ASTRONOMIE

Astrosurf Magazine

Numéro 85 Mars/Avril 2017

Découvrir, observer et photographier les objets du ciel

Observer

Gamma Velorum
IRAS 06176-1036
Ciel profond facile : M67
Dernières nouvelles de Jupiter
De NGC 2841 au quasar double de l'Ourse

Photographier le ciel

La nébuleuse du Crayon
Amalthée et Thébé dans la lueur de Jupiter
Spectroscopie : sauter le pas

Traitement d'images

Traitement d'images avec Pixinsight (5)

Tests de matériels et logiciels

Perl Bellatrix 200/1000 NEQ5
Atlas Virtuel des planètes version 2
Raspberry Pi : une plateforme pour l'Astronomie

85

Et aussi : Ephémérides de mars et avril 2017 • Le ciel en 9x13
Actualités cométaire et météorique • Vie des clubs • Rencontres astronomiques
Ciel d'encre • La Lune :dans la région de Maurolycus • Galerie d'images

Par David Antao

Spectroscopie :

quelques bases pour sauter le pas

Un spectroscope, oui c'est intéressant! Vous avez certainement assisté à des présentations, vu des résultats qui vous ont plu, mais cela paraît difficile et compliqué de se lancer seul ....

Je vais tenter de répondre à vos questions d'après mon expérience personnelle. Je vous invite à m'accompagner dans vos premiers pas d'astrophysicien amateur. Eh oui, la spectroscopie vous ouvrira les portes de l'astrophysique ! Mais attention, c'est un monde passionnant qui vous sortira de votre ordinaire, qui vous fera vous poser des questions intéressantes et vous y passerez du temps, beaucoup de temps. Comme je l'ai entendu lorsque j'ai assisté à ma première présentation sur la spectroscopie : "Si vous n'avez pas de temps, alors passez votre chemin, car cela va vous poser problème ..." .Je ne veux pas être responsable de ça ! Je vous aurai prévenu. J'ai déjà eu droit à des dialogues du genre :

- C'est vous David ?

- Oui !

- Chérie, chérie, c'est à cause de lui que je passe toutes mes nuits dehors derrière le télescope !

- ... !?!

Vécu lors du RAAGSO (Rassemblement de l'Astronomie Amateur dans le Grand Sud-Ouest) de 2010.

Pour ceux qui n'ont pas froid aux yeux, allons-y, poussons ensemble la porte de ce monde merveilleux.

Je vous propose de débuter par quelques explications de base. Avant tout il n'est pas besoin d'avoir fait des études scientifiques pour pouvoir jouer avec un spectroscope, obtenir des résultats intéressants et se faire plaisir !

La lumière est une onde électromagnétique. C'est la partie visible de l'iceberg, au sens propre ! C'est-à-dire que la partie qui correspond à la lumière visible n'est qu'une toute petite partie du spectre électromagnétique. Celui-ci va du rayonnement gamma, les plus courtes longueurs d'onde, au rayonnement radio les plus longues. En passant par les rayons X qui servent à voir nos os à travers notre corps, les UV qui nous donnent une belle couleur dorée l'été, (mais attention pas trop) ou par l'infrarouge qui peut nous réchauffer.

Par convention les longueurs d'onde dans la partie visible du spectre électromagnétique sont exprimées en nanomètre (1nm=10^{-9}m). En astrophysique on va très souvent utiliser également les Angströms noté "Å", avec :

$$1Å = 0,1\ nm = 10^{-10}m$$

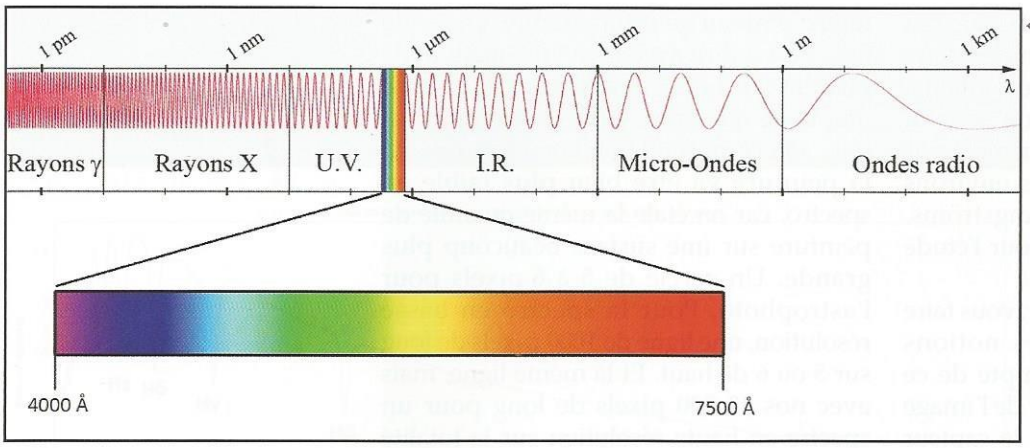
Le spectre visible va environ de 400nm à 750nm ou encore de 4000Å à 7500Å.

Mais, la lumière est aussi une particule qu'on nomme photon. Je pense que tout le monde a entendu parler un jour de ce côté dual de la lumière. On utilisera les deux notions pour nos observations, mais pas besoin d'en savoir beaucoup plus sur cette dualité.

La matière a une propriété intéressante : elle interagit avec le rayonnement électromagnétique. Elle peut échanger de l'énergie sous forme de lumière, en absorbant ou en émettant des photons. Tous les éléments atomiques ont leurs signatures propres. C'est-à-dire qu'ils ont

L'auteur

David Antao a commencé l'astronomie en 2001. Après une longue phase d'observation en visuel, en 2008 il attrappe le virus de la spectrométrie et fait de nombreuses présentations de cette discipline lors de rencontres d'astronomes amateurs. David est également Président du club d'astronomie APAM (www.astrosurf.com/apam). Il anime également un petit club d'astronomie pour les enfants de son village (6-12ans) auxquels il n'oublie pas de donner des notions de spectroscopie.



Le spectre visible va d'environ 400nm à 750nm.

un jeu de raies spectrales situées à des longueurs d'ondes bien précises. C'est comme cela qu'on va pouvoir les reconnaître. Les molécules, qui sont des ensembles d'atomes, ont également leurs signatures. On peut même en voir dans l'atmosphère des étoiles dites froides (3000°K). Cela va compliquer grandement l'identification des raies spectrales. Pour identifier un élément une seule raie ne va pas suffire. C'est un ensemble des raies qui va nous indiquer la présence ou non de l'élément. Exactement comme un code barre.

Revenons vers nos télescopes. Tous les astronomes amateurs se rappellent de leurs débuts, La difficulté rencontrée pour choisir leur premier instrument. Une lunette ? Un télescope newton ? Un Schmidt ? Courte focale ? Grande focale ? Pour observer quoi ? Le planétaire ? Les galaxies et les nébuleuses ? Les magnifiques petites nébuleuses planétaires ? Pourtant la réponse est simple : il les faudrait tous pour faire les meilleures observations possibles ! Malheureusement notre banquier est souvent en désaccord avec nous…

En spectroscopie c'est le même dilemme ! Va-t-on faire plutôt de la basse résolution, pour observer la totalité du spectre et sa forme générale ou de la haute résolution, pour zoomer sur un détail, une raie intéressante à suivre ? Les deux mon commandant ! It's not possible … avec le même spectroscope !

Tout d'abord, il faut savoir comment on obtient un spectre. Il suffit de faire passer la lumière d'une étoile à travers un prisme qui va décomposer cette lumière en arc en ciel, du bleu au rouge. C'est notre spectre. Du côté du bleu on va trouver les longueurs d'ondes les plus courtes, du côté du rouge, les plus longues. Par convention on mettra TOUJOURS le bleu à gauche et le rouge à droite. Pour ceux qui confondent la gauche et la droite comme moi, vous n'aurez plus d'excuse, il suffira de dire "bleu et rouge". Il n'est pas dit que le reste de la population vous comprenne. « Tourne vers le bleu, va vers le Redshift, …. ». Mais il faudra vous y habituer, car avec la spectroscopie on touche au monde quantique. Vos amis, votre famille, vos collègues de travail vont vous voir différemment, à vous extasier devant une courbe sur un écran. Même vos collègues astronomes amateurs auront du mal à comprendre votre joie d'avoir obtenu une ligne, même pas en couleur pour un arc en ciel sur votre capteur CCD où vous n'utiliserez plus que 1 ou 2 % de l'image.

De nos jours on utilise un réseau plutôt qu'un prisme. Le réseau est une lame de verre plane composée d'une multitude de traits fins et parallèles qui jouent le rôle du prisme. Plus il y a de traits au millimètre plus la dispersion sera grande. Par exemple

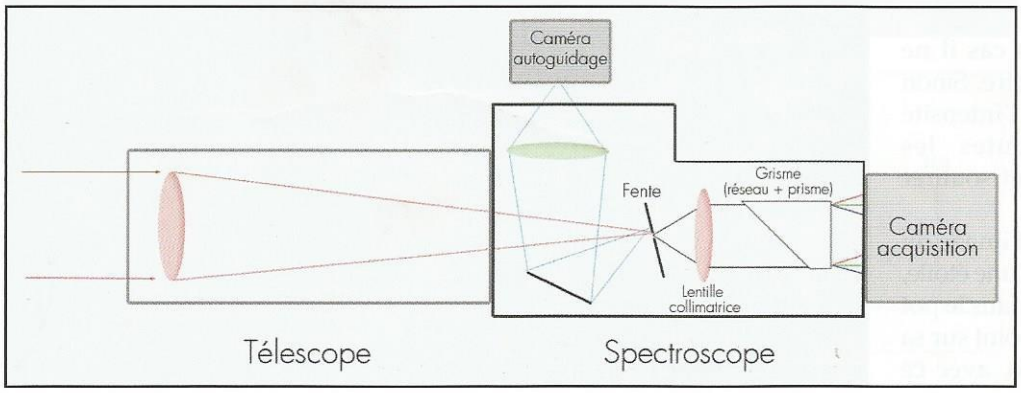


Schéma de principe d'un spectroscope

de 100 traits par mm à 600 traits par mm on sera en basse résolution. Dans les deux cas on aura le spectre visible en totalité. Avec un réseau à 2400tr/mm on sera en haute résolution. On aura uniquement par exemple la raie H alpha et ses environs proches sur une centaine d'Angströms. Cette raie est très importante pour l'étude des objets astrophysiques.

Maintenant pour vous expliquer, vous faire mieux comprendre certaines notions d'acquisitions et se rendre compte de ce que vous allez voir, je vais partir de l'image de mon étoile qui se forme sur le capteur CCD en astrophoto classique. Elle fait un disque de quelques pixels. Dans ce disque on va trouver tous les photons de toutes les longueurs d'ondes différentes qui sont mélangés les uns aux autres. Quand on va passer cette étoile dans le spectroscope, ce dernier va "trier" les photons et les aligner les uns à côté des autres en fonction de la longueur d'onde. Tous les photons de même longueur d'onde vont être superposés pour exprimer l'intensité de cette longueur d'onde, notion très importante ! Donc on va se retrouver avec non pas un cercle, mais une ligne qui va faire plusieurs centaines de pixels !

Exemple : environ 400 pixels dans le cas d'un spectro basse résolution type Star Analyser 100. Environ 1000 pixels dans le cas d'un spectro basse résolution type ALPY600. Et dans le cas de la haute résolution, toute la longueur de notre capteur CCD ne représentera qu'environ 110 Angströms. Pour afficher le spectre du visible dans sa totalité il faudrait environ 42000 pixels ! Difficile à faire en une fois. Mais les astrophysiciens sont des personnes rusées. Ils ont quand même trouvé une solution : revenir "à la ligne" pour afficher la suite. C'est le cas des spectroscopes échelles. C'est un autre type de spectroscope, également accessible aux astronomes amateurs, mais je n'en parlerai pas ici car, c'est bien plus difficile d'utilisation et surtout cela ne s'adresse pas à toutes les bourses.

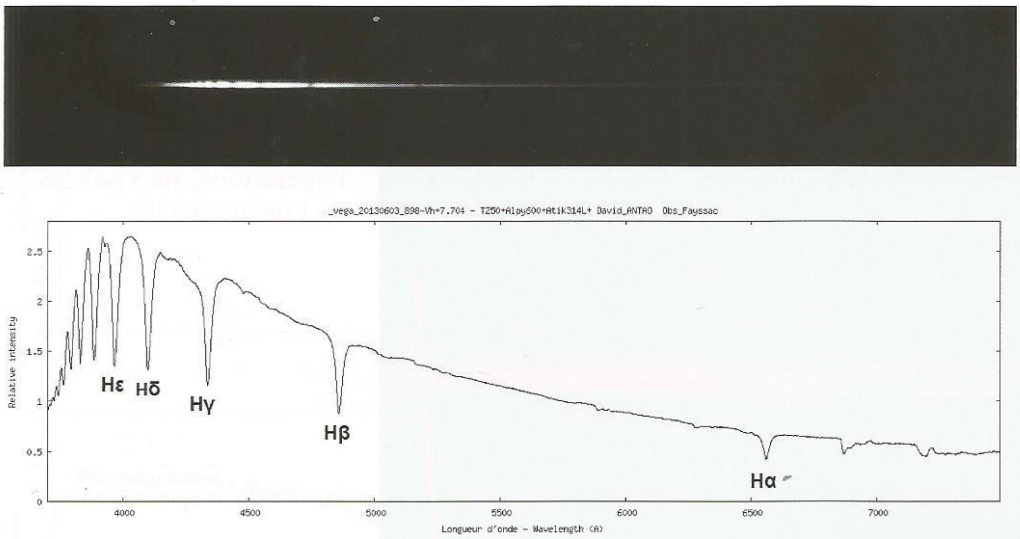
Très important : dans tous les cas il ne faudra jamais saturer notre spectre. Sinon on va perdre l'information de l'intensité lumineuse qui contient toutes les précieuses données que l'on veut soutirer à notre "star" (étoile).

J'aime prendre pour métaphore l'image du peintre. L'astrophoto classique d'une étoile, c'est quand il trempe le pinceau dans le pot de peinture et qu'il va faire un point sur sa toile. Dans le cas de la spectro, avec ce même pinceau qu'il aura trempé une seule fois, c'est-à-dire avec la même quantité de peinture, de lumière cette fois-ci il va faire une ligne qui traverse de part en part sa toile. On comprend vite que l'intensité de la peinture va être bien plus faible en spectro, car on étale la même quantité de peinture sur une surface beaucoup plus grande. Un cercle de 5 à 6 pixels pour l'astrophoto. Pour la spectro en basse résolution, une ligne de 1000 pixels de long sur 5 ou 6 de haut. Et la même ligne, mais avec nos 42 000 pixels de long pour un spectre en haute résolution sur la totalité de la partie du visible. On comprend très vite qu'on aura un problème d'intensité du signal. Pour remédier à ça, il suffit, soit d'augmenter le temps d'exposition, soit d'augmenter notre entonnoir à photon, qui prend tout son sens en spectro ! Il ne faudra pas avoir peur des longs temps de pose dès qu'on sort des étoiles brillantes de magnitude entre 0 et 3. Mais en spectro on aura un grand avantage ! Il n'y aura plus de problème de bougé. Tout astrophotographe sait qu'un seul coup de vent et c'est une image qui part à la poubelle. Ce n'est plus le cas pour nous, car le spectroscope et la caméra CCD sont fixés physiquement l'un à l'autre, donc il n'y a plus de bougé possible. Le coup de vent fera sortir la cible de la fente du spectro (voir le schéma simplifié d'un spectroscope) durant quelques secondes où l'acquisition sera interrompue, puis elle reprendra normalement.

Malheureusement ce n'est pas vrai pour le cas du Star Analyser 100 car on n'utilise pas de fente. On est à mi-chemin entre l'astophoto et la spectro pure.

Donc le choix du télescope est simple : le

Photos 2D d'une acquisition au Star Analyser 100. On peut voir M57 vers le centre de l'image.
Chaque étoile produit son spectre. On peut également voir le défaut de qualité de la lunette astronomique utilisée dans la partie bleue du spectre. Celui-ci est évasé, donc non focalisé dans le bleu par rapport au rouge. Attention lors du traitement des données à ne pas superposer des étoiles et des spectres différents. Cela produirait des données erronées.



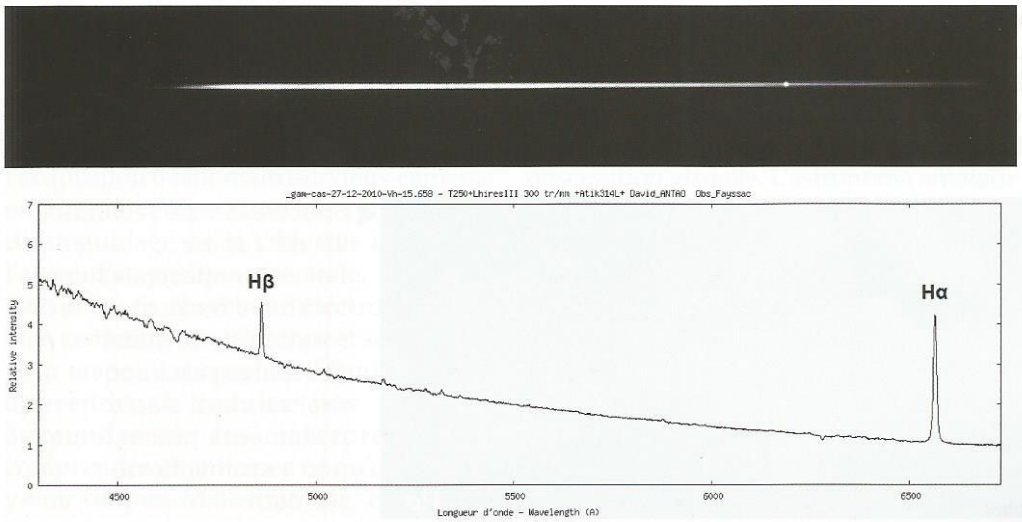
Spectre basse résolution d'une étoile chaude Véga. En haut, l'image brute du spectre dit "2D"
En bas, le spectre réduit dit "1D", sur lequel les baisses de luminosité sont les raies spectrales en absorption de l'hydrogène. Dans les étoiles chaudes, ce sont principalement les raies de l'hydrogène qui sont visibles.

plus gros possible ! Rassurez-vous on peut également faire de la spectro avec une lunette de 80mm, on sera juste limité par la magnitude des cibles et les temps de pose seront longs.

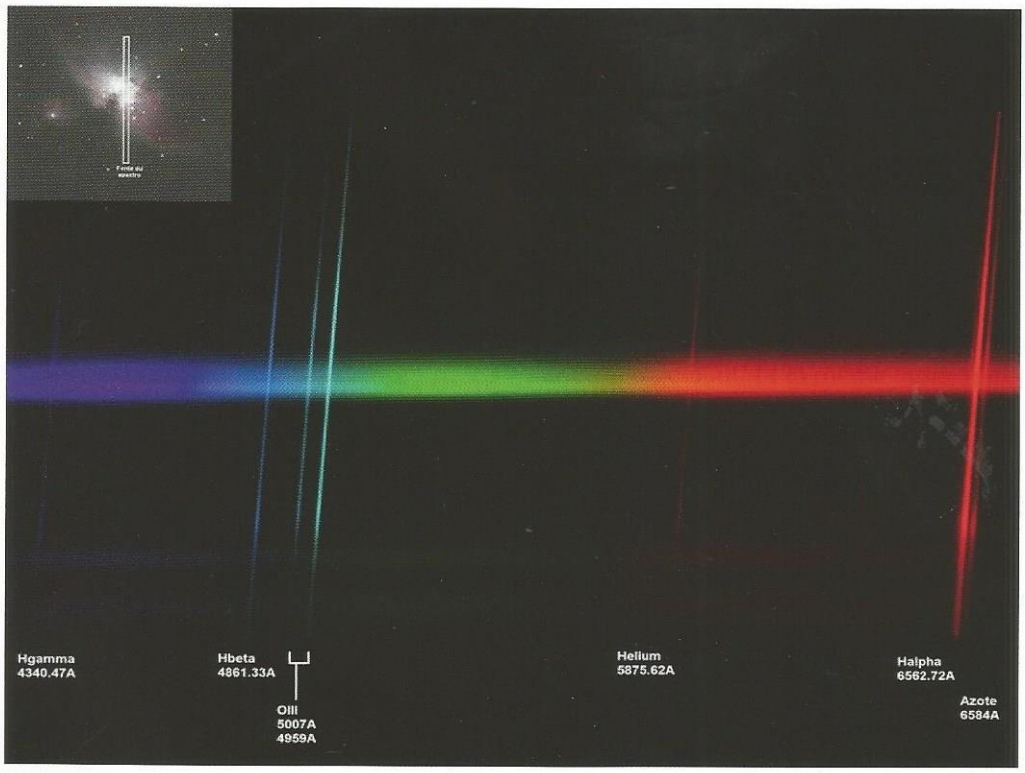
Le choix de la basse ou de la haute résolution ne va pas uniquement être dicté par le télescope. Ce sont les cibles que l'on souhaite étudier qui vont nous imposer ce choix ! Une nova ou une supernova sont en général très peu lumineuses et évoluent vite dans le temps. On pourra les suivre et les identifier avec un spectro basse résolution. On verra le continuum (l'allure générale du spectre) se modifier avec le temps. On pourra voir apparaître ou disparaître certaines raies. Certaines étoiles variables, les quasars, les galaxies, les comètes ou les nébuleuses sont également observés en basse résolution. Vous verrez, c'est une extraordinaire sensation de pouvoir se faire une idée assez précise depuis votre jardin, de la température des étoiles situées à des centaines d'années-lumière de nous. C'est fou quand on y pense …

En haute résolution, on va plutôt suivre l'évolution de certaines raies spectrales (Halpha, Hélium, Fer, Calcium, Sodium, etc.) intéressantes dans le temps. La forme de celles-ci va nous renseigner sur la morphologie de l'astre observé (disque de matière, grumeau, rotation, etc.). Elles vont également nous donner des renseignements précis sur les vitesses radiales, cela correspond à la projection de la vitesse réelle de l'objet sur notre ligne de visée. Au programme : mesure de la rotation d'une planète du système solaire, mesure des composantes d'une étoile double, étude de phénomènes liés à la pulsation de certaines étoiles, jusqu'à, pour les plus rigoureux d'entre nous, la mesure de la danse d'une exoplanète autour de son étoile. Ce ne sera quand même pas si facile que ça !

En haute résolution avec un télescope de 200mm toutes les étoiles jusqu'à magnitude 6 ou 7 sont accessibles. Cela représente quand même plusieurs milliers de cibles potentielles ! Le temps de pose cumulé sur



Spectre basse résolution de l'étoile Be Gamma Cas
En haut, l'image brute du spectre dit 2D. On voit directement un point brillant dans le spectre du côté du rouge. C'est la raie Halpha de l'hydrogène.
En bas, sur le spectre "1D", les pics de luminosité sont également des raies de l'hydrogène, mais cette fois ci en émission, d'où le type spectral "Be" pour "émission". C'est la signature d'un disque de matière autour de l'étoile, un peu comme dans le cas des anneaux de Saturne.



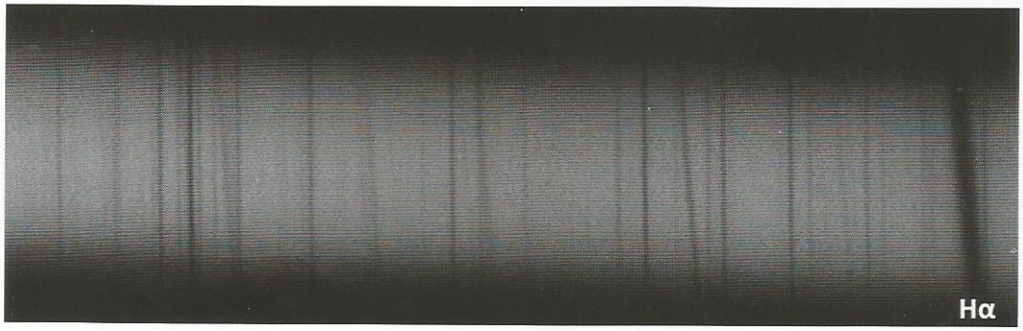
Spectre basse résolution de M42 avec un APN. Ma plus belle astrophoto du ciel profond. On peut y voir, les raies de l'hydrogène, de l'hélium, de l'oxygène OIII.

une cible sera d'environ d'une heure pour une étoile de magnitude 6, soit 6 poses de 10 minutes. Ne pas hésiter à poser encore plus pour des cibles plus faibles, poses unitaires de 20 minutes, 30 minutes, etc… L'autre avantage de tout cela, c'est que l'on aura du temps libre à côté pour observer en visuel et même faire un astrodessin par exemple.

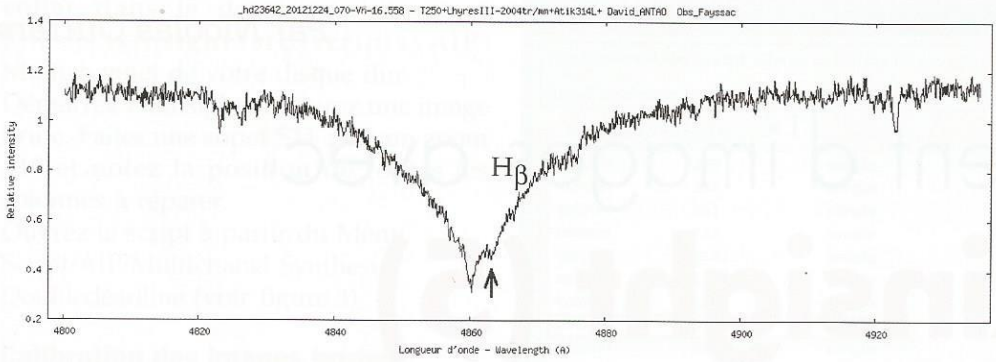
En basse résolution, toujours avec un télescope de 200 mm on pourra imager les étoiles jusqu'à la magnitude 15 avec un temps d'intégration d'une heure également.

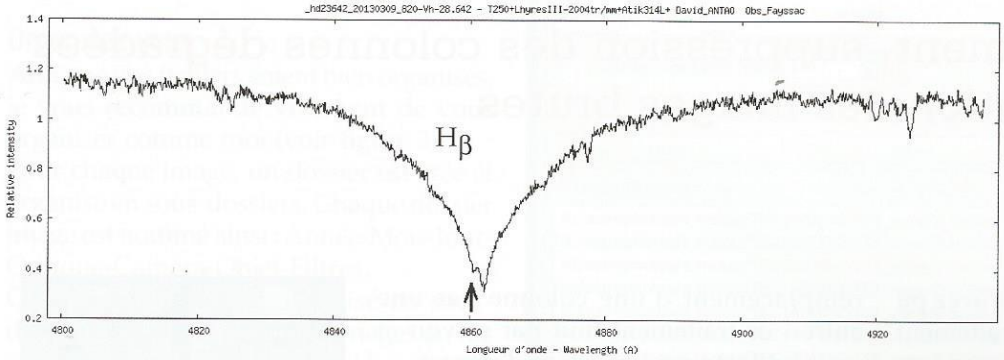
Dans tous les cas c'est une façon motivante de faire de l'astronomie. De voir ce ciel immuable à nos yeux, se modifier de jour en jour à travers un spectro. De plus, le monde des astronomes professionnels est très intéressé par les résultats que l'on peut produire, que ce soit en basse ou en haute résolution. Les cibles sont nombreuses et diversifiées il y en a pour tous les goûts ! Et puis un jour il y aura bien une supernova dans notre galaxie. La spectroscopie sera la meilleure façon de l'étudier de fond en comble, avec pourquoi pas un avantage sur les astrophysiciens professionnels : notre rapidité d'action et nos petits télescopes. Rappelez-vous en 1054, la supernova du Crabe (Messier 1, pour les intimes) a été visible en plein jour pendant plusieurs semaines. Cela a été l'astre le plus lumineux du ciel (après le Soleil) durant des mois. Les astronomes professionnels sont équipés de gros télescopes, de très gros télescopes qui seront aveugles à un tel phénomène. On aura notre carte à jouer, il faudra juste être prêt ! Alors n'attendez pas … osez sauter le pas !

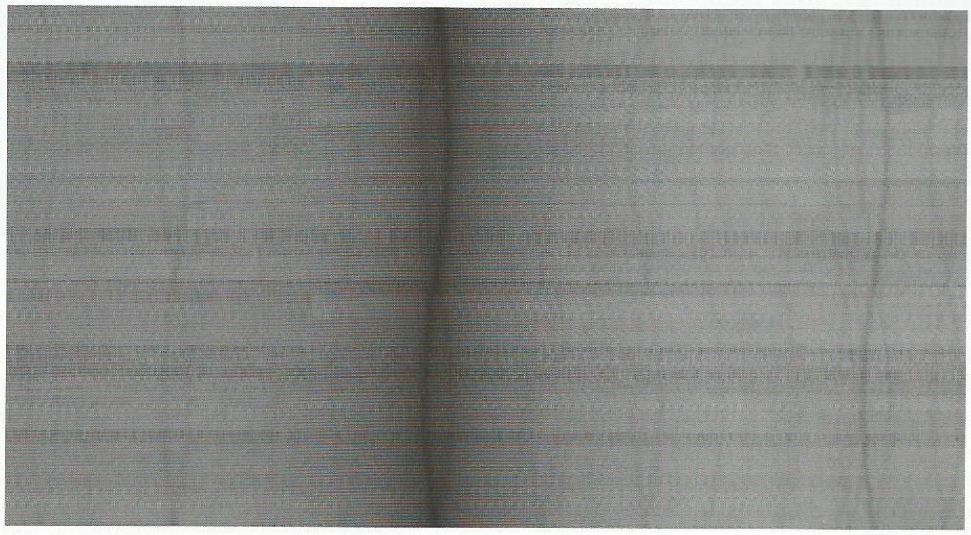
Mais attention, la route sera quand même longue et semée d'embûches jusqu'au moment où vous serez opérationnel et prêt à produire des données astrophysiques exploitables en moins d'une heure. On ne peut pas acheter un spectro le mettre sur un télescope et



Spectre Haute résolution 2D de Jupiter.
Les raies spectrales sont inclinées à cause de la rotation de la planète. Certaines raies sont droites car il s'agit d'éléments présents dans notre atmosphère terrestre.







En haut, deux spectres d'une binaire spectroscopique à quelques heures d'intervalle.
Les raies de l'hydrogène des deux étoiles sont mélangées. Grâce à l'effet Doppler-Fizeau, la raie de l'étoile qui se rapproche de nous, dans leur danse l'une autour de l'autre, est décalée vers le bleu, tandis que la raie de l'étoile qui s'éloigne de nous est décalée vers le rouge.
En bas, empilement de 188 spectres réalisés à intervalles réguliers. On constate que les raies oscillent l'une autour de l'autre.

appuyer sur un bouton. Ça ne marche pas comment ça ! Il faudra y aller par petits pas, par étapes, produire ses premiers spectres bruts pas très "jolis" exactement comme nos premières astrophotos dans les années 2000 (aujourd'hui les caméras et les logiciels d'acquisition et de traitement sont très optimisés). Pour l'acquisition il faut maitriser deux caméras en même temps (une de pointage et d'autoguidage de la cible sur la fente et l'autre d'acquisition spectrale, voire une troisième en chercheur électronique) et bien connaître son télescope et sa monture pour un pointage parfait. Il faudra ensuite apprendre à réduire nos spectres, apprendre à les interpréter, les comprendre et anticiper ce qu'on devrait y voir ou pas. Mais tout cela, ce sont les joies de l'astronomie en général. C'est là que se cache le vrai plaisir ! Exactement comme quand, avec un Dobson, on a cherché un objet faible durant des heures et que finalement on le voit passer dans l'oculaire : on ressent vraiment quelque chose à ce moment-là, que tous les avantages du "goto" ne procurent plus en observation visuelle. L'astronome amateur a besoin de fournir cet effort pour vraiment se sentir "être".

Remerciement à mes collègues du groupe **ARAS** (Astronomical Ring for Access to Spectroscopy) http://www.astrosurf.com/aras/, de **Spectro_lliste** de discussions https://groups.yahoo.com , la société **Shelyak** qui fournit beaucoup de documents pédagogiques http://www.shelyak.com/ et à **Christian Buil** qui fait énormément pour nous ouvrir les portes de ce monde merveilleux http://www.astrosurf.com/buil/