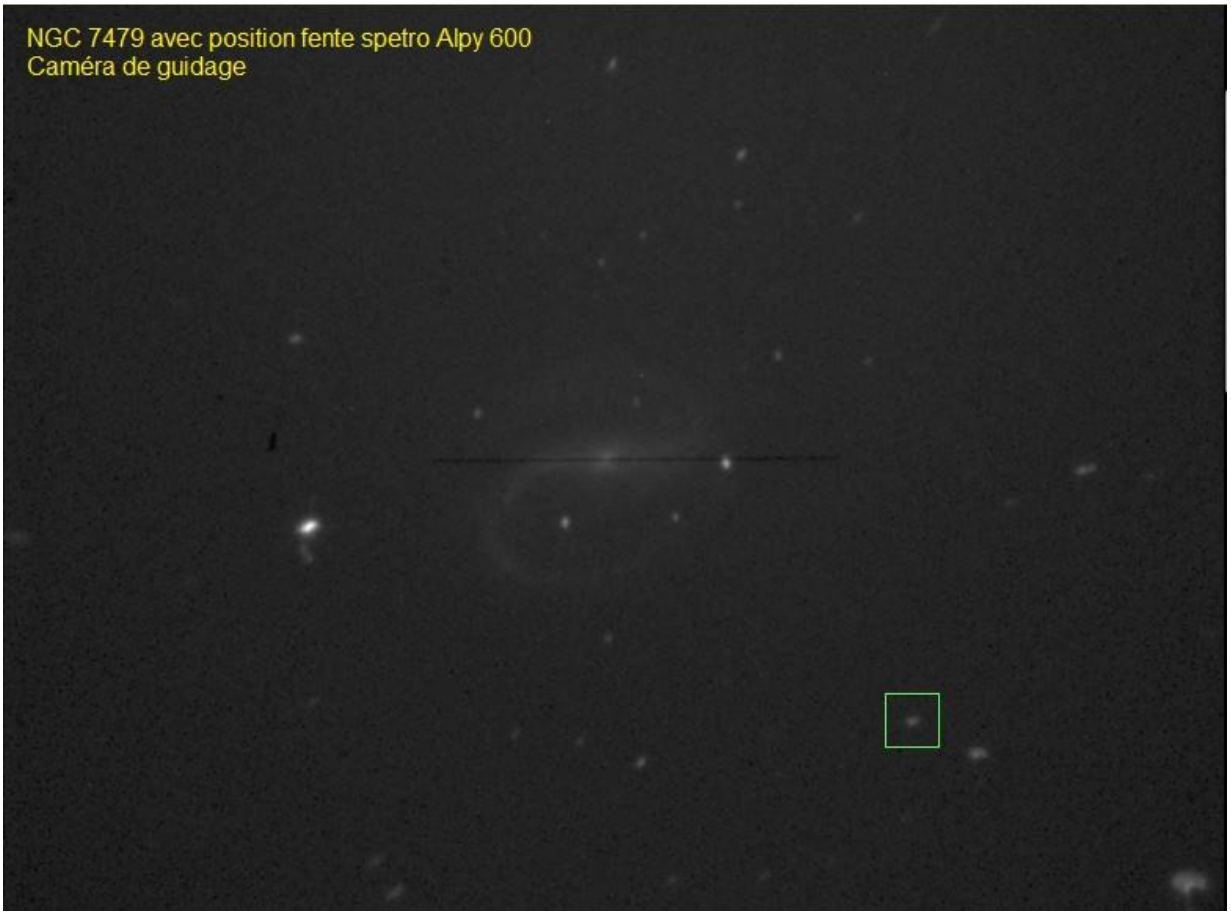


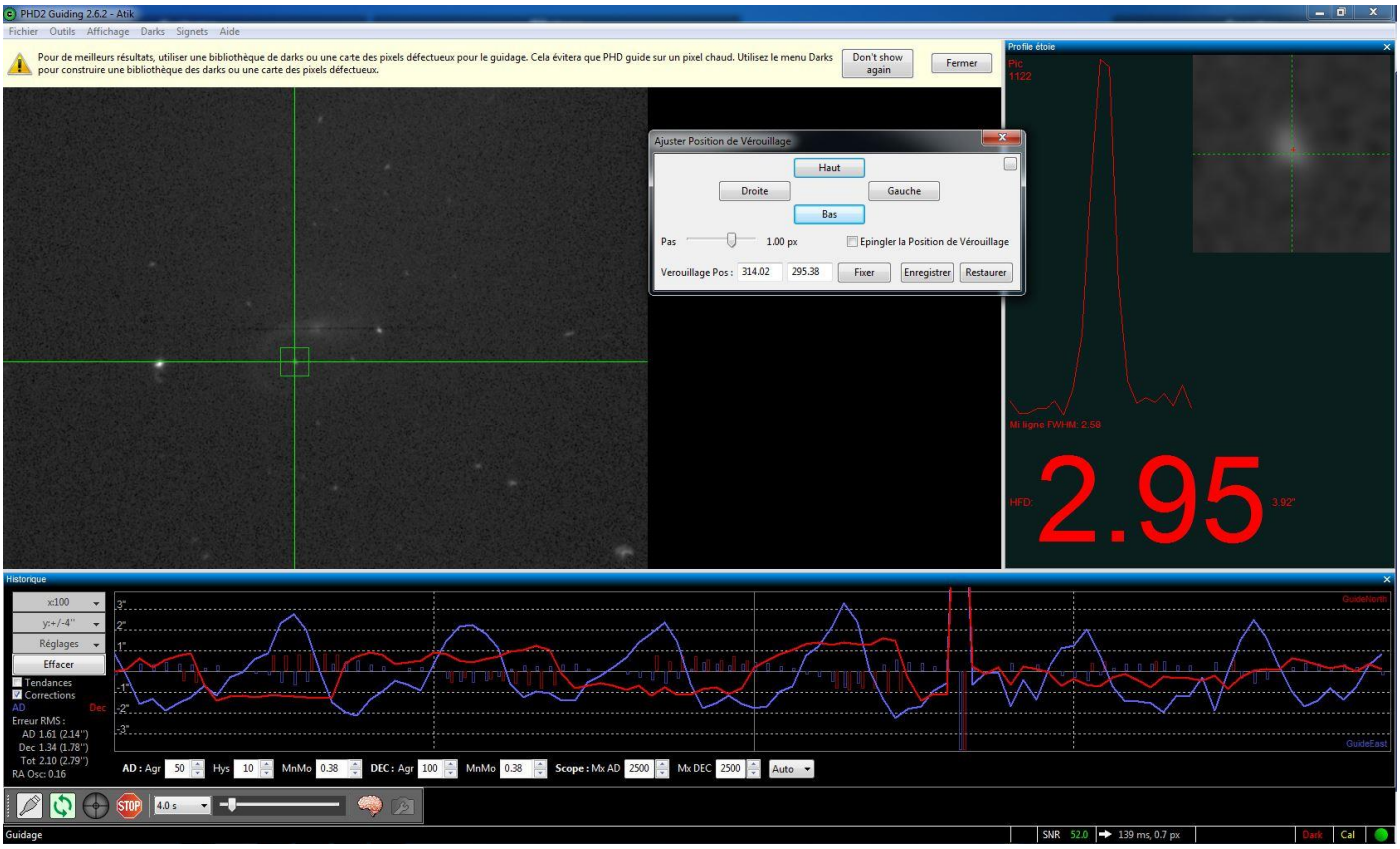
**Suppression reste raies du fond du ciel**

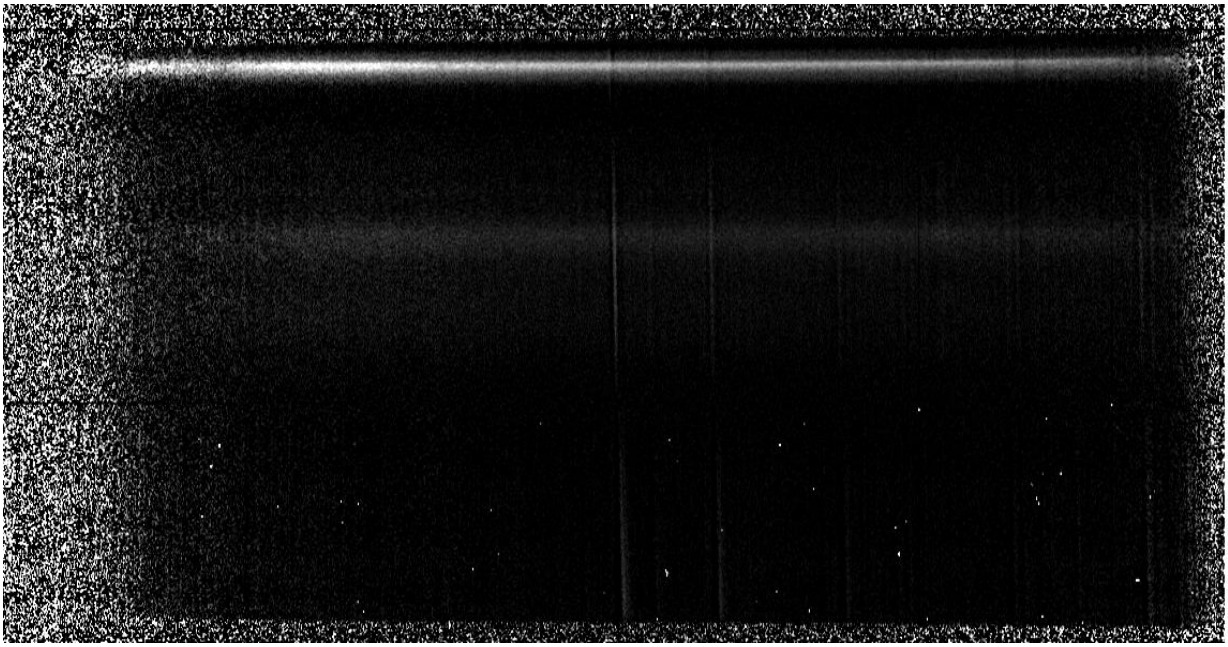



## *NGC7479*

**(Premier soir avec peu de flux)**

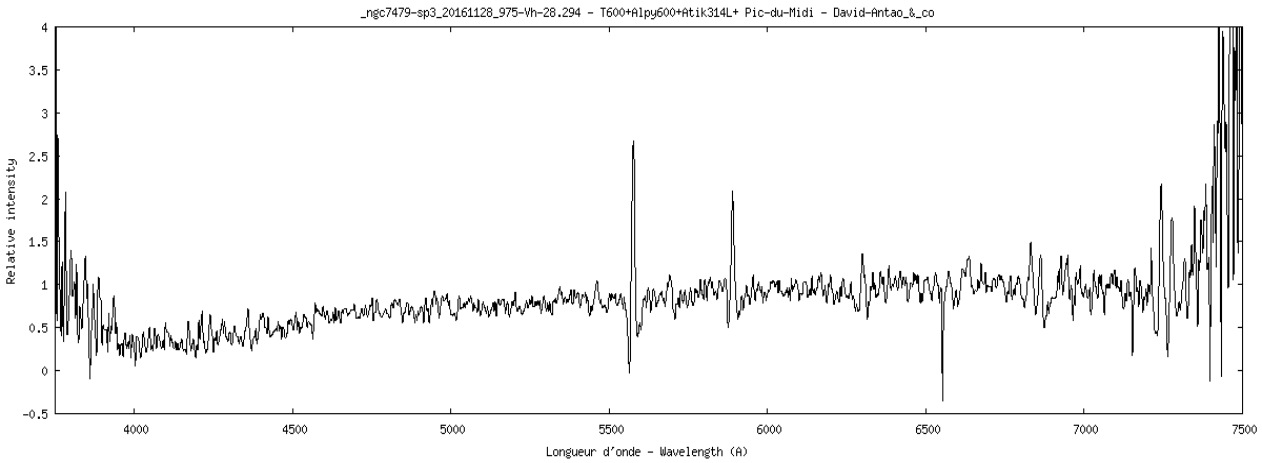




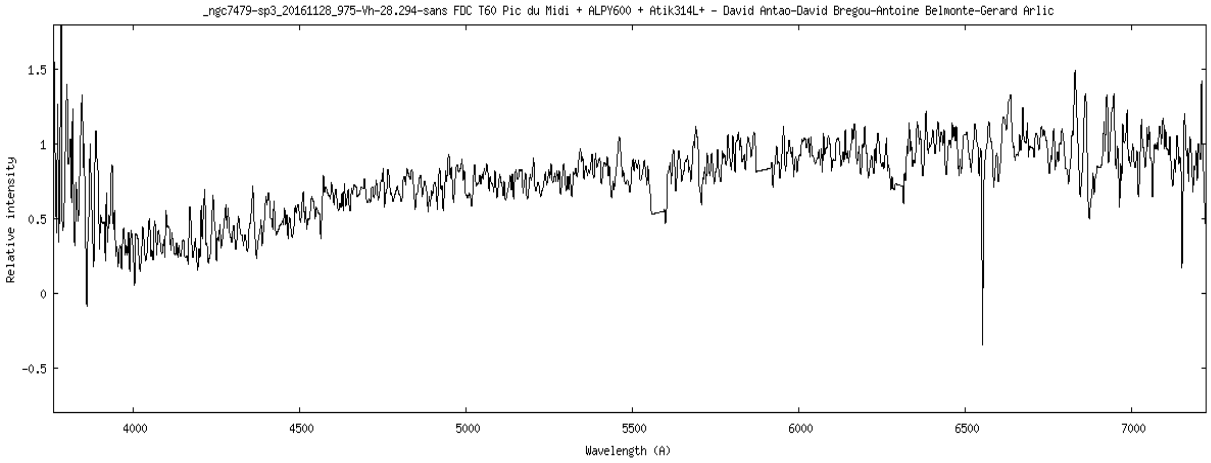



Spectre étoile sur la fente

Spectre galaxie

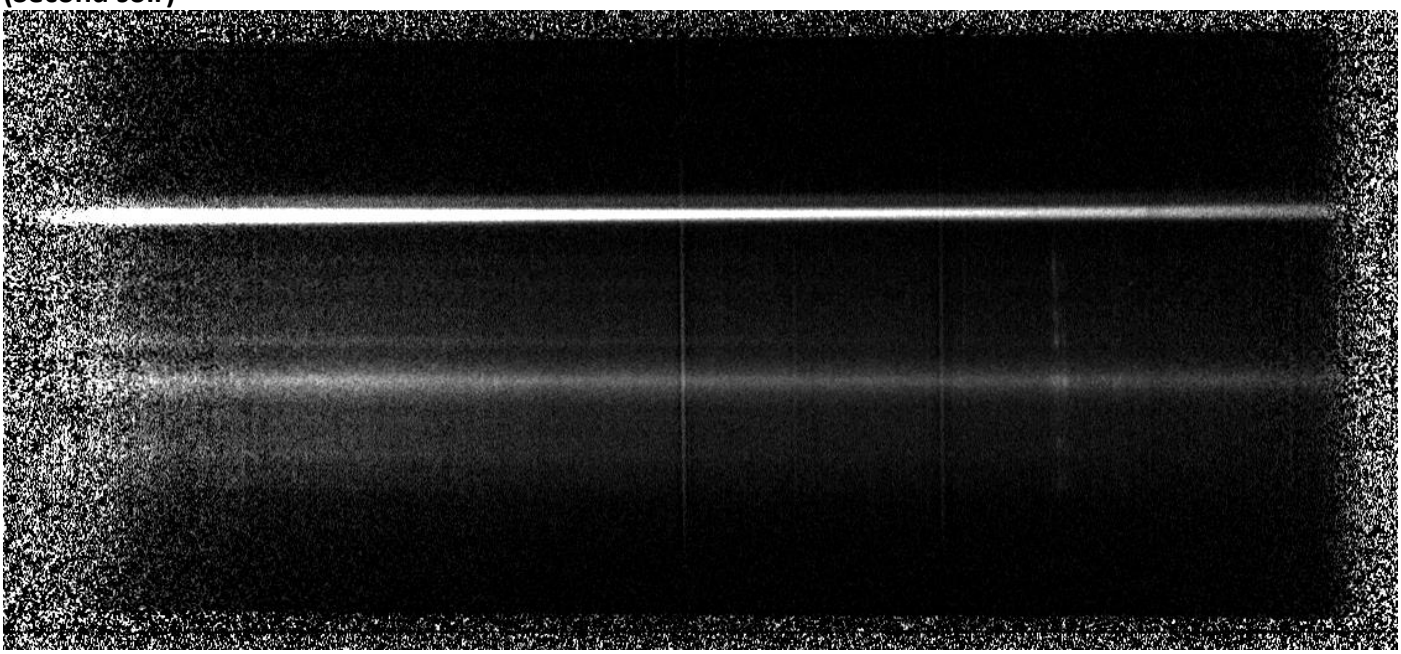


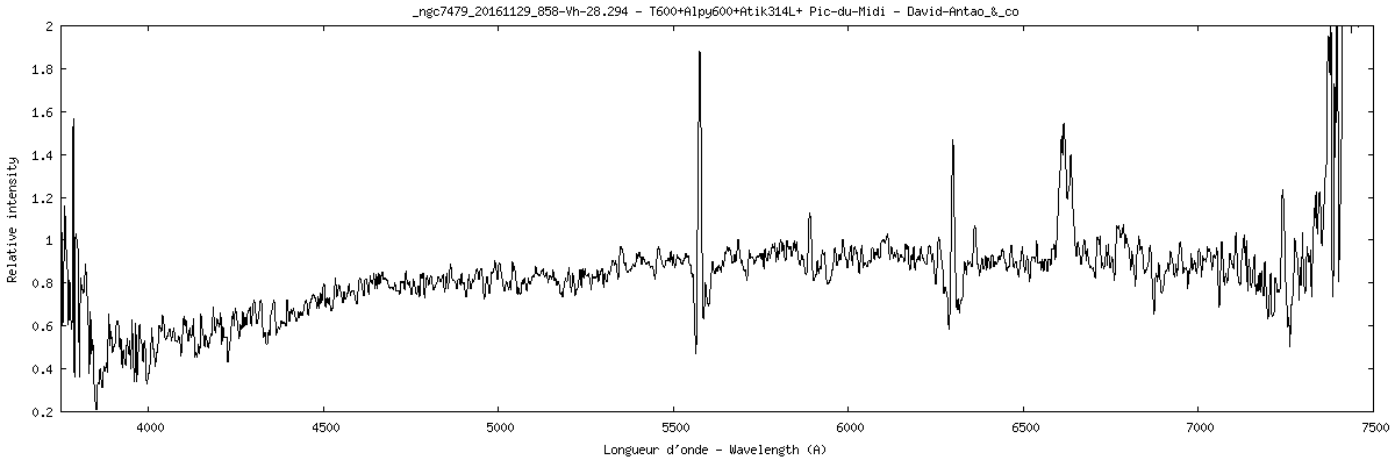
## Suppression reste raies du fond du ciel



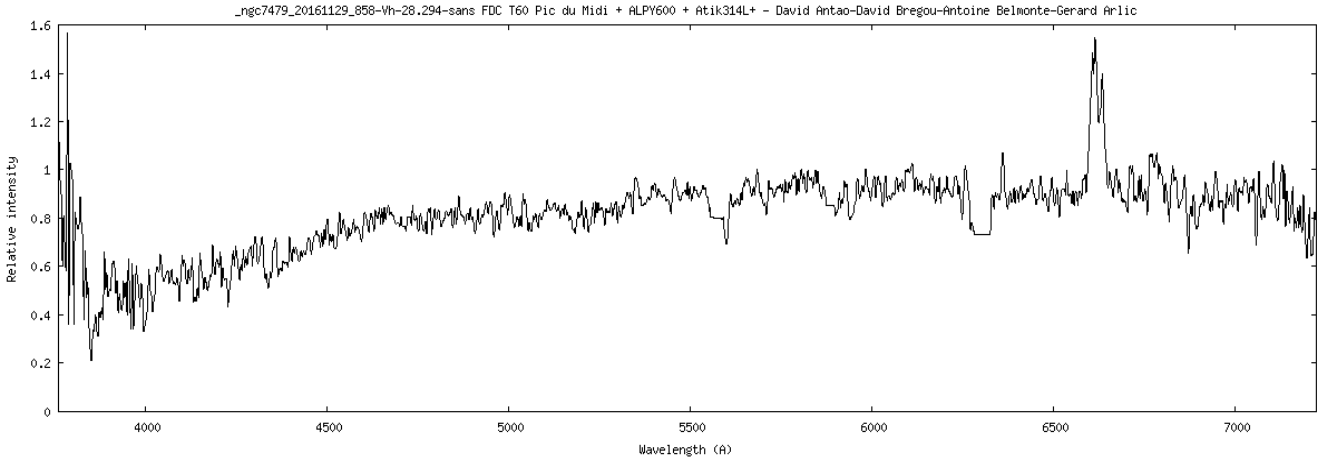

# *NGC7479*

## (Second soir)

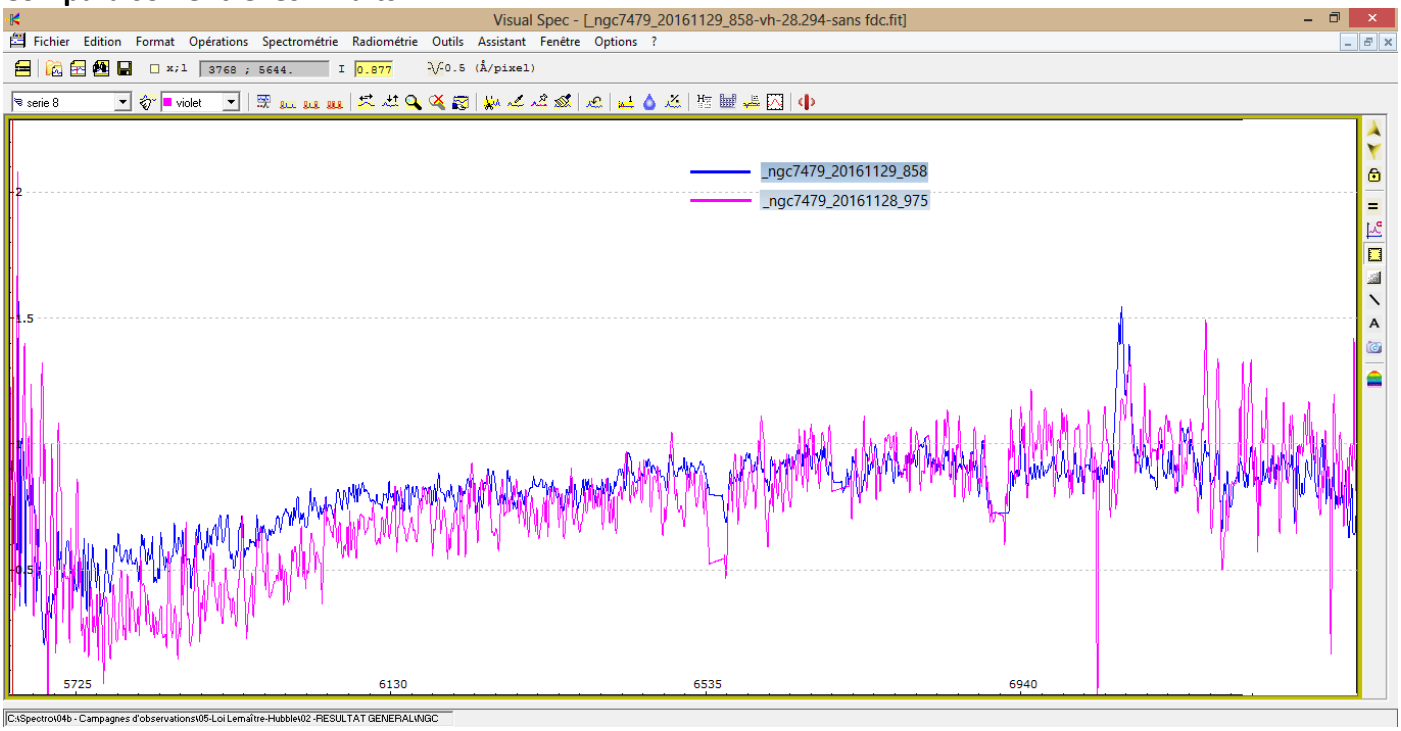




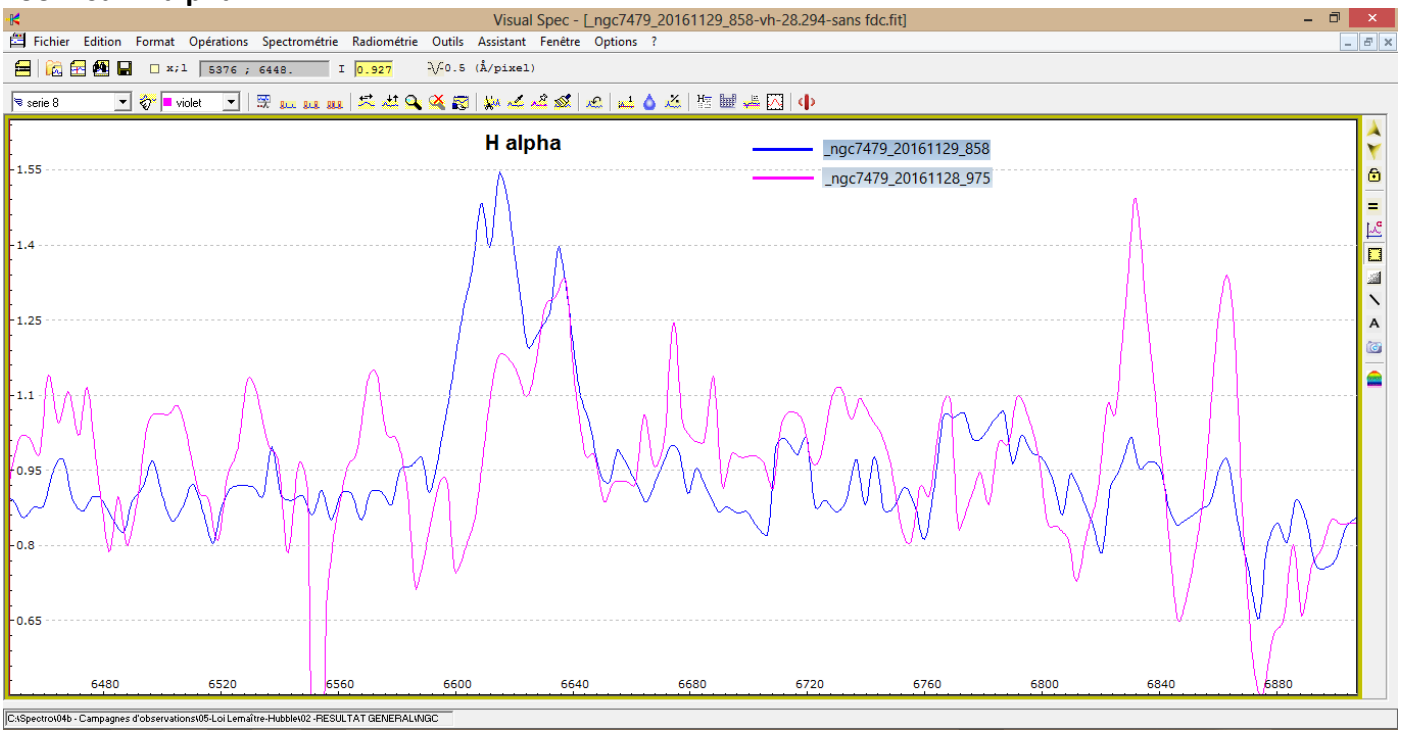
## Suppression reste raies du fond du ciel



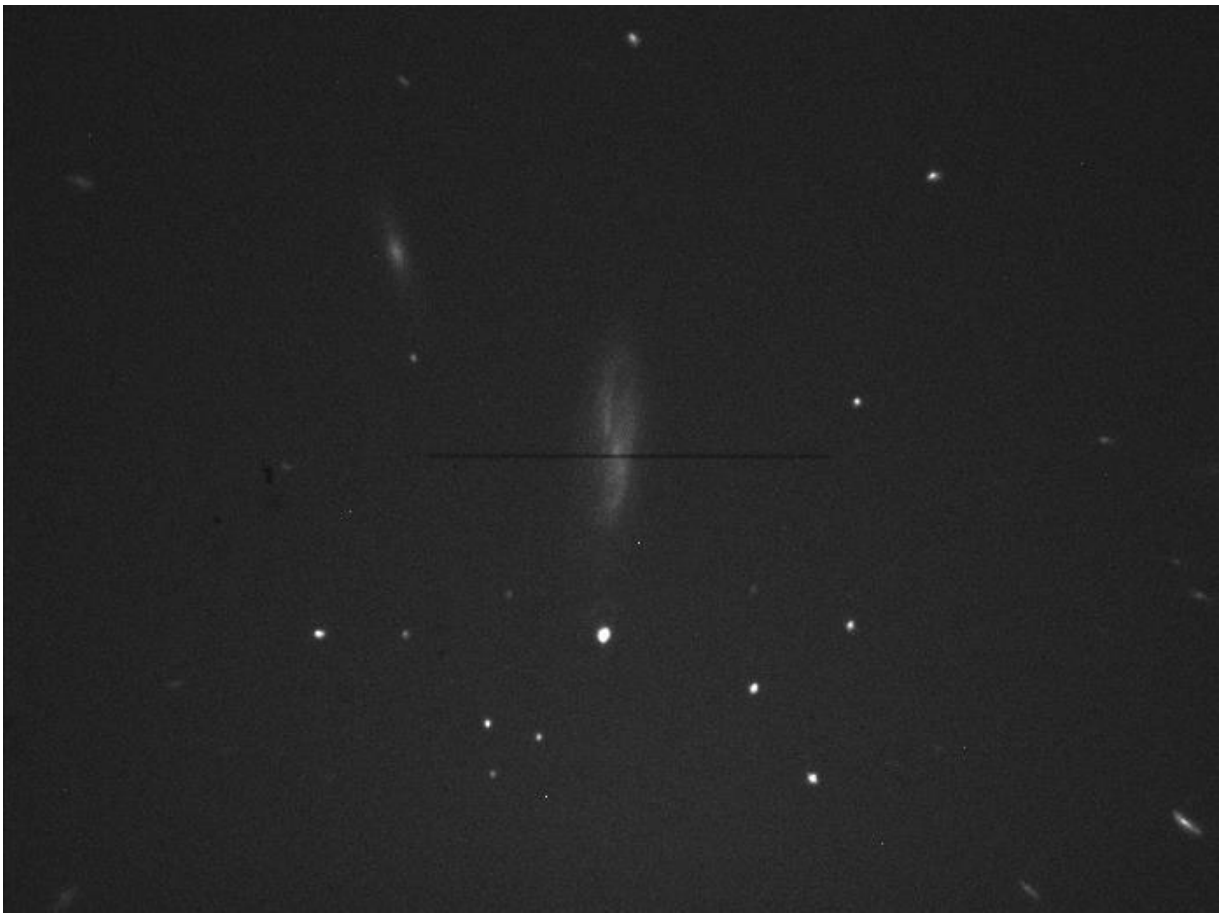

## Comparaison entre les 2 nuits :

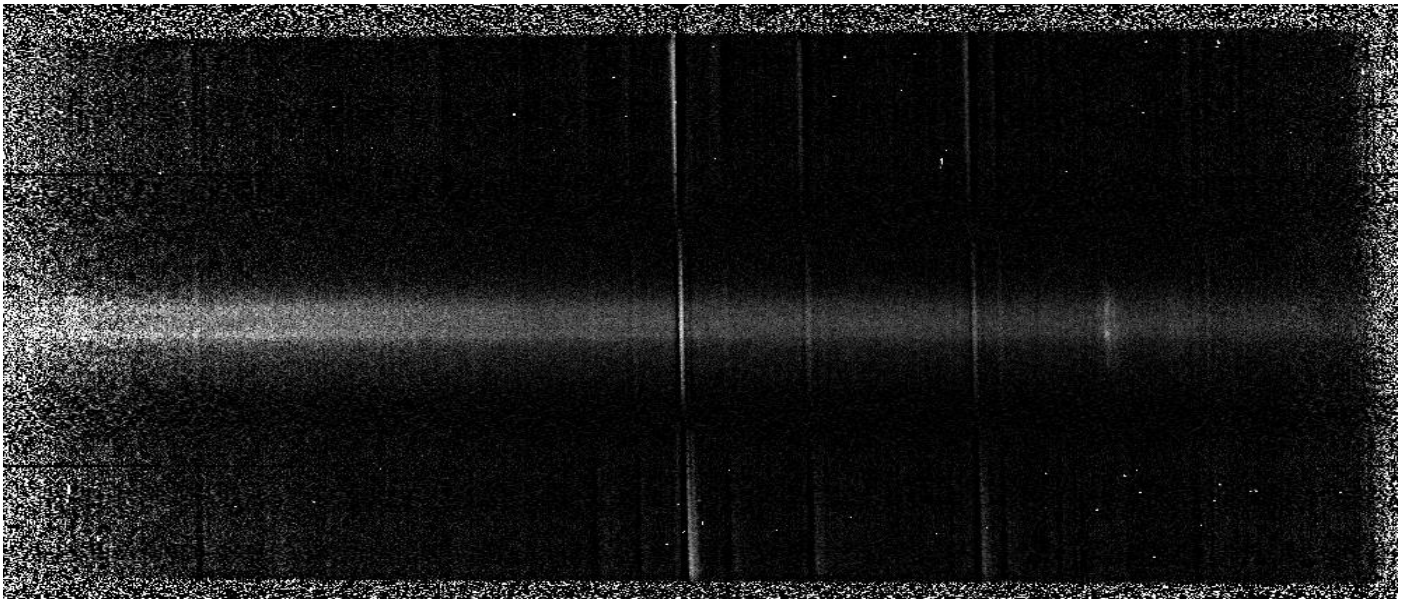


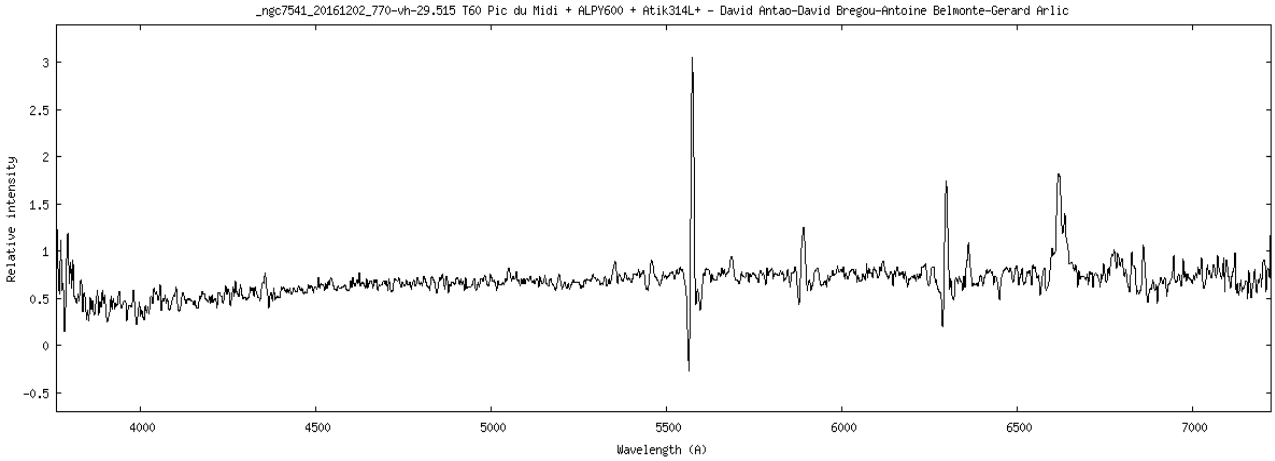

## Zoom sur H alpha



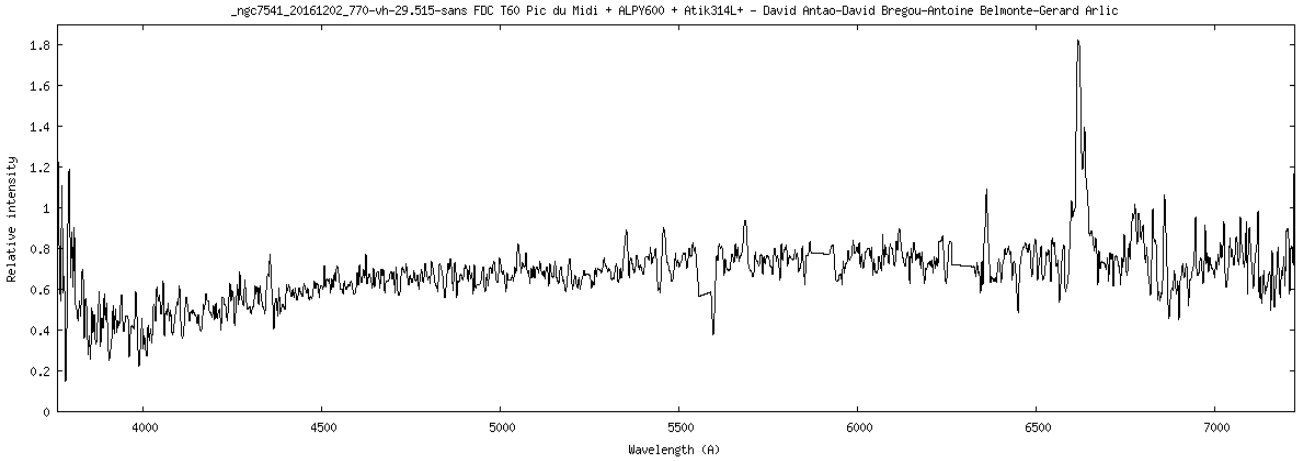
# NGC7541



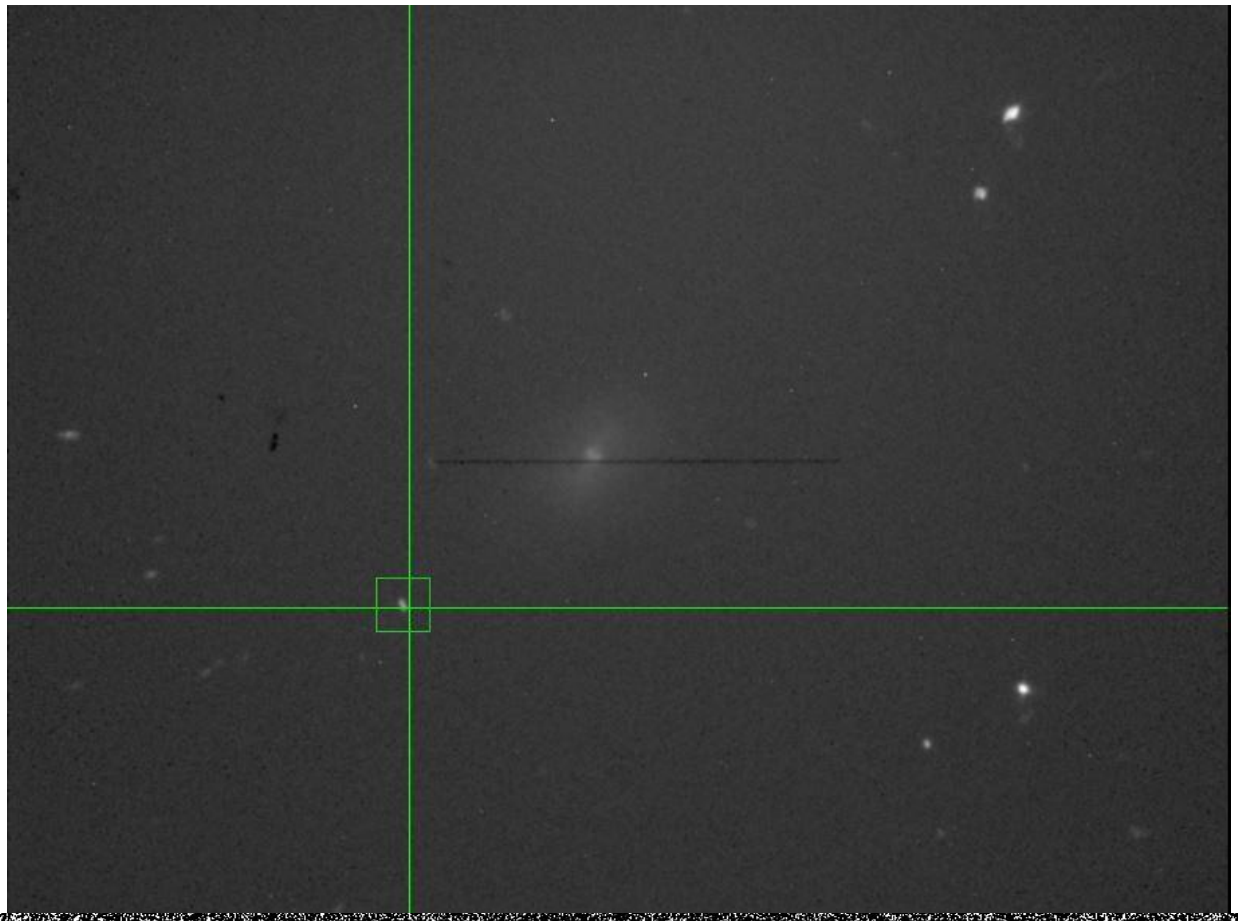


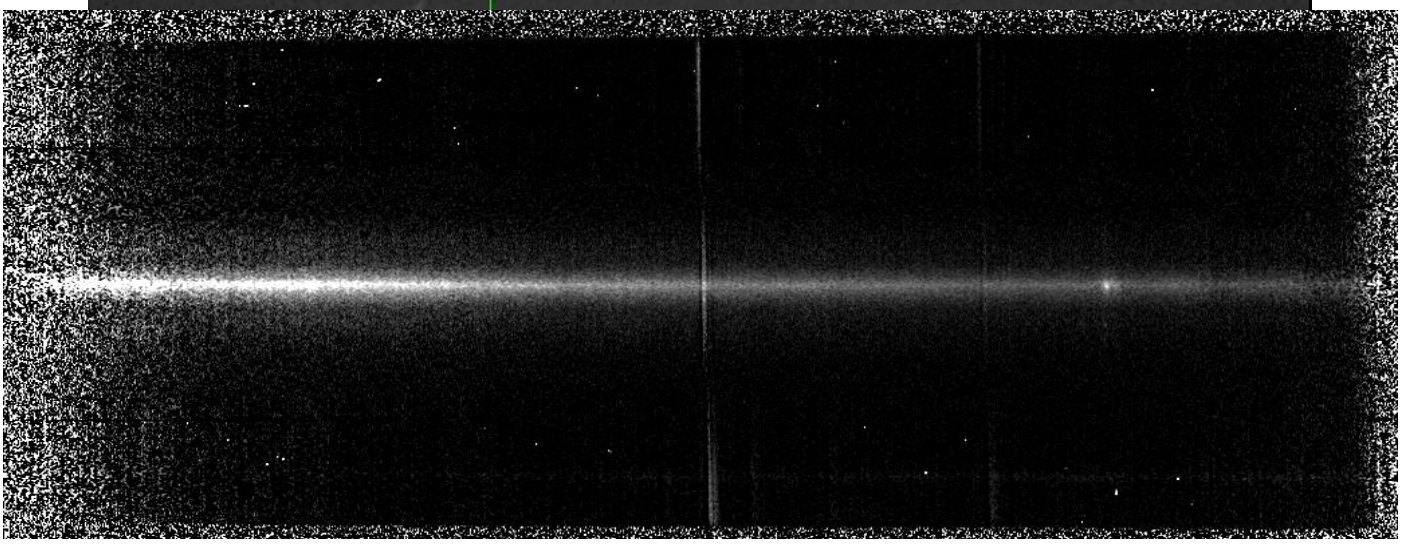

_ngc7541_20161202_770-vh-29.515 T60 Pic du Midi + ALPY600 + Atik314L+ - David Antao-David Bregou-Antoine Belmonte-Gerard Arlic
Relative intensity
Wavelength (A)
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
4000
4500
5000
5500
6000
6500
7000

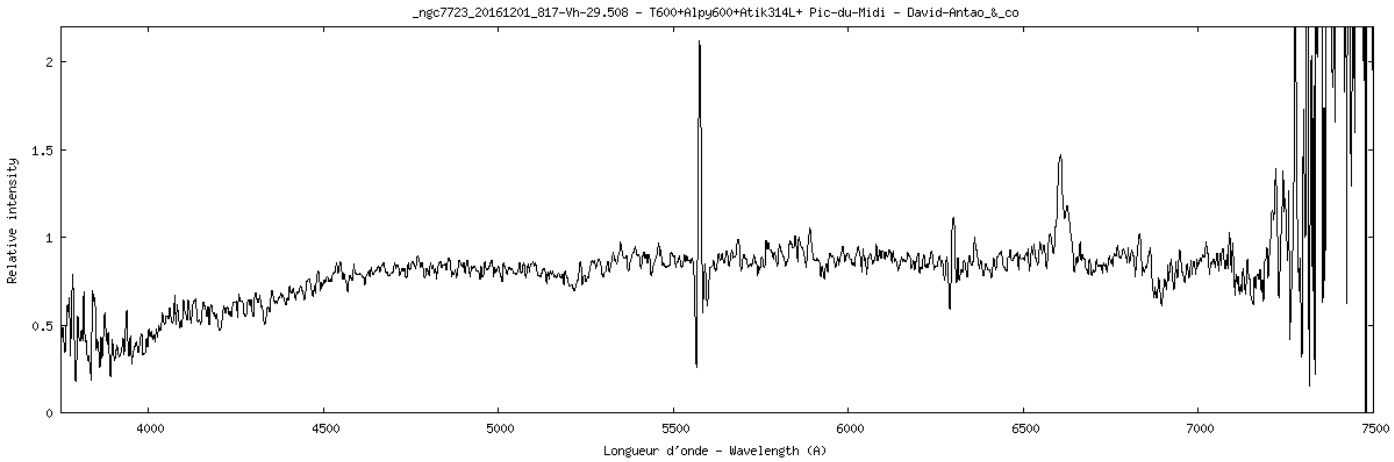
## Suppression reste raies du fond du ciel



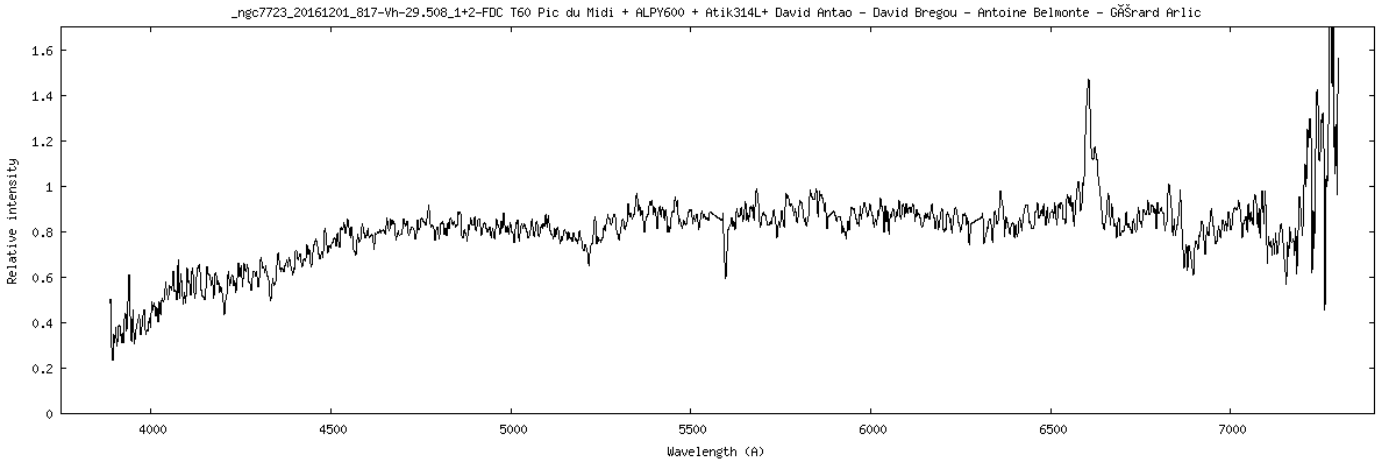

# *NGC7723*



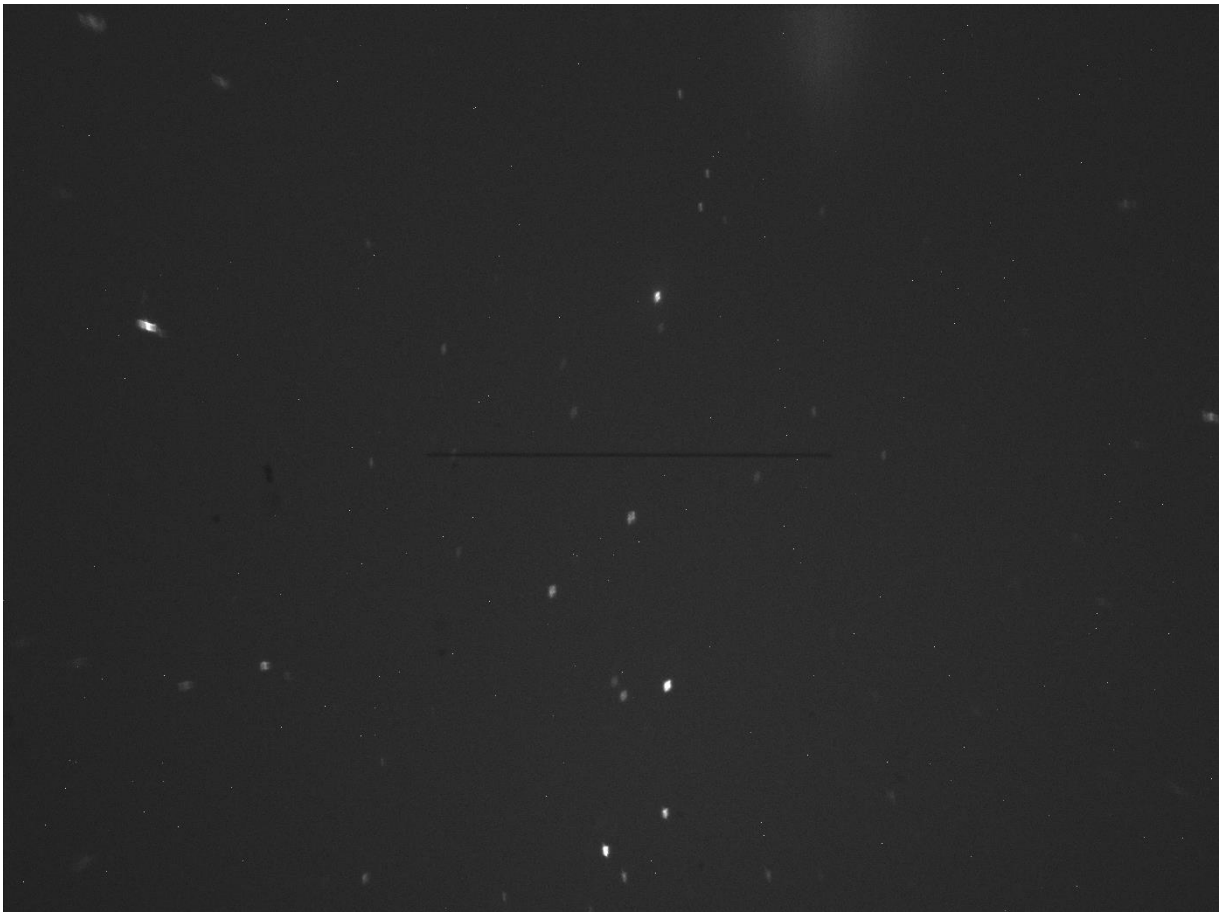


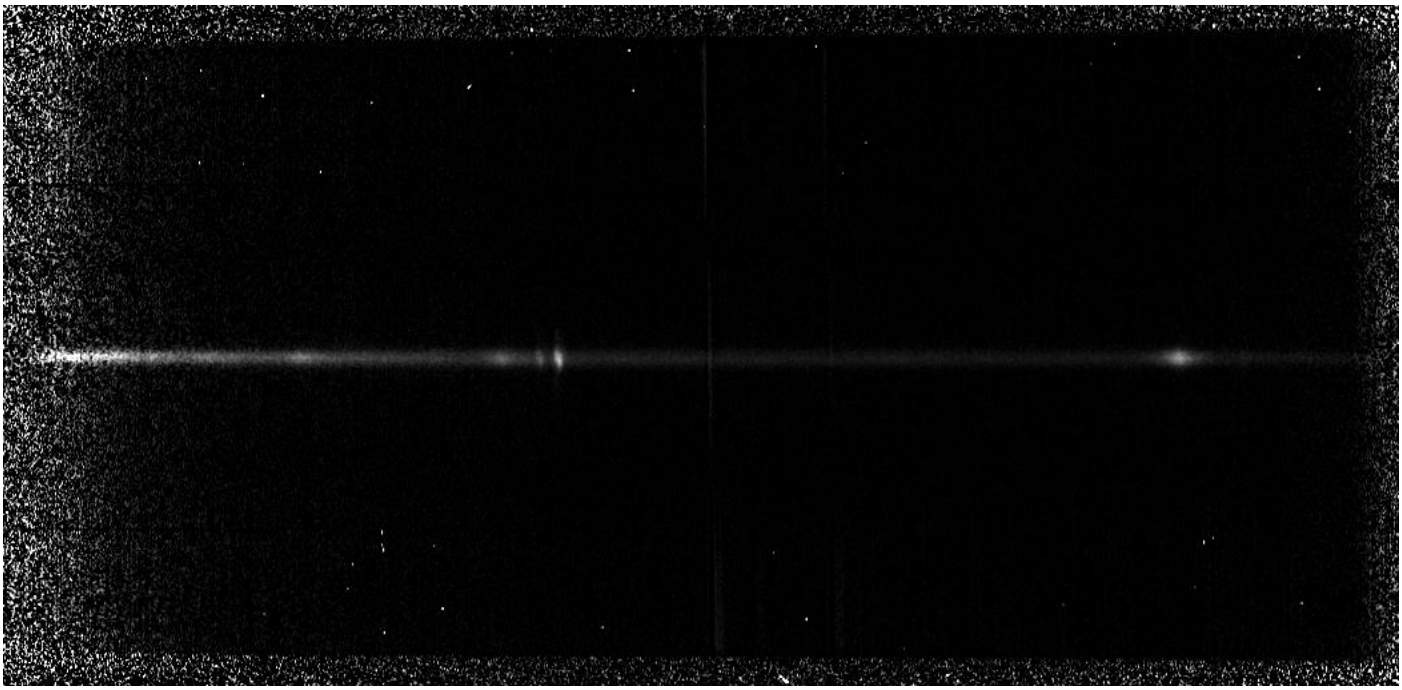


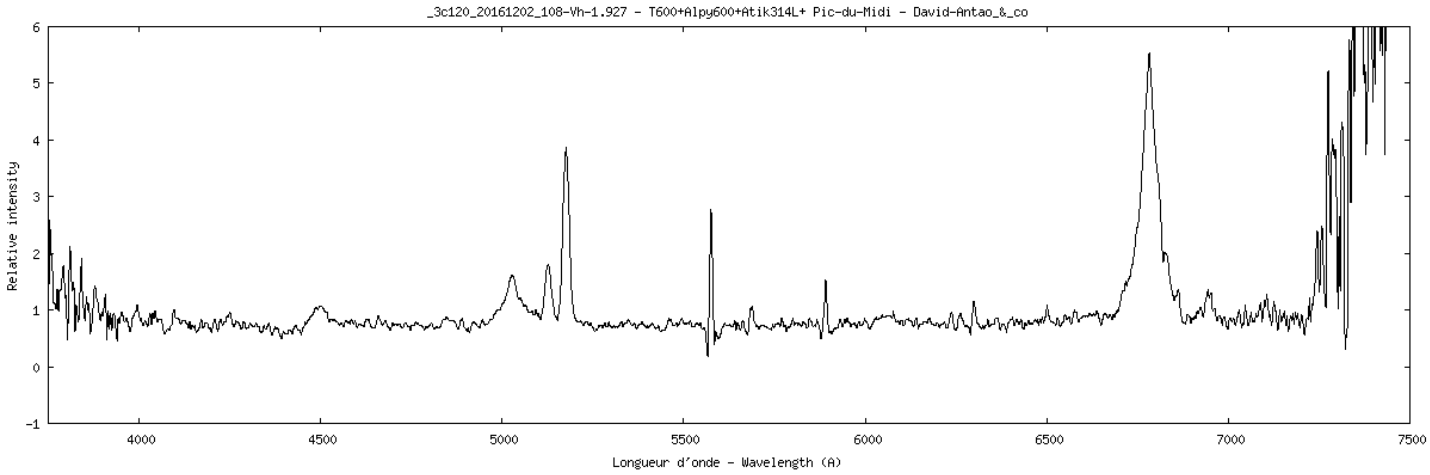

**Suppression reste raies du fond du ciel**



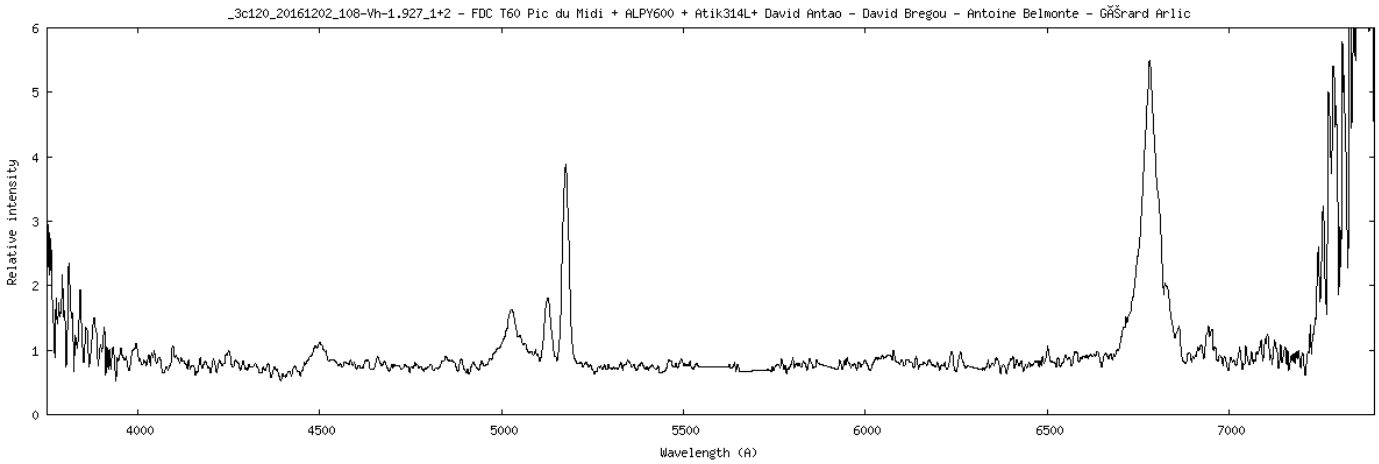

## *3C120*



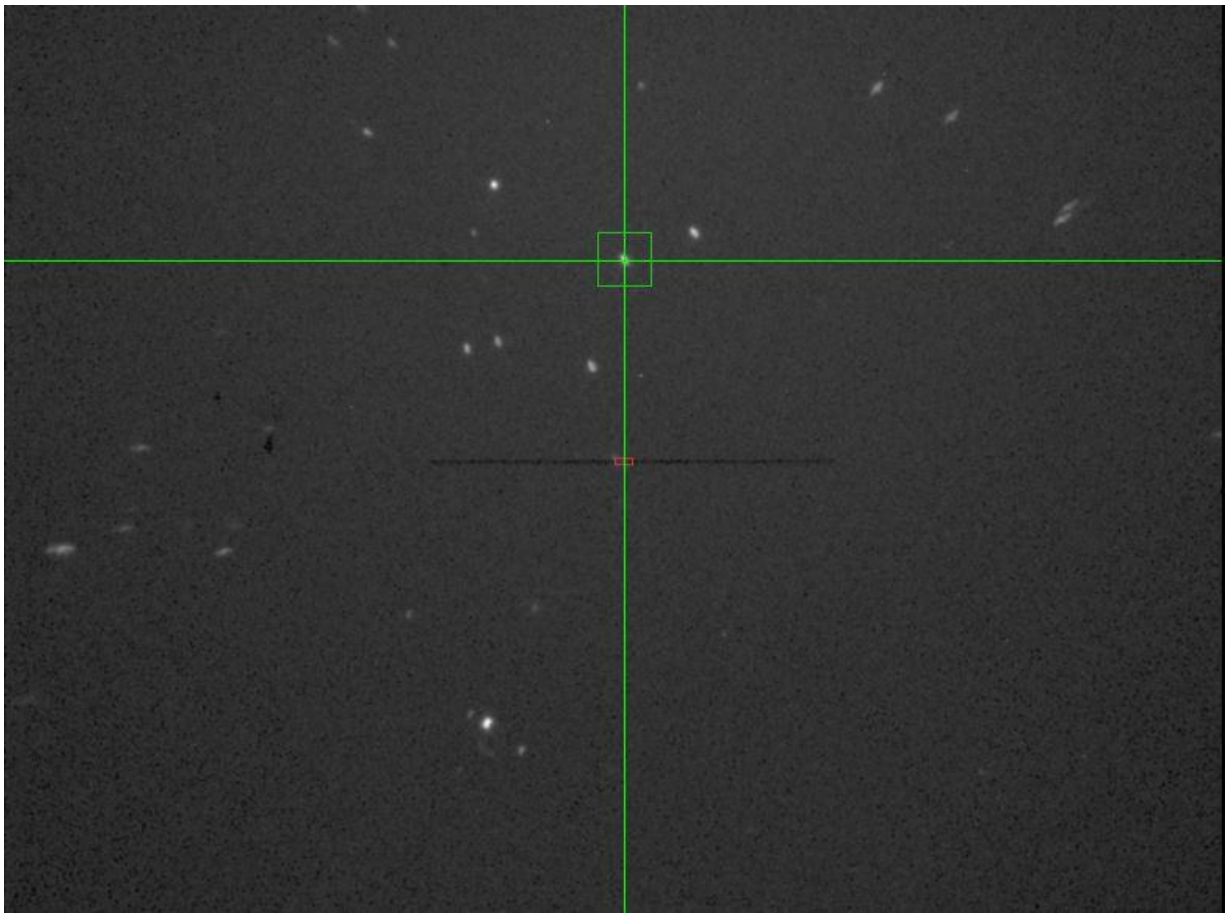


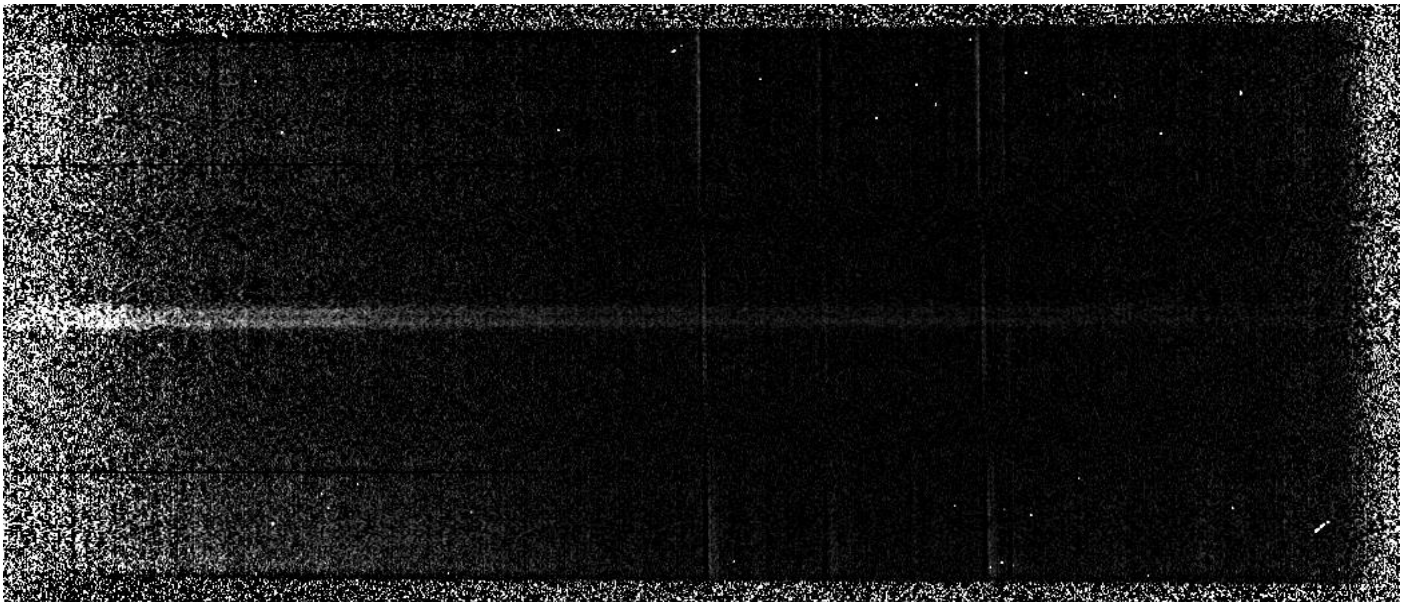


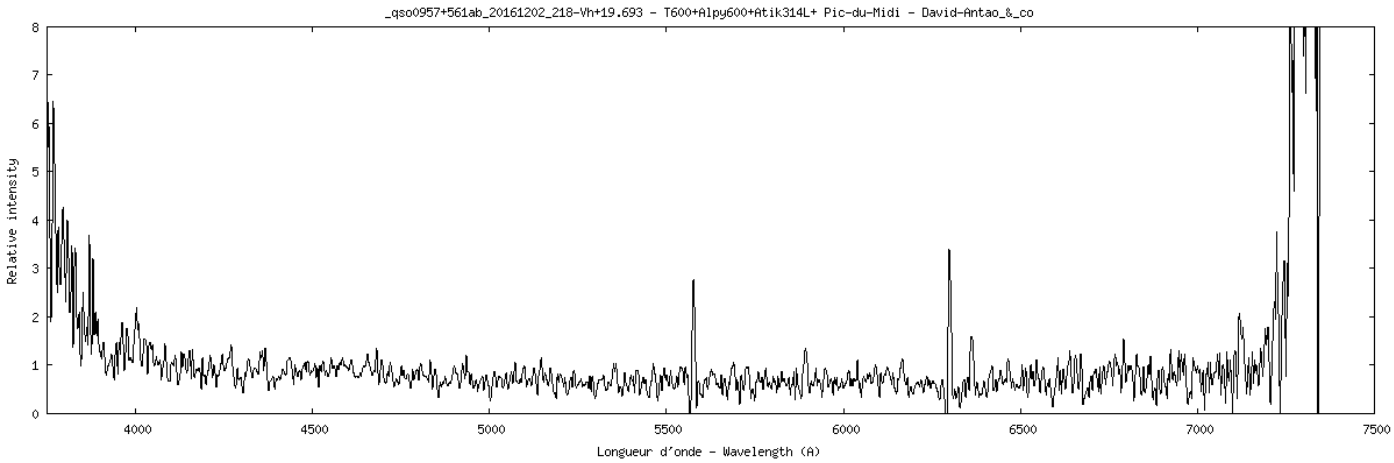

## Suppression reste raies du fond du ciel



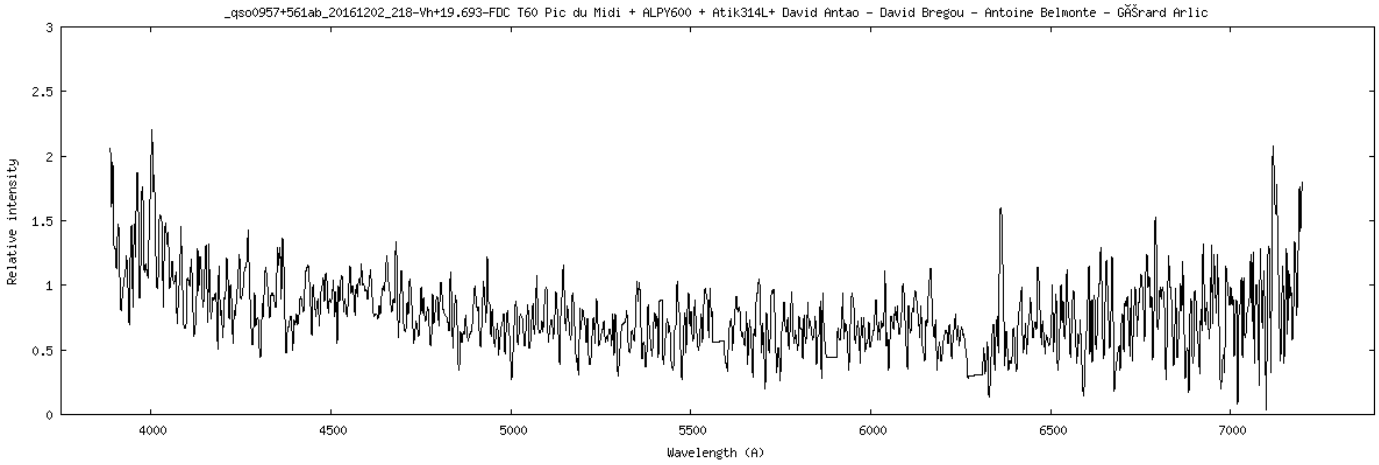
# QSO0957+561AB



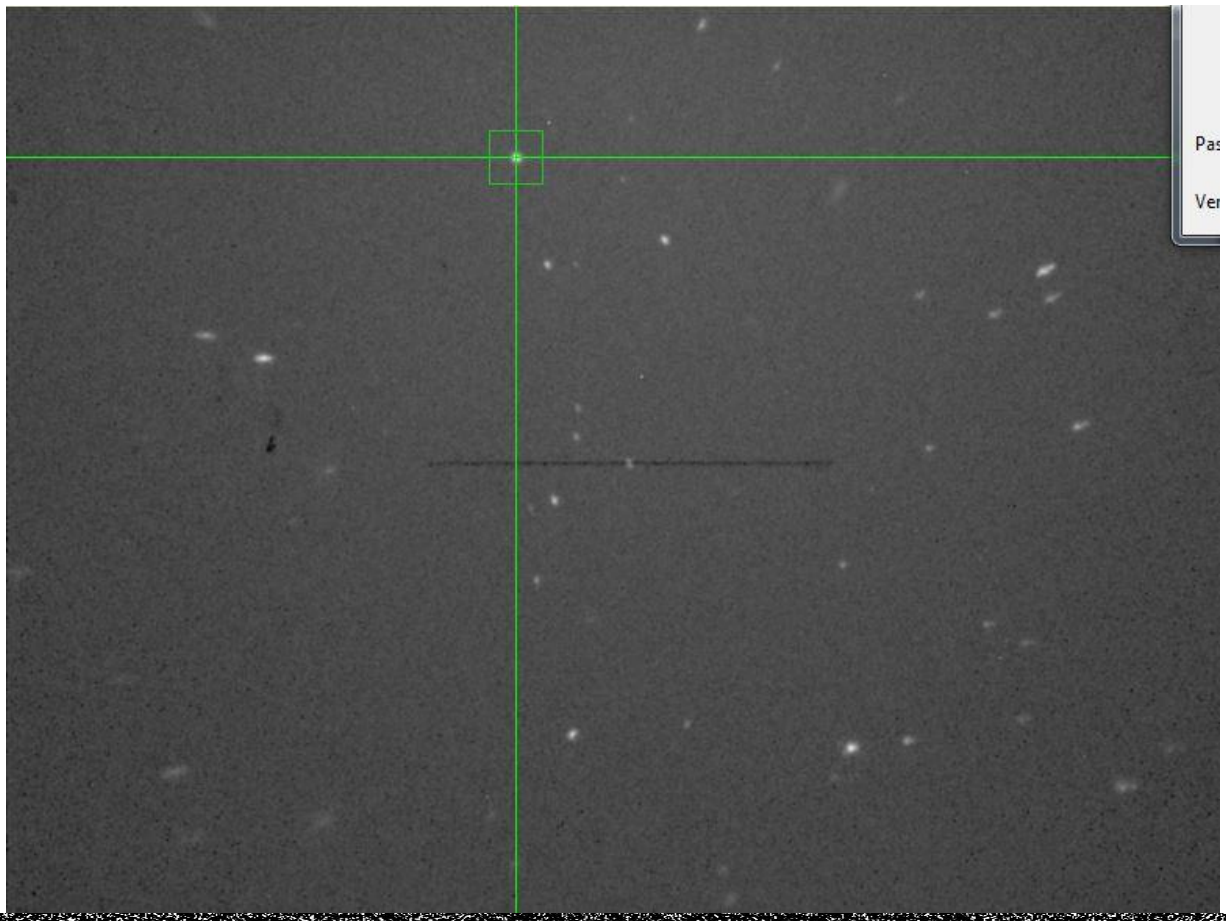


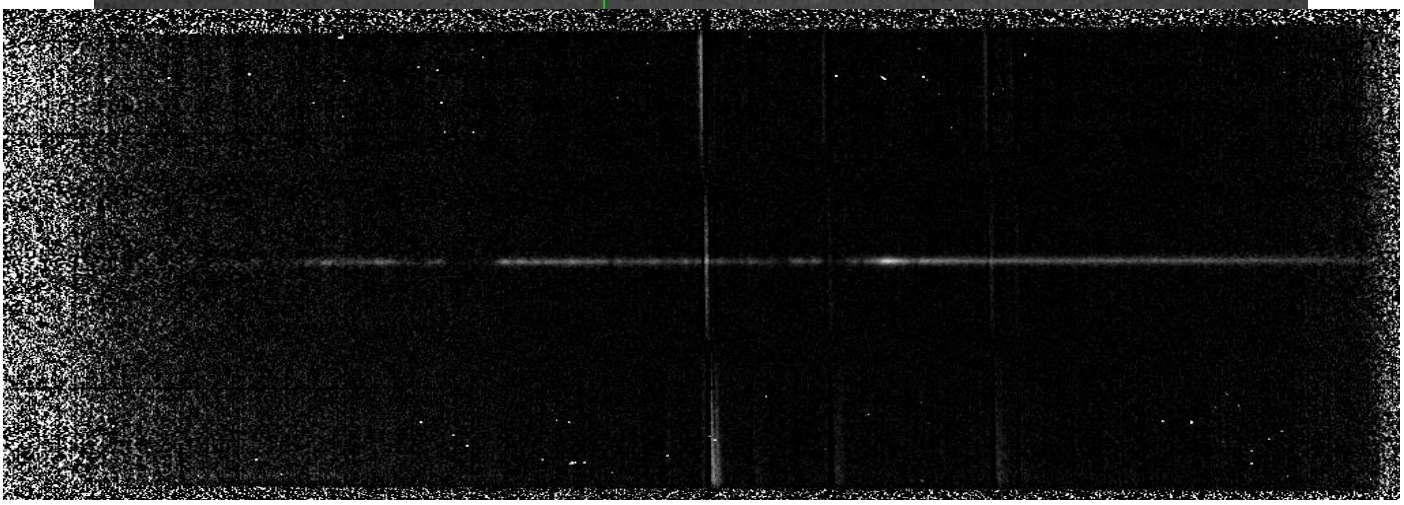


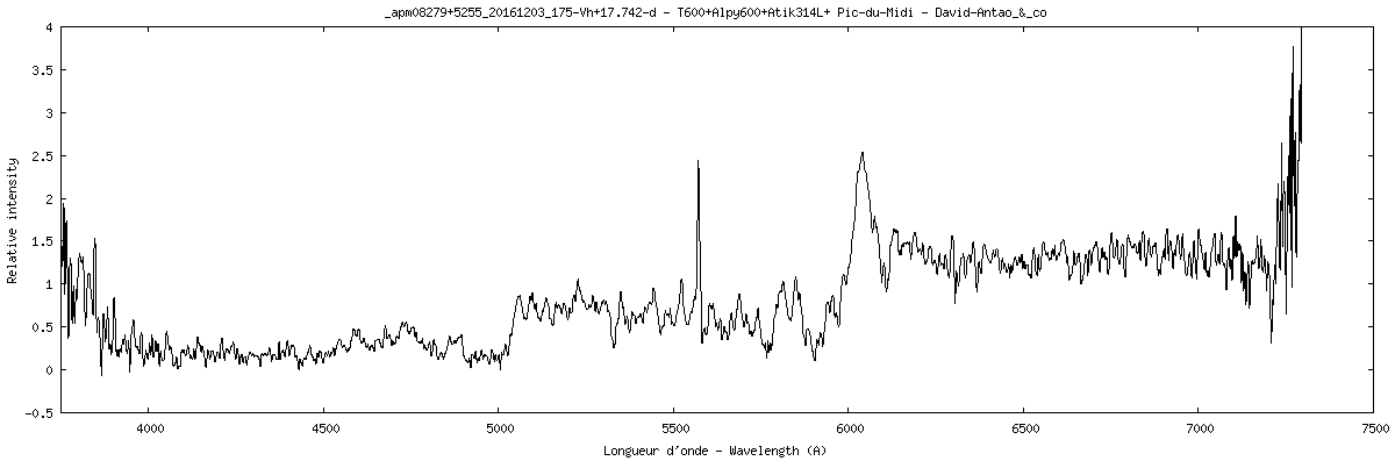
**Suppression reste raies du fond du ciel**



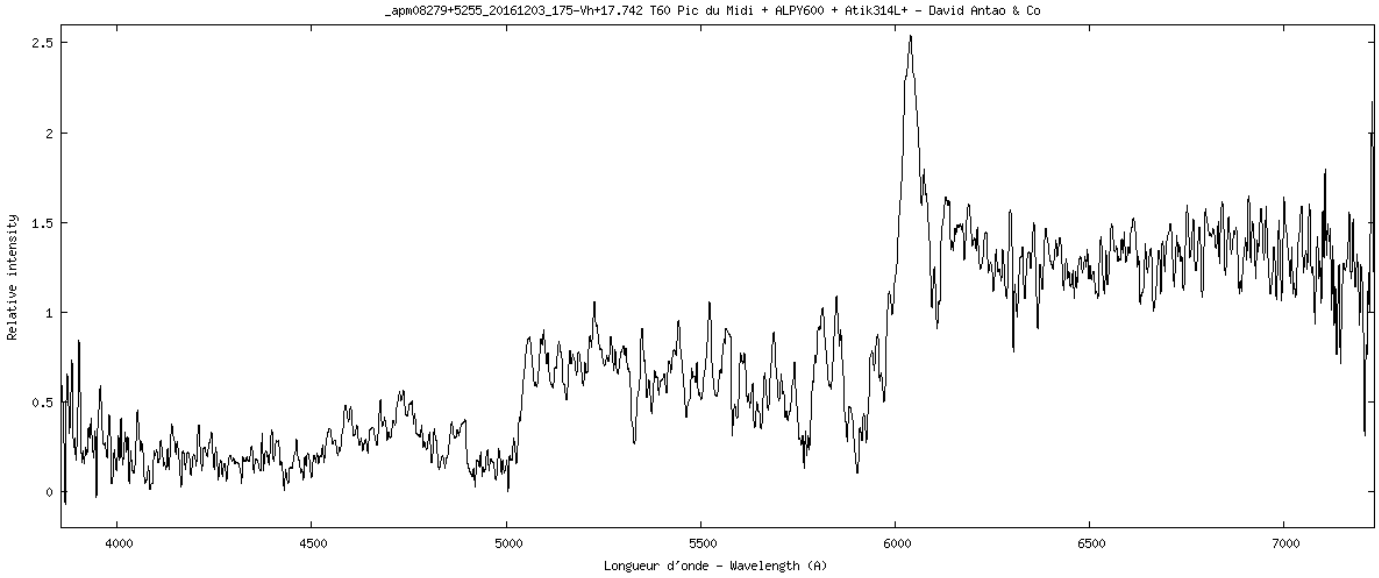

## *APM08279_5255*





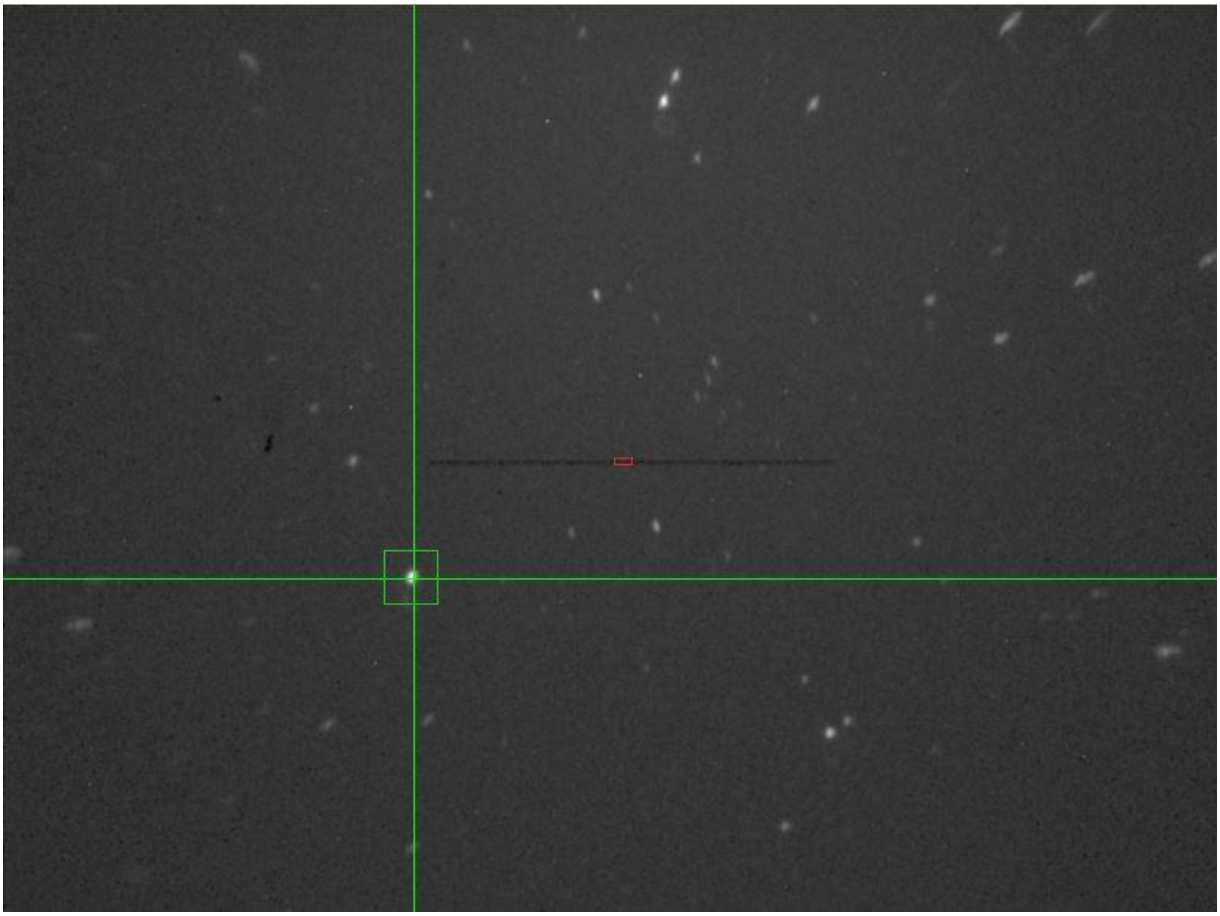


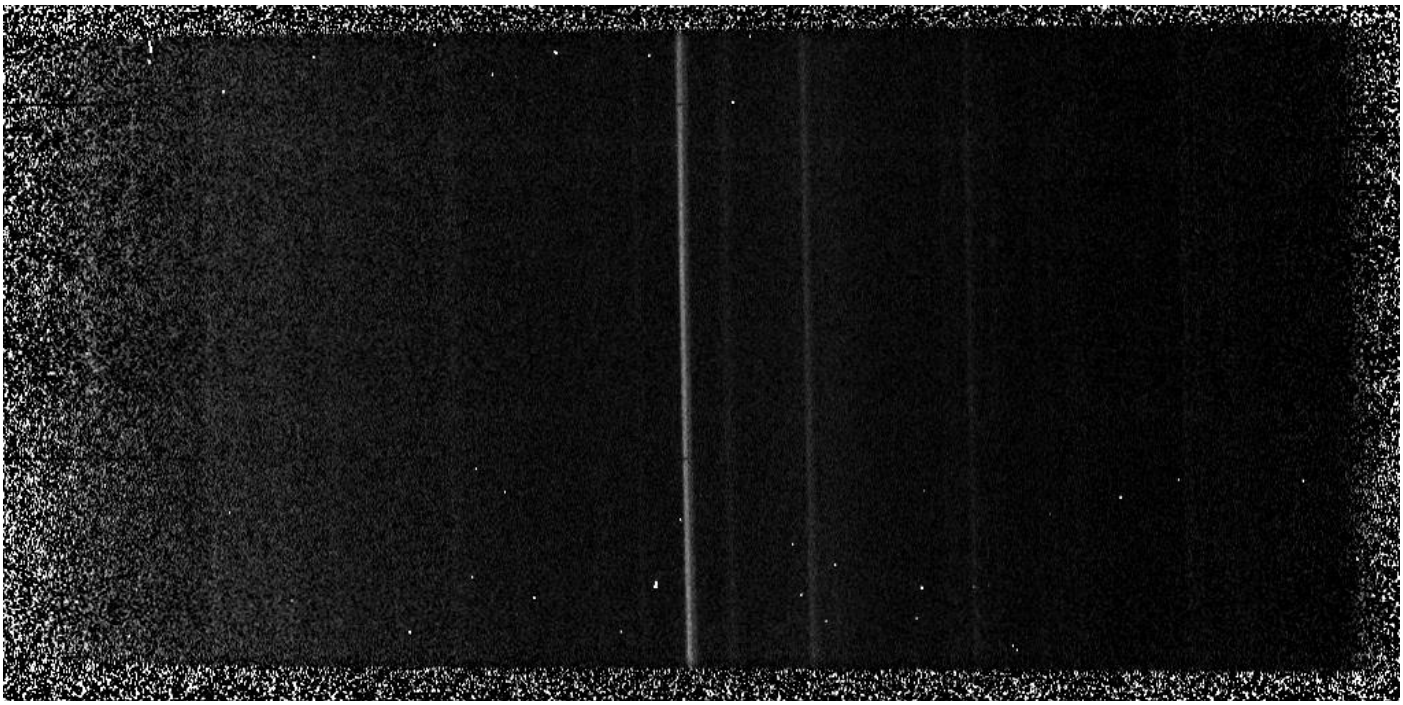

**Suppression reste raies du fond du ciel**

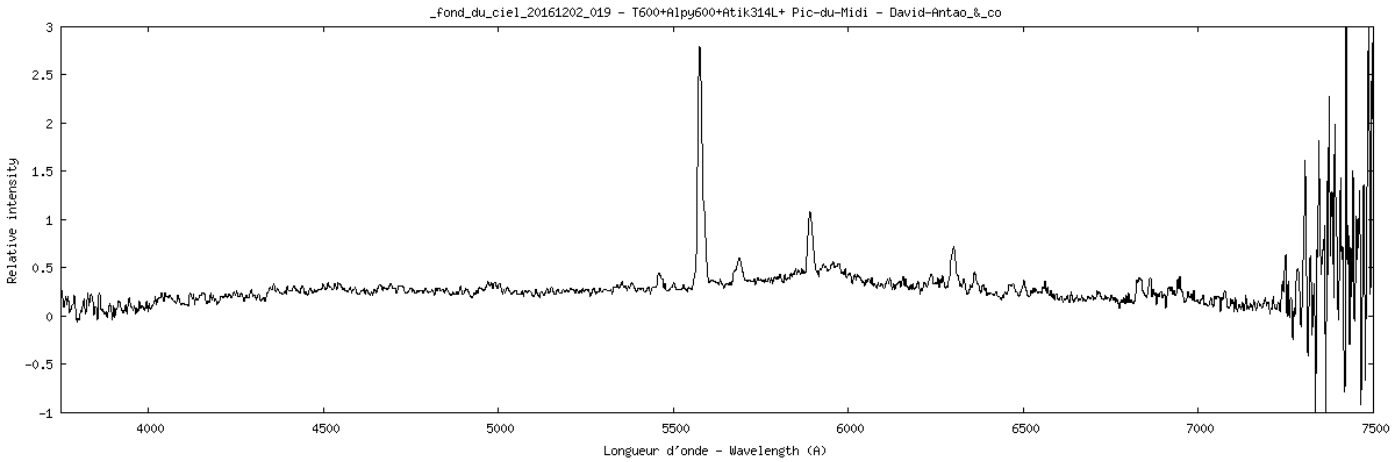



## *RA48*

**Test de confirmation de nébuleuse planétaire : Echec, mais sur une intégration de 3600 sec, on obtient un magnifique spectre du fond du ciel qui va nous servir de référence.**

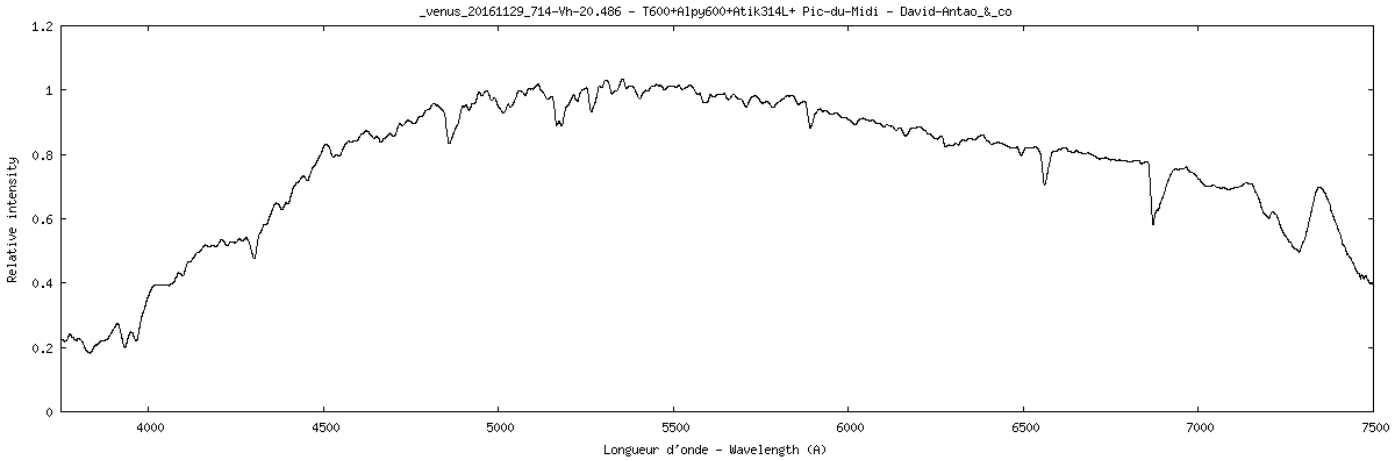




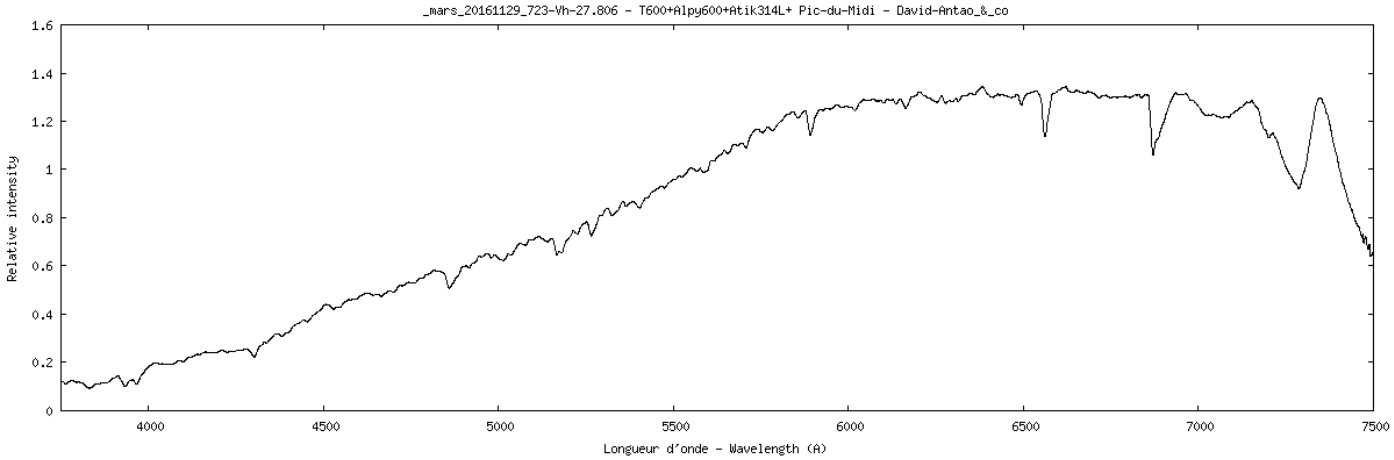

_fond_du_ciel_20161202_019 - T600+Alpy600+Atik314L+ Pic-du-Midi - David-Antao_&_co
Relative intensity
Longueur d'onde - Wavelength (A)
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
4000
4500
5000
5500
6000
6500
7000
7500

# Les différents spectres planétaire

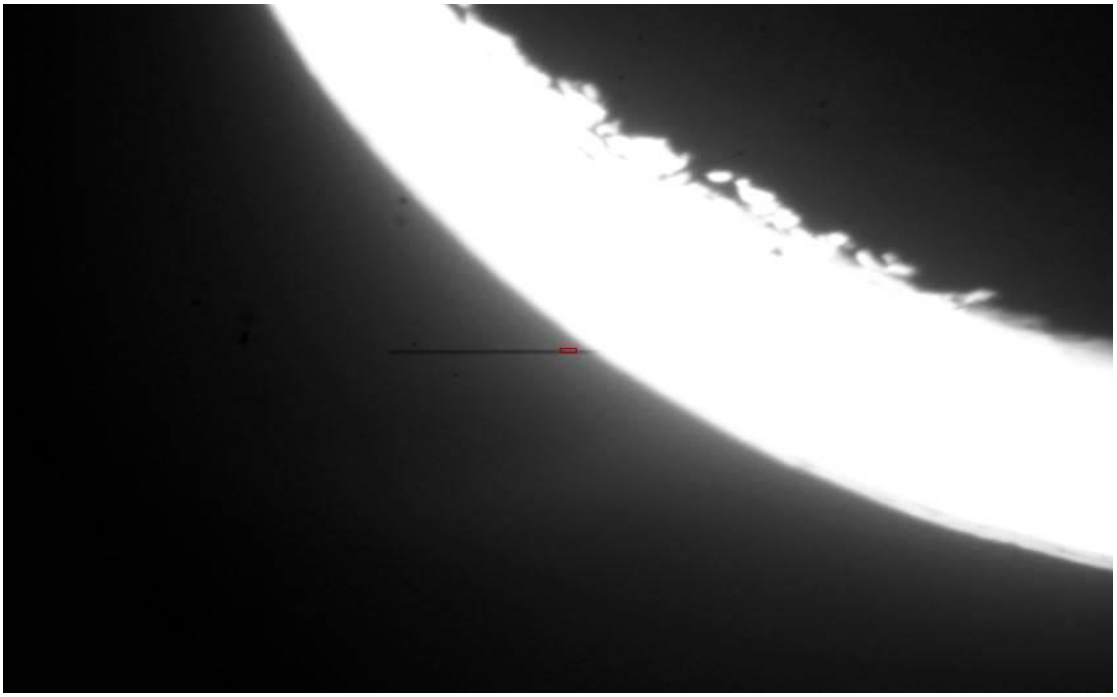
## Vénus

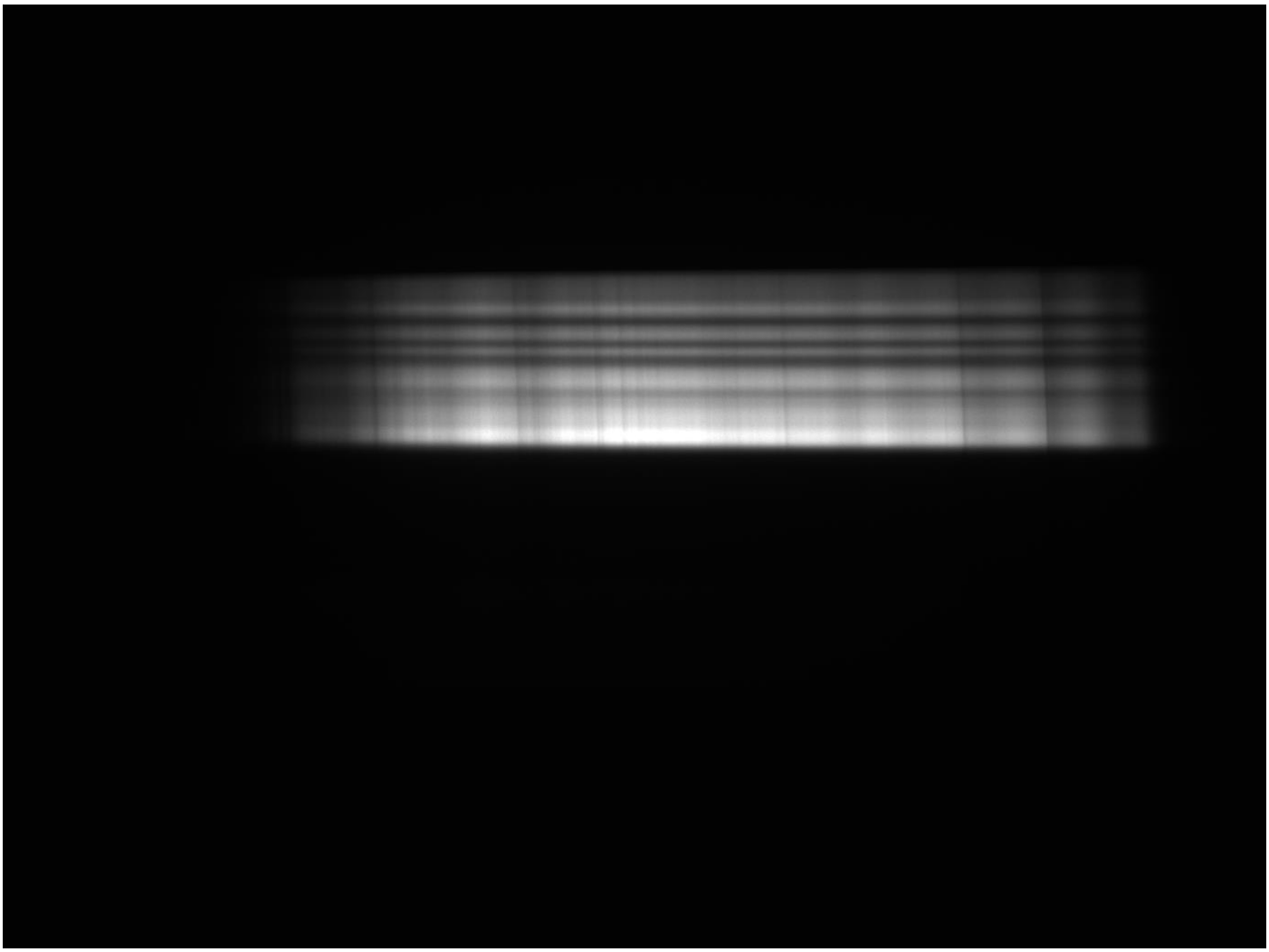


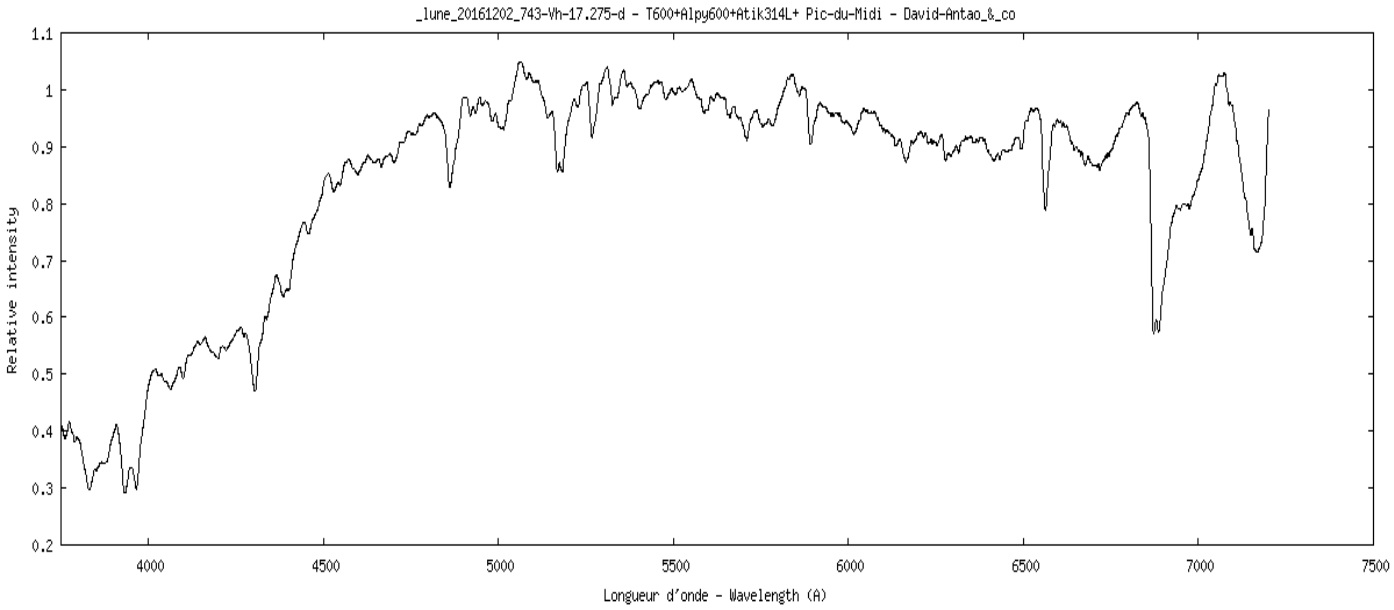

## Mars



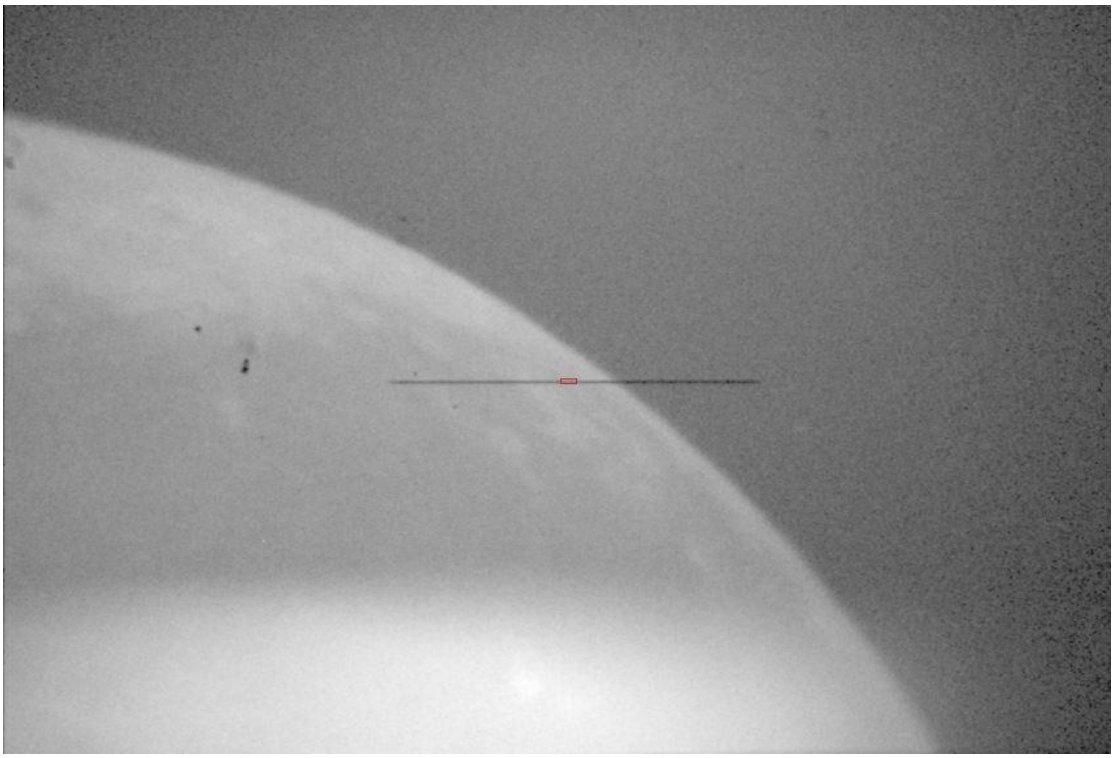

## Lune

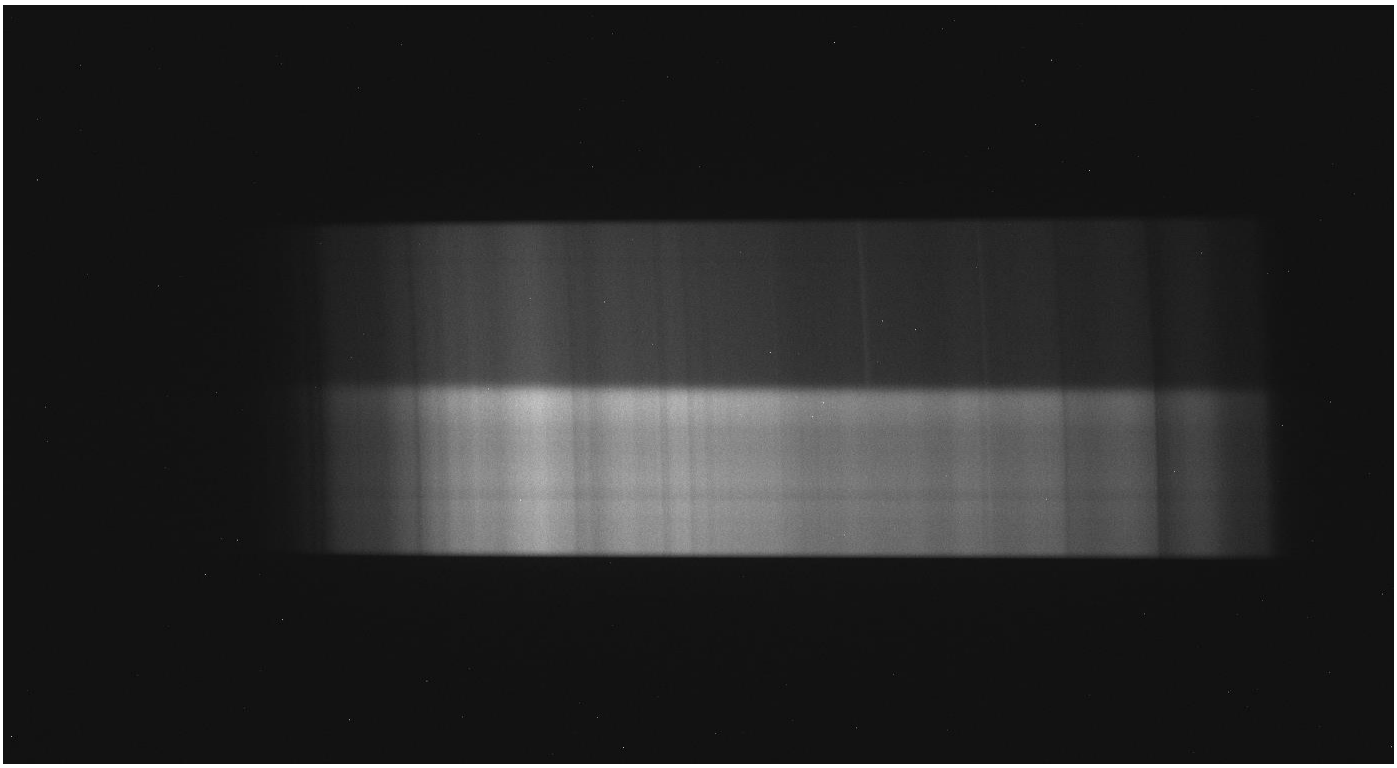


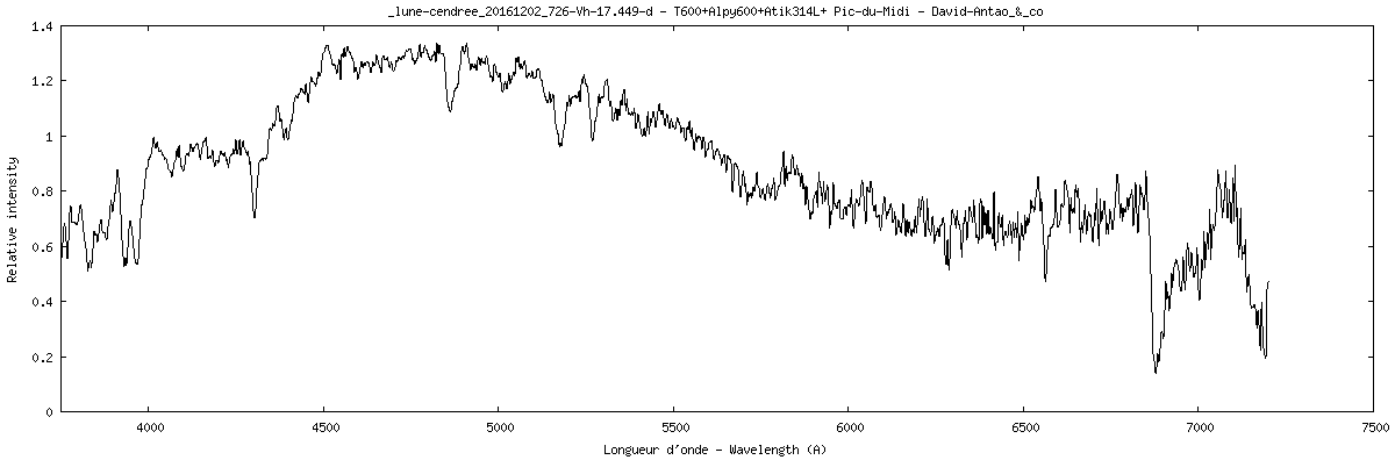



_lune_20161202_743-Vh-17.275-d - T600+Alpy600+Atik314L+ Pic-du-Midi - David-Antao_&_co
Relative intensity
Longueur d'onde - Wavelength (A)
1.1
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
4000
4500
5000
5500
6000
6500
7000
7500

# Lune cendrée

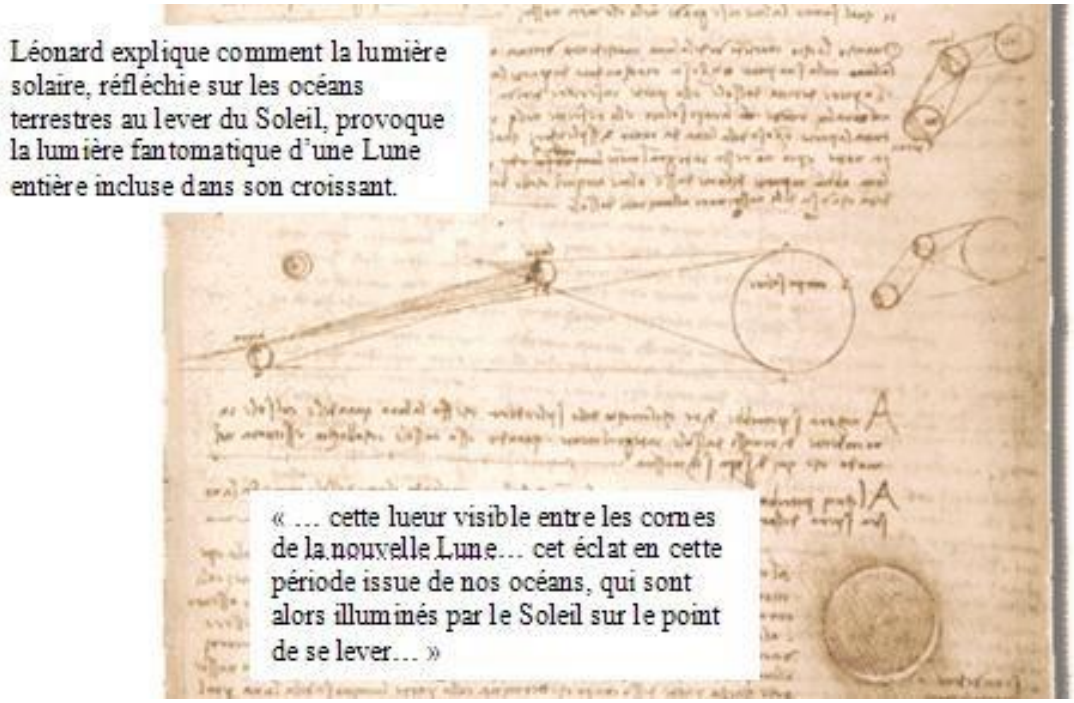




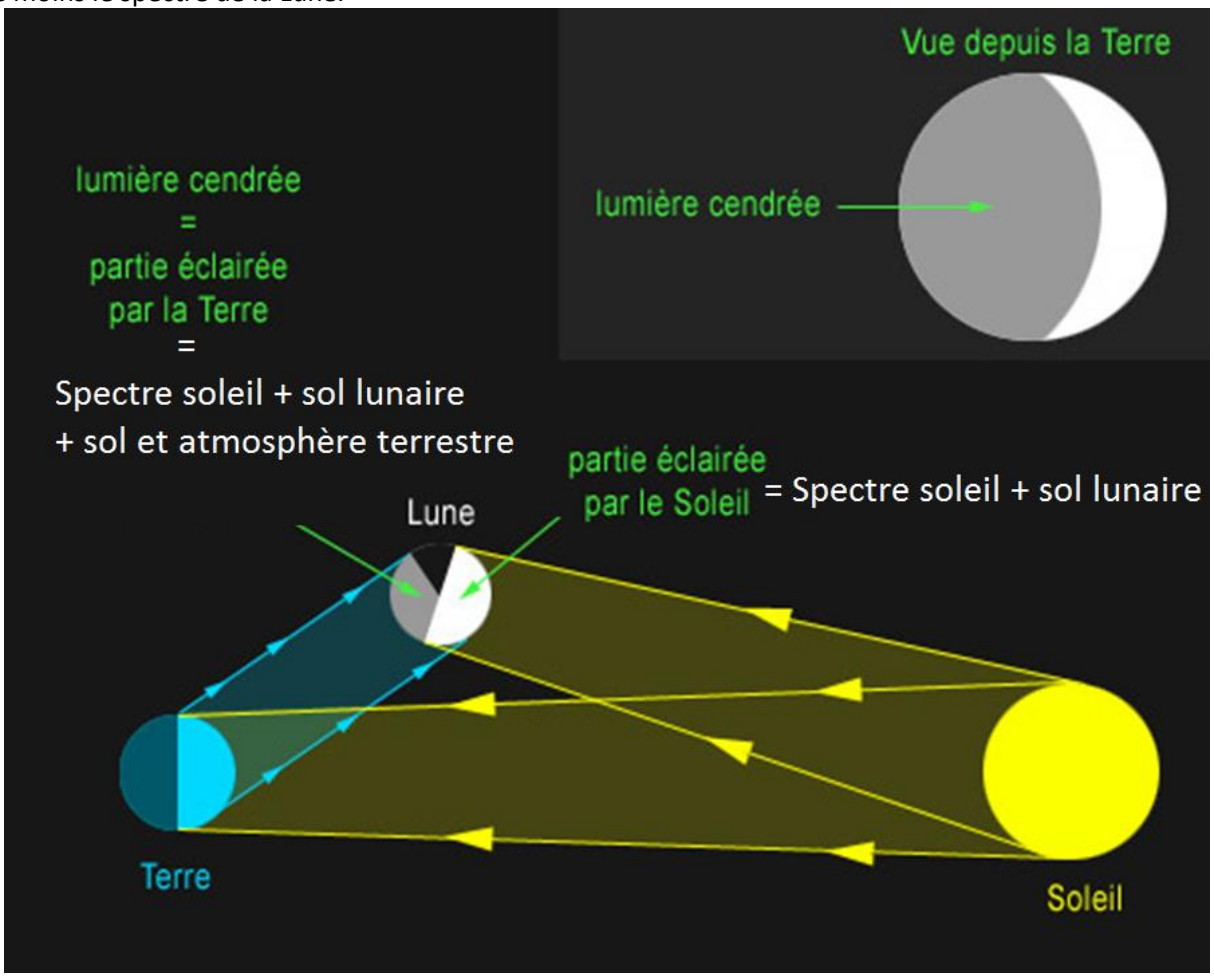


Comme l'avait compris Léonard de Vinci La lumière cendrée est la partie de la Lune qui est éclairée par le reflet de la Terre

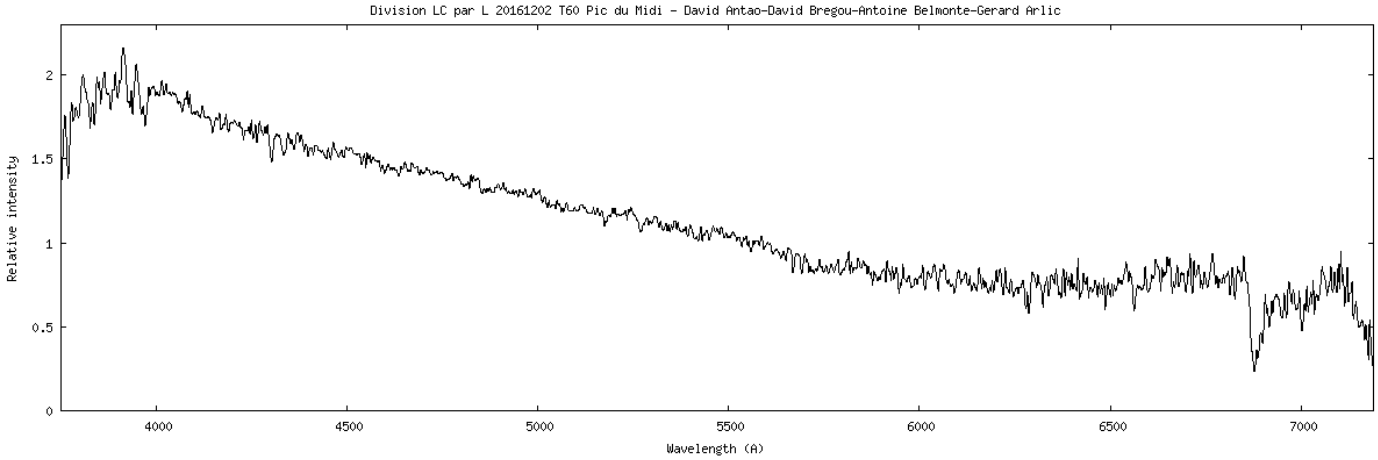
*Voici une page du Codex Leicester dans laquelle Léonard de Vinci donne son explication de la lumière cendrée*




Donc il est possible par simple soustraction d'en déduire le spectre de la Terre qui est égal au spectre de la lumière cendrée moins le spectre de la Lune.



Je vais réaliser une division au lieu d'une soustraction, pour augmenter le signal.




On remarque que la partie bleue du spectre est plus intense, ce qui signifie que le Terre reflète bien plus le bleu et qu'elle porte bien son nom !

## *V – Analyse, mesure des vitesses radiales :*

Les spectres n'ont pas été corrigés de la vitesse galacto-centrique. Ce travail reste encore à faire, mais le temps nous manque quand on est amateur … C'est bien dommage de ne pas pouvoir aller au fond de tout ce que l'on voudrait !

Pour la mesure des vitesses radiales de chaque spectre, nous avons suivi 2 méthodes différentes. Une méthode rapide et très fiable, celle des CCF (cross correlation function), qui consiste à faire décaler le spectre à mesurer par rapport à un spectre de référence au repos (sans vitesse radiale), en fonction d'un pas de vitesse radiale défini afin de déterminer la Vr où il y a le plus de raies spectrales qui concordent. Cette méthode est précise, car elle prend en compte une multitude de raies spectrales, par contre dans notre cas, il y a quelques raies qui « parasitent ». Les raies telluriques qui restent importantes lors d'une acquisition longue comme on l'a faite (3600s) et les raies du fond du ciel, car le rapport signal sur bruit est parfois faible.
La seconde méthode est de mesurer certaines raies remarquables sur les spectres, de déterminer la Vr de chacune et d'en faire une moyenne. Cette méthode est bien plus longue et d'ailleurs, on ne l'a pas encore finie, par manque de temps malheureusement. Par contre elle semble apporter un gain dans la précision de mesure des Vr, car non affectée des problèmes de la méthode 1.

### **Méthode 1 :**

L'analyse s'est faite avec la méthode de CCF grâce au logiciel ISIS de Christian Buil. Pour cela on a découpé les spectres entre 4000 et 6800A. Puis ils ont été divisés par leur propre continuum pour les rendre plats et ainsi faire une meilleure comparaison avec un spectre de référence qui n'est pas affecté par une vitesse radiale.

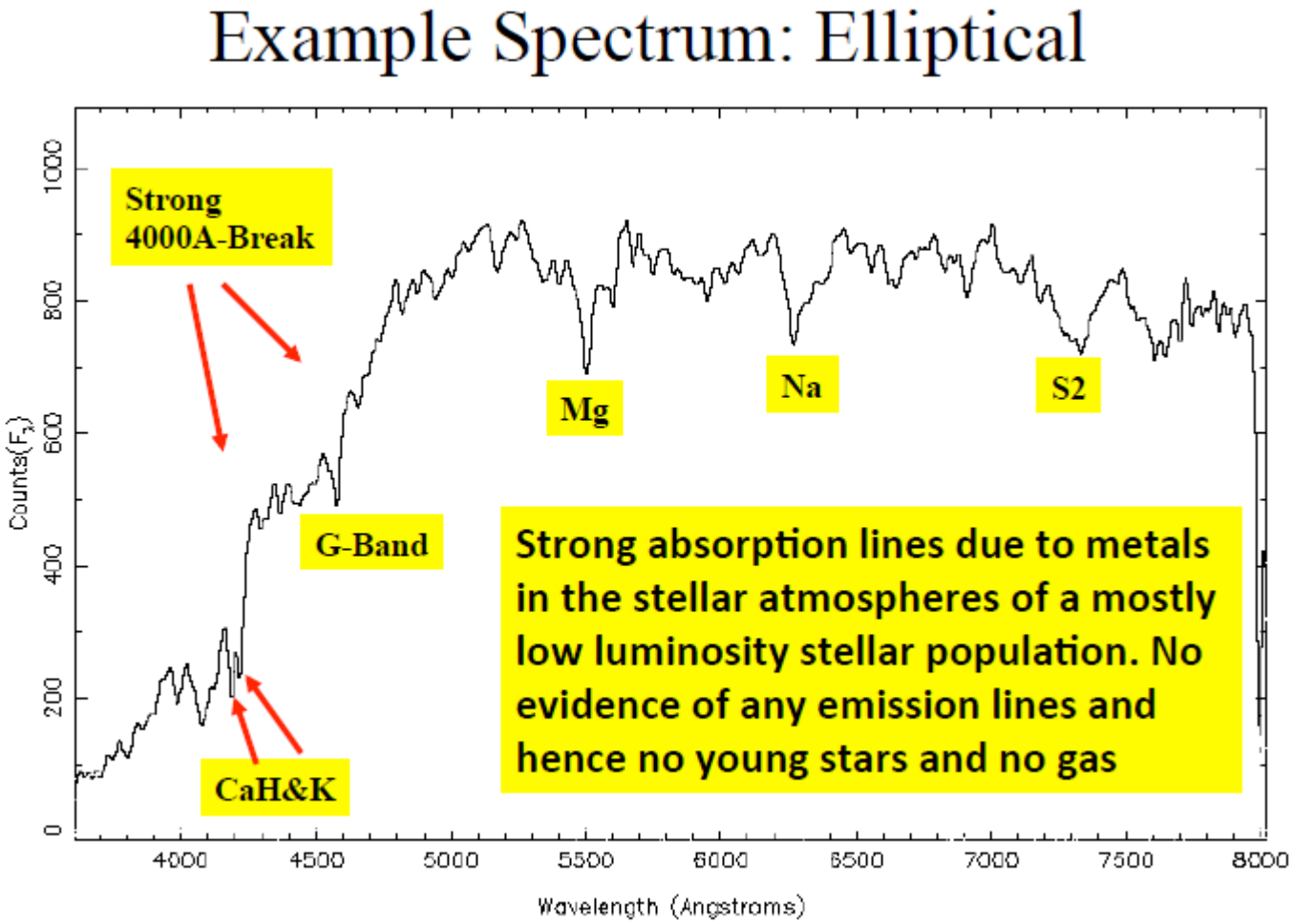
On remarque que les spectres de galaxie ressemblent à des spectres d'étoiles de type K, ce qui est normal, vu que le bulbe galactique est principalement constitué d'étoiles vieilles. On a utilisé pour réaliser une comparaison un spectre de type K2III et K5III de la base miles. Pour les galaxies actives où on voit des raies en émission, on les a comparées au spectre de NGC7023 la nébuleuse de l'Iris. C'est une nébuleuse par réflexion dans la constellation de Céphée. Elle est située à 1300 années-lumière de la Terre.

Voici le tableau des résultats :

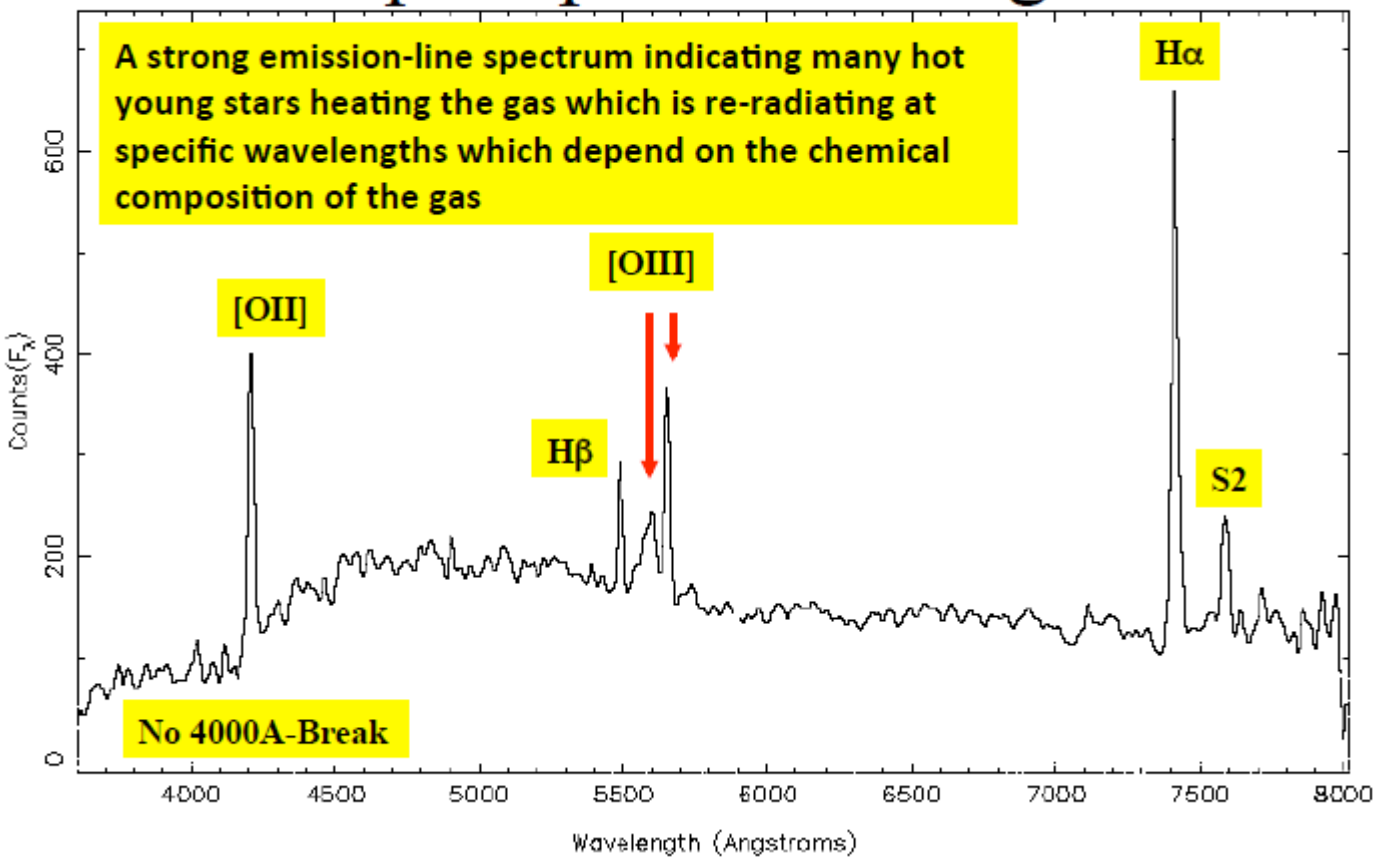
| Objet | Vr ref K5III | Vr ref K2III | Simbad | Delta Vr | %erreur | Distance Mpc | Distance (millions d'a.l.) | | nom spectre de réf | nom spectre objet |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | |
| 3c120 | | 10431 | 10064 | -367 | -3.65 | 143 | 450 | | mesure directe sur le spectre | |
| M51 | 336 | 510 | 465 | -45 | -9.68 | 8.4 | 23.16 | | _p_k2iii_norm_coupe4000 | m51_coupe_norm_suppr_emission |
| M74 | 562 | 647 | 655 | 8 | 1.22 | 9 | 30 | | _p_k2iii_norm_coupe4000 | m74_coupe_norm |
| M77 | 925 | 967 | 1139 | 172 | 15.10 | 15.9 | 51.9 | | _p_k2iii_norm_coupe4000 | m77_coupe_norm_suppr_emission |
| M87 | 1078 | 1197 | 1256 | 59 | 4.70 | 16.4 | 53.49 | | _p_k2iii_norm_coupe4000 | m87_coupe_norm |
| NGC266 | 4445 | 4490 | 4664 | 174 | 3.73 | 63.8 | 208 | | _p_k2iii_norm_coupe4000 | ngc266_coupe_norm |
| NGC777 | 4912 | 5040 | 4967 | -73 | -1.47 | 68.7 | 224 | | _p_k2iii_norm_coupe4000 | ngc777_coupe_norm |
| NGC821 | 1530 | 1593 | 1738 | 145 | 8.34 | 23.8 | 77.6 | | _p_k2iii_norm_coupe4000 | ngc821_coupe_norm |
| NGC1700 | 3955 | 3990 | 3892 | -98 | -2.52 | 54.3 | 177 | | _p_k2iii_norm_coupe4000 | ngc1700_coupe_norm_suppr_emission |
| NGC1875 | 9015 | 8876 | 8997 | 121 | 1.34 | 125.6 | 410 | | _p_k2iii_norm_coupe4000 | ngc1875_coupe_norm_suppr_emission |
| NGC1954 | 3167 | 3068 | 3139 | 71 | 2.26 | 43.7 | 143 | | _p_k2iii_norm_coupe4000 | ngc1954_coupe_norm |
| NGC2339 | 2090 | 2025 | 2236 | 211 | 9.44 | 33.3 | 108.6 | | _p_k2iii_norm_coupe4000 | ngc2339_coupe_norm_suppr_emission |
| NGC2500 | | 471 | 515 | 44 | 8.54 | 10.1 | 33 | | NGC7023-ref-emission | ngc2500_coupe_norm_suppr_emission |
| NGC2513 | 4680 | 4781 | 4658 | -123 | -2.64 | 58.9 | 192 | | _p_k2iii_norm_coupe4000 | ngc2513_coupe_norm_suppr_emission |
| NGC2532 | 5053 | 5053 | 5246 | 193 | 3.68 | 51.6 | 168.3 | | _p_k2iii_norm_coupe4000 | ngc2532_coupe_norm_suppr_emission |
| NGC2776 | 2660 | 2491 | 2600 | 109 | 4.19 | 27.6 | 89.8 | | _p_k2iii_norm_coupe4000 | ngc2776_coupe_norm_suppr_emission |
| NGC2903 | | 510 | 556 | 46 | 8.27 | 9.4 | 20.5 | | NGC7023-ref-emission | ngc2903_coupe_norm_suppr_emission |
| NGC3640 | 1100 | 1194 | 1315 | 121 | 9.20 | 24.2 | 78.9 | | _p_k2iii_norm_coupe4000 | ngc3640_coupe_norm_suppr_emission |
| NGC7252 | | 4649 | 4699 | 50 | 1.06 | 62 | 220 | | NGC7023-ref-emission | ngc7252_coupe_norm_suppr_emission |
| NGC7331 | 785 | 815 | 818 | 3 | 0.37 | 13 | 42.4 | | _p_k2iii_norm_coupe4000 | ngc7331_coupe_norm |
| NGC7377 | 3022 | 3173 | 3339 | 166 | 4.97 | 35 | 114.3 | | _p_k2iii_norm_coupe4000 | ngc7377_coupe_norm_suppr_emission |
| NGC7479 | 2255 | 2391 | 2369 | -22 | -0.93 | 33.9 | 105 | | _p_k2iii_norm_coupe4000 | ngc7479_coupe_norm_suppr_emission |
| NGC7541 | | 2542 | 2839 | 297 | 10.46 | 32.9 | 107.2 | | NGC7023-ref-emission | ngc7541-coupe-norm_suppr_emission |
| NGC7723 | | 1896 | 1871 | -25 | -1.34 | 27.4 | 89.2 | | NGC7023-ref-emission | ngc7723_coupe_norm_suppr_emission |
| qso0957 | | | | 0 | | | | | | |
| apm08279 | | | | 0 | | | | | | |
| NGC7023 | | 41 | | -41 | | | | | | |
| M31 | | -294 | -300 | -6 | -2.00 | | | | | |

**Méthode 2 :**

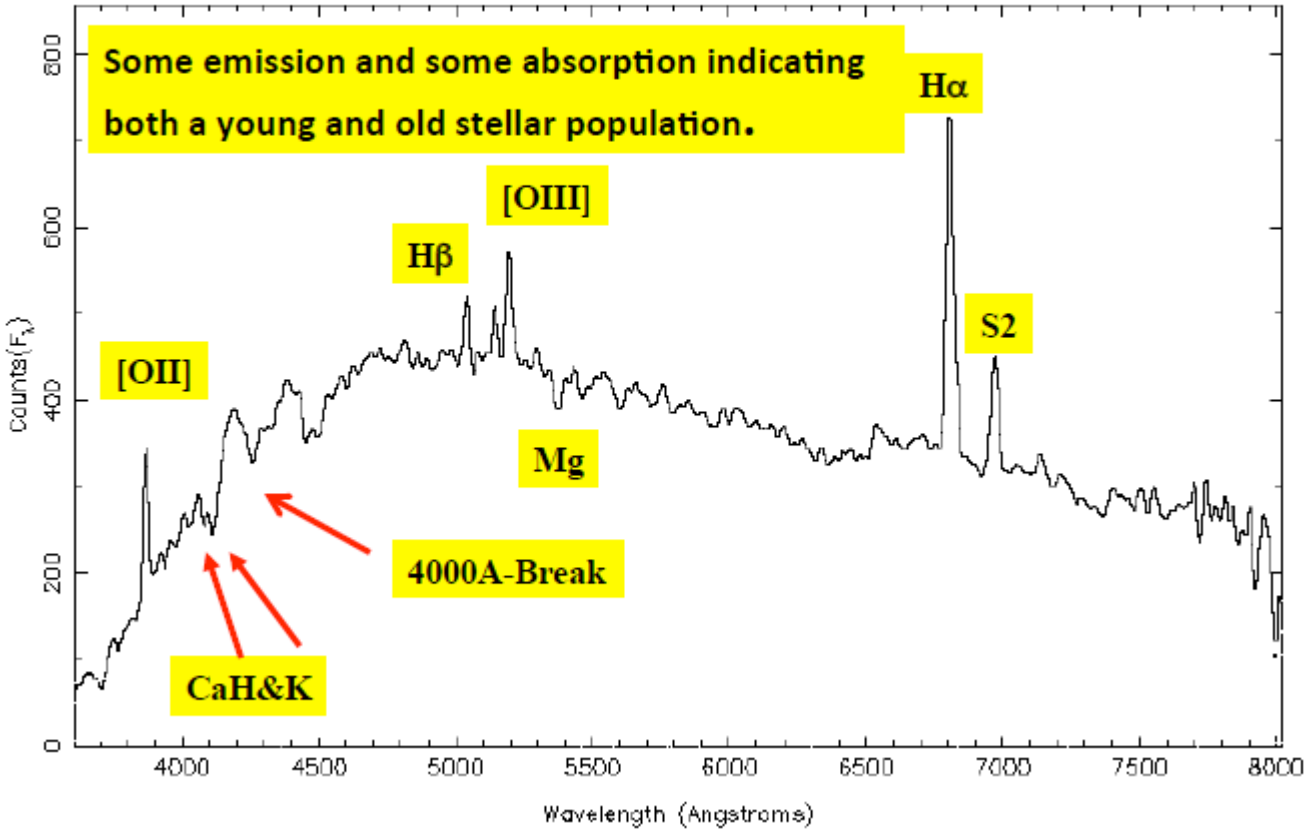
La seconde méthode a consisté à repérer les principales raies spectrales visibles et à en déterminer les vitesses radiales par rapport à la valeur au repos.



# Example Spectrum: Irregular




# Example Spectrum: Spiral




La valeur des raies au repos n'a pas été si simple que ça à trouver pour un amateur, car on trouve souvent des valeurs approchées. Cela a été le travail de beaucoup de recherche et de croisement de plusieurs tables. C'est là que se situe la limite des amateurs. Où chercher les bonnes valeurs ? Dans les publications, mais lesquelles au juste ?

**Bilan des raies sur spectre de galaxies**

| | | lamda repos | Listing JF Leborgne | |
|---|---|---|---|---|
| Calcium | K | 3933.68 | | |
| | H | 3968.49 | | |
| Sodium | Na I | 5889.95 | | |
| | | 5895.92 | | |
| | | 5892.935 | | |
| Magnésium | Mg I | 5167.33 | | |
| | | 5172.69 | | |
| | | 5183.61 | | |
| | moy 1+2 | 5170.010 | | |
| | moy 1+2+3 | 5174.543 | | |
| Hydrogène | H alpha | 6562.81 | | |
| | H beta | 4861.34 | | |
| | H gamma | 4340.48 | | |
| | H delta | 4101.75 | | |
| Calcium-Fer | Ca+Fe | 5270 ? | Fe I | 5227.19 |
| | | | | 5232.95 |
| | | | | 5269.54 |
| | | | moy | 5243.23 |
| Bande G | CH + Fe | 4300 | | |
| | ~~CH + Fe~~ | ~~4306~~ | | |

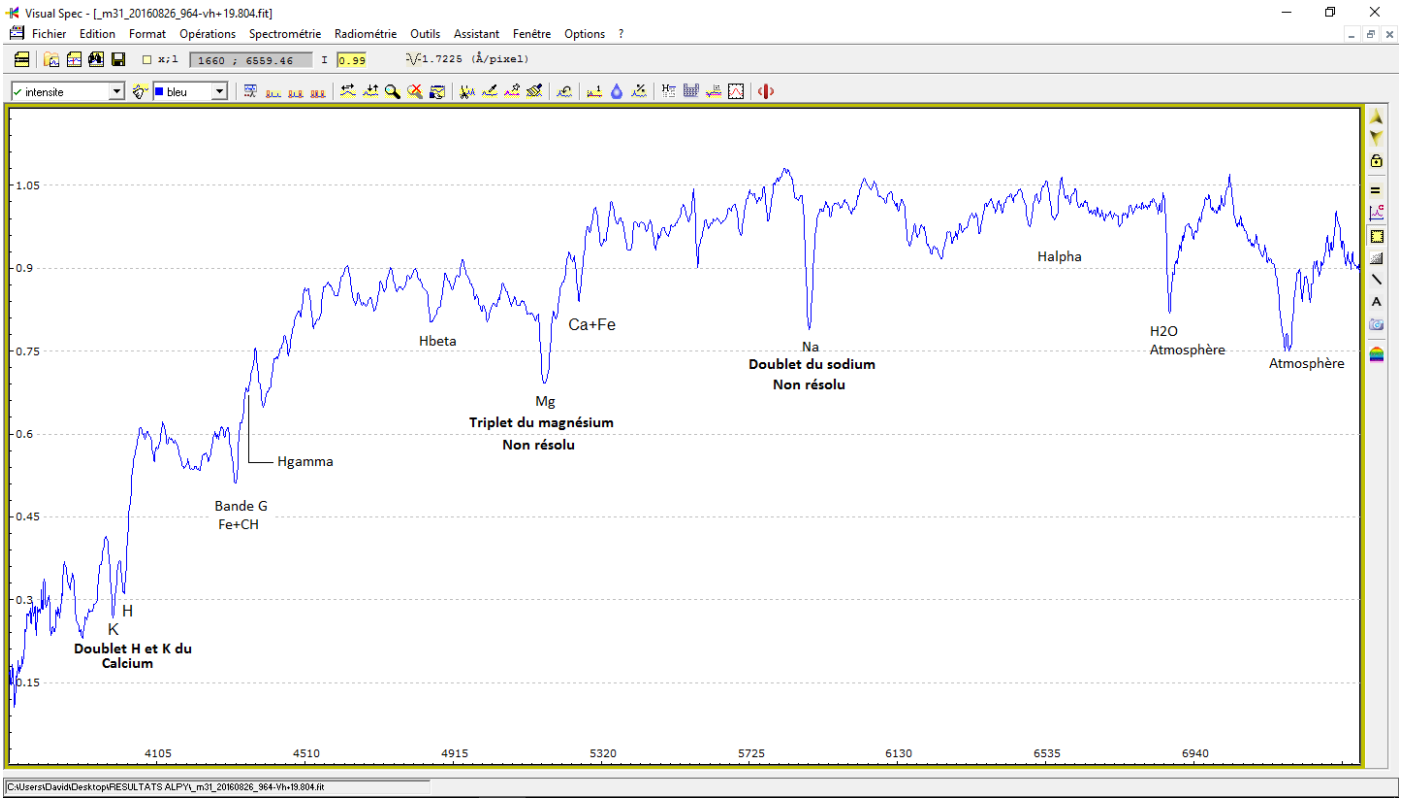
# Typical Spectral features

- Absorption
  - Ca(H) = 3933.7A
  - Ca(K) = 3968.5A
  - G-band = 4304.4A
  - Mg = 5175.3A
  - Na = 5894.0 A
- Emission
  - [OII] = 3727.3A
  - Hδ = 4102.8A
  - Hγ = 4340.0A
  - Hβ = 4861.3A
  - [OIII] = 4959.0A
  - [OIII] = 5006.8A
  - Hα = 6562.8A
  - $S_2$ = 6716.0A

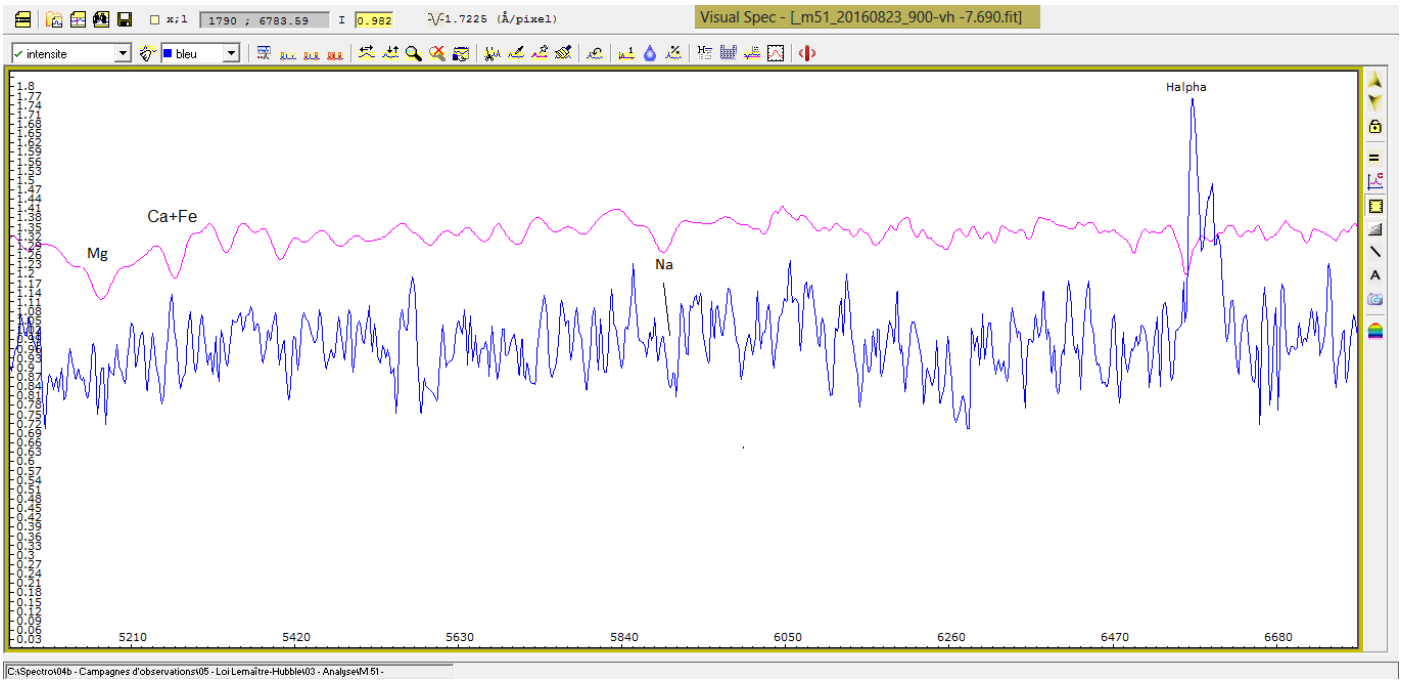
| Elements | $\lambda_0$ |
|---|---|
| Hγ | 4340,47 |
| [OIII] | 4363,21 |
| He II | 4685,68 |
| Hβ | 4861,33 |
| [OIII] | 4958,92 |
| [OIII] | 5006,85 |
| [OI] | 6300,32 |
| Hα | 6562,81 |

Repérage sur les galaxies :

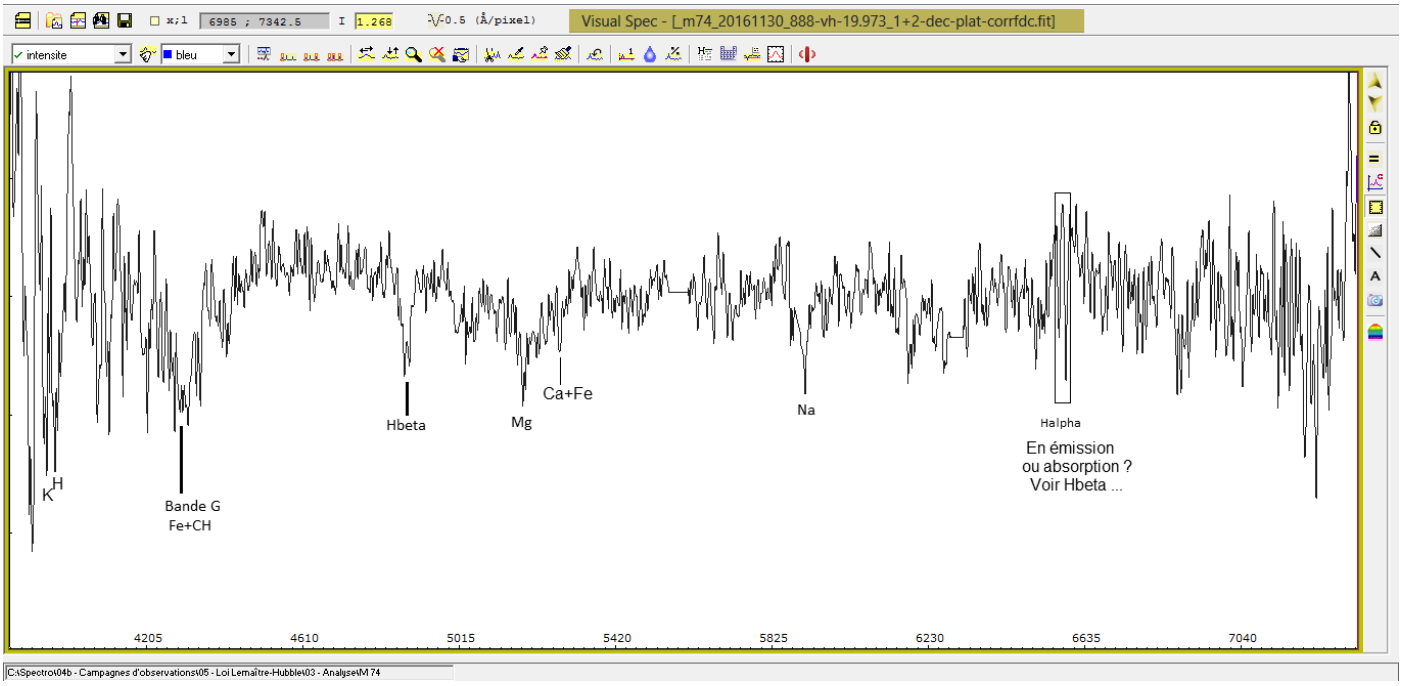
M31



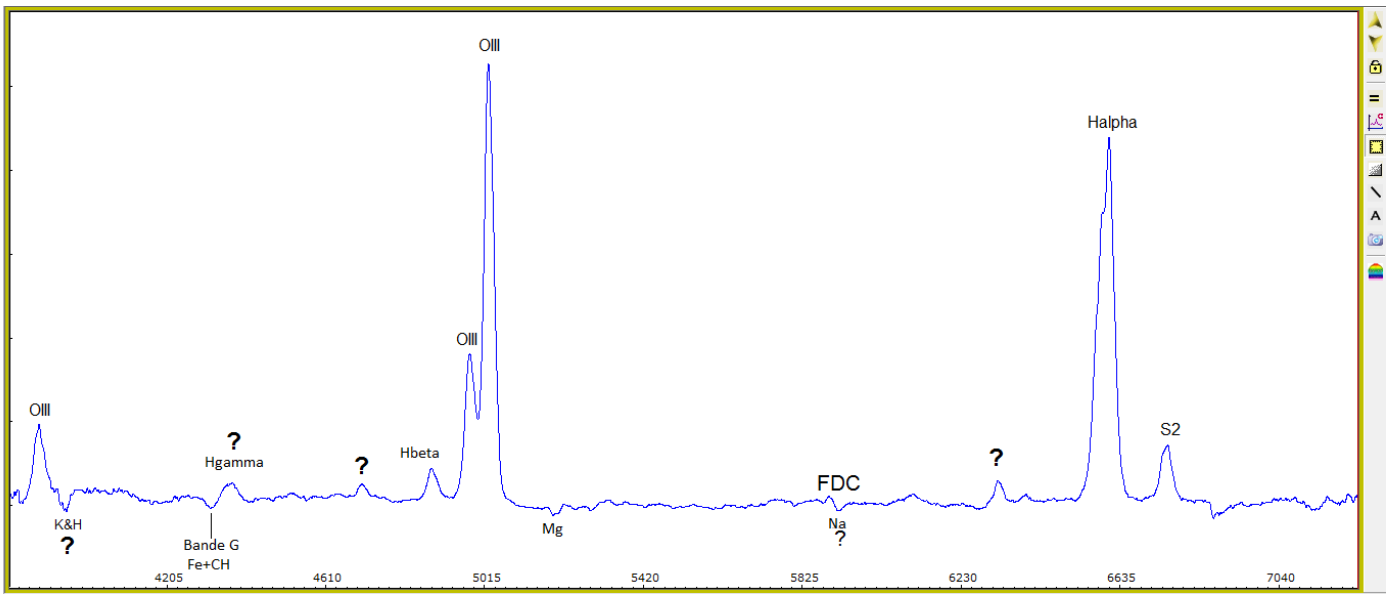
M51


Visual Spec - [_m51_20160823_900-vh -7.690.fit]
Halpha
Ca+Fe
Mg
Na
5210
5420
5630
5840
6050
6260
6470
6680

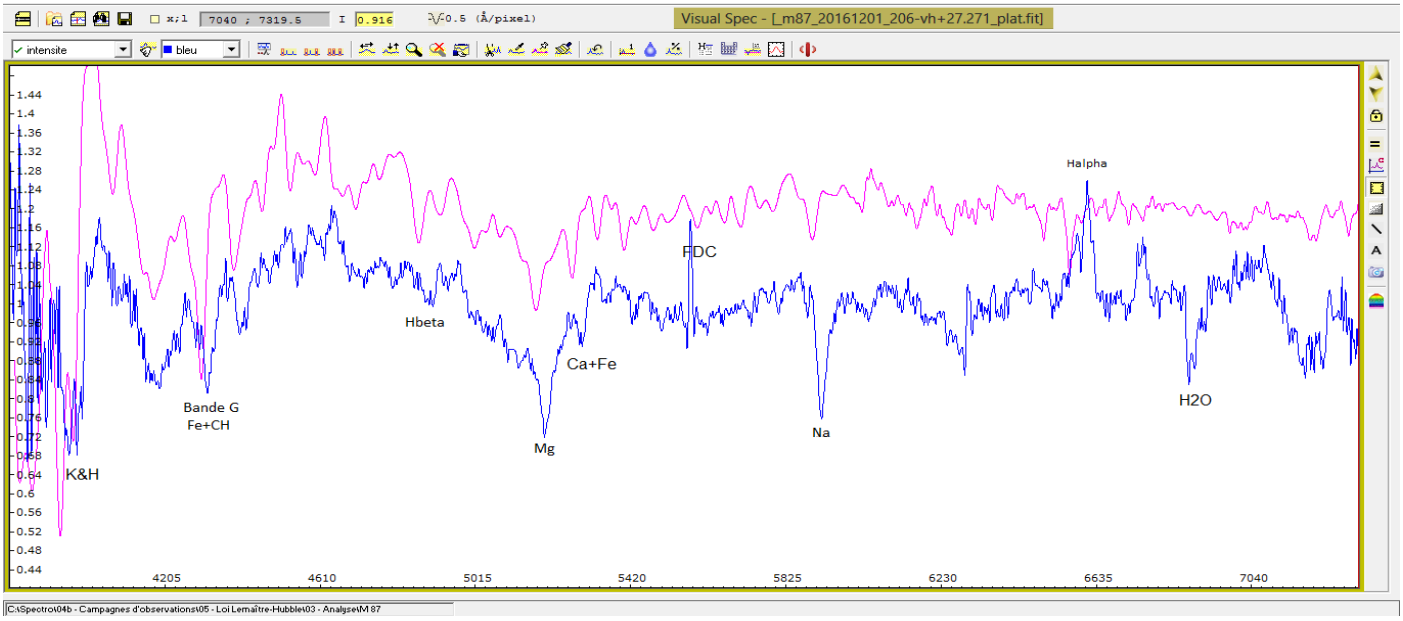
M74


Visual Spec - [_m74_20161130_888-vh-19.973_1+2-dec-plat-corrfdc.fit]
K
H
Bande G
Fe+CH
Hbeta
Mg
Ca+Fe
Na
Halpha
En émission
ou absorption ?
Voir Hbeta ...
4205
4610
5015
5420
5825
6230
6635
7040

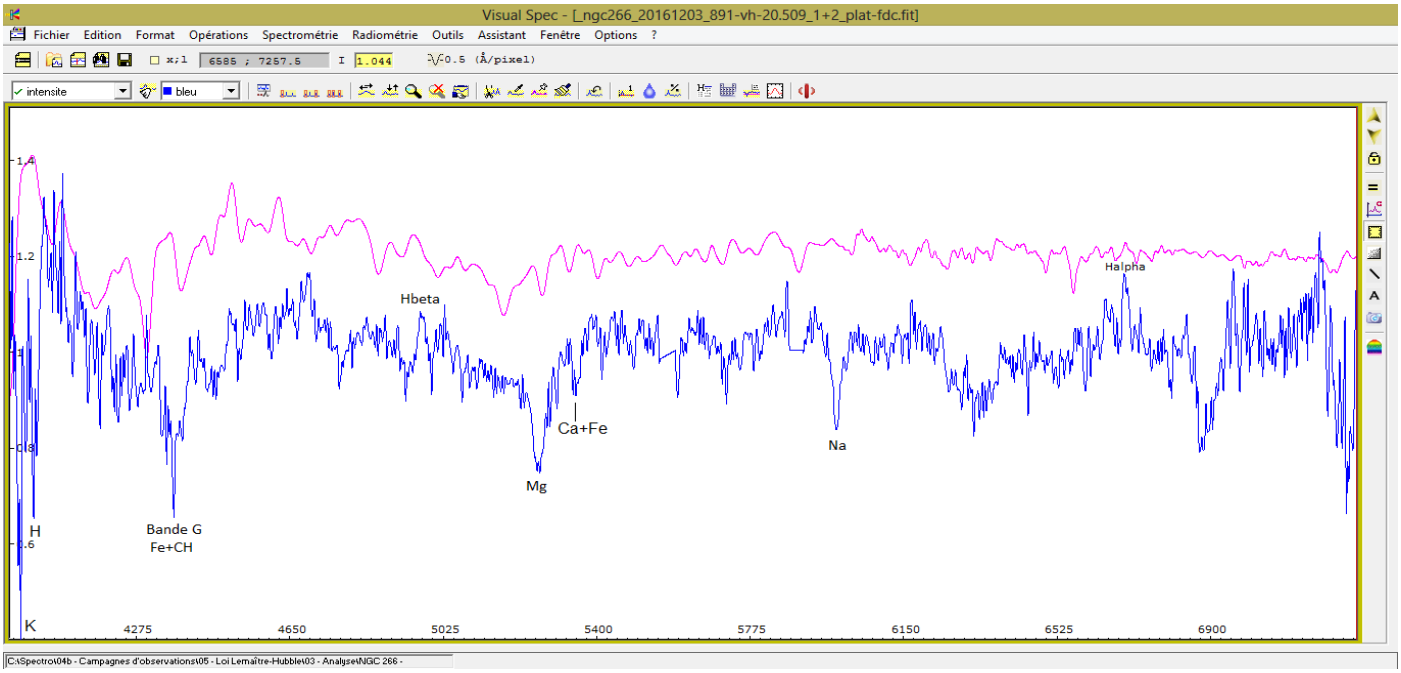
M77


OIII
OIII
OIII
K&H
?
Hgamma
?
Bande G
Fe+CH
?
Hbeta
Mg
FDC
Na
?
?
Halpha
S2
4205
4610
5015
5420
5825
6230
6635
7040

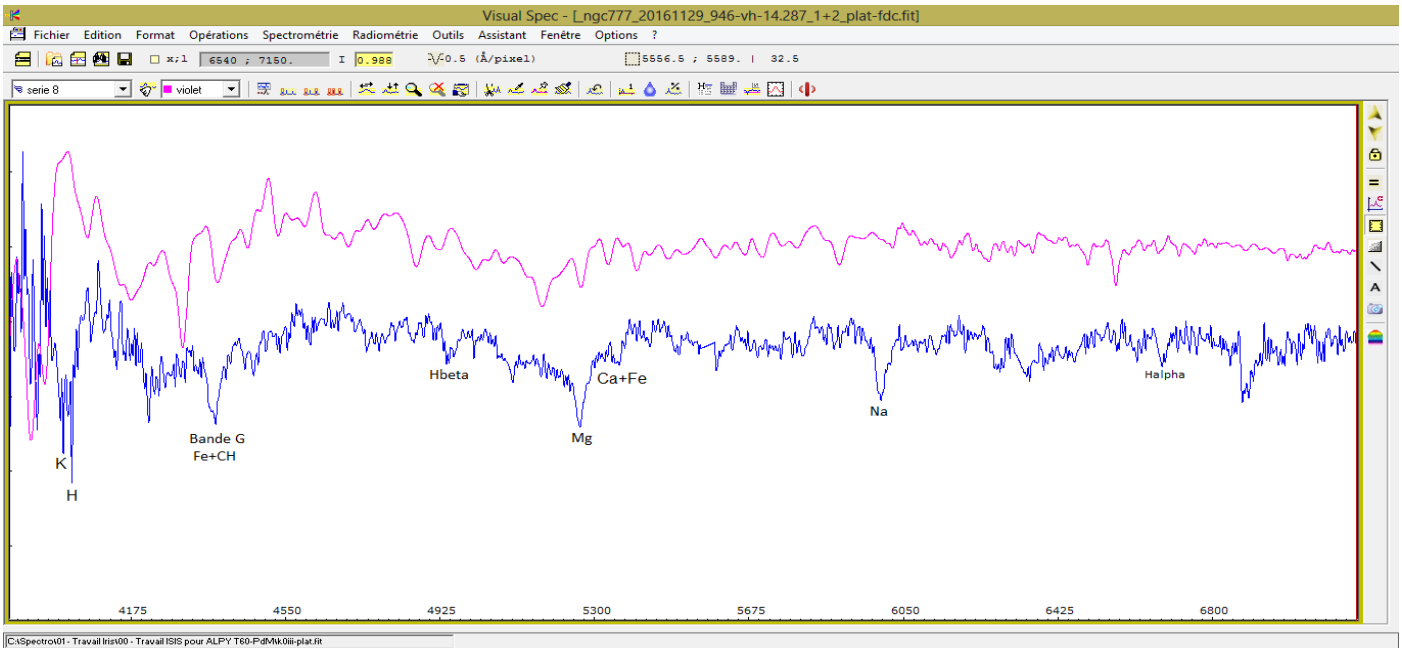
## M87



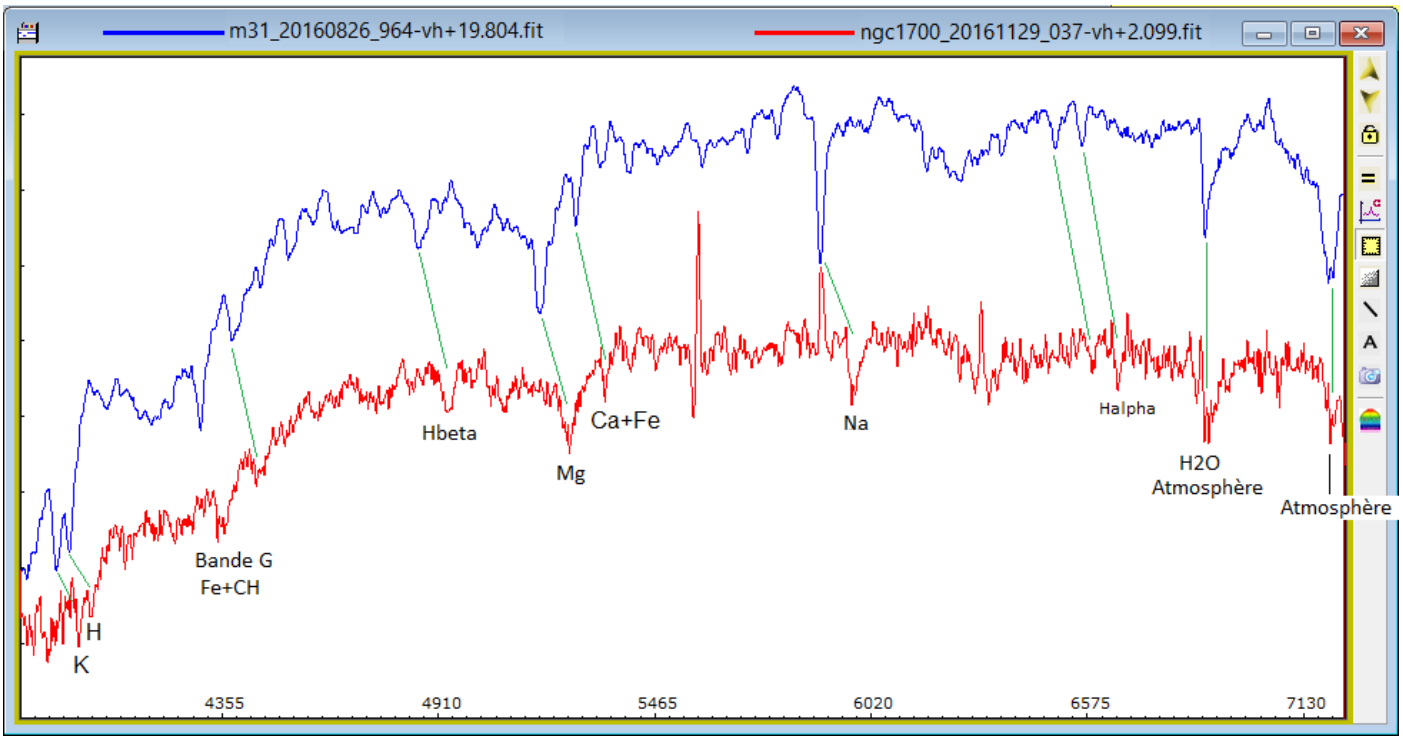

## NGC266




## NGC777



NGC 1700




Plus la vitesse radiale est importante, plus le décalage spectral est important et moins il est facile d'identifier les raies. C'est un travail long et minutieux, qui est encore en cours de réalisation.

**C'est un point qu'on voulait soulever.** Après les acquisitions qui demandent une certaine rigueur et la réduction des données qui est également délicate, il reste à faire le travail le plus intéressant : l'analyse des données ! Cela demande d'y passer un temps relativement long, mais qui reste quand même le plus passionnant !
Ce travail n'est pas encore arrivé à son terme, car on le réalise en tant qu'amateur, sur le temps libre sans trop empiéter sur notre activité professionnelle et sur la vie de famille.

Plus de 3 ans après notre mission, on décide de remettre le rapport de mission, sans que toutes les analyses qu'on aurait aimé faire ne soient terminées. Il y aura plus tard une mise à jour de ce rapport et de la belle aventure qu'on a menée lors de cette extraordinaire mission !

## *VI - Comparaison des 2 méthodes :*

Travail en partie fini, le reste en cours de réalisation …

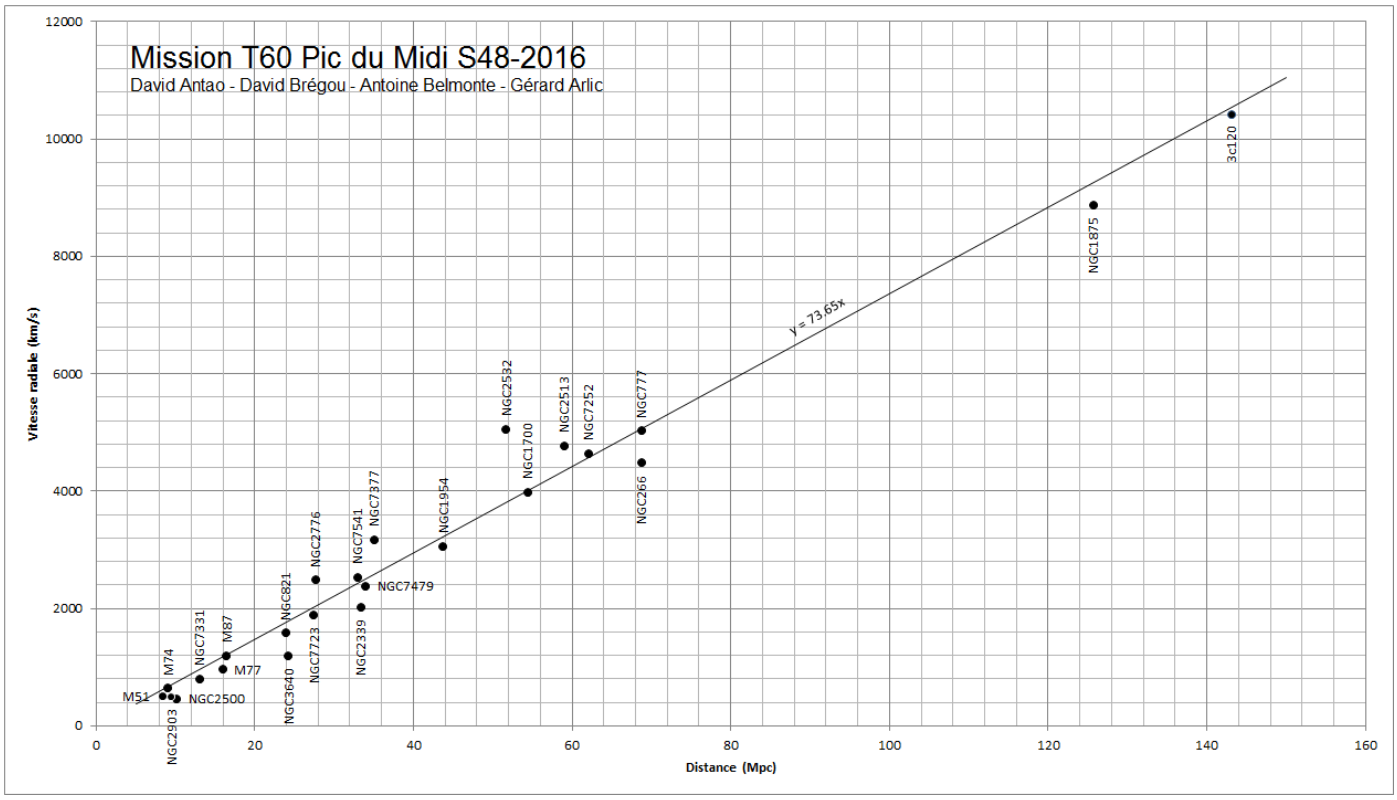
On peut remarquer déjà sur les premières mesures la bonne précision de la méthode 2 que l'on obtient par rapport à la méthode 1 des CCF. A approfondir …

# Bilan calcul des vitesses radiales Vr

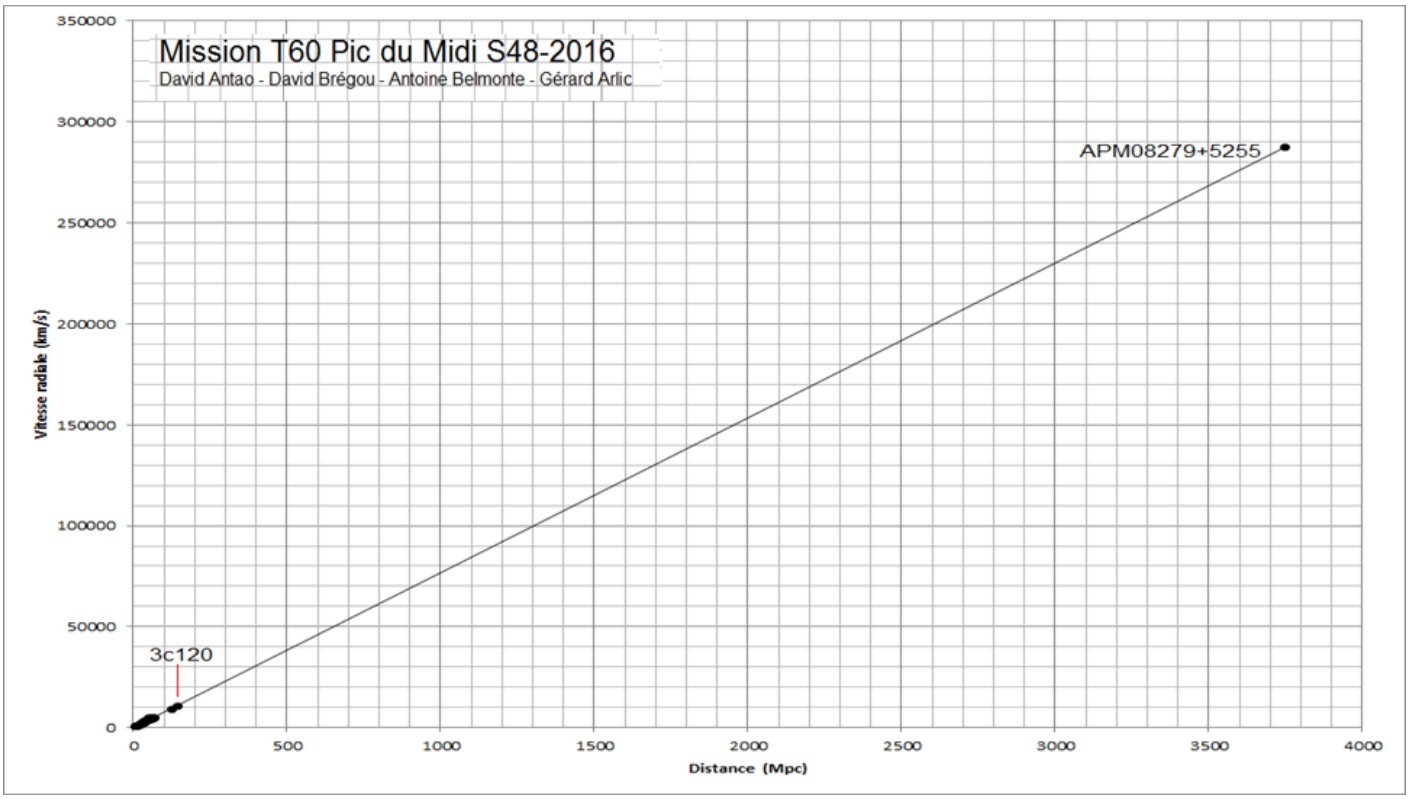
| Objet | | David B. | David B. | | | Gérad A. | | | David A. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Simbad | Vr Méthode CFF avec ref K5III | Vr Méthode CFF avec ref K2III | Delta Vr | %erreur | VR Mesuré sur la raie du magnesium (5172A) | Delta Vr | %erreur | Vr Mesure 1 sur plusieurs raies significatives | incertitude | VR Mesure 2 sur plusieurs raies significatives | incertitude | Delta Vr | %erreur |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| 3c120 | 10064 | | 10431 | -367 | -3.65 | | | | 10153 | 25 | | | -89 | -0.88 |
| M51 | 465 | 336 | 510 | -45 | -9.68 | | | | 419 | 44 | | | 46 | 9.90 |
| M74 | 655 | 562 | 647 | 8 | 1.22 | | | | 595 | 62 | 583 | 105 | 60 | 9.24 |
| M77 | 1139 | 925 | 967 | 172 | 15.10 | | | | 1295 | 28 | 1312 | 33 | -156 | -13.70 |
| M87 | 1256 | 1078 | 1197 | 59 | 4.70 | | | | 1285 | 19 | 1255 | 21 | -29 | -2.28 |
| NGC266 | 4664 | 4445 | 4490 | 174 | 3.73 | | | | 4744 | 24 | 4675 | 28 | -80 | -1.72 |
| NGC777 | 4967 | 4912 | 5040 | -73 | -1.47 | 4927 | 40 | 0.81 | | | | | | |
| NGC821 | 1738 | 1530 | 1593 | 145 | 8.34 | | | | | | | | | |
| NGC1700 | 3892 | 3955 | 3990 | -98 | -2.52 | 4000 | -108 | -2.76 | 3960 | 61 | 4009 | 40 | -68 | -1.73 |
| NGC1875 | 8997 | 9015 | 8876 | 121 | 1.34 | 9390 | -393 | -4.37 | | | | | | |
| NGC1954 | 3139 | 3167 | 3068 | 71 | 2.26 | | | | | | | | | |
| NGC2339 | 2236 | 2090 | 2025 | 211 | 9.44 | | | | | | | | | |
| NGC2500 | 515 | | 471 | 44 | 8.54 | | | | | | | | | |
| NGC2513 | 4658 | 4680 | 4781 | -123 | -2.64 | | | | | | | | | |
| NGC2532 | 5246 | 5053 | 5053 | 193 | 3.68 | 5333 | -87 | -1.65 | | | | | | |
| NGC2776 | 2600 | 2660 | 2491 | 109 | 4.19 | | | | | | | | | |
| NGC2903 | 556 | | 510 | 46 | 8.27 | | | | | | | | | |
| NGC3640 | 1315 | 1100 | 1194 | 121 | 9.20 | | | | | | | | | |
| NGC7252 | 4699 | | 4649 | 50 | 1.06 | 4521 | 178 | 3.78 | | | | | | |
| NGC7331 | 818 | 785 | 815 | 3 | 0.37 | | | | | | | | | |
| NGC7377 | 3339 | 3022 | 3173 | 166 | 4.97 | | | | | | | | | |
| NGC7479 | 2369 | 2255 | 2391 | -22 | -0.93 | 2608 | -239 | -10.11 | | | | | | |
| NGC7541 | 2839 | | 2542 | 297 | 10.46 | | | | | | | | | |
| NGC7723 | 1871 | | 1896 | -25 | -1.34 | | | | | | | | | |
| qso0957 | | | | 0 | | | | | | | | | | |
| apm08279 | 275922 | | | 0 | | | | | 275543 | 30 | soit Z=3.87 | | 379 | 0.14 |
| NGC7023 | | | 41 | -41 | | | | | | | | | | |
| M31 | -300 | | -294 | -6 | -2.00 | | | | -278 | | -260 | | -23 | 7.50 |

## *VII – Conclusion de l'analyse :*

Le graphique de la loi de Lemaître-Hubble revue par des amateurs (sans la partie mesure des distances, on a réalisé uniquement le travail de Vesto Slipher) a été produit. Il est bien en accord avec les données actuelles.




En y rajoutant le point du quasar APM08279+5255 cela porta le graphique à




La mesure de la pente de cette droite donne la valeur de H0.
Notre mesure de H0 est de 73.65 $Km.s^{-1}.Mpc^{-1}$

La valeur admise par la méthode des supernovæ de type-Ia est de 73.48 +/- 1.66 $Km.s^{-1}.Mpc^{-1}$
La valeur admise par les données du satellite Planck sur le fond diffus cosmologique est de 67.8 +/- 0.9 $Km.s^{-1}.Mpc^{-1}$

**Ces deux valeurs ne se recoupent pas et posent aujourd'hui l'une des plus grandes énigmes en astrophysique avec celle de la matière et de l'énergie noire.**

## Calcul âge de l'Univers

Si on fait l'hypothèse que la valeur de Ho est constante depuis le début de l'expansion, alors la durée de l'expansion peut être calculée.

Le calcul de l'âge de l'Univers se base actuellement sur la relativité générale en faisant l'hypothèse d'un Univers homogène et isotrope.

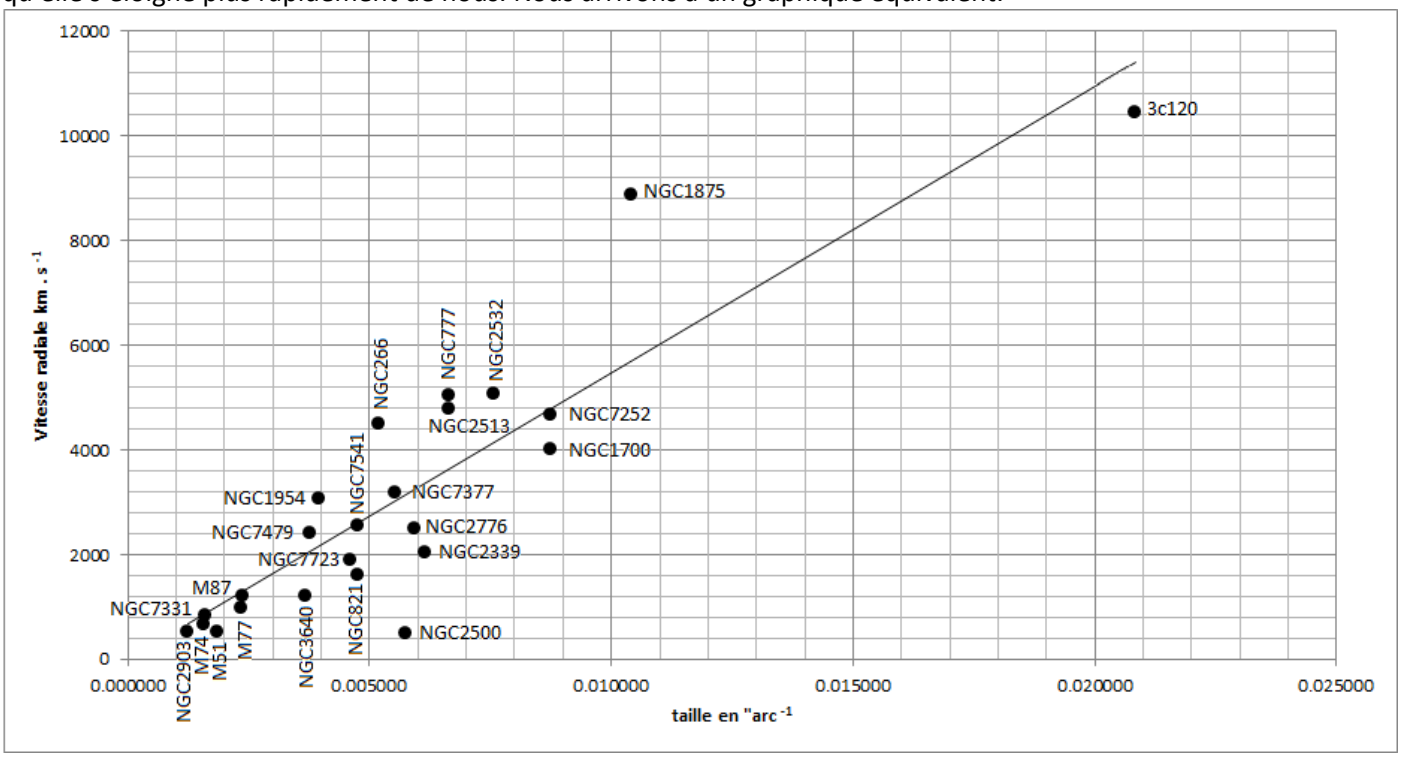
Dans l'hypothèse d'un Univers dont la densité de matière est égale à une densité critique et en tenant compte de l'accélération de l'Univers (rapport matière et énergie) l'âge de l'Univers est alors :

$$T(univers) = f(\Omega_m, \Omega_\Lambda).\left(\frac{1}{Ho}\right)$$

Ce qui donne pour notre mesure un âge de l'Univers de 13.03 milliards d'années.

## Pour aller un peu plus loin …

Dans le travail fait ci-dessus, nous avons reproduit juste le travail fait par Vesto Slipher une centaine d'années avant nous. C'est-à-dire que l'on n'a mesuré que des vitesses radiales et constaté que la plupart des galaxies (nébuleuses spirales à l'époque) s'éloignent de nous. Aujourd'hui, essayons de pousser un peu plus loin, ce que n'a pas fait Vesto Slipher, car cela n'était pas si simple comme hypothèse à poser à son époque. Si on pose comme hypothèse que la taille de toutes les galaxies est du même ordre de grandeur, nous pouvons arriver à la même conclusion et vérifier que plus une galaxie est petite en taille, plus on fait l'hypothèse qu'elle est loin de nous et donc on vérifie bien qu'elle s'éloigne plus rapidement de nous. Nous arrivons à un graphique équivalent.



# Tableau Vitesse radiale et taille apparente dans le visible des galaxies

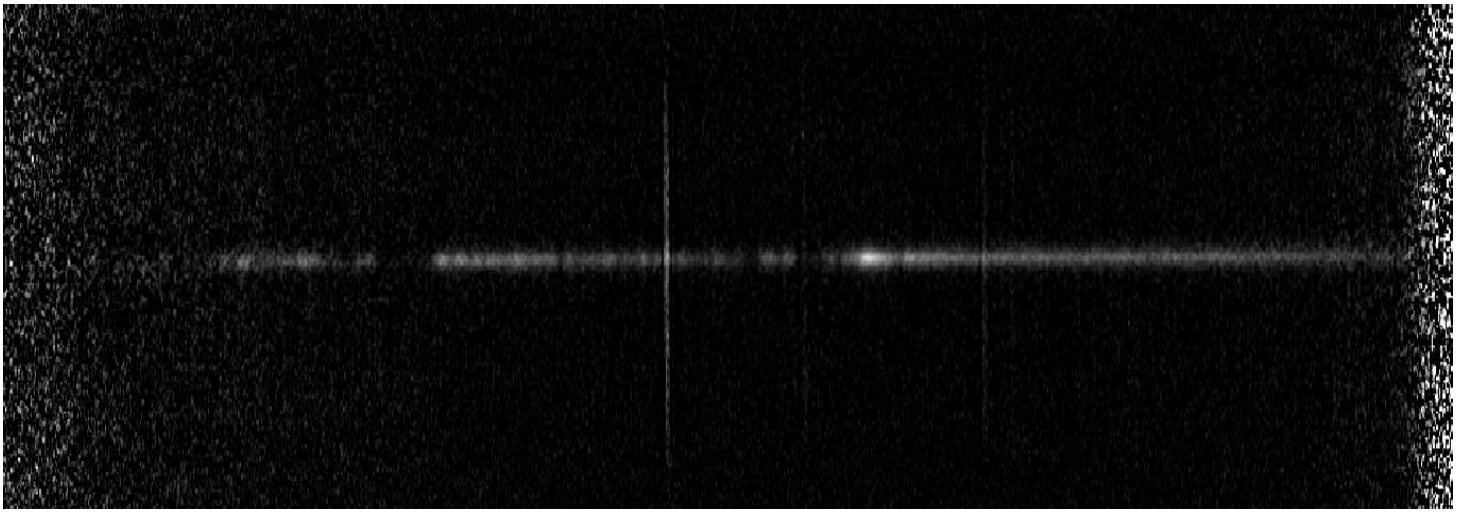
| Objet | Vr mesure CCF avec ref K5III | Vr mesure CCF avec ref K2III | Taille grand axe en 'arc | Taille petit axe en 'arc | Taille grand axe en "arc | Taille grand axe en "arc^-1 dans le visible |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | |
| 3c120 | | 10431 | 0.80 | 0.60 | 48.00 | 0.020833 |
| M51 | 336 | 510 | 9.00 | 7.00 | 540.00 | 0.001852 |
| M74 | 562 | 647 | 10.50 | 9.50 | 630.00 | 0.001587 |
| M77 | 925 | 967 | 7.10 | 6.00 | 426.00 | 0.002347 |
| M87 | 1078 | 1197 | 7.00 | 7.00 | 420.00 | 0.002381 |
| NGC266 | 4445 | 4490 | 3.20 | 3.00 | 192.00 | 0.005208 |
| NGC777 | 4912 | 5040 | 2.50 | 2.00 | 150.00 | 0.006667 |
| NGC821 | 1530 | 1593 | 3.50 | 2.20 | 210.00 | 0.004762 |
| NGC1700 | 3955 | 3990 | 1.90 | 1.50 | 114.00 | 0.008772 |
| NGC1875 | 9015 | 8876 | 1.60 | 0.40 | 96.00 | 0.010417 |
| NGC1954 | 3167 | 3068 | 4.20 | 2.20 | 252.00 | 0.003968 |
| NGC2339 | 2090 | 2025 | 2.70 | 2.00 | 162.00 | 0.006173 |
| NGC2500 | | 471 | 2.90 | 2.60 | 174.00 | 0.005747 |
| NGC2513 | 4680 | 4781 | 2.50 | 2.00 | 150.00 | 0.006667 |
| NGC2532 | 5053 | 5053 | 2.20 | 1.80 | 132.00 | 0.007576 |
| NGC2776 | 2660 | 2491 | 2.80 | 2.50 | 168.00 | 0.005952 |
| NGC2903 | | 510 | 13.30 | 6.00 | 798.00 | 0.001253 |
| NGC3640 | 1100 | 1194 | 4.50 | 4.00 | 270.00 | 0.003704 |
| NGC7252 | | 4649 | 1.90 | 1.60 | 114.00 | 0.008772 |
| NGC7331 | 785 | 815 | 10.20 | 4.20 | 612.00 | 0.001634 |
| NGC7377 | 3022 | 3173 | 3.00 | 2.50 | 180.00 | 0.005556 |
| NGC7479 | 2255 | 2391 | 4.40 | 3.40 | 264.00 | 0.003788 |
| NGC7541 | | 2542 | 3.50 | 1.20 | 210.00 | 0.004762 |
| NGC7723 | | 1896 | 3.60 | 2.60 | 216.00 | 0.004630 |
| qso0957 | | | 0.10 | | 6.00 | 0.166667 |
| apm08279 | | | 0.008 | | 0.48 | 2.083333 |

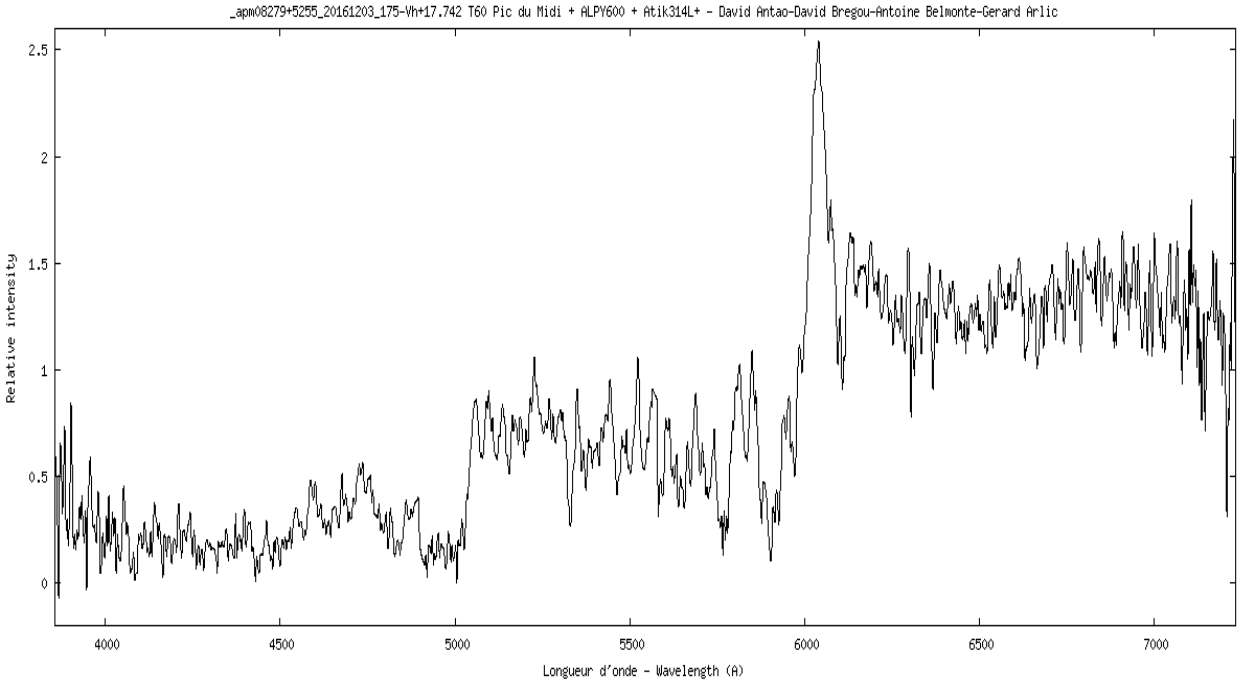
## Travail qui reste encore à faire :

- Analyse à la main de quelques raies principales (H alpha, H beta, Na, Mg, Ca+Fe, K&H du Calcium, fe+CH)
- Comparaison avec la méthode de CCF
- Retrait de la vitesse galactocentrique
- Etude des galaxies dans leur environnement (amas de galaxie)
- Etude du dédoublement de H alpha en émission dans certaines galaxies (disque de matière autour du trou noir central, jet du trou noir …)
- Etude des quasars et de la matière entre eux et nous.

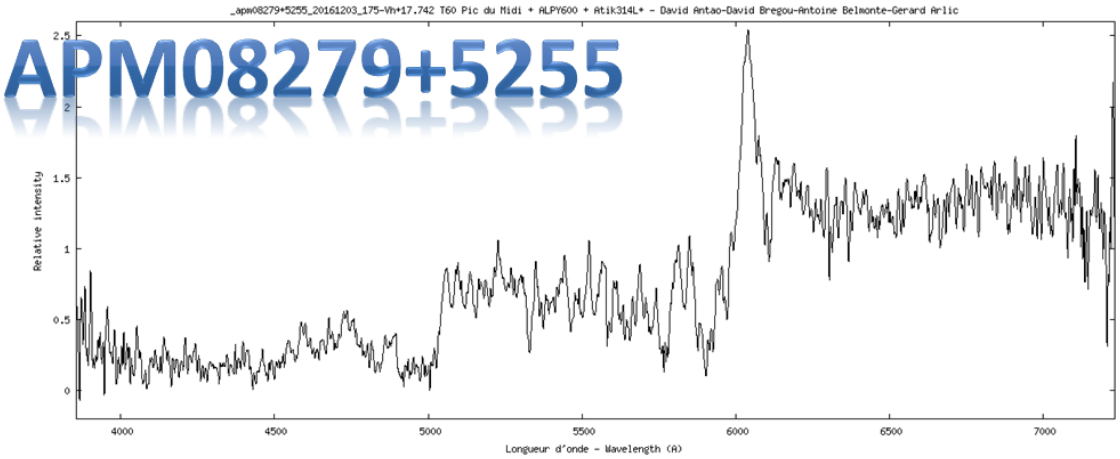
  ……

## Un quasar intéressant APM08279+5255





## Mesure de sa distance :




| Raies | I | II | III | IV | V |
|---|---|---|---|---|---|
| N V | 6040.5649 | 6040.0437 | 6040.023 | 6039.0838 | 6039.8795 |

| Moyenne | Incertitude |
|---|---|
| 6039.919 | 0.478 |

| Valeur au repos |
|---|
| 1240 |

$$z = \frac{\lambda_o - \lambda_e}{\lambda_e}$$

| Z |
|---|
| 3.87 |

$$Vr_{Rel} = c\frac{\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_0}\right)^2 - 1}{\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_0}\right)^2 + 1}$$

| Calcul Vr en Km/s |
|---|
| 275 542.99 |

| Incertitude 5 mesures en km/s | Incertitude rms en km/s | Somme incertitude en Km/s |
|---|---|---|
| 23.73 | 18.67 | 30.20 |

## Comparaison avec une publication de 1998

APM 08279+5255: ULTRALUMINOUS BAL QUASAR AT $z = 3.87$

CONCLUSIONS

bolometric luminosity $\gtrsim 5 \times 10^{15}\ L_\odot$ redshift of 3.87

MICHAEL J. IRWIN,[1] RODRIGO A. IBATA,[2] GERAINT F. LEWIS,[3,4] AND EDWARD J. TOTTEN[5]

*Received 1998 March 23; accepted 1998 May 4*

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 505:529–535, 1998 October 1

© 1998. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.

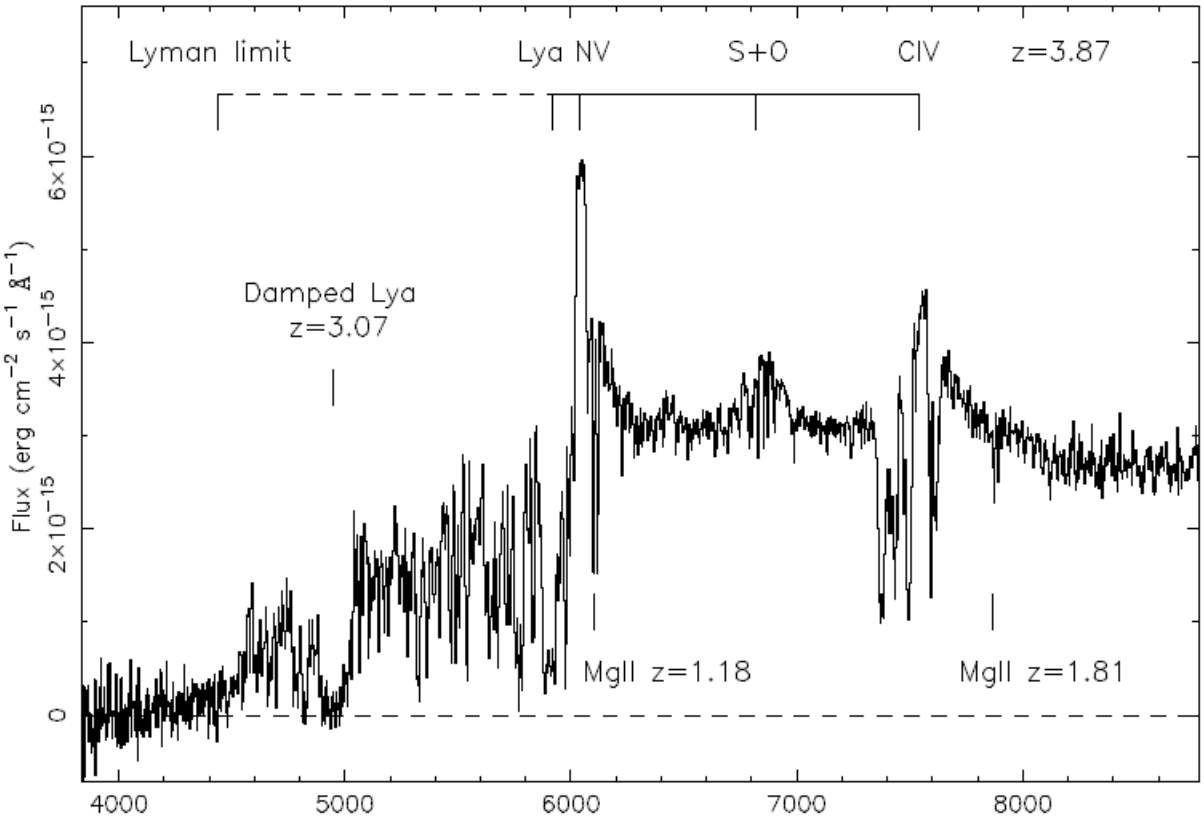



FIG. 1.—Optical spectra of APM 08279+5255 taken with the 2.5 m Isaac Newton Telescope. Features typical of high-redshift quasars, namely, strong N V and C IV emission lines, are clearly visible. The emission lines are seen to possess broad absorption troughs consistent with high-velocity bulk outflows associated with the quasar. It is interesting to note that Lyα emission is extremely weak, probably due to self-absorption by neutral gas along the line of sight but within the quasar. Also apparent is absorption beyond the Lyman limit and in the Lyα forest. Coupled with this, a damped Lyα system is visible at $z = 3.07$, as well as Mg II doublets of equivalent widths 10.3 Å and 2.8 Å, consistent with galactic systems at $z = 1.18$ and $z = 1.81$, respectively.

Actuellement sur SIMBAD du CDS

## *VI – Publications :*

Cette mission a déjà donné lieu à 2 publications :
http://sf2a.eu/proceedings/2018/2018sf2a.conf..0411a.pdf
https://saf-astronomie.fr/wp-content/uploads/2019/05/B8-Fauvaud_AT60-compressed.pdf

Et une conférence lors des Rencontres du Ciel et de l'Espace 2018 :
https://media.afastronomie.fr/RCE/PresentationsRCE2018/ANTAO-RCE2018.pdf

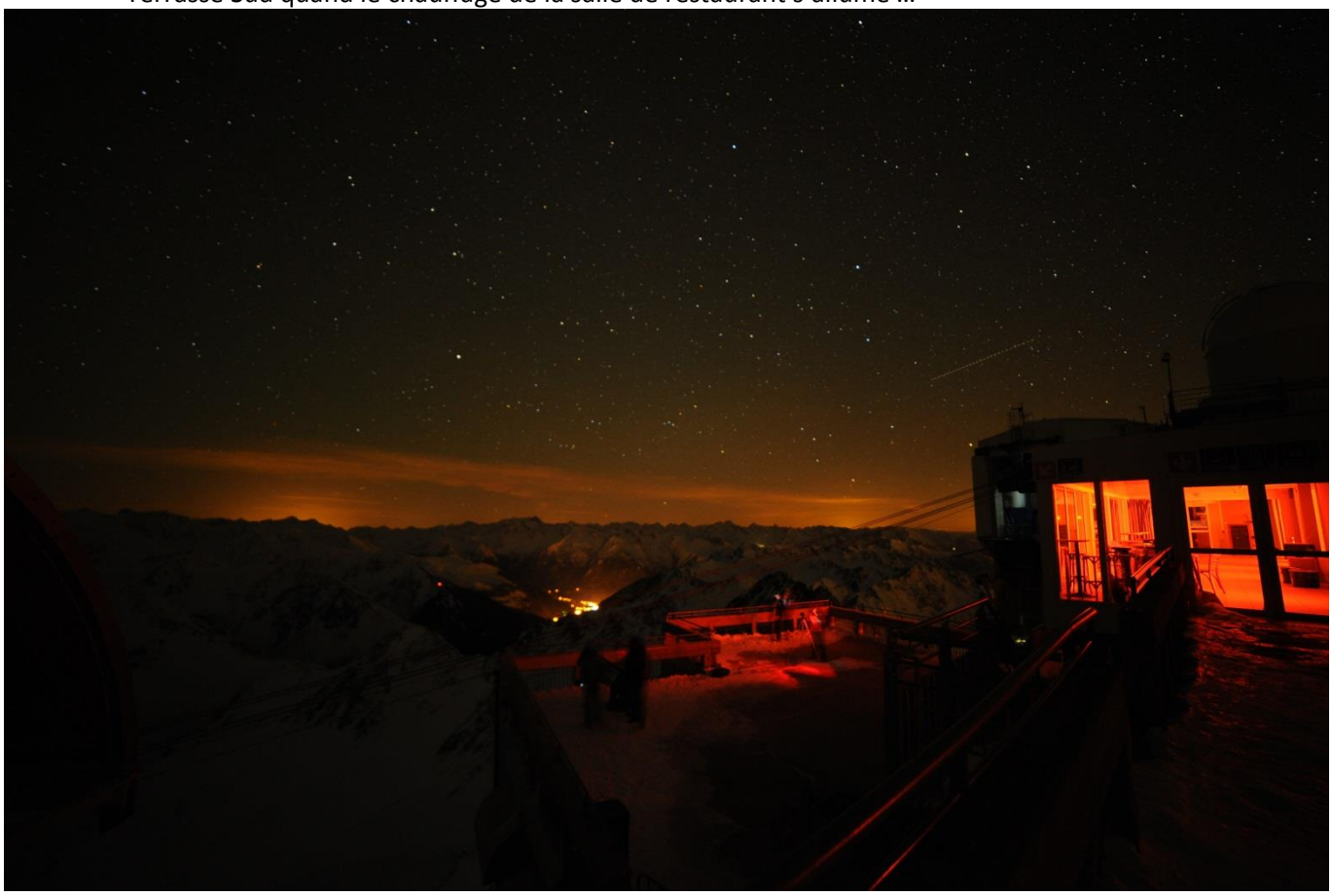
## *VII – En parallèles des longues heures de pose :*

- Observation en visuel avec un dobson de 350mm sur la terrasse du Pic du Midi
- Partage des observations en visuel avec le personnel du Pic (Technicien, Personnel du T1M et du TBL, Régie, les OA, le personnel du bâtiment ministériel). Certains n'avaient jamais vu dans un télescope de leurs propres yeux ! (Incroyable…) Tout le monde était ravi de notre partage du ciel passionné.

- Photo du ciel
  Terrasse SUD

Terrasse SUD quand l’éclairage du couloir s’allume …

Terrasse Sud quand le chauffage de la salle de restaurant s’allume …



Le Pic du Midi manque de rideaux ou de stores efficaces contre ses propres lumières parasites. C’est bien dommage …

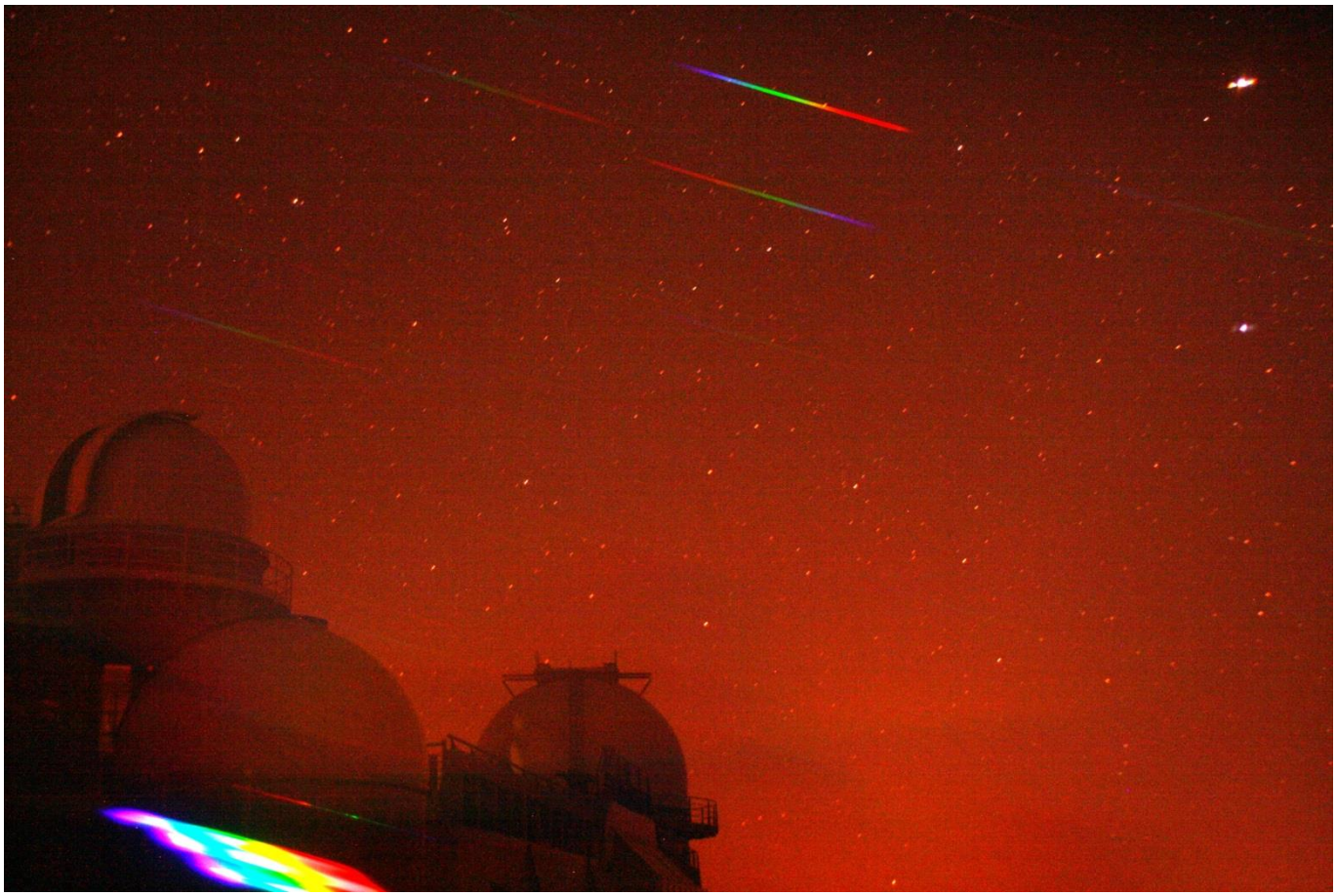
Terrasse SUD-EST

Terrasse OUEST

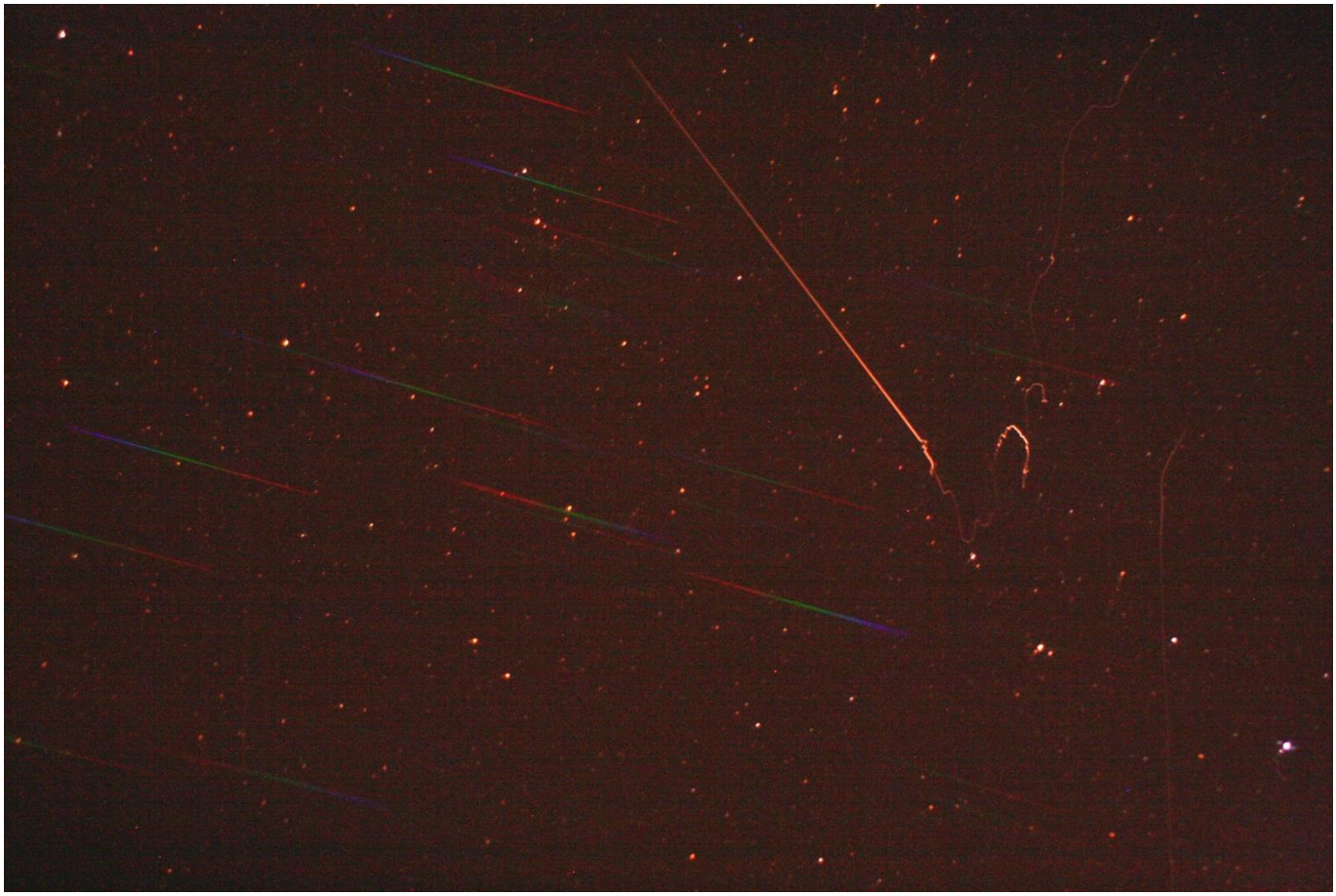
Terrasse NORD

- Photo d'un bolide lors d'un timelapse avec un Canon 1000D objectif avec diapo réseau devant AVANT BOLIDE

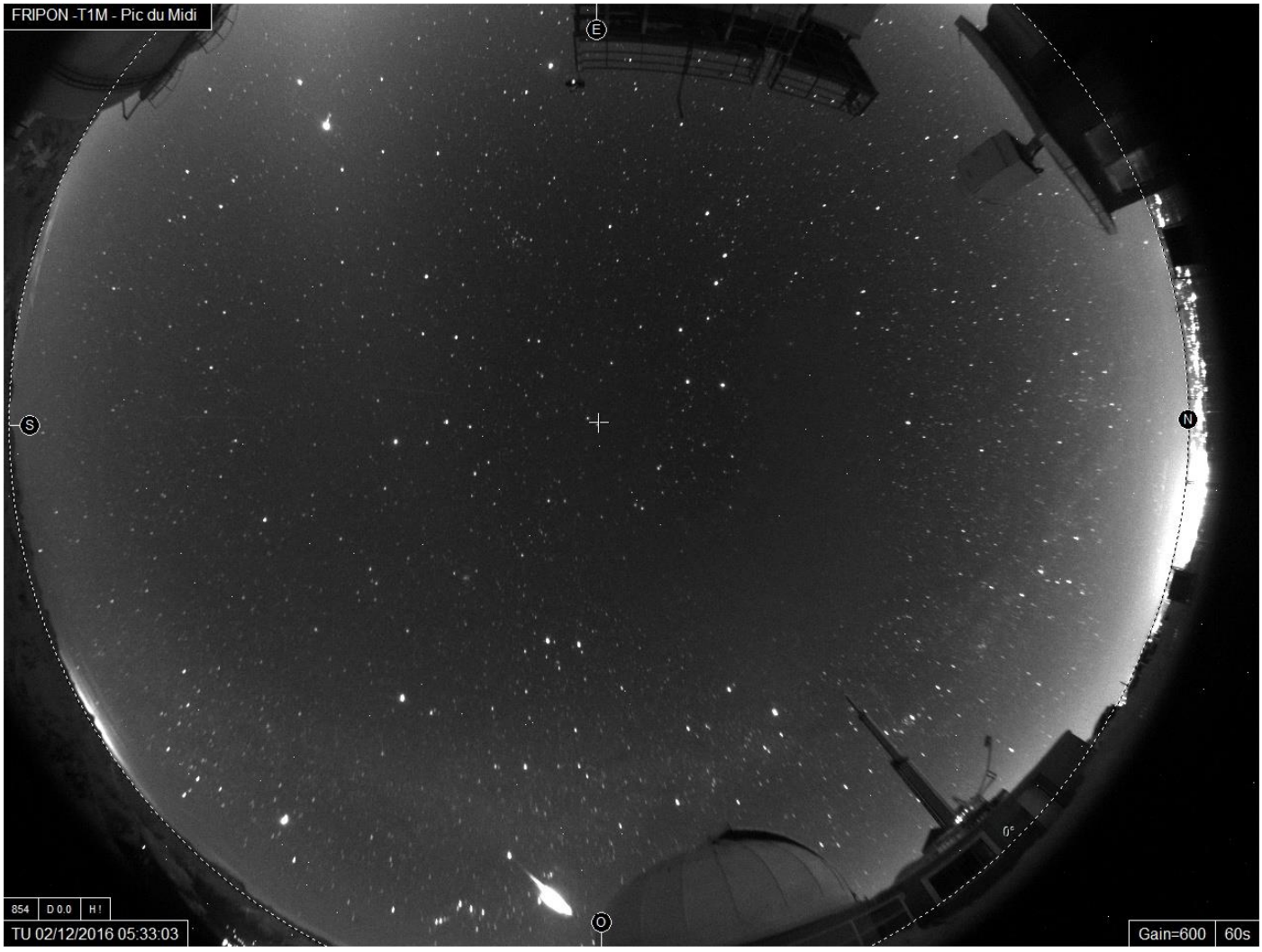
REFLET DU BOLIDE



TRAINEE APRES LE BOLIDE

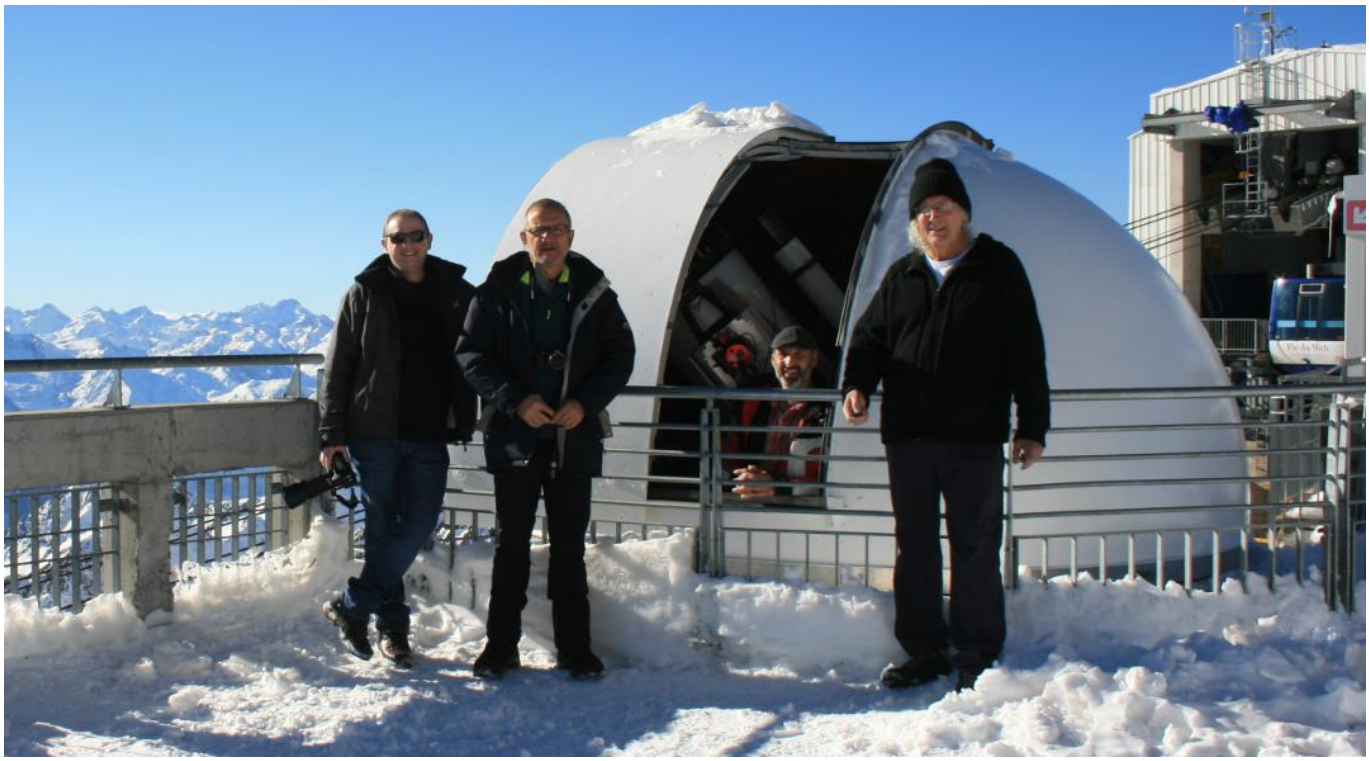


BOLIDE SUR LA CAMERA FRIPON

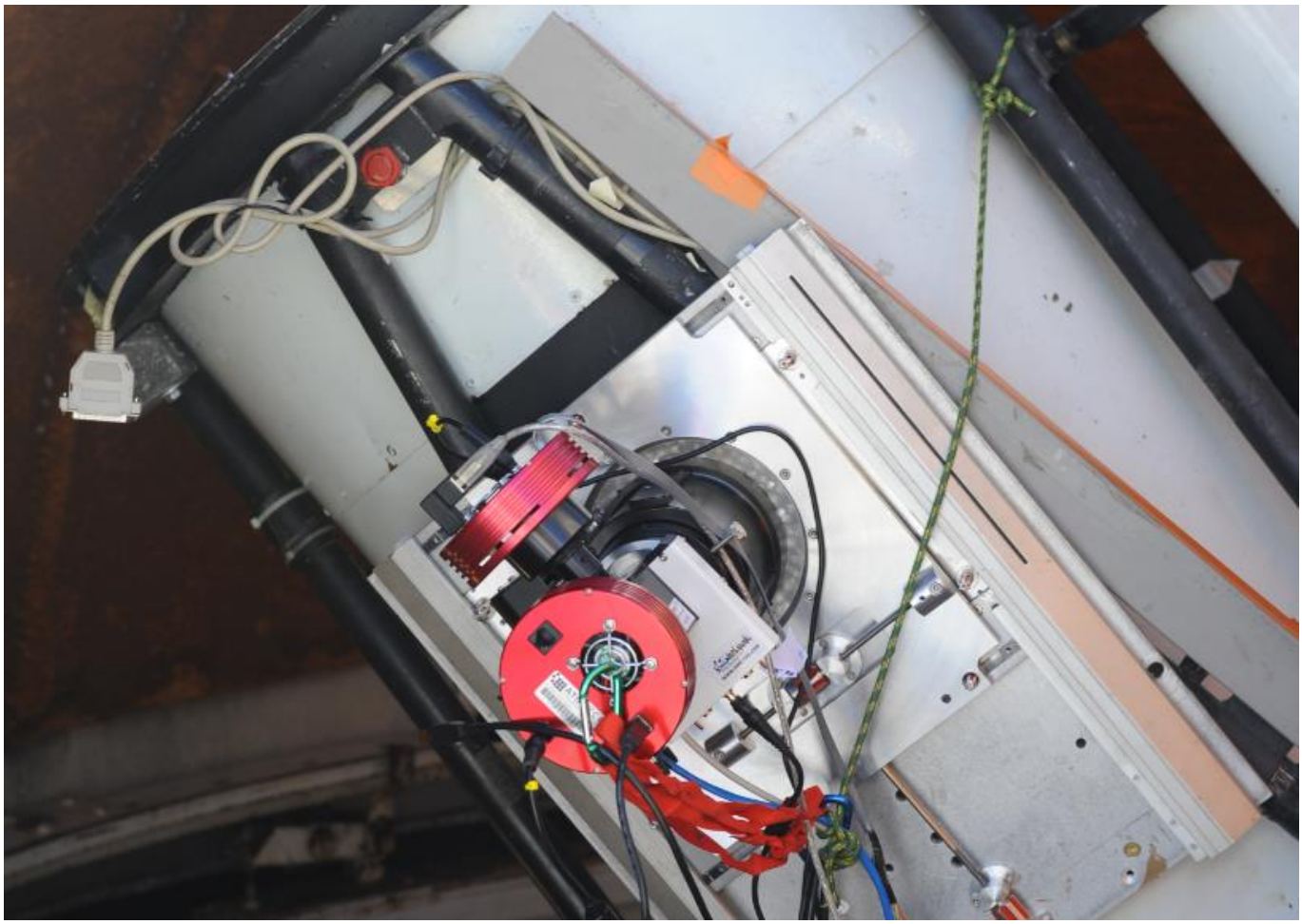



- Echanges fort intéressants avec l'équipe du TBL sur nos observations respectives

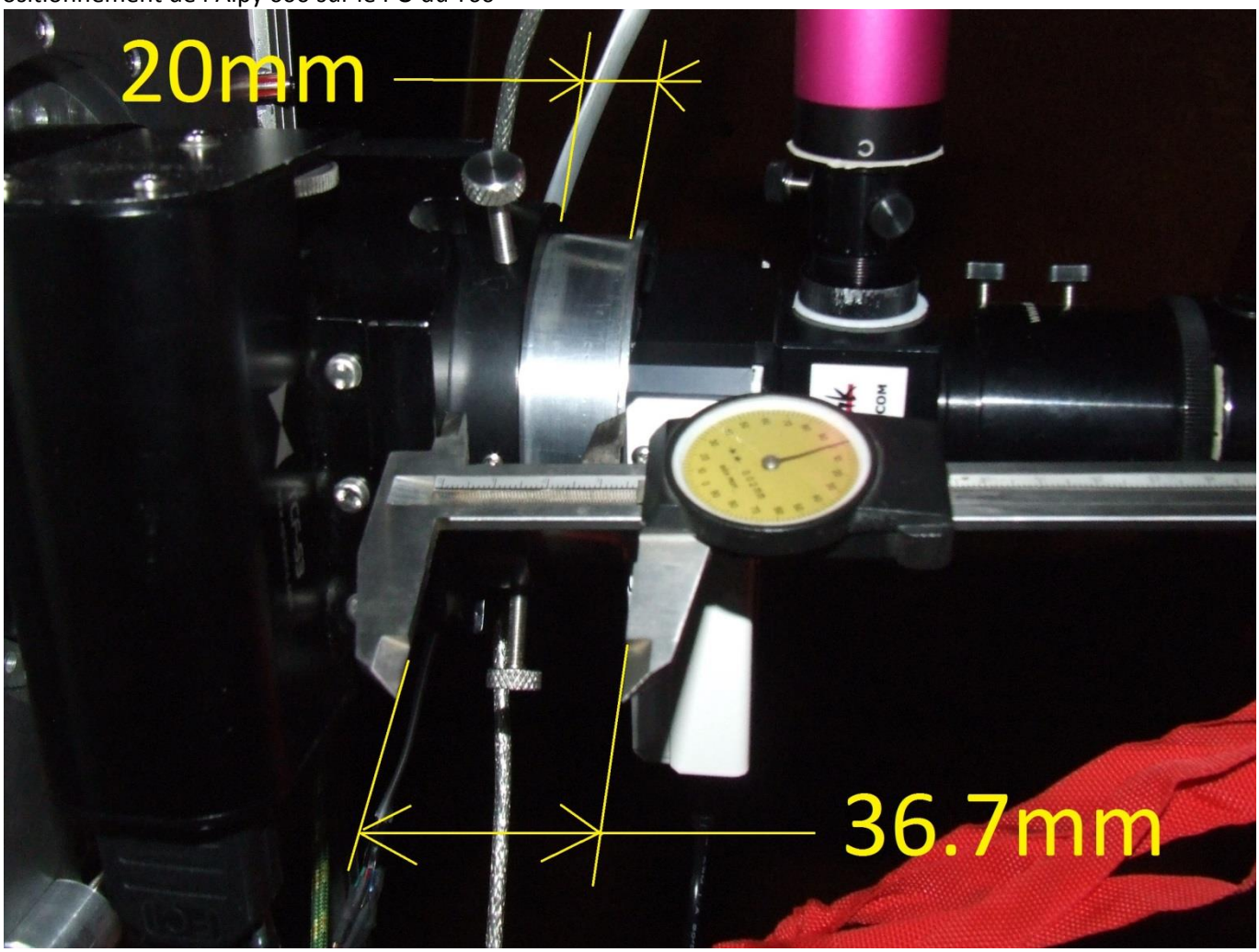
## *VIII – Photo de l'équipe et remerciements (OMP, AT60, la régie du Pic du Midi, Les techniciens de l'OMP*



David Brégou | Antoine Belmonte | David Antao | Gérard Arlic



Positionnement de l’Alpy 600 sur le PO du T60



Toute l'équipe remercie très chaleureusement l'Observatoire Midi-Pyrénées, tout le personnel qui travaille au sommet du Pic du Midi, ainsi que de Laurent Ferrero auteur des « Splendeurs du ciel profond », sans qui ce travail aurait été plus difficile.

Observatoire Midi-Pyrénées

OMP