

Le projet Sol'Ex

The « Solar Explorer »

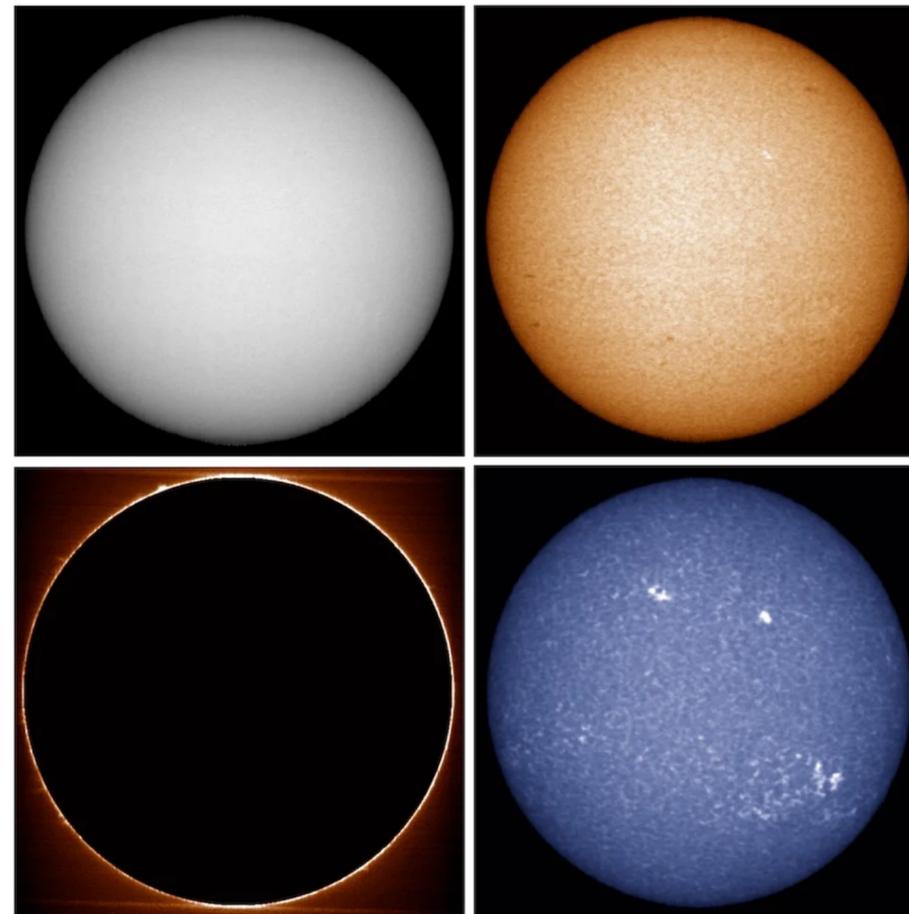
par Christian Buil

Un instrument d'observation solaire à petit prix, à construire soi-même et performant.



Sol'Ex

Observation du Soleil en lumière blanche, dans les raies de l'hydrogène, du calcium de l'hélium... Observation des protubérances, de la vitesse des gaz, du champ magnétique !

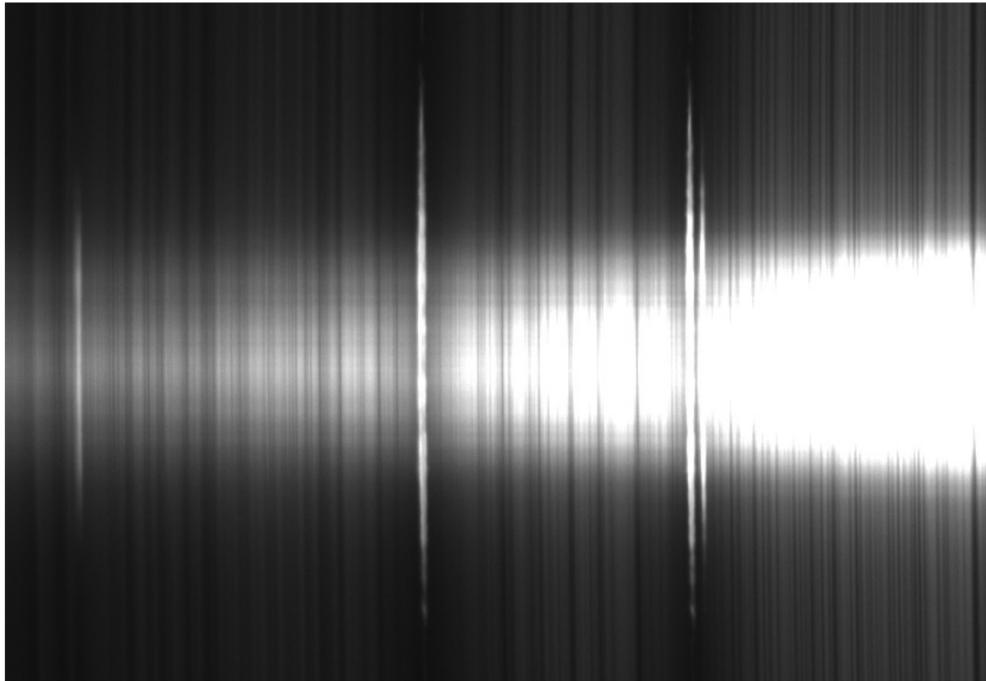


Sol'Ex : un outil d'initiation à l'astrophysique et techniques observationnelles pour le Grand-Public, les professeurs des écoles et les étudiants.

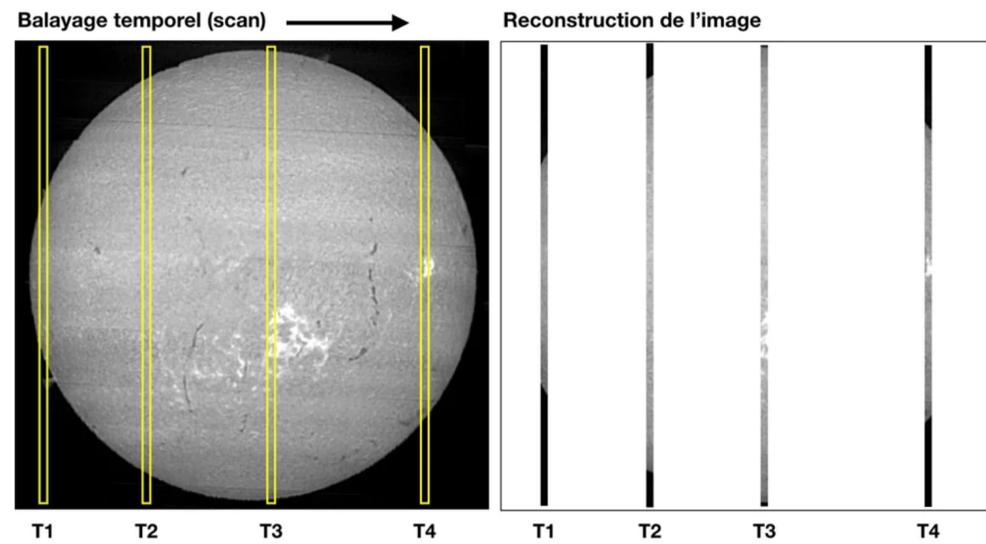
Convertible en un spectrographe d'observation des étoiles : Star'Ex, le « Star Explorer » !

Le principe de Sol'Ex est celui du spectrohéliographe...

C'est donc aussi celui d'un spectrographe...



Raies en émission de la chromosphère au limbe (inversion)



Défilement de l'image du Soleil devant la fente du spectrographe et acquisition synchrone d'images du spectre, puis reconstruction de l'image à une longueur d'onde que l'on choisi



Exemple de balayage du disque solaire (SCAN) au niveau de la raie de l'hydrogène H-alpha (656 nm).

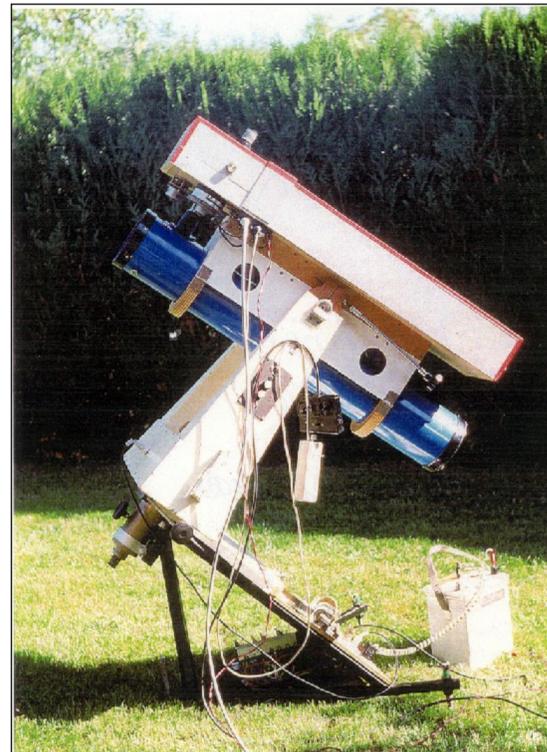
Pourquoi Sol'Ex ?

Le spectrohéliographe n'a pas bonne réputation :

- Un instrument difficile à construire
- Un instrument difficile à utiliser
- Un instrument très spécialisé
- Un investissement élevé (argent, temps..)



Réalisation : Fulvio Mete



Réalisation : Philippe Rousselle

Ce que change Sol'Ex



- Un instrument compact et léger (500 grammes)
- Un instrument facile à installer sur une petite lunette
- Un instrument que l'on construit soi-même (impression 3D)
- Un instrument facile à construire (entre-aide d'une large communauté)
- Un instrument à petit prix (mutualisation achat des composants optiques)
- Un instrument non spécialisé (manips sur stable, spectrographie stellaire...)
- Un instrument très performant et souple
- Un instrument pour la découverte, fait pour apprendre et s'amuser
- Un instrument pour collaborer entre Professionnels et Amateurs

Schéma optique de Sol'Ex

Un spectrographe « classique » à réseau

Objectif collimateur de focale 80 mm

Objectif de caméra de focale 60 mm ou 125 mm

Réseau holographique de 2400 traits/mm

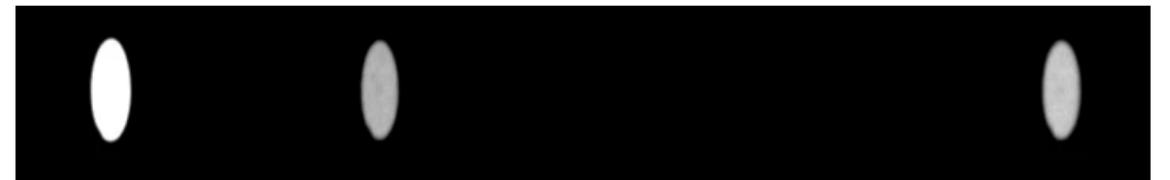
Fente haute performance (sérigraphie) de 10 microns x 4,5 mm

Les forces Sol'Ex :

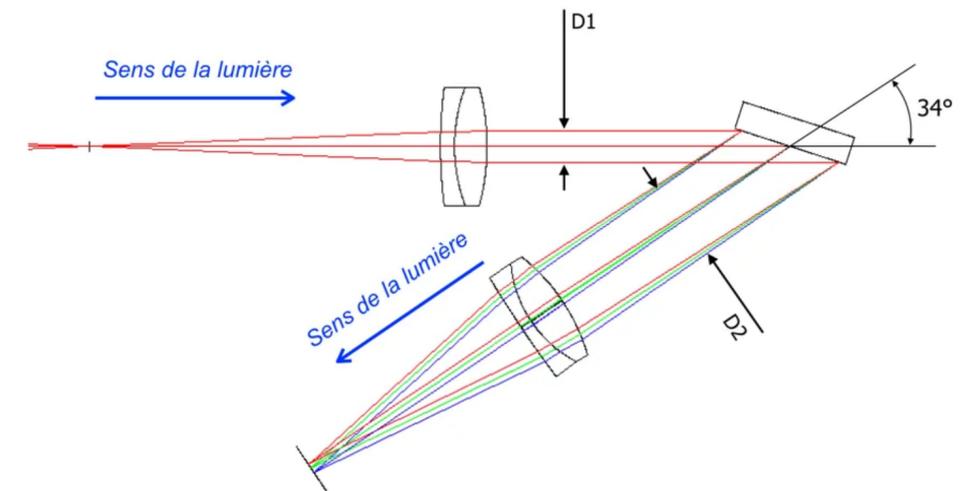
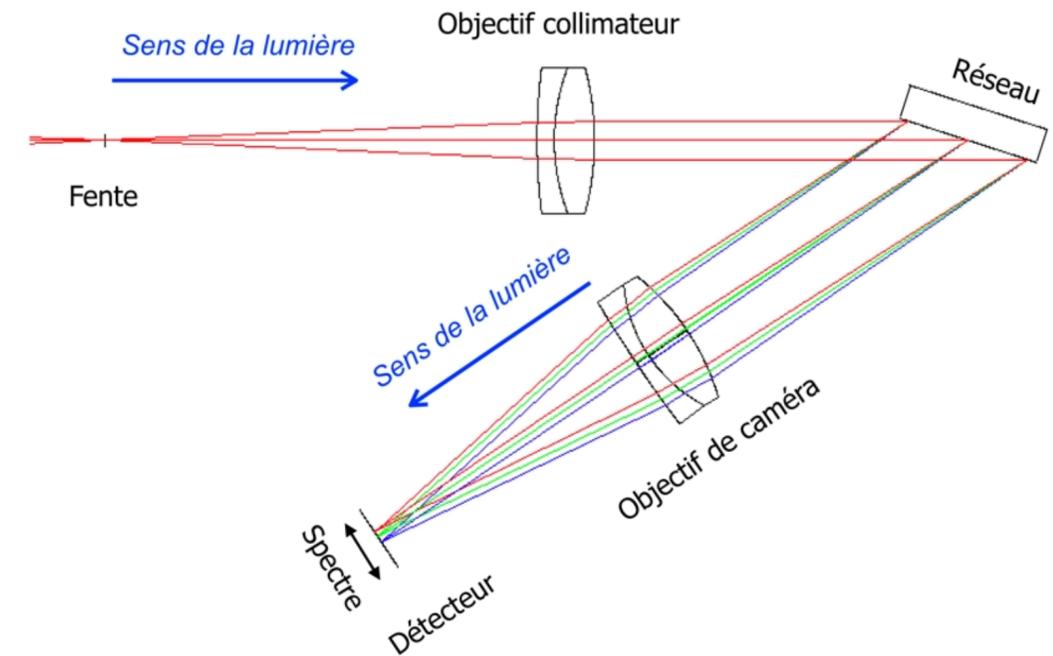
- Optimisé pour l'utilisation de caméras CMOS économiques et puissantes à petits pixels
- Optique standard (ThorLabs) ou possibilité d'achat d'un kit optique (Shelyak)
- Modification facile du domaine spectral (rotation du réseau)
- Compacité et simplicité (facile à régler)
- Haute résolution spectrale ($R = 23\ 000$, soit $0,26 \text{ \AA}$ de finesse)

Pourquoi une résolution si élevée dans un volume si restreint ?

- Fente étroite (10 microns)
- Réseau forte densité (2400 t/mm)
- Optique limitée par la diffraction
- Forte anamorphose optique ($d2 > d1$)



Anamorphose : compression de l'image de la fente suivant l'axe spectral (image d'une fibre de 200 microns)



La mécanique de Sol'Ex est réalisée en impression 3D

Une technologie efficace et flexible

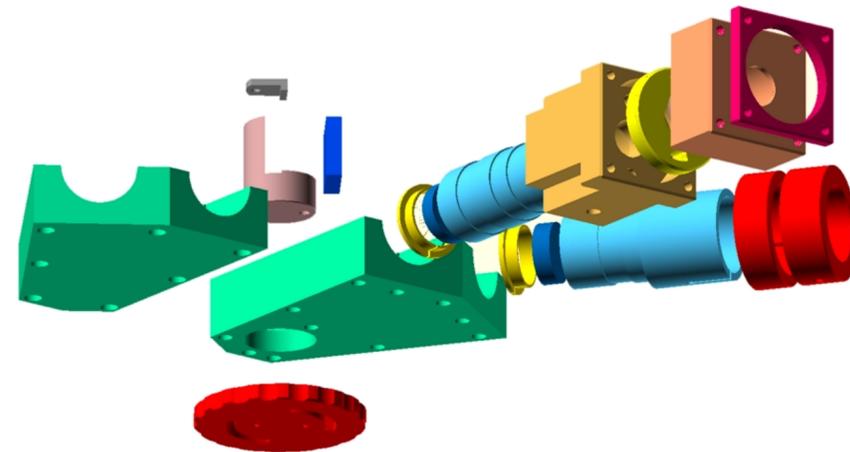
De nombreux amateurs ont achetés leur imprimante pour ce projet ! D'autres ce sont mis à la CAO. C'est une autre facette du volet pédagogique qui accompagne Sol'EX.

Très bon support à un cours techno en collège (implication du corps enseignant).

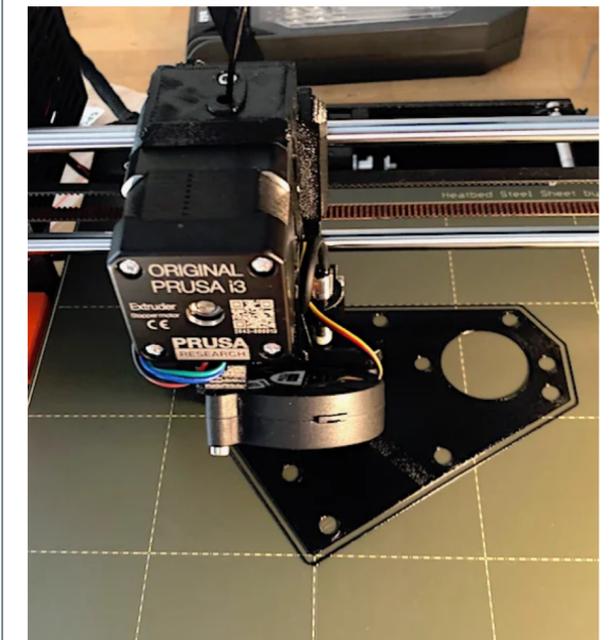
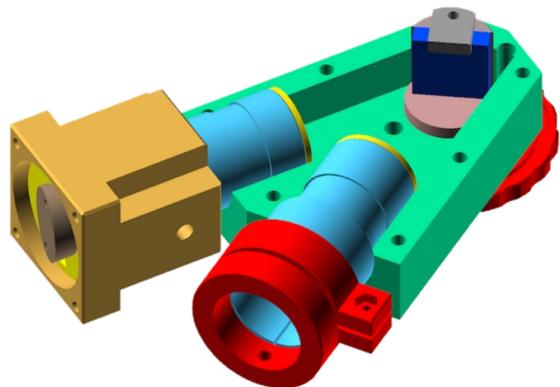
Des sociétés spécialisées peuvent fournir l'ensemble mécanique pour moins de 150 euros.

Tous les détails et fichiers nécessaires sont disponibles en libre service sur le site :

<http://www.astrosurf.com/solex/>



Kit optique disponible disponible auprès de la société Shelyak Instruments (520 euros TTC, une fente, un réseau 2400 t/mm, trois objectifs)



Lancement du projet Sol'Ex - un gros succès . Plus de 160 kits optiques commandés en 2 mois de souscription (mars-avril 2021). Quelques exemples de réalisations...

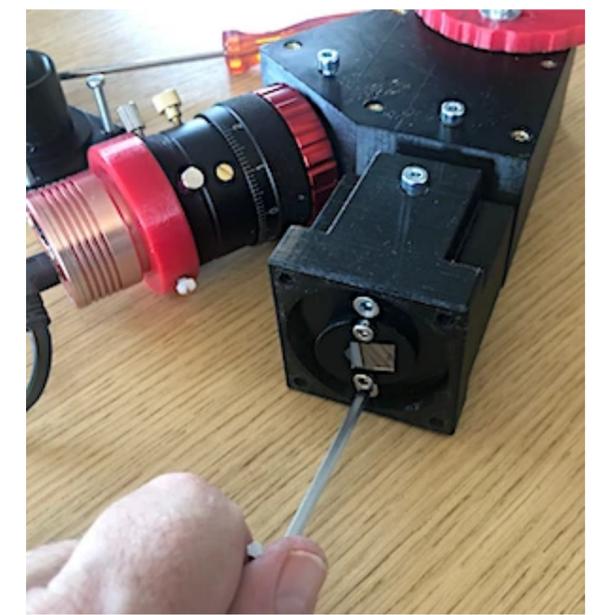
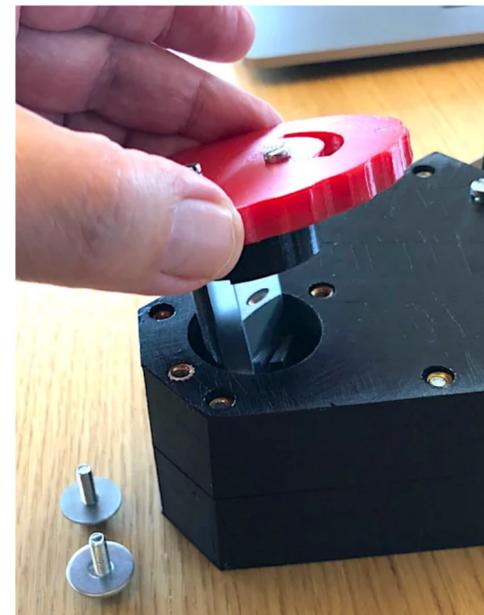
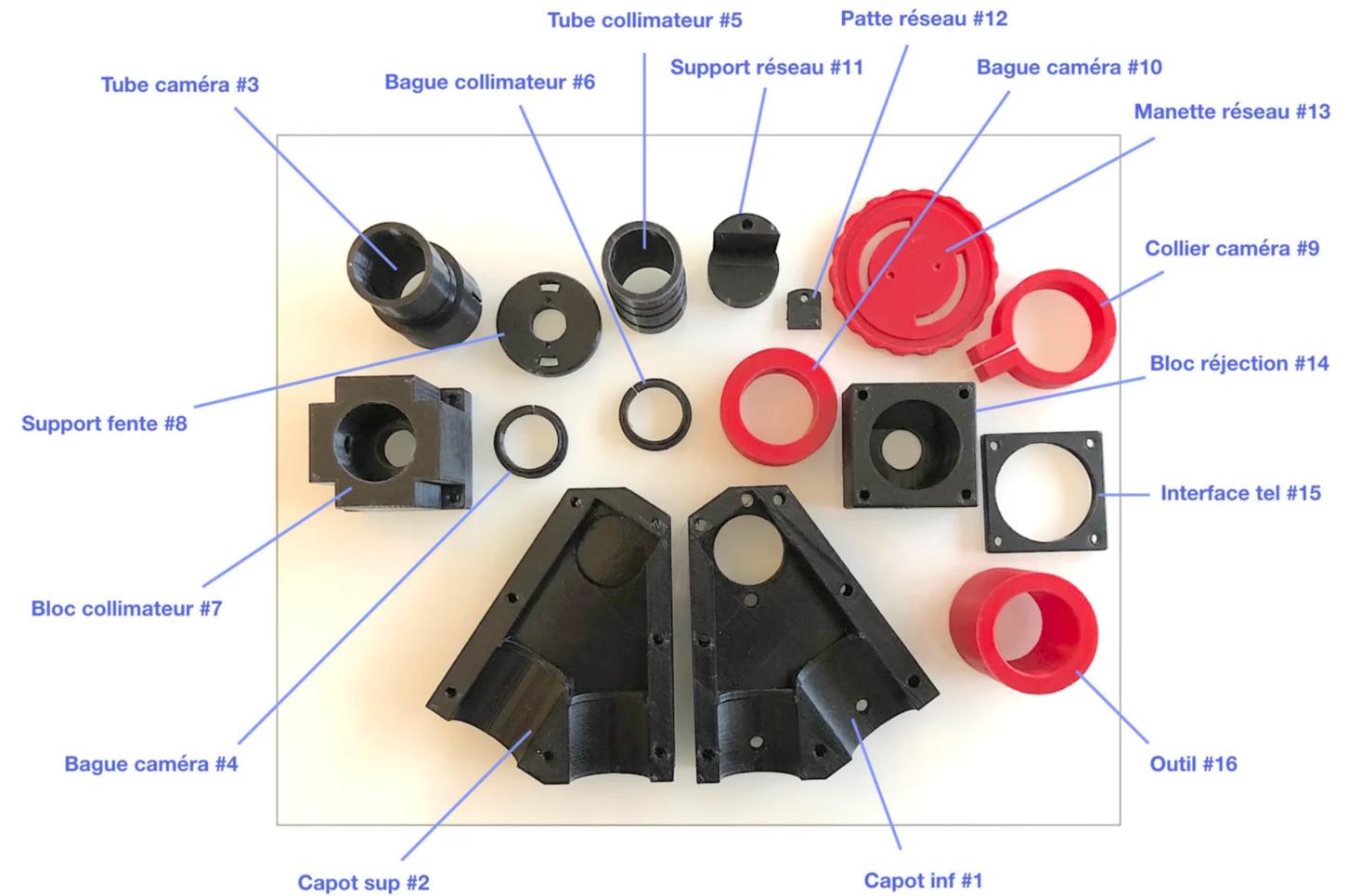


Beaucoup d'enthousiasme et de créativité, et un projet vivant (liste de discussion, Facebook, forum)

Le montage et le réglage font aussi aussi partie de l'aventure Sol'Ex !

Nombres de personnes totalement néophytes se sont mises à l'optique, à la métrologie optique, de la spectrographie, à la mécanique, à la CAO, à l'informatique, au traitement d'images...

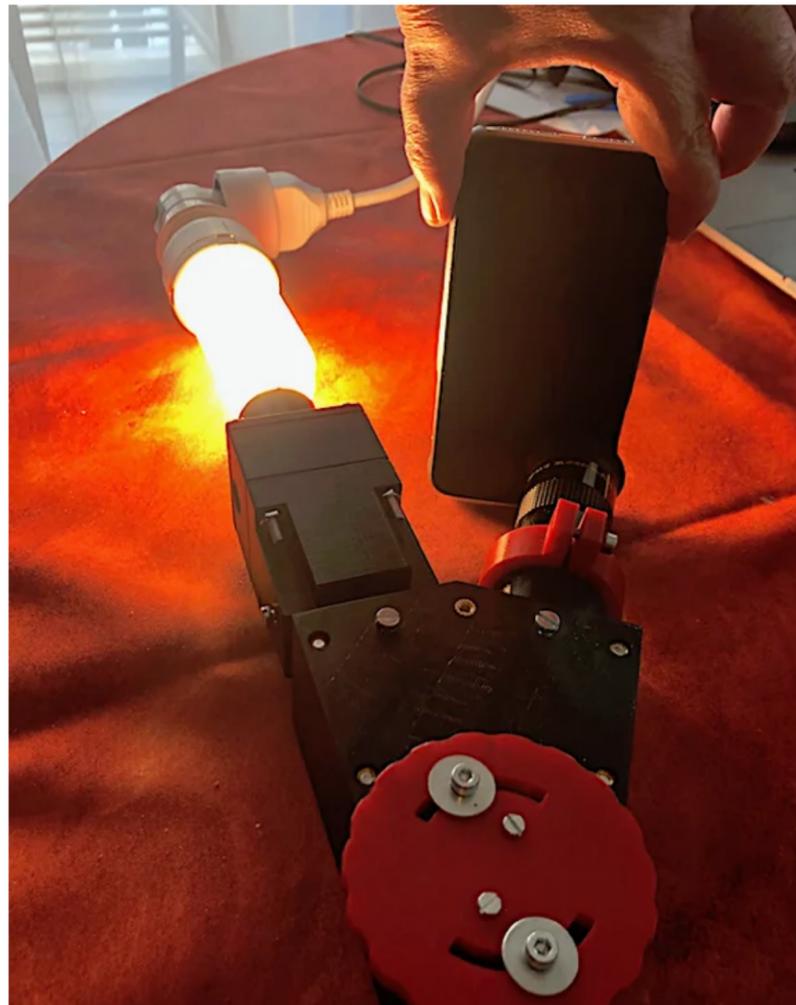
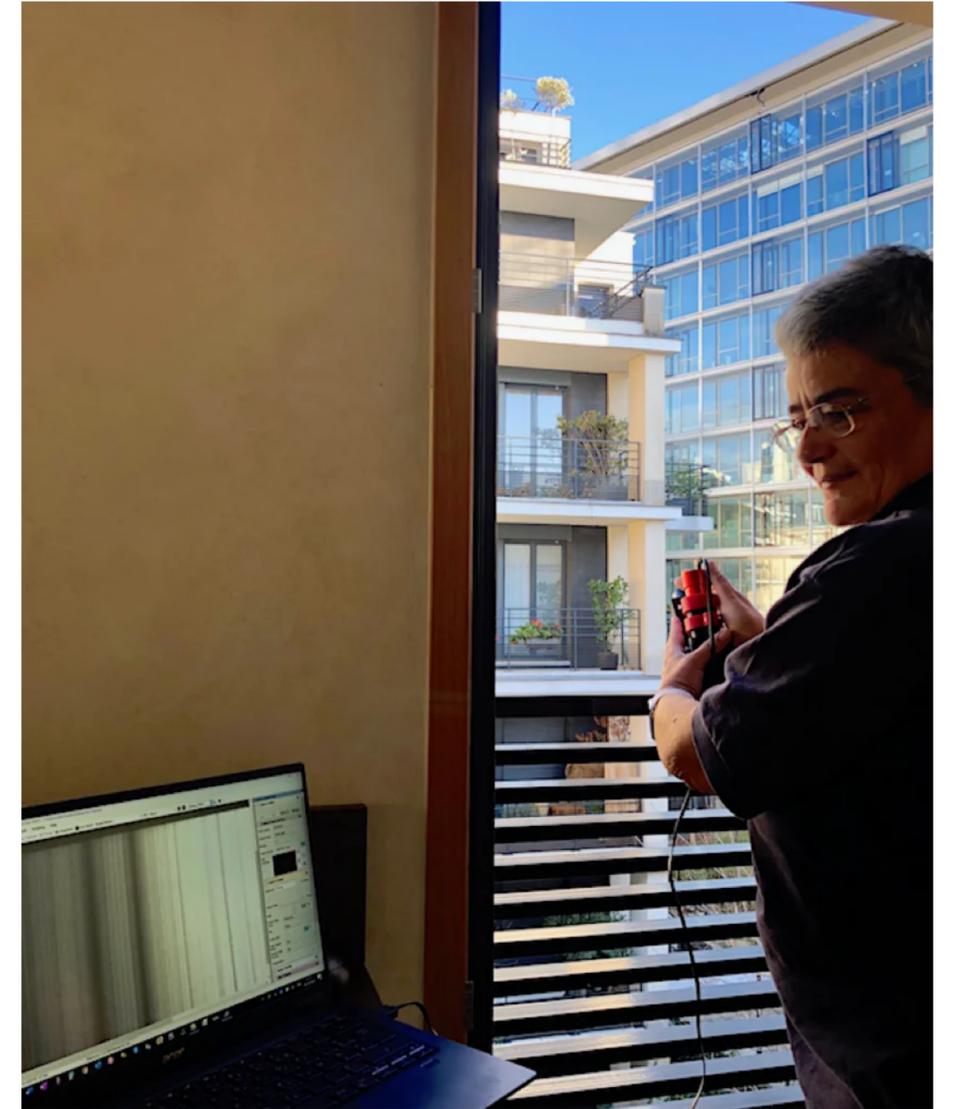
Une idée force du fait soi-même et de Sol'Ex (avec un bon accompagnement) : conduire les amateurs et étudiants motivés vers des terres inconnues... et pourquoi pas une vocation !



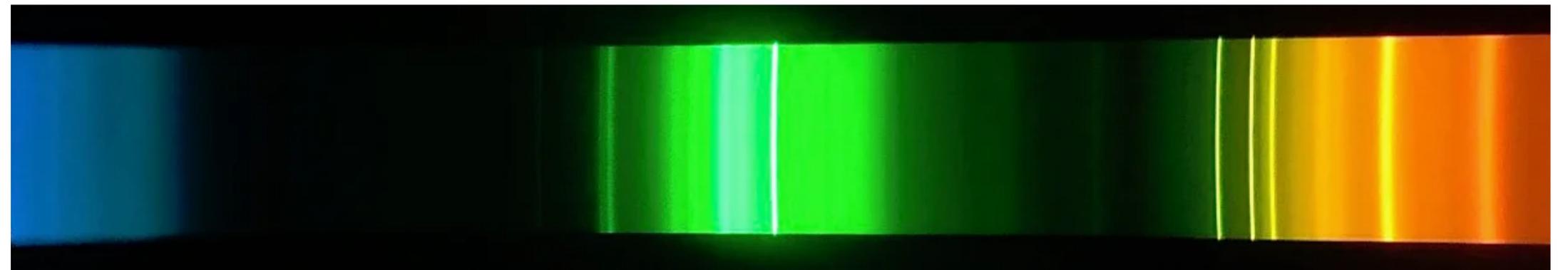
Apprentissage à la spectrographie avec Sol'Ex



*Identification des raies dans le spectre solaire
(sans télescope)*



Manipulation sur table (avec un téléphone portable par exemple)



Large choix de lunettes utilisables

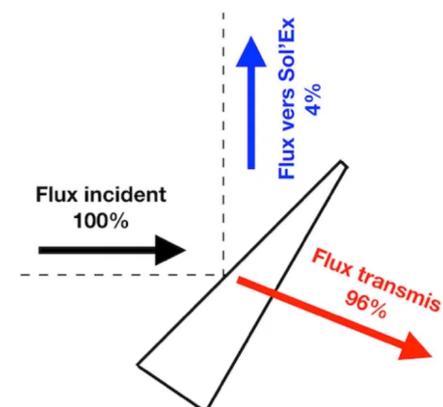


Lunette EVOGUIDE de 50 mm



Lunette Takahashi de 128 mm

Atténuation du flux par filtrage dans la pupille



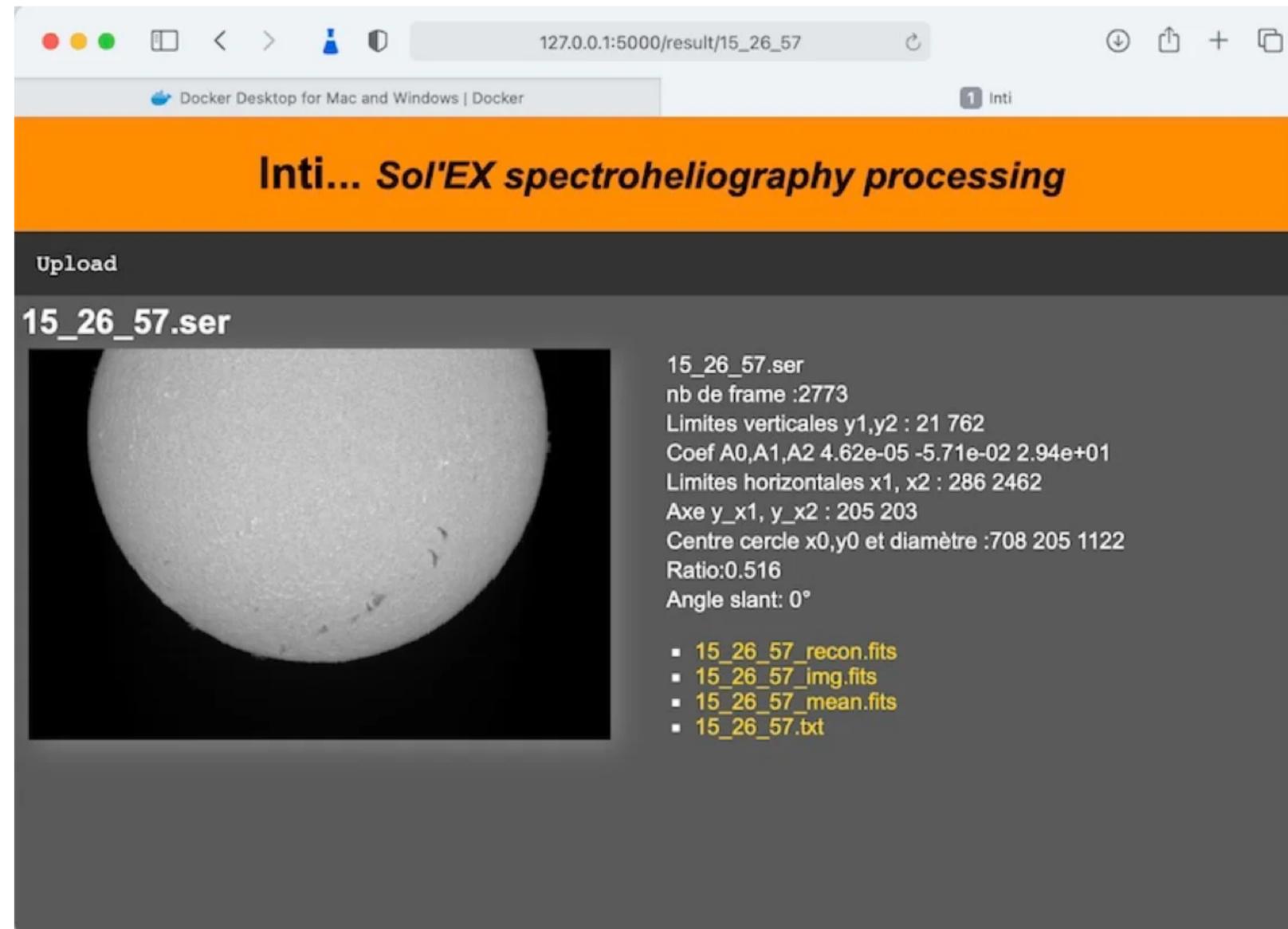
Atténuation du flux avec un hélioscope d'Herschel



Traitement des spectrohéliographes

Large choix de logiciels utilisables

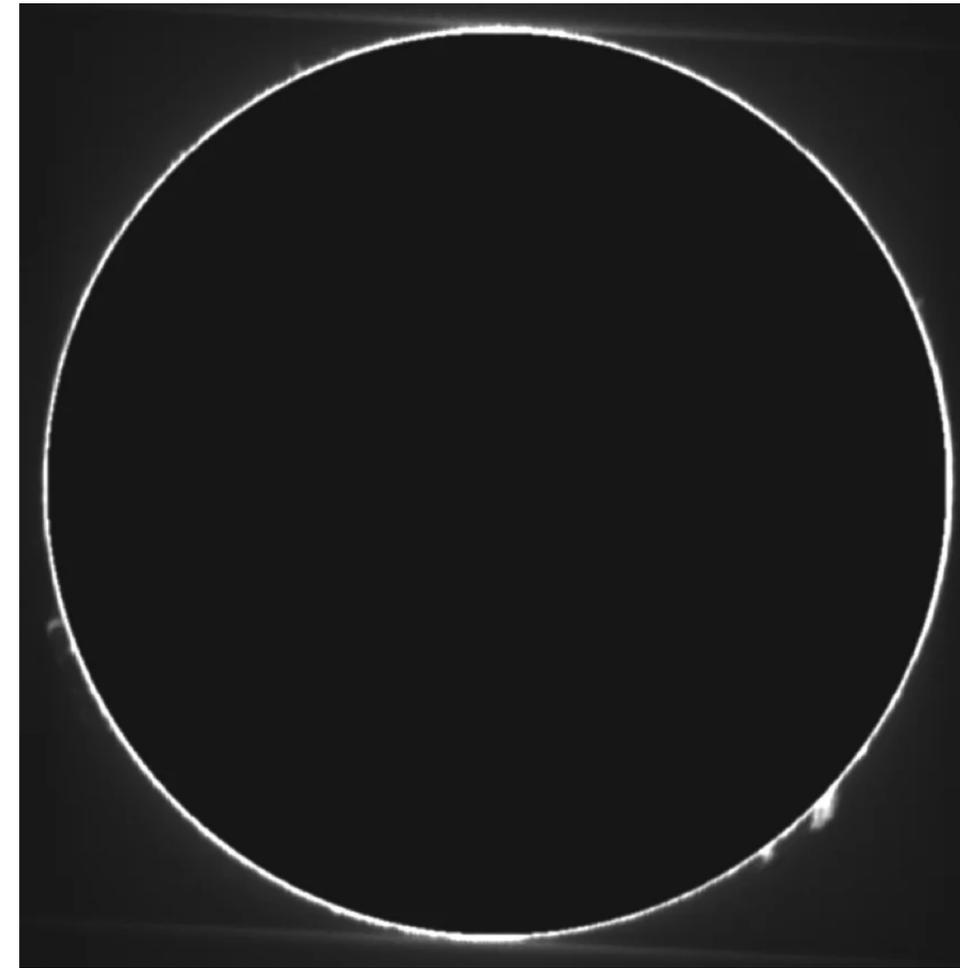
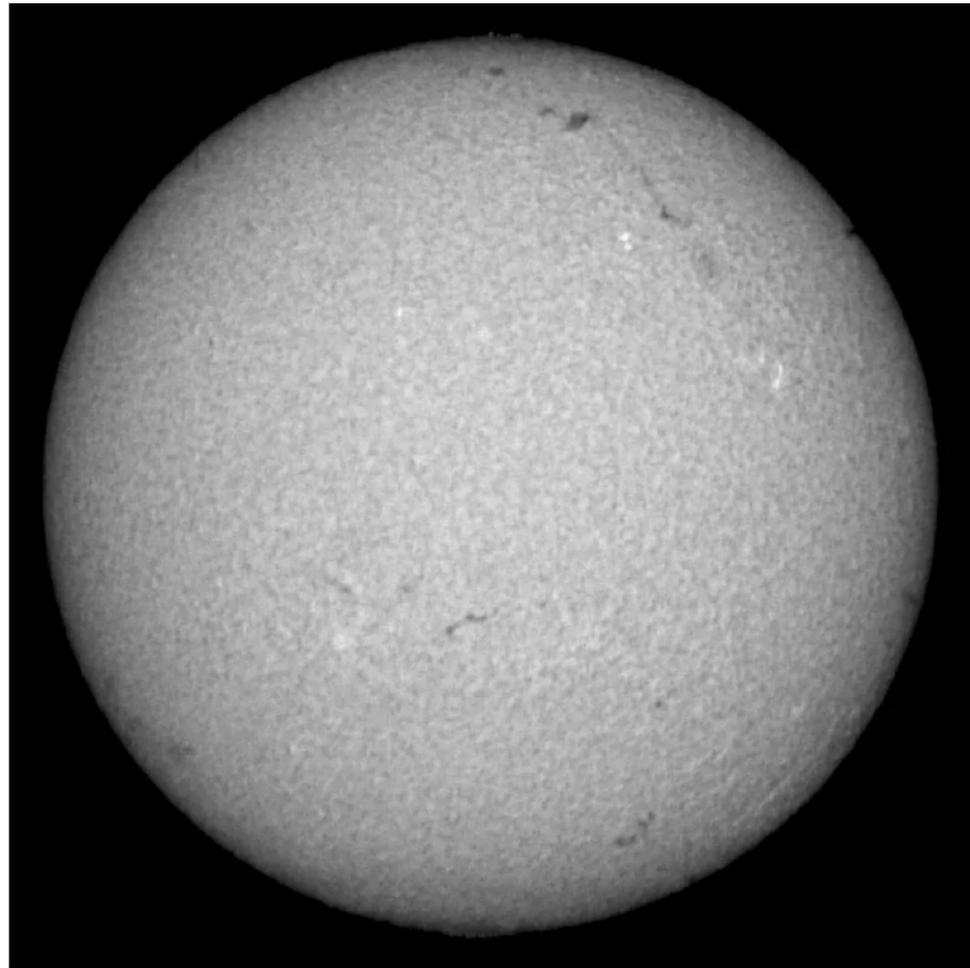
Large implication de la communauté Python (approche Open Source) ...



Exemple : le logiciel INTI (Valérie Desnoux), traitement des spectrohéliogrammes « temps réel » via une application Web ou en local (Docker Desktop, Mathieu Le Lain)

Exemples d'exploitation (1/9)

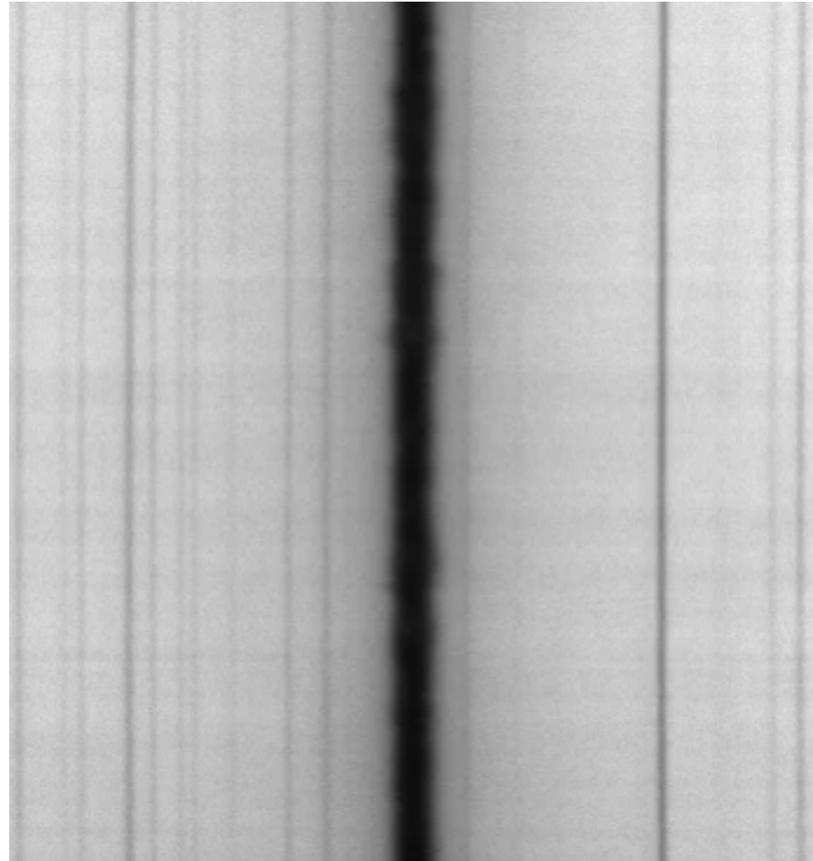
Spectrohéliogramme H-alpha avec une petite lunette économique



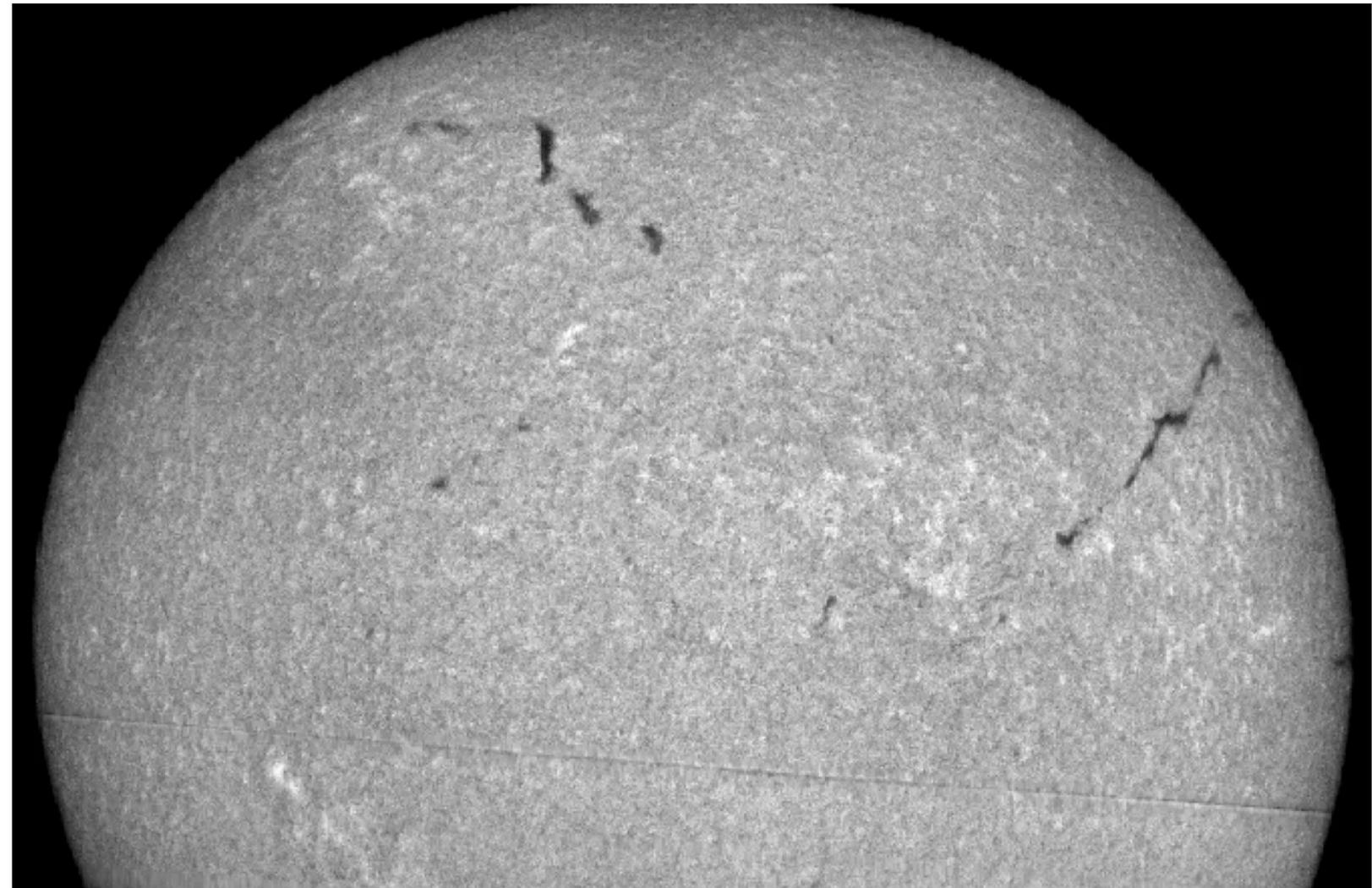
Chercheur pointeur EVOGUIDE de 50 mm (31/01/2021)

Exemples d'exploitation (2/9)

Spectrohéliogramme H-alpha avec une petite lunette intermédiaire



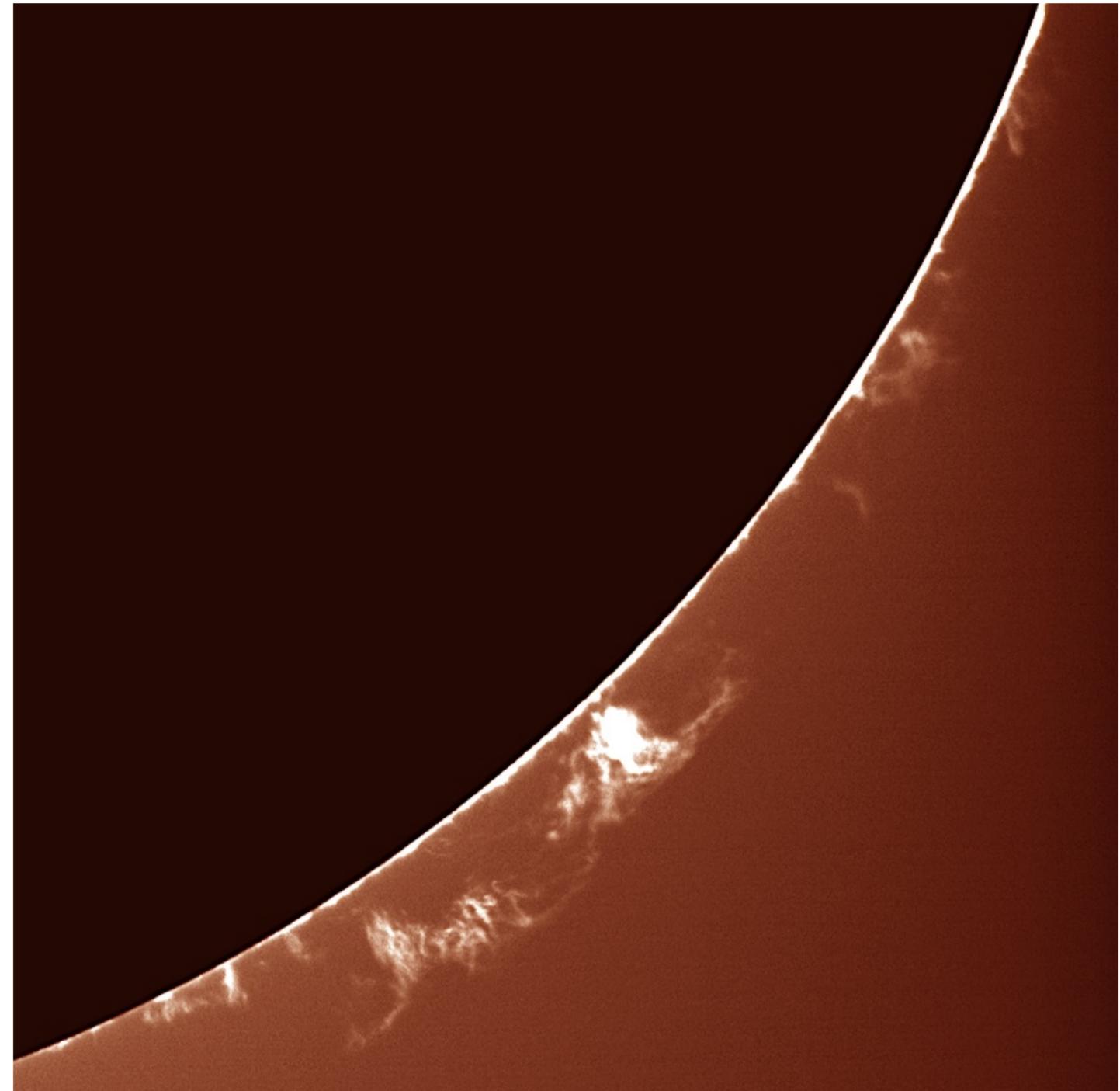
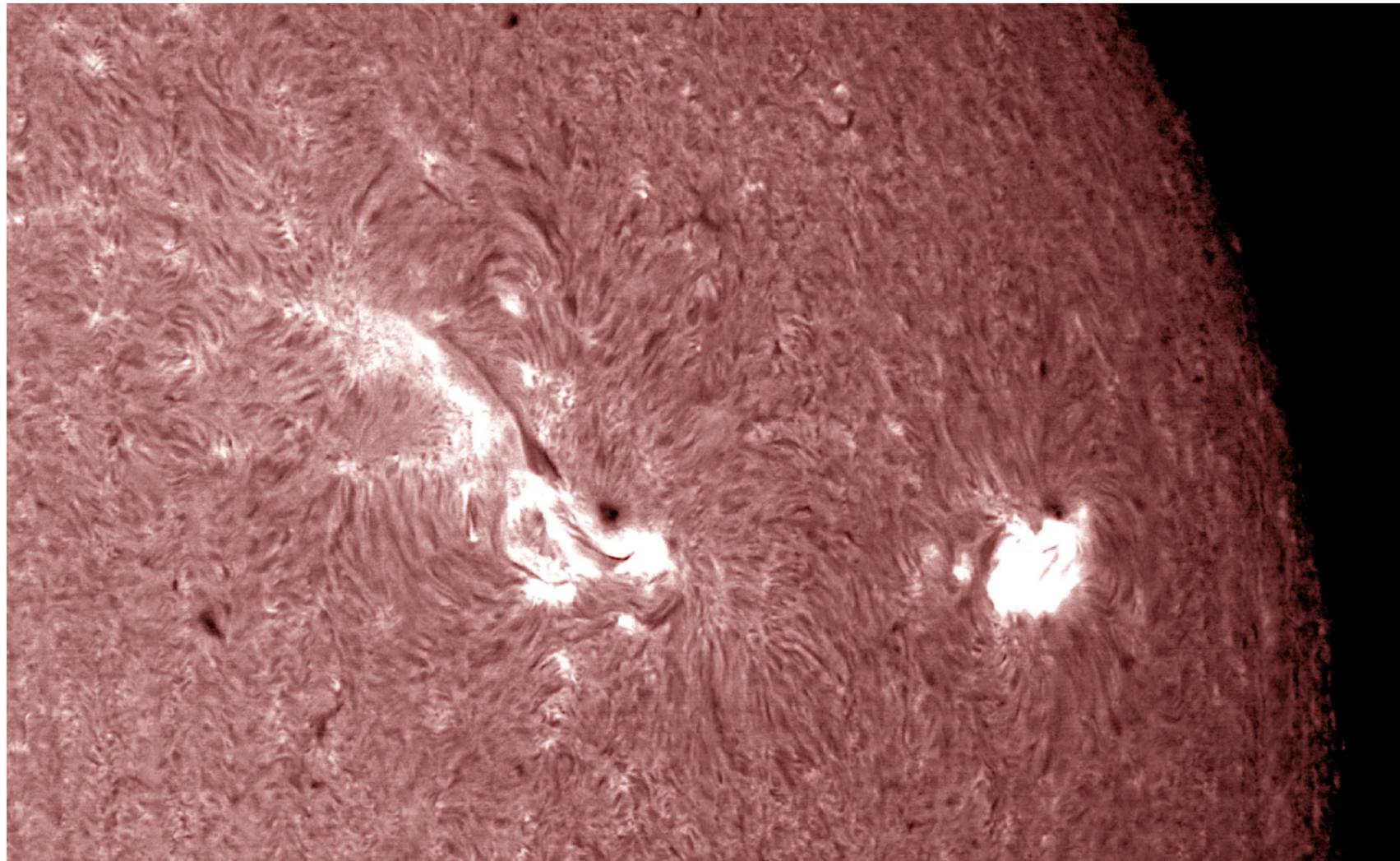
Détail de la raie H-alpha (effet Doppler-Fizeau)



Lunette de 60 mm (FS60)

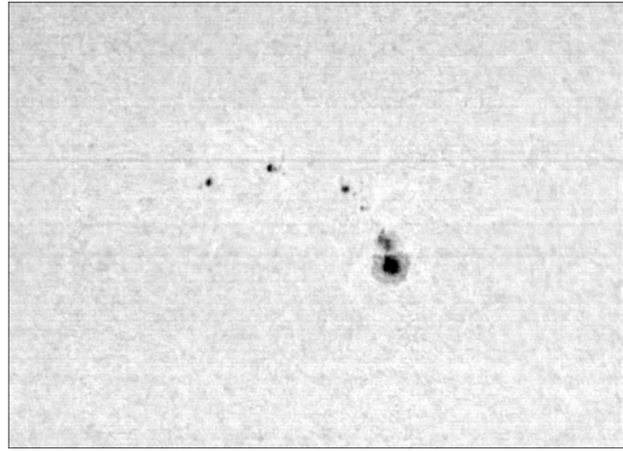
Exemples d'exploitation (3/9)

Spectrohéliogramme H-alpha haute résolution

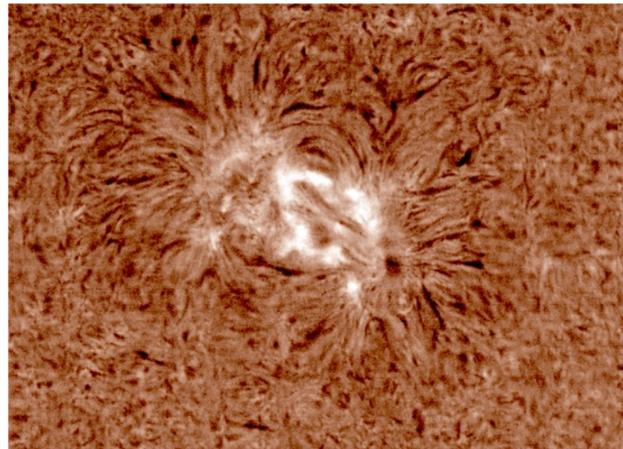


Exemples d'exploitation (4/9)

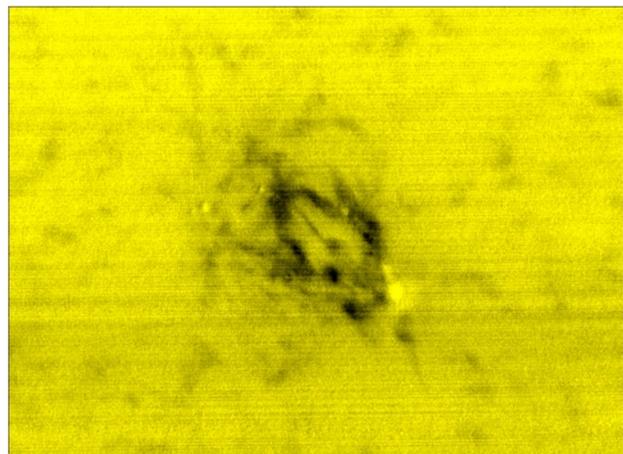
Choix facile et large du domaine spectral (hélium, calcium, magnésium ...)



Cont.



H



He

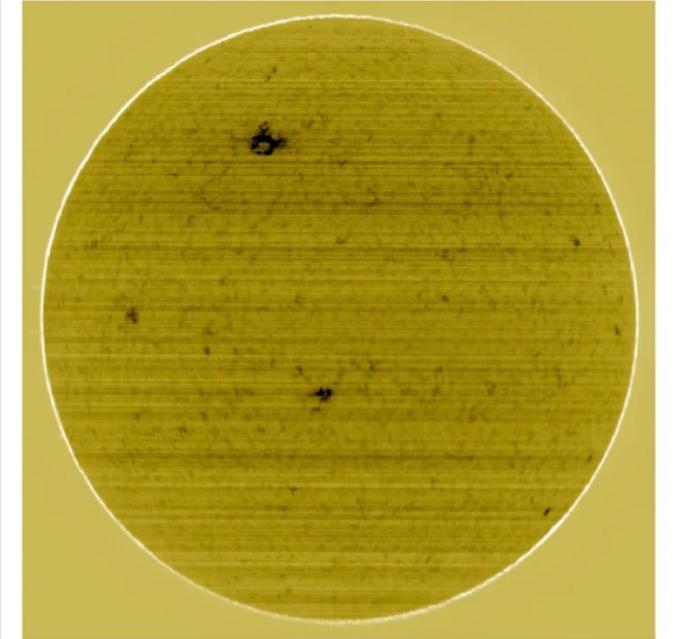
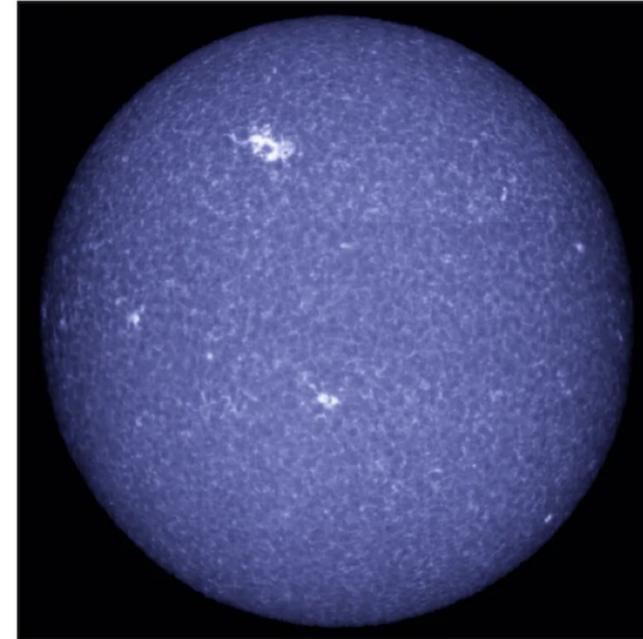
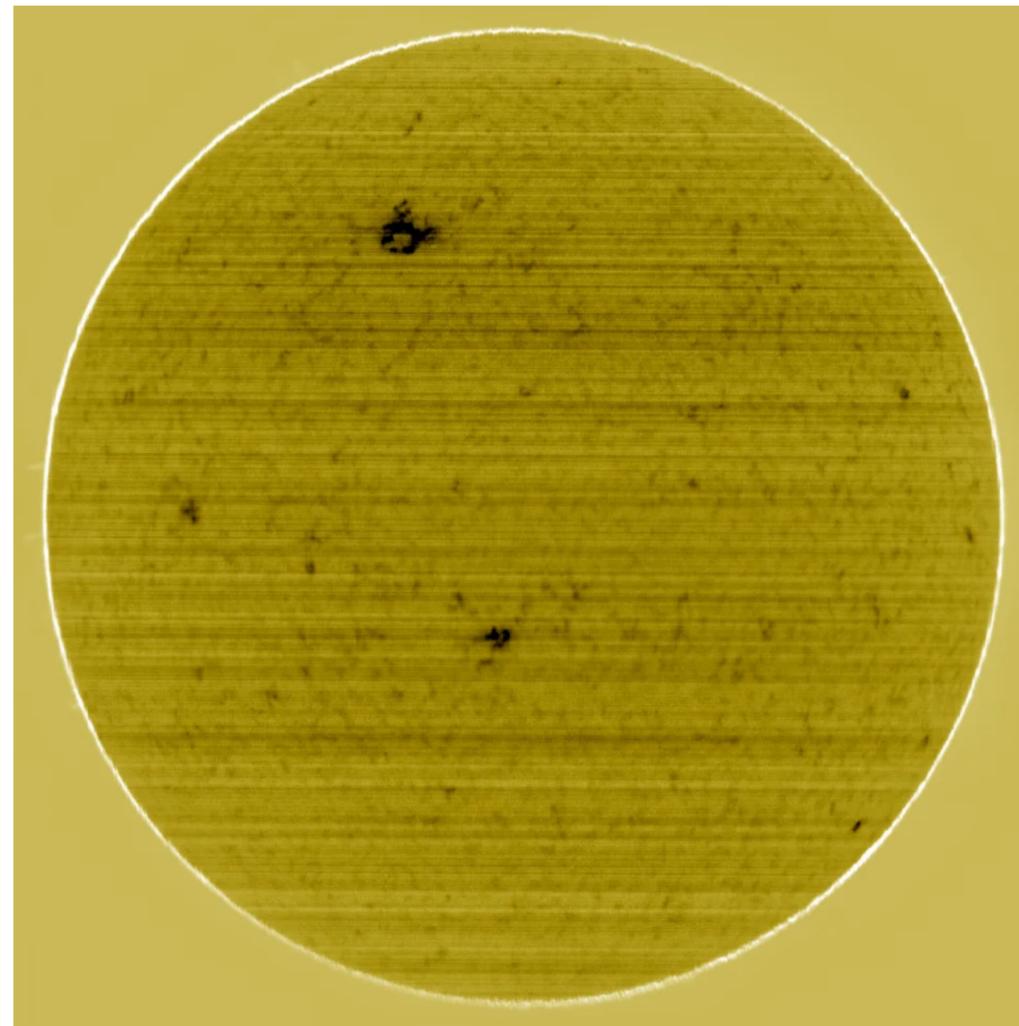
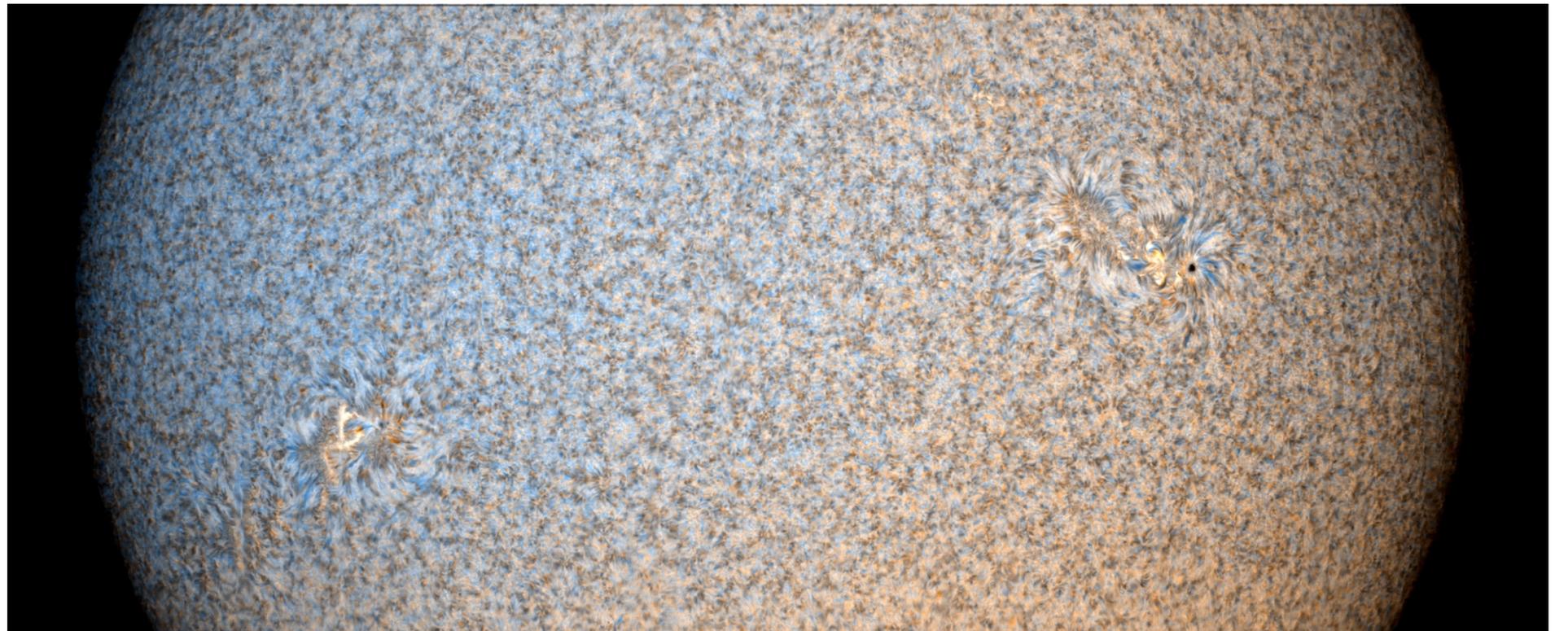
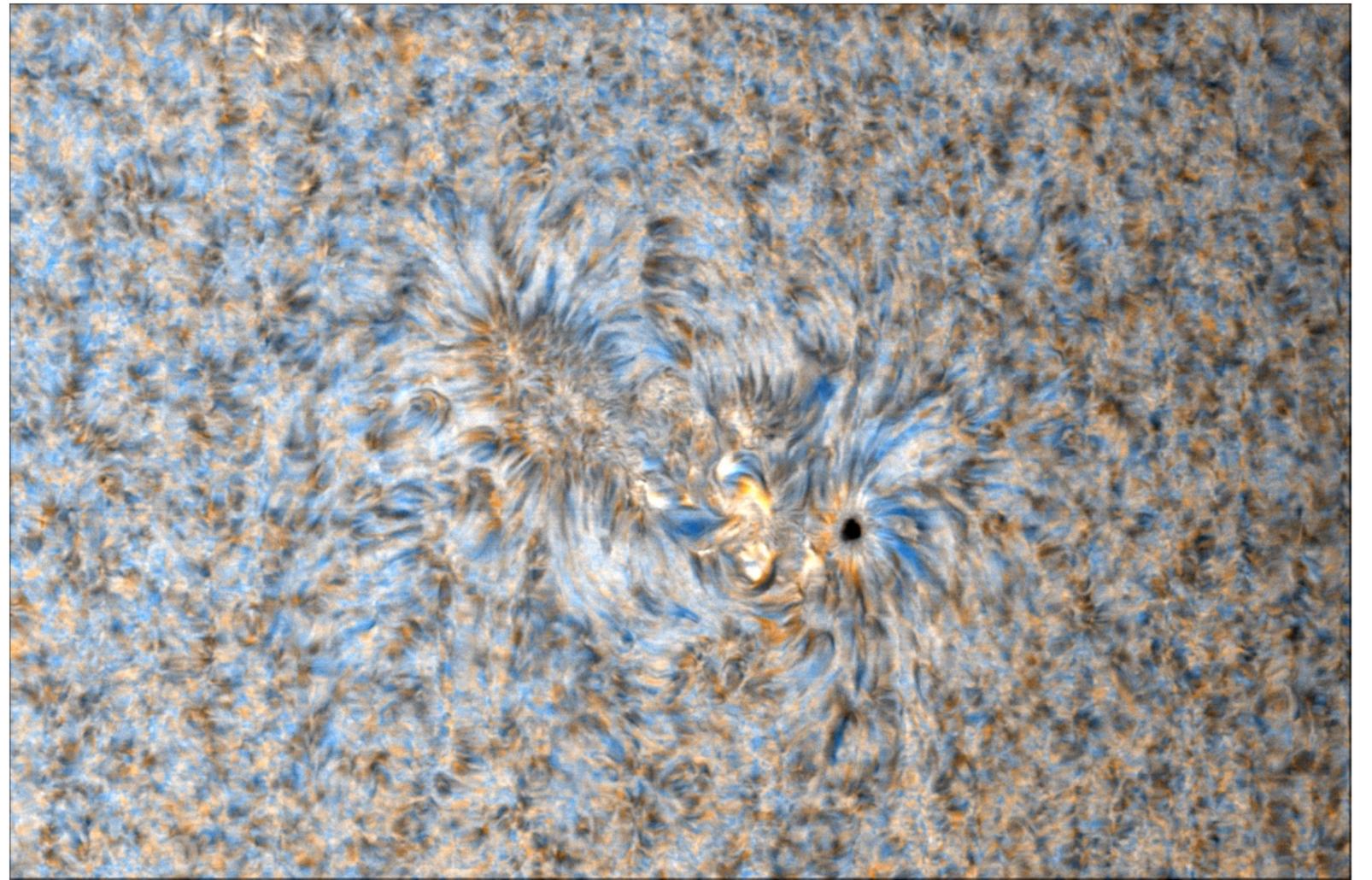


Image dans la raie jaune de l'hélium (13/03/2021)

Exemples d'exploitation (5/9)

**Dopplergramme
Mesure de la radiale du gaz dans la
chromosphère**

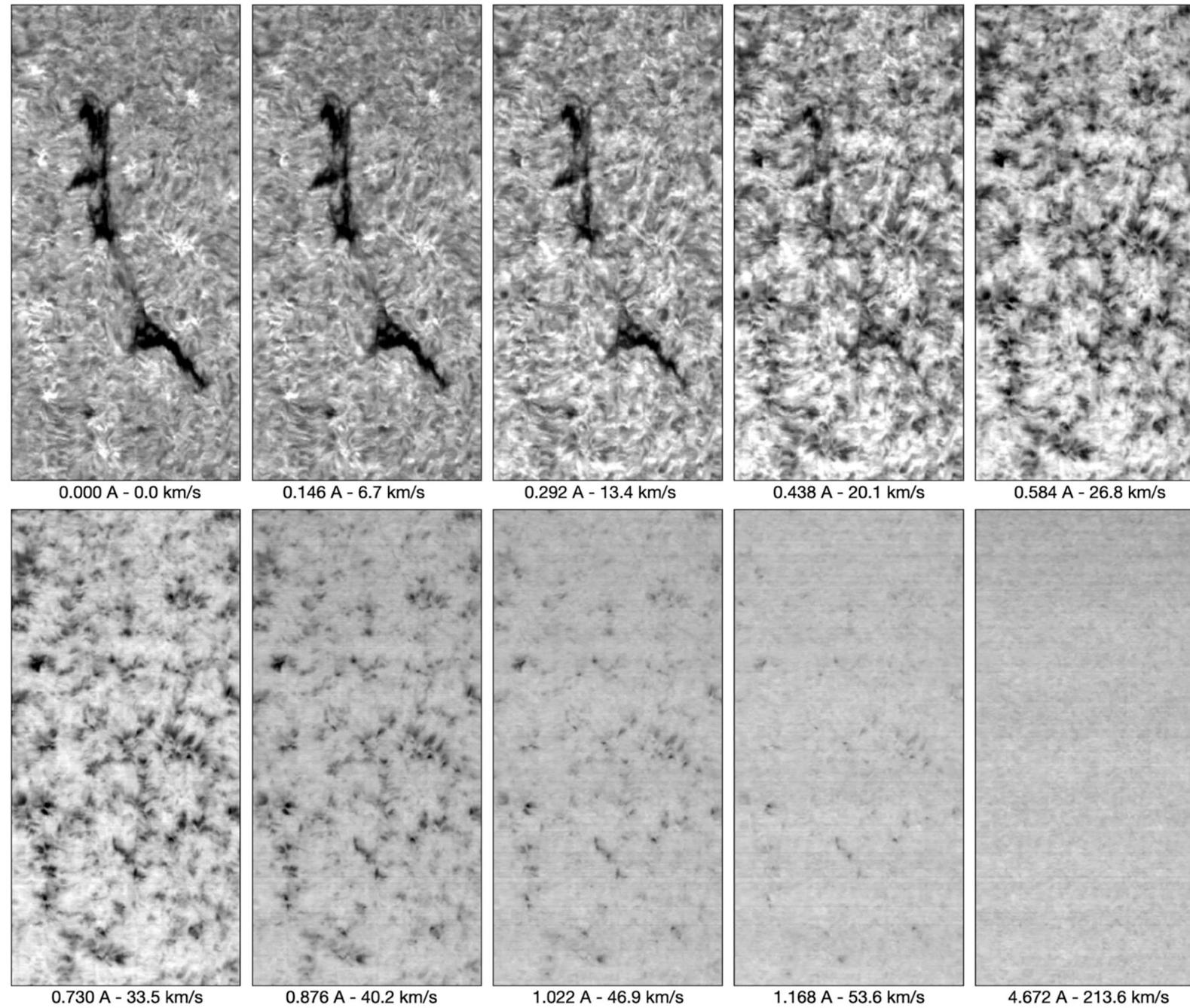
(composition colorée d'images synthétisées à partir des
ailes rouge et bleu de la raie H-alpha)



Mise en évidence de la rotation du Soleil sur son axe

Exemples d'exploitation (6/9)

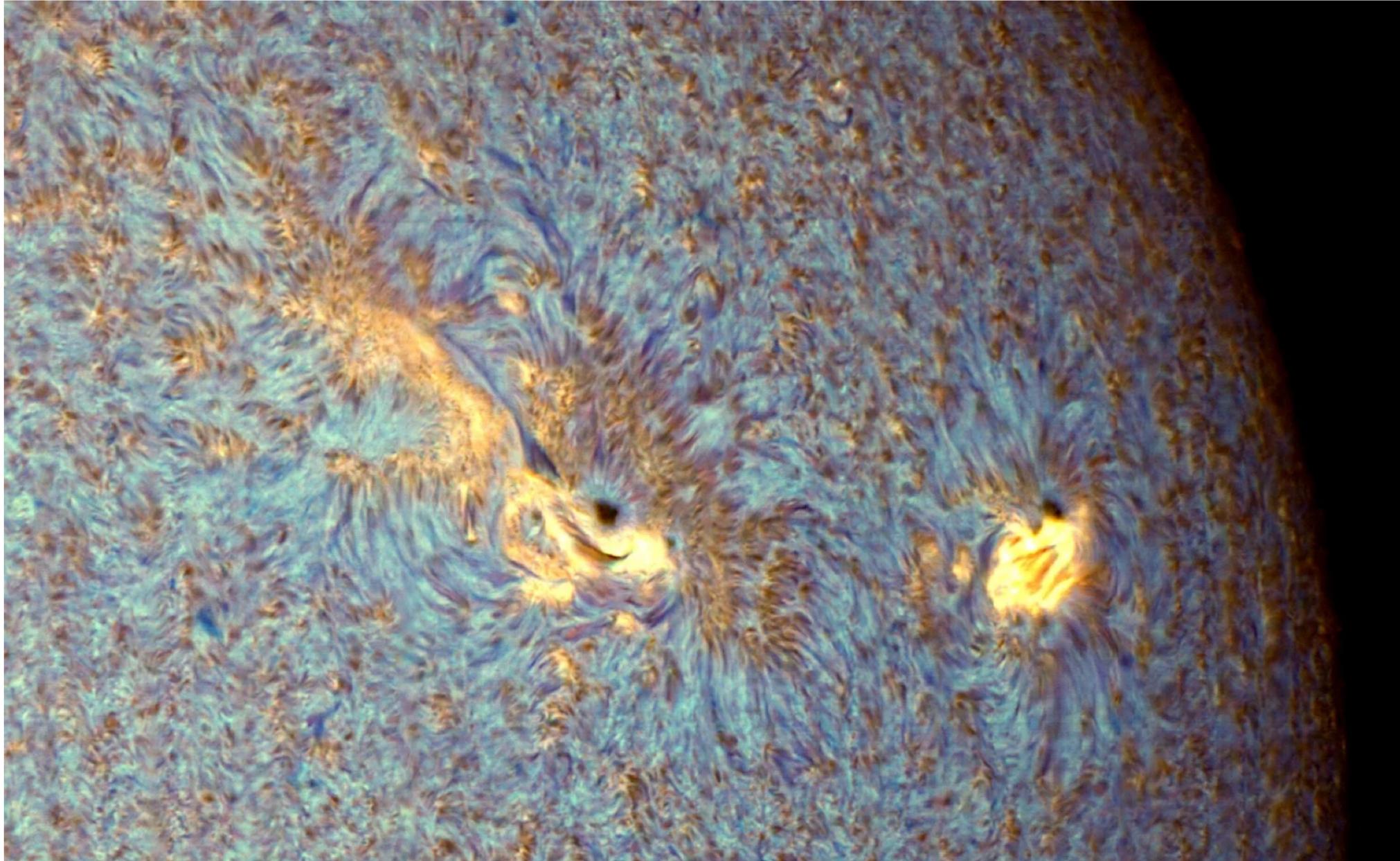
Balayage de l'aile de la raie H-alpha (opération de « sondage » en profondeur de la chromosphère)



Exemple sur l'image d'un filament - analyse possible grâce à la haute résolution spectrale de Sol'Ex

Exemples d'exploitation (7/9)

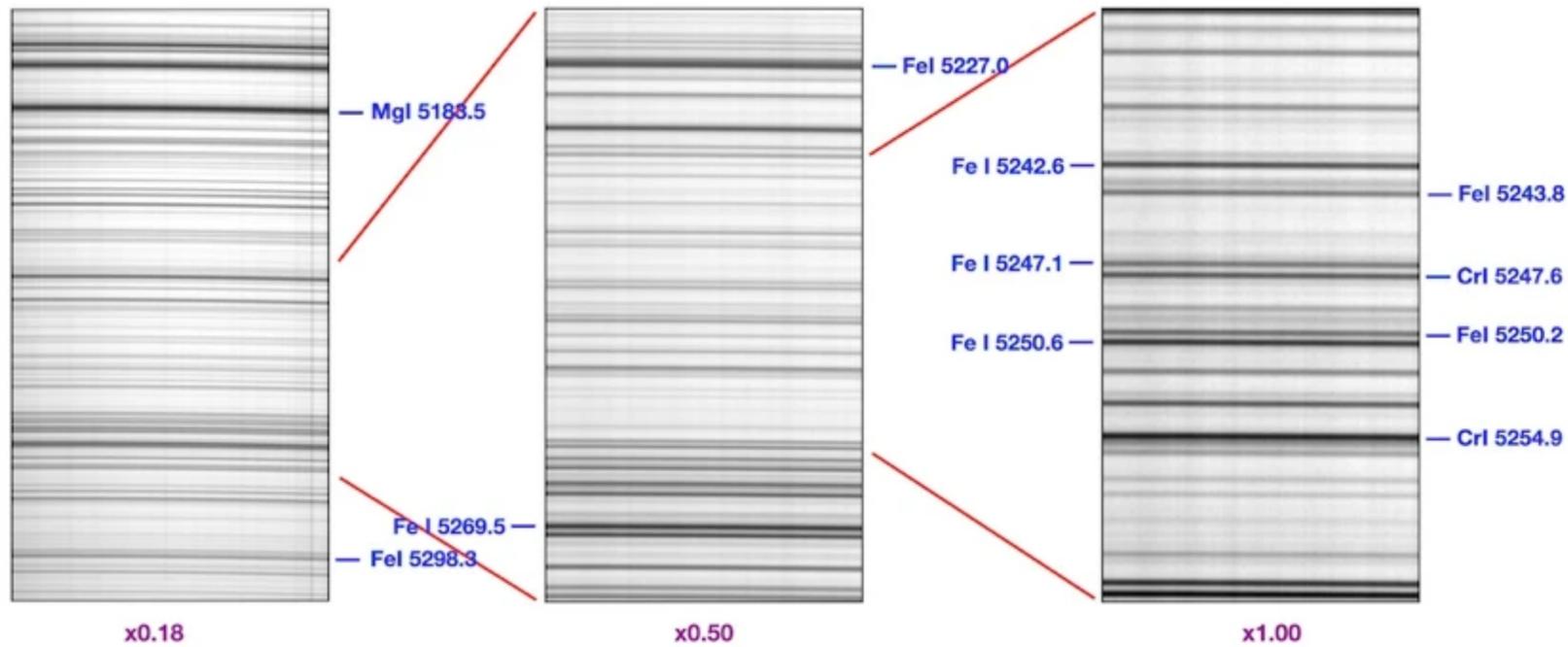
Sondage dans la raie H-alpha représentée en fausses-couleur



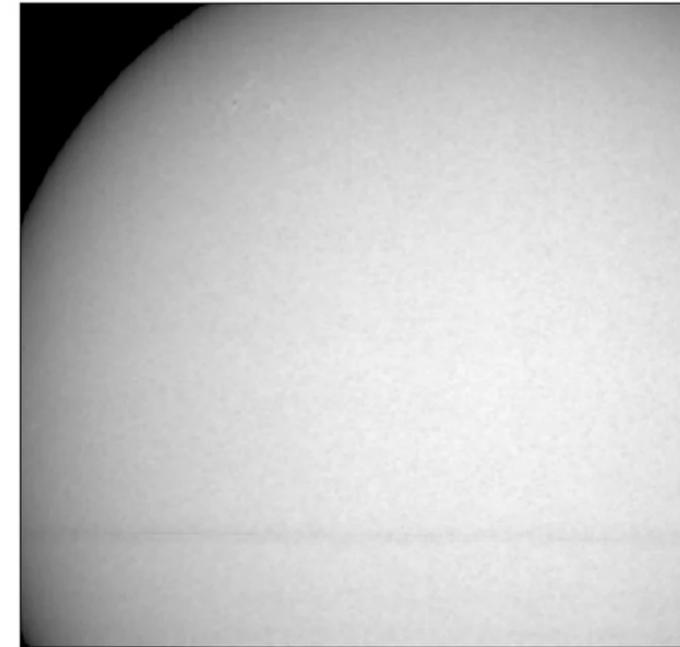
Exemples d'exploitation (8/9)

Détection du champ magnétique (méthode « photométrique »)
Polarimètre économique à venir comme accessoire réalisé en impression 3D

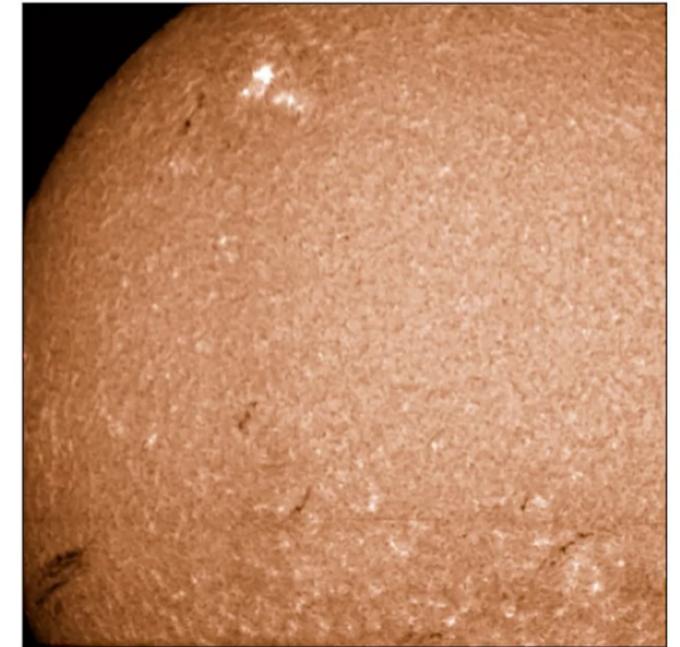
Sol'Ex - Slit 10 microns - Fo = 125 mm - ASI178MM - Sampling = 0,0730 A/pixel - R = 20000 (FWHM = 0.26 A)



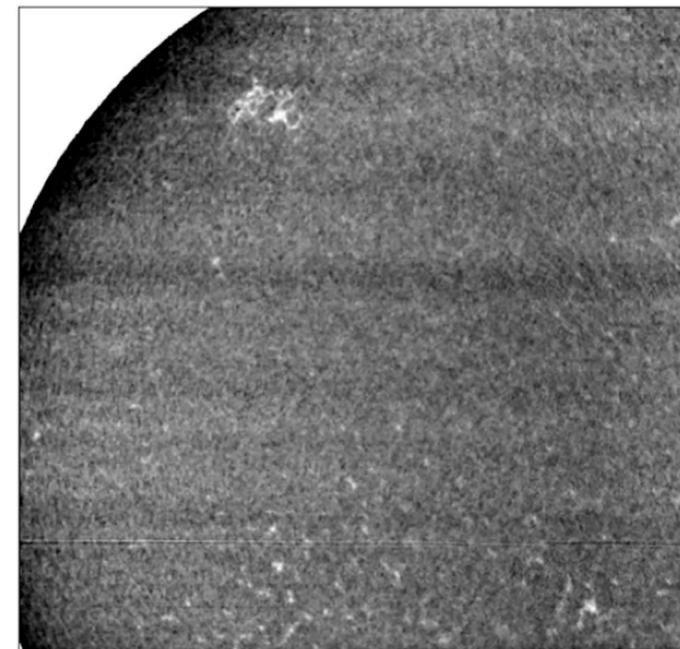
Exploitation de la raie Fe 5250.22 A



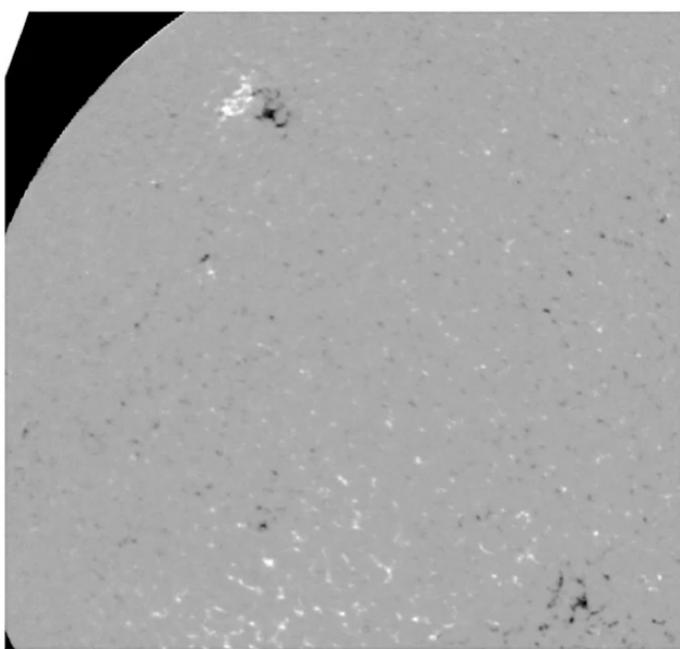
Sol'Ex - Continuum - 21/02/2021 (65/420 mm refractor)



Sol'Ex - H alpha



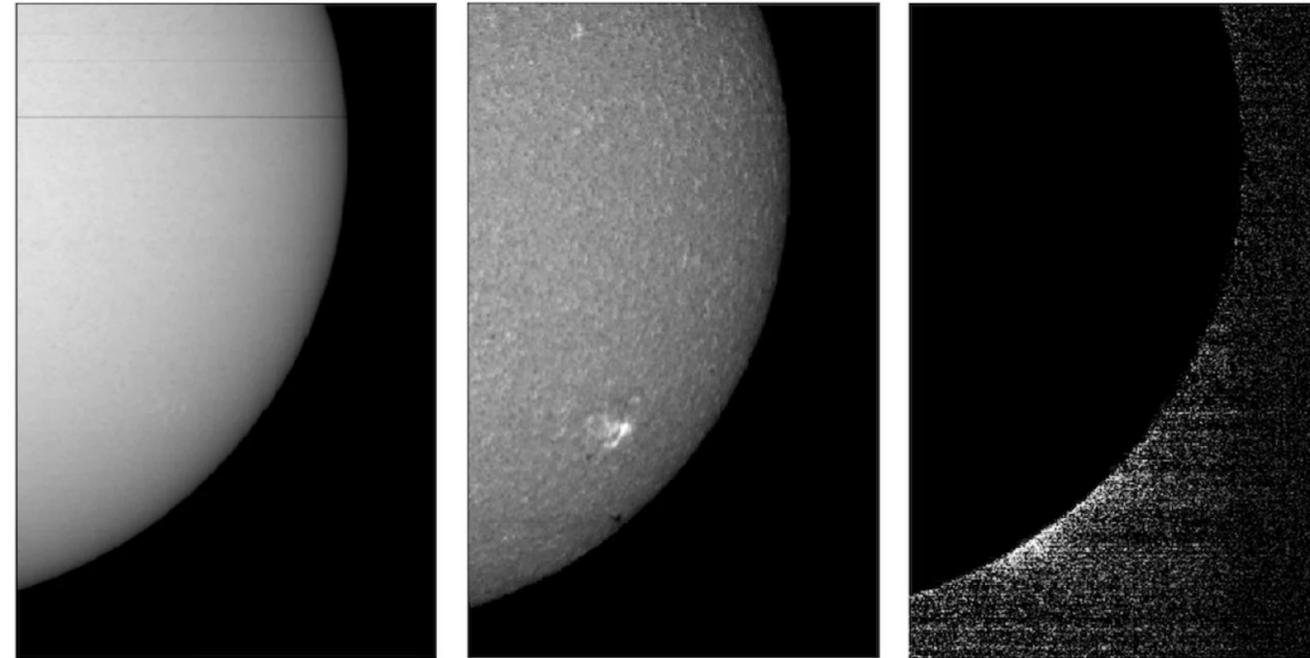
Sol'Ex - Fe I 5250.2 A line - Magnetic Field Detection



NIPS - El Teide station (Spain) - Magnetogram

Exemples d'exploitation (9/9)

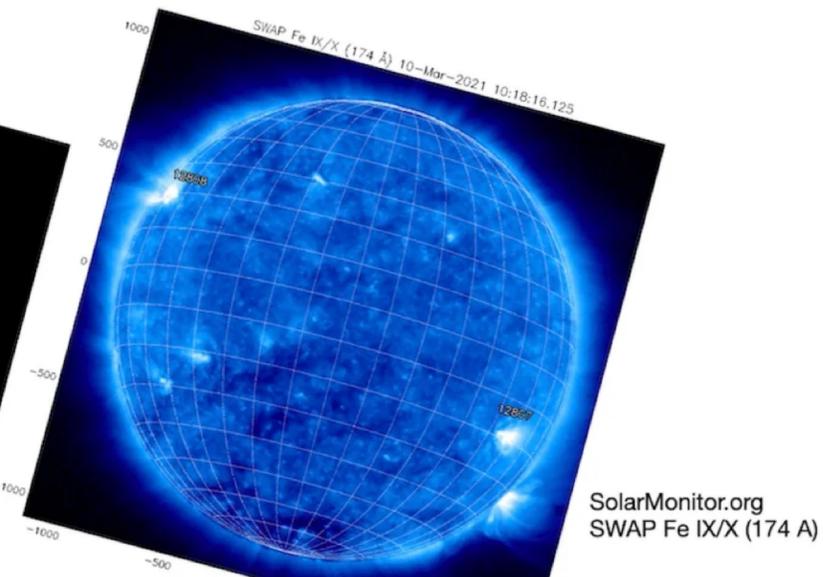
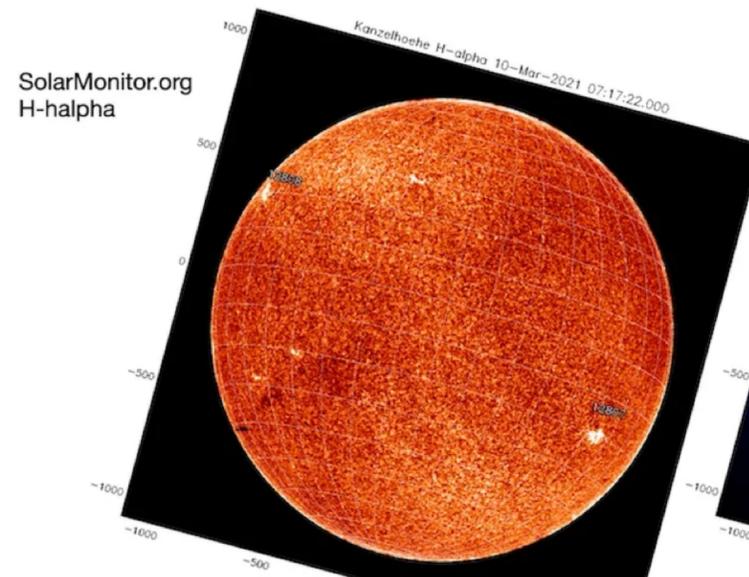
Possible détection de la couronne (raie coronale Fe XIV)



Sol'Ex continuum

Sol'Ex H-alpha

Sol'Ex Fe XIV (5302.86 Å)

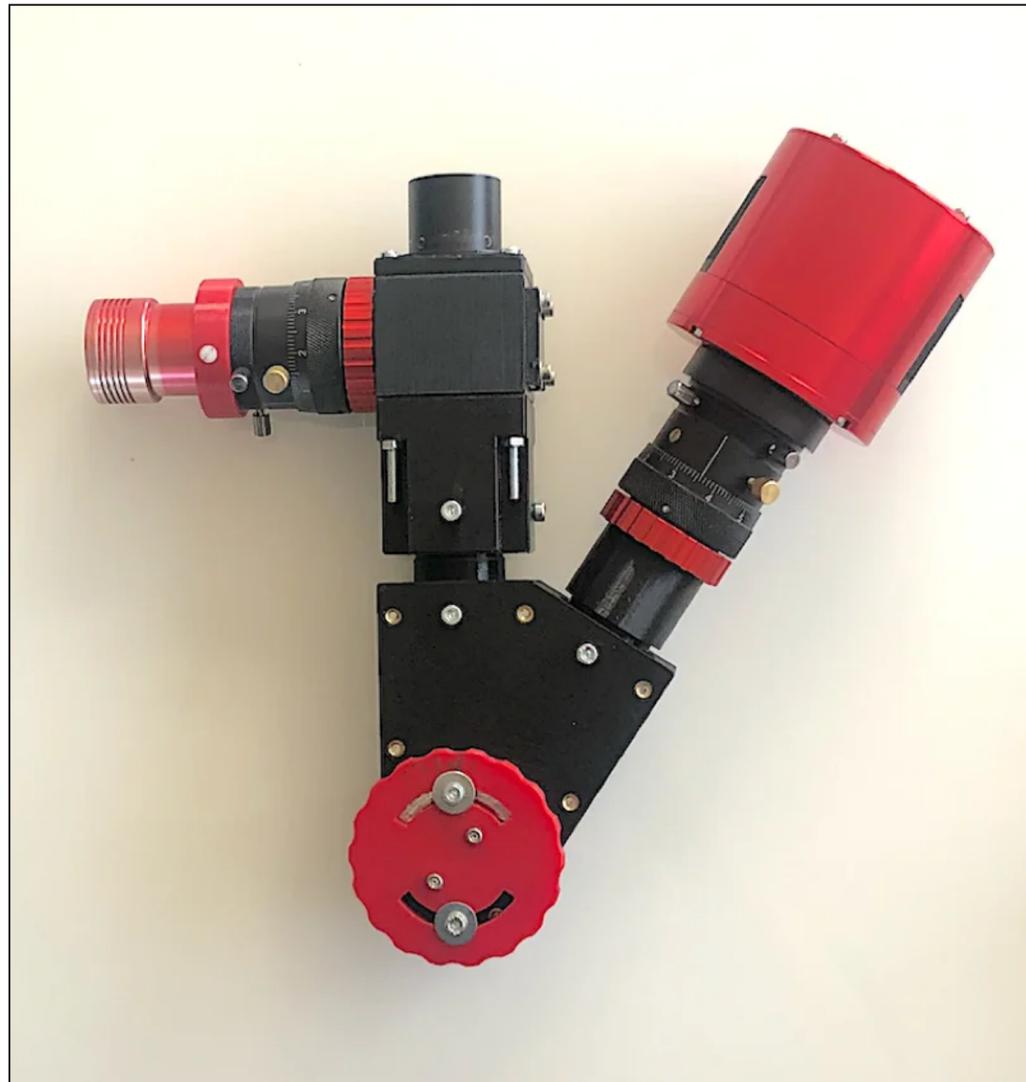


De Sol'Ex à Star'Ex

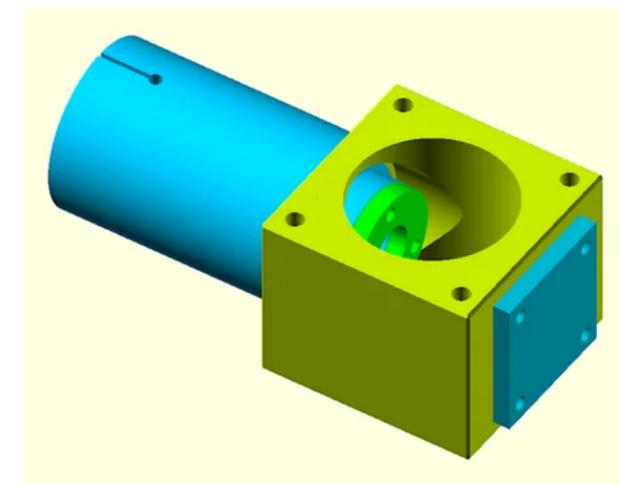
Il est aisé de transformer Sol'Ex en un spectrographe stellaire

Grande souplesse : choix du réseau, de l'objectif de caméra, de la largeur de fente, de la caméra (refroidie au besoin)

**L'idée : que quelques amateurs passionnés par les images passent un jour à la spectrographie ;-)
(c'est même le cheminement normal !)**

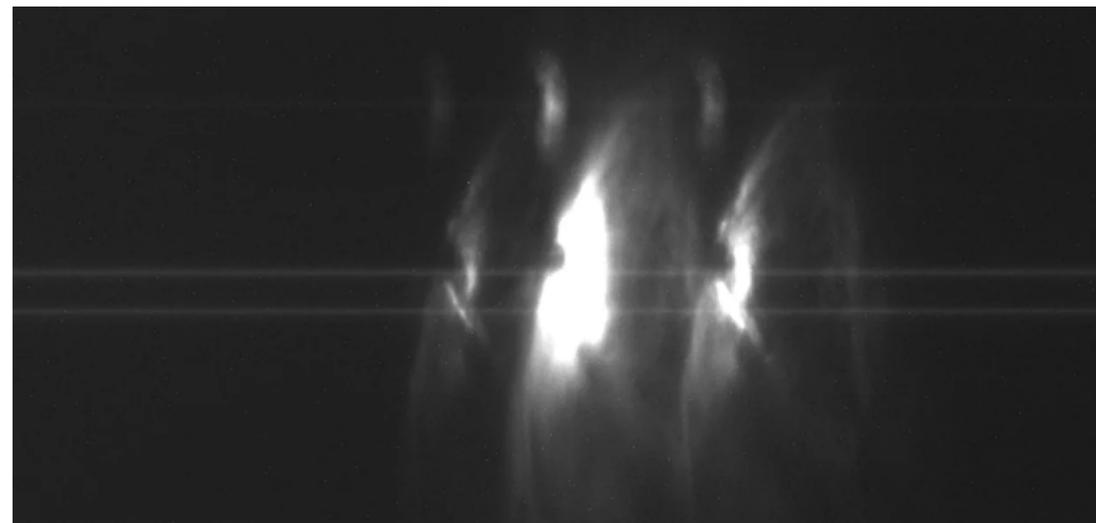
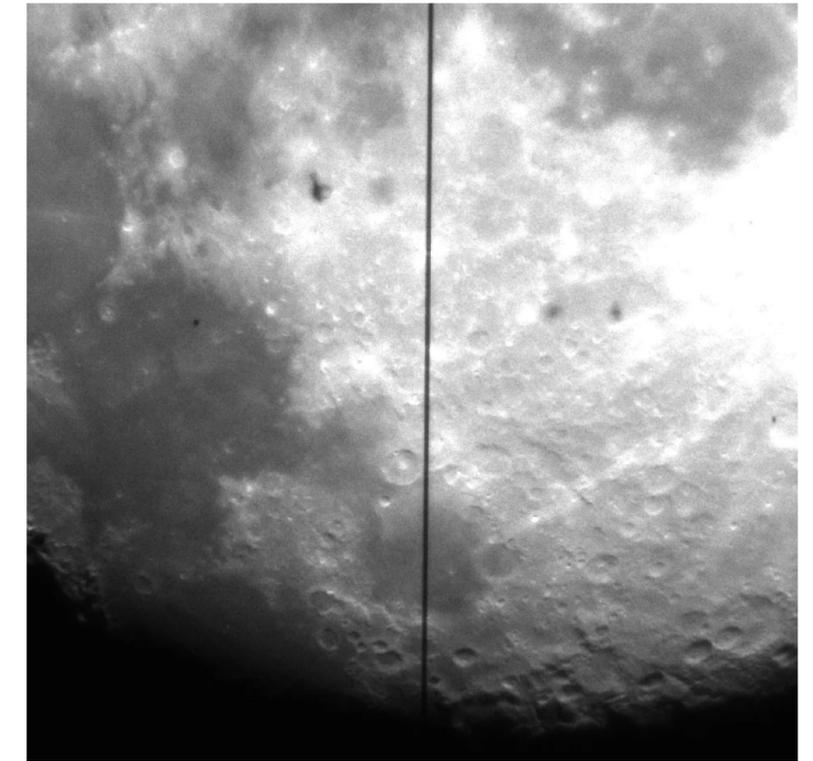


Ajout d'un module de guidage/pointage



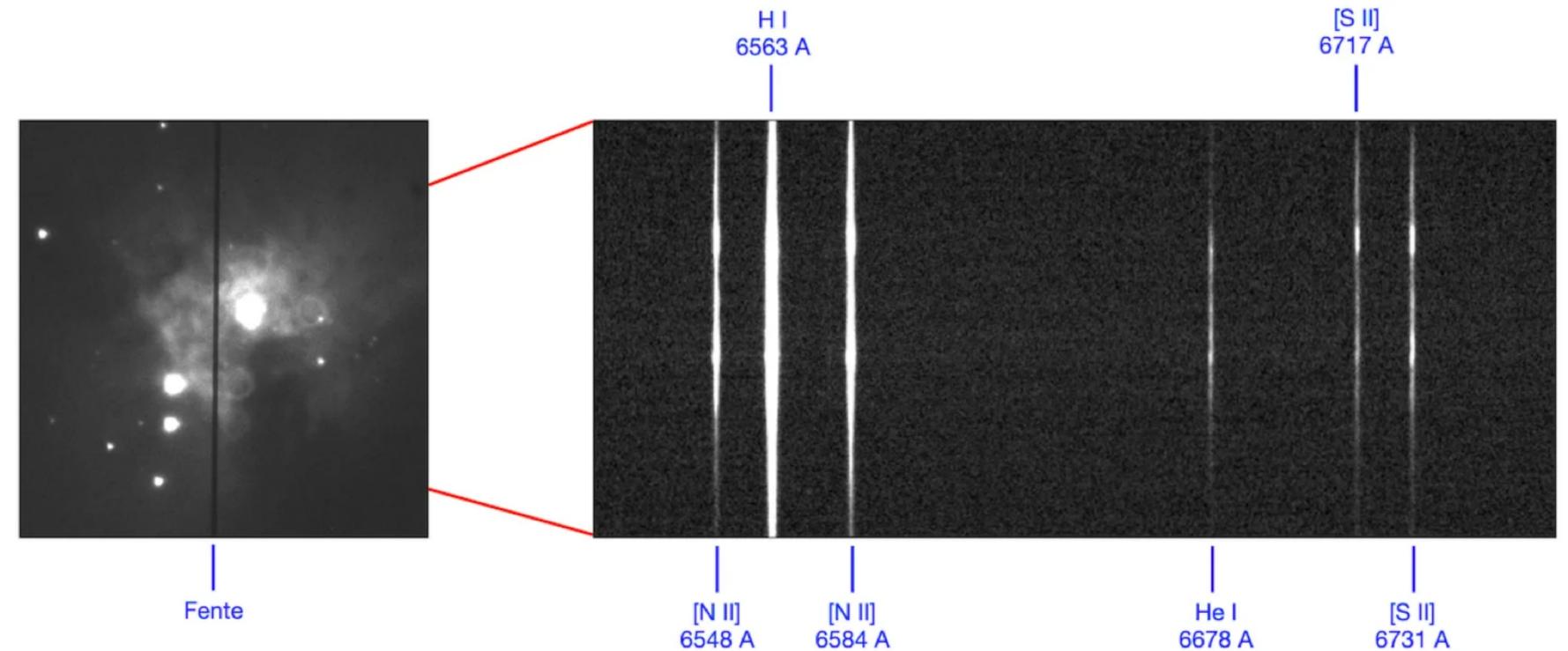
Star'Ex : la spectrographie astronomique facile

Ce faire la main sur des objets à surface étendue (un pont en l'imagerie et la spectrographie)



Messier 42 - région H-alpha et [NII]

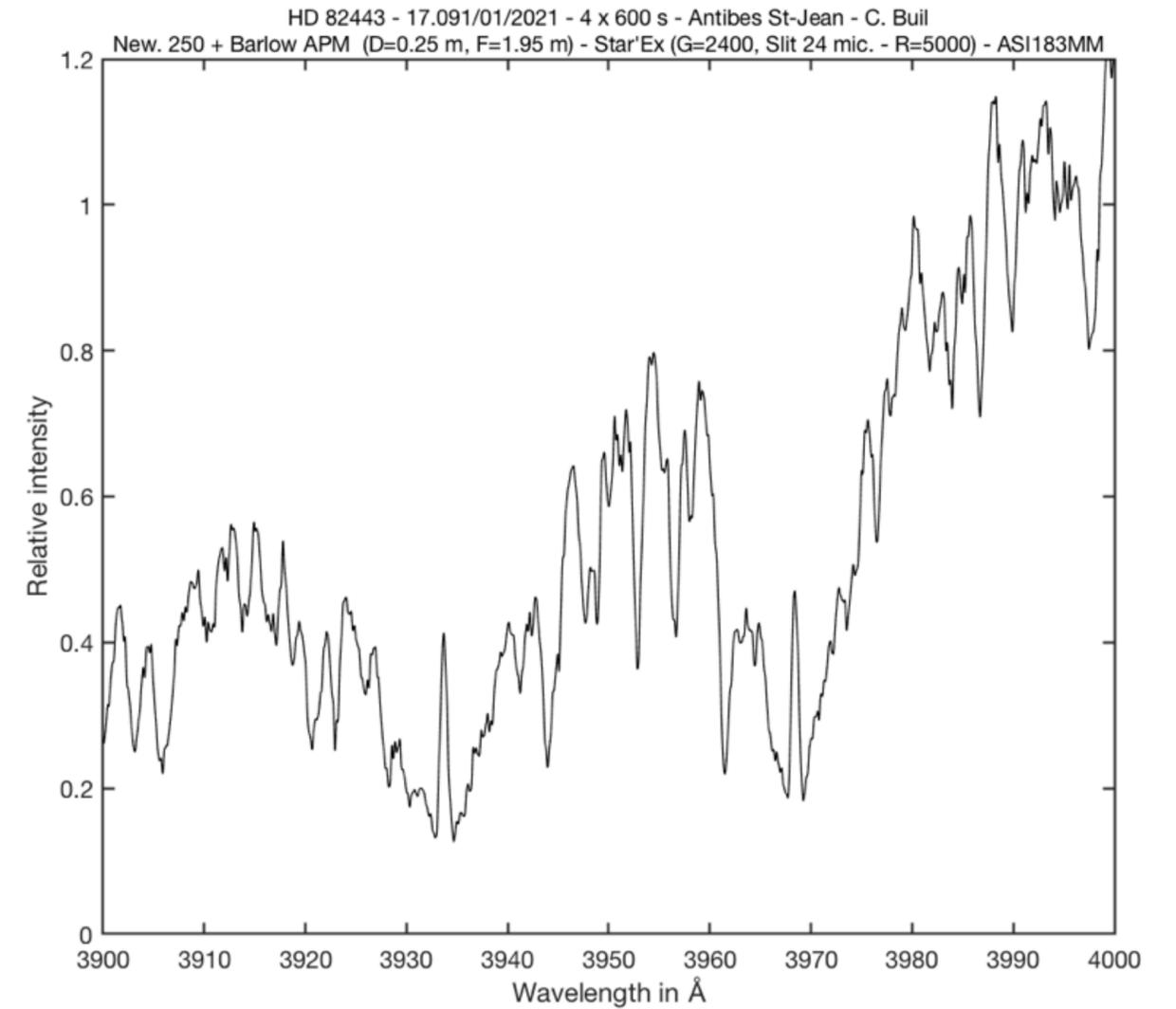
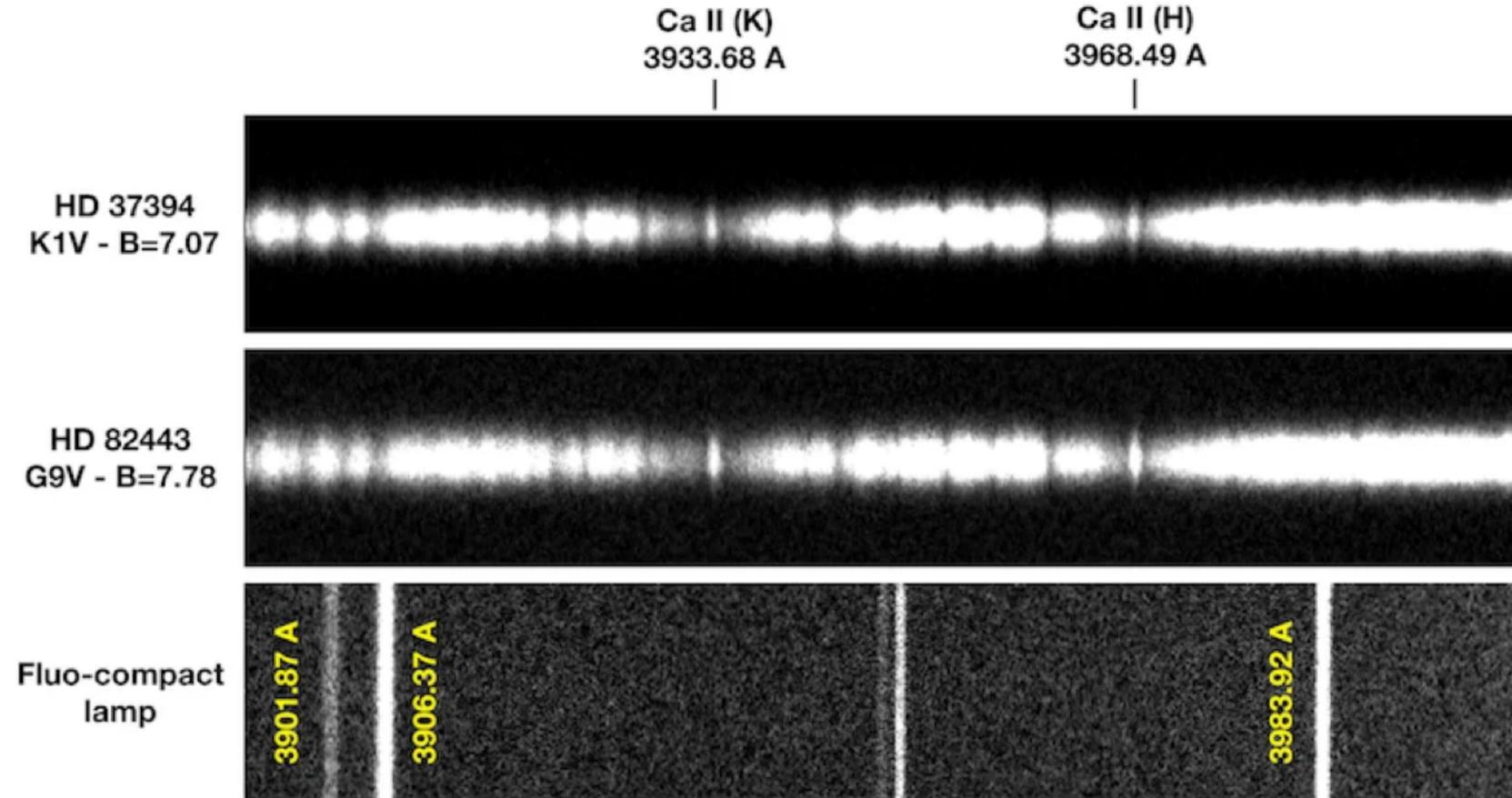
Configuration minimaliste : sans fente et réseau 2400 t/mm
(noter l'anamorphose qui déforme les images monochromatiques de la nébuleuse).



Observation de Messier 42 avec une fente.

Star'Ex : un outil de recherche (1/3)

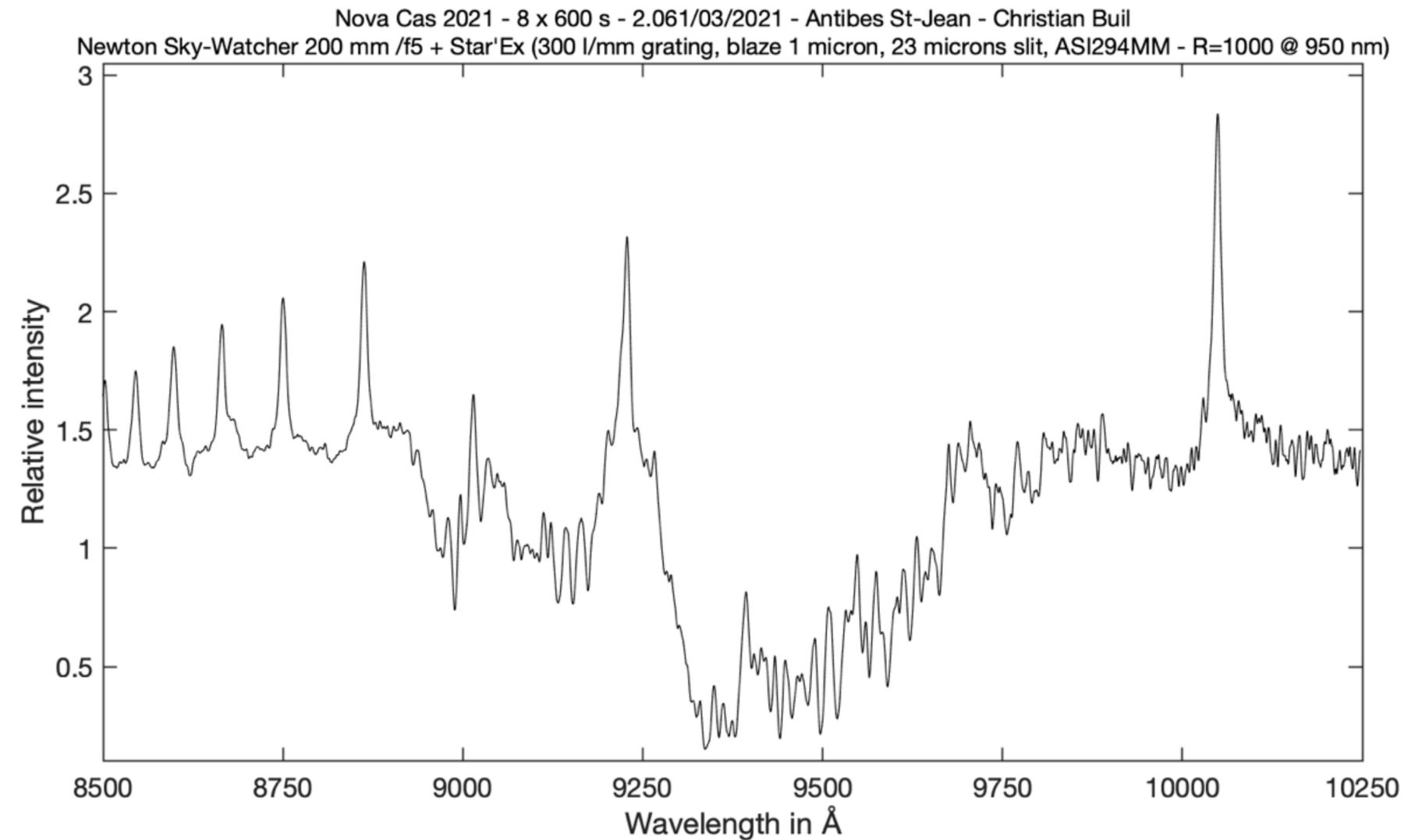
Observation chromosphérique dans les étoiles de type solaire



Star'Ex : un outil de recherche (2/3)

Spectre infrarouge de la nova Cassiopée 2021 jusqu'à 1 micron de longueur d'onde

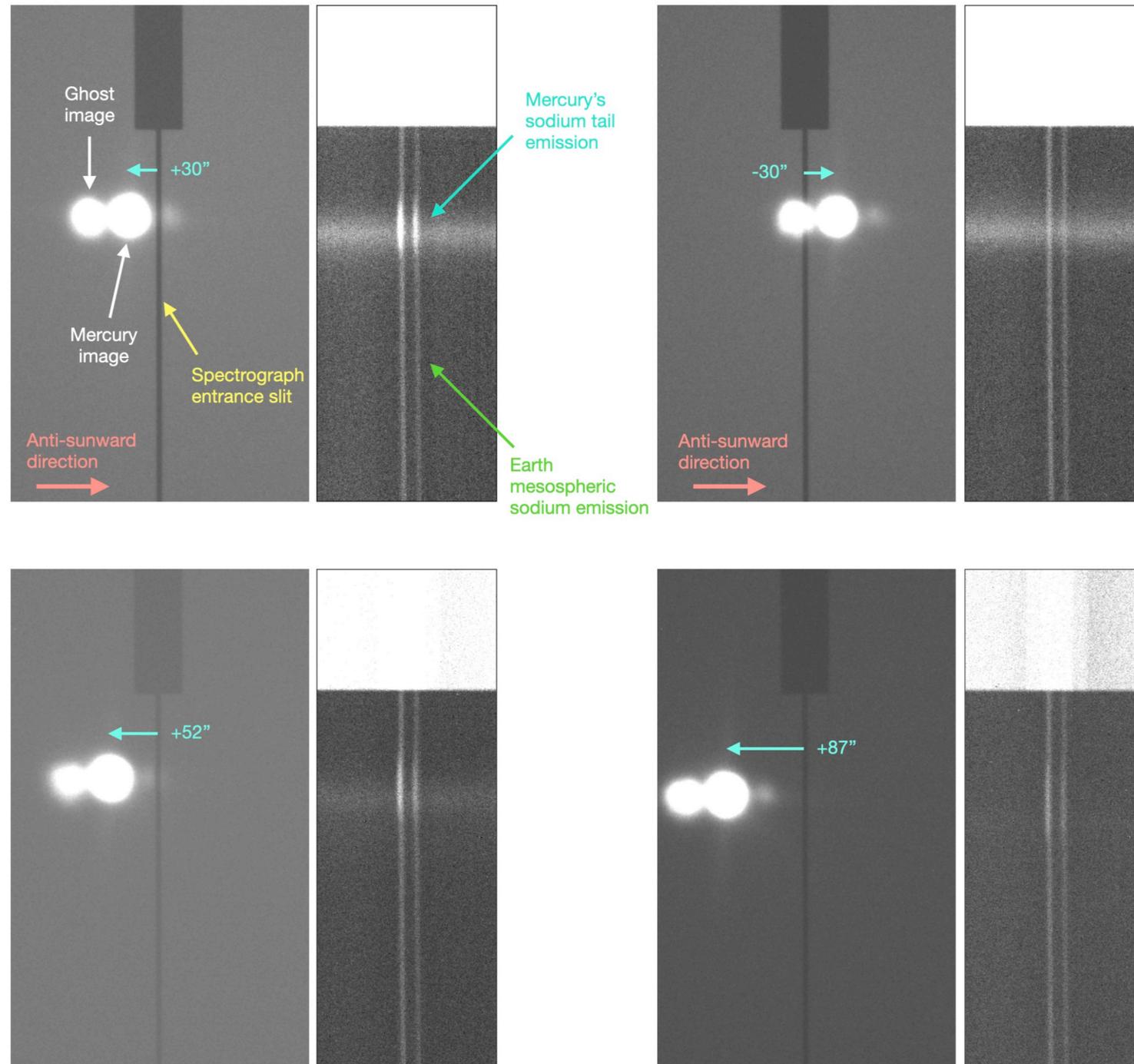
(la conception de Sol'Ex/Star'Ex fait qu'il s'agit d'un instrument à haut rendement - noter aussi l'usage d'une caméra CMOS économique)



Réseau 300 t/mm, blazé 1 micron, filtre d'ordre RG630

Star'Ex : un outil de recherche (3/3)

Observation de la trainée de sodium qui s'échappe de la planète Mercure, poussée par le vent solaire



Observation Star'Ex réalisé avec un télescope Newton de 200 mm f/5 à Antibes - Juan les Pins , le 17 mai 2021

Sol'Ex / Star'Ex : accent mis sur la flexibilité

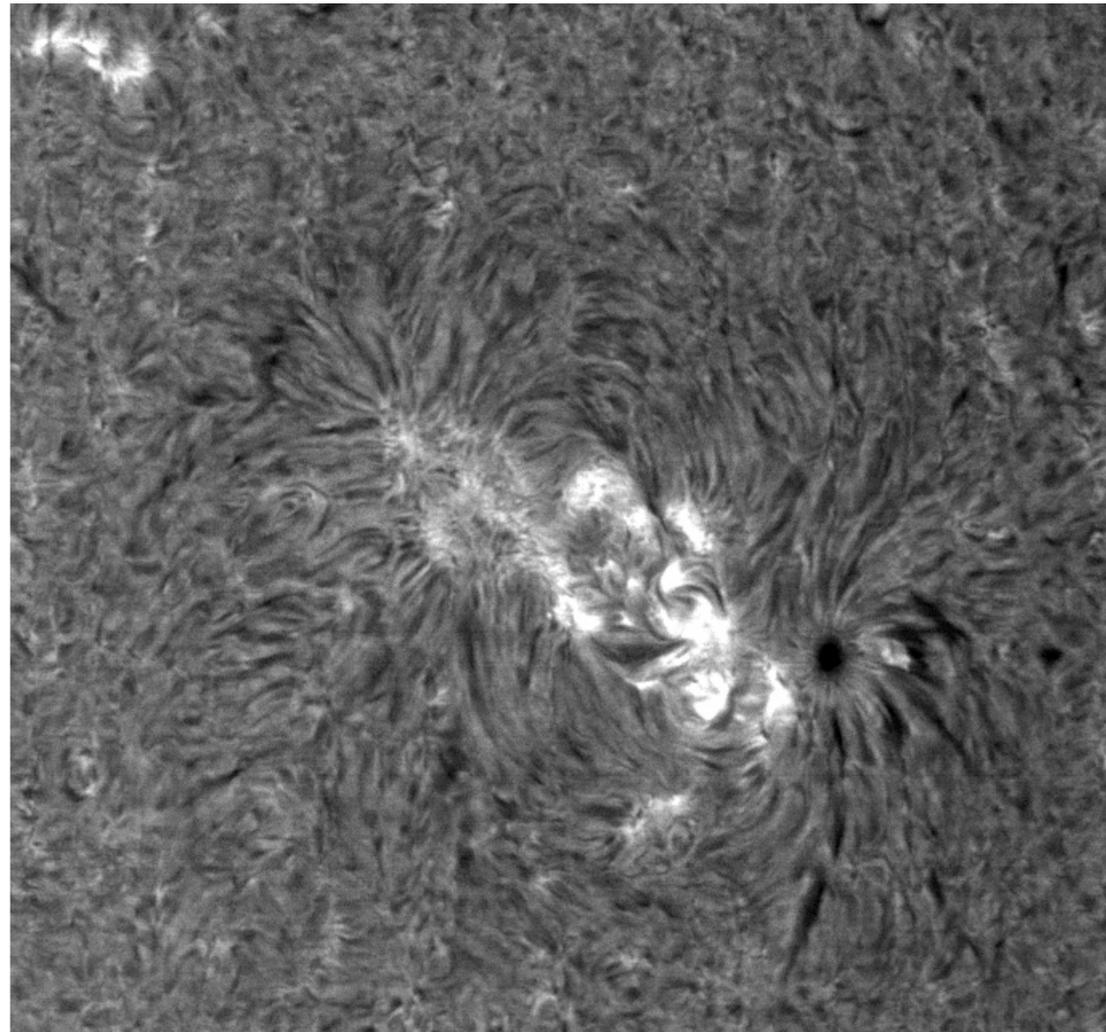


S'adapter à la diversité du matériel des amateurs

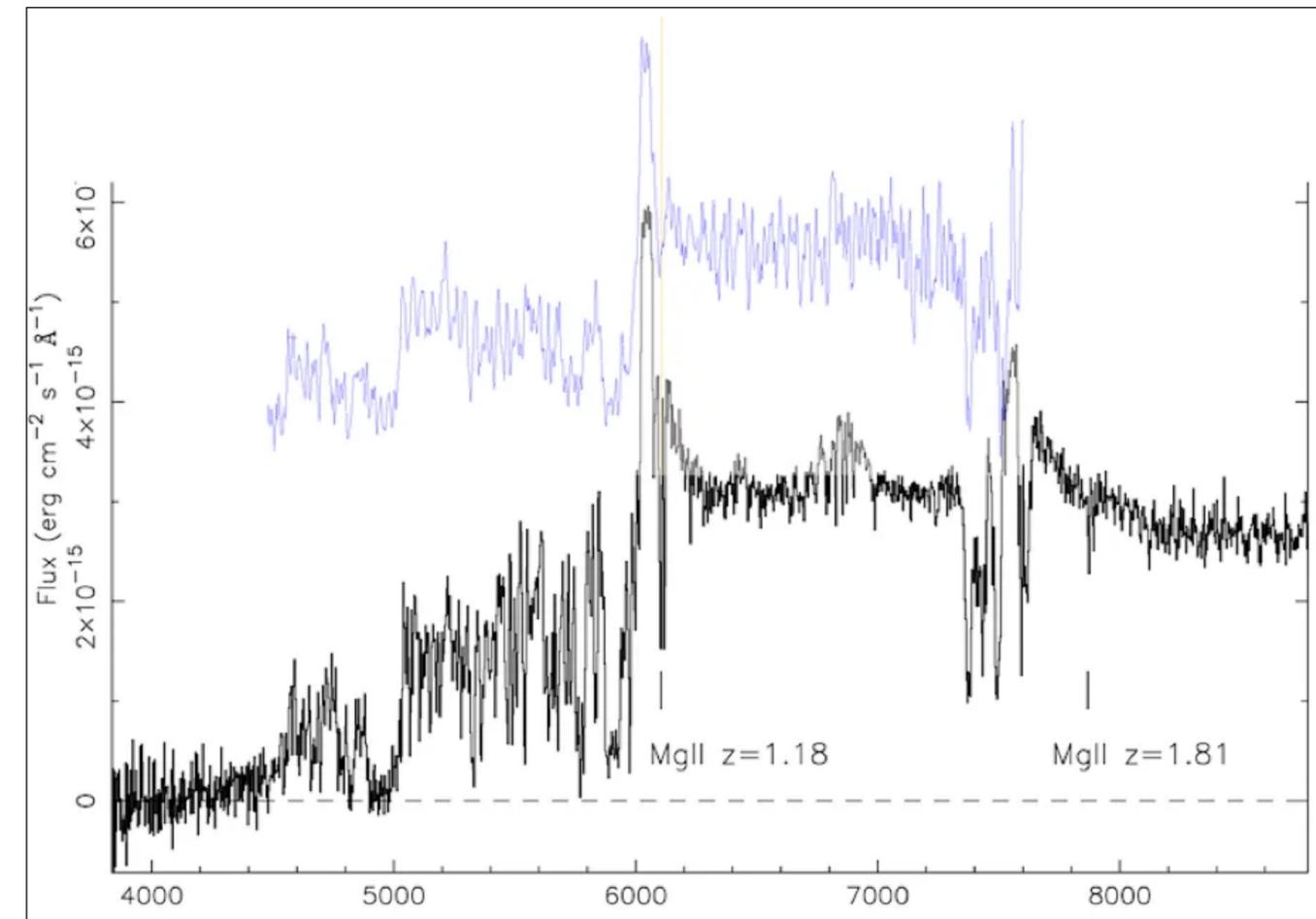
Star'Ex / Sol'Ex : un outil conçu pour promouvoir et faire aimer l'astronomie expérimentale et la Science

L'aventure reste à écrire...

... à vous de jouer Professionnels et Amateurs !



Note : activité astronomique de jour
Idéal pour enseignement écoles / collèges / lycées



En bleu, le spectre Star'Ex du quasar APM 08279+5255 à $z = 3.85$ (téléscope Newton de 0.25 m)

Note : le coût de réalisation de Star'Ex/Sol'Ex est inférieur à 1000 euros

Le site Sol'Ex : <http://www.astrosurf.com/solex/>
Et aussi : <http://www.astrosurf.com/buil/index.html>



Merci pour votre attention !