

ON A ADOPTÉ UN SOL'EX !

JB Butet et ses élèves du lycée Lalande de Bourg-en-Bresse
(Léo, Lucie, Eva, Lucile, Tiff, Lilou, Adrien, Erwan, Mathis, Alexandre, Johan, Gwenhaël, Etienne, Estelle)

Sol'Ex (Solar Explorer) est un petit spectrohéliographe que l'on peut construire en partie à l'aide d'une imprimante 3D et en utilisant quelques éléments de base achetés dans le commerce.

Nous sommes dans un lycée napoléonien situé au cœur de la Bresse à Bourg-en-Bresse, pays du poulet et du maïs qui a vu passer quelques noms illustres comme Jérôme Lalande et André-Marie Ampère à qui on doit une grande partie de notre « musée »¹ interne au lycée.

Pour ma part, j'y enseigne depuis 2006 et y maintiens un club sciences/astronomie dont plusieurs projets vont arriver à la mise en œuvre (Système solaire à l'échelle dans la cour, maquettes diverses etc.) et je suis astronome amateur depuis que j'enseigne, complètement subjugué par la vision de Saturne à la webcam en 2001 lors de mon stage en Bretagne quand Bruno Garin, un de nos formateurs, a mis sa ToUcam Pro derrière son C8 et projeté l'image obtenue sur un mur de l'IUFM.

Passionné d'informatique depuis petit, cela a fait le déclic et j'ai depuis consacré une bonne partie de mon temps à allier informatique et astronomie. Certains projets ont eu leurs petits succès en leur temps (une distribution Linux dédiée à l'informatique : lin4astro et quelques contributions de ci, de là)

En septembre 2020, Christian Buil, figure très connue dans le monde de l'astronomie amateur (contribution à la conception de la première CCD pour amateur, l'Audine ; mise au point de divers spectroscopes LISA, ALPY, UVEX, LHIRE... ; créateur de logiciels divers : IRIS, ISIS...) a lancé le projet Sol'Ex (Solar Explorer) qui consiste à monter un spectrohéliographe avec une carène imprimée en 3D².



Grâce à la mise à disposition de toute une documentation très fournie, j'ai proposé à mes élèves de créer ce Sol'Ex. En novembre nous lançons une campagne de dons pour acheter ce que nous ne pouvions imprimer -l'optique-. En avril, nous avons de quoi le finaliser.

Heureusement pour nous, nous avons déjà du matériel prêté par Sciences à l'École (dotation Astro à l'École, 2013), notamment un réfracteur de 600 mm de focale.

Composition

Le Sol'Ex est composé optiquement d'une fente, de deux doublets et d'un réseau très dispersif (2 400 traits/mm). Ce kit est commandable chez Shelyak³ pour environ 450 €.

Il faut aussi un système pour enlever une grande partie du flux solaire. Nous avons opté pour un hélioscope (système basé sur un prisme de Herschel) mais d'autres systèmes peuvent être adaptés (comme des filtres neutres⁴). L'idée est d'avoir assez de flux pour imager mais pas trop pour ne pas endommager le capteur.

Le tout est mis dans un caisson imprimé en 3D en PETG (plastique solide et peu transparent aux IR en particulier).

Le lycée s'était doté récemment d'une imprimante 3D, nous avons pu commencer l'impression des pièces entre octobre et décembre.

Il a fallu attendre un peu pour finaliser la campagne de dons. Nous avons pu récolter un millier d'euros et acheter le kit optique et une caméra adaptée (CMOS N&B très rapide, ZWO 178 mm).

Derrière la lunette, il faut donc dans l'ordre :

- le filtre de Hershell (filtre 96 % de la lumière du Soleil) ;
- le Sol'Ex ;
- la caméra.

¹ <http://www.aseiste.org/> : tout notre inventaire y est répertorié.

² Description détaillée disponible sur le site <http://www.astro-surf.com/solex/>

³ Shelyak instruments, <https://www.shelyak.com/>

⁴ Filtres de densité adaptée, laissant passer plus de lumière que les filtres pour l'observation visuelle.



Réglages

Le dispositif Sol'Ex se met derrière une lunette ou un objectif de courte focale (< 450 mm)⁵. Il y a donc 3 éléments optiques nécessitant une mise au point :

- la crémaillère de la lunette permet de mettre l'image du Soleil sur la fente ;
- le premier doublet permet de mettre l'image de la fente à l'infini sur le réseau ;
- le deuxième doublet permet de focaliser les rayons parallèles sortants du réseau sur la caméra.

Tout ceci fait qu'un protocole précis de réglage doit être suivi scrupuleusement. Même si nous sommes rodés, nous avons pu nous confronter à des réglages précis et les soucis qui vont avec :

- les soucis d'orientation du réseau (ce qui a failli nous faire renvoyer le kit... nous avons monté le réseau à l'envers) ;
- la visserie dans le plastique – dont les filetages sont fragiles ;
- des mises au point particulièrement fines... au pouillème près !

Ces réglages ont permis aux élèves d'apprendre la rigueur du montage (suivi de protocole long) et aussi la patience pour les réglages très fins.

Comment cela fonctionne ?

L'idée est de prendre une photo d'un bout du spectre du Soleil et d'aller chercher les informations dans la bande d'absorption souhaitée. Ainsi on peut imaginer en H alpha, dans une raie du calcium, du fer...

Pour le moment, nous nous sommes juste contentés de faire des images en H alpha.

Une fois la bande H alpha repérée, il faut placer la fente sur le Soleil.

⁵ Avec deux contraintes : un dispositif de mise au point assez précis, et un tirage optique (distance disponible entre l'arrière de l'instrument et le plan focal) suffisant pour que l'image puisse se former sur la fente.

On aura alors sur la caméra, dans la bande souhaitée, les informations de cette tranche de Soleil.

Il faut donc faire défiler le Soleil sur la fente et compiler ces informations pour avoir l'image du Soleil en entier. Notre lunette ayant une focale un peu longue, il faut faire 2 passes pour avoir le Soleil en entier en décalant le retour.

Ceci pose divers problèmes :

- comment viser le Soleil sans voir la fente et en ne voyant qu'un bout de spectre ?
- comment savoir si on est au point ?
- comment être sûr d'avoir orienté convenablement...

Toutes ces questions sont fondamentales pour obtenir un résultat satisfaisant... d'autant qu'on ne découvre le résultat qu'après une étape de traitement informatique consistant à prendre le centre de la bande d'absorption et à l'accoler à la précédente, le tout pour toutes les images d'un film qui en comporte 2 000.

Comme le Soleil passe dans la fente, on recrée ainsi l'image du Soleil, ligne par ligne, informatiquement.

Obtenir une image en bonne résolution du Soleil nécessite d'avoir réglé beaucoup de problèmes techniques. Une fois ceux-ci résolus, l'étape informatique est très simple, grâce à un logiciel développé par Valérie Desnoux, INTI⁶.

⁶ INTI et son écosystème : <http://valerie.desnoux.free.fr/inti/index.html>



J'ai participé aux tout débuts d'INTI et proposé quelques modifications mineures. Ce logiciel est en constante amélioration et il en existe d'autres qui ont d'autres avantages. INTI reste la valeur sûre.

Sans rentrer dans les détails mathématiques, ce logiciel calcule la position de la raie d'absorption, récupère les positions et valeurs des pixels situés dans la raie pour chacune des images, les met sous forme d'une ligne (il y a une déformation inhérente à l'optique qui fait que l'image d'une raie est une parabole) puis accole ces lignes pour former une image.

On obtient alors une image brute, non traitée, et déformée. Déformée car le nombre de lignes qui dépend de la vitesse de parcours de la fente n'est pas forcément égale au nombre de colonnes, donc on a une sorte de « patatoïde »⁷.

À ce « patatoïde », on doit enlever un bruit qui correspond au défaut de la fente et qui forme une trame peu jolie : le « transversalium ».

Si on rajoute à cela que le défilement du Soleil est rarement orienté convenablement par rapport à la fente (il faut du temps pour cela et nous en avons rarement lors de nos séances), on obtient un gros « patatoïde » tourné qu'il faut rendre circulaire. Et ceci c'est si on a le Soleil en entier. Mais nous n'avons qu'une portion de Soleil, donc un « patatoïde » tourné tronqué. Et il faut faire tenir cela dans un cercle !

On comprend aisément que tout ceci n'est pas trivial... Heureusement, grâce à INTI, tout est automatique. OUF !

Il y a plusieurs versions de ce logiciel. Une qui a été initialement développée par Valérie Desnoux, et une qui est partie de ce travail titanesque pour donner une version dont les traitements diffèrent un peu, notamment sur la circularisation, la version -the Smiths-⁸.

⁷ On peut chercher un couple « vitesse de balayage - fréquence de prises de vues » permettant de s'approcher d'un cercle.

⁸ Solex_ser_recon : https://github.com/thelondonsmiths/Solex_ser_recon_EN

Comment se passe une séance ?

Nous avons des créneaux d'une heure et demi, entre 12 h 30 et 14 h. La lunette est prémontée, toujours sur sa monture. En hiver, nous observons derrière la fenêtre. En été, nous la descendons.

La lunette est une Skywatcher 80/600 montée sur une EQ3-2 motorisée (GOTO) – dotation sciences à l'école 2013.

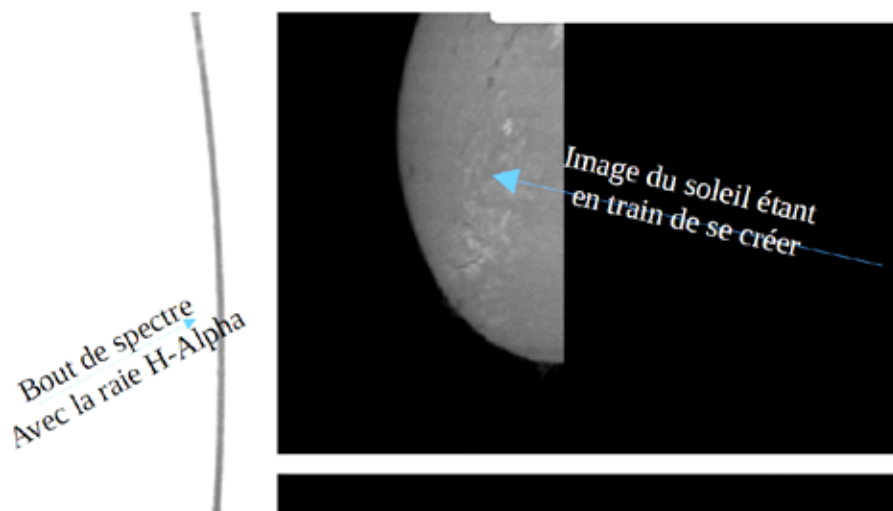
Nous réglons rapidement le Sol'Ex au bureau en visant le ciel le temps qu'un groupe règle la lunette – mise en station rapide. Un bon point : les réglages ne se défont pas trop. Sauf s'il est mal manipulé.

Puis on cherche le Soleil. Nous avons un chercheur solaire imprimé en 3D, mais il a très vite montré des faiblesses et notre protocole est assez efficace pour trouver le Soleil en moins de 3 minutes :

- la mise en station est sommaire, le lycée est orienté Nord/Sud on s'aligne avec les bâtiments ;
- on aligne la lunette à la main pour minimiser l'ombre de la lunette ;
- on monte le gain de la caméra puis on joue sur les moteurs de manière à gagner en luminosité sur un axe. Quand on arrive à un maximum, on change d'axe. En 2 itérations, on tombe sur le Soleil et on sature la caméra que l'on règle correctement ;
- on fait alors la mise au point en regardant les hétérogénéités dans la raie.

Nos réglages : La caméra permet d'avoir environ 150 images par seconde. Nous devons donc, avec notre lunette, faire défiler le Soleil en 12-14 secondes pour avoir environ 2 000 images soit 2 000 colonnes de pixels. Un sur-échantillonnage est très mauvais pour la qualité finale de l'image.

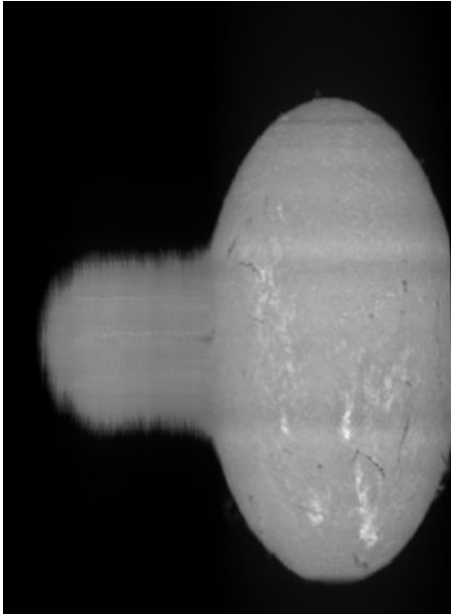
Ceci s'obtient avec un temps de pose de 6,5 ms pour la caméra et une vitesse de balayage en « rate 3 » pour la monture.



Et nos résultats ?

Pour le moment, difficile de parler de « résultats ». Nous arrivons à imager le Soleil dans une qualité assez correcte. Mais nous manquons de temps pour améliorer. Un spectrohéliographe est très sensible à la turbulence et il faudrait prendre notre temps, passer quelques heures pour trouver les trous de turbulences.

Cependant, on devine aisément les protubérances, les filaments.



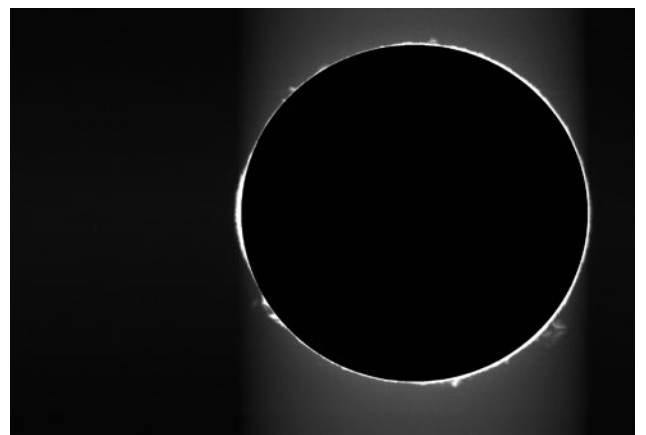
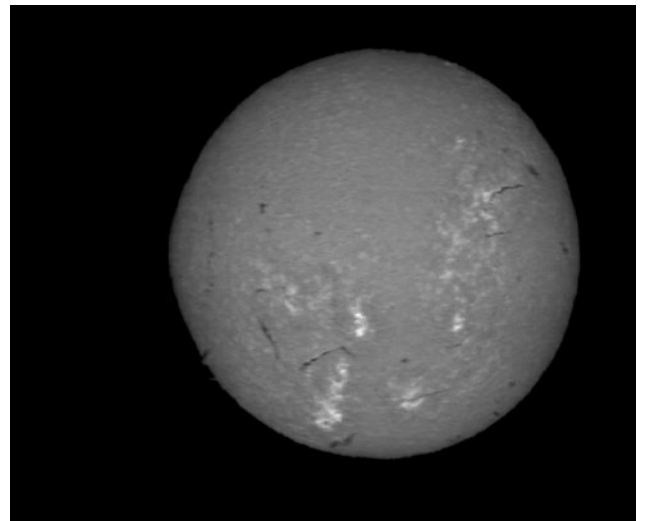
Une image où le moteur a cahoté avant de partir correctement.



Quelques images réussies .

Quelles manipulations possibles ?

Actuellement, nous n'en sommes qu'à l'imagerie dans une raie très visible et reconnaissable. Nous pourrions changer de longueur d'onde pour aller imager dans la zone de la raie du calcium, ce qui donne d'autres informations. La prochaine manipulation sera sans doute l'imagerie dans la raie de l'hélium, très peu visible. Il s'agit de la trouver – pour cela, on traite des images au limbe, de la chromosphère, là où l'hélium émet et la raie apparaît – puis d'imager et de traiter à cet endroit-là particulièrement.



Les images complètes du Soleil ont été prises avec un réducteur de focale $\times 0,5$, mais le résultat n'est pas concluant quant à la mise au point. L'image reste assez floue.

Les autres images ont été prises, directement avec la lunette de 600 mm de focale.

Une fois cette manip faite, on pourra imager dans la zone de la raie du fer et déduire des informations magnétiques de la surface, mais cela demande beaucoup de temps et une météo très favorable.

Conclusion

Ce projet est une mine d'or. Il nous a permis de mettre en œuvre des compétences sociales (demandes de dons, mise en place d'actions de financement – nous avons à cœur d'être indépendants) mais aussi techniques et bien sûr scientifiques.

Après un an et demi, nous en sommes encore à maîtriser la bête, pourtant les élèves arrivent de manière autonome à imager le Soleil.

Nous avons une pièce à modifier qui tient mal et nous embête (le scotch noir est notre ami pour le moment...) et nous allons présenter notre projet aux olympiades de physique.

Il nous faut maintenant quelques journées de soleil pour améliorer notre technique et faire de jolies acquisitions, comme la possibilité d'imager dans la raie de l'hélium... ce qui serait un véritable défi expérimental.

Mathis GAUDILLAT et Alexandre ADOSHVILI ont souhaité porter ce projet aux olympiades de physique 2022. Ils présenteront leurs résultats dans un prochain numéro des Cahiers Clairaut.



L'équipe du club astro du lycée Lalande.



N'hésitez pas à aller sur le site de Christian Buil (<http://www.astrosurf.com/solex/>), tout y est rigoureusement expliqué et vous y trouverez les coordonnées d'une liste de diffusion extrêmement dynamique consacrée à ce projet.