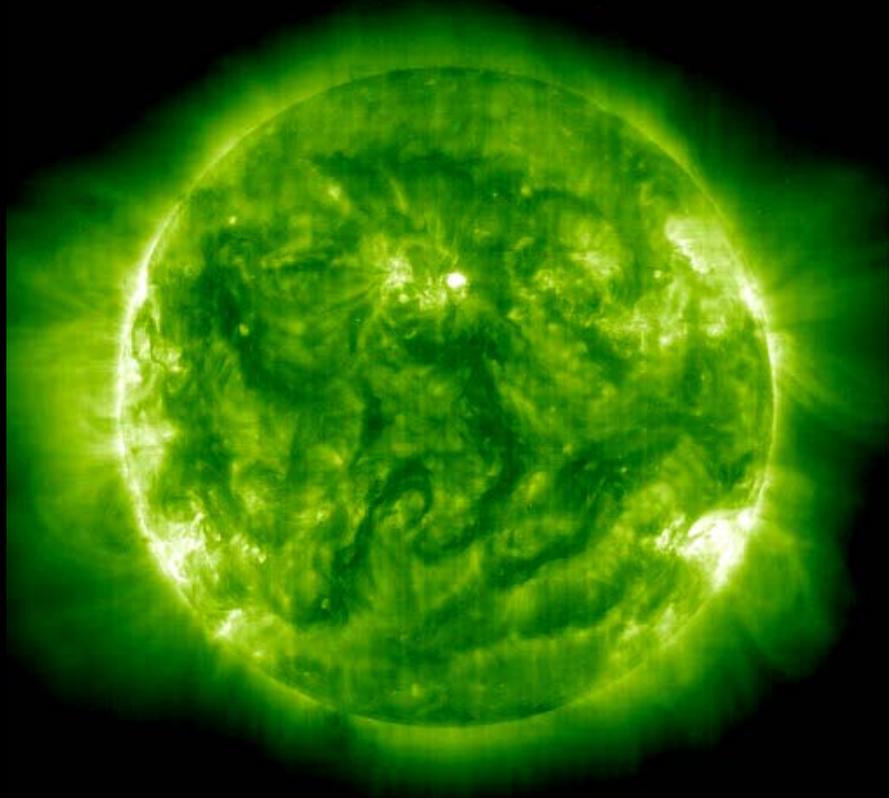


Le Soleil vu de l'Espace :

observations, missions actuelles et perspectives,
place des amateurs ?

Luc Damé, Service d'Aéronomie du CNRS & LESIA



Rencontres Solaires
de l'Observatoire de
Meudon

9 avril 2005

2000/11/23 23:48

Le Soleil vu de l'Espace : mais que reste-t-il aux observatoires sol ?

Luc Damé, Service d'Aéronomie du CNRS & LESIA

Sommaire de la présentation :

- Bref rappel sur "pourquoi l'Espace"
- Missions actuelles et récentes
- Illustrations de la complexité de l'atmosphère solaire, des phénomènes majeurs, éruptions & CMEs, etc.
- Les principales missions spatiales en projet
- Observations sol : présent et futur
- Rôle des amateurs ?

Pourquoi aller dans l'Espace ?

- et, surtout, SKYLAB (1973) qui a révolutionné notre conception du Soleil

Pourquoi aller dans l'Espace ?

II

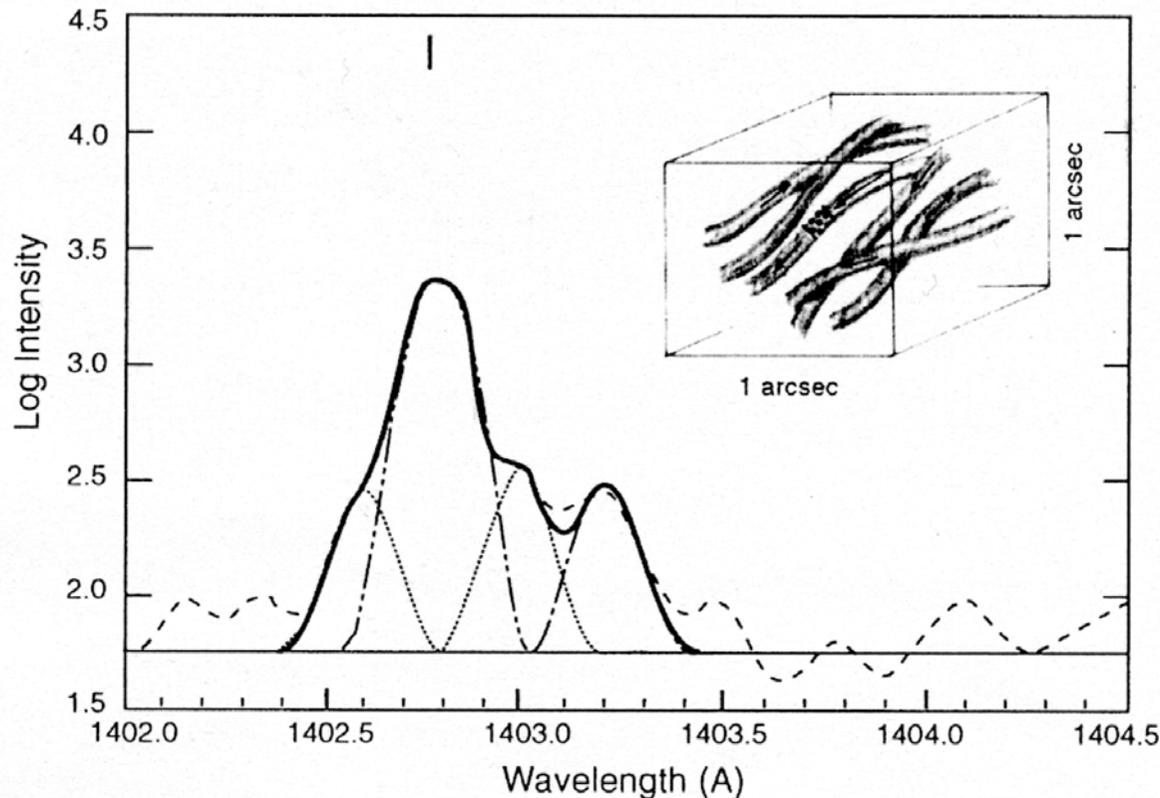


Figure 6. A complex 1402 Å profile observed with HRTS on 13 February 1978 (the 1393 Å line shows similar features). The profiles represents the emission from a 1 × 1 arc sec area on the Sun and have been fitted with Gaussian line components (solid line) and each line component is indicated. The raw data is the dashed line. Inserted is a cartoon of a possible explanation of the observed profiles.

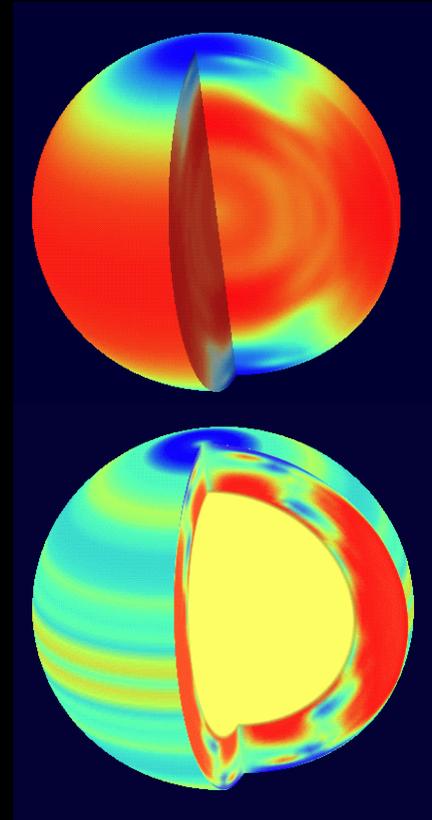
**Structure fine
Brekke, 1999**

**Filling Factor
<1% (<0.1%?)**

UV & FUV

Pourquoi aller dans l'Espace ?

III



ROUGE Rotation rapide

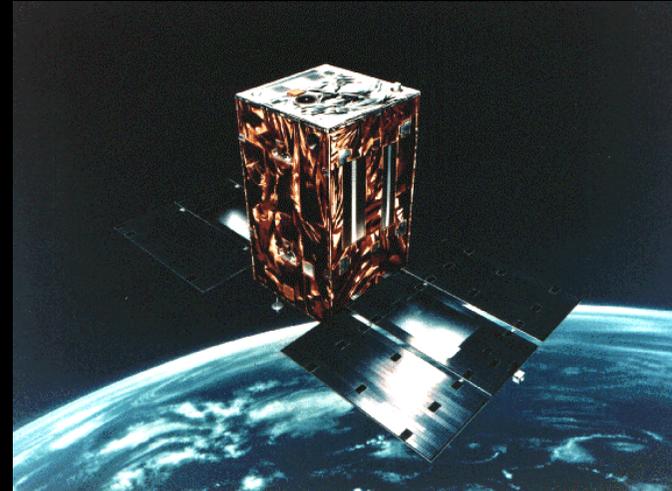
BLEU Rotation plus lente

Principales Missions Solaires

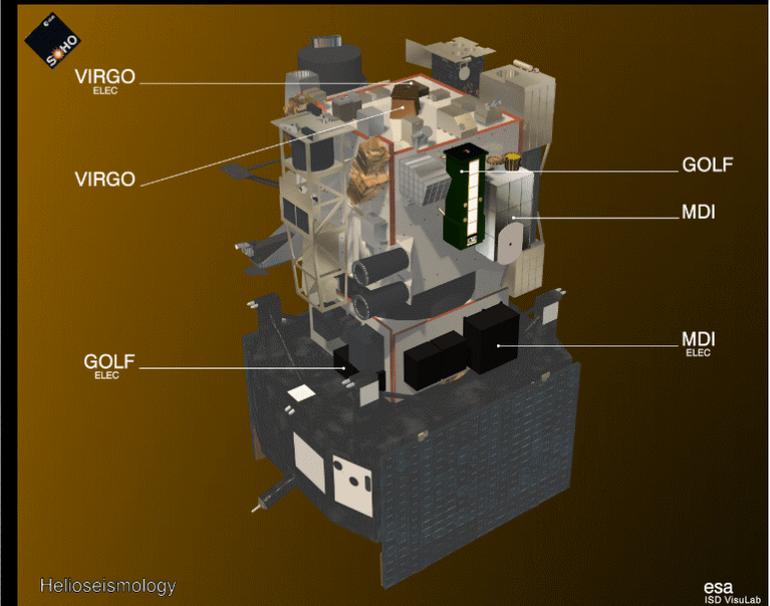
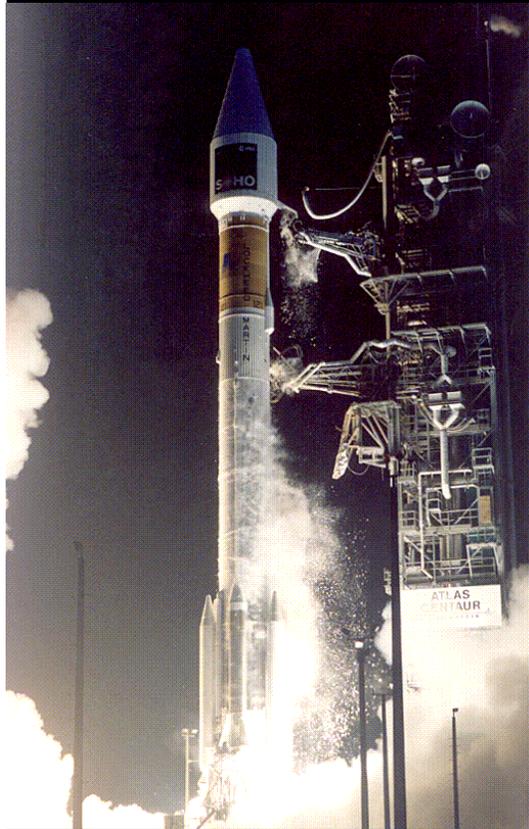
- Yohkoh (SOLAR A) de 1991 à 2001
- SOHO depuis 1995
- TRACE depuis 1998
- RHESSI depuis 2002

Yohkoh

- Satellite Japonais en collaboration avec Lockheed (télescope SXT, imageur XUV, avec filtres aluminium)
- 10 ans d'observations (\pm utilisables — température, densité — vu la largeur des bandes passantes)



SOHO : le Solar and Heliospheric Observatory



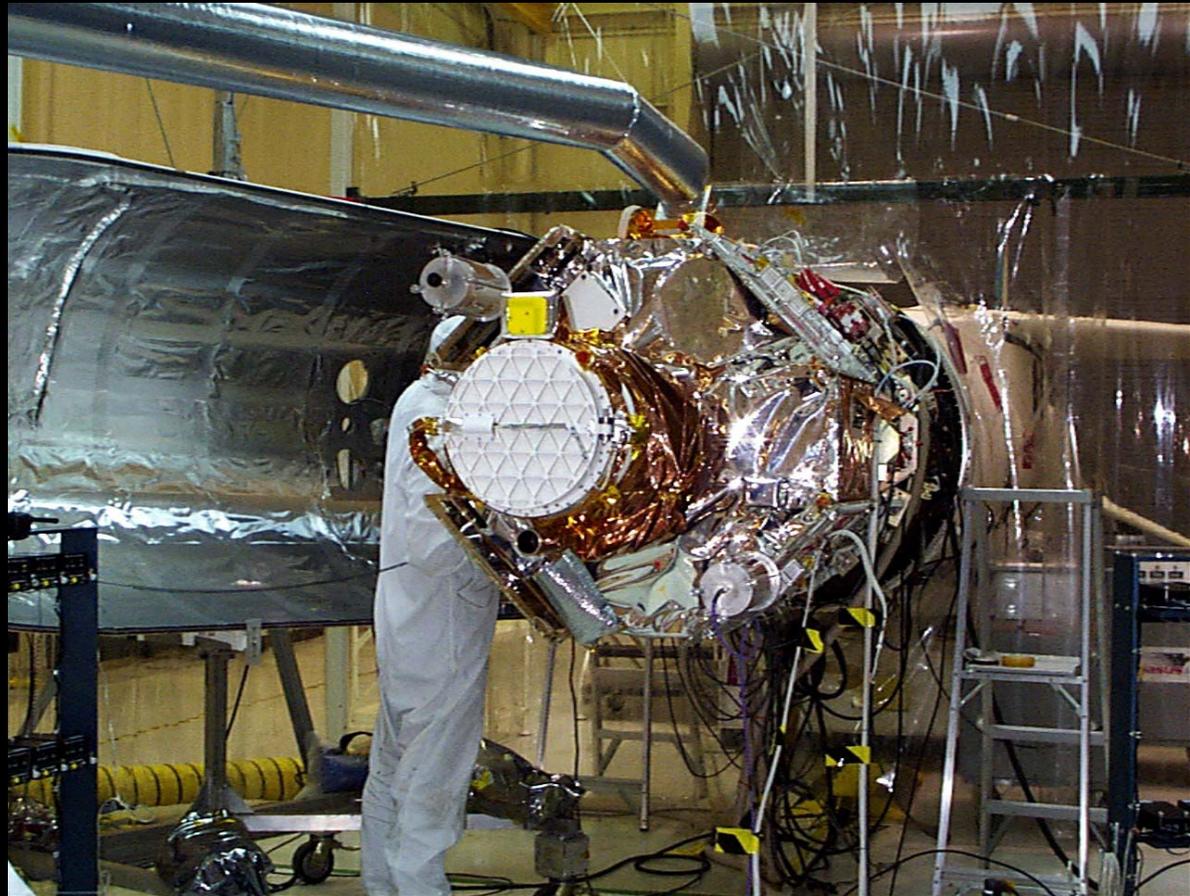
Lancement le 2/12/95

SOHO : un observatoire très complet

- SOHO, le Solar & Heliospheric Observatory, est une combinaison unique de coronagraphes, de spectrographes, d'imageurs coronaux multi-longueurs d'onde (les EIT), et d'instruments pour l'héliosismologie, notamment le MDI (Michelson Doppler Imager).
- SOHO est cependant limité en résolution spatiale et en imagerie UV et UV lointain.
- Combiné à d'autres satellites et surtout à Yohkoh et à TRACE, on a alors un dispositif d'étude très performant des phénomènes énergétiques, de la photosphère à la couronne, en passant par la zone de transition.

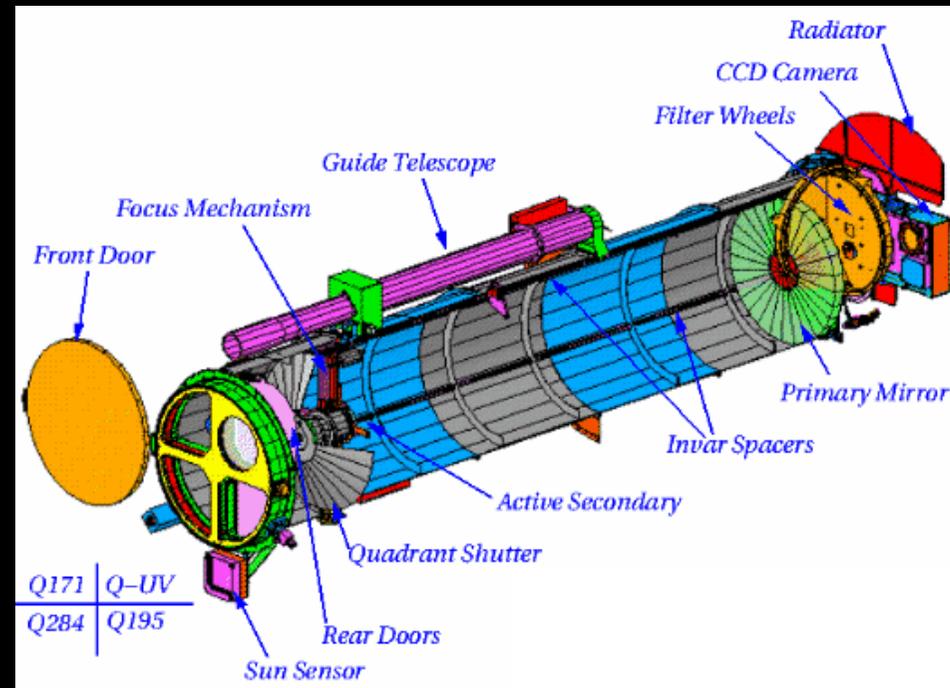
TRACE : SMEX NASA

Télescope de
30 cm lancé
en 1998 et
utilisé par
"quart" pour
l'imagerie
UV et EUV
(multi-
couches)



TRACE concept

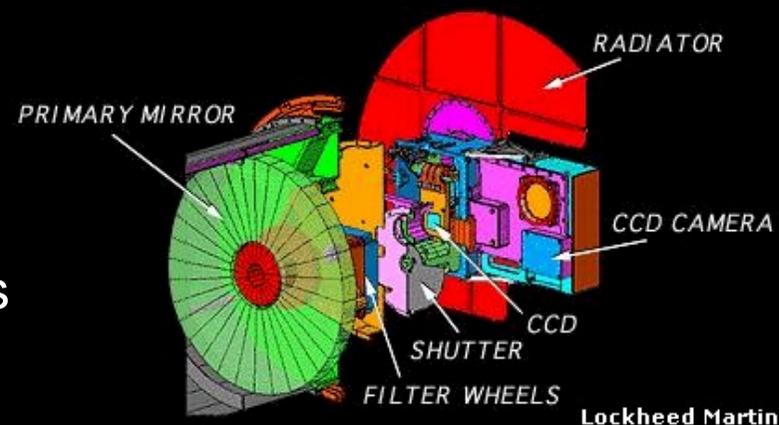
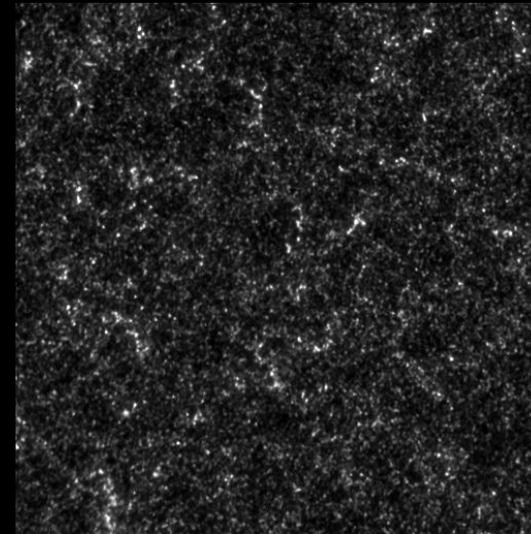
- Un instrument très original combinant 4 télescopes en un (les miroirs sont recouverts par 1/4 et un shutter n'expose qu'un quart de télescope à la fois)



TRACE caractéristiques

- Longueurs d'onde : 171Å
FeIX, 195Å FeXII, 284Å
FeXV, 1216Å Ly α , 1550Å
CIV, 1600Å continu Tmin
- Résolution spatiale : 1"
- Résolution temporelle : < 1s
; 5s nominale
- Temps d'exposition de 2 ms
à 260 s
- Champ: 8,5 x 8,5 minutes
d'arc

Complémentaire de SOHO par ses
résolution spatiales et temporelles
élevées



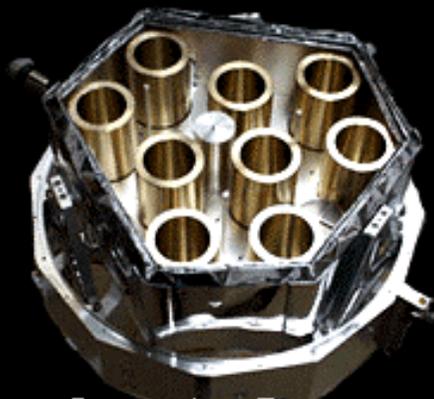
Activité, tube de flux, évolution



Understanding flux tube characteristics provides insights about the Sun's magnetic field.

RHESSI — Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager

- X et γ avec $2'' < \theta < 40''$ keV, $7''$ jusqu'à $400''$ et $36''$ pour les $\gamma > 1$ MeV
- Reconstruction par rotation (15 t/mn en 2s)



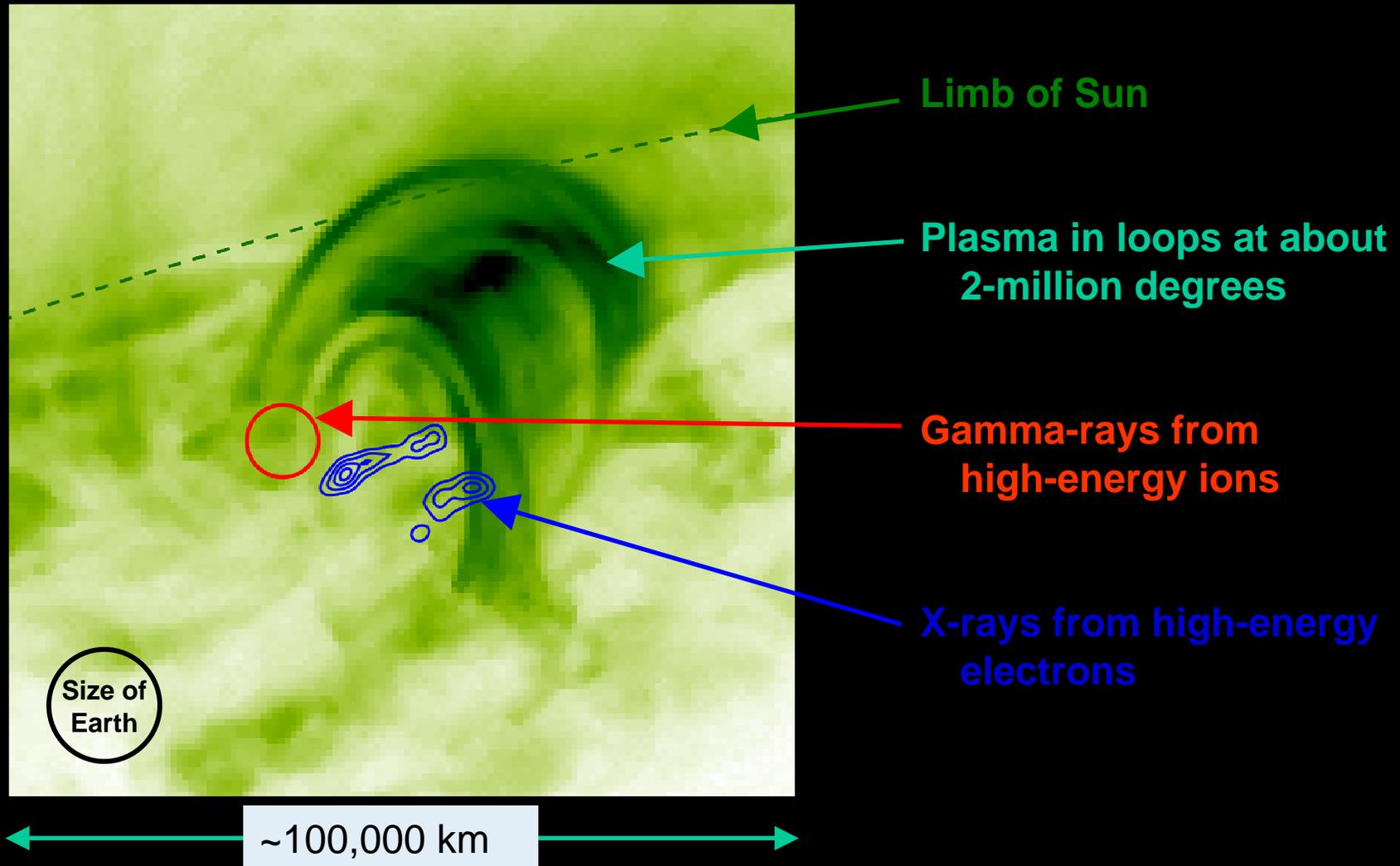
Germanium Detector
Layout

Originalité : 9
détecteurs
Germanium de 3
keV à 20 MeV

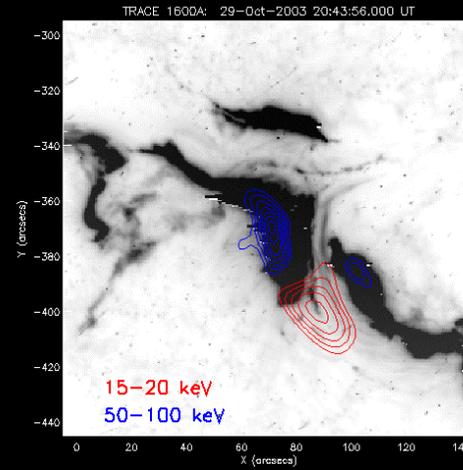
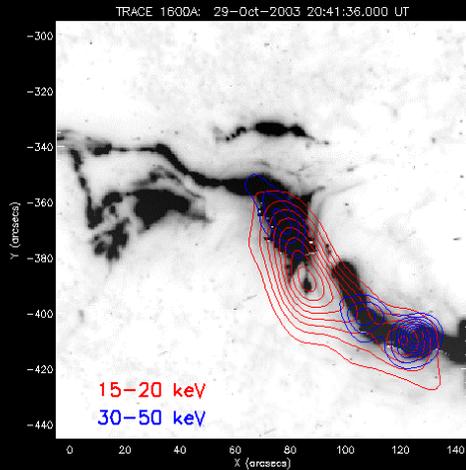


RHESSI — observations

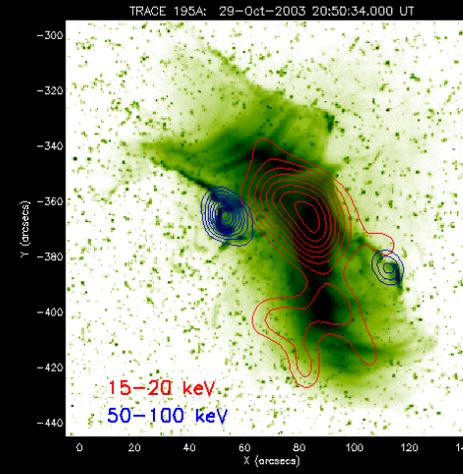
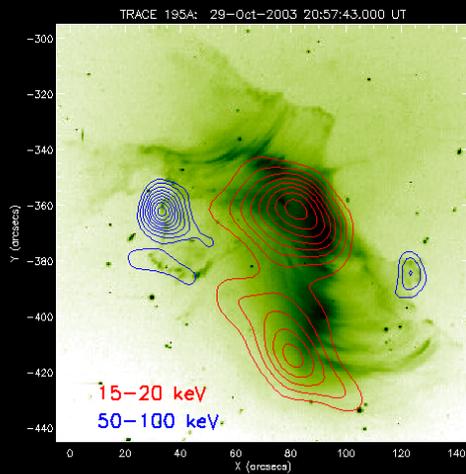
Première image Gamma d'une éruption (23 juillet 2002)



RHESSI et TRACE

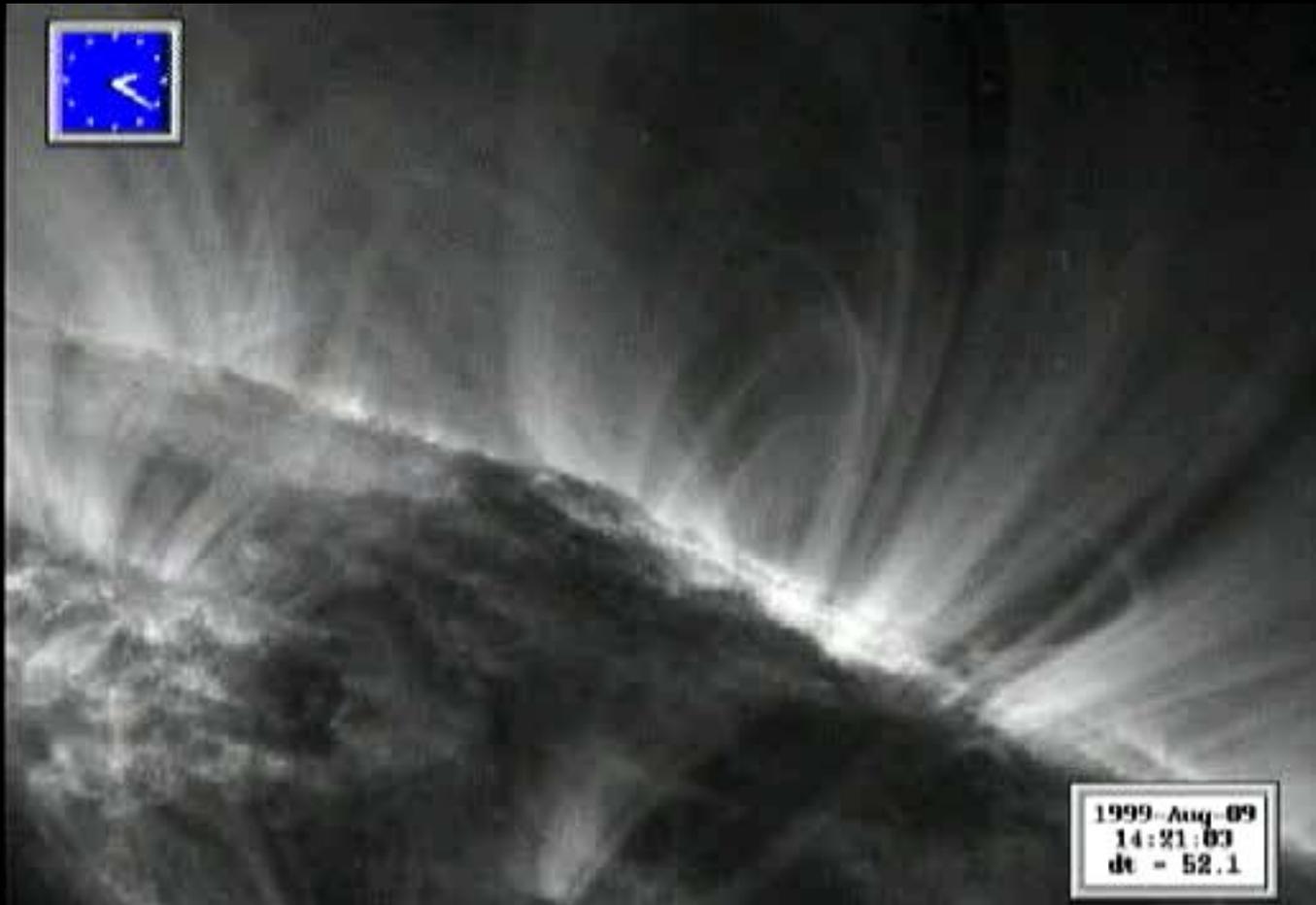


Intérêt, toujours,
des observations
multi λ
(températures,
densités)



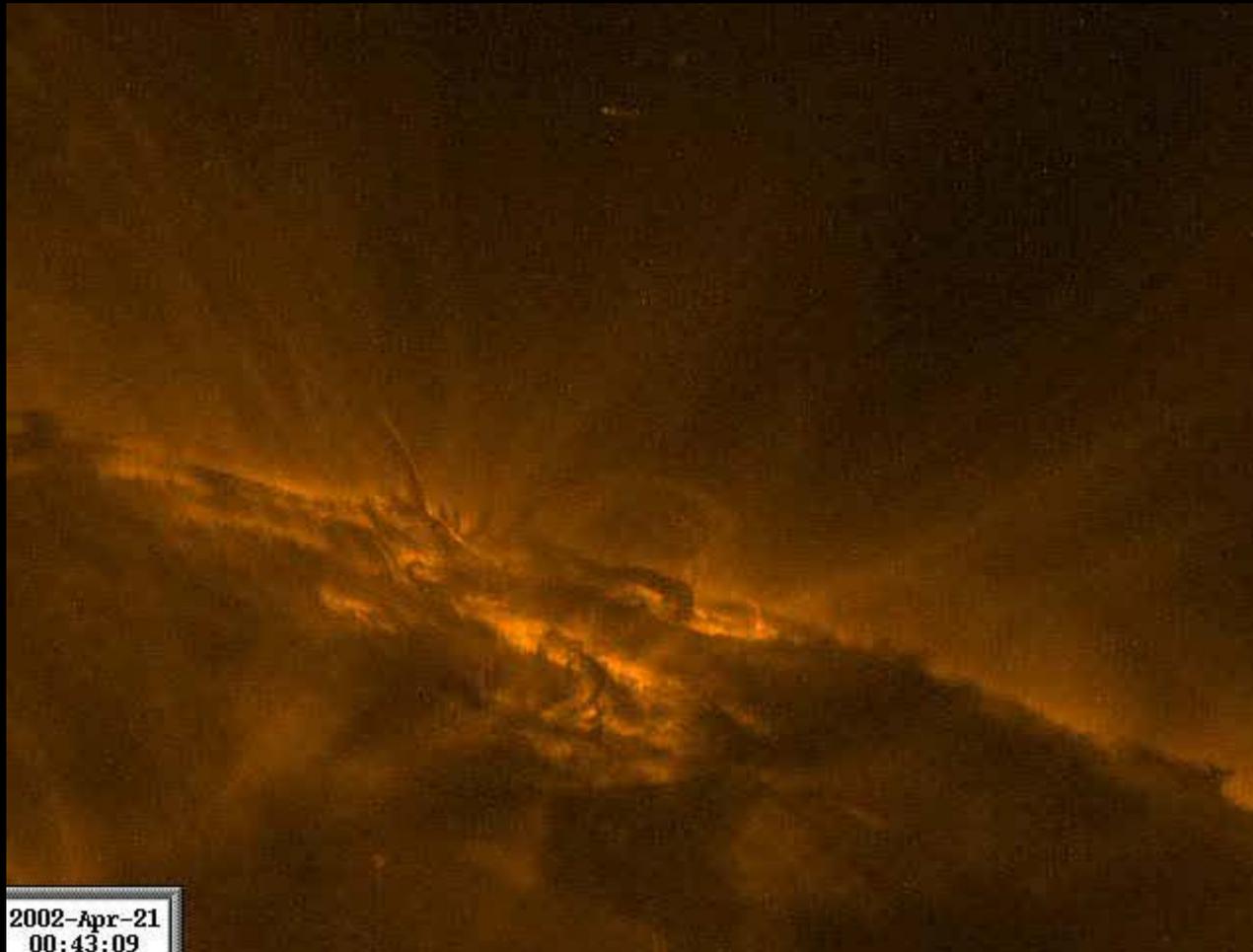
29 octobre
2003
Eruption X10

L'atmosphère "spaghetti" du Soleil



Complexe et dynamique, dominée par le champ magnétique mais pilotée par les mouvements turbulents de la zone convective (intérieur solaire).

Atmosphère : restructuration et éruptions !



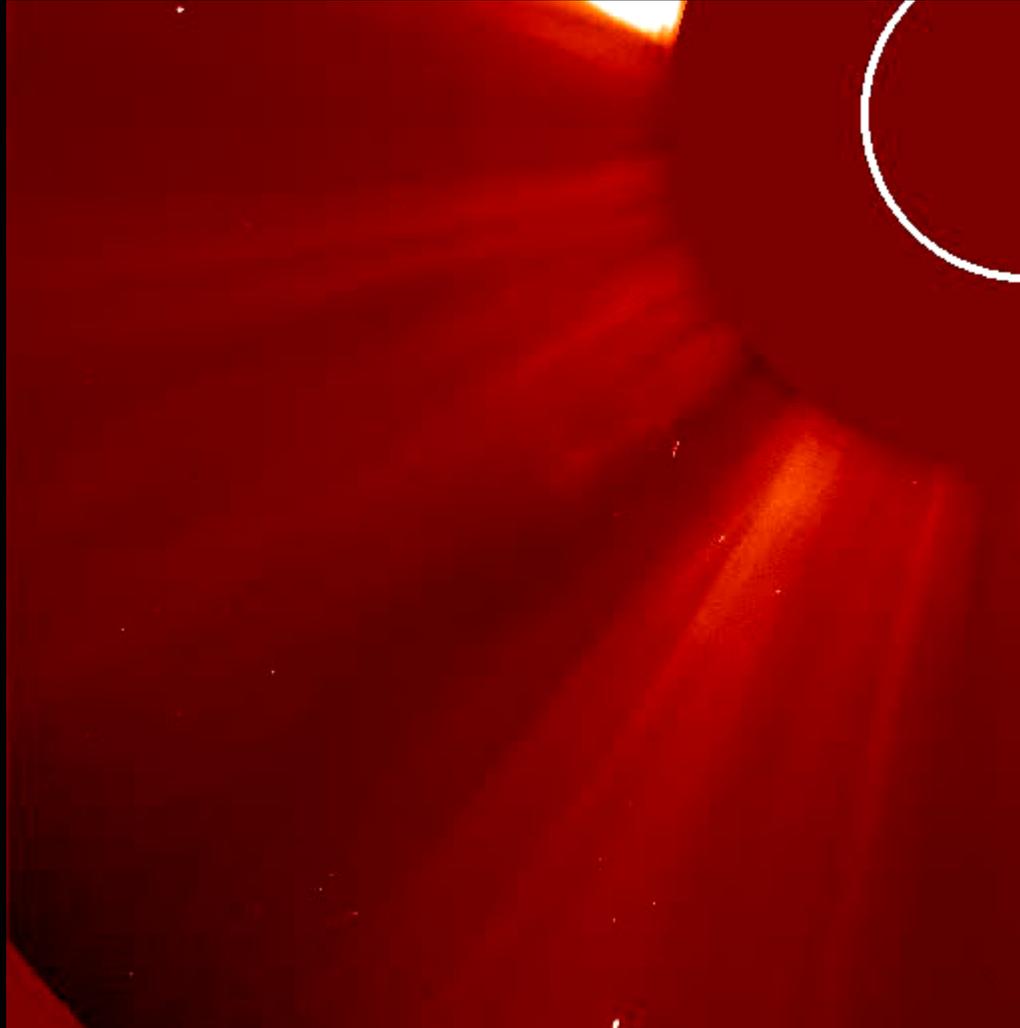
2002-Apr-21
00:43:09

Une éruption solaire

An explosive release
of energy in an
active region.

~ 10^{25} J released in
tens of minutes (100
million 1 megaton
bombs! Or 100
million million tonnes
of TNT)

Ejection de masse coronale



A Coronal Mass Ejection (CME)

An eruption/ejection of material into interplanetary space.

~ 10^{12} kg ejected at typical speeds of 350 km/s.

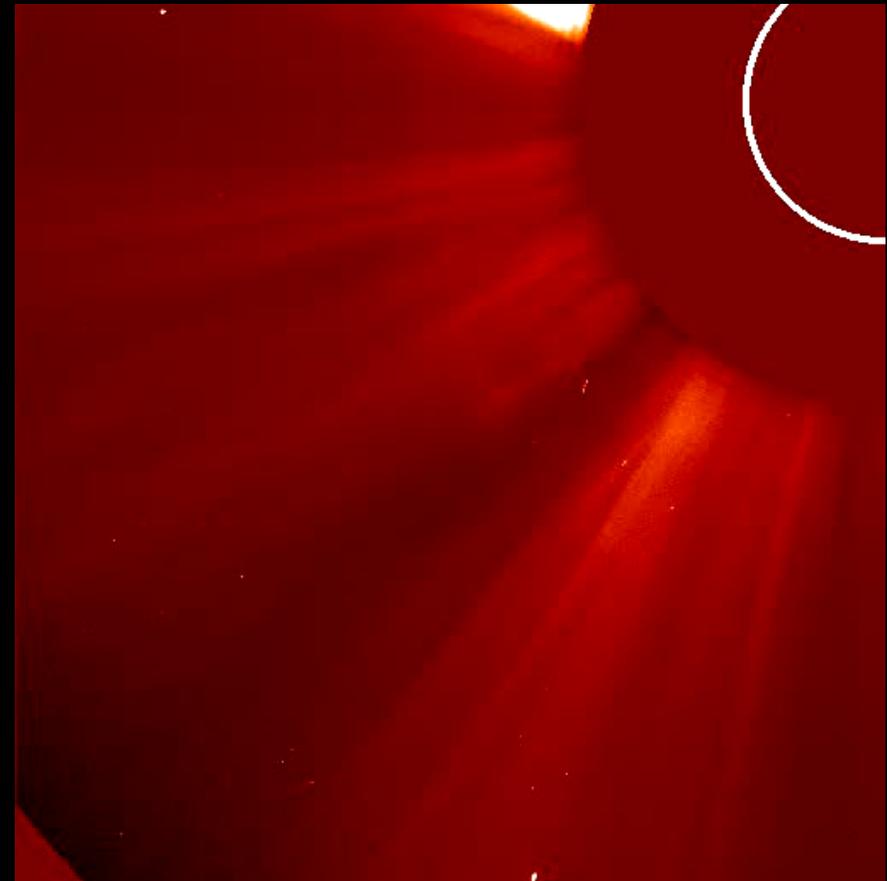
Up to a few per day.

Eruption et CME : relation ?

C'est une question en apparence simple mais sans réponse malgré les moyens actuels d'observations (absence d'obs. de la couronne proche ?)

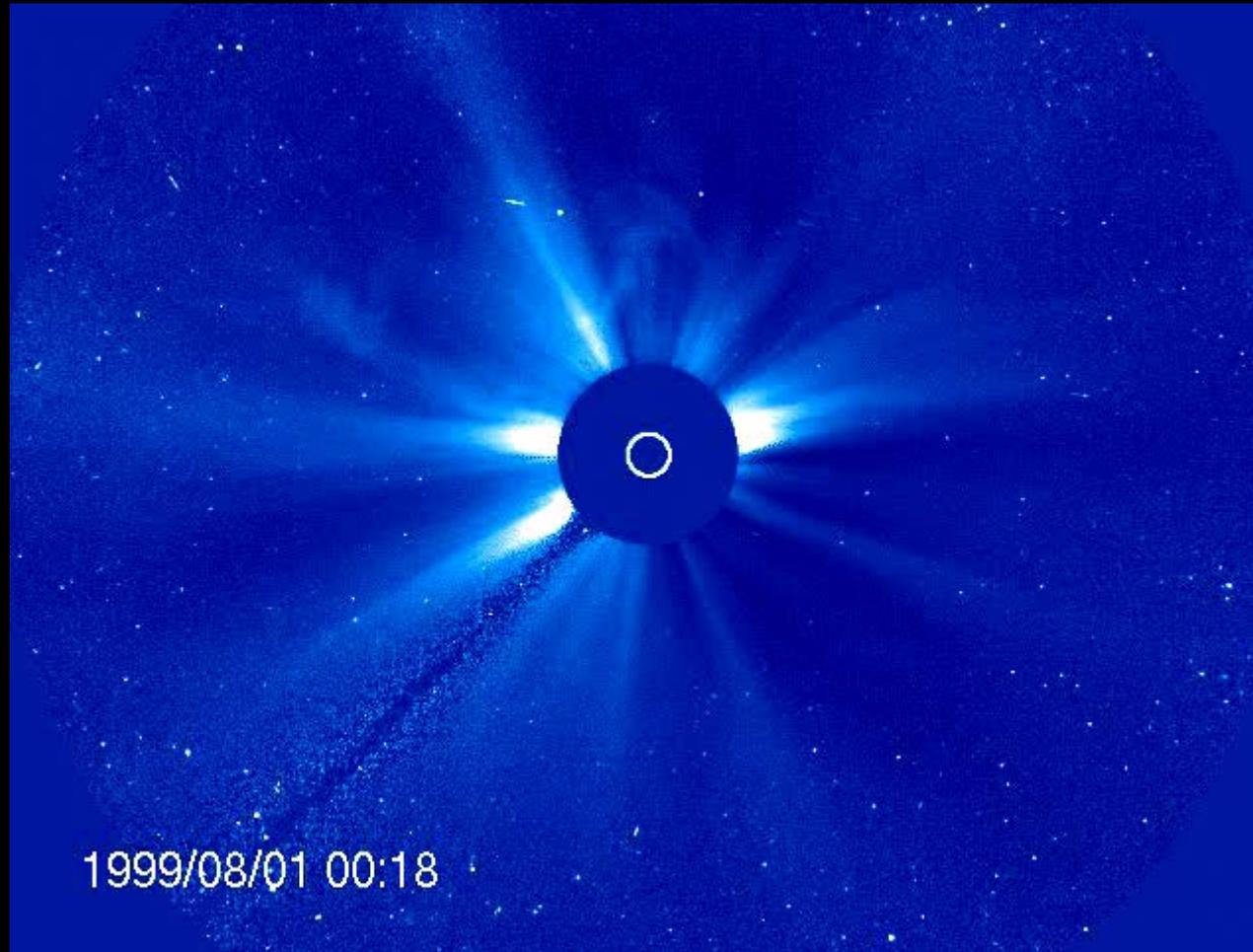


TRACE



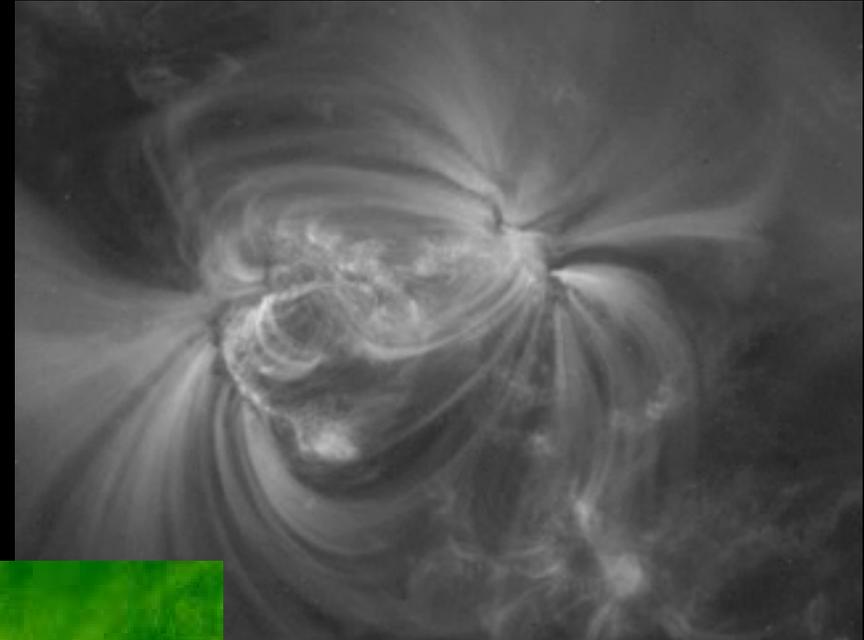
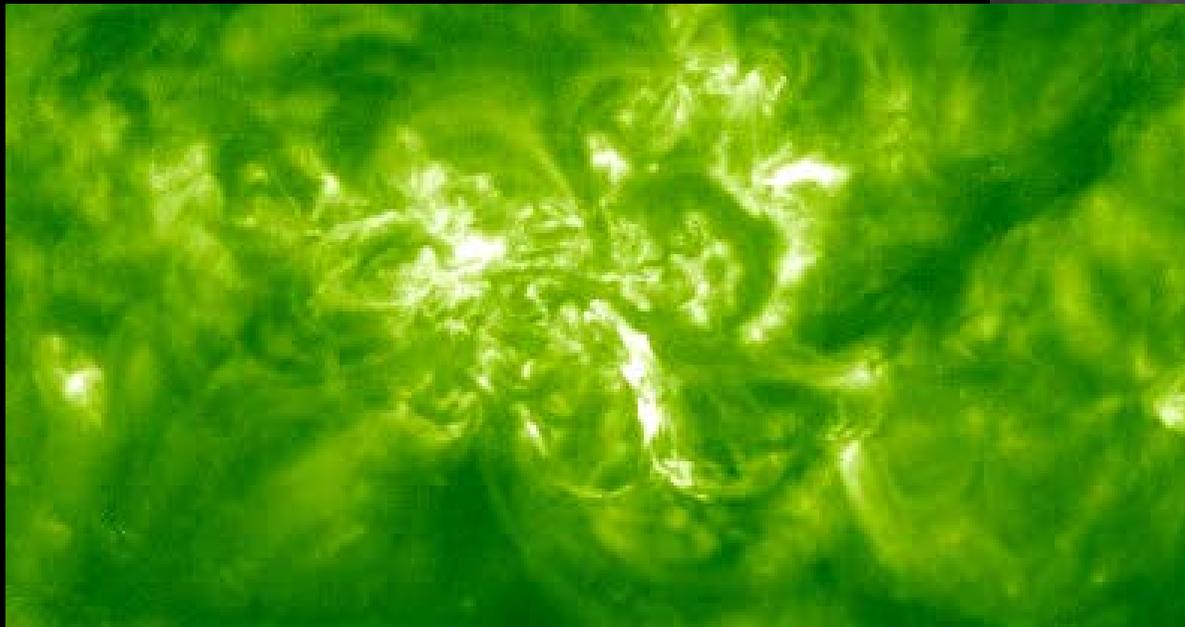
SOHO – LASCO

Poursuite des évènements dans la couronne solaire



Exemples d'éruptions

EIT



TRACE

Spectroscopie et imagerie sont complémentaires

SOHO/SUMER

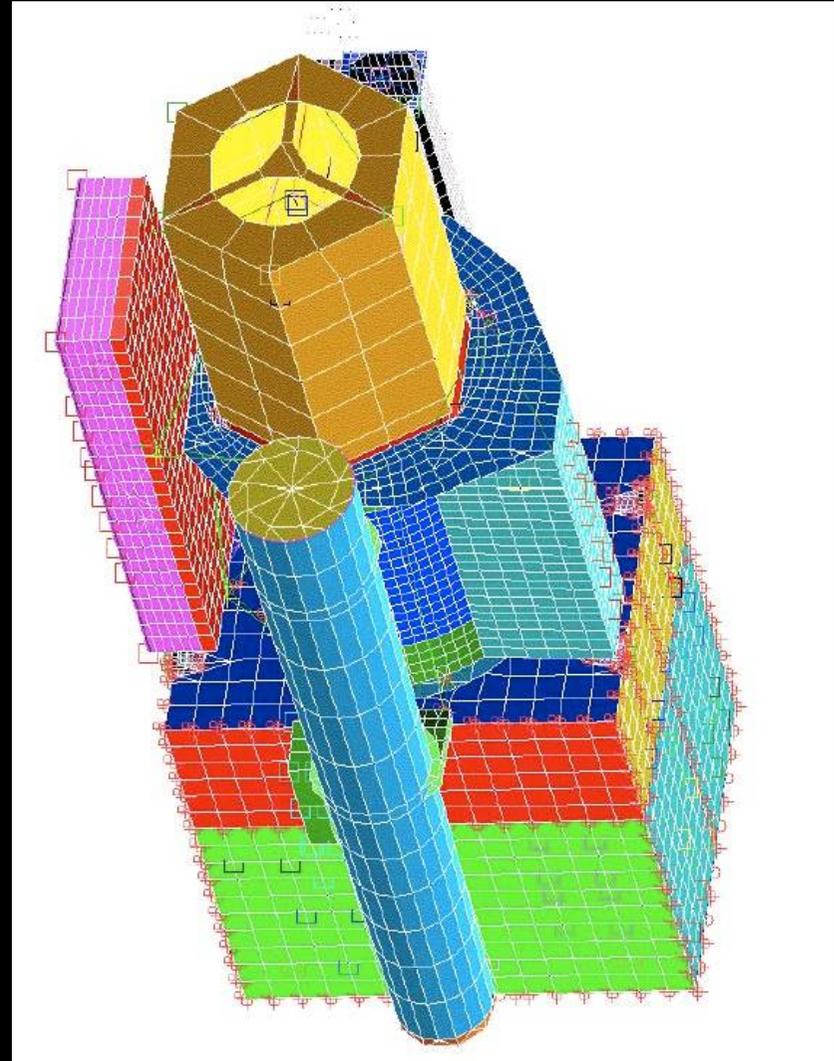
TRACE

Futures missions

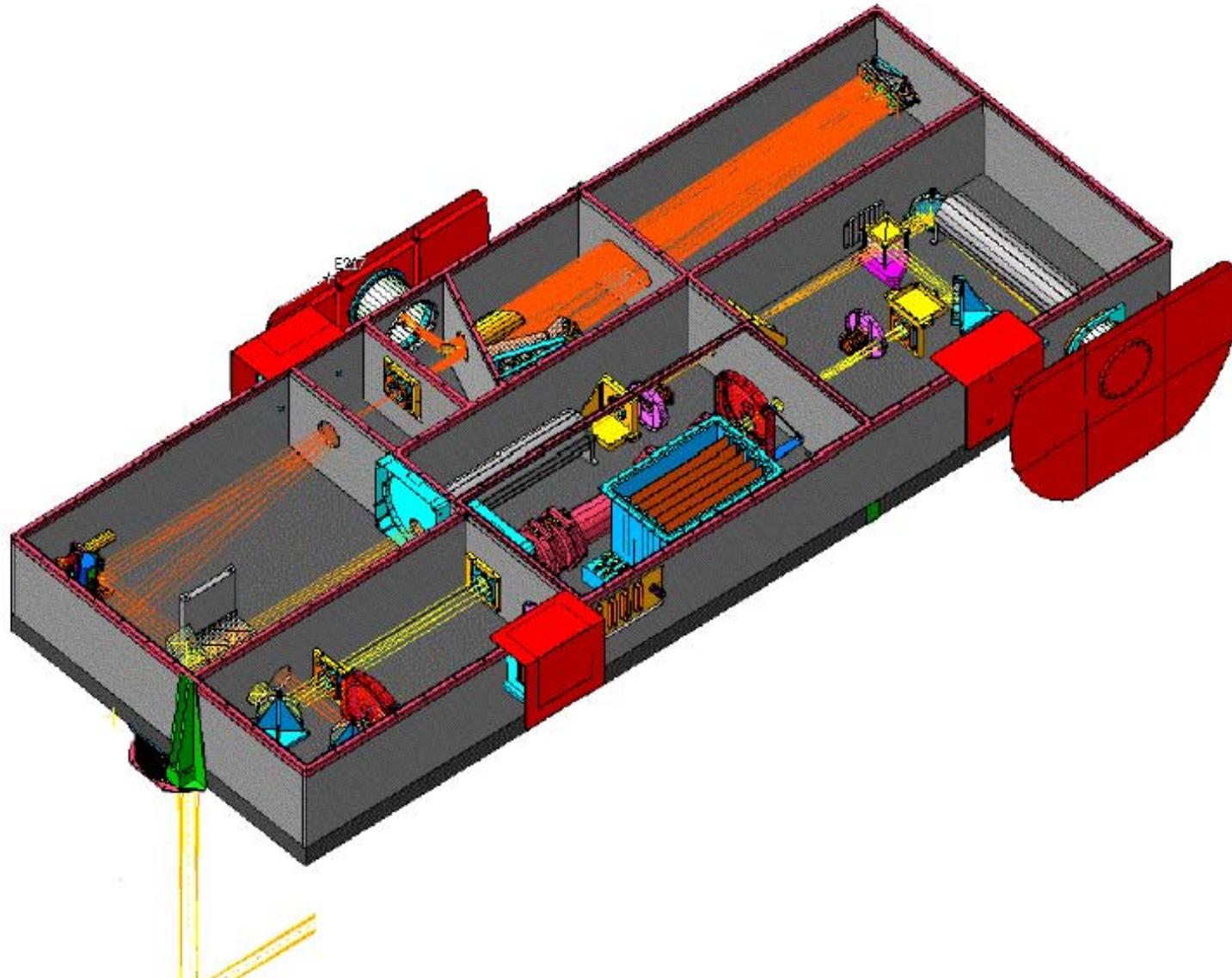
- SOLAR B
- STEREO
- SDO (Solar Dynamics Observtory)
- *SOLARNET*
- SUNRISE et Flare Genesis (ballons)
- *Solar Orbiter*
- *Sonde Solaire*

SOLAR B

- Lancement en 2005
- Télescope de 50 cm mais seulement proche UV-visible (390 – 660 nm) avec le FPP (spectropolarimètre et filtregraphes)
- 2 autres instruments en complément :
 - un télescope X (XRT)
 - un spectromètre imageur EUV (EIS)

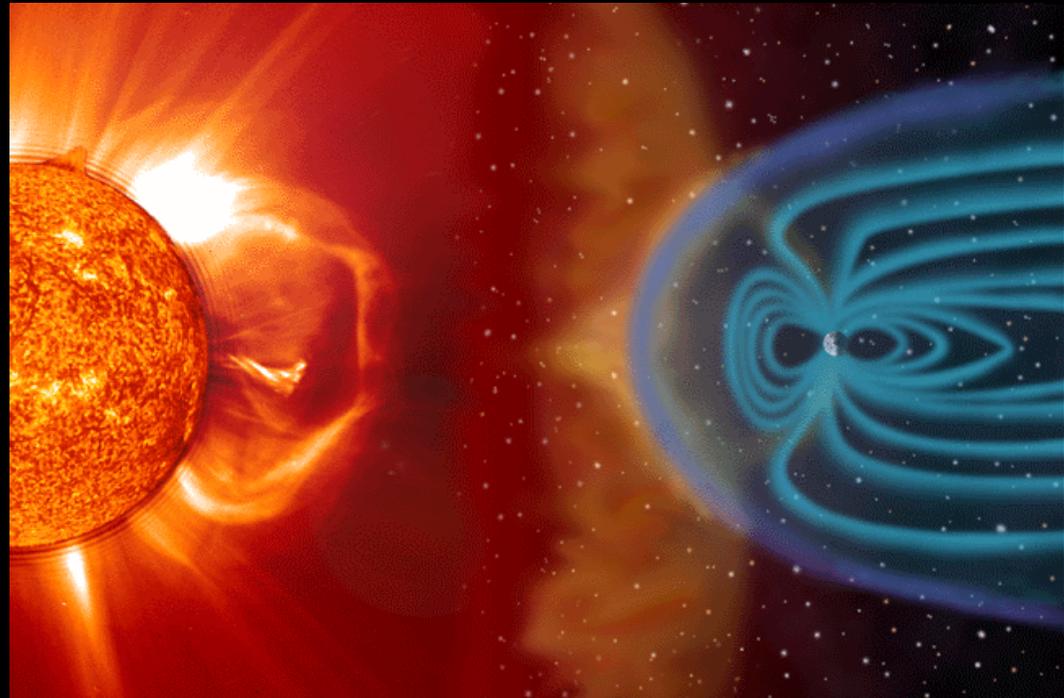
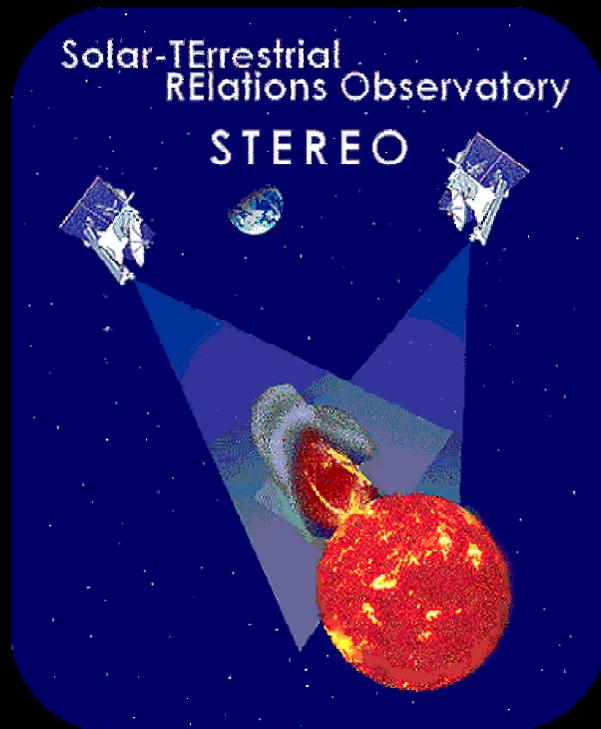


FPP — Focal Plane Package (Lockheed)



STEREO

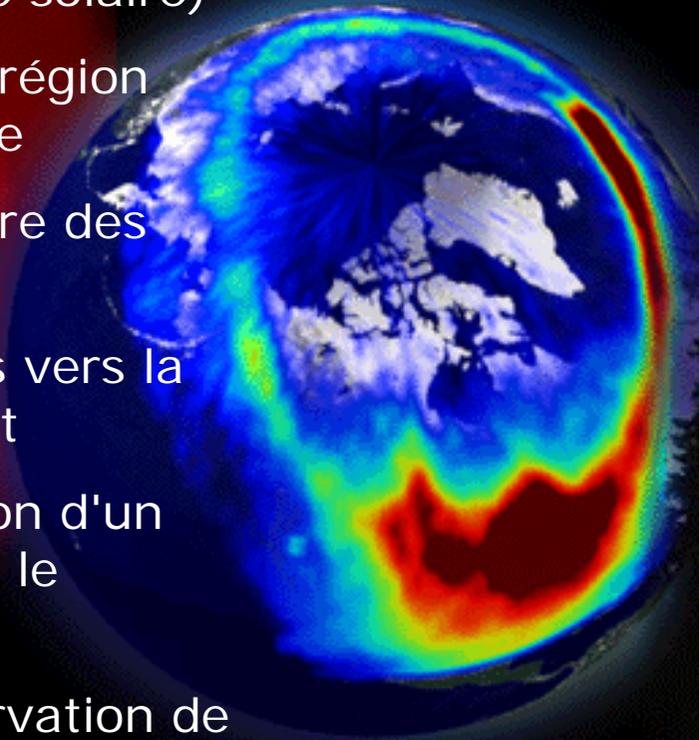
- NASA mission avec 2 satellites
- Lancement en 2006
- Orbites héliocentriques, de part et d'autre de la Terre



STEREO

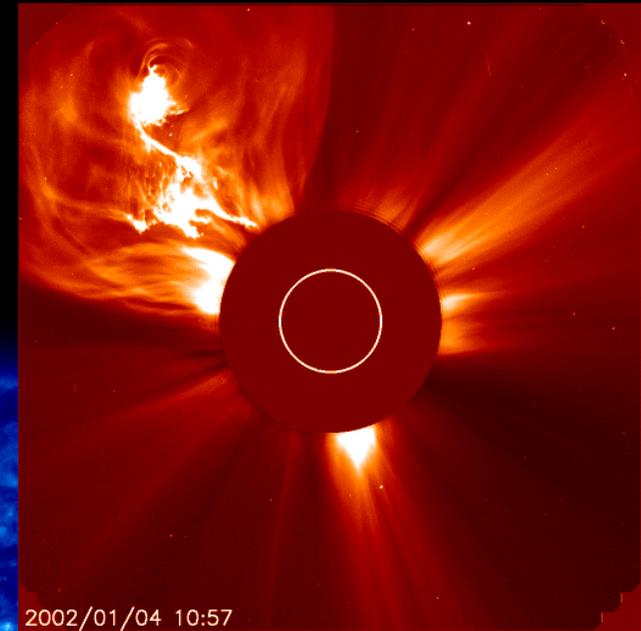
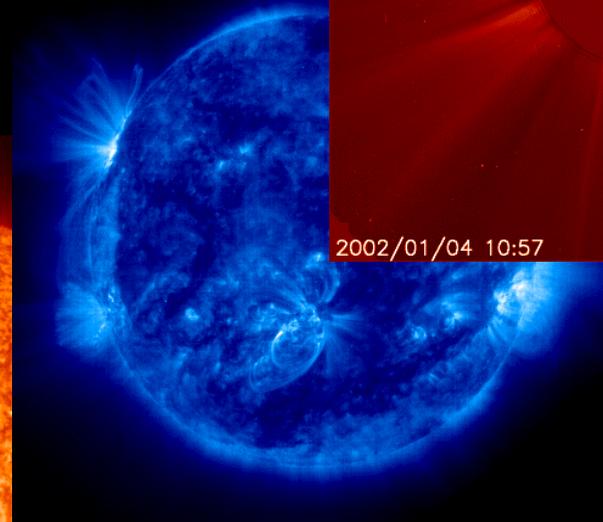
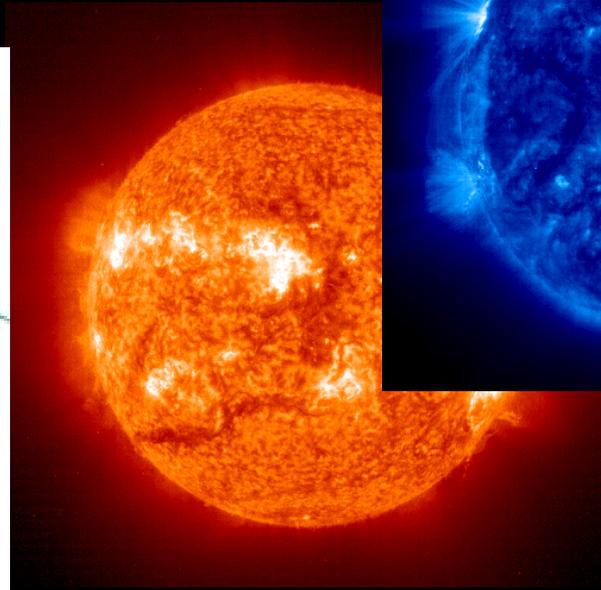
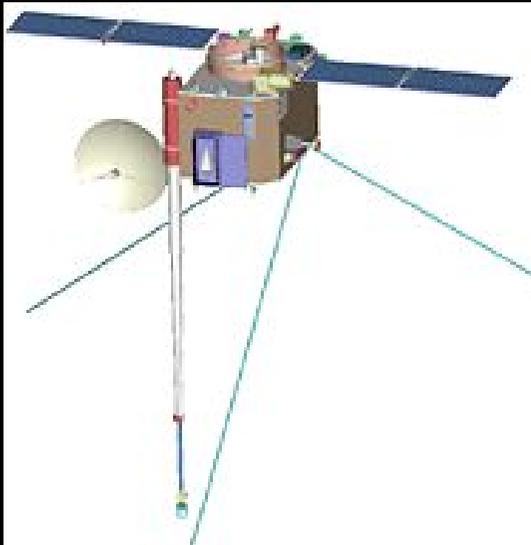
Avantage des 2 satellites :

- Premières études 3-D d'une étoile (l'atmosphère solaire)
- Identification de la région d'émission initiatrice
- Suivi de la trajectoire des éjectas
- Suivi de ces éjectas vers la Terre le cas échéant
- Première observation d'un éjecta entrant dans le champ terrestre
- Echantillon et observation de ces éjectas



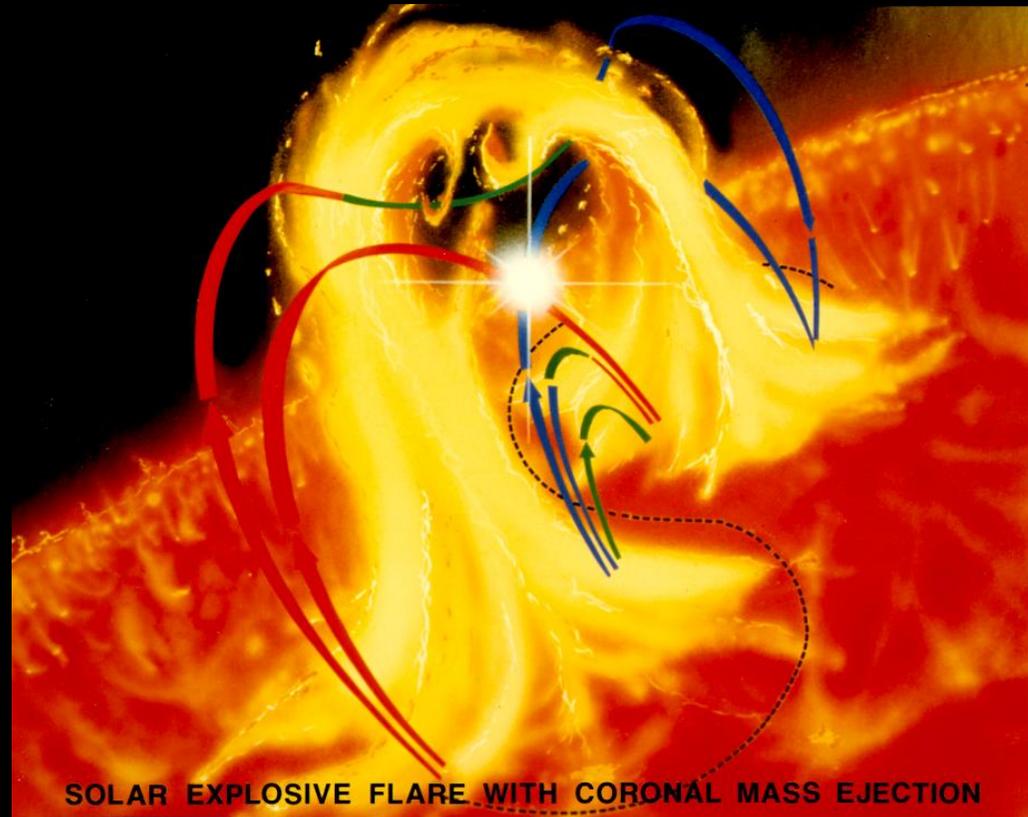
STEREO - Charge utile

- Remote sensing package – SECCHI (Sun Earth Connection Coronal & Heliospheric Investigation)
 - Imageur
 - UV Coronagraphes
 - Imager Héliosphérique
- 'In-situ' particules/champs & instruments radio

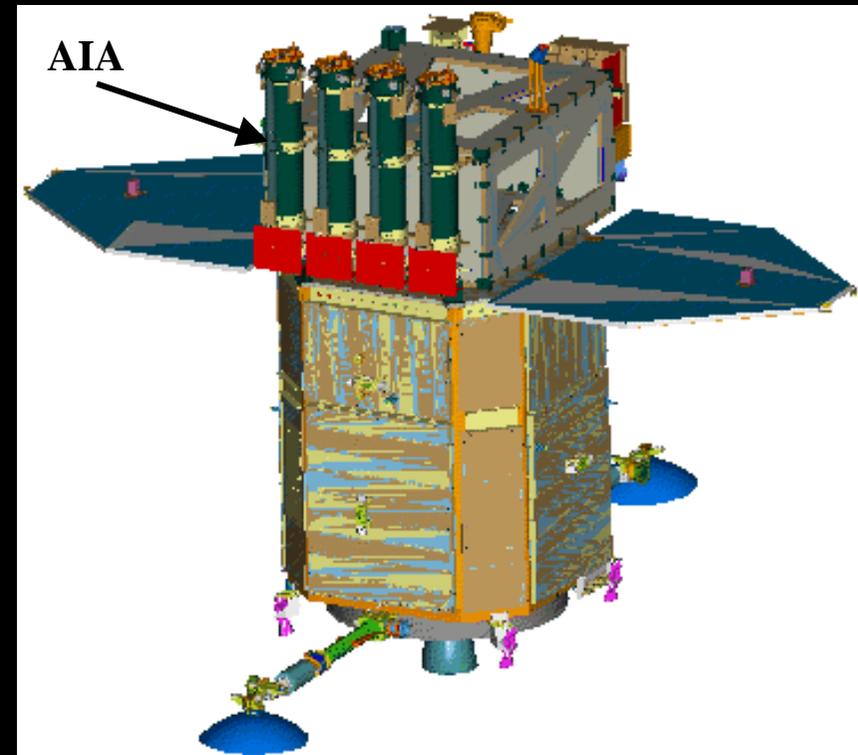
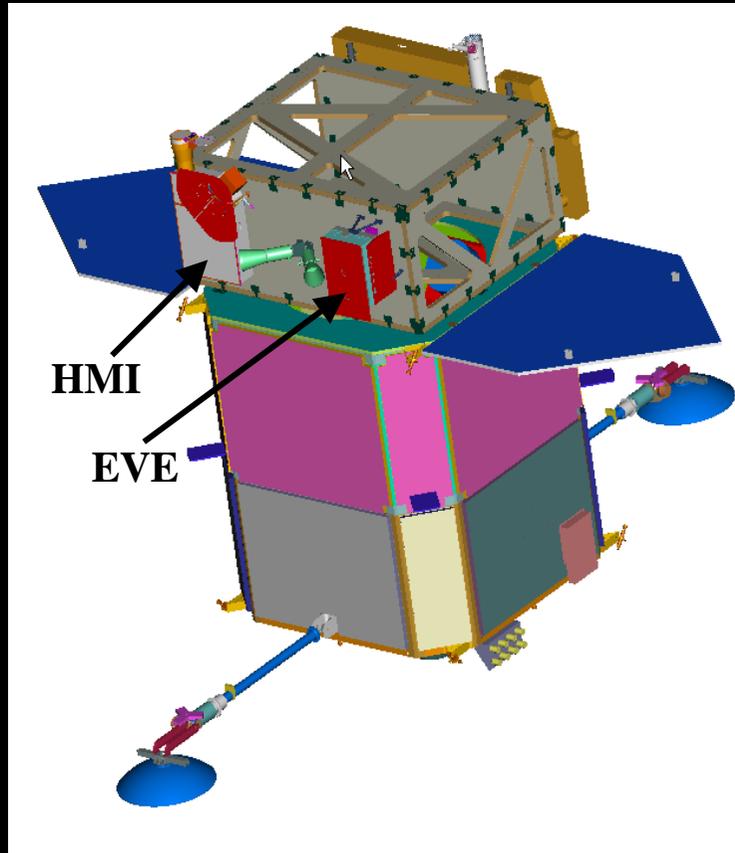


SDO — le Solar Dynamics Observatory

Prévu pour succéder à SOHO (CMEs, Eruptions, oscillations avec le HMI) il n'a cependant pas sa couverture spectrale. Lancement prévu courant 2008 (reprise de l'activité).

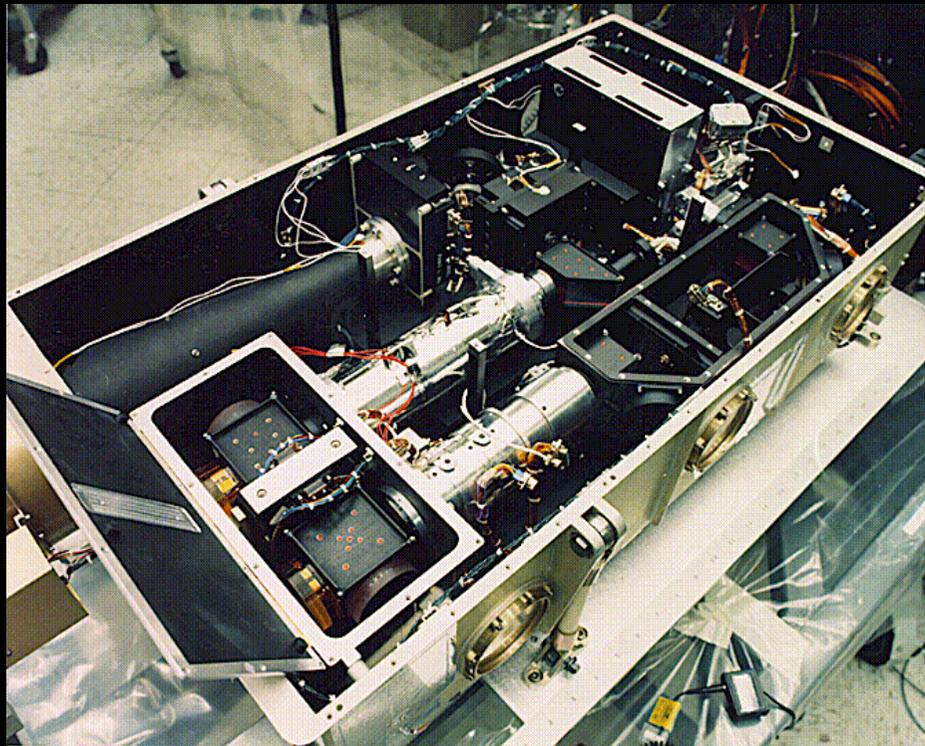


SDO — le successeur de SOHO



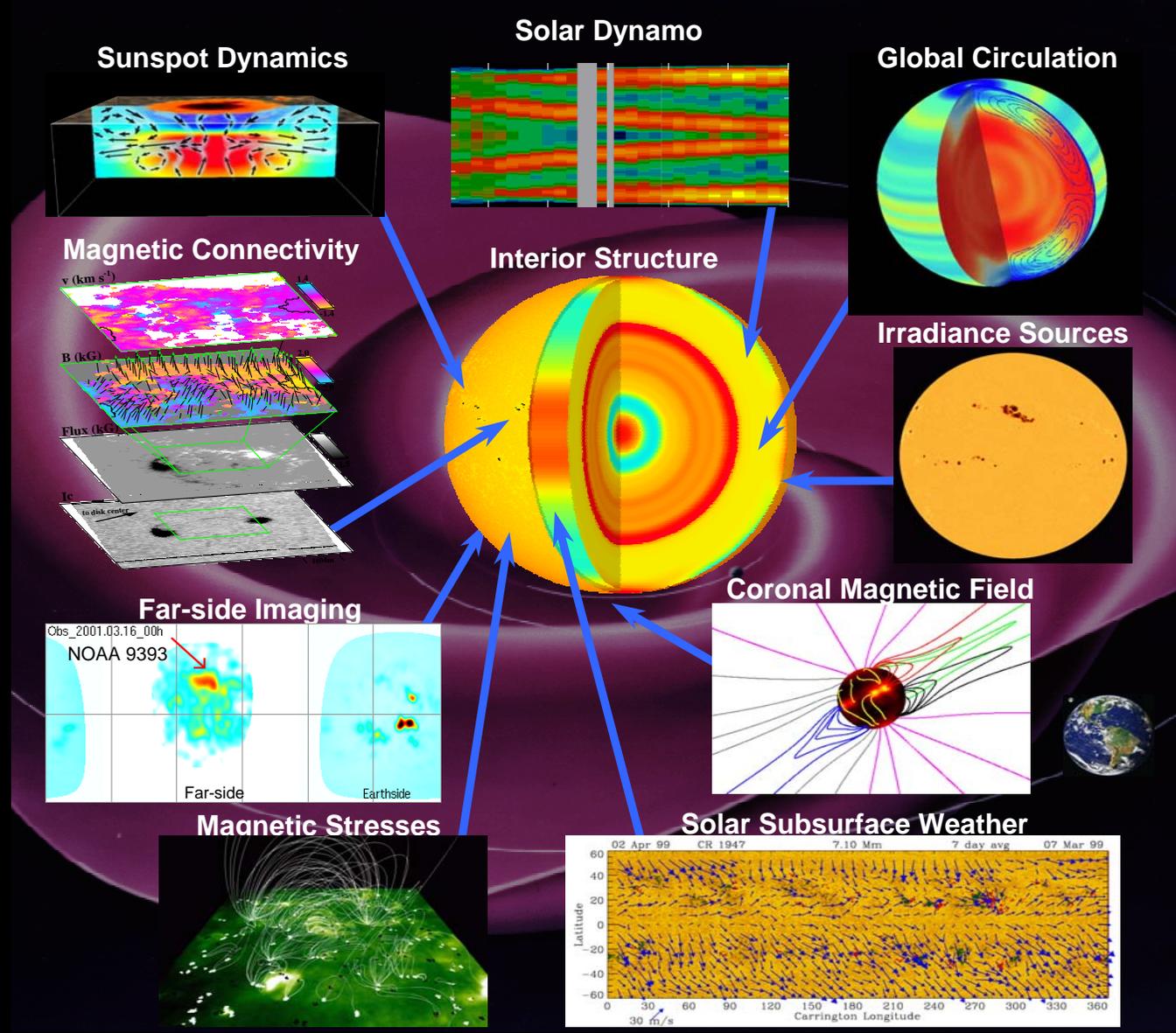
- EUV Variability Experiment (EVE)
- Helioseismic and Magnetic Field Investigation (HMI)
- Atmospheric Imaging Assembly (AIA)

HMI - Helioseismic and Magnetic Imager



- HMI est le successeur du MDI sur SOHO mais avec tout le disque avec 1,5" de résolution (CCD de 4000x4000).
- Magnétogramme toutes les minutes et vecteur magnétogramme toutes les 10 minutes.

Objectifs de HMI/SDO



Sunspot Dynamics

Solar Dynamo

Global Circulation

Magnetic Connectivity

Interior Structure

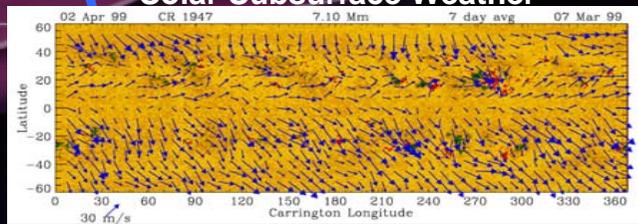
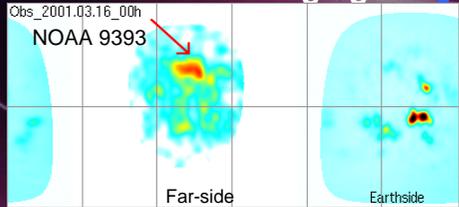
Irradiance Sources

Far-side Imaging

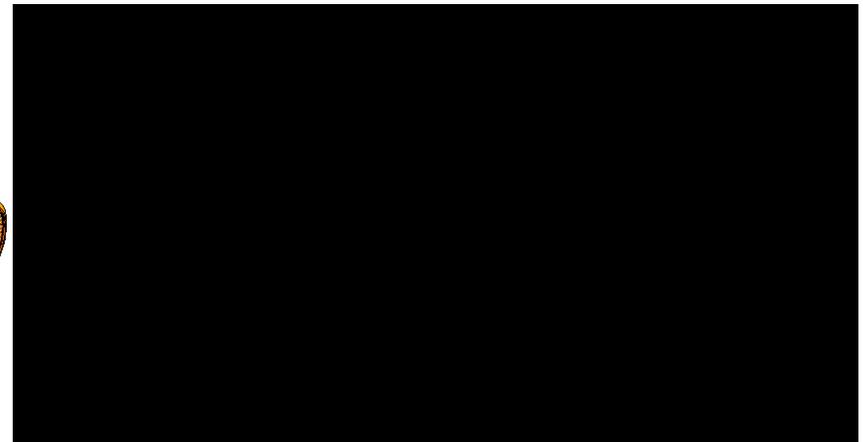
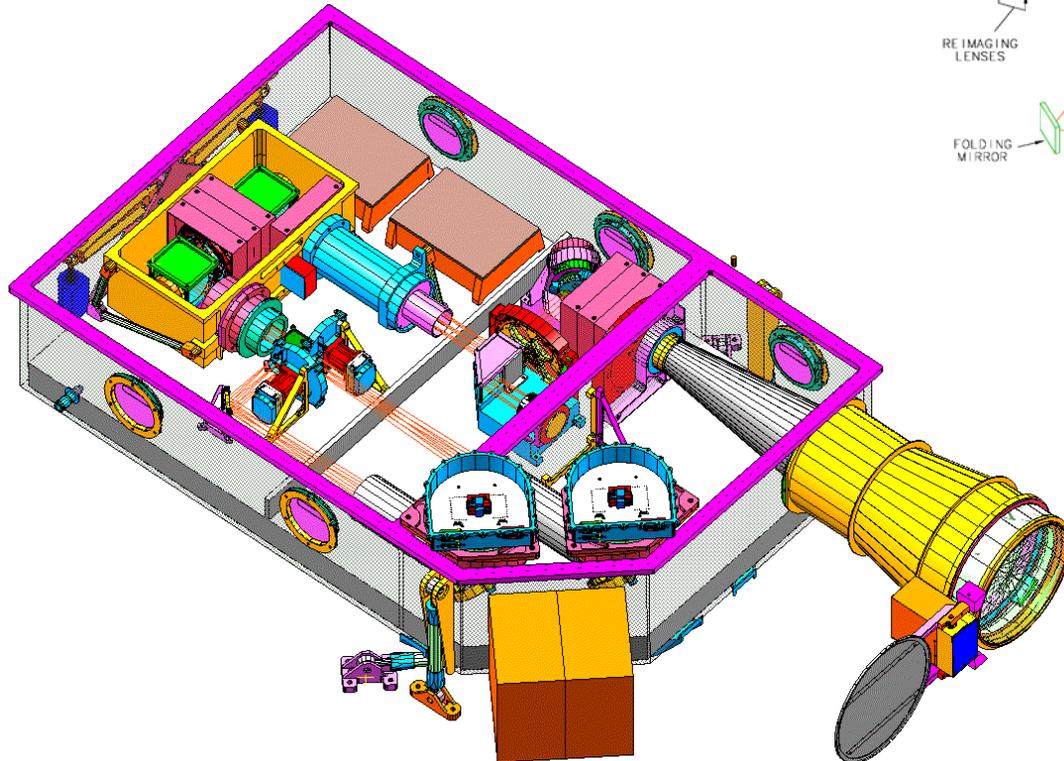
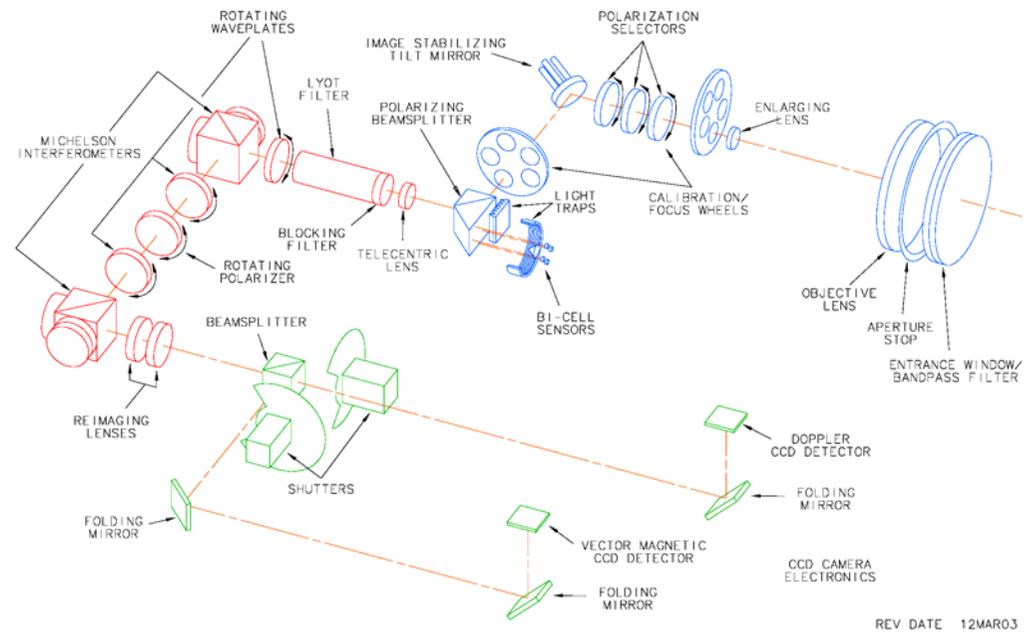
Coronal Magnetic Field

Magnetic Stresses

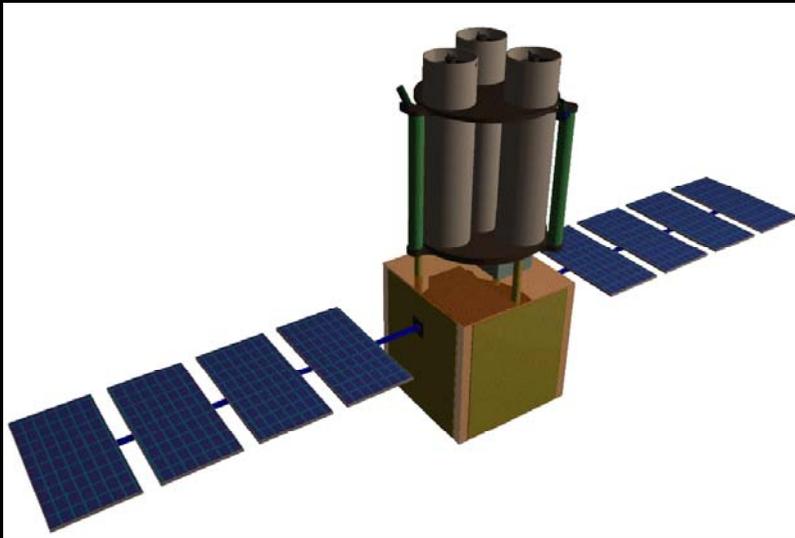
Solar Subsurface Weather



L'instrument HMI sur SDO

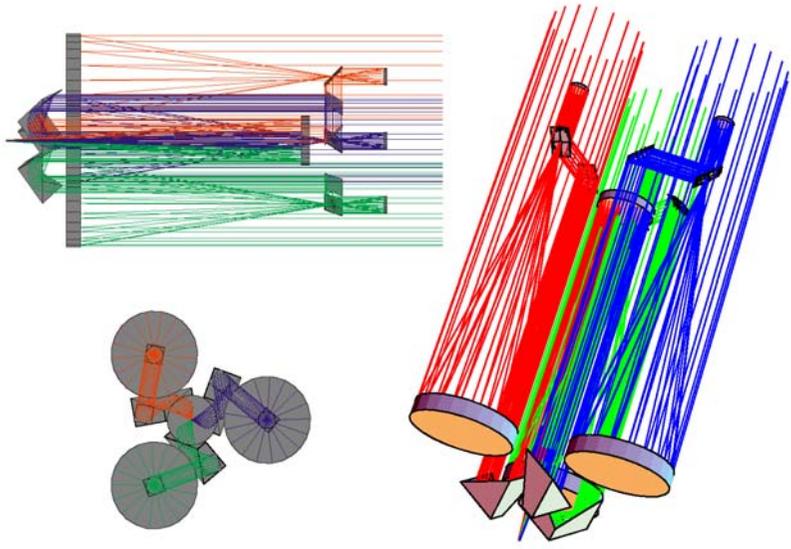


SOLARNET — Haute résolution par interférométrie

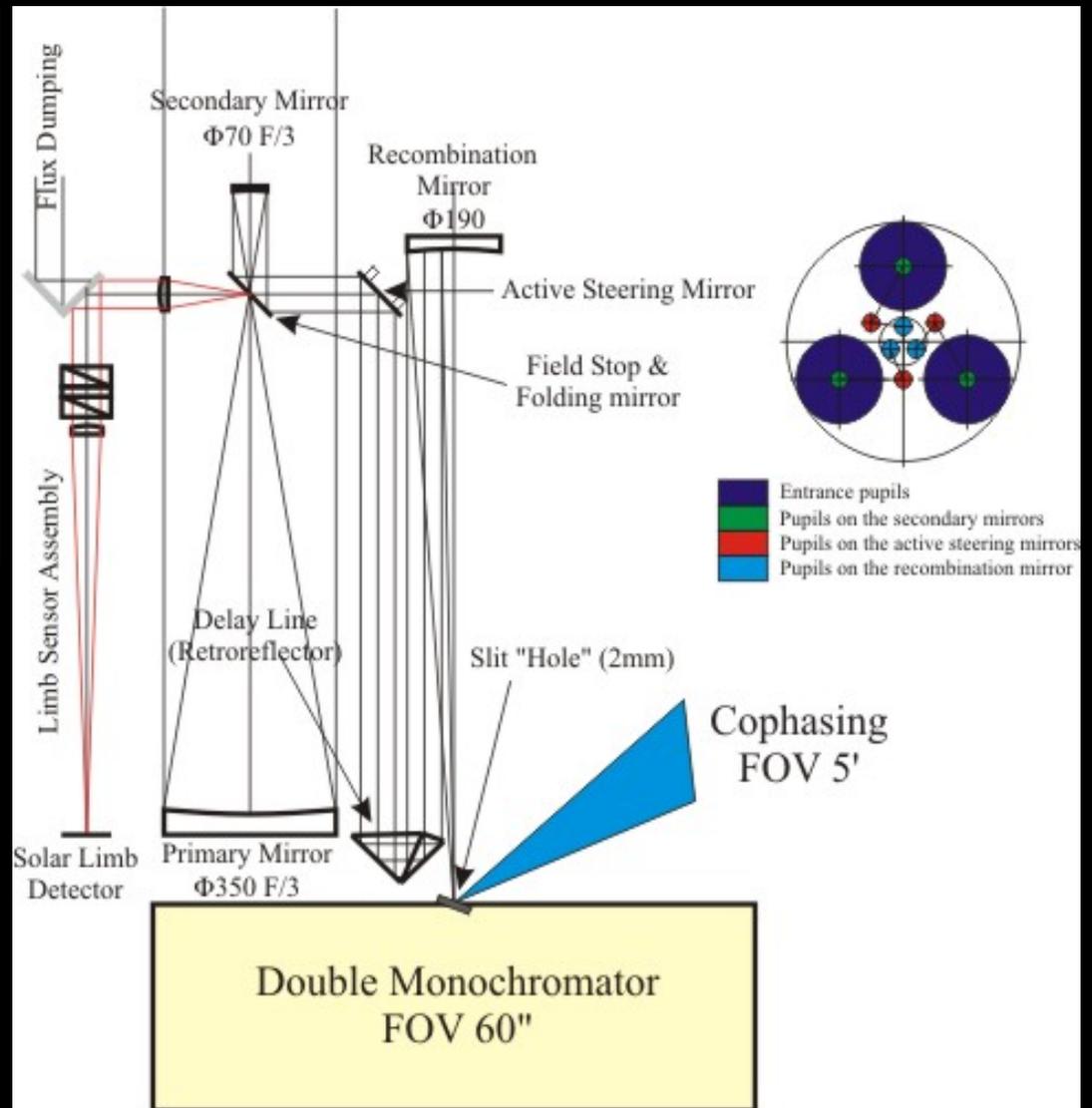


- Projet de mission spatiale sur orbite Héliosynchrone et sur plate-forme PROTEUS CNES (1 m³)
- Objectifs complémentaires de SDO avec l'atout de l'UV lointain à hautes résolutions spectrale et spatiale

SolarNet : un concept unique d'imagerie interférométrique en champ étendu



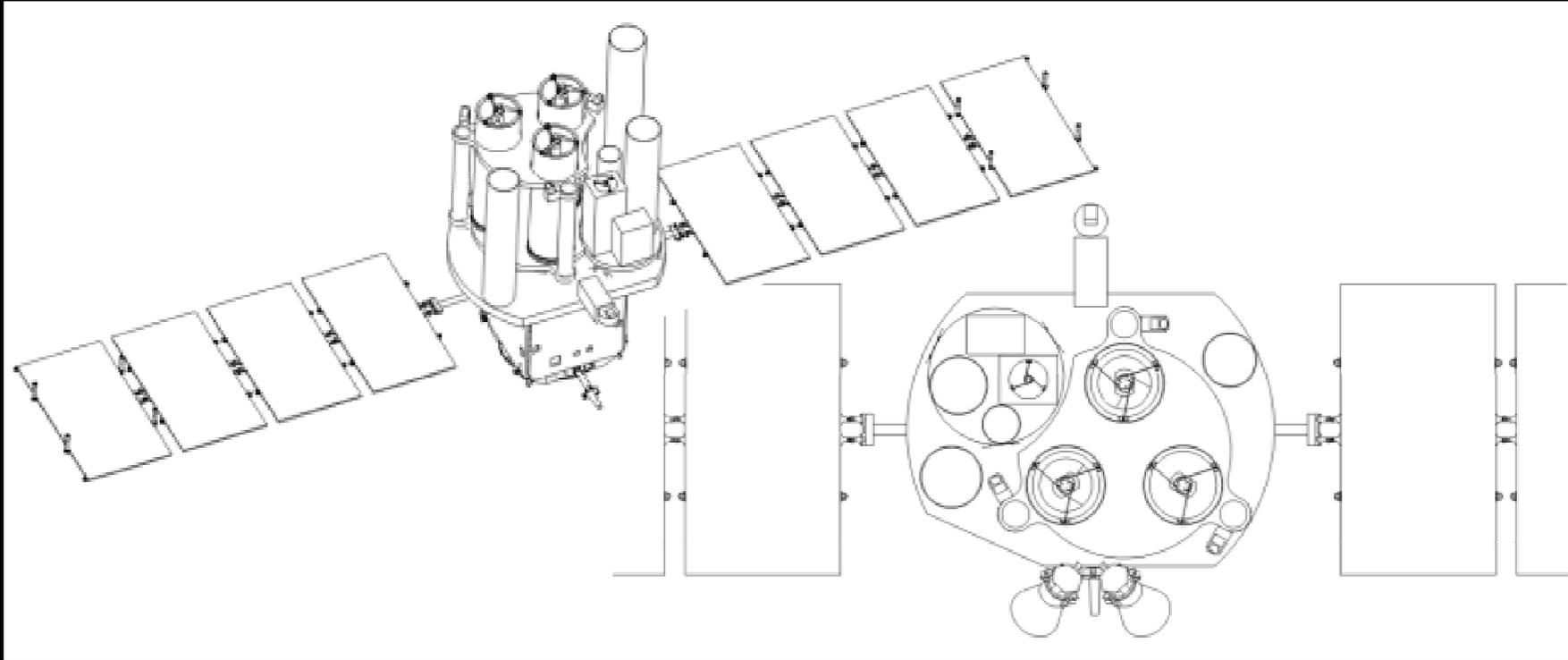
- Configuration compacte : 3 télescopes de $\text{Ø}350$ mm
- Résolution spatiale de $0,025''$ (20–30 km sur le Soleil)
- Instrument focal adapté : un spectro-imageur $\lambda 110\text{--}400$ nm (double monochromateur soustractif FUV–UV et IFTS)



Validation du concept sur le ciel à l'Observatoire de Meudon

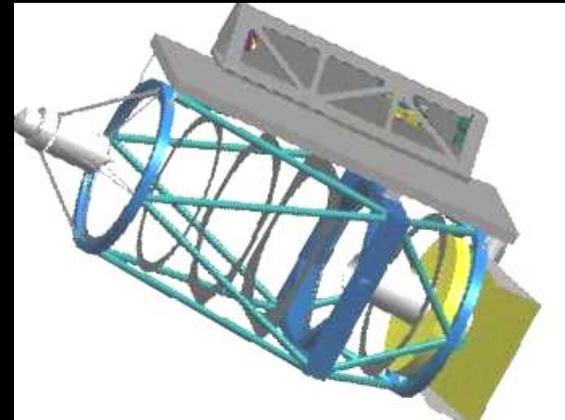


SOLARNET La Mission



- **SOLARNET/SPI (Ø1.7 m x 1.8 m) sur la plate-forme PROTEUS de 1 m³**
- **Noter la plate-forme pointée de Ø 60 cm (Hexapode – 6 actionneurs linéaires)**
- **Le socle d'adaptation plate-forme est optimisé (forme, masse, encombrement, rigidité) pour PROTEUS**
- **Une charge utile très complète peut ainsi être embarquée**

Et, côté ballons, SUNRISE



Télescope
Gregory
de 1 m en
C/SiC

Une mission BALLON haute altitude (40 km) pour étudier la structure et la dynamique du champ magnétique solaire (UV proche jusqu'à 200 nm)

Instruments Scientifiques de SUNRISE

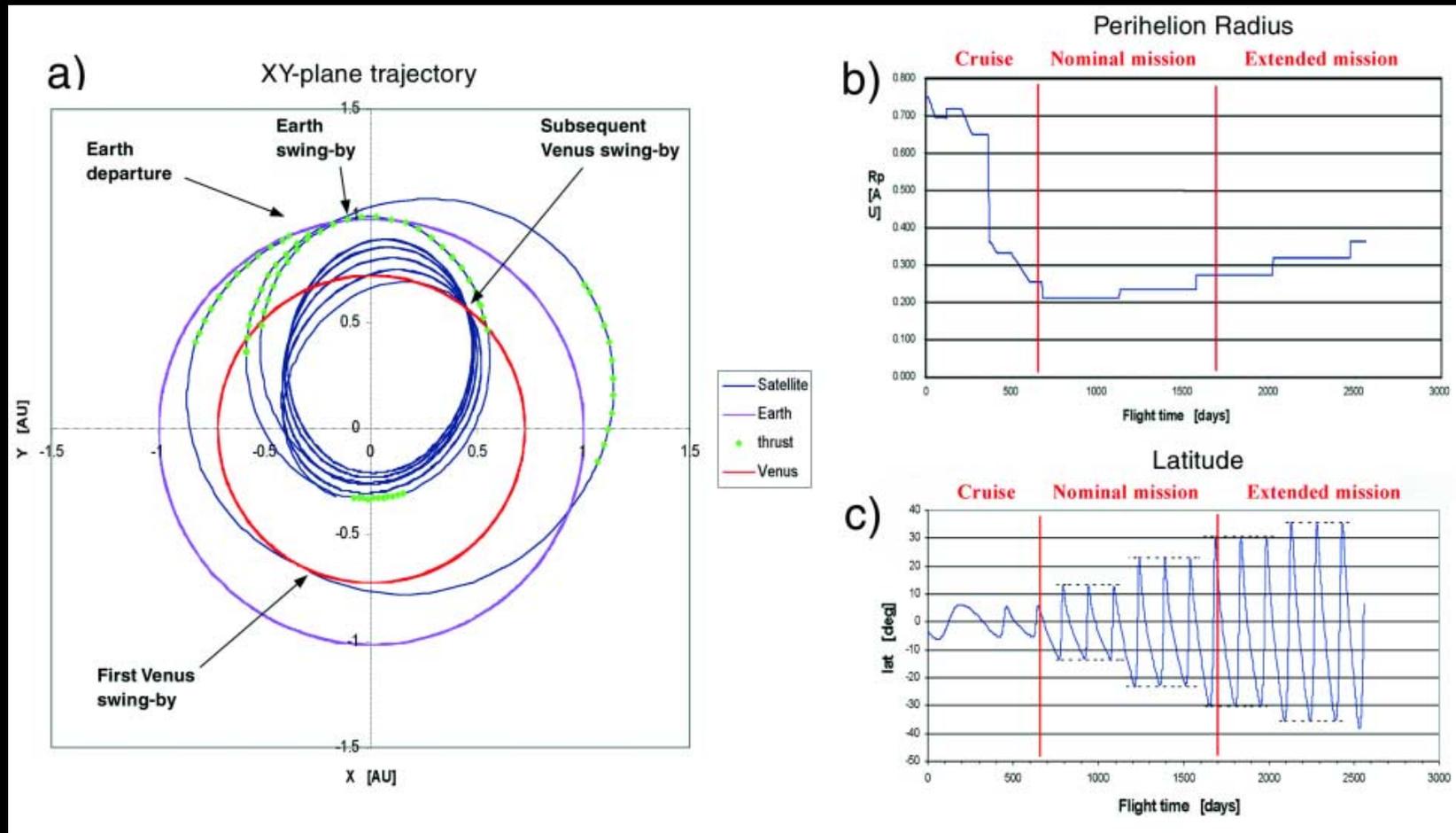
- *Spectrograph-polarimeter*
 - Echelle type, reflective Littrow configuration
 - polarimetry & diagnostic branches
 - full Stokes vector (acc. 10^{-4}) in less than 5 s
- *Filtergraph*
 - multi-wavelength slit-jaw camera
 - 6 wavelength bands selected by filters (<1 nm)
- *Magnetograph*
 - Fabry-Perot etalons & liquid crystal modulators
 - 2D maps of the full magnetic vector
- *Full-disk telescope*
 - broad-band channel: target selection
 - optional narrow band channel: local helioseismology

Flare Genesis

- Originalité : vol ballon longue durée antarctique avec un télescope de 1 m de diamètre
- Vol en 2000 de 17 jours
- Vecteur magnétographe utilisant un Fabry-Perot



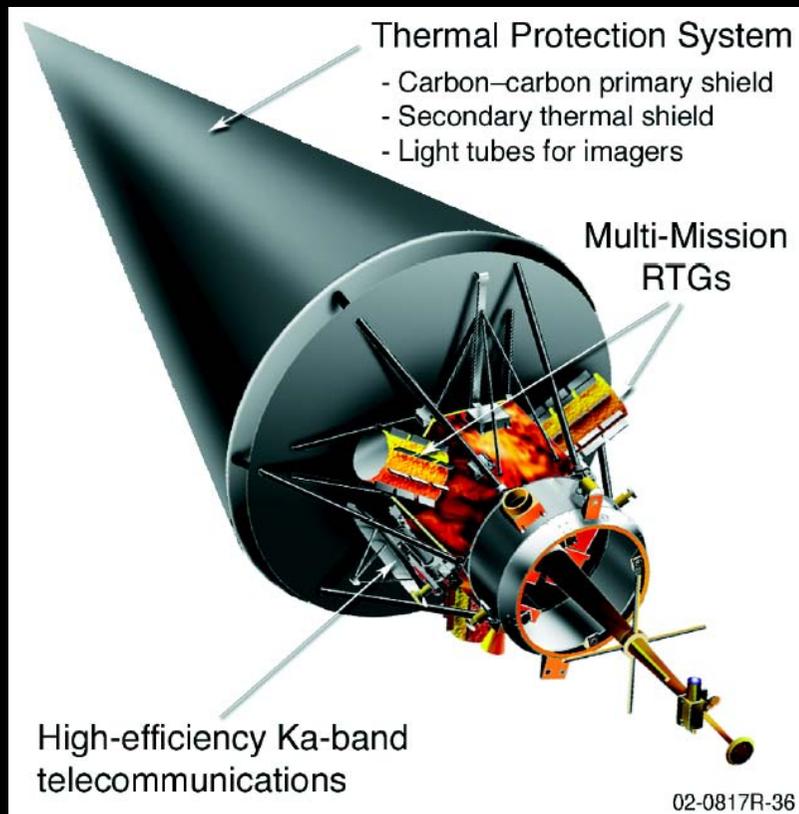
Le Solar Orbiter — 2016 ?



Charge utile possible ?

- Imageur Visible & Magnétographe :
résolution 75 km
- EUV Imageur : 25 km souhaité (mais non réalisable : problème thermique)
- EUV Spectromètre & UV/Visible
Coronagraphe

SONDE SOLAIRE... à plus long terme



- 15° half-angle conical carbon-carbon heat shield
- 3-axis stabilized with 0.2° pointing control and
- 0.05° knowledge
- RTG power source (three Multi-Mission RTGs
- supply 330 W at beginning of life)
- Ka-band downlink, X-band uplink using 34-m
- DSMS dishes
- Data rate: up to 40 kbps real time at perihelion
- Data storage: redundant 128-Gbit stored data
- Instrument payload: 55 kg, 47 W

Et même des imageurs prévus...

- ...malgré les conditions thermiques extrêmes :
 - In situ instruments: Solar wind electrons and ion composition, magnetometer, energetic particle composition, plasma waves, and fast solar wind ion detector
 - Remote-sensing instruments: EUV imager, visible magnetograph–helioseismograph, and all-sky threedimensional coronagraph

Et sur Terre ?

- Pic du midi et la coupole tourelle
- THEMIS
- (télescopes allemands à Tenerife)
- (Tour solaire de Sacramento Peak)
- DOT Dutch Open Telescope
- NSST suédois à la Palma

DOT Dutch Open Telescope

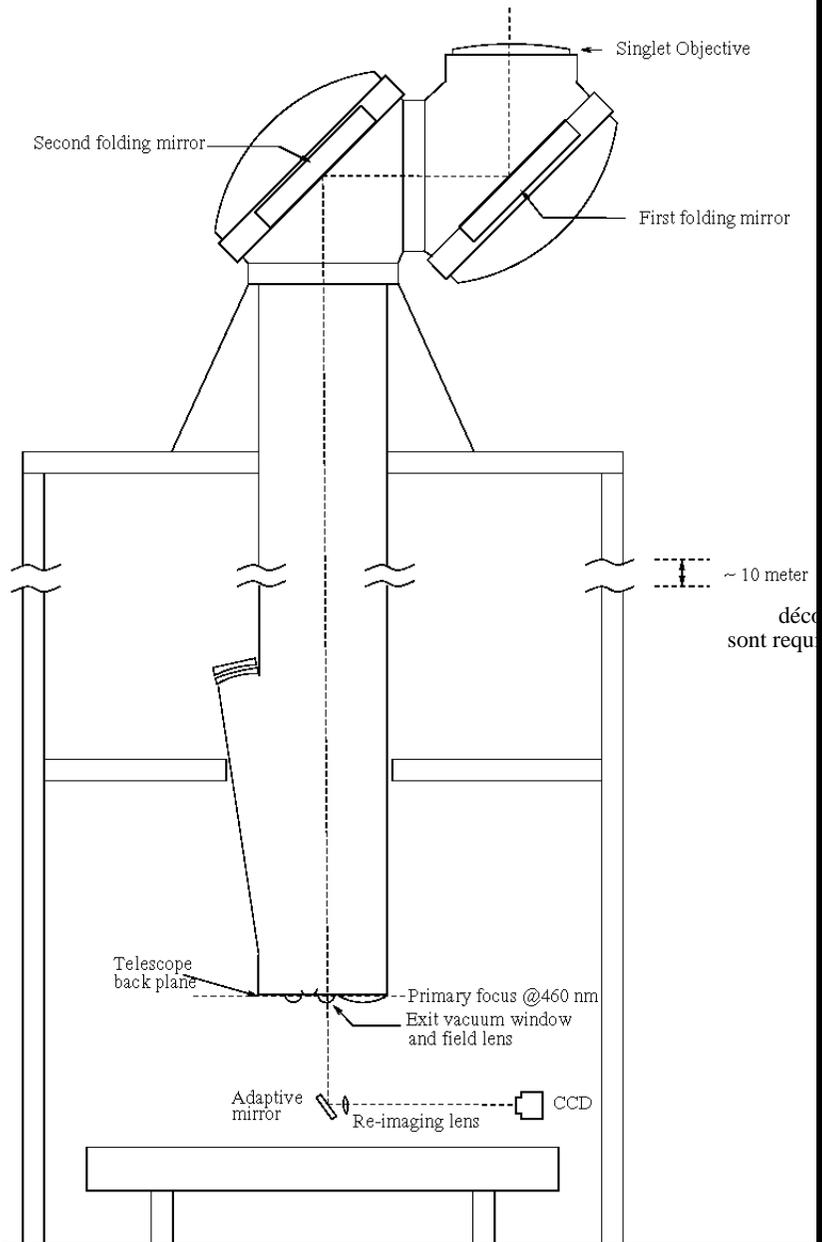
- Tour ouverte à La Palma
- Primaire de 45 cm
- Traitement optimisé speckle multi-longueurs d'onde
- Banc de test des projets GREGOR et ATST



NSST — New Swedish Solar Telescope

- Télescope de 1 m tourné vers la très haute résolution : optique adaptative.
- Résolution meilleure que 0,1" (pixel = 0,042")



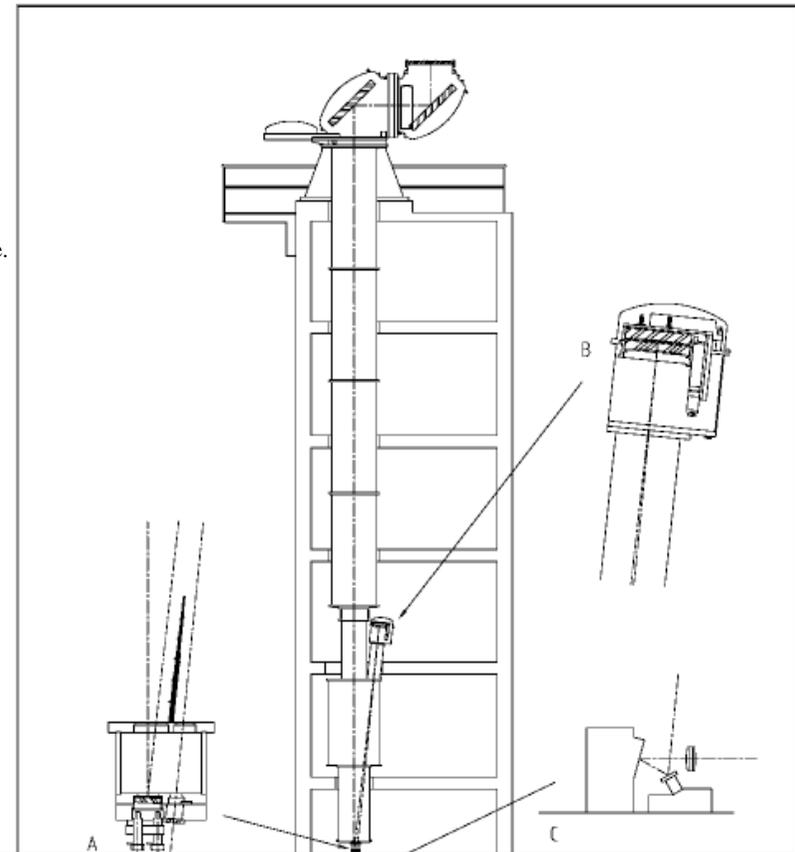


The Institute for Solar Physics of the
Royal Swedish Academy of Sciences

Schematic drawing

Schematic drawing of the tower with the turret and vacuum system.

- A. Details of the box holding the field mirror and field lens.
- B. The Schupman corrector with one lens and one mirror.
- C. The re-imaging optics, located on the optical table and consisting of a tip-tilt mirror, an adaptive mirror and a re-imaging lens.

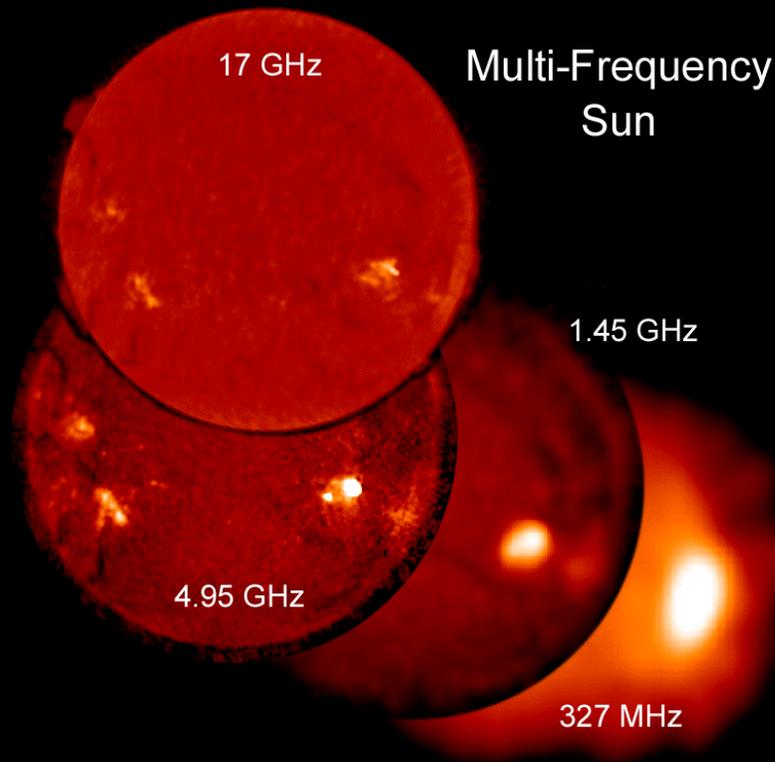


Bande G juillet 2002

Projets sol

- Plusieurs projets possible en antartique autour du DOME C (seeing et transmission de l'atmosphère excellents... mais prévoir des vêtements chauds)
- FASR — 3 réseaux d'antennes radio
- GREGOR — 1,5 m
- ATST — 4 m

FASR — Frequency Agile Solar Radiotelescope



- Projet Américain du NJIT (New Jersey)
- Participation française
- CME images et spectres
- Mesure des champs magnétiques coronaux (carte 2D)

FASR — Frequency Agile Solar Radiotelescope



GREGOR — 1,5 m

- Télescope ouvert (comme le DOT) avec dôme rétractable complètement (remplace le Gregory de Tenerife)
- Optique en C/SiC
- Optimisé pour la spectro-polarimétrie
- Optique adaptative multi-conjuguée

Open Telescope

GREGOR is designed as a completely open telescope with a retractable dome, to avoid internal seeing. This design allows for a lightweight and very stiff construction. Care will be taken to protect the telescope from dust and from strong wind.

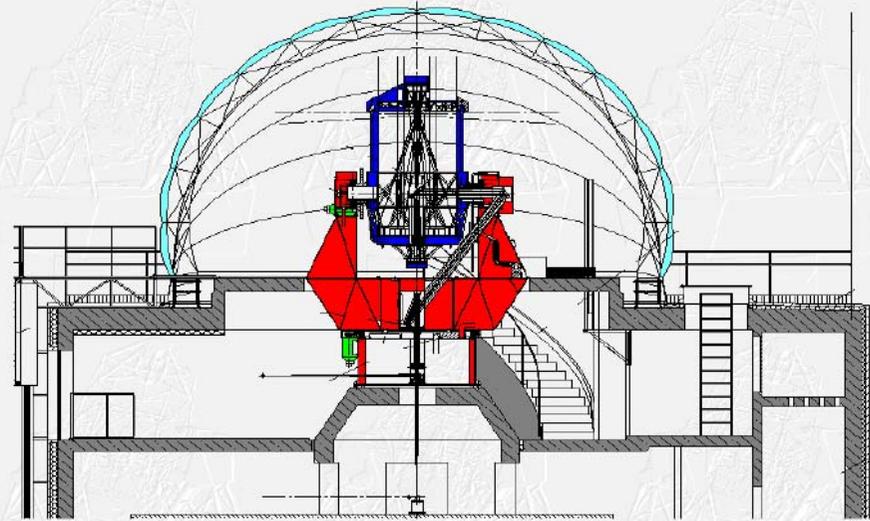
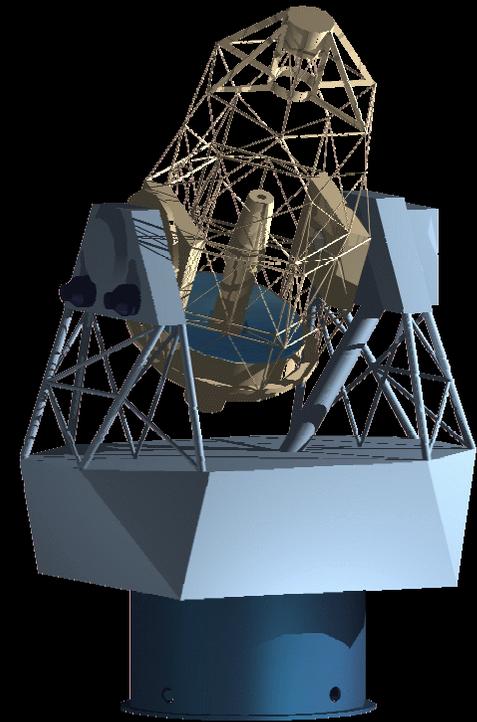


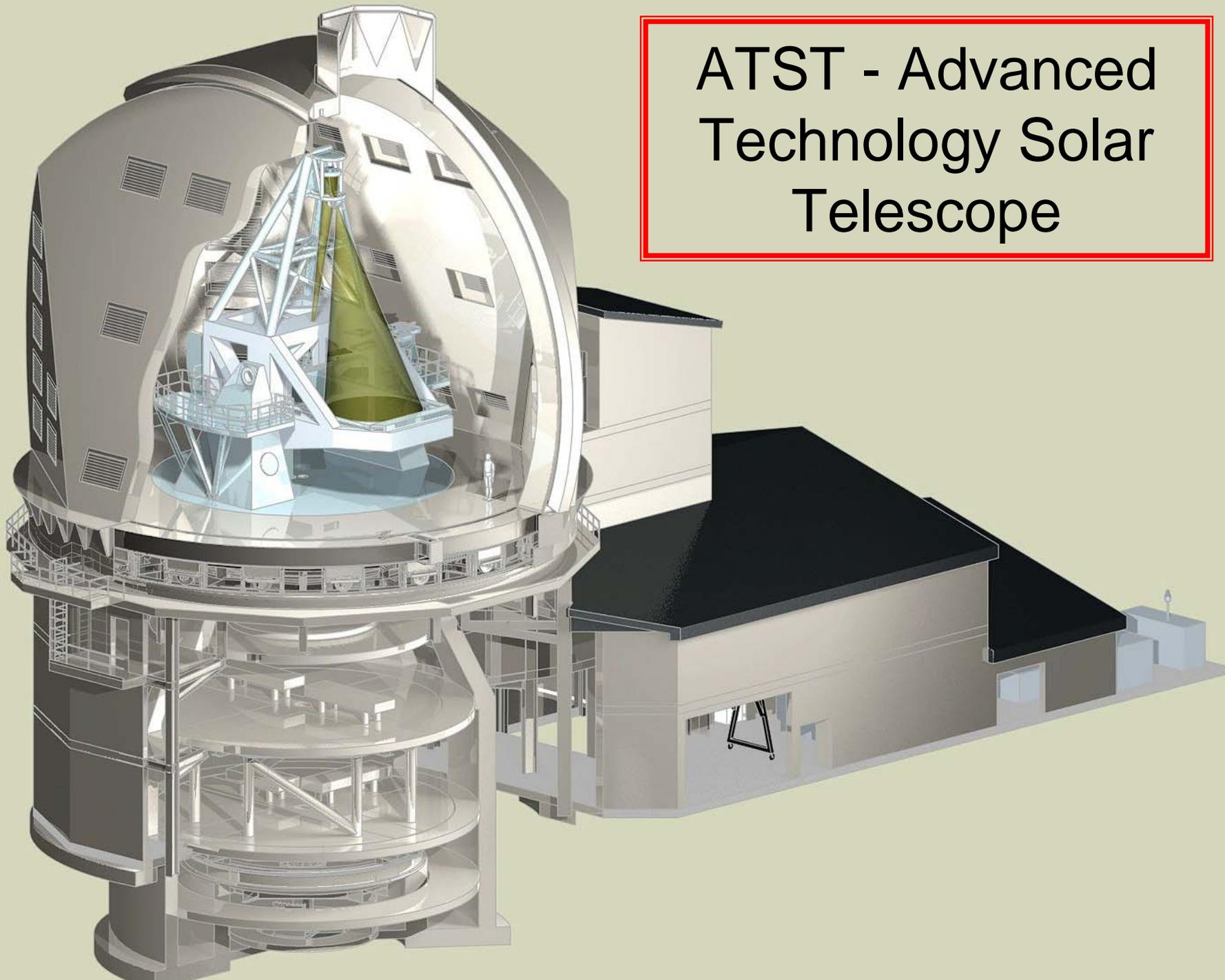
Fig. 8: sketch of the GREGOR telescope in the GCT building and the two observing floors. Instruments can be located in the upper floor on optical benches and on the existing spectrograph table in the lower floor.

GREGOR — Instruments

- **2 dimensional Spectrometer (USG)**
 - Similar of Göttingen FPI at VTT with high spatial (0.1") and spectral resolution (200 000 – 300 000)
- **Polarimetry Unit (AIP)**
 - Complete Unit near F2 (modulation & calibration unit)
- **UV/Visible-Spectro-Polarimeter (POLIS)**
 - 220 000 spectral and 0.1 " spatial resolution
- **Tenerife Infrared Polarimeter (TIP)**
 - 260 000 spectral and 0.2" spatial resolution
- **General Purpose Grating Spectrometer**
 - Dual use of old GCT and VTT echelle grids
- **(Spectrograph for night time observation)**

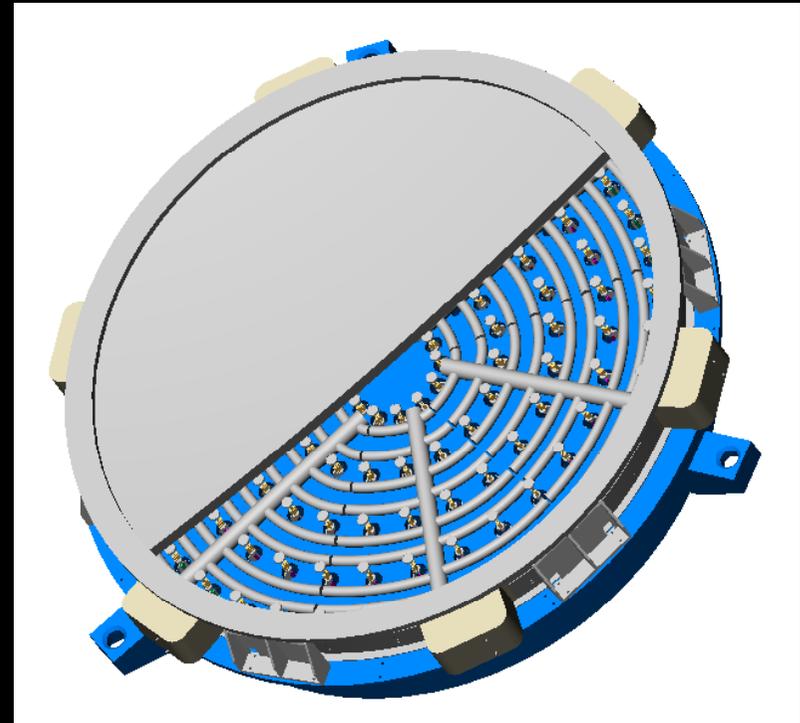


ATST - Advanced Technology Solar Telescope



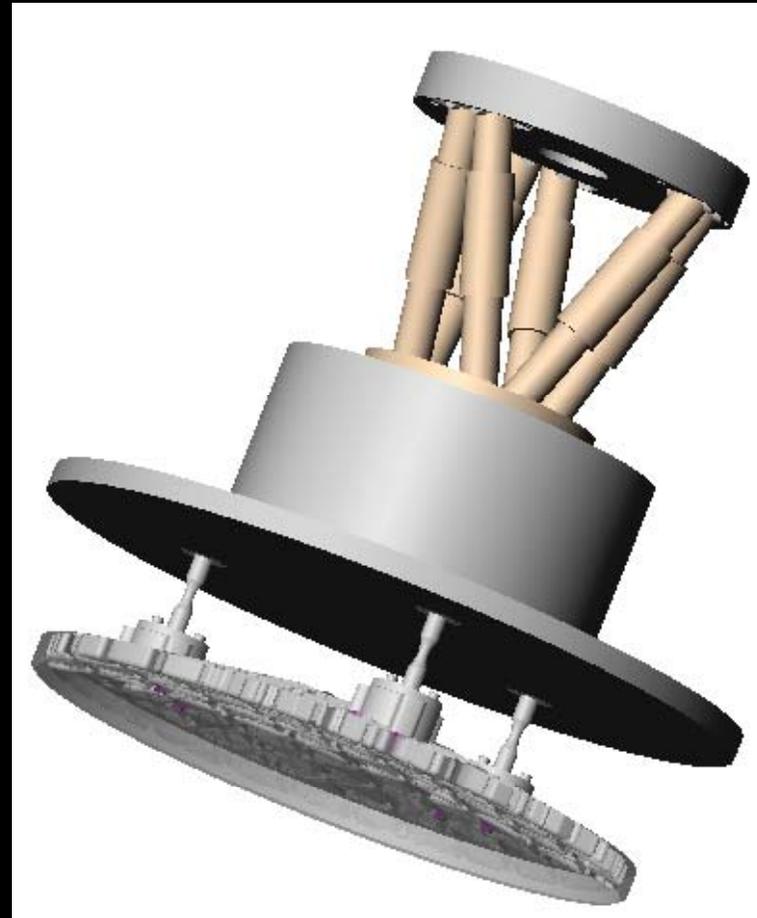
ATST - Advanced Technology Solar Telescope

- 4.3 meter substrate
 - 100 mm thin meniscus
 - Low expansion material
- 120 active supports
- Forced cooled air temperature control
- FOV: 3.5 arc minutes
- λ 0.3–35 μm



ATST - Advanced Technology Solar Telescope

- 600 mm lightweight mirror
- 6 d.o.f mount
- Fast tip / tilt
- Air cooled from back
- Et un système d'optique adaptative...



ATST - Advanced Technology Solar Telescope

- Spatial resolution: $>\sim 0.1$ arcsec using adaptive optics
 - to resolve the photon mean free path and the pressure scale height in the photosphere
 - to probe IR signature of cool clouds in the chromosphere and test models of their radiative cooling
- Polarization accuracy: 10^{-4} of intensity
 - to precisely measure the magnetic field vector and test models of wave generation in magnetic flux tubes by surrounding granulation
 - to test models of extremely weak magnetic fields in the photosphere, chromosphere, and in prominences using Hanle effect
- Scattered light: $<10\%$ in sunspots, coronagraphic in thermal IR
 - to test models of magneto-convection in the darkest parts of sunspots
 - to measure properties of coronal magnetic fields and test models of coronal heating

Que reste-t-il aux amateurs ?

- Très peu car, limitées par la transmission (visible) et la turbulence, les observations seront d'un intérêt marginal.
- La spectroscopie est, d'autre part, inaccessible car, au sol, il est intéressant d'utiliser des résolutions très élevées (profils de raies) et de soigner la polarisation...

L'aide à la R&D dans les observatoires

- Une possibilité reste ouverte et d'intérêt : c'est l'aide à la R&D. La mise en œuvre d'une instrumentation nouvelle avec tests solaires demande un environnement très complet (gestion d'un observatoire).
- Bien sûr il s'agit d'un travail technique et pratique (codeurs de positionnement, suivi, alertes météo - type "nuages", etc.), mais essentiel à la bonne réalisation des observations.



Automatiser le Grand Sidérostas ?

Conclusions

Les observations spatiales sont essentielles et procurent des résultats sans équivalent à toutes les longueurs d'onde. L'absence d'atmosphère permet une meilleure résolution spatiale, des poses plus longues et un champ important : tous les ingrédients du succès !

Au sol, avec les possibilités de mettre en phase le front d'onde (optique adaptative ou interférométrie) il est aussi possible d'étudier quelques phénomènes localisés dans la photosphère ou la chromosphère, et de mettre en place des instruments "lourds" pour l'étude à haute résolution spatiale et spectrale du champ magnétique solaire (polarisation). Les grands projets sol relèvent tous de cette approche.

Pour les amateurs, la marge de contribution est certainement étroite et limitée, mais cela ne doit pas occulter le plaisir d'observer le Soleil et ses caprices !

FIN