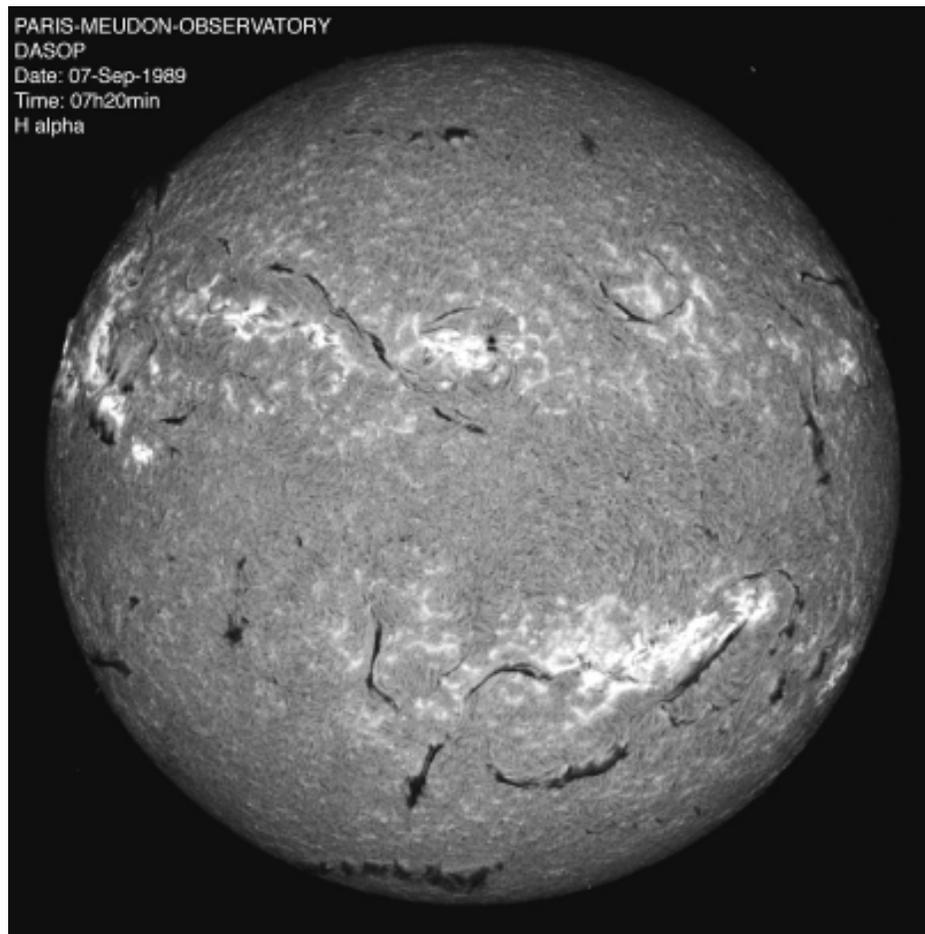


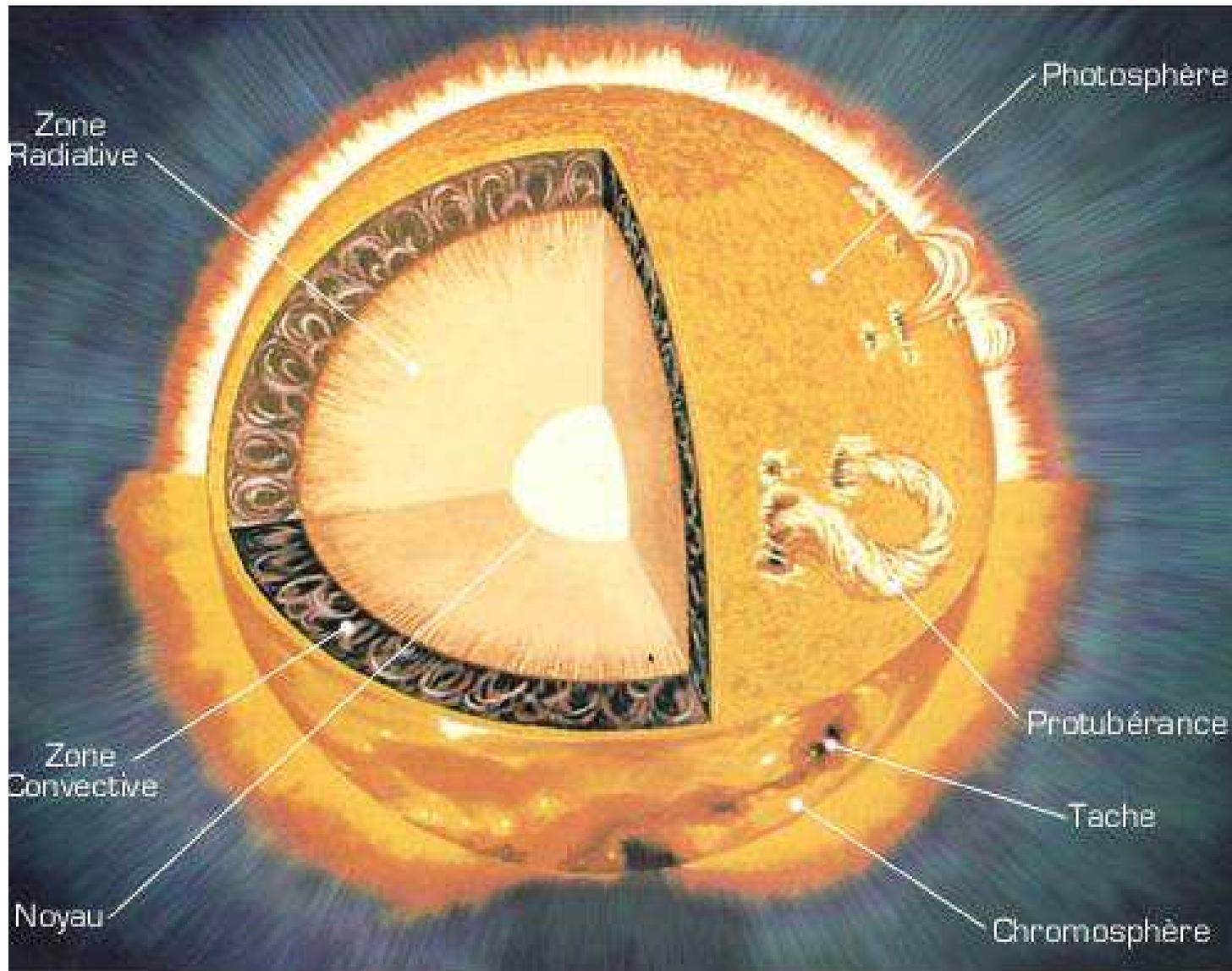
Les observations du Soleil à Meudon

Histoire et développements instrumentaux



Par Régis LE COGUEN,
Observatoire de Paris
LESIA, 5, place Jules
Janssen, 92195 Meudon,
Cedex





Un peu de physique solaire

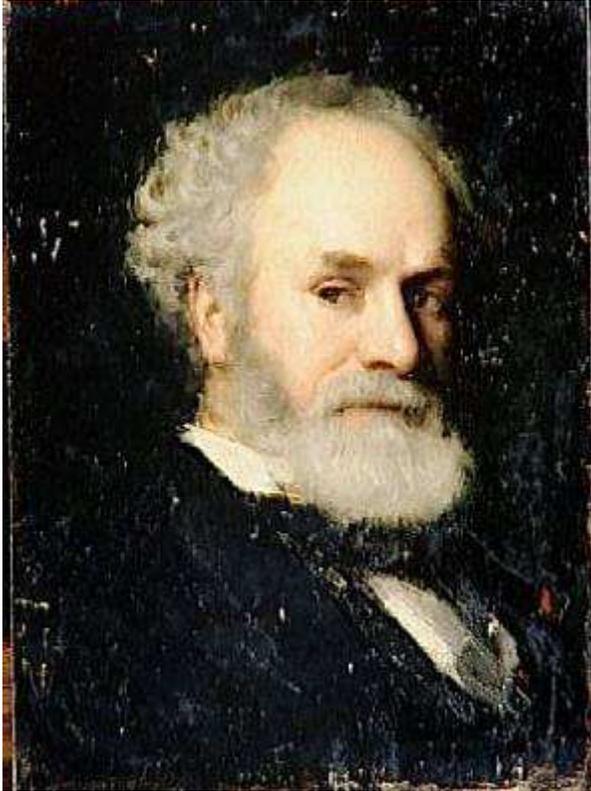
Pour le physicien, le Soleil est une boule de gaz, 75% H, 23% He et 1 à 2% d'éléments plus lourds.

Au centre, production d'énergie par fusion. $T=15 \times 10^6$ ° $P=10^9$ atm

$D=160$ g/cm³.

Les rayons gamma produits sont transmis par radiation dans les couches profondes.

Dès que la température baisse, environ 200000°, soit 200000 km de profondeur, le transport devient convectif.



Jules Janssen 1824-1907

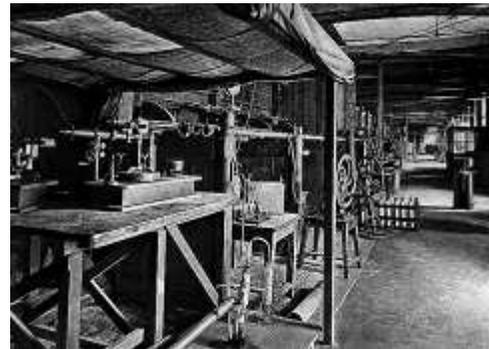
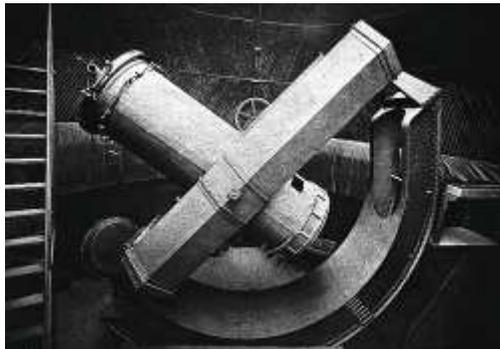
Le baroudeur de l'astronomie

- Travaille à 16 ans**
- Thèse à 36 ans (1860)**
- Enseignement de la physique (1865-72)**
- Observatoire à Montmartre (1862)**
- Pérou, localisation équateur magnétique (1857)**
- Eruption volcanique dans les Cyclades (1867)**
- Eclipse à Trami en Italie (1867)**
- Eclipse en Inde (1868) Hélium et idée du spectrohélioscope**
- Vol en ballon pour observer l'éclipse en Algérie (1870)**
- Eclipse en Inde (1871) raie verte coronale**
- Passage de Vénus au Japon (1874)**
- Eclipse à Malacca (Malaisie) (1875)**
- Eclipse sur l'île Caroline (1883)**
- Eclipse en Espagne (1905)**

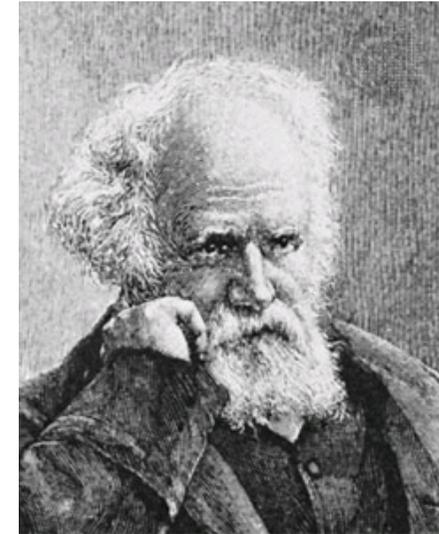
La création de l'observatoire de Meudon



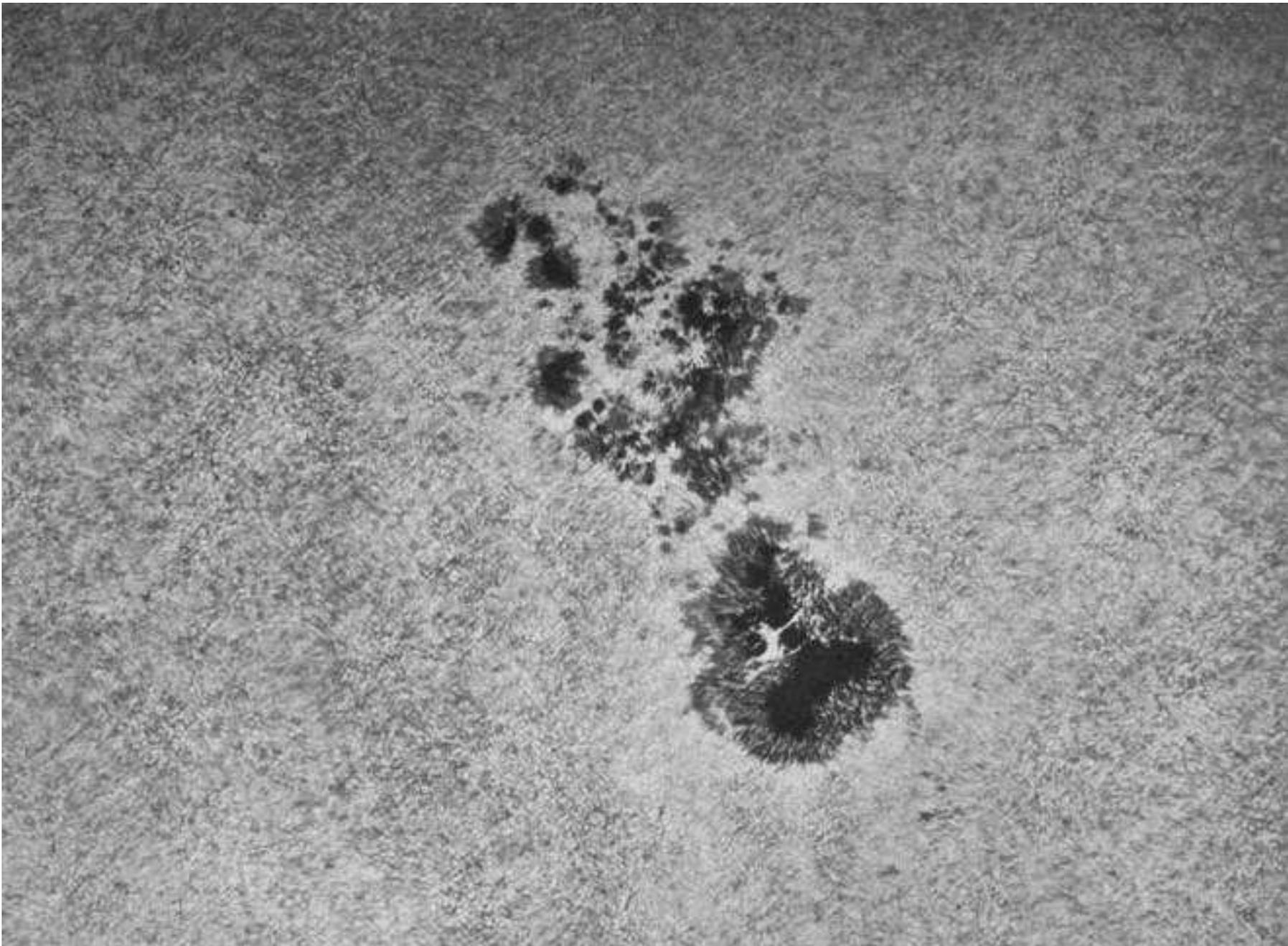
L'observatoire de Meudon était uniquement destiné à l'astronomie physique, délaissée en France. Janssen voulait y développer la photographie et la spectroscopie.

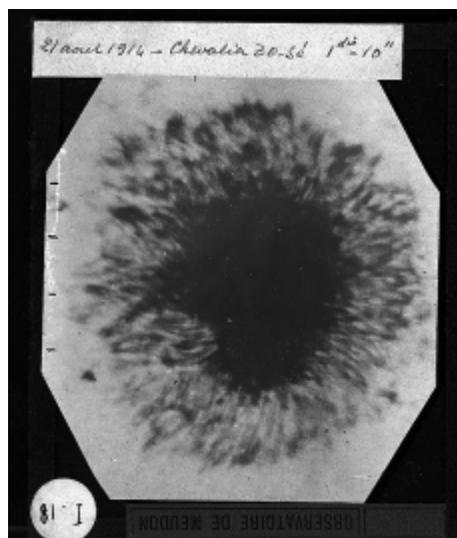
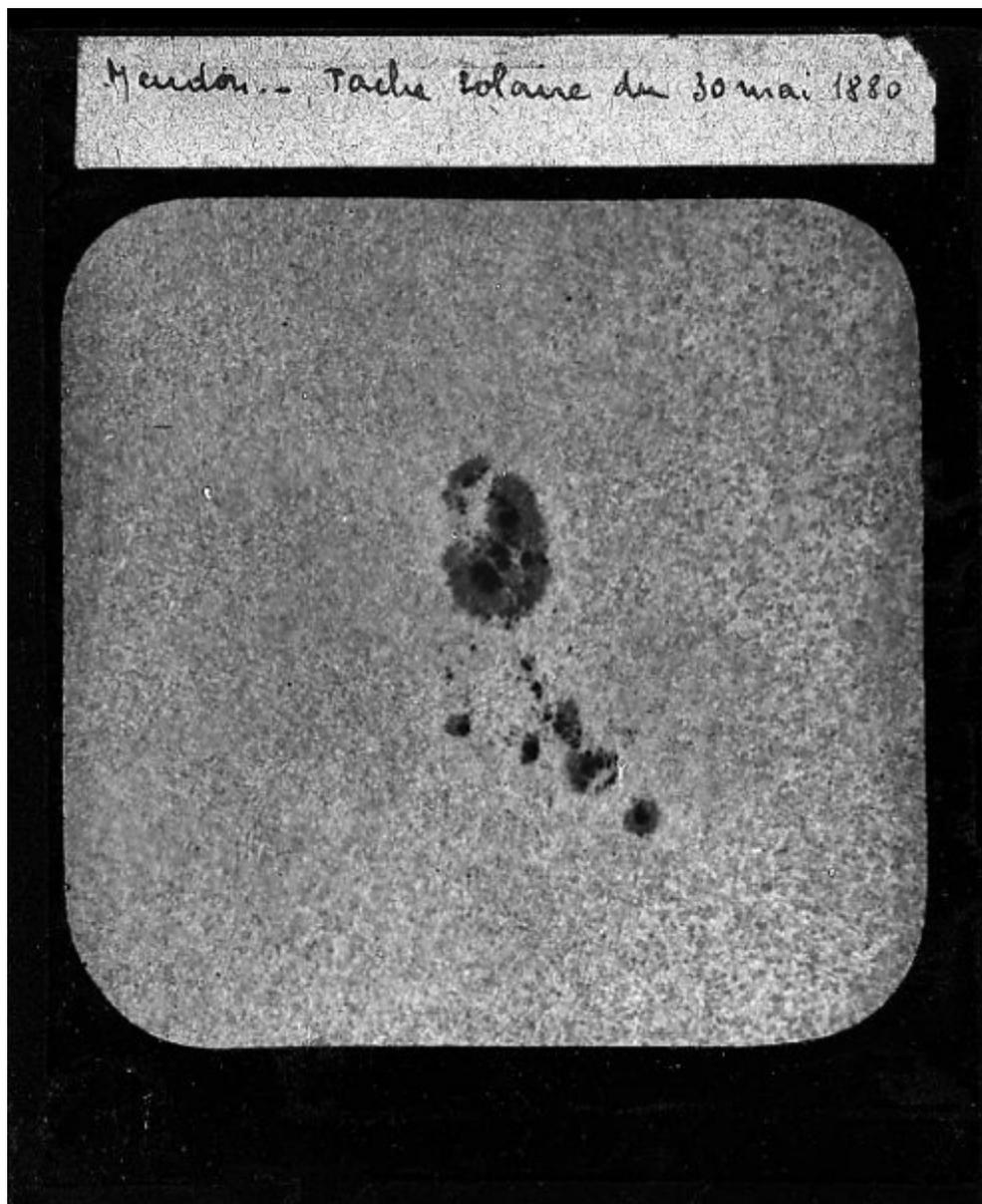
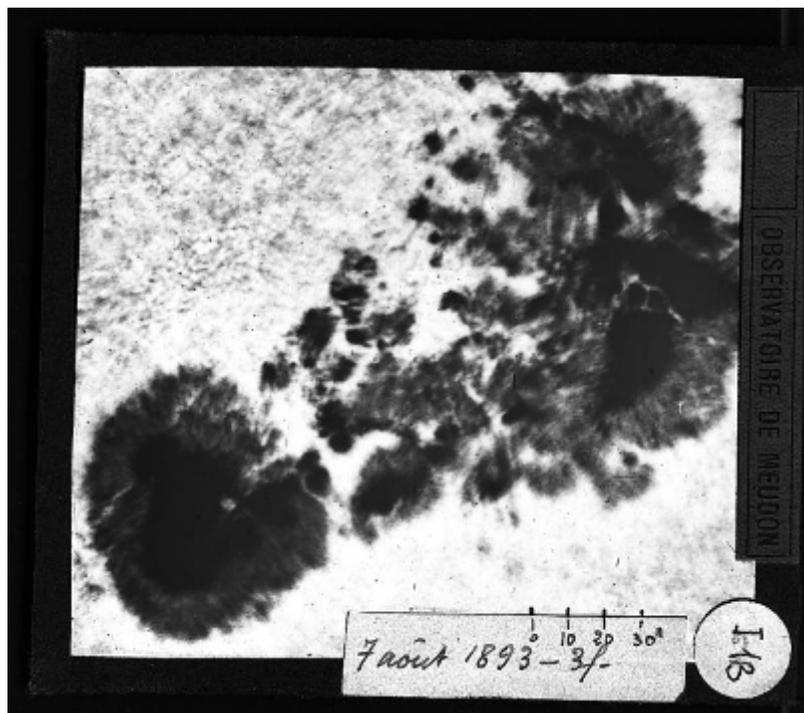


La lunette photographique de Janssen



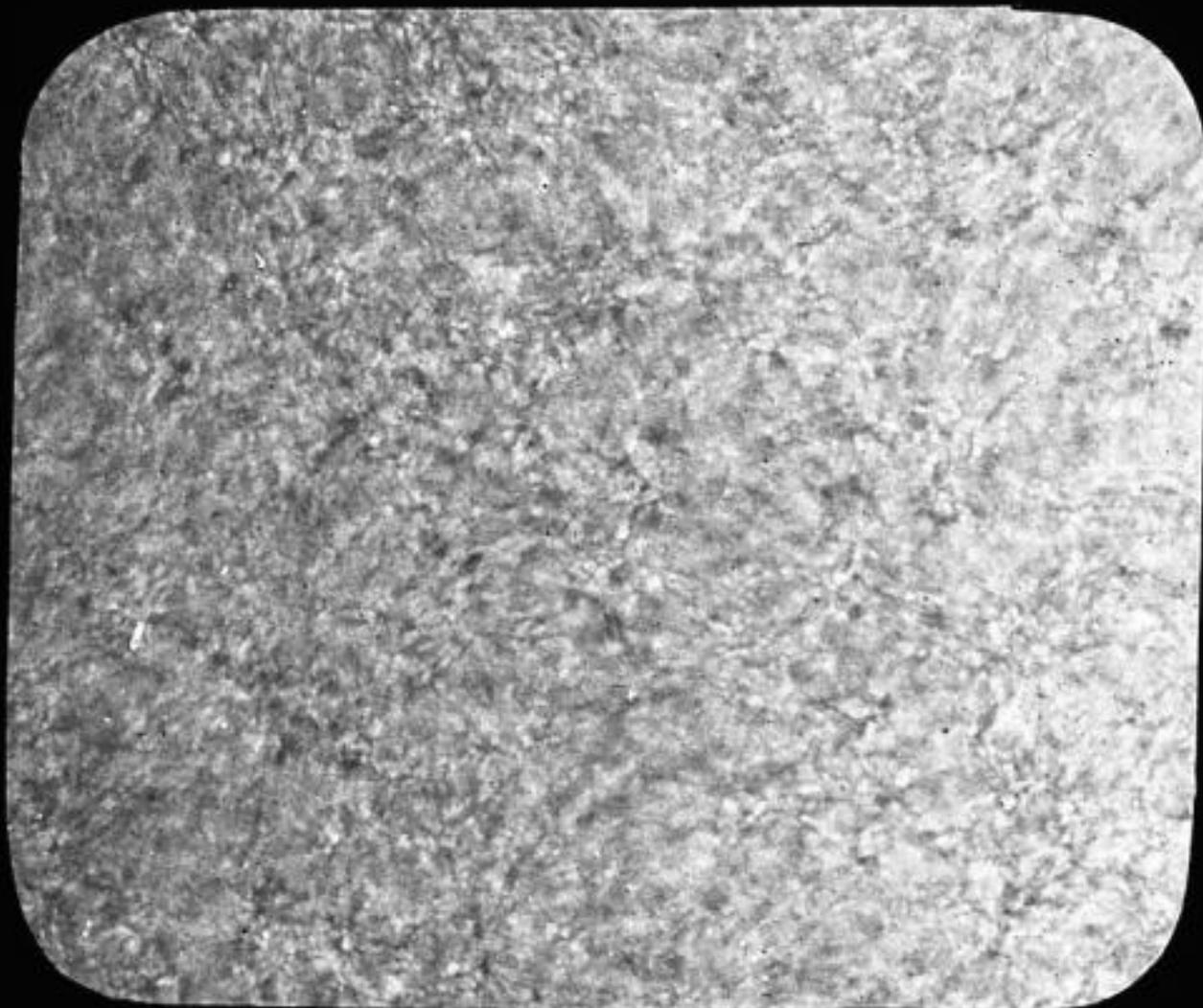
- La lunette de Janssen possède un objectif de 5 pouces. Optique de Prazmowski achromatisée pour la raie G.
- Poses $< 1/1000\text{sec}$
- Plaques préparées par Arents.





Granulations

d'après l'original 32.2. 7. Juin 1878 - 6ⁿ 2-9?

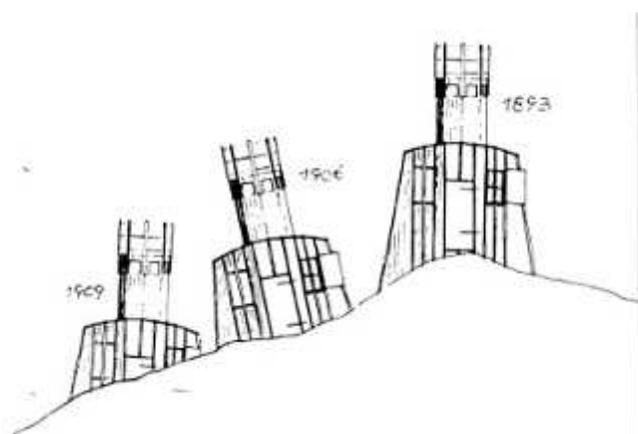


OBSERVATOIRE DE MEUDON

322
2,9

L'observatoire du Mont Blanc 1893-1909





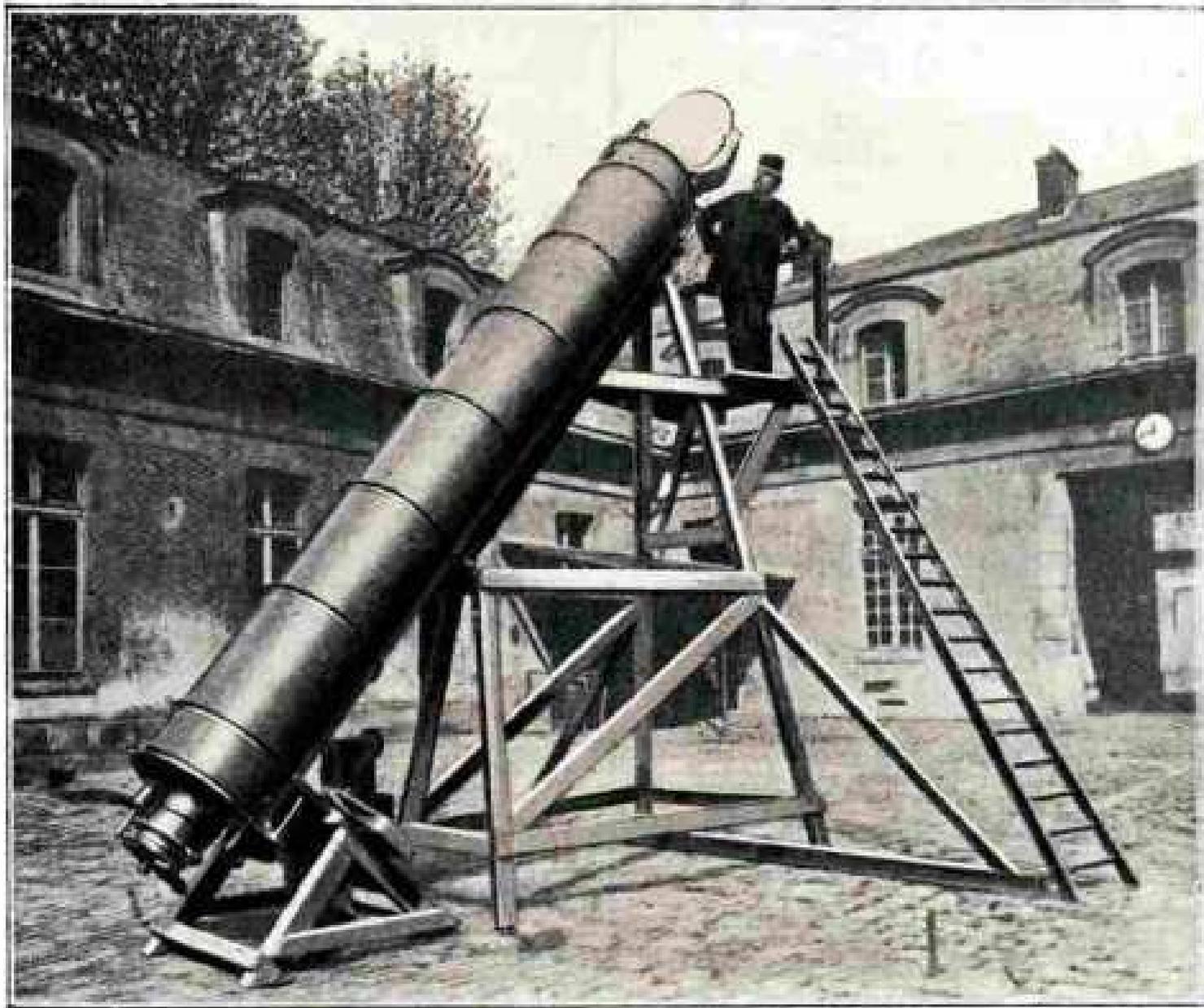
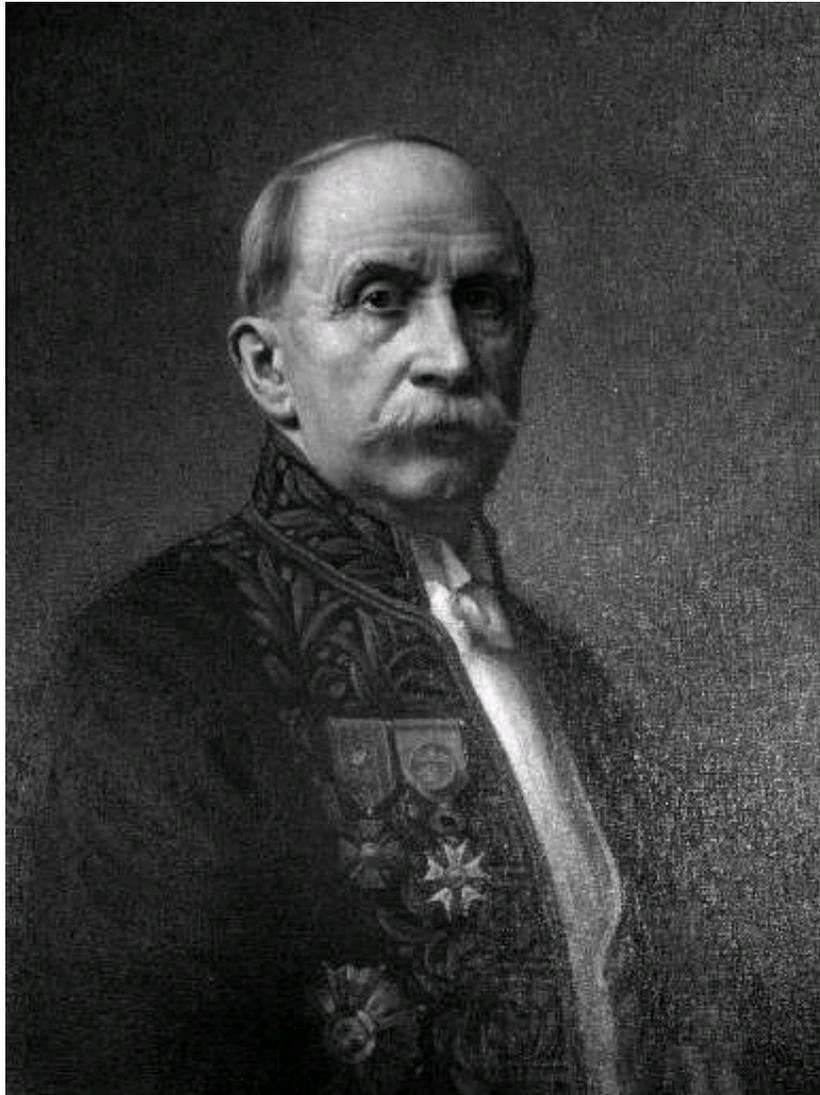


Fig. 5. — La lunette montée, dans la cour de l'Observatoire de Meudon, avant son transport au Mont-Blanc.

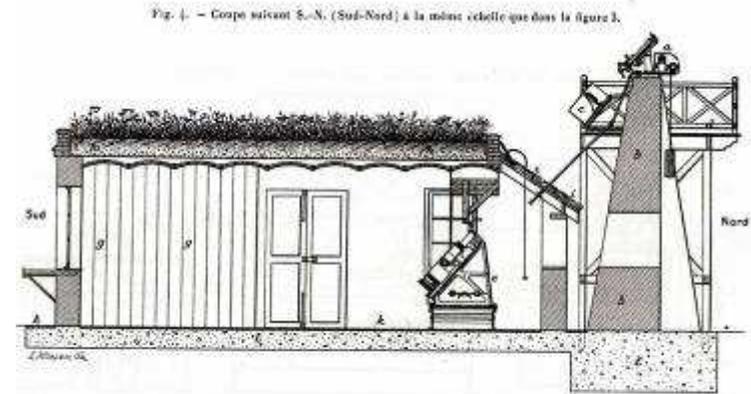
Henri Deslandres 1853-1948



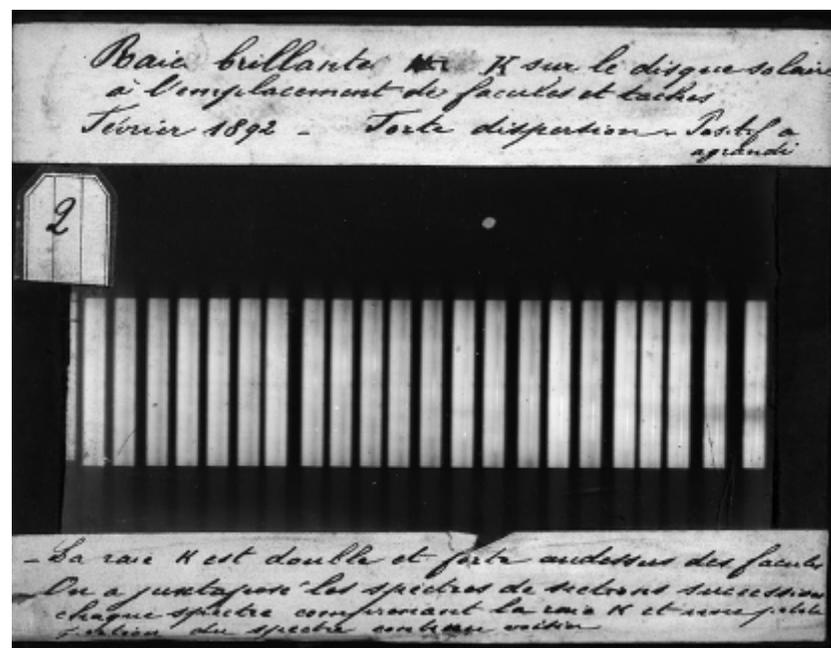
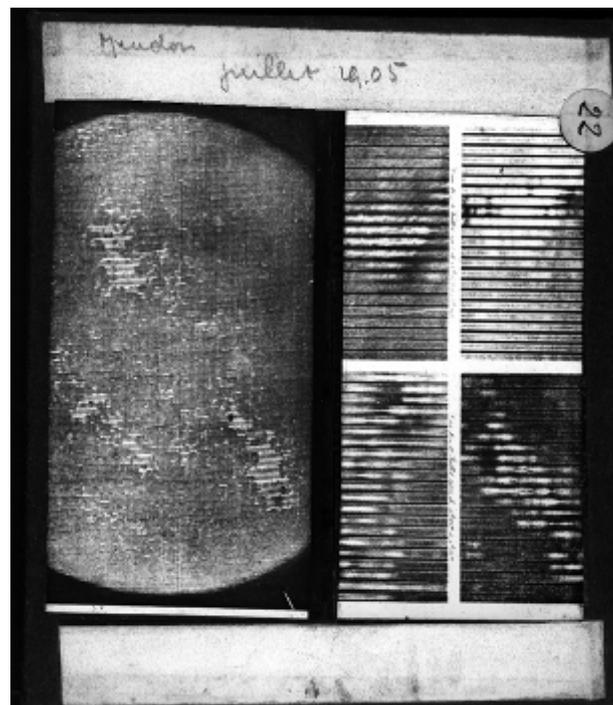
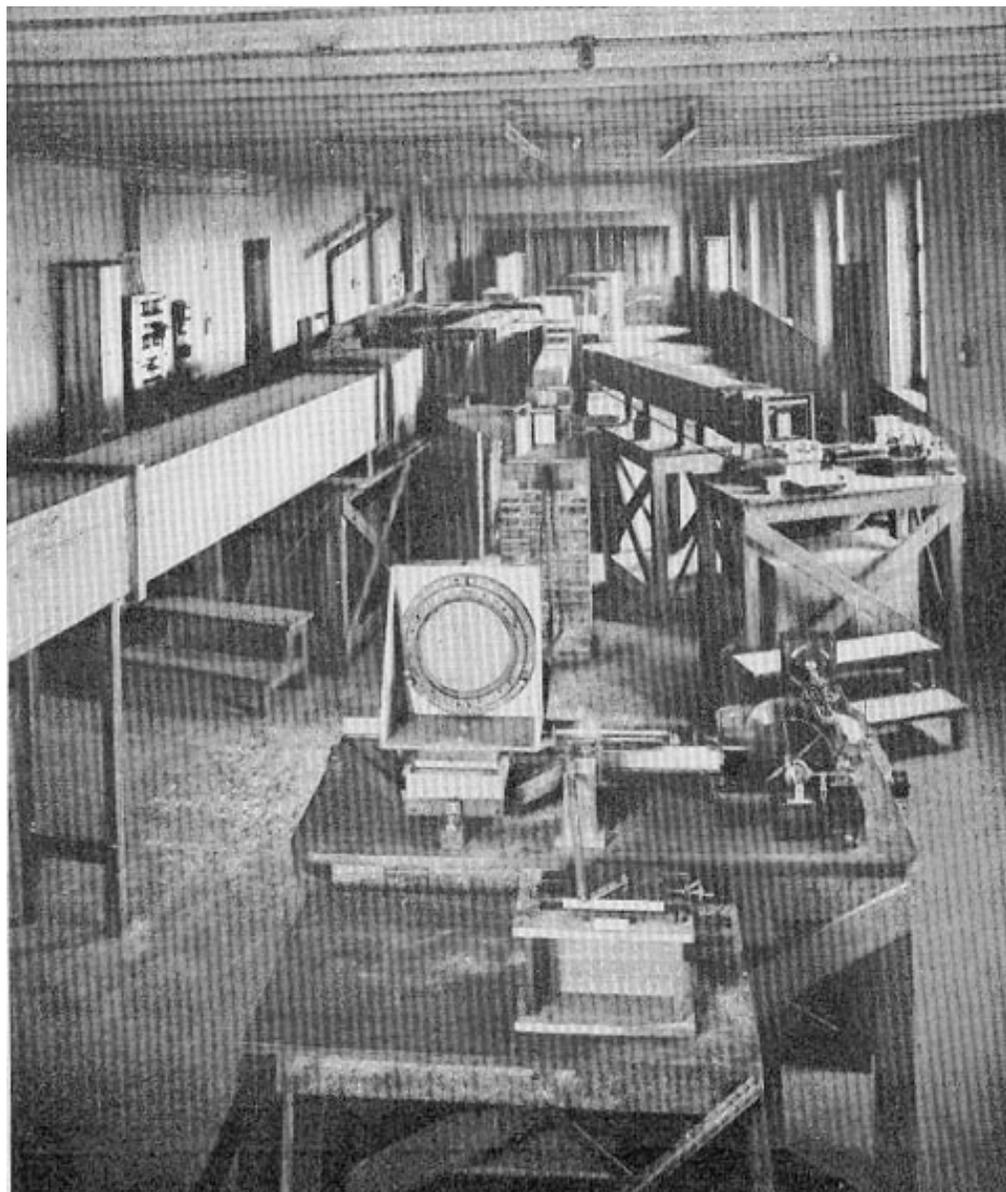
-1891, invention du spectrohéliographe à Paris.

- 1898, installation d'un spectrographe alimenté par un sidérostat polaire. Découverte du réseau chromosphérique.

- 1906, installation du spectrohéliographe dans le bâtiment du « grand sidérostat ».



Ah, sol en fer et briques et ciment de terre et d'herbe;
B, sol en appuis, recouvert de chaux, traversé par un trou circulaire;
C, sphères;
D, béton sur sol naturel.



Lucien d'Azambuja 1884-1970 et les observations systématiques

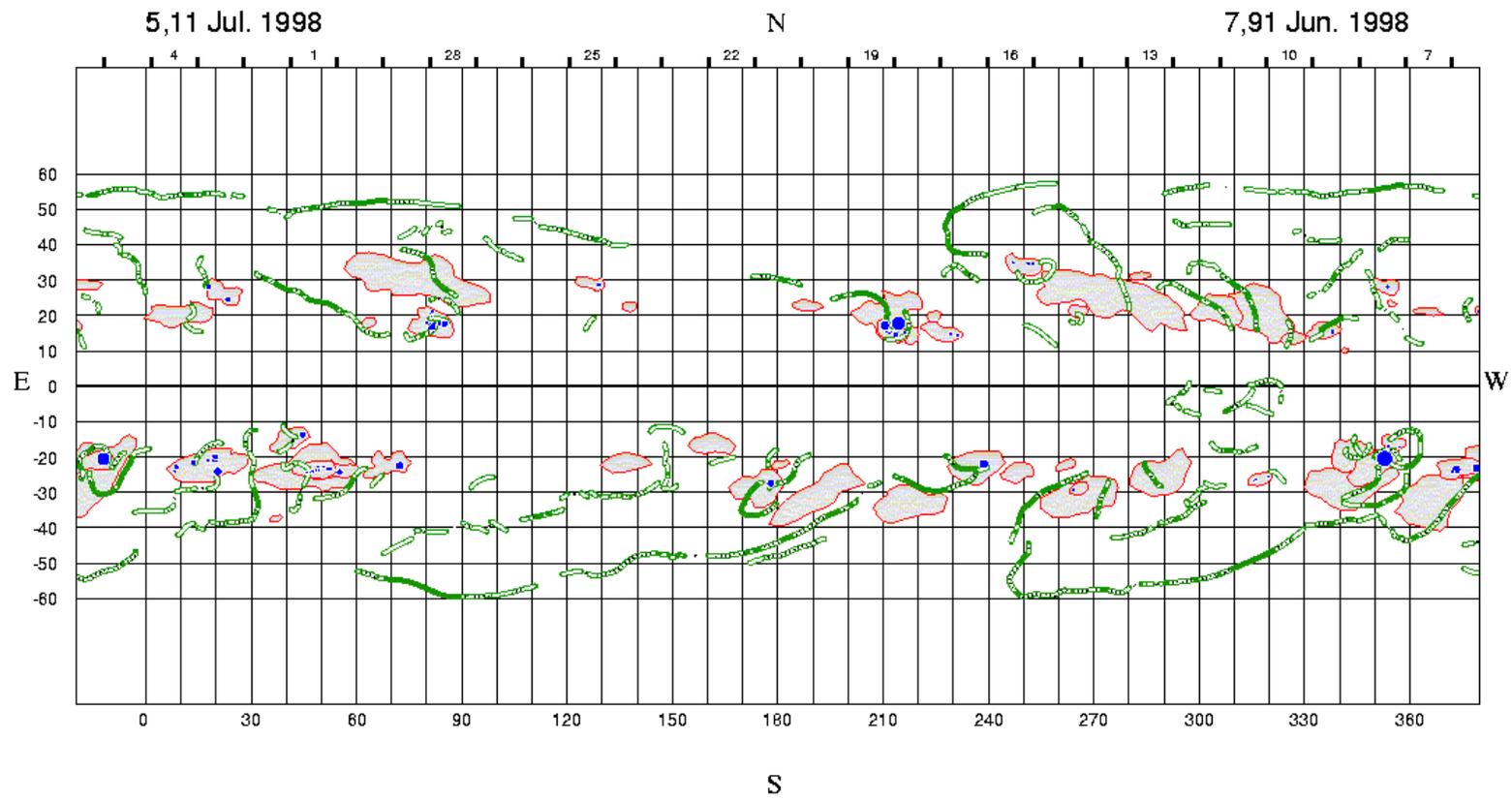


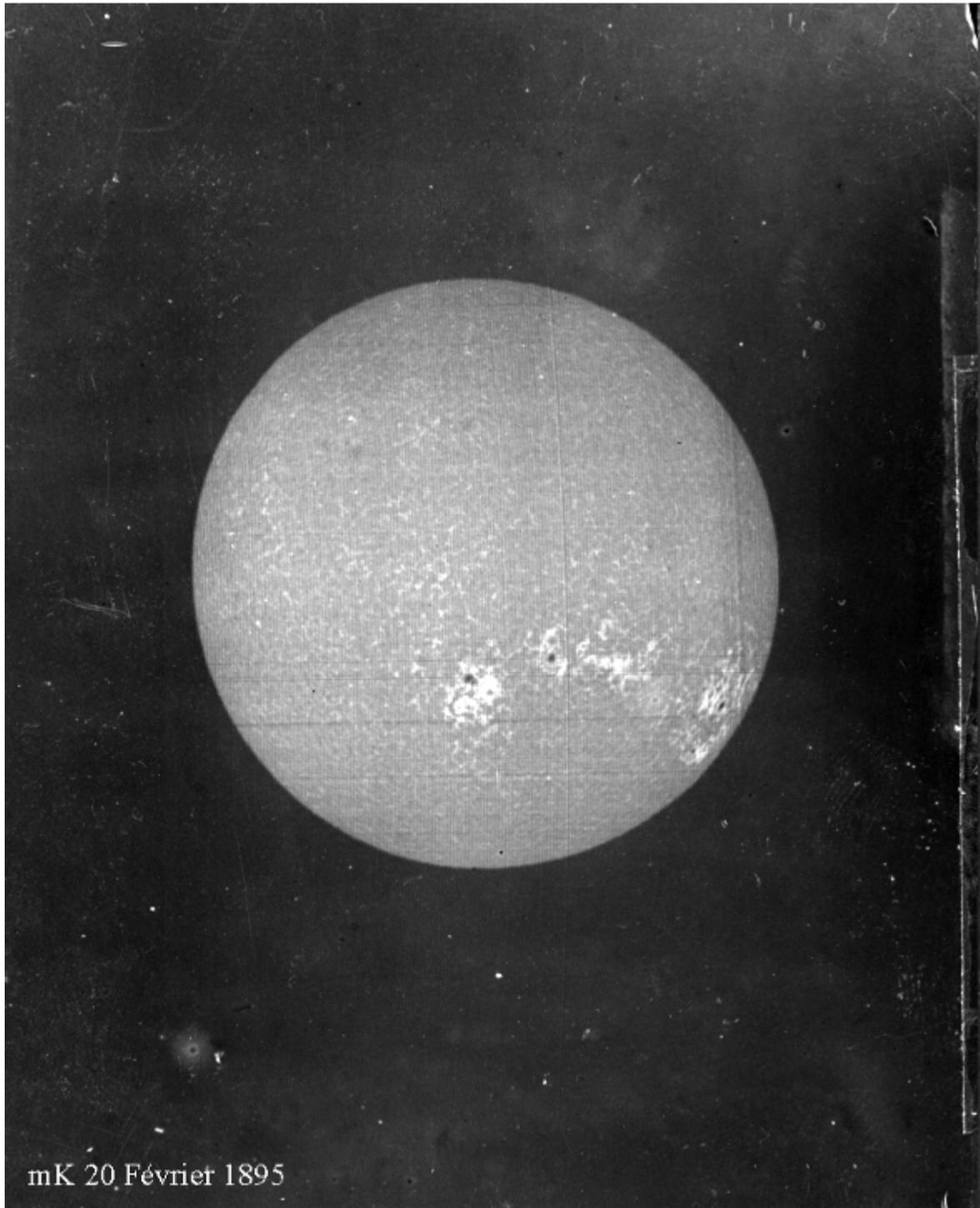
Lucien d'Azambuja entre à l'observatoire en 1899. Il a développé le service des observations solaire et établit les premières cartes synoptiques dès 1919.

A partir de 1949, l'anamorphoseur facilita se travail ingrat.

Les dernières cartes ont été dessinées en 2003.

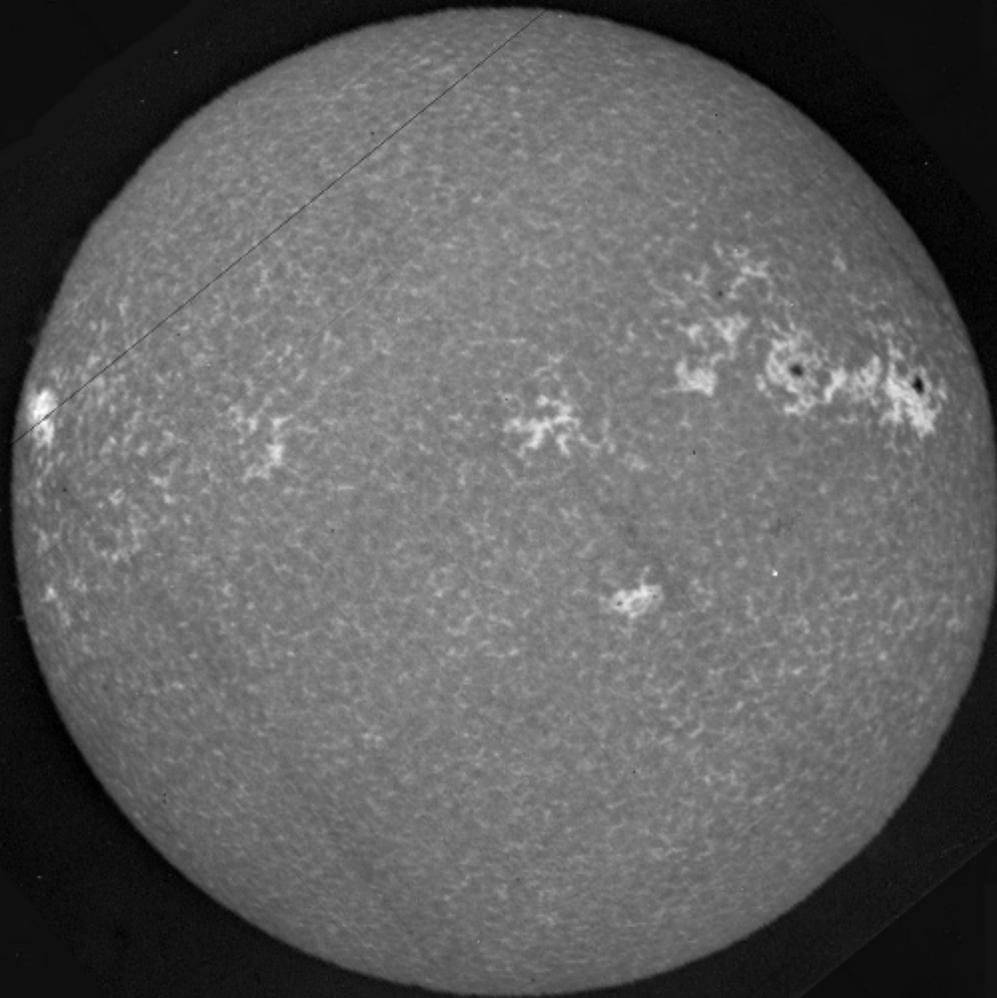
ROTATION 1937



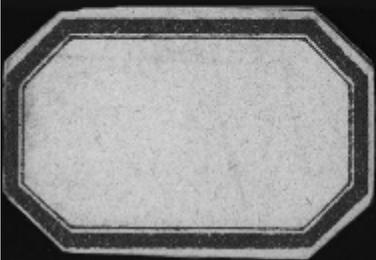


mK 20 Février 1895

B 4 Janvier 1907
Lune de 14^h 24 à 14^h 40
LΣ D



TV 14^h 20
M 397^h 20
R 88 40
ΣE 508^h 00



11 Avril 1910. - Image H_α

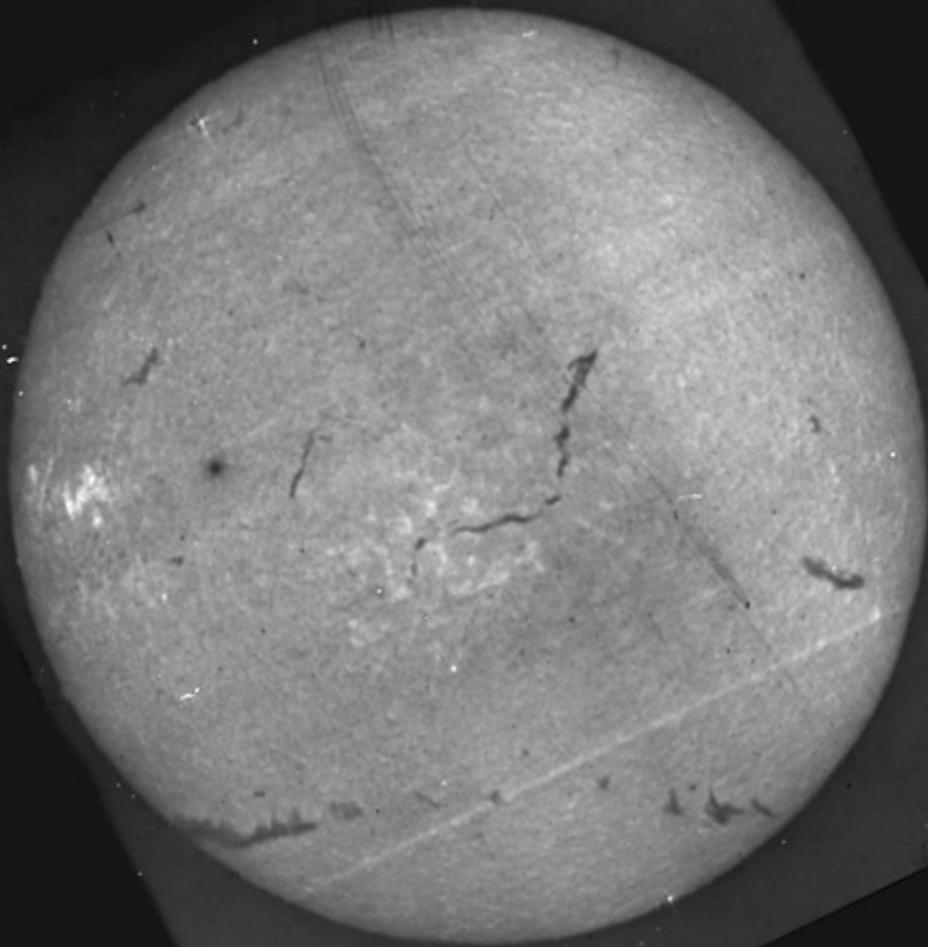
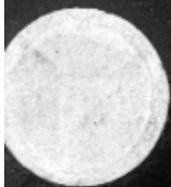
P.N.

E.

Q.

P.S.

OBSERVATOIRE DE MEUDON



Bernard Lyot 1897-1952



Diplômé de l'école supérieure d'électricité, Bernard Lyot entre à Meudon en 1925. Il va développer la polarimétrie, inventer le filtre polarisant, le coronographe et apporter à l'astrophysique solaire et planétaire une contribution énorme.

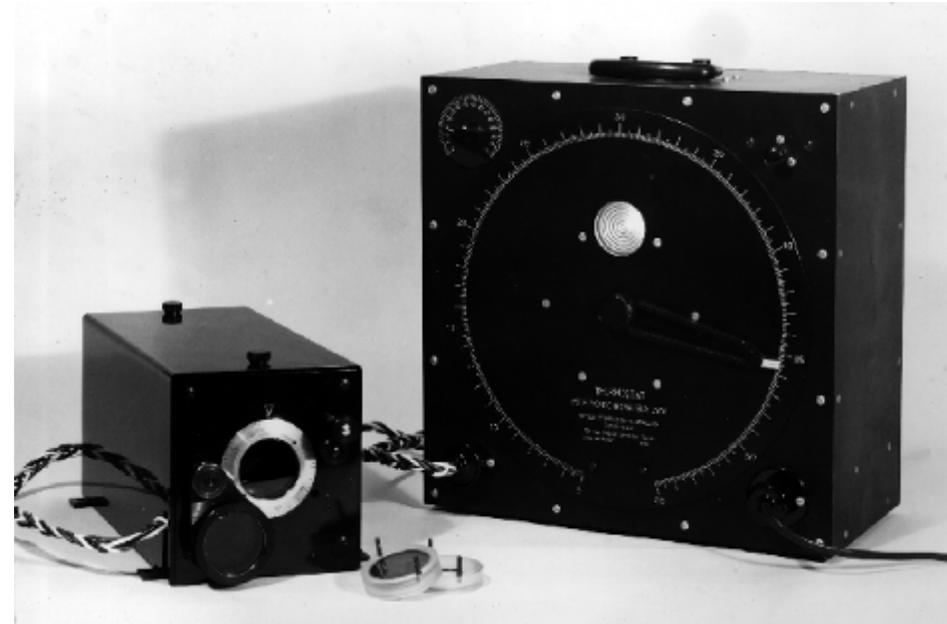
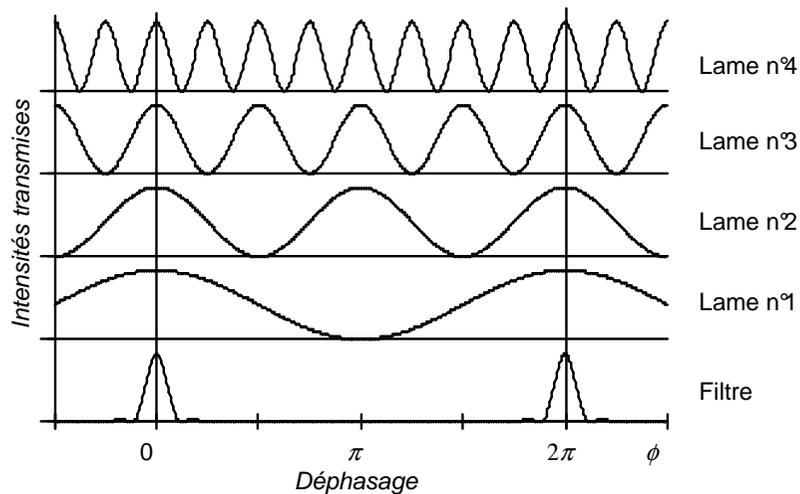
Il est élu à l'Académie des Sciences en 1939.



Lyot academicien
(photo chez g.servajean)



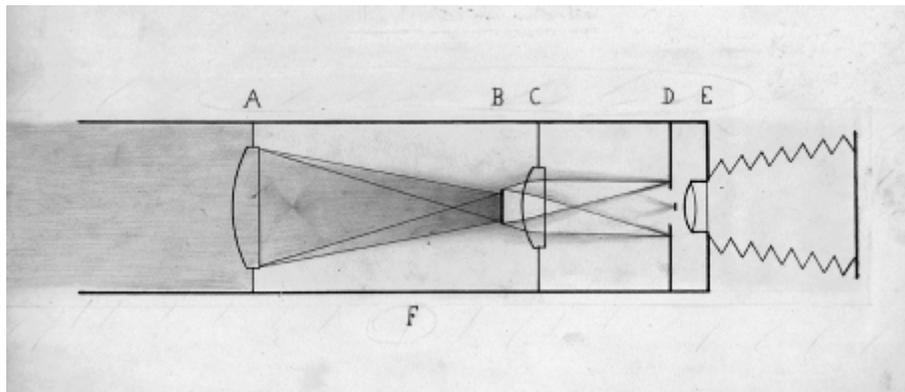
Le filtre polarisant de Lyot



Le filtre de Lyot est composé d'un empilement de lames biréfringentes et de polariseurs. Le filtre donne du spectre quelques fines cannelures. Un préfiltre permet d'isoler une cannelure dont on fait légèrement varier la position en agissant sur la température du filtre.

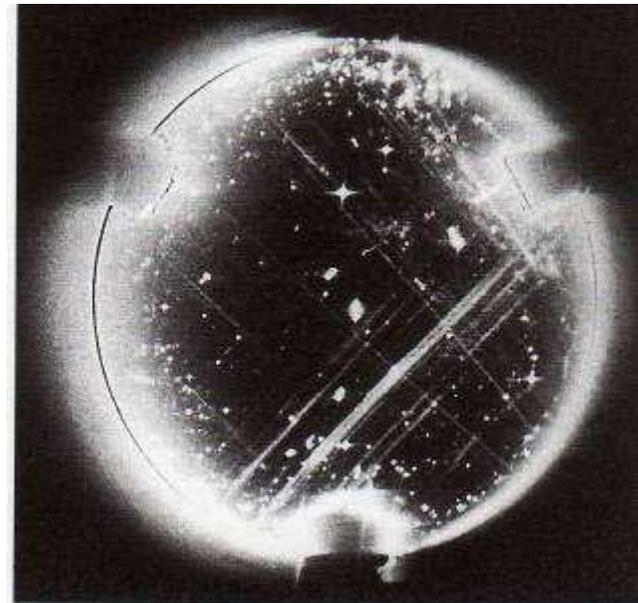
Le coronographe

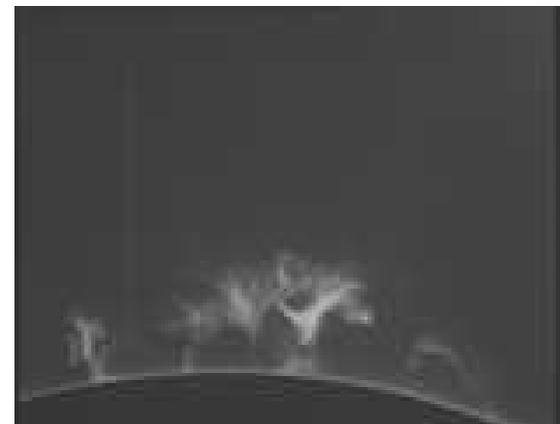
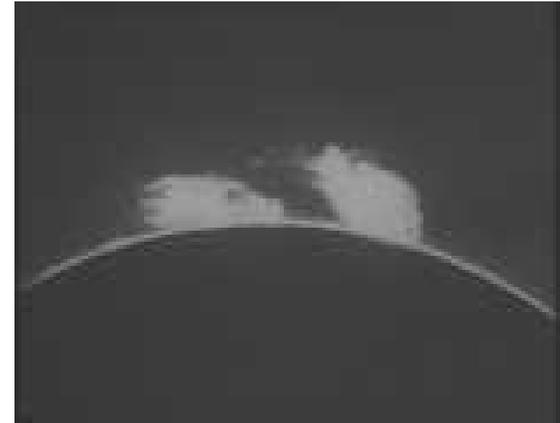
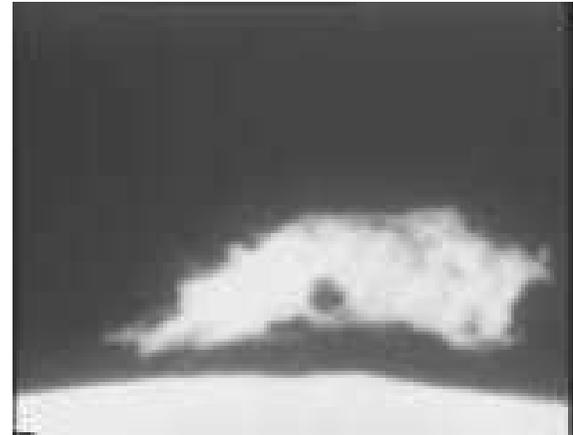
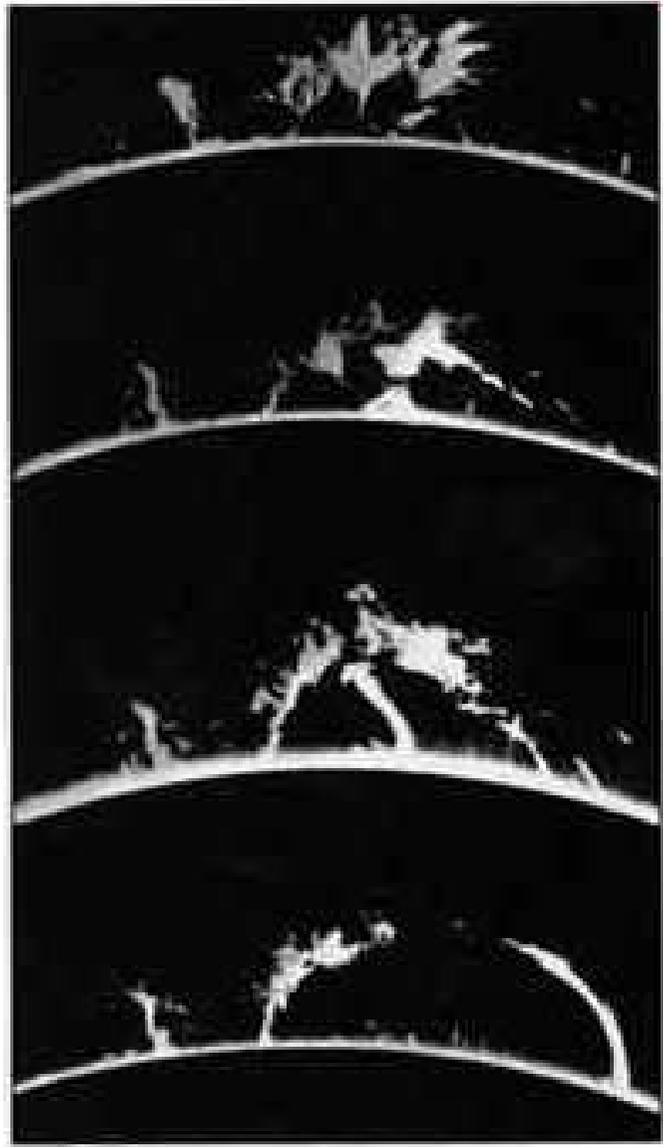
Utilisé au Pic du Midi pour la première fois en 1930, le coronographe permet d'observer la couronne solaire en dehors d'une éclipse. La difficulté consistait à éliminer toute diffusion lumineuse due à l'instrument.



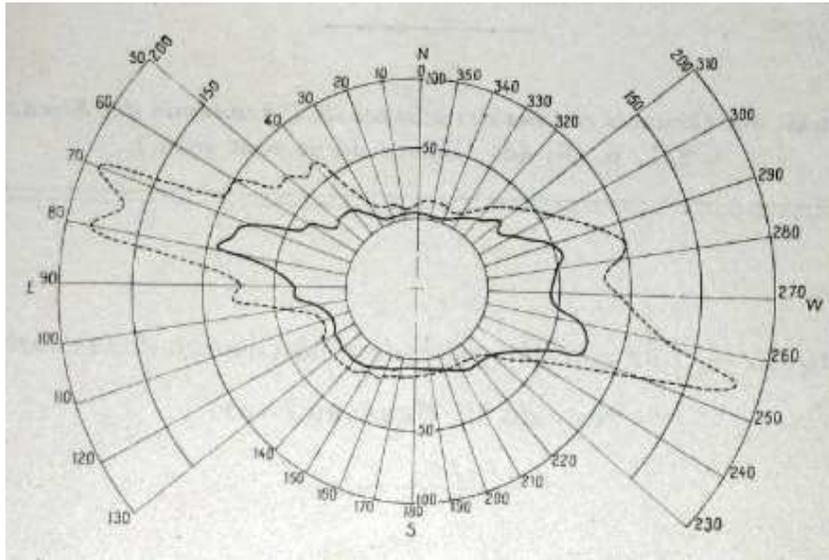
Le calcul optique permet d'éliminer la diffusion par réflexion sur les parois du tubes par construction.

Lyot a poussé à l'extrême la qualité du polissage des lentilles.





Les flammes du Soleil



Lyot, prématurément décédé, n'a pas pu concrétiser tous ses projets. Ses successeurs, Audouin Dollfus à Meudon et Jean Rösch au Pic du Midi ont développés des techniques d'observations d'après ses idées.

Le coronomètre permet d'observer la couronne solaire en isolant la raie verte à 530.3 nm par un filtre de Lyot suivi d'un polarimètre. Inventé par Lyot en 1950, il est perfectionné par Dollfus puis en 1962, Pierre Charvin installe un appareil au Pic du Midi.



La polarimétrie

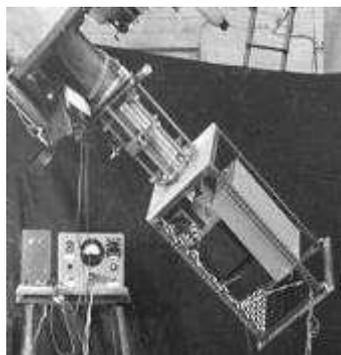
La mesure de la polarisation de la lumière du Soleil donne des informations sur les champs magnétiques des régions actives qui complètent les observations spectroscopiques.

- Effet Zeeman = champ longitudinal fort
- Polarisation linéaire = champ transversal
- Polarisation circulaire = champ longitudinal

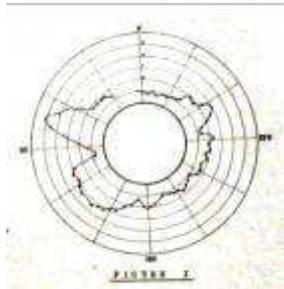


La lunette solaire polarimétrique permettait de dresser des cartes de champs magnétiques transversaux. Thèse de Jean-Louis Leroy en 1961.

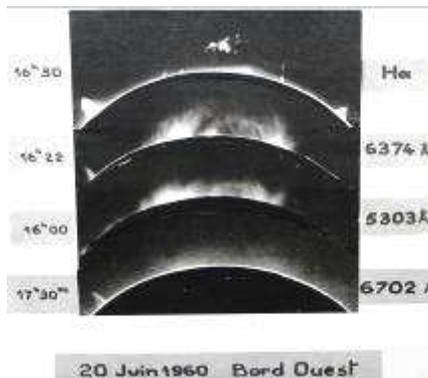
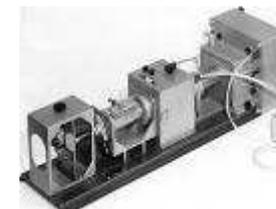
La couronne solaire



Polarimètre coronal pour observer la couronne de plasma qui diffuse de la lumière polarisée.

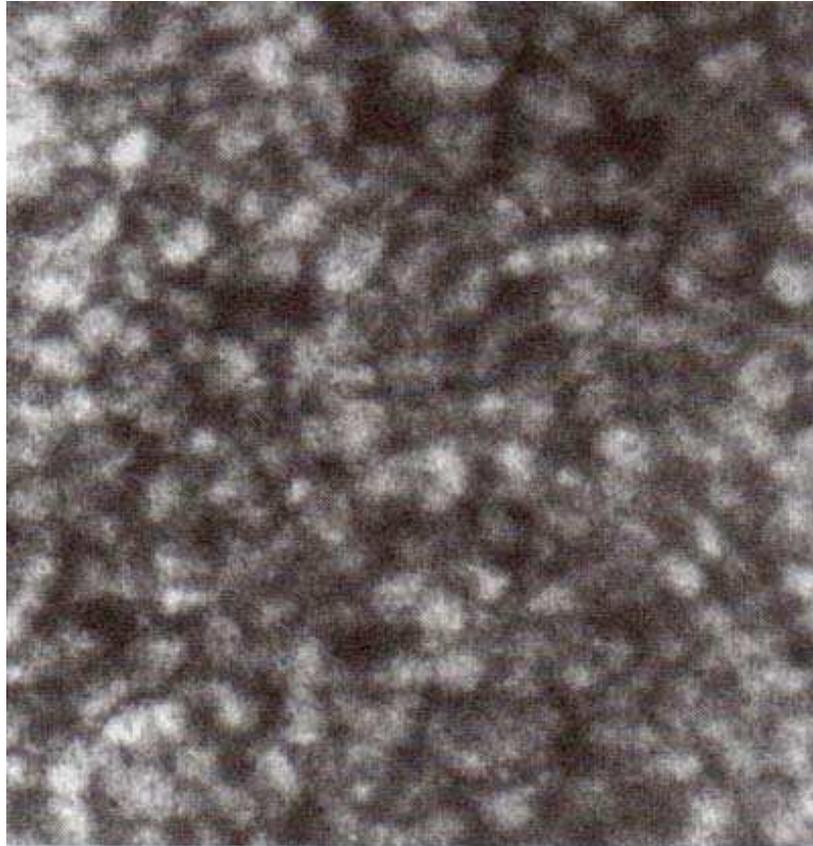


La lunette solaire polarimétrique permettait de dresser des cartes synoptiques de la couronne de plasma et l'observation des CME.



Etude de la couronne monochromatique au Pic du Midi.

L'observation en ballon



Le premier cliché télescopique obtenu hors de la surface terrestre. Image très granulée d'une portion de soleil, obtenue le 1^{er} avril 1957, à 6 000 mètres d'altitude, en ballon.



Observation de la granulation solaire à 6000 m d'altitude par A. Dollfus en 1957. Ces observations ont démontrées la nature convective de la granulation.

Observation de la couronne solaire en ballon depuis une altitude de 32000 m. Expérience dirigée par A. Dollfus avec le CNES entre 1966 et 1973.



COURONNE SOLAIRE - LE 29 JUIN 1973
la veille de l'éclipse totale de Soleil

Photographie obtenue à 32 000 mètres d'altitude
par ballon stratosphérique

Laboratoire "Physique du Système Solaire" de
l'Observatoire de Paris - MEUDON

Cliché - A. DOLLFUS - F. COLSON

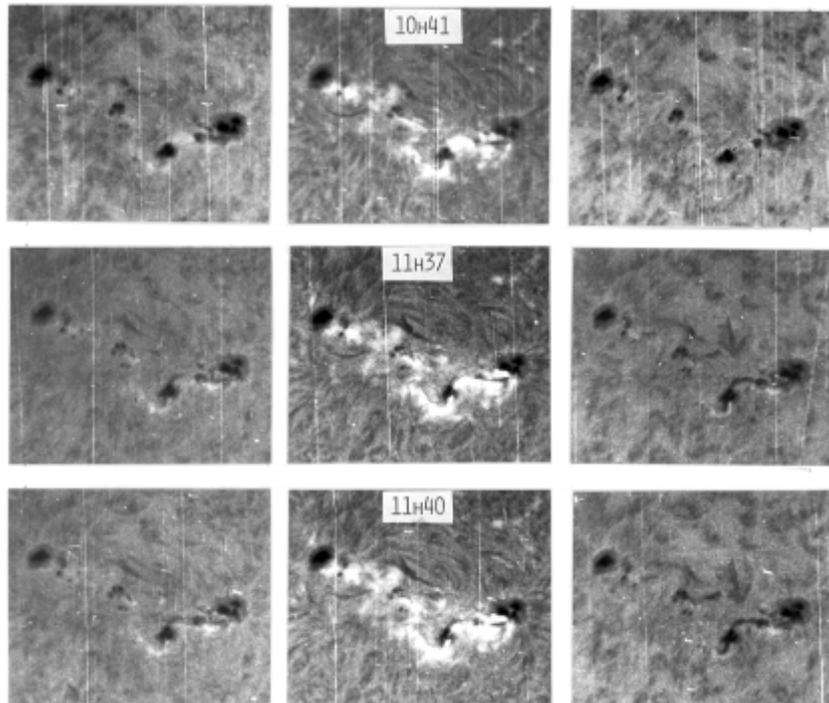
Les héliographes monochromatiques

Héliographe réalisé par Grenat et Laborde en 1953 pour l'étude cinématographique du Soleil dans le cadre de l'année géophysique internationale.



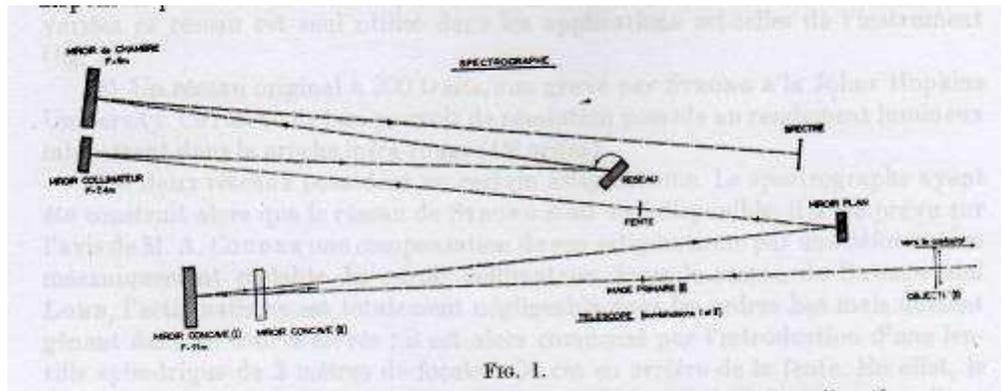
Héliographe à
lambda variable en
1970.

Éruption 29/01/1970



L'héliographe
depuis 1985

La spectroscopie



Spectrographe de 9 m installé à Meudon en 1957.
Tentative de spectropolarimétrie infructueuse.

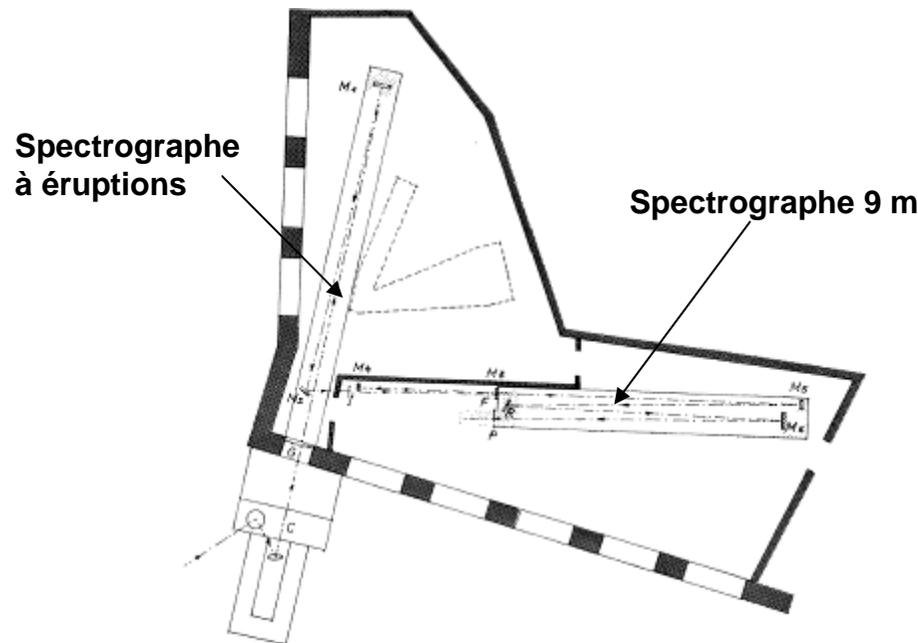


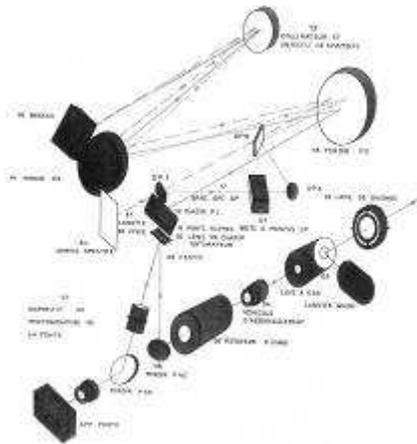
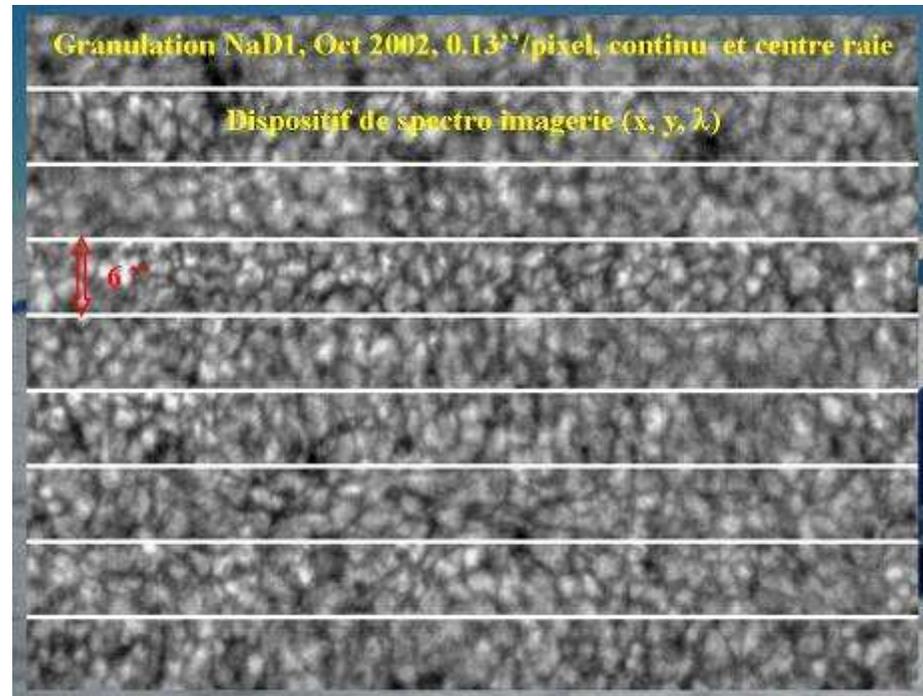
FIG. 1. — Disposition générale du costat et du spectrographe de 9 m au Pic du Midi.

C, Costat.	M4, Miroir plan de renvoi et de mise au point.
G, Glace Uviol.	F, Fente miroir.
M1, Télescope de 11 m.	M5, Miroir collimateur.
M2, Miroir plan de renvoi.	R, Réseau.
I, Image primaire.	M6, Miroir de chambre.
M3, Miroir agrandisseur.	P, Plan focal du spectrographe.

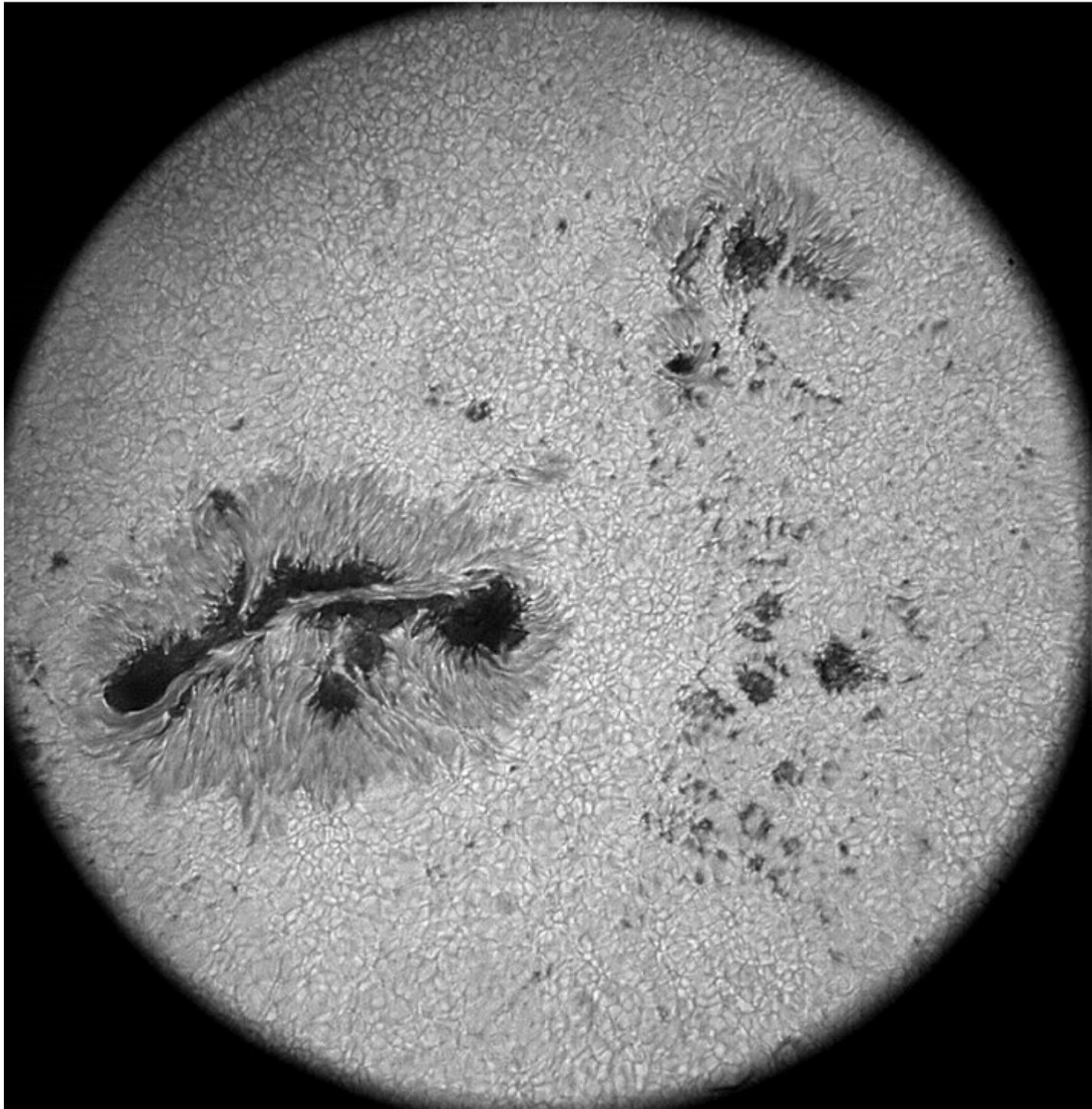
Le laboratoire de spectroscopie.

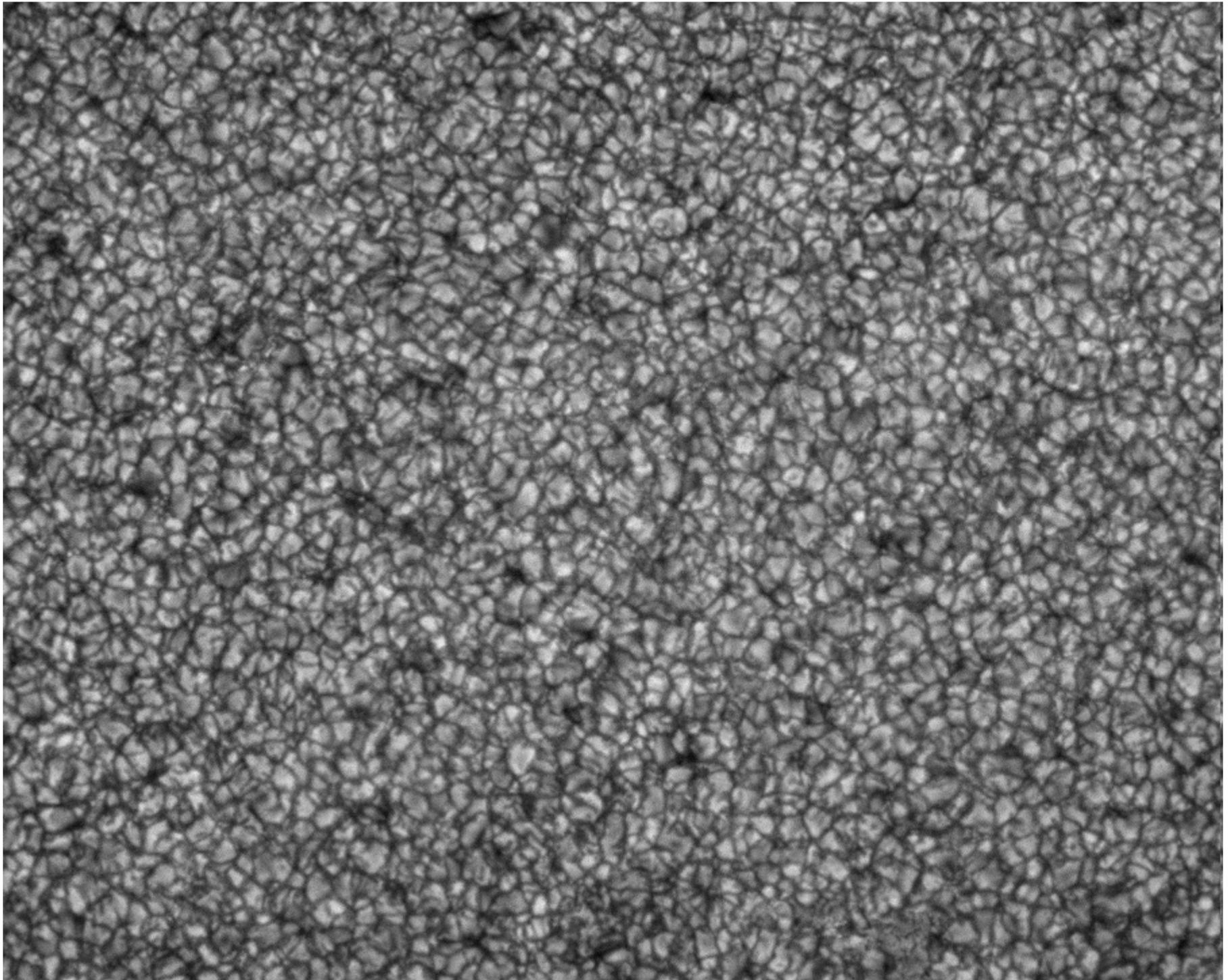
Le laboratoire était dans la salle sud-ouest de l'Observatoire du pic du Midi, en dessous de la coupole Baillaud. Le spectrographe de 9 m était destiné à l'étude des profils des raies spectrales des structures fines de l'atmosphère solaire. Sa dispersion spectrale était de 6.5 mm/Å à 5000 Å.

La lunette tourelle du Pic du Midi

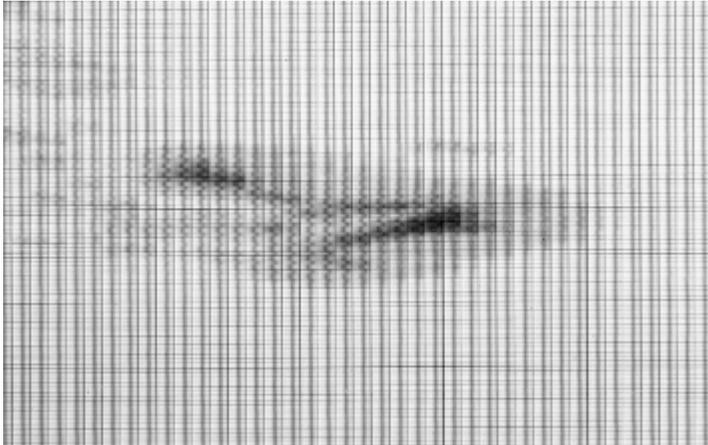


Jean Rösch fait construire, dès 1954 une lunette optimisée pour l'imagerie solaire. Elle entre en service en 1961 avec un objectif de 38 cm qui sera remplacé par la suite par un 50 cm taillé par Texereau. En 1980, Zadig Mouradian l'équipe d'un spectrographe.

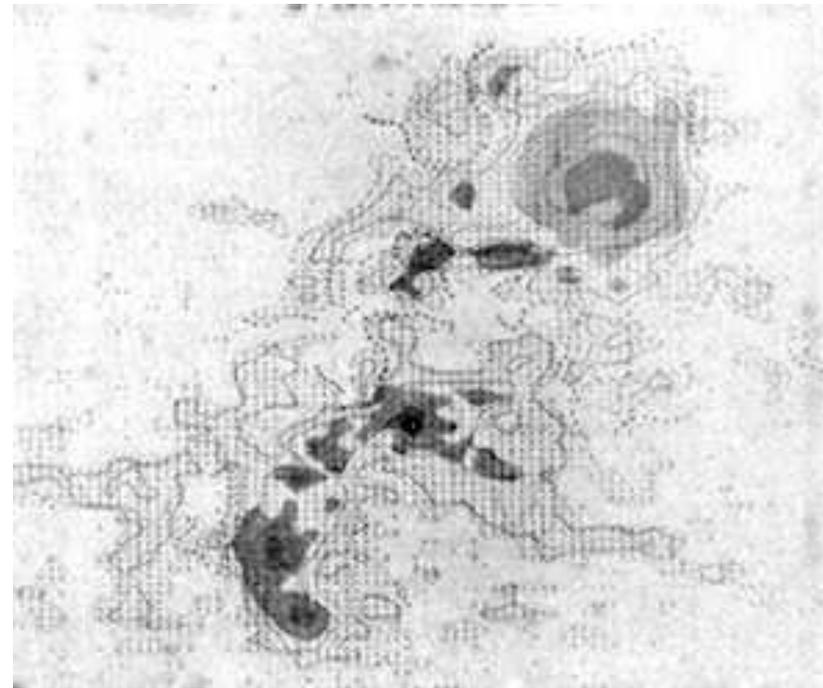




Le magnétographe



Plaque magnétique utilisant la grille de Hale d'un centre actif le 10 juin 1963.



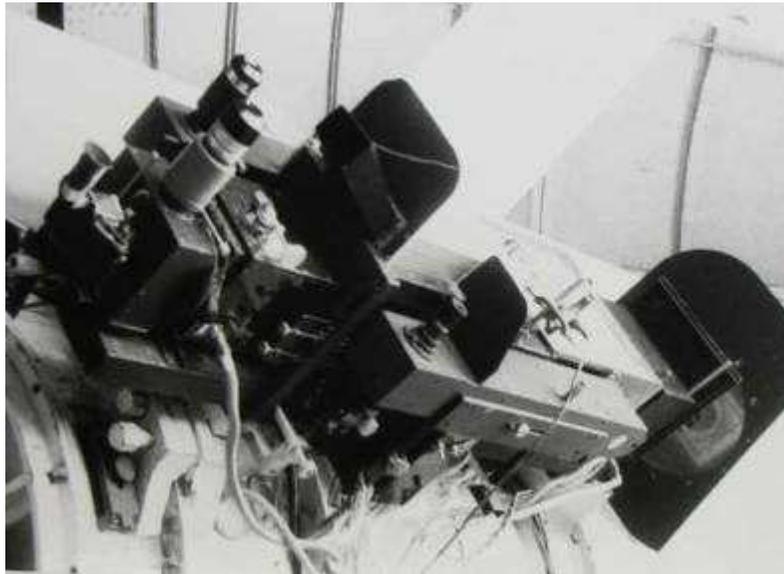
Carte magnétique d'un centre actif le 12 juin 1963.



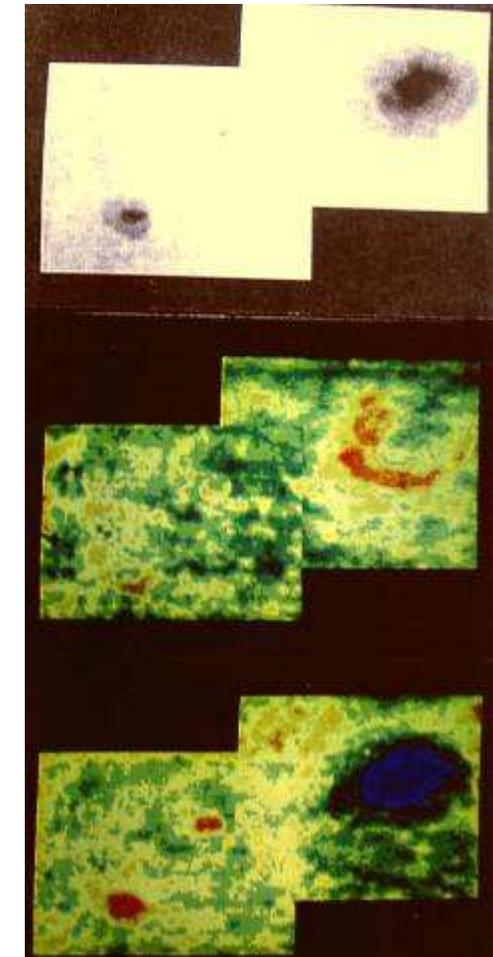
R. Michard conçoit le magnétographe en 1962. Une grille de Hale devant la fente d'entrée transmettent alternativement la lumière polarisée droite et gauche. Les plaques étaient mesurées par le lambdamètre imaginé par Jean Rayrole. Dès 1967, Rayrole perfectionne le magnétographe. Ce travail important amènera J. Rayrole à imaginer le futur télescope Thémis.

Le filtre polarisant solaire sélectif

A partir de 1965, A. Dollfus développe un instrument qui permet d'analyser une raie spectrale de manière fine en utilisant un filtre de Lyot très sélectif associé à un analyseur de polarisation.



L'instrument FPSS monté sur le télescope de 1 m de Meudon en 1975. On voit, déporté sur la droite, le spectroscopie de contrôle.



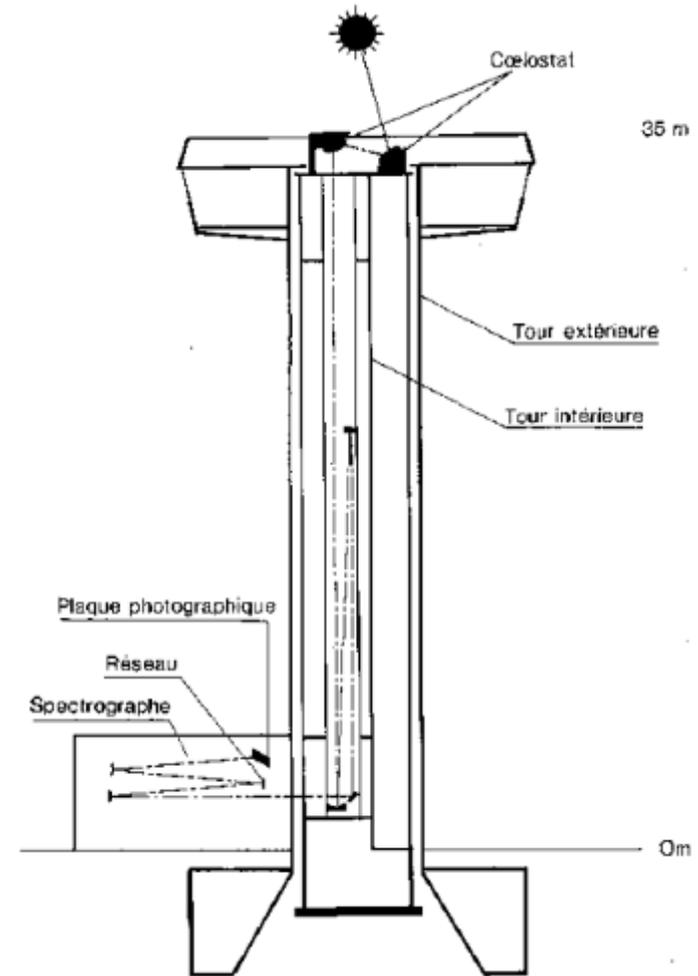
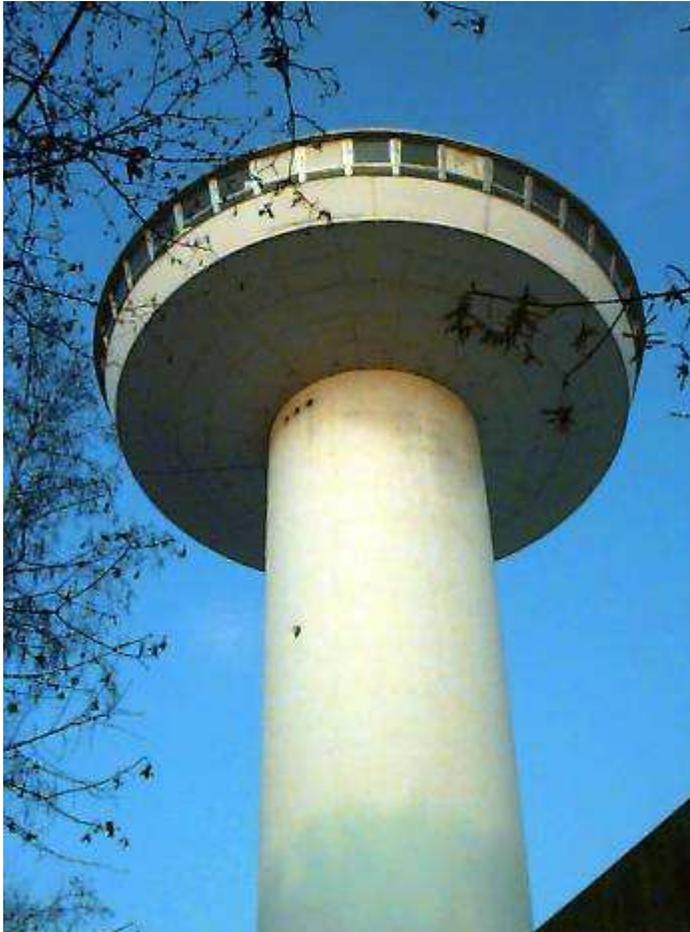
Observation du 13 juillet 1990.

En haut, image de la région active.

Au centre, carte des vitesses radiales.

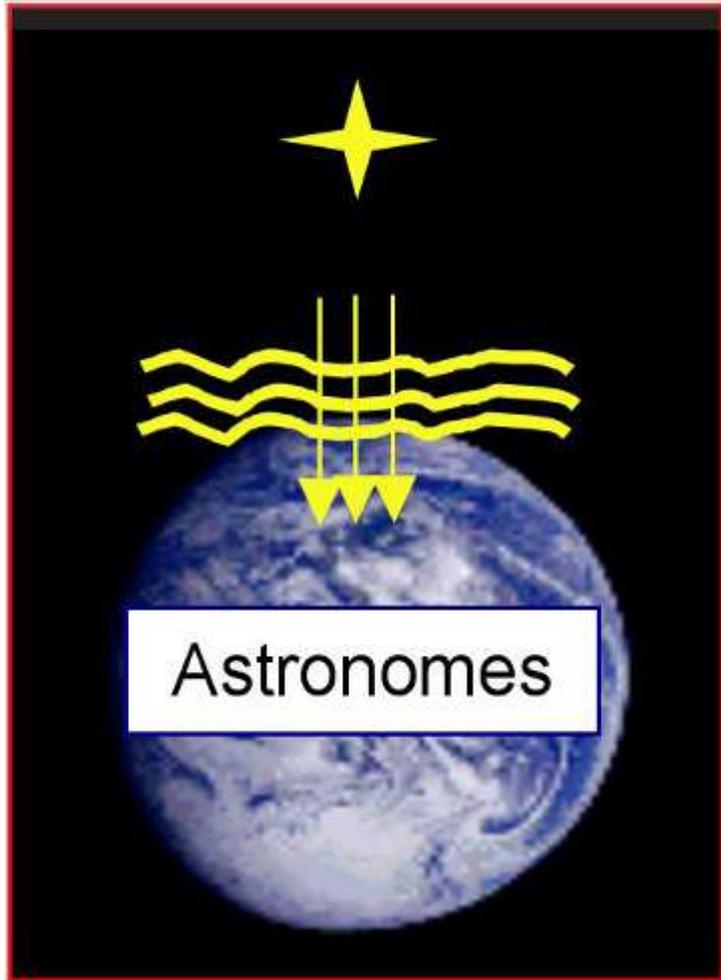
En bas, carte des champs magnétiques.

La tour solaire



Disposition générale de la tour avec le télescope verticale et le spectrographe au rez-de-chaussée.

La turbulence atmosphérique



Entre le Soleil et nous, il y a la plus mauvaise partie de l'instrument, l'atmosphère.

Historique

- . La tour est un grand télescope solaire de 60cm de pupille.**
- . Hauteur 35.5m à 166m d'altitude.**
- . Objectif premier: Viser les satellites donc voir l'horizon au dessus de la forêt.**
- . Coût total 3 millions de francs.**
- . Construction de octobre 1963 à avril 1967.**
- . Première image solaire : 29 avril 1969**

Le cœlostat





Le spectrographe

- Spectrographe équipé de deux objectifs de chambre.
- Résolution théorique avec réseau 600tr/mm à $5328\text{\AA} = 620000$
- Collimateur $D=559$ $F=14.042\text{m}$
- Réseau1 220X165mm 600tr/mm
- Réseau2 265X135mm 300tr/mm
- Objectif de chambre1 $D=505$ sphérique $R=28\text{m}$
- Objectif de chambre2 $D=505$ sphérique $R=28\text{m}$

Le DPSM de Pierre Mein

Le système de Double Passage Soustractif Multicanaux (DPSM) a été conçu par Pierre Mein en 1971.

Il permet l'imagerie bidimensionnelle d'une région solaire en explorant le profil complet d'une raie. On peut ainsi mesurer avec précision les vitesses de la matière sur des régions très petites.

Schéma optique du DPSM

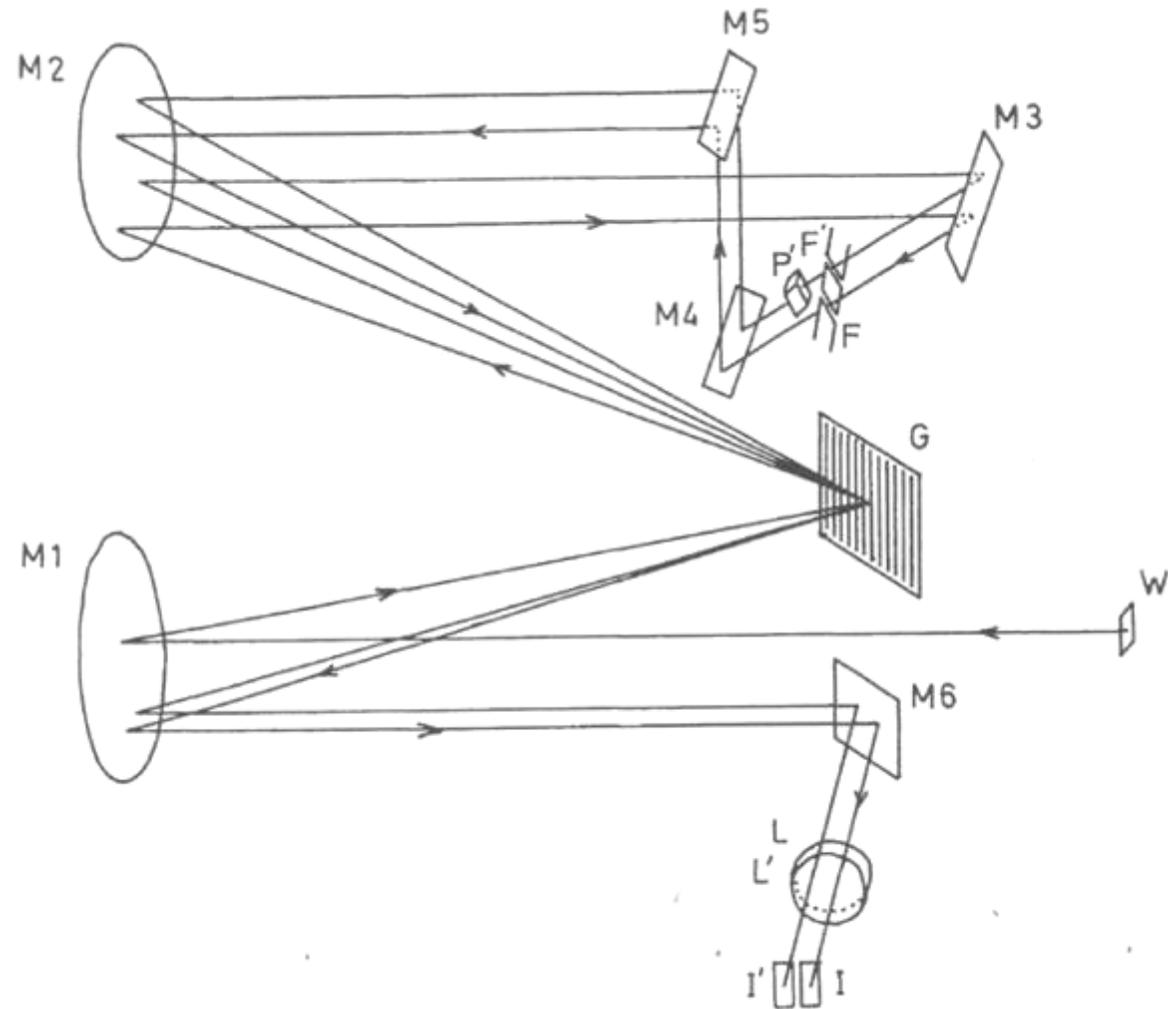
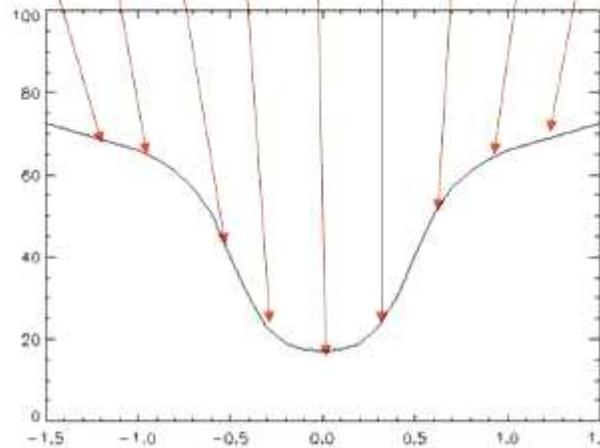
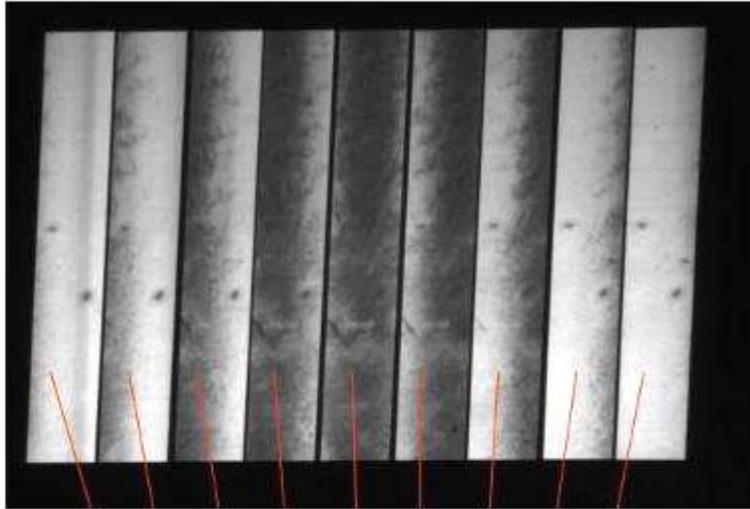


Fig. 1. Diagram of the subtractive double pass spectrograph.

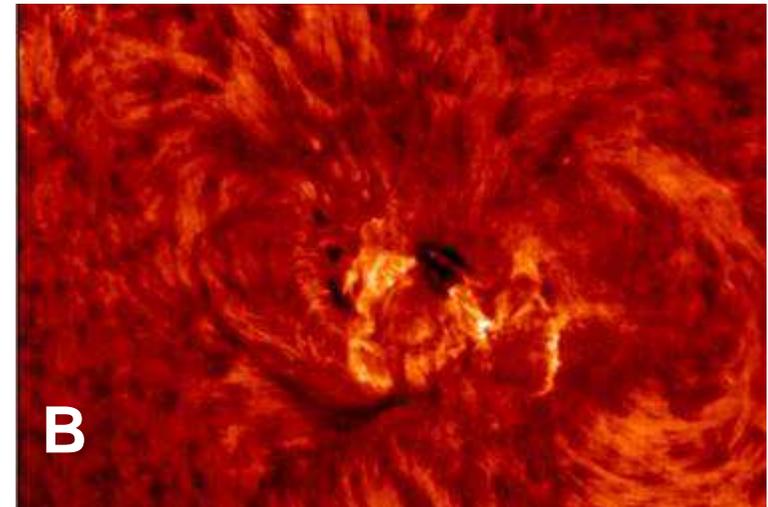
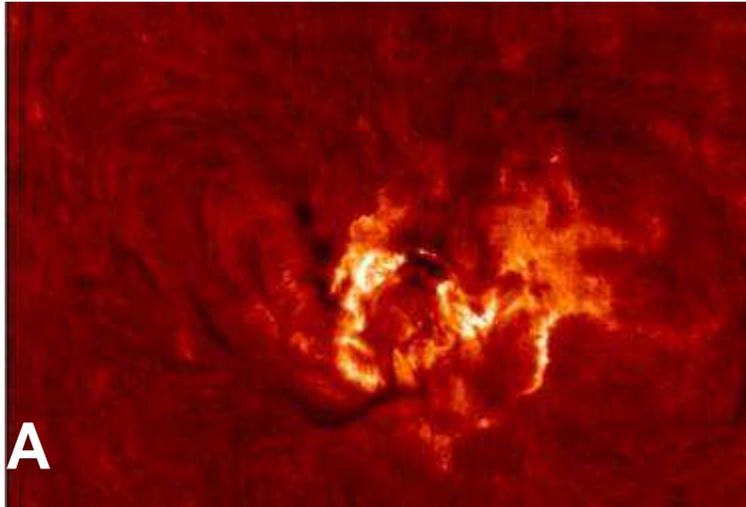
Exploration de la raie



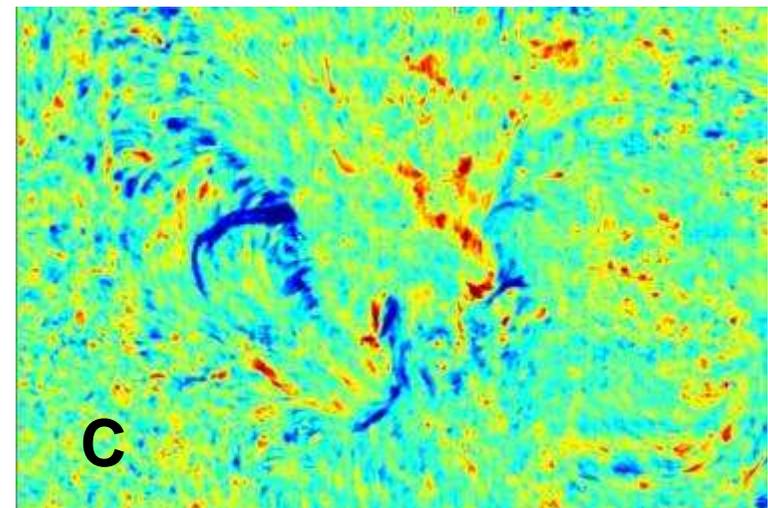
Champ d'un canal 1'X8'.
Champ possible de l'image 5'X8' avec prismes de champ.

1canal=0.09nm
Séparation=0.03nm

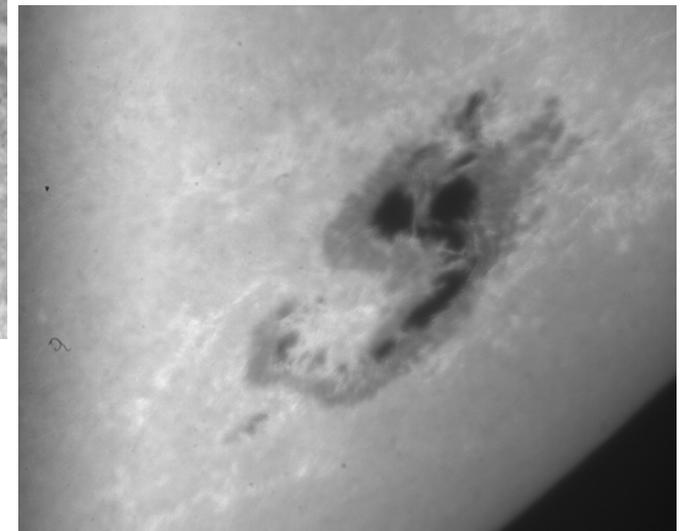
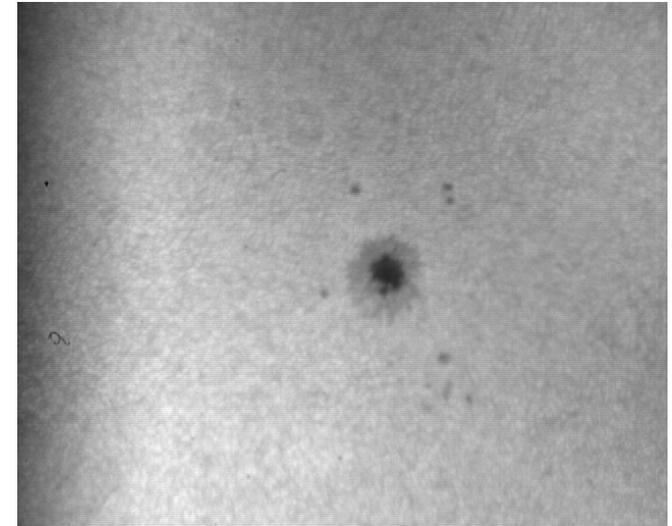
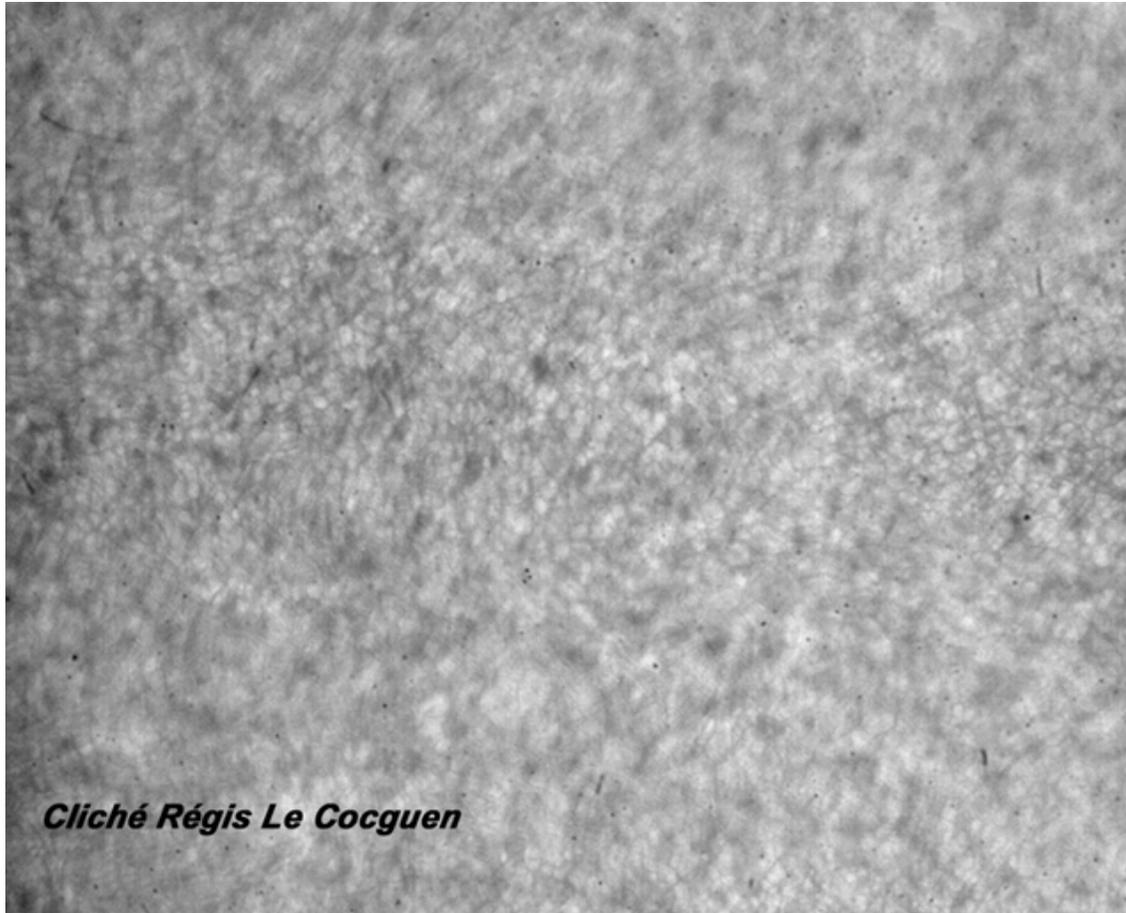
Observation de vitesses radiales



A= centre raie H α
B=(-0.046nm)+(+0.046nm)
C=(-0.046nm)-(+0.046nm)
Bleu=rapprochement
Rouge=éloignement

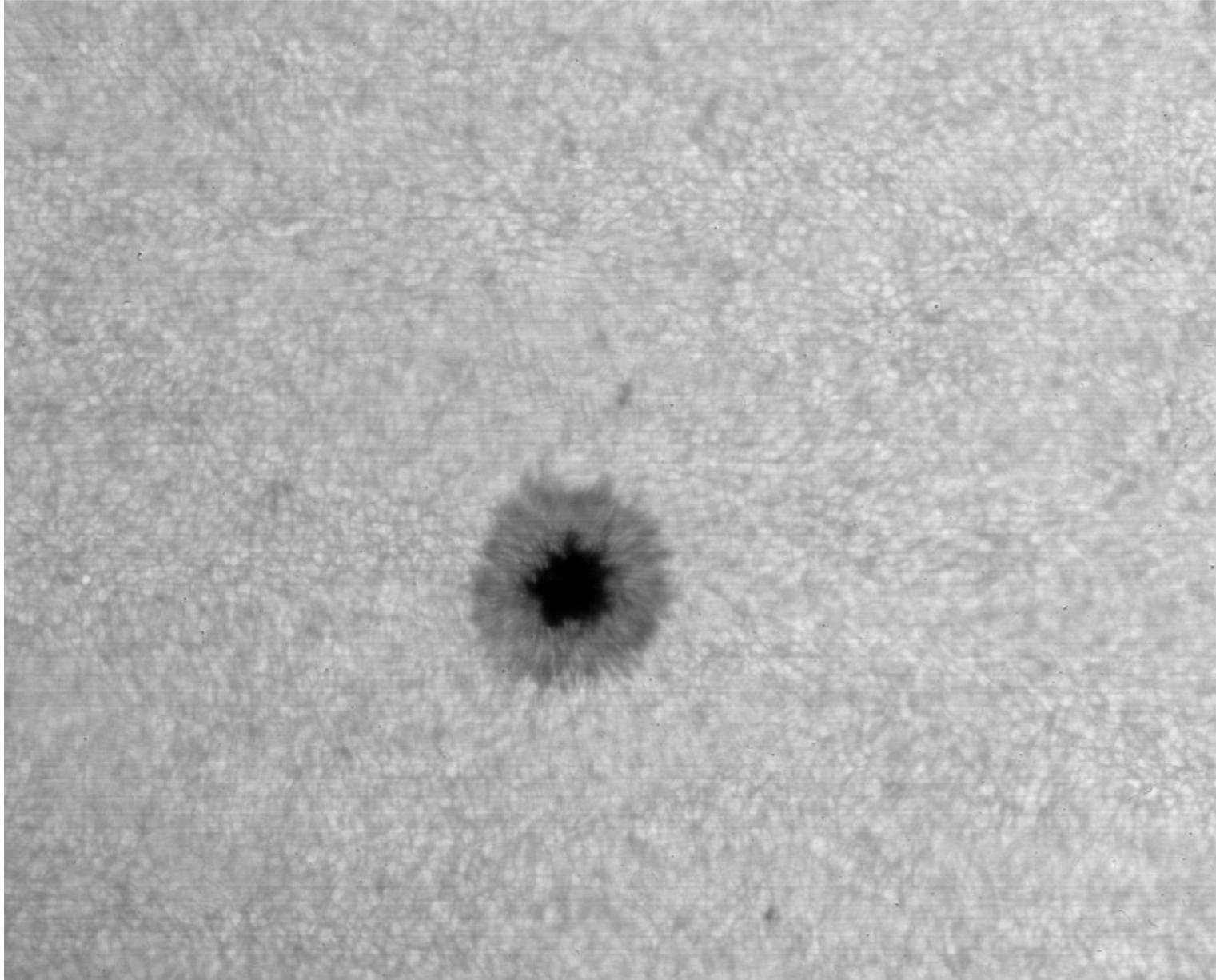


Clichés pris à la tour

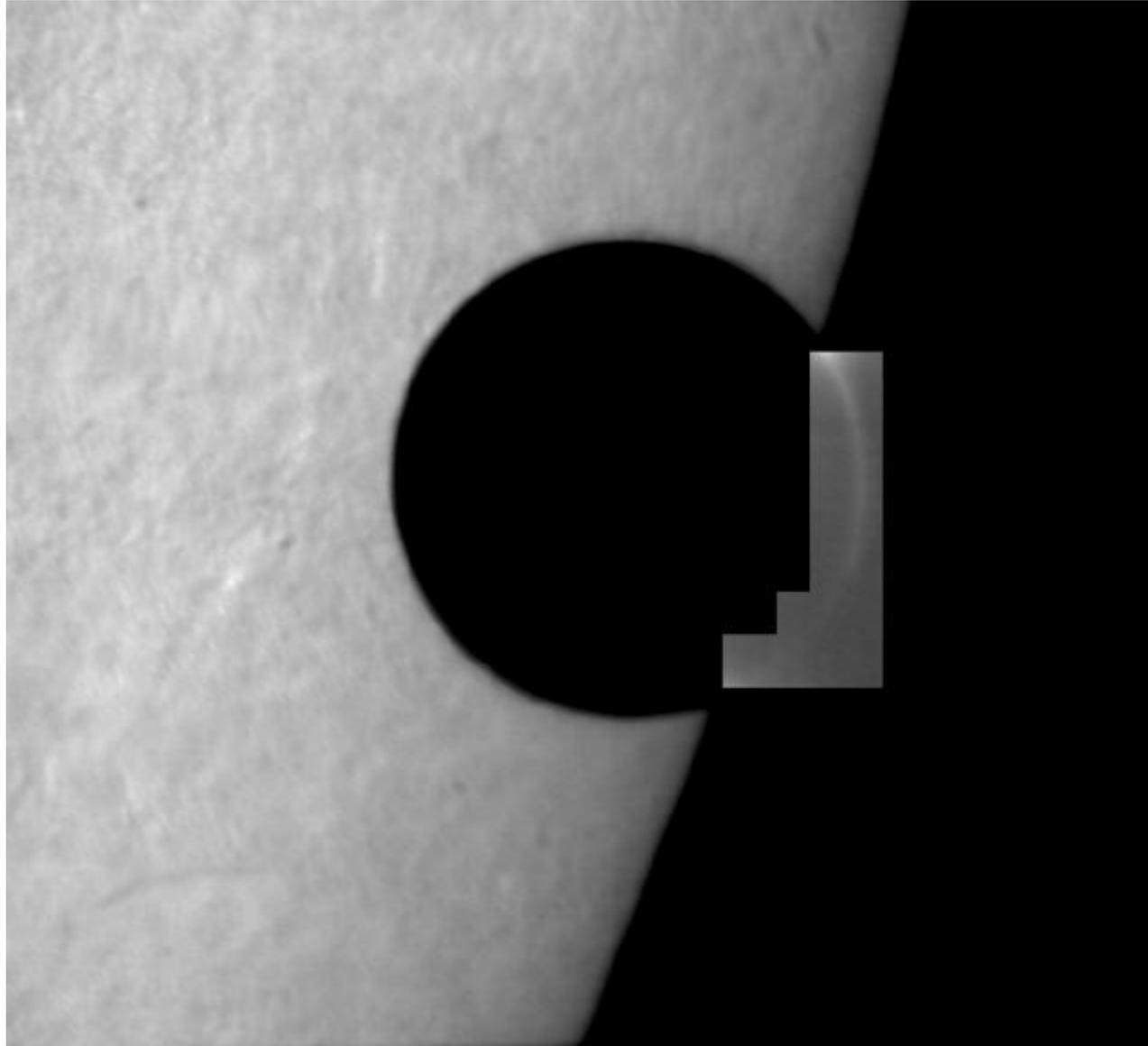


Caméra cmos + filtre 430 nm, clichés R. Le Cocguen et C. Coutard

Imagerie à la tour

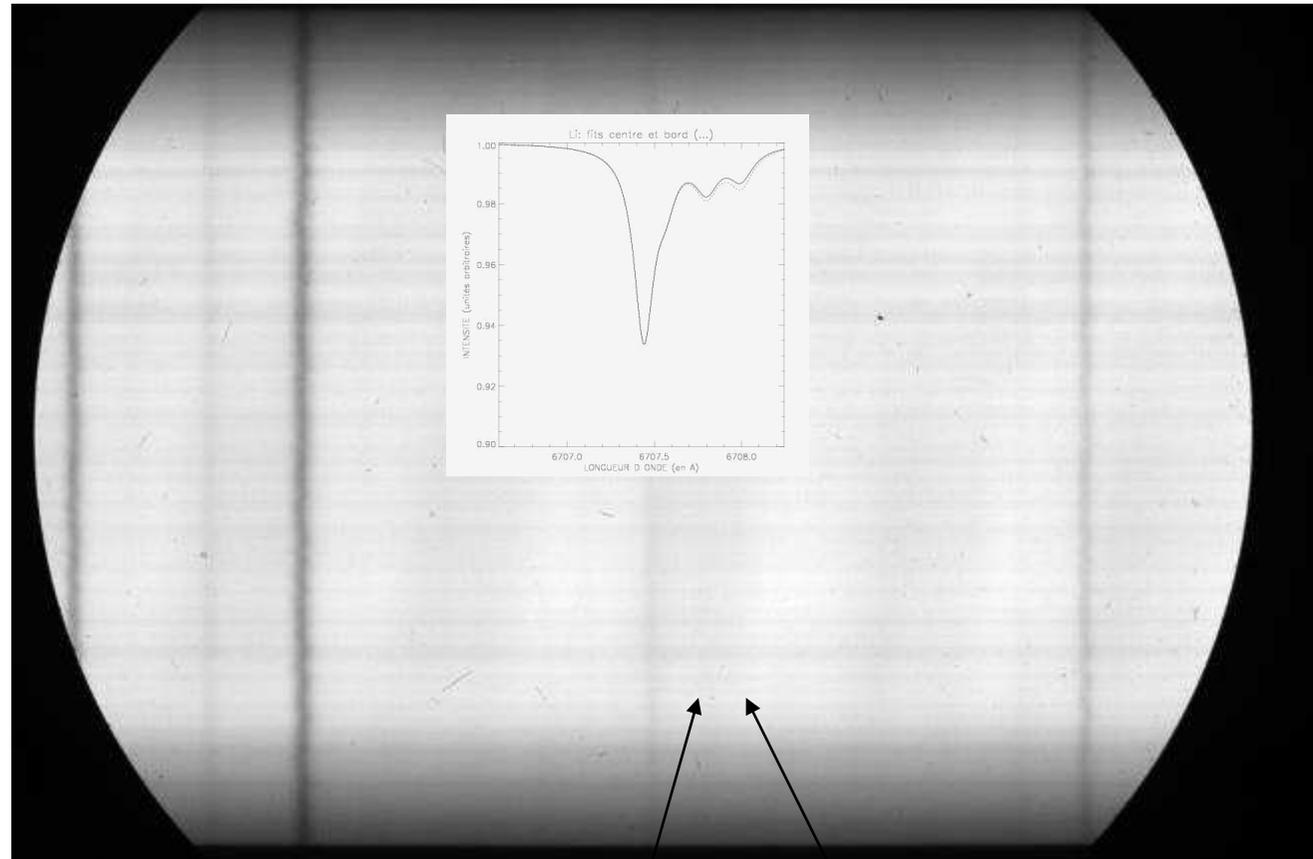


Caméra cmos + filtre 430 nm, cliché J. Moity et R. Le Cocguen



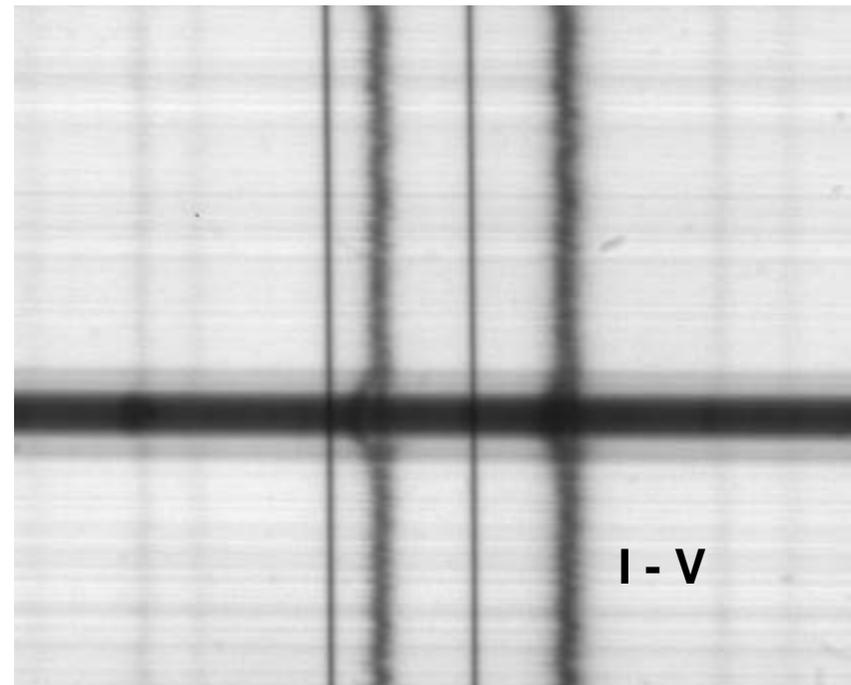
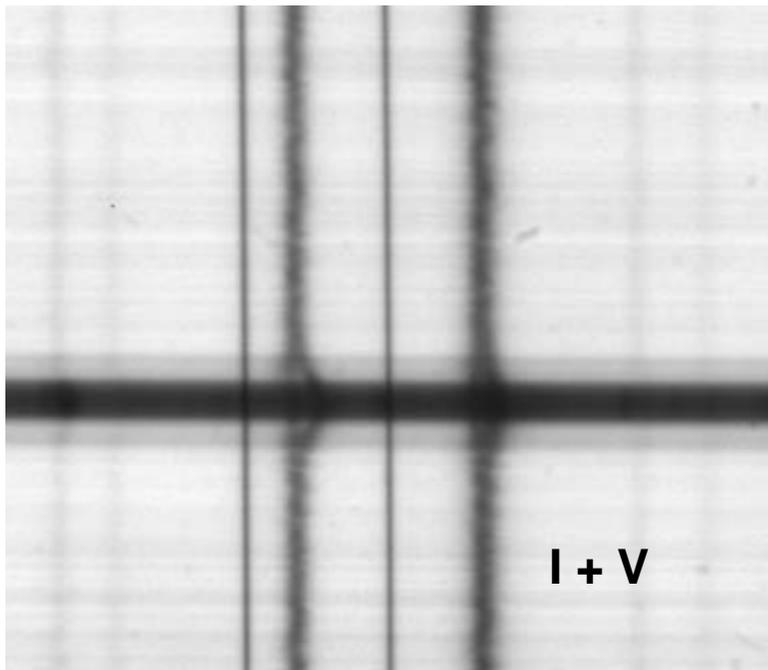
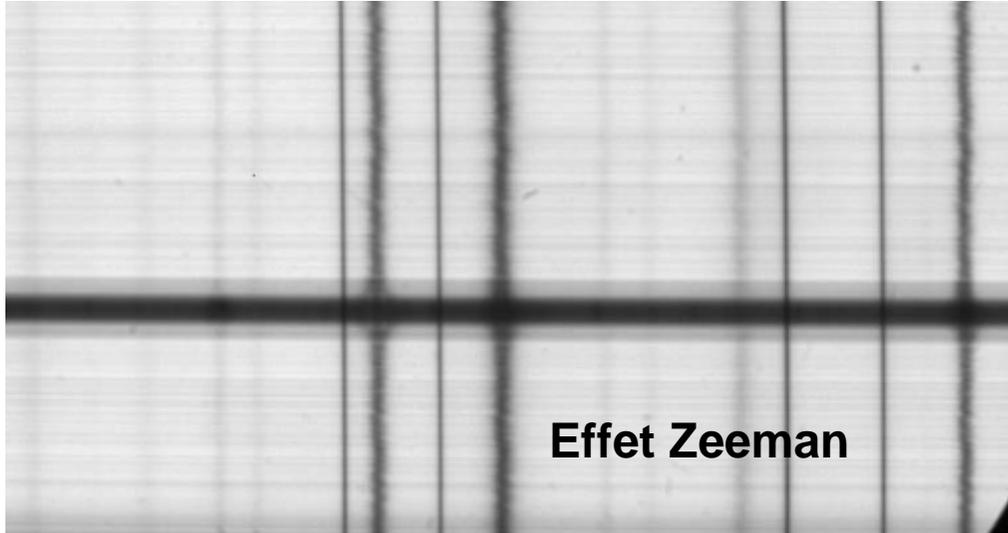
Passage de Vénus le 8 juin 2004

Recherche en spectroscopie



Mesure des raies 6707.8 et 6708 du Lithium

Spectropolarimétrie

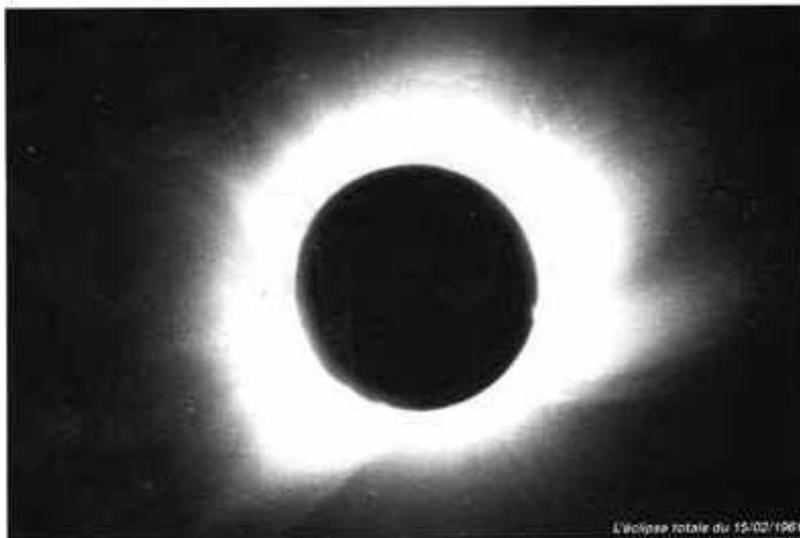


Les missions d'éclipses

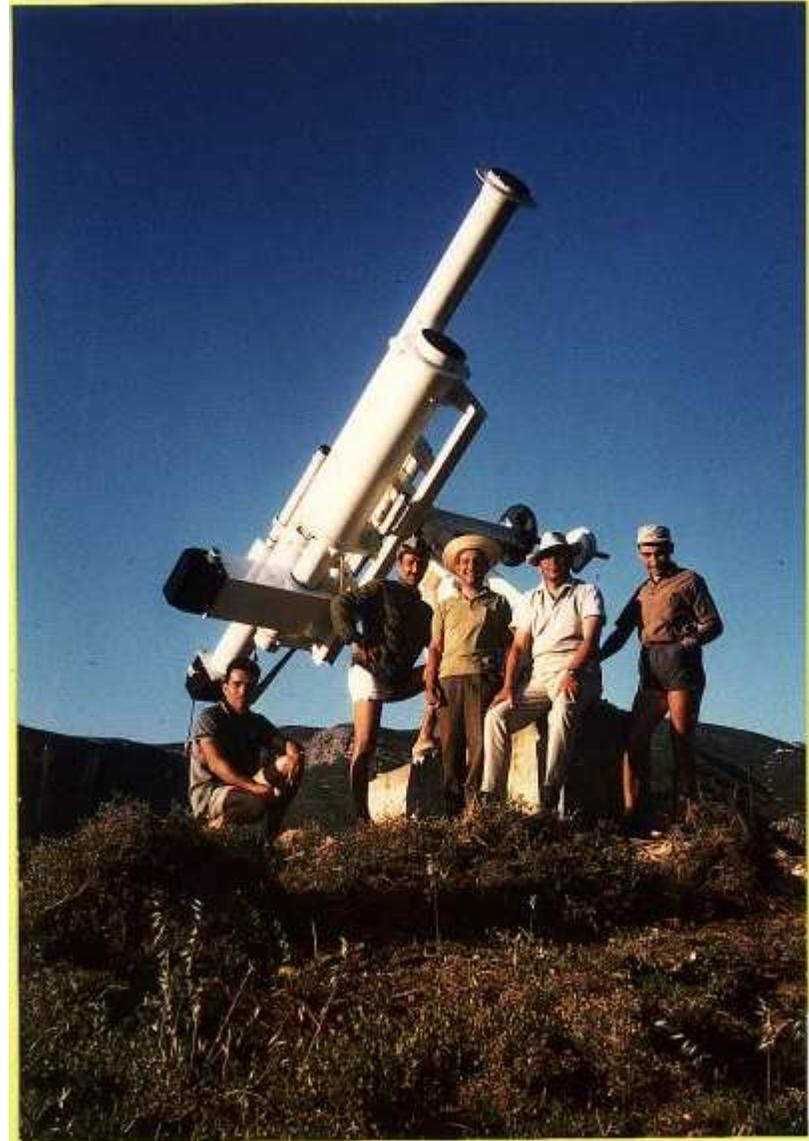


5

Khartoum. Camp du fort Stanley.
6 chambres photographiques à foyers courts et variés
pour l'enregistrement de la couronne extérieure.
M.MICHARD, Mme d'Azambuja.



20 Mai 1966

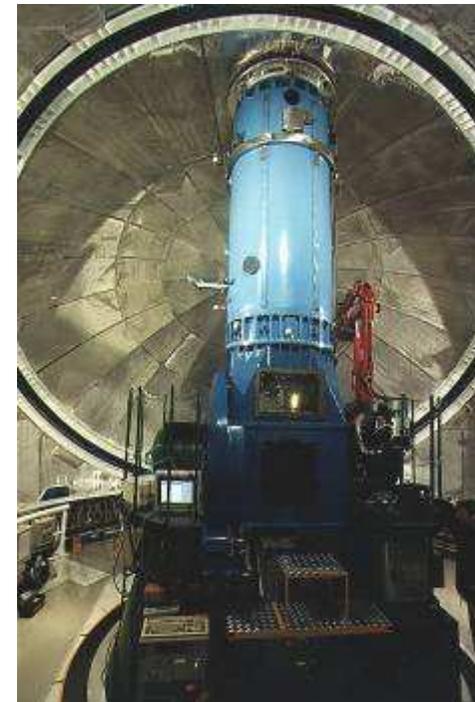


Thémis

Imaginé dès les années 70, Thémis est entré en service 20 ans plus tard. Le Télescope Héliographique pour l'Étude du Magnétisme et des Instabilités Solaires possède un miroir de 90 cm. Optimisé pour la haute résolution angulaire et dépourvu de polarisation instrumentale, le télescope est prévu pour mesurer les paramètres de Stokes sur plusieurs raies simultanément. Ces données permettent de dresser des cartes très précises des champs magnétiques.

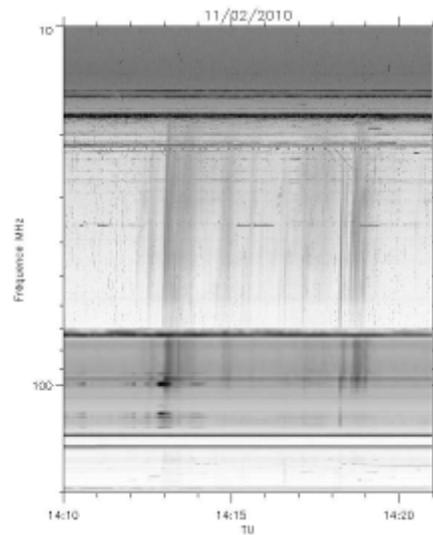


L'observatoire du Teide sur l'île de Ténérife aux Canaries.

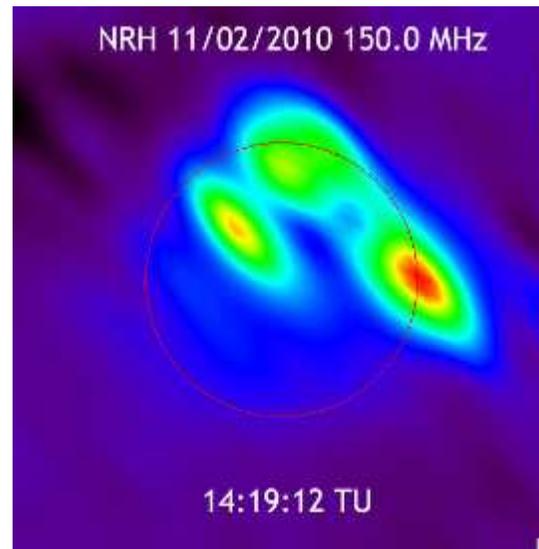


Le télescope dans sa coupole

Le radiohéliographe de Nançay

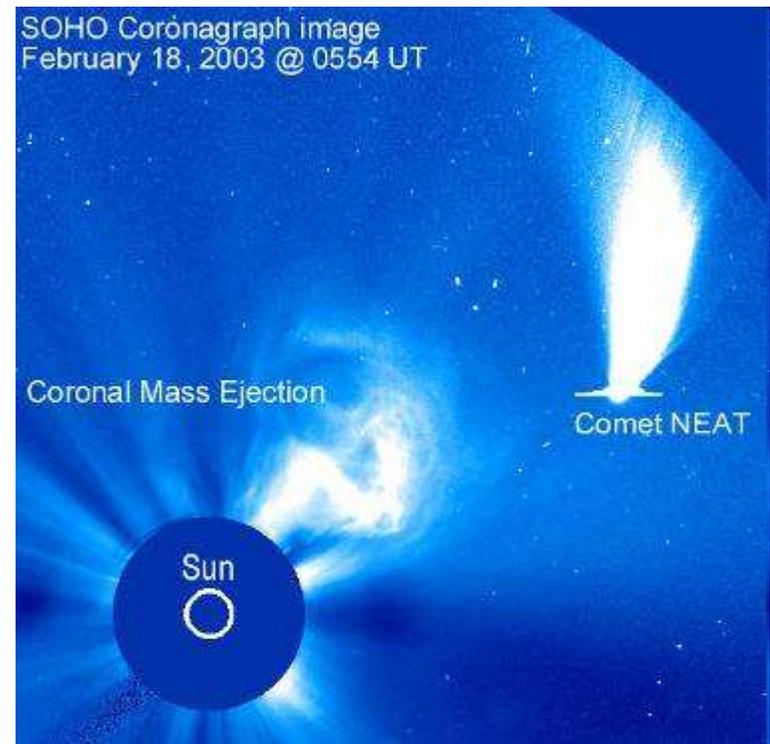
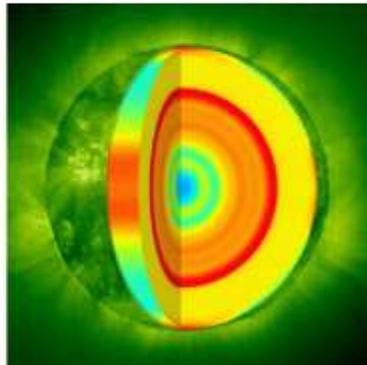
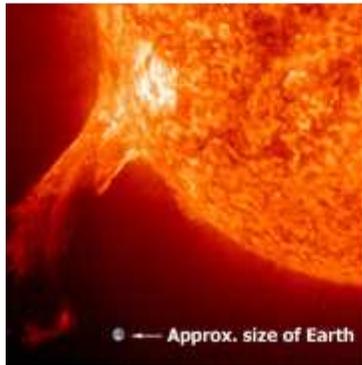
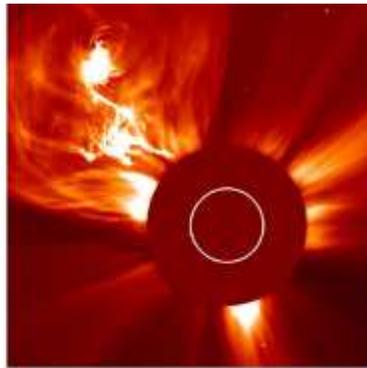
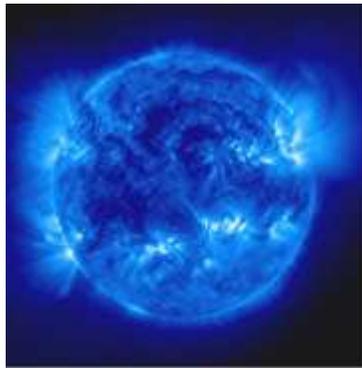


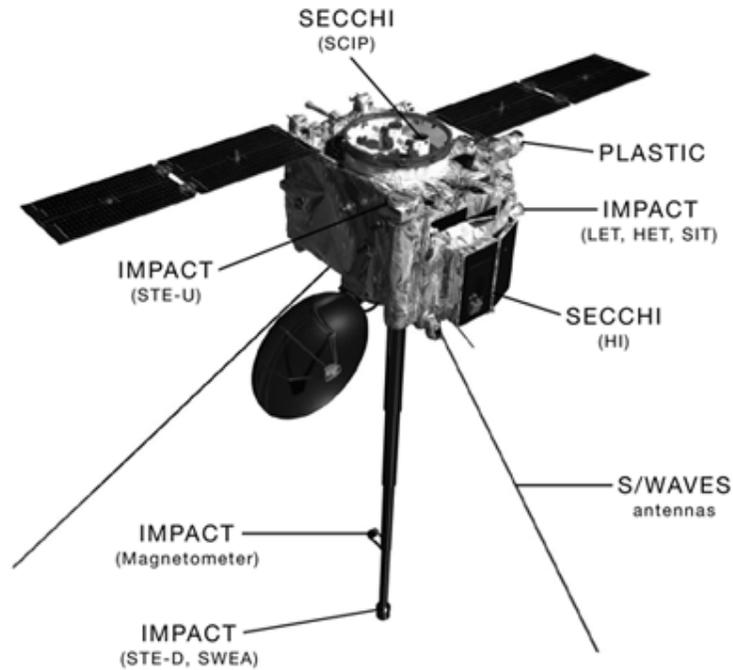
**Spectre radioélectrique
de 10 à 80 MHz**



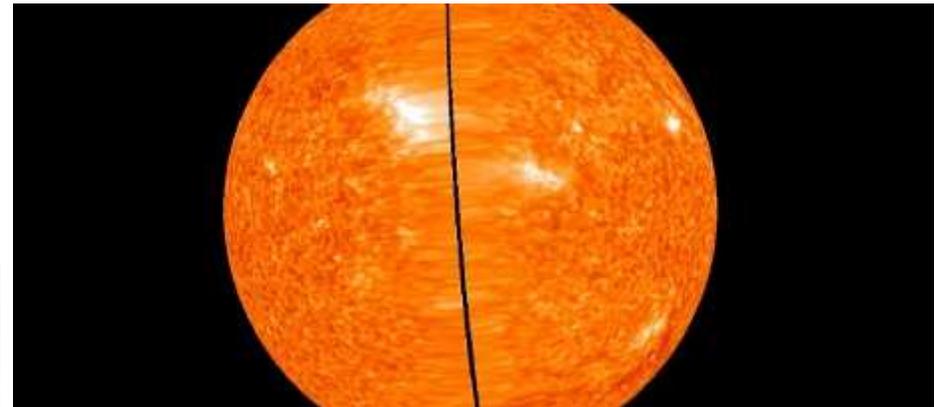
**Image instantanée
du radiohéliographe.**

SOHO

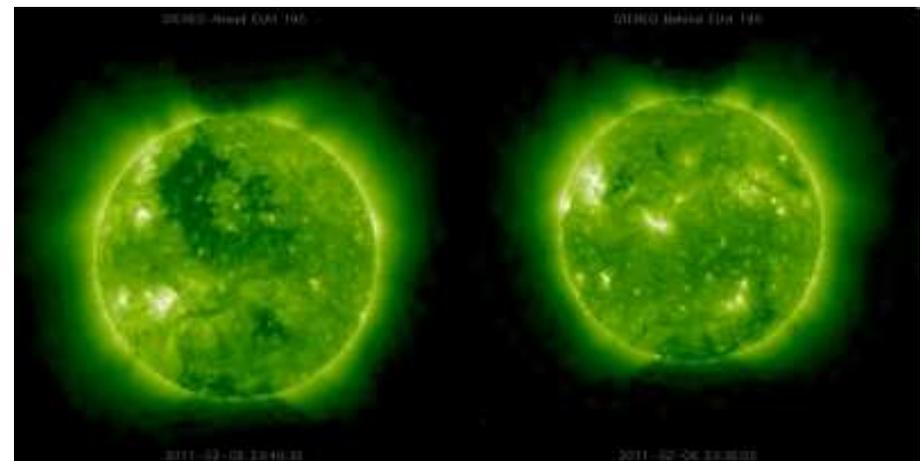




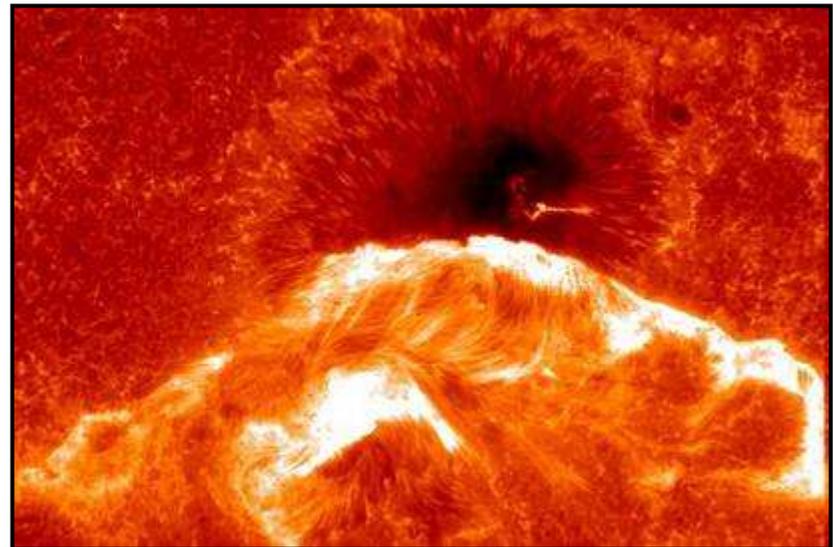
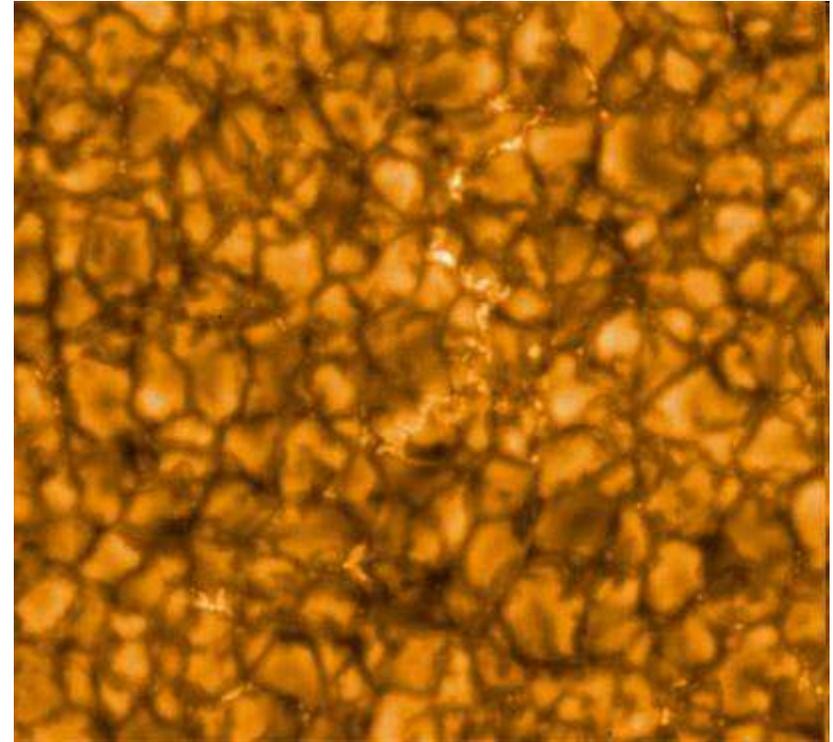
En octobre 2006, la NASA lance STEREO, Solar TERrestrial RELations Observatory, deux sondes qui fournissent des images stéréoscopiques du Soleil et de sa couronne pour l'étude des CME et du plasma projeté dans l'espace.

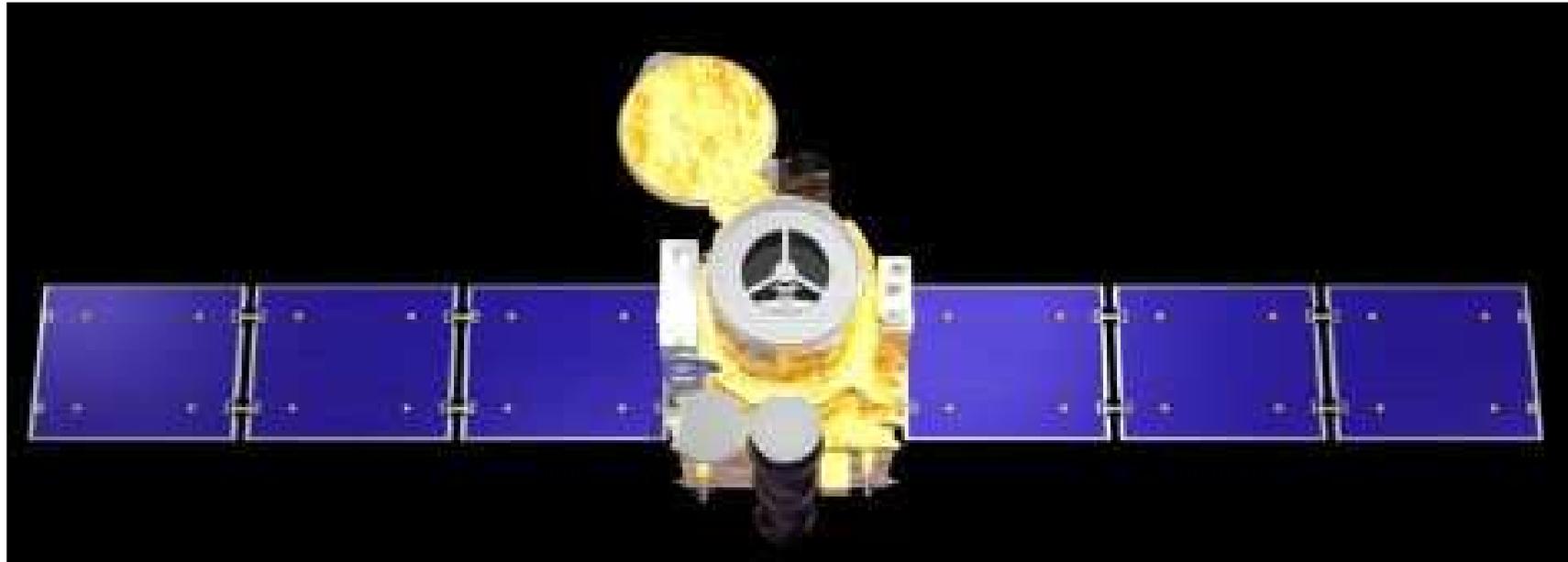


Comète Encke et CME



Hinode



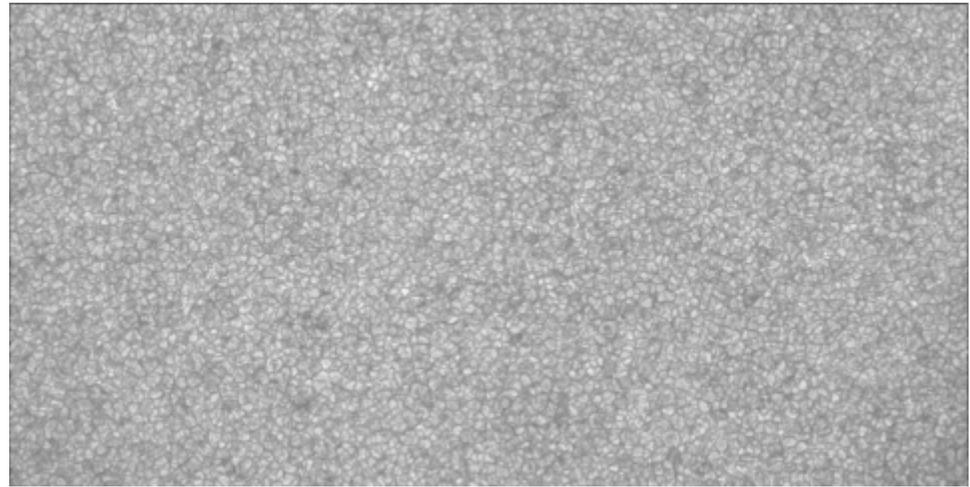


Le satellite japonais Hinode (SolarB) est équipé de trois instruments principaux:

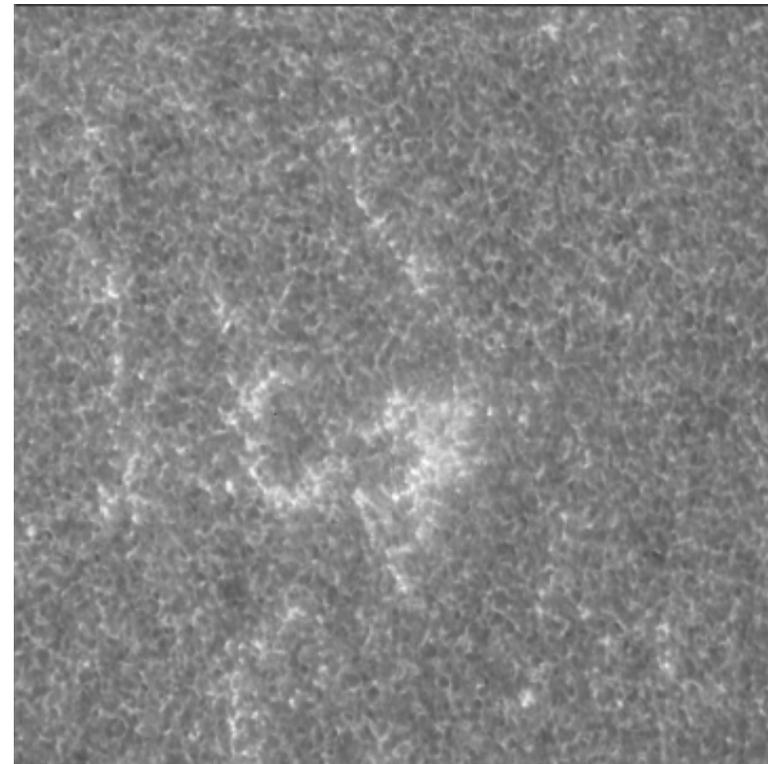
- Solar Optical Telescope de 50cm**
- X-Ray telescope**
- EUV imaging spectrometer**



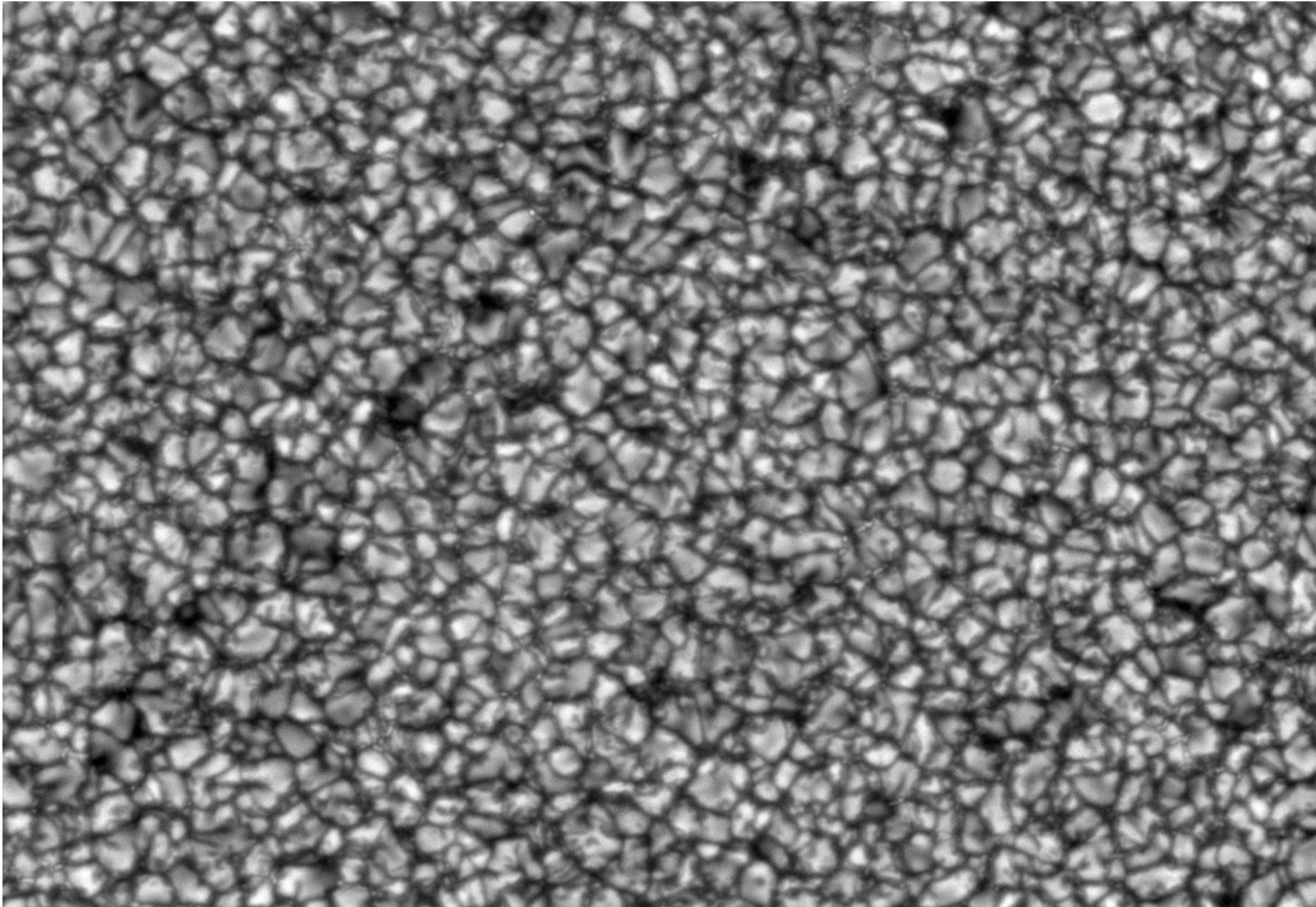
**XRT Full Sun Image
(Synoptic)**



SOT G-band image



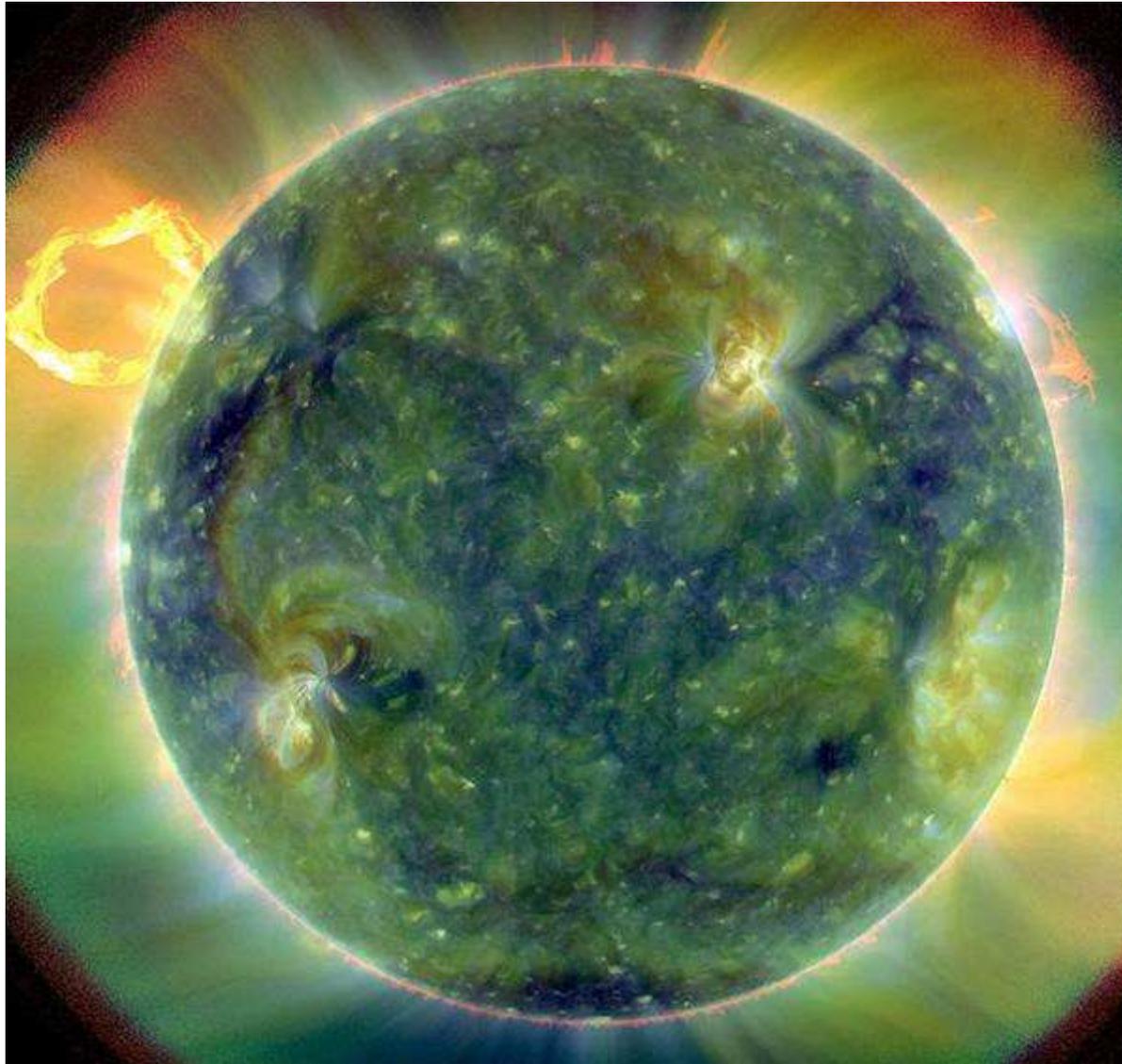
SOT Ca II H image



SDO Solar Dynamics Observatory

Satellite de la NASA envoyé le 11 février 2010. Chaque jour, il envoie pour 1,5 téraoctets de données, égale à 500.000 chansons sur un lecteur MP3.





Pleine puissance: Une image extrême ultraviolet du Soleil montre la température des gaz différents - les rouges sont sur 59.727 C, bleus et verts sont sur 999.727 C

