

GUILLON Mayane

CHENDEA Anton

# HélioTrek ,

Projet 2e année ENSEA

# Sommaire

## I. Étude théorique

- a. Fonctionnement général
- b. Comportement du matériel optique
- c. Simulation sur python

*Explication supplémentaire sur GIT HUB*

## II. Choix du matériel optique

- a. Le réseau
- b. Les lentilles et la fente
- c. La caméra
- d. Le chercheur

## III. Conception mécanique

- a. La structure en impression 3D
- b. L'assemblage

## IV. Précaution à prendre avec le matériel optique

## V. Mise en place / réglage / mise au point et observation

## VI. Traitement et analyse d'image

## VII. Partage des résultats

*Explication  
supplémentaire  
sur GIT HUB "*

# Étude théorique

## a. Fonctionnement général

Un spectrohéliographe est un instrument scientifique utilisé pour étudier le Soleil. Il combine les principes de la spectroscopie et de l'héliographie pour analyser la lumière solaire de manière détaillée. Voici ce que cela implique :

**Spectroscopie :** Le spectrohéliographe utilise des éléments optiques, tels que des réseaux de diffraction, pour disperser la lumière solaire en ses différentes longueurs d'onde. Cela permet d'analyser le spectre solaire et d'identifier les raies d'émission caractéristiques des éléments présents dans le Soleil.

**Héliographie :** En même temps, le spectrohéliographe permet de capturer des images du Soleil à différentes longueurs d'onde. Ces images sont utilisées pour étudier la structure et l'activité de la surface solaire, y compris les taches solaires, les protubérances et les éruptions solaires.

En combinant spectroscopie et héliographie, il permet de cartographier les régions du Soleil où l'activité magnétique est intense, révélant ainsi la présence des taches solaires. Ces taches sont des zones sombres sur la surface du Soleil, associées à des champs magnétiques intenses, et leur observation est essentielle pour comprendre les variations de l'activité solaire et leur impact sur notre climat et nos communications.

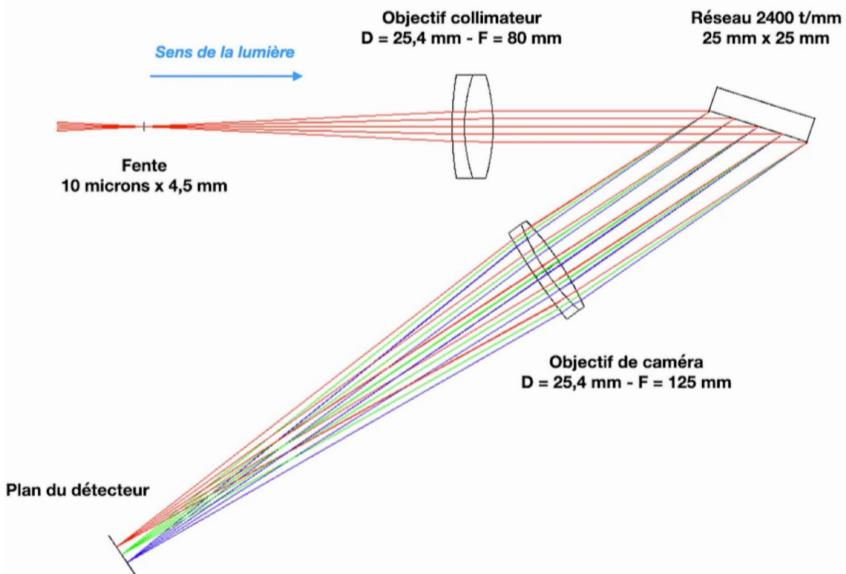
Le fonctionnement général d'un spectrohéliographe, repose sur plusieurs étapes, pour notre projet on a décidé de suivre la méthode du spectrohéliographe Sol'Ex.

Le processus commence par la collecte de la lumière solaire par un chercheur ou une lunette de guidage. La taille (focale) de celui-ci est essentielle pour garantir une concentration efficace de la lumière tout en minimisant les aberrations optiques.

Suite à cela les faisceaux lumineux sont limités par une fente qui permet de limiter l'intensité lumineuse pour éviter la dégradation du matériel optique utilisé.

La lumière solaire collectée est ensuite dirigée à l'infini avec une lentille collimateuse vers un réseau de diffraction. Ce dernier décompose la lumière en ses différentes longueurs d'onde, ce qui crée un spectre dispersé de la lumière solaire.

Après la décomposition spectrale, les différentes longueurs d'onde sont dirigées vers un système d'imagerie. Ce système inclut un doublet de lentilles achromatiques pour focaliser la lumière dispersée sur un détecteur d'image CMOS, qui enregistre l'image du Soleil à chaque longueur d'onde spécifique.



Un spectrophéliographe est conçu pour étudier la lumière solaire avec précision, utilisant une combinaison de composants optiques pour analyser le spectre solaire.

**La fente d'entrée :** La fente d'entrée permet de limiter la quantité de lumière qui entre dans le système. En restreignant la lumière à une zone étroite, elle permet de mieux contrôler le flux lumineux entrant dans les composants suivants de l'instrument.

**L'objectif collimateur :** Cet objectif a pour fonction de rendre les rayons lumineux parallèles entre eux. En rendant les rayons parallèles, il facilite le traitement et l'analyse de la lumière solaire par les composants suivants, en assurant une cohérence dans la direction des rayons.

**Le réseau à diffraction :** Le réseau à diffraction est l'un des éléments les plus importants de l'instrument. Il permet de disperser la lumière solaire en ses différents composants spectraux. Cela permet d'analyser la composition spectrale de la lumière solaire et de détecter les raies d'émission caractéristiques des éléments présents dans le Soleil.

**L'objectif caméra :** Cet objectif final focalise les rayons lumineux dispersés par le réseau dans le plan du détecteur. Il permet de capturer et d'enregistrer le spectre solaire pour une analyse ultérieure.

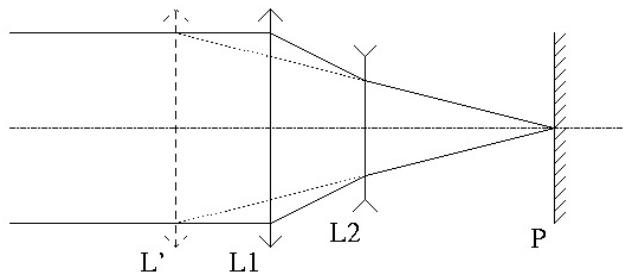
En combinant ces différents éléments optiques, on peut obtenir des informations détaillées sur la composition spectrale de la lumière solaire. La haute résolution spectrale obtenue grâce à ces instruments permet d'étudier les processus physiques se déroulant à la surface du Soleil et dans son atmosphère, ainsi que d'identifier les caractéristiques et les variations de la lumière solaire.

## b. Comportement du matériel optique

### Le chercheur ou la lunette de guidage

Principe : Faire converger les rayons lumineux provenant du soleil (à l'infinie) tout en conservant une focale et une taille d'appareil raisonnable. L'objectif est de créer un dispositif constitué d'une lentille convergente et d'une divergente qui remplacerait un lentille convergente ayant une focale trop importante (entre 200 et 1200 mm dans notre cas).

Tracé correspondant :



Le rayon arrivant sur L1 (convergente) étant parallèle à l'axe optique, il ressort de la lentille en coupant l'axe optique au foyer image  $F_1'$ .

Cependant on interpose une seconde lentille L2 (divergente) avant que le rayon ne coupe l'axe optique.

Puis, pour déterminer le rayon sortant de cette dernière, on trace le rayon parallèle passant par son centre optique et son plan focal image.

Détermination des paramètres :

Formules de Gullstrand :

$$V = V_1 + V_2 - \frac{e}{n_e} \cdot V_1 \cdot V_2$$

avec : - *e* la distance optique entre les deux lentilles

- *n<sub>e</sub>* l'indice de réfraction du milieu entre les deux lentilles (ici  $n_e=1$  puisque l'on est dans l'air)
- $V, V_1$  et  $V_2$  les vergences des lentilles  $L', L_1$  et  $L_2$  (rappel  $V=1/f'$ )

La formule de Gullstrand amène à une expression simple pour les distances focales du système en termes de l'intervalle optique, delta:

$$f' = -\frac{f'_1 \cdot f'_2}{\Delta}$$

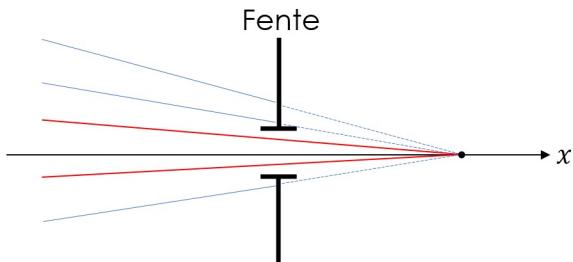
Ce qui nous donne un jeu de 5 paramètres et 2 équations.

On doit choisir 3 des paramètres suivants :  $f'$ ,  $f'_1$ ,  $f'_2$ , delta , e et calculer les 2 restant.

## La fente

### Principe :

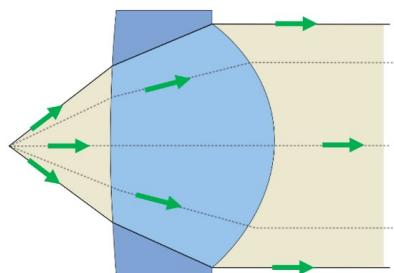
Elle sert ici à limiter l'intensité lumineuse provenant du soleil en coupant la trajectoire de certains rayons lumineux.



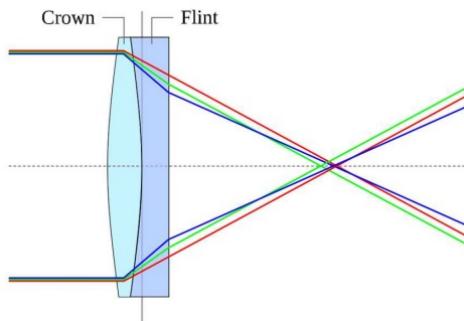
## Le collimateur

### Principe :

Un collimateur est un dispositif optique permettant d'obtenir un faisceau de rayons de lumière parallèles à partir d'une source de lumière.



Doublet de lentille : Il permet de limiter les aberrations chroniques c'est-à-dire de limiter la formation d'images différentes pour chacune des longueurs d'onde présentent dans le faisceau lumineux incident.



## Le réseau de diffraction

Principe : Un réseau de diffraction est un dispositif composé de lignes parallèles gravées sur une surface. Lorsque la lumière rencontre ce réseau, elle est diffractée et interagit avec ces lignes, créant des interférences optiques. Ces interférences provoquent une dispersion spectrale de la lumière, permettant de séparer la lumière en ses différentes longueurs d'onde constitutives.

Formule des réseaux par réflexion :

$$\delta = d \cdot (\sin \theta_i - \sin \theta_m)$$

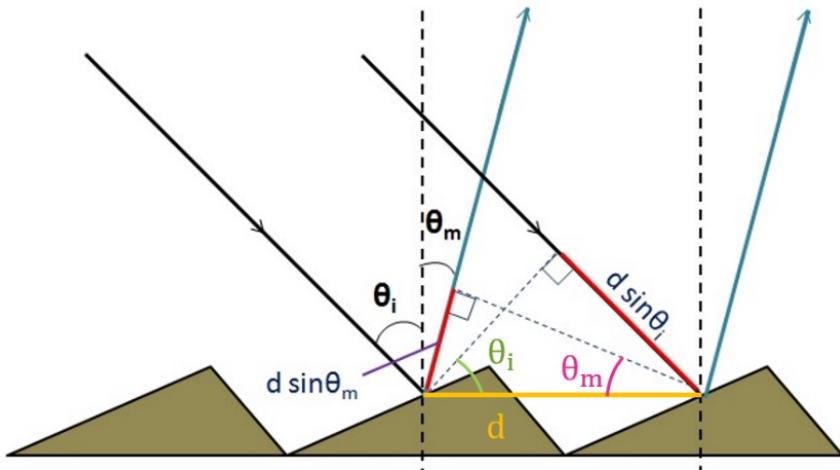
Ici, le réseau possède  $n=2400$  traits/mm d'où un pas de réseau :  $d=1/n$

L'onde lumineuse est :

- Totalement destructive si la différence de marche n'est pas multiple de la longueur d'onde :  $\delta \neq K\lambda$
- Constructive si la différence de marche est multiple de la longueur d'onde :  $\phi = 2K\pi = 2\pi/\lambda \delta \Rightarrow \delta = K\lambda$

Supposons l'onde constructive :  $\theta_i > 0$  et  $\theta_m > 0$

$$\sin \theta_m = \sin \theta_i - nK\lambda$$



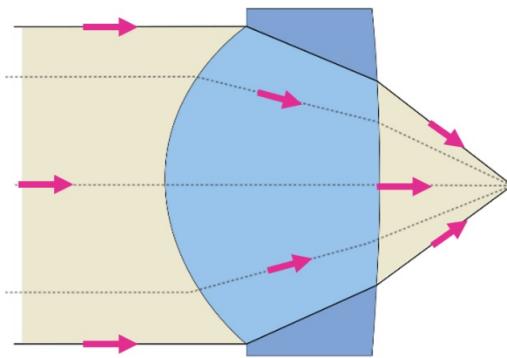
Détermination de l'intensité lumineuse :

Amplitude totale diffractée par une fente :

Les calculs associés à cette partie sont en lien dans le GIT HUB

## L'objectif

Principe : Comme pour le collimateur, on utilise un doublet de lentille mais dans l'autre sens cette fois-ci, pour faire converger les rayons lumineux.



## c. Simulation sur python

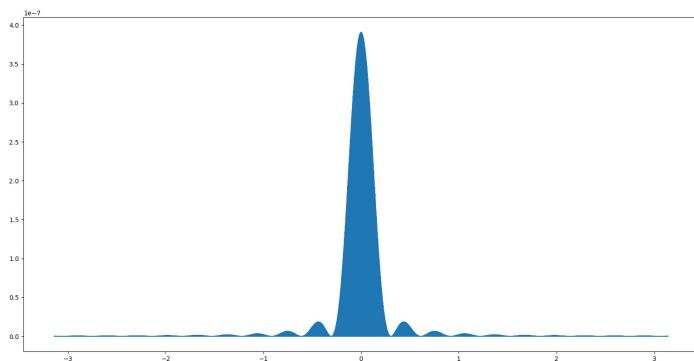
Une simulation python reprend les calculs et les tracés d'intensité lumineuse du réseau de diffraction sous forme de fonctions.

Le code correspondant est placé dans le **GIT HUB** associé.

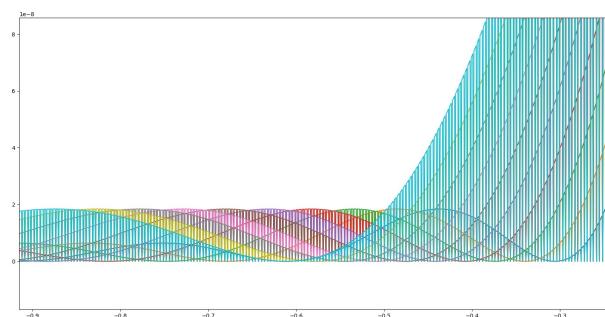
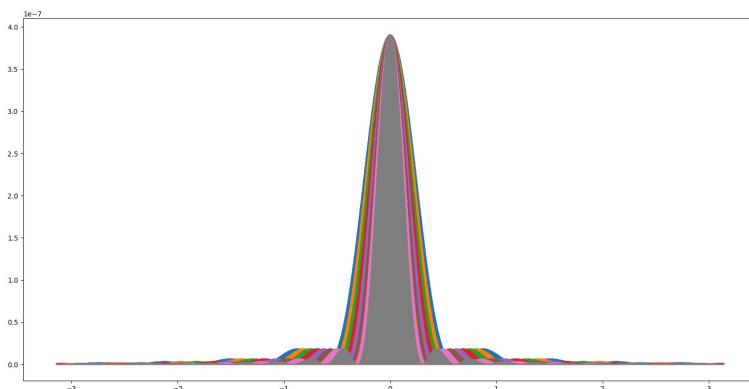
La deuxième image montre l'intensité lumineuse pour plusieurs longueurs d'ondes, la plus large étant pour  $\lambda = 800 \text{ nm}$ . On reconnaît l'allure d'un sinus cardinal modulé par un sinus cardinal (2ème image).

La troisième image montre la différence de la largeur de la bande du pic central pour  $\lambda = 400 \text{ nm}$  avec la forme de la courbe de l'intensité pour  $\lambda = 800 \text{ nm}$ .

## Pour une longueur d'onde donnée



## Pour plusieurs longueurs d'onde différentes



# Choix du matériel optique

## a. Le réseau

Vendeur : sheylak instrument

Propriétés : 24 traits/mm

Taille 25x 25 mm

Réseau holographique



## b. Les lentilles et la fente

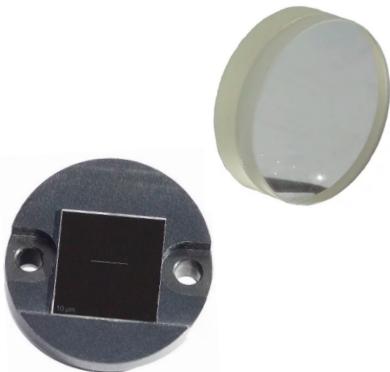
Vendeur : sheylak instrument

Propriétés : fente  $e = 10\mu\text{m}$  et  $l = 4,5 \text{ mm}$

Diamètre lentille = 25,4 mm

Lentille collimatrice  $f = 80\text{mm}$

Lentille objectif  $f = 125\text{mm}$



## c. La caméra

Nom de la caméra : ASI 462



Vendeur : la maison de l'astronomie

Propriétés caméra : taille = 5,6 x 3,2 mm

résolution = 1936x 1096 pixels

Dimension d'un pixel = 2,9x2,9 $\mu\text{m}$

Monochrome



Propriétés mise au point hélicoïdale : précision réglage = 0,1mm

Diamètre intérieur = 31,75mm

Ajustement = 6mm d'allonge

## d. Le chercheur

Nom du chercheur : Chercheur droit de Sky Watcher

Nom du filtre : Filtre neutre ND3 de Baader

Pour atténuer l'intensité lumineuse pour protéger le matériel optique et notamment la caméra



Vendeur : la maison de l'astronomie

Propriétés : chercheur grossissement = 9x

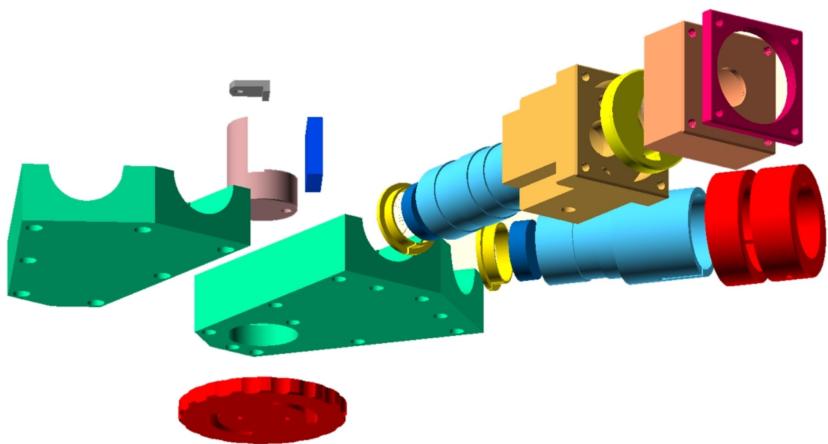
Filtre transmission = 0,1%, facteur d'atténuation=1000x



## Conception mécanique

### a. La structure en impression 3D

Matériaux utilisés : La quasi-totalité de notre structure mécanique a été faite sur des imprimante 3D dans notre école en polymère thermoplastique « **ABS** » noir. On a choisi d'utiliser ce matériaux car il est résistant à des fortes températures, puisque l'on concentre des faisceaux lumineux de forte intensité. De plus, on souhaite éviter toutes les réflexions possibles (qui pourrait venir perturber nos mesures), c'est pour cela que l'on utilise de la couleur noire.



De plus, pour la visserie on a utilisé des inserts de la marque Ruthex M3 et M4 ainsi que des vis de tailles suivantes : 40mm, 50mm, 30mm, 14mm , 12mm, 16mm , 8mm

Modèle mécanique : La structure est composée de trois grandes parties :

- **le boîtier** : il contient l'élément essentiel du spectrohéliographe « le réseau » et il permet de connecter les autres parties de la structure entre eux.



- **Le tube chercheur (collimateur)** : il s'agit du tube par lequel entre le premier rayon lumineux du soleil. Il est composé d'un filtre d'intensité lumineuse (pour ne pas abîmer la caméra avec une trop forte puissance lumineuse), d'un chercheur pour concentrer les rayons de lumière, d'une fente pour ne sélectionner qu'une partie des faisceaux lumineux, et d'un doublet de lentille collimateur.



- **Le tube caméra (objectif)** : il s'agit du tube par lequel ressort la lumière diffractée et séparée en longueur d'onde. Il est composé d'un doublet de lentille objectif, d'un système de mise au point hélicoïdale et de la caméra CMOS.



**L'ensemble :**

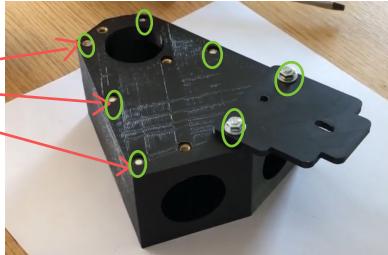


## b. L'assemblage

Le boîtier

[https://www.youtube.com/watch?v=pLR\\_FjGcIW4](https://www.youtube.com/watch?v=pLR_FjGcIW4)

Insert ajoutée à chaud

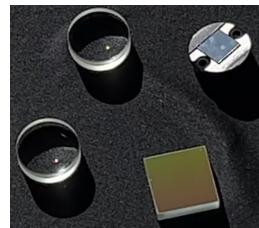


Ajout de vis longue de fixation



Emplacement pour le réseau

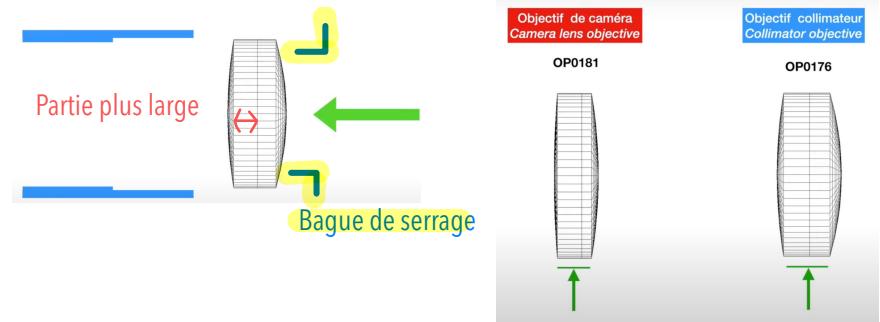
Insertion du matériel optique



## Insertion des lentilles dans les tubes collimateur et objectif



<https://www.youtube.com/watch?v=pBILZ7zOx9Q>



## Fixation de la fente



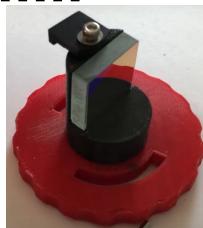
<https://www.youtube.com/watch?v=uWDqGreuWf0>

## Fixation du réseau

<https://www.youtube.com/watch?v=A6Y7kE2NPOA>



Bien lire les précautions à prendre



# Précaution à prendre avec le matériel optique

## Pour le réseau :

- Manipulez le réseau avec délicatesse pour éviter tout dommage, en évitant les chocs ou les chutes qui pourraient endommager sa surface gravée.
- Si nécessaire, portez des gants fins pour prévenir les empreintes digitales, mais évitez tout contact direct avec la surface gravée pour éviter les dommages. **Tout contact avec la surface gravée du réseau entraînera sa destruction.**



## Pour les lentilles :

- Manipulez les lentilles avec précaution, en évitant les chocs ou les chutes qui pourraient endommager les surfaces optiques.
- Utilisez uniquement un chiffon en **coton doux et propre pour nettoyer** délicatement les surfaces des lentilles, évitant les matériaux abrasifs ou chimiques.

## Pour la fente :

- Manipulez la fente avec précaution pour éviter toute déformation ou dommage, en évitant les chocs ou les contacts brusques.
- Si nécessaire, **nettoyez** délicatement la fente **avec un chiffon en coton propre** pour éviter les rayures, en évitant les matériaux abrasifs.

# Mise en place / réglage / mise au point et observation

## Sol'ex

Une fois le spectrohéliographe construit, il faut effectuer plusieurs réglages afin de l'utiliser convenablement. Voici un tableau indiquant l'impact du réglage de chaque partie du Sol'ex :

Partie du Sol'ex	But du réglage	Image
Bloc Caméra	Régler la netteté de l'image	
Molette spectre visible	Choisir la partie du spectre à observer	
Bloc Objectif	Régler la distance de la fente par rapport à la lentille objectif	



## SharpCap

SharpCap est un logiciel qui permet d'exploiter des caméras CMOS telles la ASI 462MM que nous avons choisi pour notre projet. Il permet notamment de visualiser l'image capturée par la caméra, de faire des réglages visuels (luminosité, contraste, gain, temps d'acquisition...). Mais il permet aussi d'enregistrer les captures vidéos ou photos. Les fichiers générés sont en .ser, un type de fichier permettant de stocker des séquences d'images. C'est un format de vidéo non compressé qui est couramment utilisé en astronomie qui est son domaine d'application original. Pour le télécharger: [SharpCap](#).

## Réglages



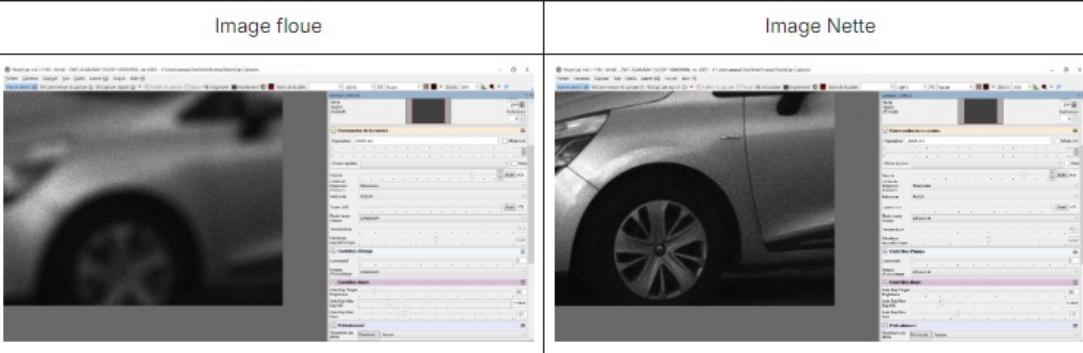
Pour faire correctement les captures et obtenir une image satisfaisante du Soleil, il faut effectuer des réglages des différents éléments du spectrohéliographe tout en utilisant le logiciel SharpCap afin d'avoir une image la plus exploitable possible.

Dans un premier temps, il faut faire la mise au point de la caméra. Après l'avoir connectée à l'ordinateur, il faut lancer SharpCap et choisir la caméra dont on veut observer la capture (généralement la seule visible dans l'onglet "Caméra").

Pour cette partie du réglage, il est préférable d'utiliser le bloc caméra seul (comme ci-contre) et de pointer un paysage (le plus lointain possible). L'image affichée à l'écran est probablement inexploitable. Un écran blanc signifie que le gain est trop fort, il faut le diminuer (Menu "Commande de la Caméra", curseur "Gagner" sur le côté). Au contraire, un écran noir peut être signe d'un gain trop faible, il faut dans ce cas augmenter la valeur du gain à l'aide du même curseur.

On peut aussi jouer sur d'autres paramètres, notamment le temps d'exposition (Menu "Commande de la Caméra" également). Un temps d'exposition trop élevé peut être la source d'un écran blanc, les capteurs CMOS ont trop de temps pour capter les photons ce qui a pour effet de diminuer la différence d'intensité lumineuse entre les pixels.

On peut aussi modifier la luminosité "Brightness" dans le menu "Contrôles divers" afin de mieux voir l'image. Une fois ces réglages effectués, il est très probable que l'image ne soit toujours pas exploitable ou intelligible, elle peut notamment être très bruitée... C'est pour cela que l'on faire le réglage du bloc caméra à l'aide de la mise au point Hélicoïdale. On tourne la molette afin d'obtenir une image nette.



Dans un second temps, il s'agit d'orienter l'appareil vers le Soleil. On peut déjà remettre le bloc caméra à sa place car dans cette partie, il faut utiliser l'appareil entier. Dans notre cas, nous avons utilisé un système SunScan, c'est à dire une barre en plastique imprimée en 3D avec deux bordures, l'une étant trouée. Lorsque l'Objectif est perpendiculaire au rayons du Soleil, ces derniers passent par le trou de la première bordure dont l'ombre est projetée par la seconde sur laquelle on fixe un morceau de papier. On cherche donc à placer le point lumineux au centre.

Ensuite, on peut connecter la caméra à l'ordinateur afin d'observer le spectre du Soleil (si toutefois l'appareil est bien orienté). Il est important pour ces observations d'ajouter le filtre afin de réduire considérablement (de 99%) l'intensité lumineuse du Soleil. Laisser les capteurs CMOS exposés à une lumière trop intense pendant plusieurs minutes aurait pour effet de les casser rendant de ce fait la caméra inutilisable. On peut maintenant régler la caméra sur SharpCap afin d'obtenir une image acceptable en utilisant les curseurs présentés précédemment. L'objectif est d'obtenir des raies spectrales nettes sur un faisceau au centre de l'image. Ce faisceau est le Soleil, on peut le voir défiler lentement sur l'écran.



## Raie H-alpha

On observe souvent le Soleil dans la raie H-alpha, une ligne spectrale correspondant à la transition de l'hydrogène atomique entre son état excitée et son état fondamental. Cette observation est particulièrement intéressante pour plusieurs raisons.

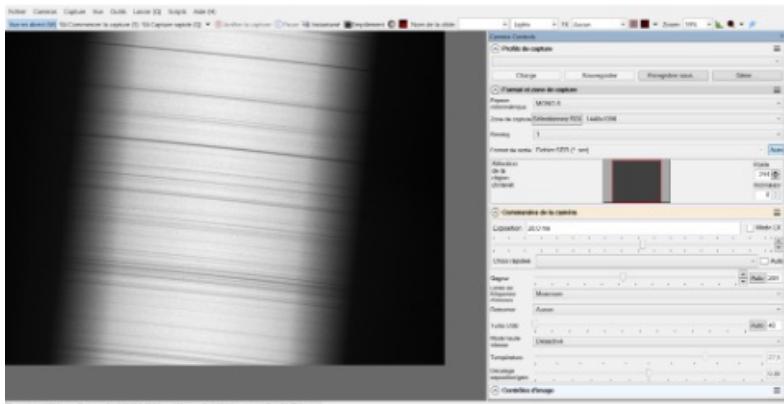
Tout d'abord, la raie H-alpha est située dans la partie rouge du spectre électromagnétique, ce qui la rend visible avec des instruments d'observation accessibles et répandus.

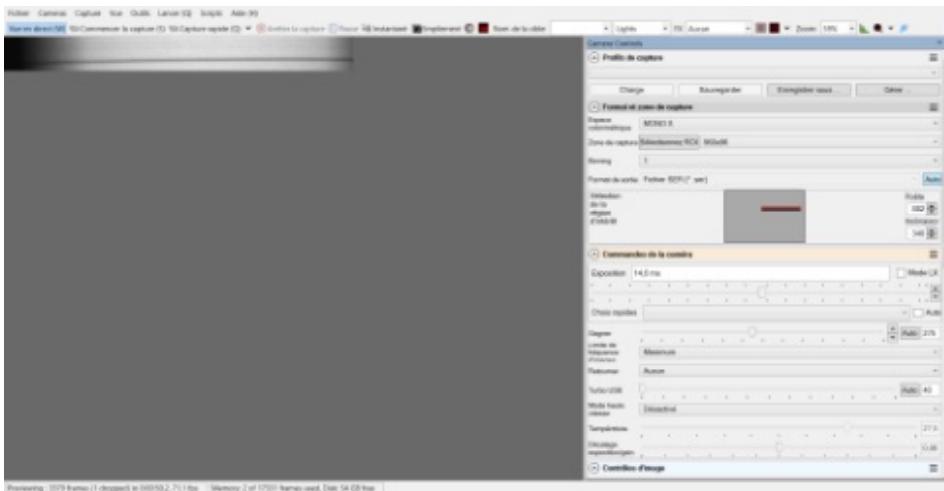
De plus, cette raie révèle des informations cruciales sur l'activité solaire, notamment les phénomènes d'éruptions et de tempêtes solaires.

En surveillant les variations de luminosité et de structure dans la raie H-alpha, les astronomes peuvent mieux comprendre les processus physiques se déroulant à la surface du Soleil, ce qui est essentiel pour prédire et comprendre les impacts potentiels de l'activité solaire sur notre environnement spatial et terrestre.

C'est pourquoi, dans le cadre de ce projet, nous nous intéressons à l'observation du Soleil dans cette raie. Pour orienter le réseau de manière à observer les images en raies H-alpha, on tourne la molette sur le bloc réseau afin de faire pointer la flèche sur la raie.

Sur SharpCap, on sélectionne une petite partie de l'image en hauteur, afin de n'avoir que (ou presque) la raie H-alpha au centre de la plage sélectionnée. On peut la reconnaître par son épaisseur plus importante que les autres raies et par le fait qu'elle soit particulièrement sombre.





## Observations du Soleil

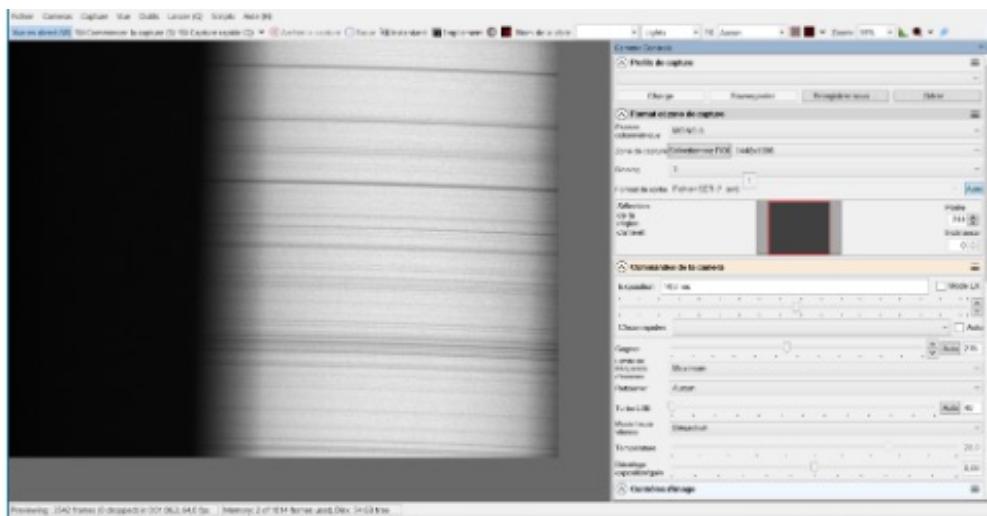
On peut maintenant observer le Soleil, il faut trouver une fenêtre de 3 minutes environ pendant lesquelles il n'y a pas de nuages devant le Soleil afin qu'il défile entièrement devant la fente.

On l'observe de cette manière dans son intégralité dans la raie H-alpha. Lors du défillement du Soleil, on peut voir apparaître certaines tâches, ce sont en fait des tâches solaires!

L'outil capture permet de faire une capture pendant le défillement du Soleil. Il faut cependant veiller à deux points importants, le premier étant d'orienter l'appareil de manière à devancer légèrement la rotation du Soleil afin de l'observer en entier.

Le second est de lancer et arrêter la capture au moment où le Soleil commence à défiler devant l'objectif jusqu'à ce qu'il ait finit de défiler.

Les fichiers obtenus à partir de ces captures sont en .ser, sous Linux, on peut les ouvrir avec [ser-player](#). Sous Windows, on peut utiliser [avistack](#) ou directement [Inti](#) qui permet de reconstruire l'image du Soleil.



## Traitement et analyse d'image

Voir le dossier « traitement » sur GIT HUB

# Partage des résultats

Une page internet [heliotrek.wordpress.com](http://heliotrek.wordpress.com) a été réalisée

## Page d'accueil

22:03 Mardi 16 avril Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois

Mon site Lecteur [Écrire](#) [Mise à niveau](#)

 HélioTrek Accueil Culture Astro Spectrohéliographie Observation News Analyse

« Chaque étoile est un univers à explorer. »  
Carl Sagan

## Notre projet

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un projet de recherche et innovation à l'ENSEA. Notre objectif est de partager nos recherches sur l'observation du Soleil afin de mieux comprendre notre étoile. Mais surtout, nous vous proposons un voyage d'initiation et d'exploration dans le monde de l'astronomie et de l'héliosismologie.



22:04 Mardi 16 avril Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois

Mon site Lecteur [Écrire](#) [Mise à niveau](#)

 Projet HélioTrek

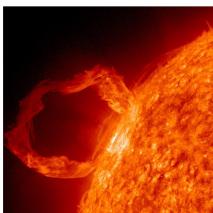
## Bon Voyage !!

1. La représentation optique  
Représentation du modèle optique, avec le choix des composants utilisés, ainsi que l'étude de leurs propriétés et calcul de leurs valeurs optiques.
2. La conception de l'instrument  
Conception du bon instrument avec l'assemblage des pièces 3D et leur assemblage. Et l'ajout des composants optiques.
3. L'observation  
Réglage de l'appareil, prise de mesure, enregistrement du spectre et reconstitution image.
4. L'analyse  
Analyse d'image à la recherche des tâches solaires.
5. Le partage  
Partage de nos résultats et de notre démarche avec la création d'un site internet.

22:04 Mardi 16 avril Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois

Mon site Lecteur [Écrire](#) [Mise à niveau](#)

 Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois



## Comprendre les éruptions solaires

Les éruptions solaires sont des événements soudains et intenses qui se produisent à la surface du Soleil, libérant d'énormes quantités d'énergie sous forme de particules chargées et de rayonnements électromagnétiques. Ces phénomènes peuvent influencer les communications et les réseaux électriques sur Terre, d'où l'importance de les étudier en météorologie spatiale.

Culture Astro

Image : ©NASA



## Le spectroheliographe

Il s'agit d'un instrument astronomique qui analyse la lumière solaire en différentes longueurs d'onde pour déterminer la composition, la température et les mouvements de l'atmosphère solaire, fournant ainsi des informations précieuses sur le Soleil.



22:04 Mardi 16 avril Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois

Mon site Lecteur [Écrire](#) [Mise à niveau](#)

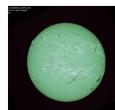
 Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois



## Exemples d'image

« Regardez profondément dans la nature et vous comprendrez tout mieux »

Albert Einstein :



22:05 Mardi 16 avril Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois

Mon site Lecteur [Écrire](#) [Mise à niveau](#)

 Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois

## Quelques News



Eclipse solaire



Aurores boréales

Ajouté le 30 Mars 2024

Ajouté le 30 Mars 2024

22:05 Mardi 16 avril Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois

Mon site Lecteur Mise à niveau

Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois



## Notre école : L'ENSEA

L'ENSEA, Ecole Nationale Supérieure de l'électronique et des Applications, est un établissement d'enseignement supérieur prestigieux, situé à Cergy-Pontoise, dans la région parisienne. Fondée en 1952, elle se distingue par son expertise dans les domaines de l'électronique, des télécommunications et de l'informatique.

Les domaines d'études couverts incluent l'électronique analogique et numérique, les systèmes embarqués, les réseaux et télécommunications, l'informatique et les technologies de l'information.

À l'ENSEA, les étudiants profitent d'une formation équilibrée entre théorie et pratique, avec des projets concrets, des travaux pratiques et des stages. Cette approche les prépare efficacement à une carrière dans les technologies de pointe, tant en France qu'à l'international.

22:05 Mardi 16 avril Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois

Mon site Lecteur Mise à niveau

## Contactez-nous

Notre école  
Ecole Nationale Supérieure de l'Électronique de ses Applications (ENSEA)  
6 Avenue du Ponceau  
95000 Cergy FRANCE

Contactez-nous  
mayane.guillon@ensea.fr  
anton.chendea@ensea.fr

22:05 Mardi 16 avril Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois

Mon site Lecteur Mise à niveau

Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois

## Qui sommes nous ?

### Mayane GUILLON

Etudiante à l'ENSEA en électronique avec des connaissances approfondies en électronique analogique et numérique, et des spécialisations en microélectronique et conception générale pour les systèmes embarqués. Issue d'une formation généraliste en Science Physique avec une classe préparatoire PCSI/PCP,

je suis passionnée par les sciences depuis toujours, plus particulièrement avec la compréhension du univers par l'astrophysique mais aussi avec la compréhension des objets qui nous entourent par l'électronique.

Etant en école d'ingénieur d'électronique, je souhaite en découvrant plus sur un domaine qui n'est pas enseigné à l'école, « l'optique ». Le projet de réaliser un spectrohéliographe pour observer le soleil correspondait donc avec ce qui me plait.

### Anton CHENDEA

Etudiant à l'ENSEA en informatique, je compte me diriger vers une dernière année orientée IA et cybersécurité tout particulièrement dans le domaine de la cryptologie. Avant l'ENSEA, j'étais en prépa MPSI/MP à Dijon.

Je m'intéresse depuis plusieurs années par l'astronomie, tout particulièrement par l'observation du Soleil et le phénomène des éruptions solaires. Ce qui m'intéresse le plus est l'analyse d'images et la reconnaissance des tâches permettant d'interpréter les phénomènes se produisant sur notre étoile.

Ce projet était l'occasion pour moi de découvrir le monde de l'observation astronomique en fabriquant en objet le permettant. J'aime aussi partager ce que je découvre, c'est aussi la raison qui m'a poussé vers ce projet d'initiation et de vulgarisation scientifique.

22:05 Mardi 16 avril Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois

Mon site Lecteur Mise à niveau

Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois

## Quelques liens bibliographiques

Eruptions Solaire  
National Géographique  
Wikipedia  
Gds  
Futura Science

Spectrohéliographe  
Projet Sol'Ex  
Spectrohéliographe de Meudon  
Loïka  
Calcul spectrohéliographe

Traitement d'image  
Base solaire BASS2000  
SunPy  
avstack  
ShareCap  
Insti

Calcul optiques  
Réseau : Edmond Optics  
Réseau : Calcul  
Téléobjectif

HélioTrek 2024 @Guillon Mayane @Chendea Anton. Tous droits réservés.

Accueil Culture Astro Spectrohéliographe Observation News

Powered by WordPress.com

22:05 Mardi 16 avril Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois

Mon site Lecteur Mise à niveau

Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois

## Culture d'Astronomie

### Les éruptions solaires



22:06 Mardi 16 avril Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois

Mon site Lecteur Mise à niveau

## Qu'est-ce qu'une éruption solaire ?

Une éruption solaire est un événement violent qui se produit à la surface du Soleil. Elle est généralement associée à une libération soudaine et intense d'énergie provenant de la couronne solaire, la fine atmosphère externe du Soleil. Ces éruptions peuvent prendre plusieurs formes, notamment les éruptions de classe C, M et X, en fonction de leur intensité mesurée par les émissions de rayons X.

Lors d'une éruption solaire, d'immenses quantités d'énergie sont libérées sous forme de rayonnement électromagnétique, de particules chargées et de plasma. Ces éjections peuvent être observées sous différentes formes, telles que les éjections de masse coronaire (EMC), où des milliards de tonnes de matière solaire sont éjectées dans l'espace à des vitesses élevées.



## Les conséquences sur Terre

Les éruptions solaires peuvent avoir des conséquences significatives sur la Terre et ses technologies. L'une des conséquences les plus courantes est la perturbation des communications radio et des systèmes de navigation par satellite. Les particules chargées émises lors des éruptions solaires peuvent également interagir avec la magnétosphère terrestre, déclenchant des tempêtes géomagnétiques.

Ces tempêtes peuvent entraîner des courants électriques dans les réseaux électriques terrestres, ce qui peut endommager les transformateurs et les équipements électriques sensibles. De plus, les tempêtes géomagnétiques peuvent également perturber les opérations des satellites en orbite et causer des dysfonctionnements dans les systèmes de navigation par satellite et de communication.

## Comment les détecter ?

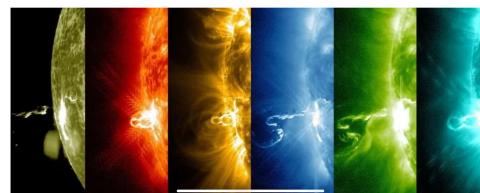
Les éruptions solaires sont surveillées à l'aide d'observatoires solaires terrestres et spatiaux, ainsi que de satellites en orbite autour de la Terre. Ces instruments utilisent une variété de techniques d'observation, notamment la spectroscopie, l'imagerie et la détection des émissions de rayonnement solaire dans différentes longueurs d'onde.

Les éruptions solaires peuvent être détectées en surveillant les changements dans l'activité solaire, tels que l'apparition de taches sombres, les éruptions de rayons X et les éjections de masse coronaire. Les données recueillies sont ensuite analysées pour évaluer l'intensité et le potentiel impact des éruptions sur la Terre.

## Comment les classer ?

Les éruptions solaires sont classées en fonction de leur intensité et de leur énergie, généralement mesurées par les émissions de rayons X solaires. La classification la plus courante divise les éruptions en trois catégories principales : les éruptions de classe C (de faible intensité), les éruptions de classe M (d'intensité moyenne) et les éruptions de classe X (les plus intenses).

Cette classification permet aux scientifiques de mieux comprendre la nature et l'impact potentiel des éruptions solaires. Elle fournit également des informations précieuses pour les prévisionnistes météorologiques spatiaux, qui peuvent ainsi évaluer les risques potentiels pour les technologies terrestres et spatiales.



## Page spectrohéliographique

## Instrument Astronomique

*Le spectrohéliographe*



Mon site Lecteur

Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois

Mise à niveau

## SharpCap

SharpCap est un logiciel qui permet d'exploiter des caméras CMOS telles la ASI 462MM que nous avons choisi pour notre projet. Il permet notamment de visualiser l'image capturée par la caméra, de faire des réglages visuels (luminosité, contraste, gain, temps d'acquisition...). Mais il permet aussi d'enregistrer les captures vidéos ou photos. Les fichiers générés sont en .scr, un type de fichier permettant de stocker des séquences d'images. C'est un format de vidéo non compressé qui est couramment utilisé en astronomie qui est son domaine d'application original. Pour le télécharger: [SharpCap](#).

### Sol'ex

Une fois le spectrohéliographe construit, il faut effectuer plusieurs réglages afin de l'utiliser convenablement. Voici un tableau indiquant l'impact du réglage de chaque partie du Sol'ex :

Partie du Sol'ex	But du réglage	Image
Bloc Caméra	Régler la netteté de l'image	
Molette spectre visible	Choisir la partie du spectre à observer	
Bloc Objectif	Régler la distance de la fente par rapport à la lentille objectif	



...

peut être signe d'un gain trop faible, il faut dans ce cas augmenter la valeur du gain à l'aide du même curseur. On peut aussi jouer sur d'autres paramètres, notamment le temps d'exposition (Menu « Commande de la Caméra » également). Un temps d'exposition trop élevé peut être la source d'un écran blanc, les capteurs CMOS ont trop de temps pour capter les photons ce qui a pour effet de diminuer la différence d'intensité lumineuse entre les pixels. On peut aussi modifier la luminosité « Brightness » dans le menu « Contrôle divers » afin de mieux voir l'image. Une fois ces réglages effectués, il est très probable que l'image ne soit toujours pas exploitable ou intelligible, elle peut notamment être très brûlée... C'est pour cela que l'on faire le réglage du bloc caméra à l'aide de la mise au point Hélicoïdale. On tourne la molette afin d'obtenir une image

Ensuite, on peut connecter la caméra à l'ordinateur afin d'observer le spectre du Soleil (si toutefois l'appareil est bien orienté). Il est important pour ces observations d'ajouter le filtre afin de réduire considérablement (de 99%) l'intensité lumineuse du Soleil. Laisser les capteurs CMOS exposés à une lumière trop intense pendant plusieurs minutes aurait pour effet de les casser rendant de ce fait la caméra inutilisable. On peut maintenant régler la caméra sur SharpCap afin d'obtenir une image acceptable en utilisant les curseurs présentés précédemment. L'objectif est d'obtenir des raies spectrales nettes sur un faisceau au centre de l'image. Ce faisceau est le Soleil, on peut le voir défiler lentement sur l'écran.



Mon site Lecteur

Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois

Mise à niveau

## Réglages

Pour faire correctement les captures et obtenir une image satisfaisante du Soleil, il faut effectuer des réglages des différents éléments du spectrohéliographe tout en utilisant le logiciel SharpCap afin d'avoir une image la plus exploitable possible.

Dans un premier temps, il faut faire la mise au point de la caméra. Après l'avoir connectée à l'ordinateur, il faut lancer SharpCap et choisir la caméra dont on veut observer la capture (généralement la seule visible dans l'onglet « Caméra »). Pour cette partie du réglage, il est préférable d'utiliser le bloc caméra seul (comme ci-contre) et de pointer un paysage (le plus loin possible). L'image affichée à l'écran est probablement inexploitable. Un écran blanc signifie que le gain est trop fort, il faut le diminuer (Menu « Commande de la Caméra », curseur « Gagner » sur le côté). Au contraire, un écran noir peut être signe d'un gain trop faible, il faut dans ce cas augmenter la valeur du gain à l'aide du même curseur. On peut aussi jouer sur d'autres paramètres, notamment le temps d'exposition (Menu « Commande de la Caméra » également). Un temps d'exposition trop élevé peut être la source d'un

Dans un second temps, il s'agit d'orienter l'appareil vers le Soleil. On peut déjà remettre le bloc caméra à sa place car dans cette partie, il faut utiliser l'appareil entier. Dans notre cas, nous avons utilisé un système SunScan, c'est à dire une barre en plastique imprimé en 3D avec deux bordures, l'une étant trouée. lorsque l'objectif est perpendiculaire au rayons du Soleil, ces derniers passent par le trou de la première bordure dont l'ombre est projetée par la seconde sur laquelle on fixe un morceau de papier. On cherche donc à placer le point lumineux au centre.

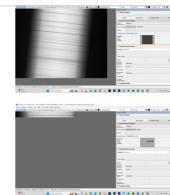
Ensuite, on peut connecter la caméra à l'ordinateur afin d'observer le spectre du Soleil (si toutefois l'appareil est bien orienté). Il est important pour ces observations d'ajouter le filtre afin de réduire considérablement (de 99%) l'intensité lumineuse du Soleil.

Mon site Lecteur

Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois

Mise à niveau

molette afin d'obtenir une image nette.



## Observation s du Soleil

On peut maintenant observer le Soleil, il faut trouver une fenêtre de 3 minutes environnées pendant lesquelles il n'y a pas de nuages devant le Soleil afin qu'il défile entièrement devant la fente. On observe de cette manière dans son intégralité dans la raie H-alpha. Lors du défilé du Soleil, on peut voir apparaître certaines tâches, ce sont en fait des tâches solaires! L'outil capture permet de faire une capture pendant le défilé du Soleil. Il faut cependant veiller à deux points importants, le premier étant d'orienter l'appareil de manière à dévier légèrement la rotation du Soleil afin de l'observer en entier. Le second est de lancer et arrêter la capture au moment où le Soleil commence à dévier devant l'objectif jusqu'à ce qu'il finit de dévier.

Les fichiers obtenus à partir de ces captures sont en .scr, sous Linux, on peut les ouvrir avec [scr-player](#). Sous

## Raie H-alpha

On observe souvent le Soleil dans la raie H-alpha, une ligne spectrale correspondant à la transition de l'hydrogène atomique entre son état excité et son état fondamental. Cette observation est particulièrement intéressante pour plusieurs raisons. Tout d'abord, la raie H-alpha est située dans la partie rouge du spectre électromagnétique, ce qui la rend visible avec des instruments d'observation accessibles et répandus. De plus, cette raie révèle des informations cruciales sur l'activité solaire, notamment les phénomènes d'éruptions et de tempêtes solaires. En surveillant les variations de luminosité et de structure dans la raie H-alpha, les astronomes peuvent

Mon site Lecteur



Mise à niveau

Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois

excitée et son état fondamental. Cette observation est particulièrement intéressante pour plusieurs raisons. Tout d'abord, la raire H-alpha est située dans la partie rouge du spectre électromagnétique, ce qui la rend visible avec des instruments d'observation accessibles et répandus. De plus, cette raire révèle des informations cruciales sur l'activité solaire, notamment les phénomènes d'éruptions et de tempêtes solaires. En surveillant les variations de luminosité et de structure dans la raire H-alpha, les astronomes peuvent mieux comprendre les processus physiques se déroulant à la surface du Soleil, ce qui est essentiel pour prédire et comprendre les impacts potentiels de l'activité solaire sur notre environnement spatial et terrestre. C'est pourquoi, dans le cadre de ce projet, nous nous intéressons à l'observation du Soleil dans cette raire. Pour orienter le réseau de manière à observer les images en raires H-alpha, on tourne la molette sur le bloc réseau afin de faire pointer la flèche sur la raire.

Sur SharpCap, on sélectionne une petite partie de l'image en hauteur, afin de n'voir que (ou presque) la raire H-alpha au centre de la plage sélectionnée. On peut la reconnaître par son épaisseur plus importante que les autres raies et par le fait qu'elle soit particulièrement sombre.

solaires! L'outil capture permet de faire une capture pendant le défillement du Soleil. Il faut cependant veiller à deux points importants, le premier étant d'orienter l'appareil de manière à devancer légèrement la rotation du Soleil afin de l'observer en entier. Le second est de lancer et arrêter la capture au moment où le Soleil commence à défilé devant l'objectif jusqu'à ce qu'il ait finit de défilé.

Les fichiers obtenus à partir de ces captures sont en .ser, sous Linux, on peut les ouvrir avec ser-player. Sous Windows, on peut utiliser avastack ou directement Im2 qui permet de reconstruire l'image du Soleil.



## Page News

Mon site Lecteur



Mise à niveau

Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois

## News

*Toute l'actualité du Soleil  
ici !!*



« Observer le soleil, c'est comme lire le livre de la vie en direct, chaque jour une nouvelle page se tourne. »

Albert Einstein

## Éclipse solaire

Aura lieu le 8 avril 2024

Un Phénomène Céleste à Ne Pas Manquer !!

Le 8 avril 2024 marquera un événement astronomique spectaculaire, avec l'occurrence d'une éclipse solaire totale. Ce phénomène céleste captivant promet de captiver les regards du monde entier alors que la Lune se placera directement entre la Terre et le Soleil, obscurcissant

### Où et Quand Observer ?

L'éclipse solaire du 8 avril 2024 traversera une grande partie de l'Amérique du Nord, offrant aux habitants des États-Unis, du Canada et du Mexique une opportunité unique d'assister à ce phénomène naturel. Les principaux points de la trajectoire de la totalité incluent la ville d'Austin, la



Mon site Lecteur

Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois



Mon site Lecteur

Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois



# Éclipse solaire

Aura lieu le 8 avril 2024

## Un Phénomène Céleste à Ne Pas Manquer !!

Le 8 avril 2024 marquera un événement astronomique spectaculaire avec l'occurrence d'une éclipse solaire totale. Ce phénomène céleste captivant promet de captiver les regards du monde entier alors que la Lune se placera directement entre la Terre et le Soleil, obscurcissant temporairement notre étoile et plongeant certaines régions dans l'obscurité.

Site NASA

Site National Géographique

Site Futura Science

## Où et Quand Observer ?

L'éclipse solaire du 8 avril 2024 traversera une grande partie de l'Amérique du Nord, offrant aux habitants des États-Unis, du Canada et du Mexique une opportunité unique d'assister à ce phénomène naturel. Les principaux points de la trajectoire de la totalité incluent la ville d'Austin au Texas, la ville de Little Rock en Arkansas, et la ville d'Indianapolis dans l'Indiana, ainsi que plusieurs autres villes situées dans cette bande.

## Conseils pour une Observation Sûre

Il est crucial de prendre des précautions lors de l'observation d'une éclipse solaire pour protéger vos yeux. Regarder directement le Soleil peut causer des lésions oculaires graves et permanentes. Il est donc recommandé d'utiliser des lunettes de protection spéciales ou des filtres solaires certifiés pour observer l'éclipse. Ne jamais regarder directement le Soleil sans protection, même pendant une éclipse partielle.

## Opportunité pour la Recherche Scientifique

Outre l'aspect spectaculaire, les éclipses solaires fournissent également une occasion unique pour les scientifiques d'étudier l'atmosphère solaire et de recueillir des données précieuses sur le Soleil. Des

## Que Signifie une Éclipse Solaire Totale ?

Une éclipse solaire totale se produit lorsque la Lune, dans son orbite autour de la Terre, passe entre celle-ci et le Soleil, obscurcissant complètement la lumière solaire directe. Pendant quelques précieuses minutes, les observateurs situés dans la zone de totalité peuvent profiter d'un spectacle céleste époustouflant, où le jour se transforme en nuit et où les étoiles peuvent même être visibles en plein jour.



## Que Signifie une Éclipse Solaire Totale ?

Une éclipse solaire totale se produit lorsque la Lune, dans son orbite autour de la Terre, passe entre celle-ci et le Soleil, obscurcissant complètement la lumière solaire directe. Pendant quelques précieuses minutes, les observateurs situés dans la zone de totalité peuvent profiter d'un spectacle céleste époustouflant, où le jour se transforme en nuit et où les étoiles peuvent même être visibles en plein jour.



## Conseils pour une Observation Sûre

Il est crucial de prendre des précautions lors de l'observation d'une éclipse solaire pour protéger vos yeux. Regarder directement le Soleil peut causer des lésions oculaires graves et permanentes. Il est donc recommandé d'utiliser des lunettes de protection spéciales ou des filtres solaires certifiés pour observer l'éclipse. Ne jamais regarder directement le Soleil sans protection, même pendant une éclipse partielle.

## Opportunité pour la Recherche Scientifique

Outre l'aspect spectaculaire, les éclipses solaires fournissent également une occasion unique pour les scientifiques d'étudier l'atmosphère solaire et de recueillir des données précieuses sur le Soleil. Des équipes de recherche et d'observation se préparent déjà à capturer des images et à collecter des données pendant cette éclipse afin d'approfondir notre compréhension des phénomènes solaires.

## Un Rappel Historique

Les éclipses solaires ont fasciné les civilisations humaines depuis des millénaires, inspirant des mythes, des légendes et des observations scientifiques. En 1919, l'éclipse solaire totale a fourni une opportunité pour confirmer la théorie de la relativité générale d'Albert Einstein, en observant la déviation de la lumière des étoiles à proximité du Soleil.

Mon site Lecteur

Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois



Mon site Lecteur

Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois



# Les aurores boréales et la météo

Période d'observation : de septembre à mars

## Un Spectacle Céleste aux Effets Surprenants !!

Les aurores boréales, ces magnifiques lumières dansantes qui ornent le ciel nocturne des régions polaires, sont bien plus que de simples phénomènes visuels. Des chercheurs spécialisés en météo spatiale de l'université d'Oulu, en Finlande, ont révélé comment ces merveilles célestes peuvent influencer de manière significative la météo terrestre, notamment en Europe durant l'hiver.

Site Recherche Finlandaise

Site Futura Science

Site Météo Paris

## L'Effet sur la Météo Européenne

Cet appauvrissement de l'ozone a pour conséquence directe d'intensifier le vortex polaire, un puissant tourbillon d'air froid qui règne au-dessus de l'Arctique. Cette intensification conduit à une augmentation des températures dans le nord de l'Europe, apportant ainsi une relative douceur durant la saison hivernale. En revanche, lorsque les aurores boréales se font rares et que peu de particules énergétiques frappent notre atmosphère, le vortex polaire s'affaiblit, pouvant même se briser complètement. Cela entraîne alors l'écoulement d'air froid de l'Arctique vers le sud, provoquant des vagues de froid sur le continent européen.

## Implications Surprenantes

Les recherches soulignent l'importance de comprendre l'interaction complexe entre les

## Implications Surprenantes

Les recherches soulignent l'importance de comprendre l'interaction complexe entre les phénomènes célestes et les conditions météorologiques terrestres. En Finlande, par exemple, la variabilité des précipitations de particules énergétiques, associée aux aurores boréales, représente jusqu'à 14 % du niveau moyen de consommation électrique hivernal. Elle explique également jusqu'à 50 % des variations interannuelles de la consommation d'électricité. Ces découvertes mettent en lumière l'impact significatif des aurores boréales sur notre environnement et nos sociétés.



## Où et Quand Observer ?

Les aurores boréales sont principalement visibles dans les régions proches des pôles, comme en Scandinavie, en Islande, au Groenland, au Canada et en Alaska. Cependant, elles peuvent parfois être observées à des latitudes plus basses, y compris au nord de la France lors d'éruptions solaires intenses. Pour les voir, choisissez des endroits éloignés des lumières des villes, de préférence pendant les mois de septembre, octobre, février et mars, lorsque les nuits sont les plus longues.

# Page analyse

22:10 Mardi 16 avril      heliotrek.wordpress.com      35 %

Mon site Lecteur

Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois

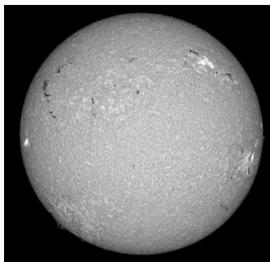
Mise à niveau

## Analyse

Que faire de toutes ces données?

### Image reconstruite :

L'observation du Soleil ne se limite pas juste aux raies H-alpha, on peut tester d'autres parties du spectre, notamment les raies CaII ou encore H-Beta. Bien que les images obtenues soient en noir et blanc, on peut utiliser un script Python afin de les recoloriser en fonction de la couleur correspondant à la raie dans laquelle l'observation a été réalisée.



L'image colorisée peut être réalisée avec astropy à l'aide

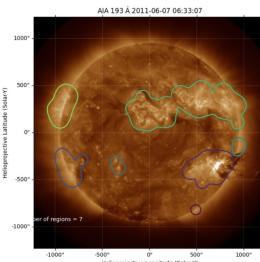
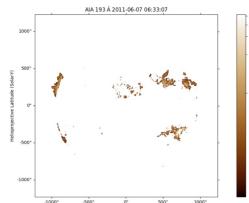
22:10 Mardi 16 avril      heliotrek.wordpress.com      35 %

Mon site Lecteur

Mettez à niveau votre plan pour supprimer la bannière et débloquer d'autres fonctionnalités, à partir de 4 €/mois

Mise à niveau

L'image colorisée peut être analysé sous python à l'aide de la librairie SunPy qui permet notamment de détecter des tâches solaires, lieux primordiaux d'activité, notamment dans le cadre d'analyse d'éruptions. Il faut cependant avoir une image en .fits, un type de fichier couramment utilisé dans l'analyse solaire. Voici un exemple d'utilisation de la librairie SunPy avec un fichier pré-importé dans la librairie, disponible sur [github](#).



Pour comprendre mieux comment fonctionne le réseau, et comprendre l'influence de l'angle de diffraction sur l'intensité lumineuse, voici un petit [script python](#).