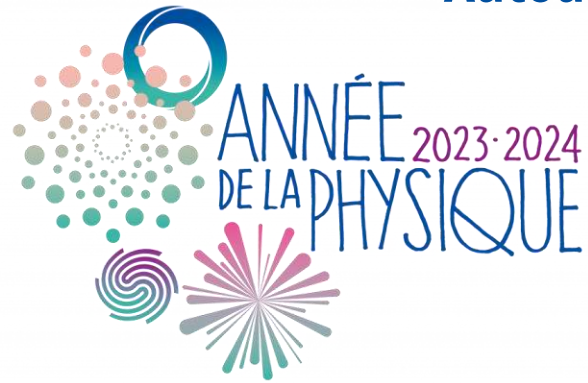


# Autour de la Semaine européenne de la météo de l'espace



## Le Soleil au lycée

Frédéric Pitout

[frederic.pitout@irap.omp.eu](mailto:frederic.pitout@irap.omp.eu)

# Sommaire

- Le Soleil, qu'est-ce que c'est ?
- Pourquoi les scientifiques s'intéressent-ils (encore) au Soleil et qu'entend-on par « météo de l'espace » ?
- Pourquoi parler du Soleil en classe ? Les points des programmes en lien avec le Soleil.
- Exemples d'activités
- Quelques mots sur le concours « L'espace fait sa météo »
- Ressources

# Le Soleil est une étoile

## Définitions d'étoile :

- (Larousse) Astre doué d'un **éclat propre**, dû aux **réactions thermonucléaires** dont il est le siège ;
- (CNRTL) Astre brillant de sa **propre lumière**, observable sous la forme d'un point scintillant, **sans mouvement apparent** ;
- (CNRTL) Usuel, par extension : tout astre brillant (étoile ou planète) autre que le soleil et la lune ; **NON !**
- (Robert) Astre producteur et émetteur d'énergie ;
- (Robert) courant : tout astre visible, excepté le Soleil et la Lune ; point brillant dans le ciel, la nuit ; **NON !**
- (Wikipedia) Une étoile est un corps céleste **plasmatique** et **autogravitant** qui rayonne sa **propre lumière** par réactions de **fusion nucléaire**, ou des corps qui ont été dans cet état à un stade de leur **cycle de vie**.

## Discussion sur les termes :

- **Éclat propre, rayonne sa propre lumière** : oui mais... C'est valable pour la lumière dite « visible » ;
- **Réactions thermonucléaires, fusion nucléaire** : source d'énergie des étoiles, des petits atomes fusionnent pour donner des plus gros ce qui s'accompagne d'une libération d'énergie (lumineuse entre autres) ;
- **Sans mouvement apparent** : oui mais... De quel mouvement parle-t-on ? Au mieux, c'est valable aux petites échelles de temps ;
- **Plasmatique** : fait de plasma (un gaz très chaud aux propriétés particulières) ;
- **Autogravitant** : qui se maintient sous l'effet de son propre poids ;
- **Cycle de vie** : le « carburant » peut changer au cours de l'évolution d'une étoile et quand il n'y a plus de carburant elle s'éteint de manière plus ou moins cataclysmique.



# Soleil et météorologie de l'espace

Le Soleil, ce n'est pas seulement une source de lumière et de chaleur



Image: Burkhard Mücke (CC BY-SA 4.0)



Image: Shailsh Telang (CC BY-SA 4.0)

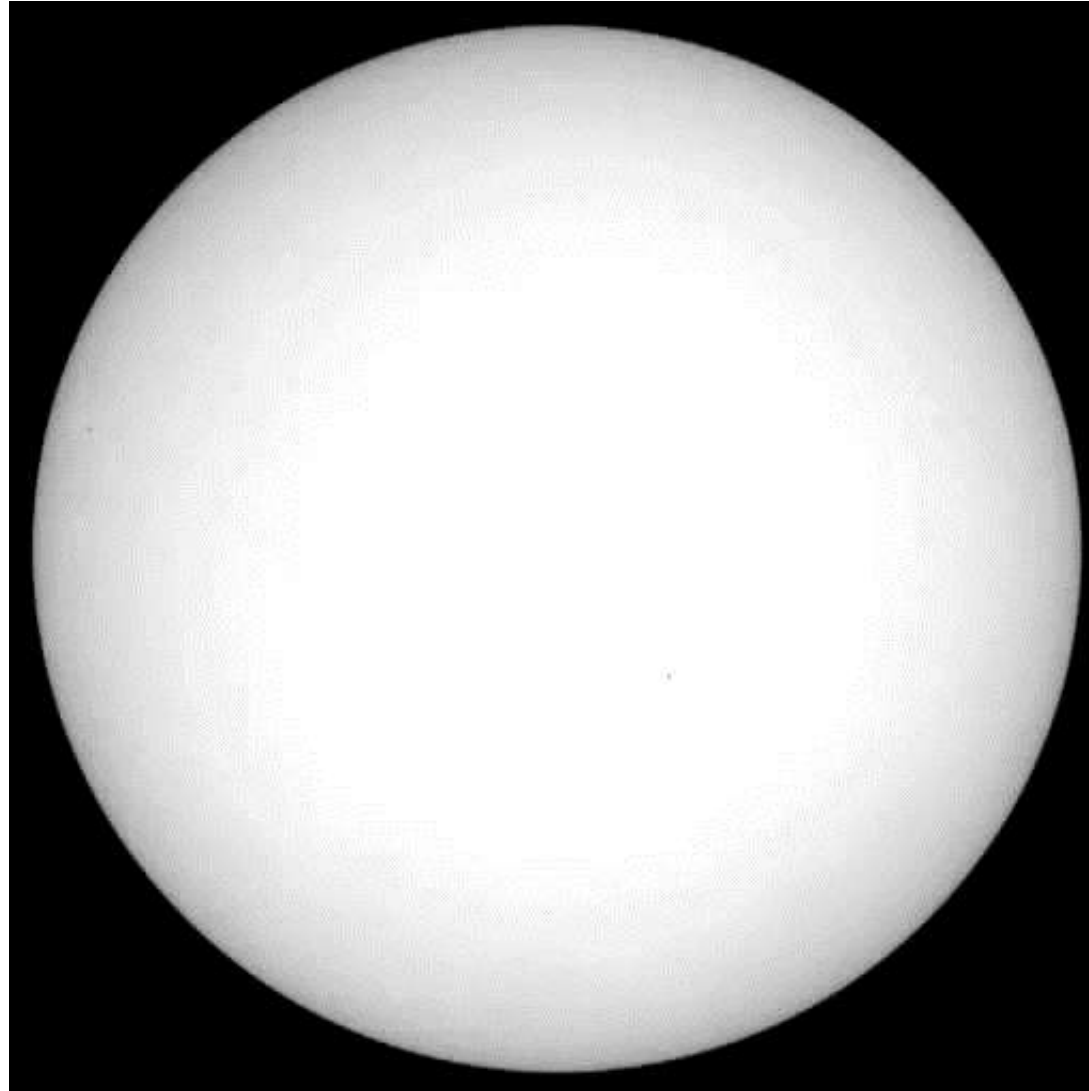


Image: Guilhem Vellut (CC BY-SA 4.0)



## Soleil et météorologie de l'espace (2)

Le Soleil, c'est aussi une étoile active qui éjecte continuellement de sa propre matière (vent solaire) de manière plus ou moins « calme ».

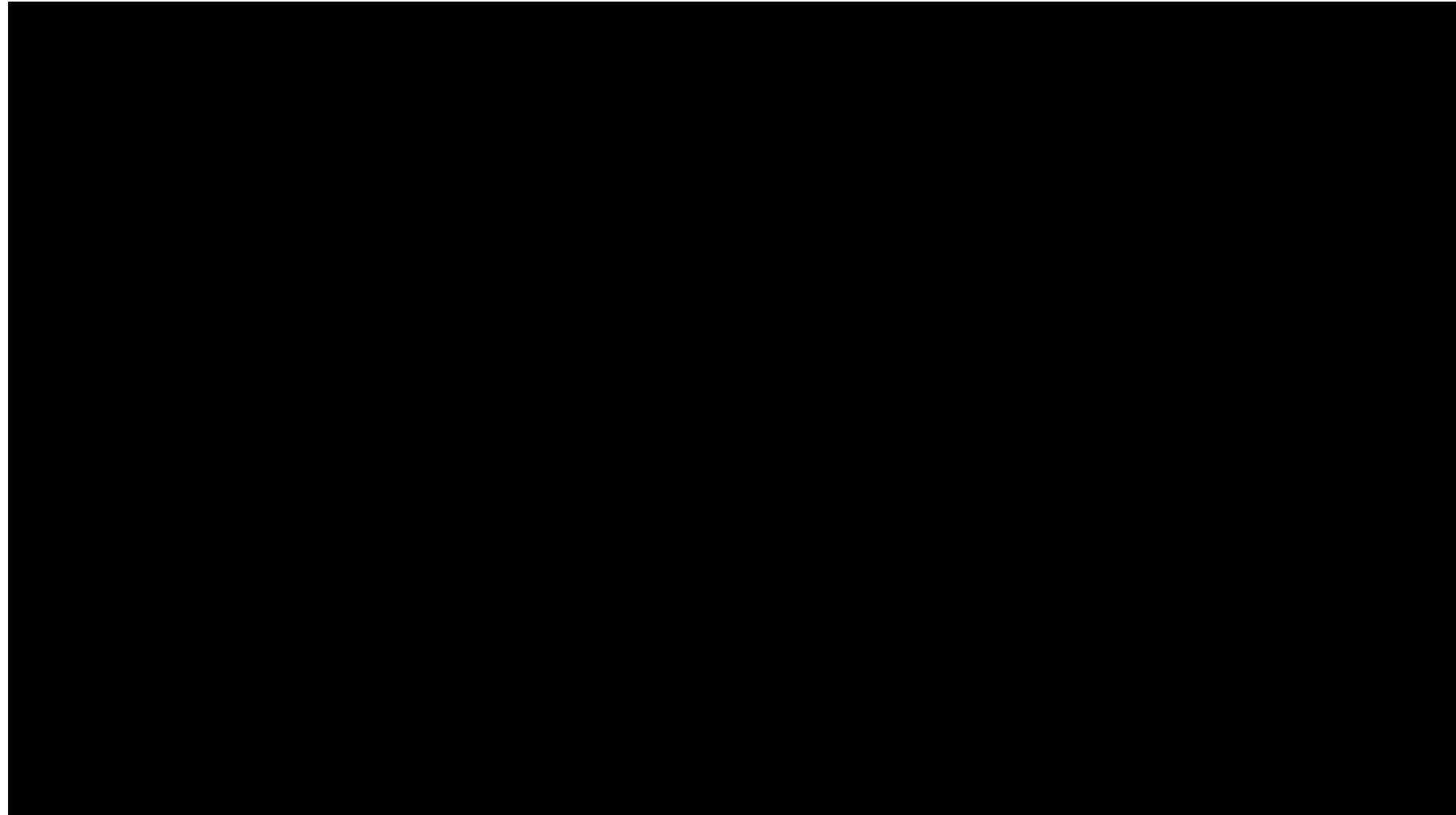


Compilation d'images de l'observatoire spatial SoHO (Esa/Nasa)

<https://soho.nascom.nasa.gov/gallery/Movies/10th/Spectacular.mpg>

# Soleil et météorologie de l'espace (3)

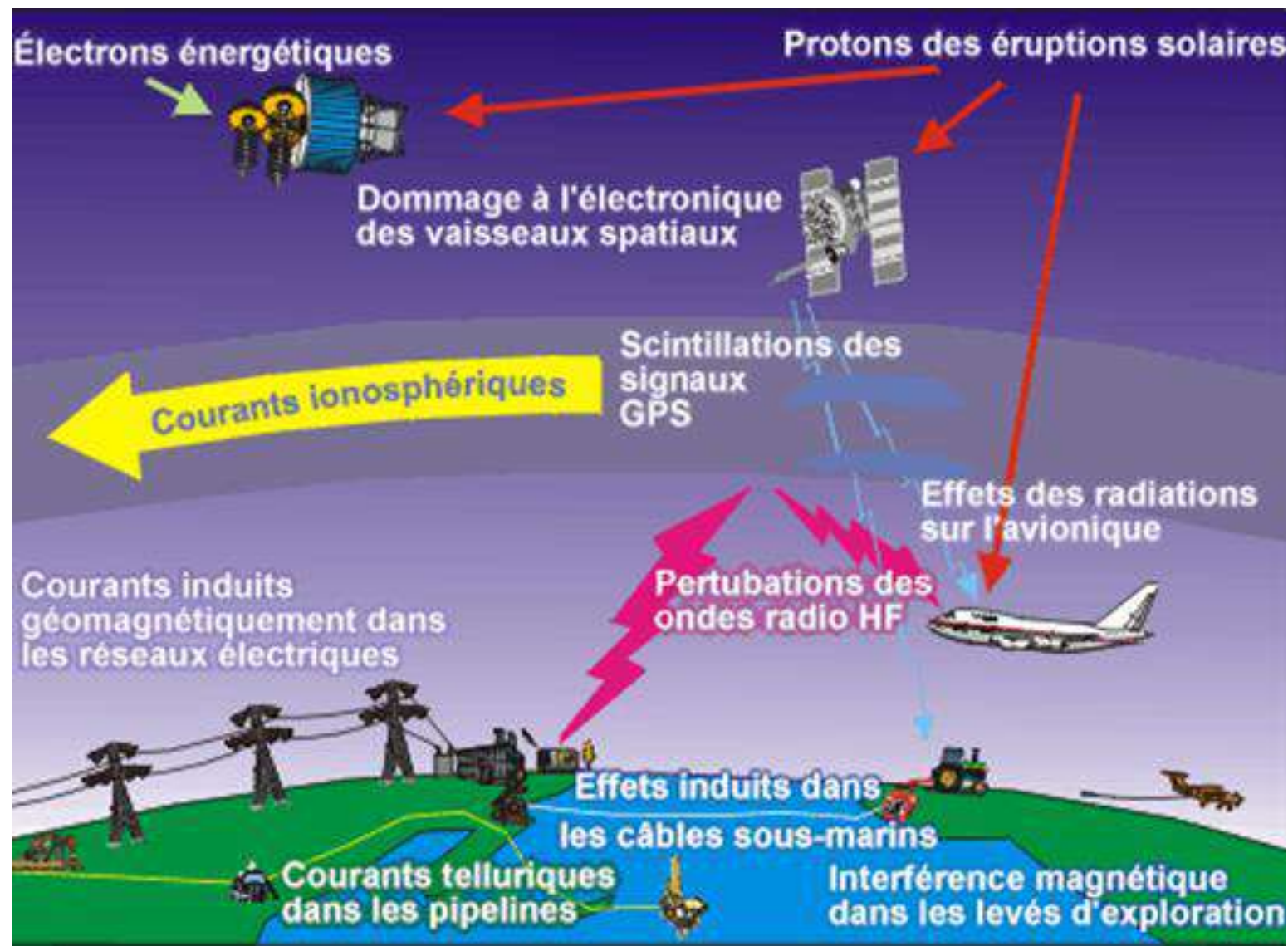
Vent solaire qui affecte tout l'environnement solaire (héliosphère), dont la Terre. Il provoque les belles aurores polaires...



## Soleil et météorologie de l'espace (4)

... et des conséquences moins désirables !

D'où un besoin de prévoir l'activité solaire et ses effets.





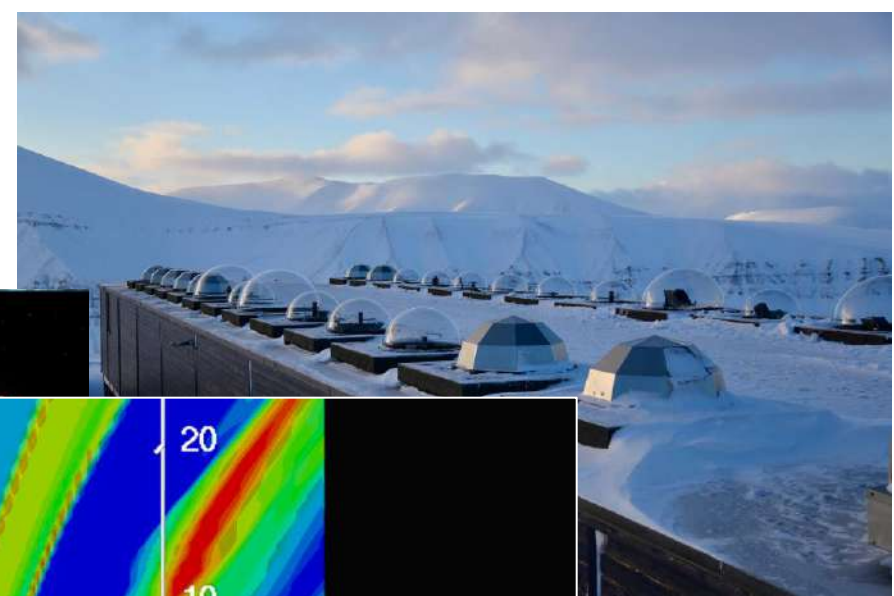
# Soleil et météorologie de l'espace (5)

Comment étudie-t-on le Soleil et ses effets ?

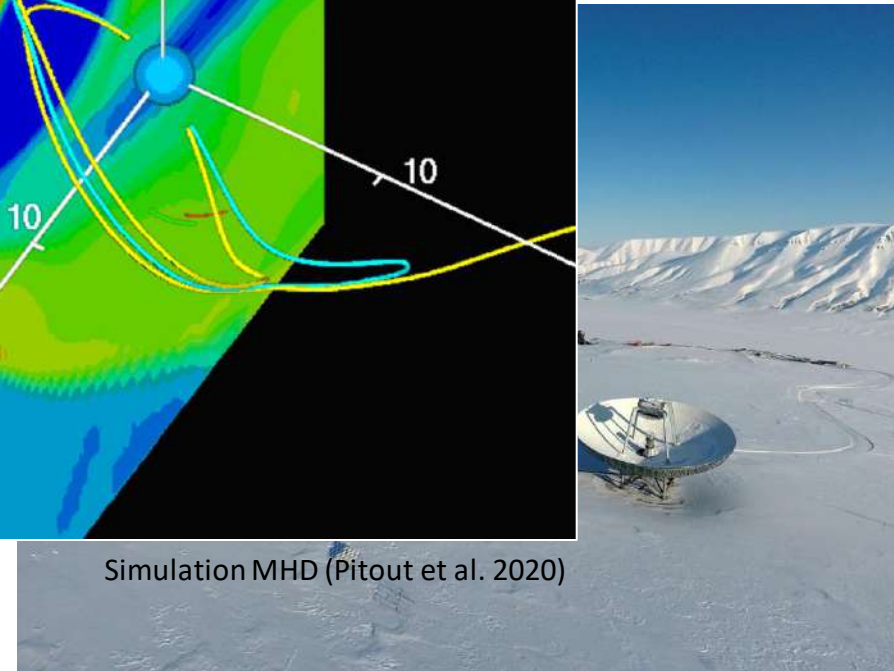
En observant le Soleil

En observant l'environnement spatial

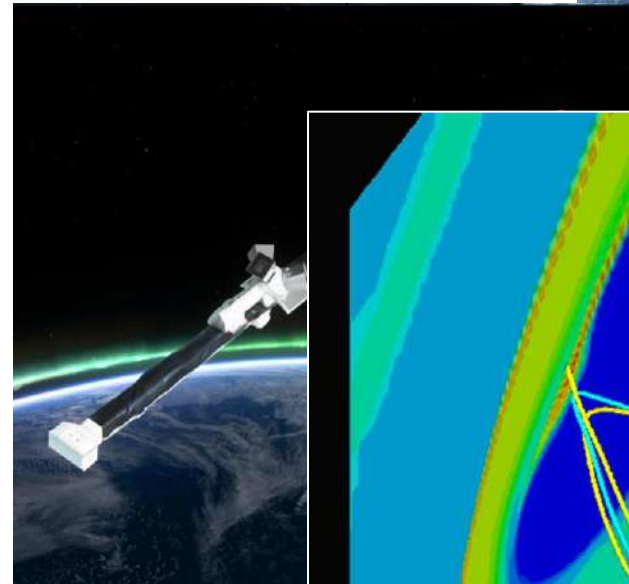
Par la modélisation numérique



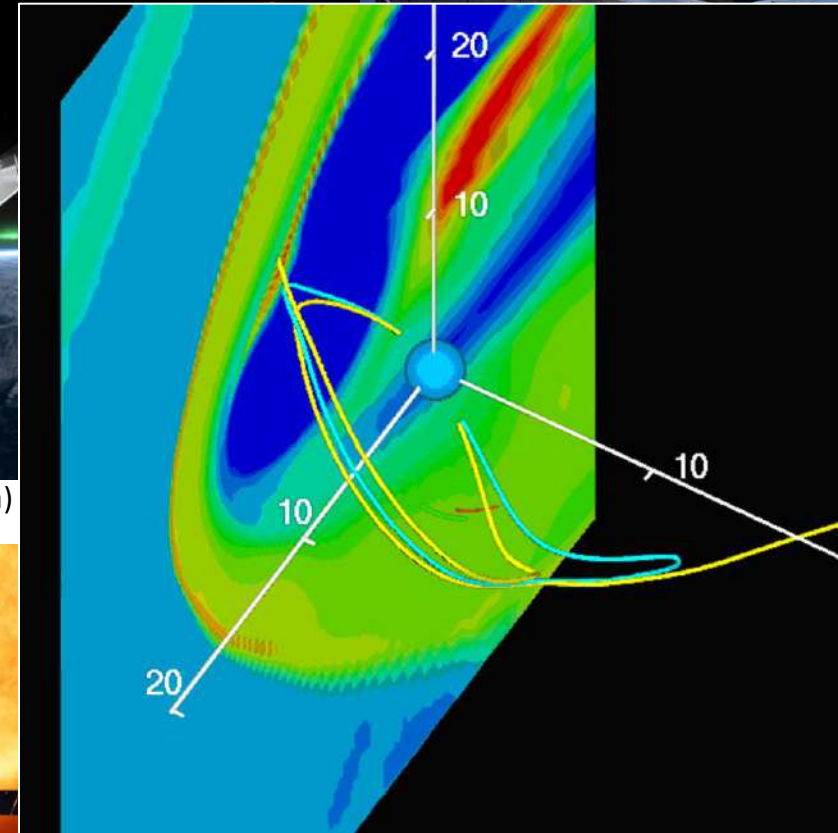
Radars Eiscat au Svalbard (KHO/UNIS)



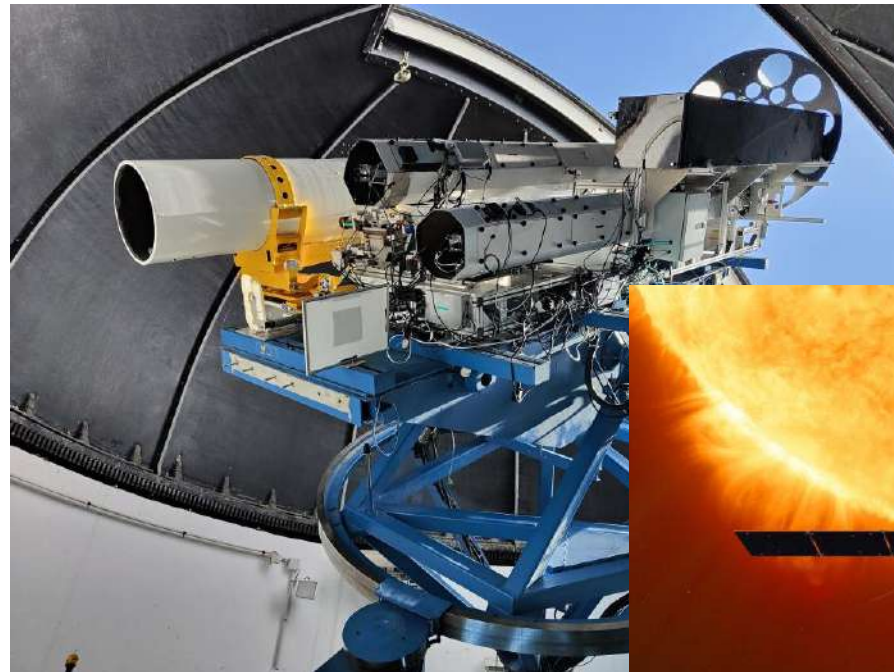
Radars Eiscat au Svalbard (image : C. Heinselmann)



Satellites Swarm (Esa)



Simulation MHD (Pitout et al. 2020)



Climso au pic du Midi (image : F. Vaissière)



Solar orbiter (Esa)



# Soleil et météorologie de l'espace (6)

Quels effets ? Quelques exemples concrets.

The image displays three overlapping web pages related to space weather events:

- Left Page (Ciel & espace):** Shows a section titled "SpaceX" with a large image of a rocket launch. The page header includes social media icons and navigation links like "LE MAGAZINE", "ENQUÊTES", and "REPORTAGE".
- Middle Page (The Local):** A news article titled "'Solar storm' grounds Sweden's planes". It features a large image of a solar flare erupting from the sun. The article text states: "Planes were grounded at some of Sweden's busiest airports because of a 'solar storm' interfering with air traffic control, a spokesman said. No aircraft were allowed to take off from airports to a massive geomagnetic solar flare storm caused by a coronal mass ejection (CME) from the sun. Ulf Wallin, press spokesperson at Swedavia, the airports, told TT that airports at Landvetter in Gothenburg and Stockholm were affected."
- Right Page (The Washington Post):** A news article titled "The scary Halloween solar storm of 2003: a warning for today's space weather". It features a large image of a witch silhouette flying on a broomstick against a background of the aurora borealis. The article text states: "Ten years ago, the sun provided an unexpected extra dimension to the tricks and treats of Halloween. The trick was a solar-terrestrial nightmare coming to life. The treat was a spectacular aurora 'with green phantom 'northern lights' seen as far south as Texas and Florida'." It also includes a "MOST READ LOCAL" section with various news items and a "Today's Headlines" section.

# Activité solaire et climat

L'activité solaire n'explique pas le changement climatique actuel.

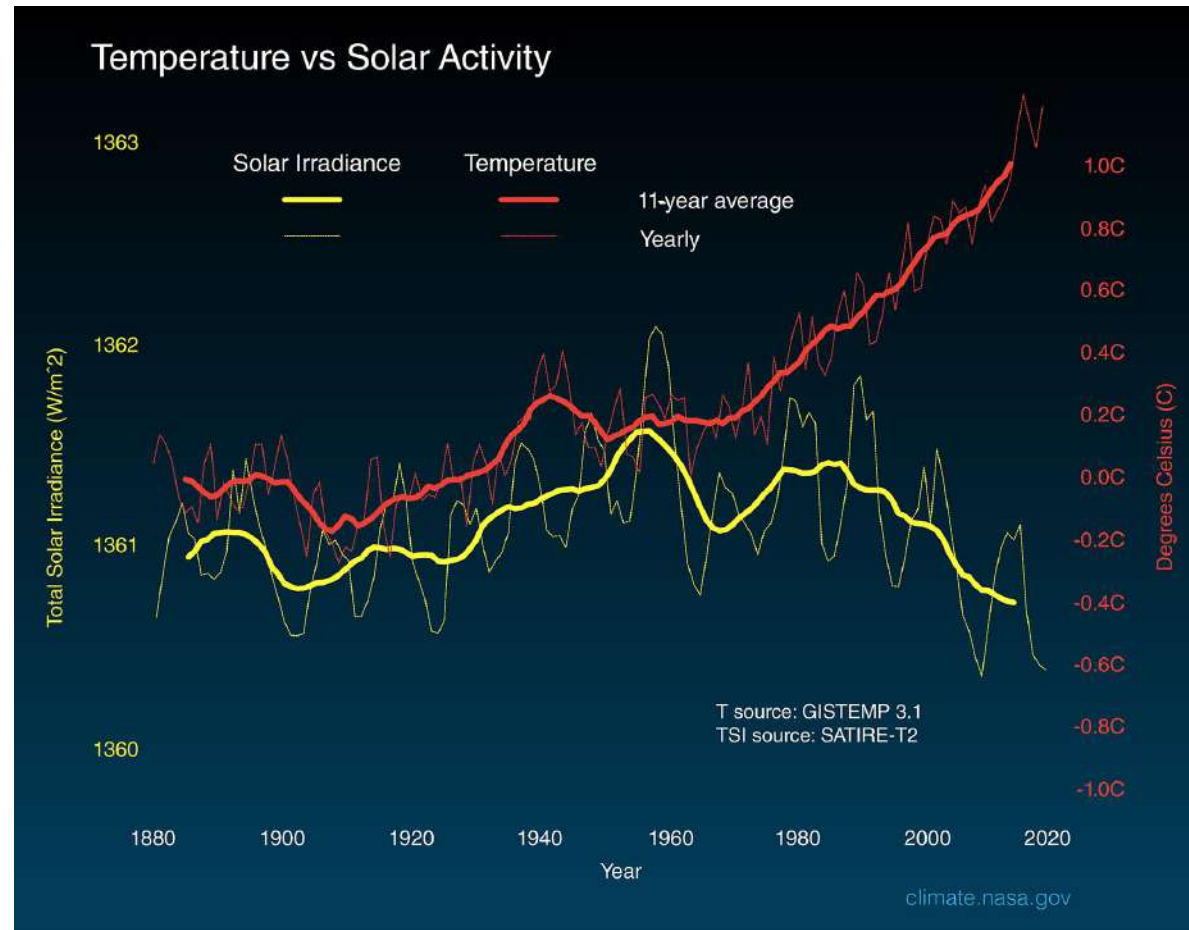


Image : Nasa

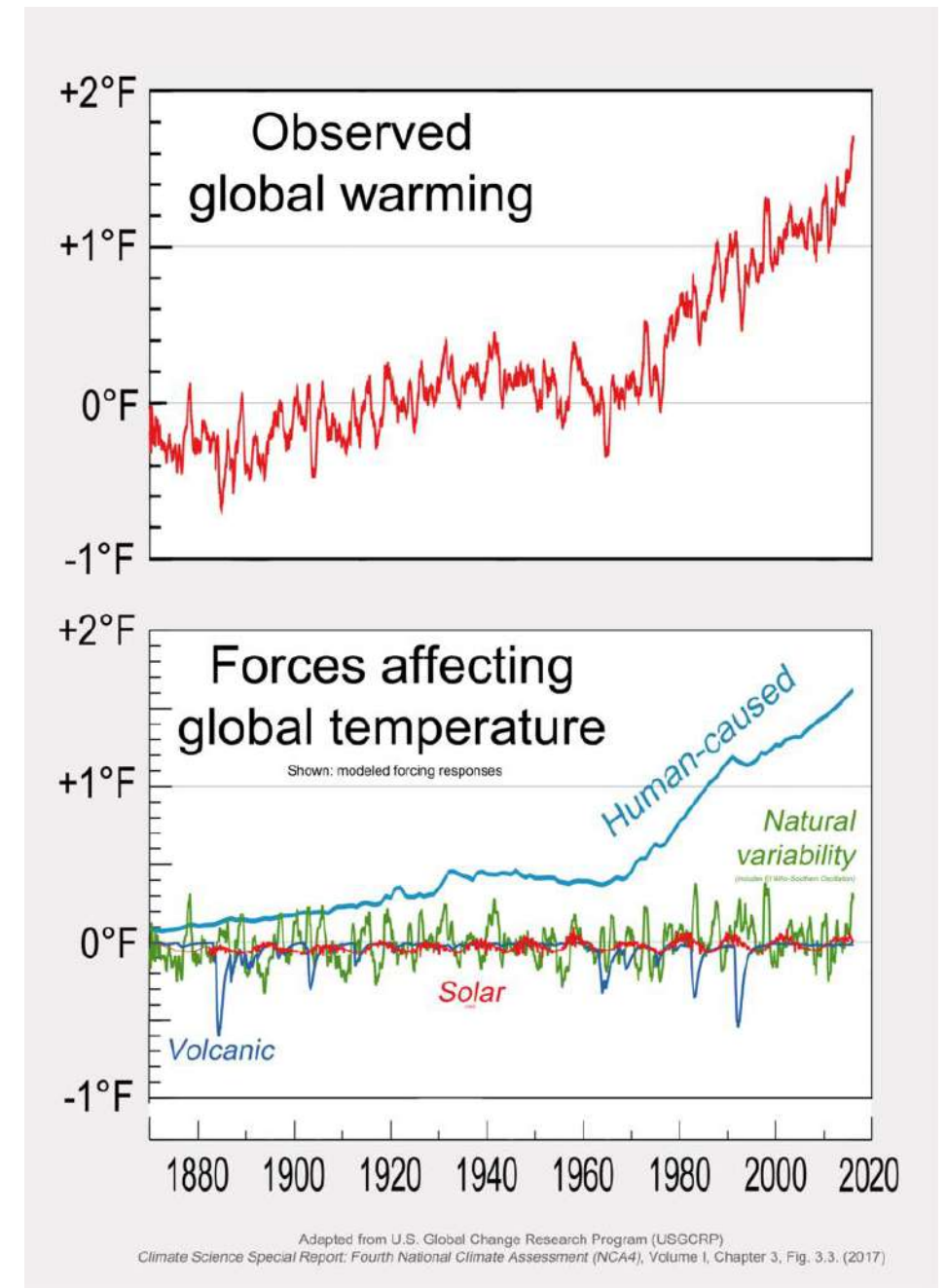


Image : US Global Change Research Program

# Le Soleil en seconde

Documents de référence : <https://www.education.gouv.fr/les-programmes-du-lycee-general-et-technologique-9812>

- Constitution et transformations de la matière

- Relier l'énergie convertie dans le Soleil et dans une centrale nucléaire à des réactions nucléaires.
- Aspects énergétiques des transformations nucléaires : Soleil, centrales nucléaires.

- Mouvement et interactions

- Référentiel et relativité du mouvement
- Utiliser l'expression vectorielle du poids d'un objet, approché par la force d'interaction gravitationnelle s'exerçant sur cet objet à la surface d'une planète.

- Ondes et signaux

- Propagation rectiligne de la lumière (...)
- Vitesse de la lumière dans le vide ou dans l'air.
- Lumière blanche, lumière colorée.
- Spectres d'émission : spectres continus d'origine thermique, spectres de raies.
- Longueur d'onde dans le vide ou dans l'air.



# Le Soleil en 1re

Documents de référence : <https://www.education.gouv.fr/les-programmes-du-lycee-general-et-technologique-9812>

## ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE

- Une longue histoire de la matière
  - Composition des étoiles (dont le Soleil)
  
- Le Soleil, notre source d'énergie
  - L'énergie dégagée par les réactions de fusion de l'hydrogène
  - Équivalence masse énergie
  - Puissance rayonnée et puissance reçue sur Terre
  - Application loi de Wien
  
- La Terre, un astre singulier
  - Orbite de la Terre autour du Soleil
  - Géocentrisme/héliocentrisme

## ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ SPC

- Constitution et transformations de la matière
  - Composition des étoiles (dont le Soleil)
  
- Mouvement et interactions
  - Force et champ de gravitation
  
- L'énergie: conversion et transferts
  
- Ondes et signaux
  - fonctionnement des instruments astronomique (optique)
  - émissions électromagnétiques du Soleil
  - spectre et raies

# Le Soleil en terminale

Documents de référence : <https://www.education.gouv.fr/les-programmes-du-lycee-general-et-technologique-9812>

## ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE

- Science, climat et société
  - Activité solaire et climat
  - Température avec/sans atmosphère
  - Rôle de l'albedo

## ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ SPC

- Constitution et transformations de la matière
  - réactions thermonucléaires : chaînes p-p et cycle CNO
- Mouvement et interactions
  - Gravitation
  - Loi de Kepler et orbites (des sondes solaires par ex.)
  - Points de Lagrange
- L'énergie: conversion et transferts
  - L'énergie du Soleil provient-elle de sa gravité ?
- Ondes et signaux
  - Effet Doppler : décalage et élargissement de raies
  - Lunette astronomique (optique)

# Activité : rappels avec Stellarium (saisons)





# Activité : durée de « vie » du Soleil

Objectif : calculer la durée de vie du Soleil sachant que...

- Dans le cœur nucléaire du Soleil, les atomes d'hydrogène (masse 1,00794 uma) fusionnent par 4 pour donner un atome d'hélium (masse 4,002602 uma).
- La masse du cœur représente 10% de la masse totale  $M_{\odot}$  de notre étoile ( $M_{\odot} \approx 2 \times 10^{30}$  kg)
- L'énergie correspondant à la perte de masse est donnée par la célèbre équation  $E = \Delta M \times c^2$  (avec  $c \approx 3 \times 10^8$  m/s)
- La luminosité du Soleil  $L_{\odot}$  vaut env.  $4 \times 10^{26}$  W (J/s)

# Activité : constante solaire et température de surface du Soleil

Objectif : mesurer le flux lumineux reçu du Soleil avec un pyranomètre solaire et remonter à la température du Soleil



Pierron

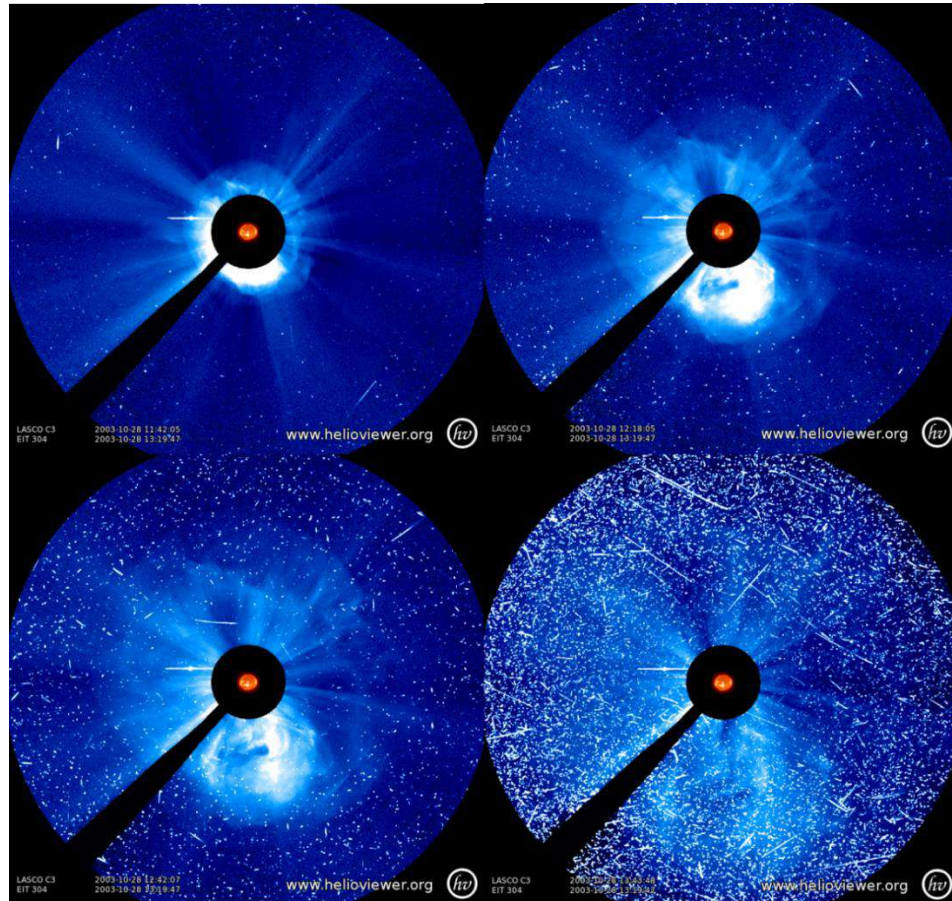


Clea

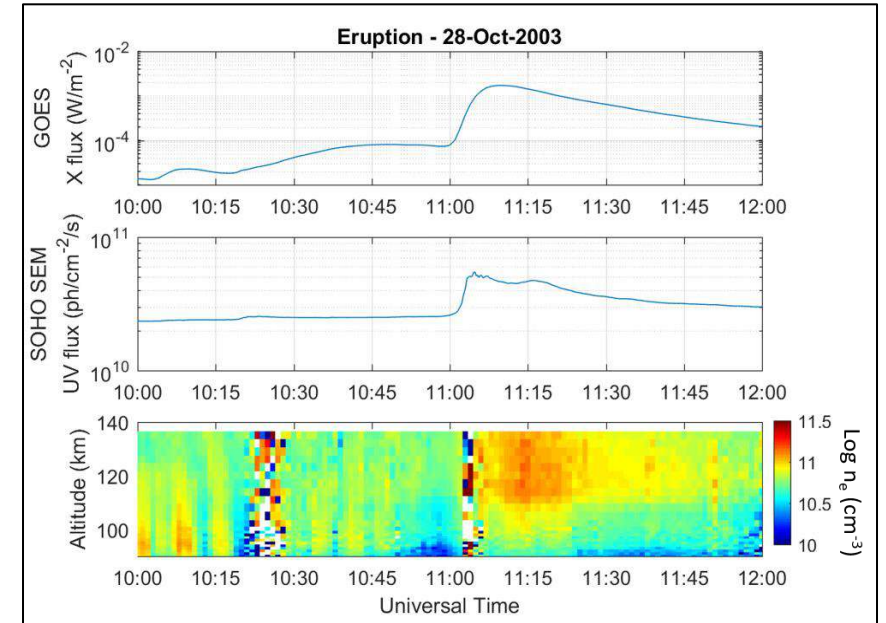
- Établir la courbe de température d'un cylindre en métal dont on connaît la surface exposée au Soleil, la masse et la capacité thermique
- détermination de la puissance reçue
  - estimation de la puissance surfacique au-dessus de l'atmosphère (constante solaire)
  - puissance surfacique émise par le Soleil
  - température surfacique (grâce à la loi de Stefan-Boltzmann)

# Activité : du Soleil à la Terre

Objectif : étudier la propagation d'une éjection coronale de masse et ses effets



Soho (Esa/Nasa)



Flux X et UV mesurés dans l'espace ; concentration électronique dans la haute atmosphère mesurée par un radar EISCAT. (Crédits : Irap ; sources de données : NOAA, ESA/NASA, EISCAT)



<https://www.sievert-system.org/#Calcul>



# Activité : un tour en Sol'Ex ?

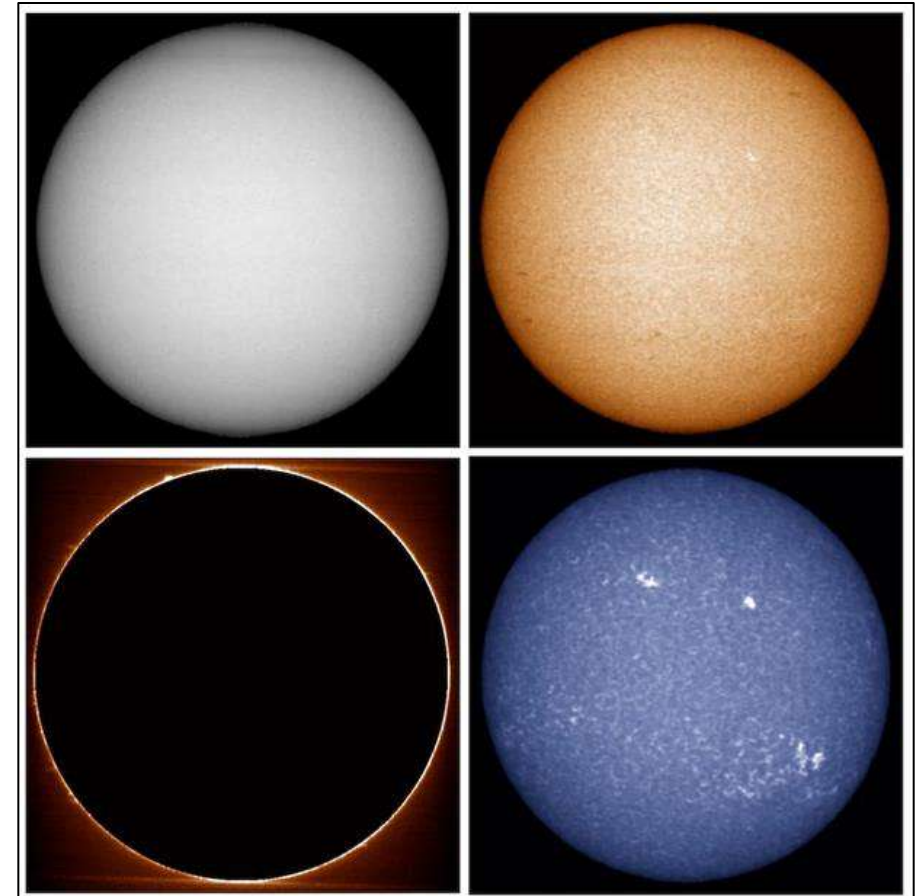
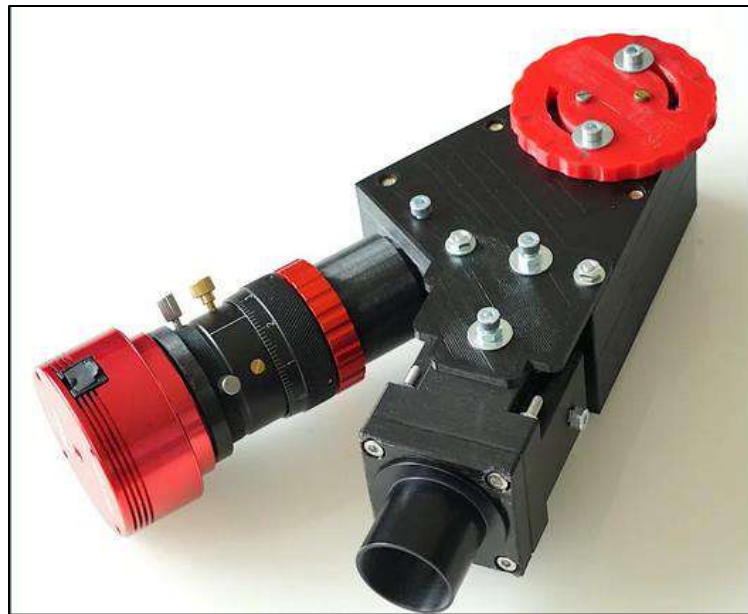
Objectif : construire et exploiter un spectrohéliographe

Éléments mécanique : impression 3D

Éléments optiques : à commander (<https://www.shelyak.com/>)

Logiciel de traitement : fourni

Instrument d'observation et caméra : non fourni



# Quelques mots à propos du concours « L'espace fait sa météo »

- Objectif : faire réfléchir et interagir les élèves sur l'objet Soleil
- Format attendu : une courte vidéo de 3 min maximum (aide du chargé de mission cinéma et audiovisuel possible)
- Contenu : libre ! mais en lien avec le Soleil et ses effets
  - Observations
  - Suivi d'activité
  - Modélisation
  - Spectacle
  - ...
- Intervention des scientifiques de l'Irap possible via le dispositif « Rencontres Exploreur »
- Calendrier et remise des prix à préciser très prochainement

# Quelques ressources

- Cnes : <https://enseignants-mediateurs.cnes.fr>
- Comité de liaison enseignants et astronomes (Clea) : <http://clea-astro.eu>
- Commissariat à l'énergie atomique (CEA) : <https://www.cea.fr/> (espace enseignants)
- Fondation La main à la pâte : <https://fondation-lamap.org/>
- Groupe d'accomp. péda. pour le pic du Midi (Gappic) : <https://gappic.bagn.obs-mip.fr/>
- Réseau d'éducation à l'astronomie (Nasé) : <https://www.naseprogram.org/fr/>
- Oframe : <http://www.meteo-espace.fr/meteo-espace/fr>
- Service éducatif de l'Observatoire Midi-Pyrénées : <https://edu.obs-mip.fr/>
- Soleil en direct (SoHO) : <https://soho.nascom.nasa.gov/data/realtime-images.html>
- Stellarium : <https://stellarium.org/fr/>

