

Spectro polarimétrie à la lunette Jean Rösch I - Prospective

*Malherbe J.-M., Roudier Th., Moity J., Arnaud J., Müller R., Mein P., Bommier V.,
Faurobert M., Derouich M., Rondi S., Semel M., Frisch H., Coutard Ch.*



Pic du Midi de Bigorre, 2870 m, vue aérienne vers l'Est



Pic du Midi de Bigorre, 2870 m, vue aérienne vers l'Ouest

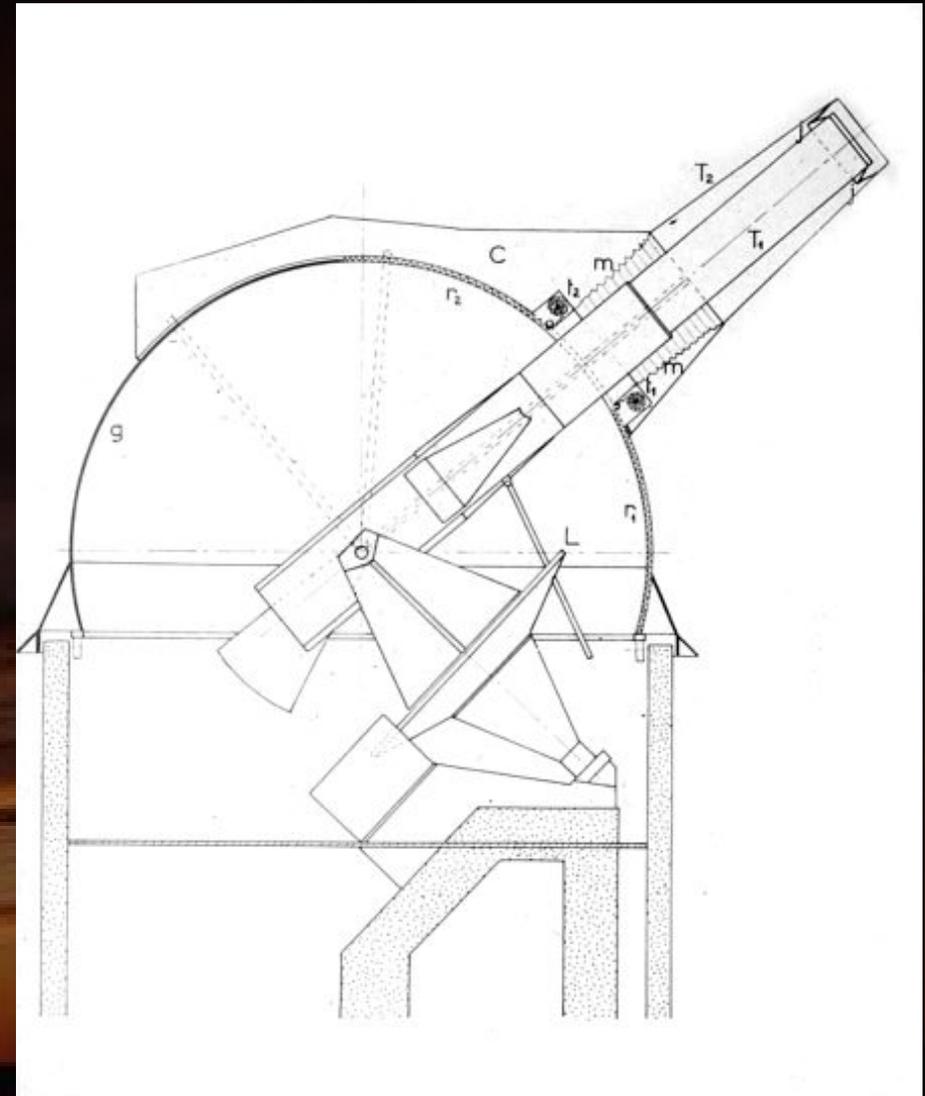
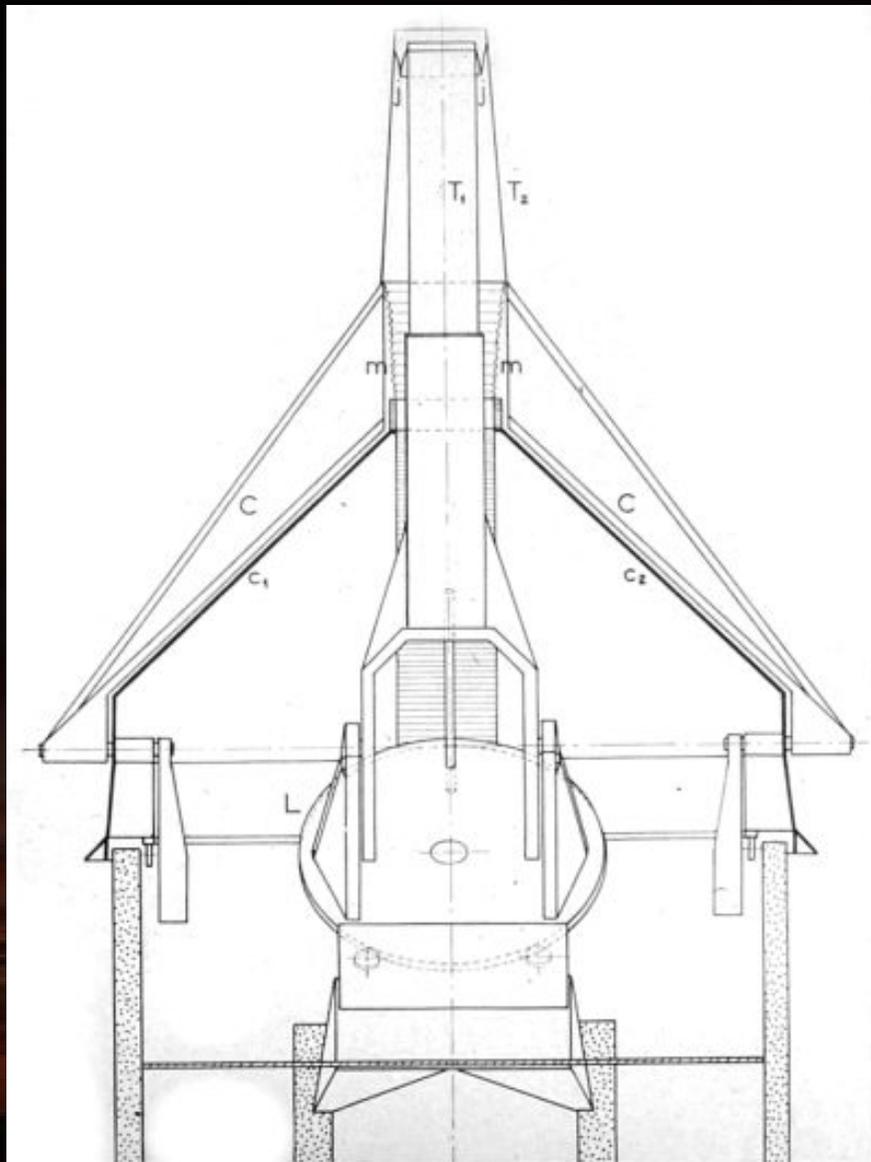
C'est là !





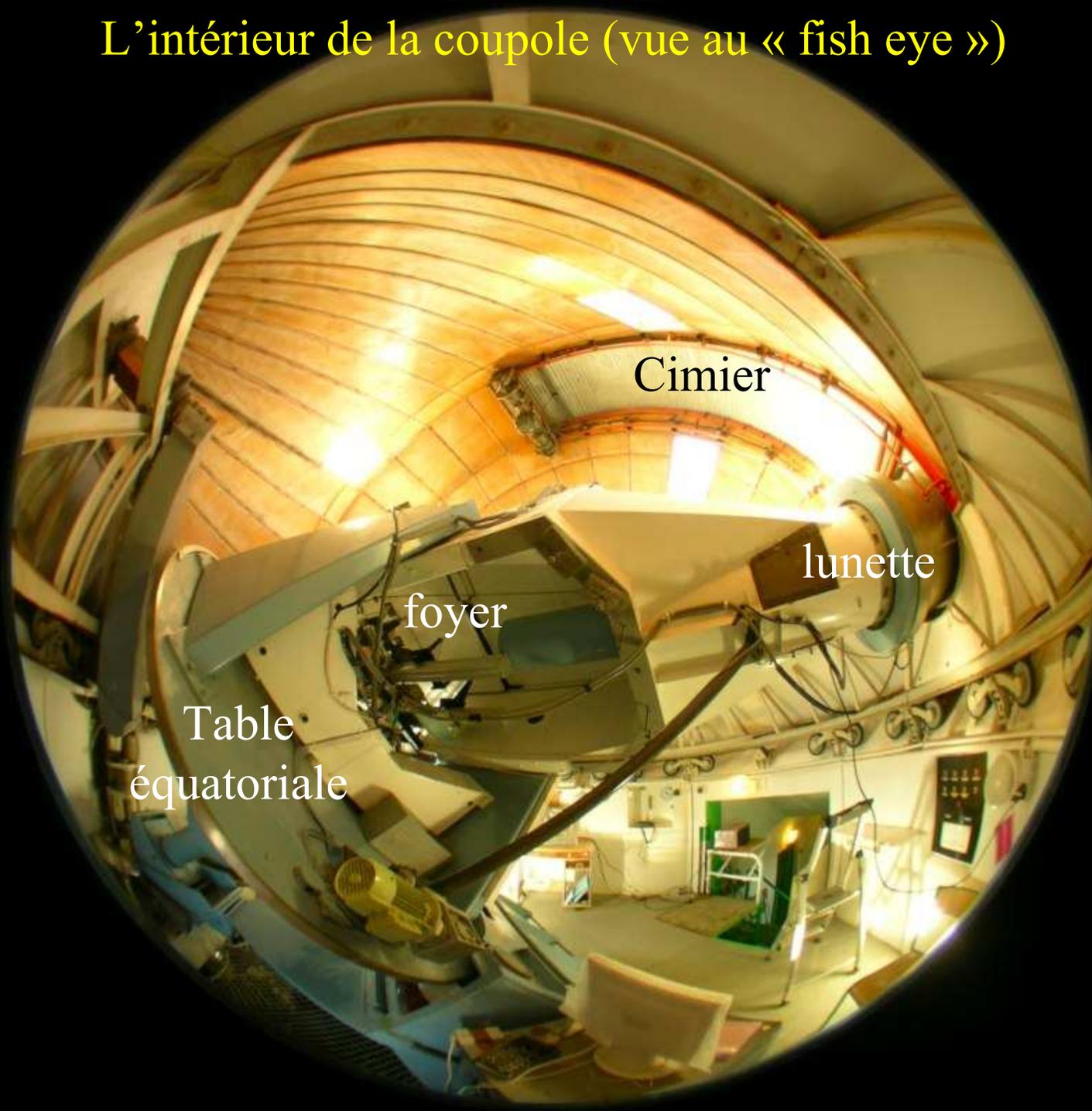
En hommage à
Jean Rösch
(1915-1999)

Observatoire de Paris – Observatoire Midi Pyrénées



Coupoles, monture équatoriale, lunette (sans le spectrographe)

L'intérieur de la coupole (vue au « fish eye »)

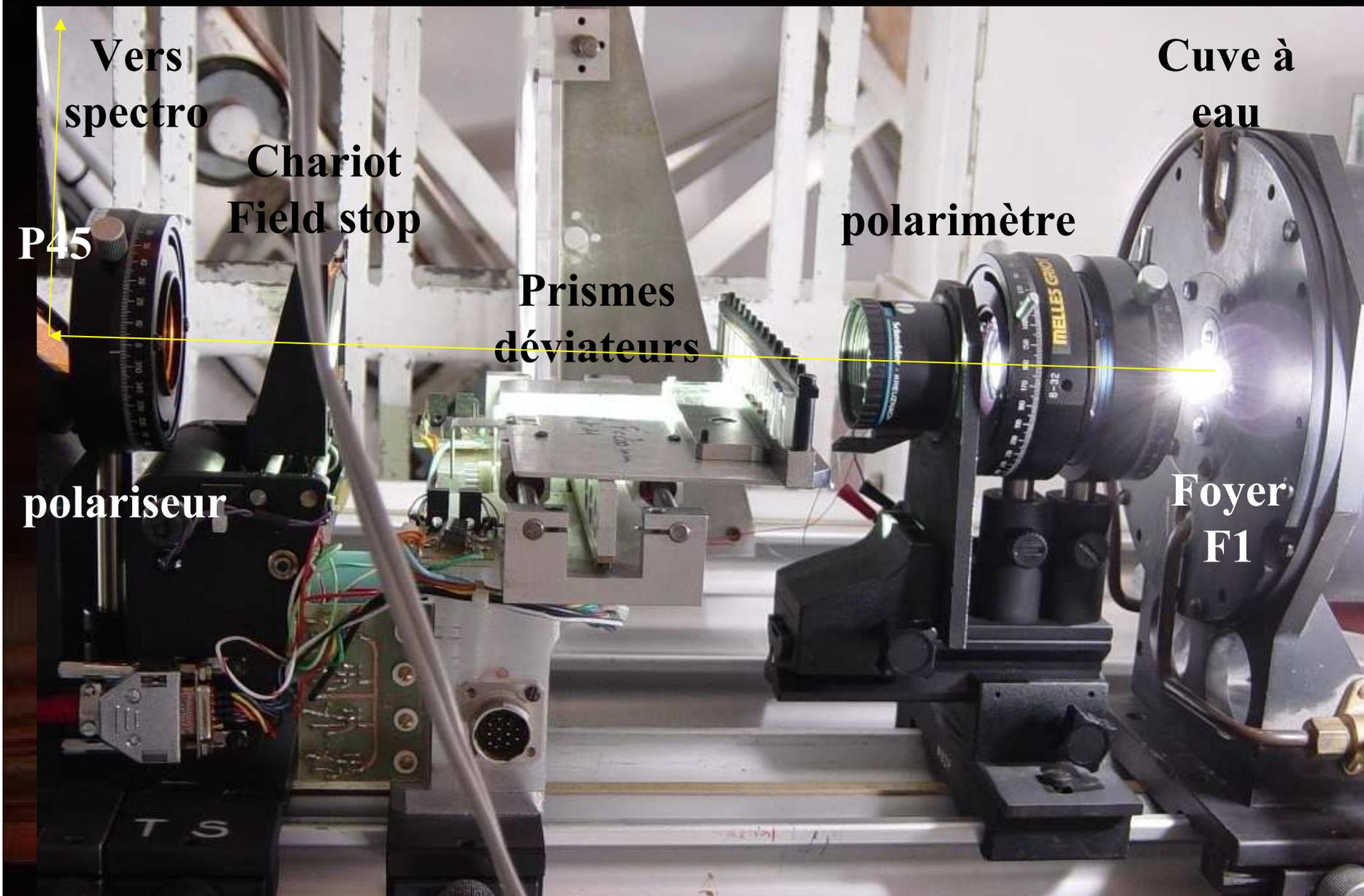


Cimier

lunette

foyer

Table
équatoriale



Le banc optique au foyer de l'instrument

Communauté concernée

env 10 chercheurs instrumentalistes, observateurs, théoriciens

5 laboratoires complémentaires

LESIA, LERMA (OP), LA2T (OMP), LUAN (Université Nice),
Cassiopée (OCA)

Domaine d'exploitation complémentaire de celui de Thémis

la haute résolution spatiale (0.3'' en spectroscopie)

la largeur du champ spectral monoraie (jusqu'à 18 Å)

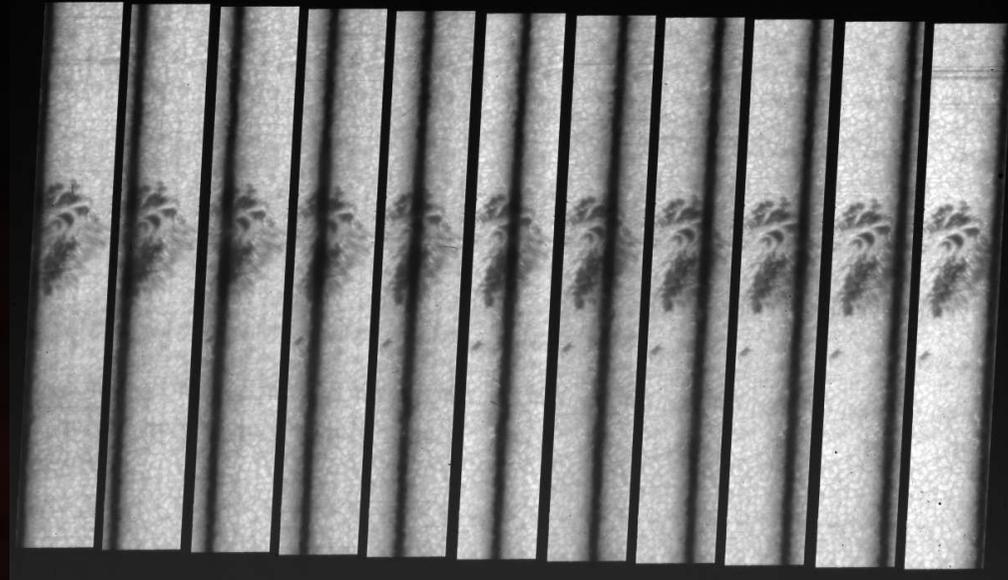
l'accès au domaine bleu et proche UV du spectre (380-480 nm)

La réalisation d'expériences nouvelles (souplesse instrumentale)

**La disponibilité est un atout précieux pour augmenter les chances
d'observations à haute résolution spatiale**

Programme scientifique résumé

magnétométrie Zeeman en haute résolution spatiale
photosphère et chromosphère en spectro-imagerie DPSM
(et ultérieurement en spectroscopie fente fine avec le séparateur)
l'analyse du second spectre solaire en haute résolution spatiale
variations spatio temporelles
caractérisation des champs magnétiques faibles, turbulents, non
résolus dans la photosphère et la chromosphère
Etude des polarisations faibles, anormales ou inattendues
Spectropolarimétrie des spicules et des protubérances

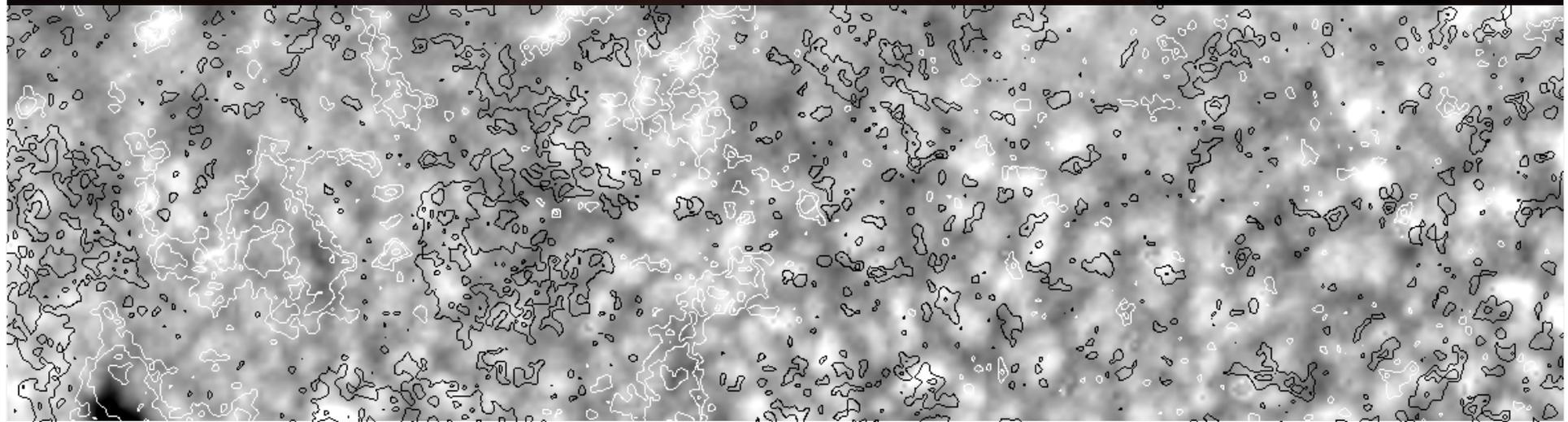


**magnétométrie Zeeman en
haute résolution spatiale**

DPSM

Polarimétrie

Mesure de B_z centre disque



Magnétométrie Zeeman 2D sur le disque à haute résolution spatiale dans la photosphère et la chromosphère

Interactions entre les champs magnétiques et la dynamique :

- les diverses échelles convectives à la surface du soleil
- leurs variations spatiales et temporelles au cours du cycle solaire
- l'origine des tubes de flux magnétiques concentrés et leur interaction avec la granulation

→ séquences temporelles longues (>1 h) à haute résolution spatiale (0.3'') et temporelle (30 s) : le DPSM est bien adapté

La mésogranulation pourrait résulter d'une combinaison de répétitions d'explosion de granules (familles) issus d'un granule père

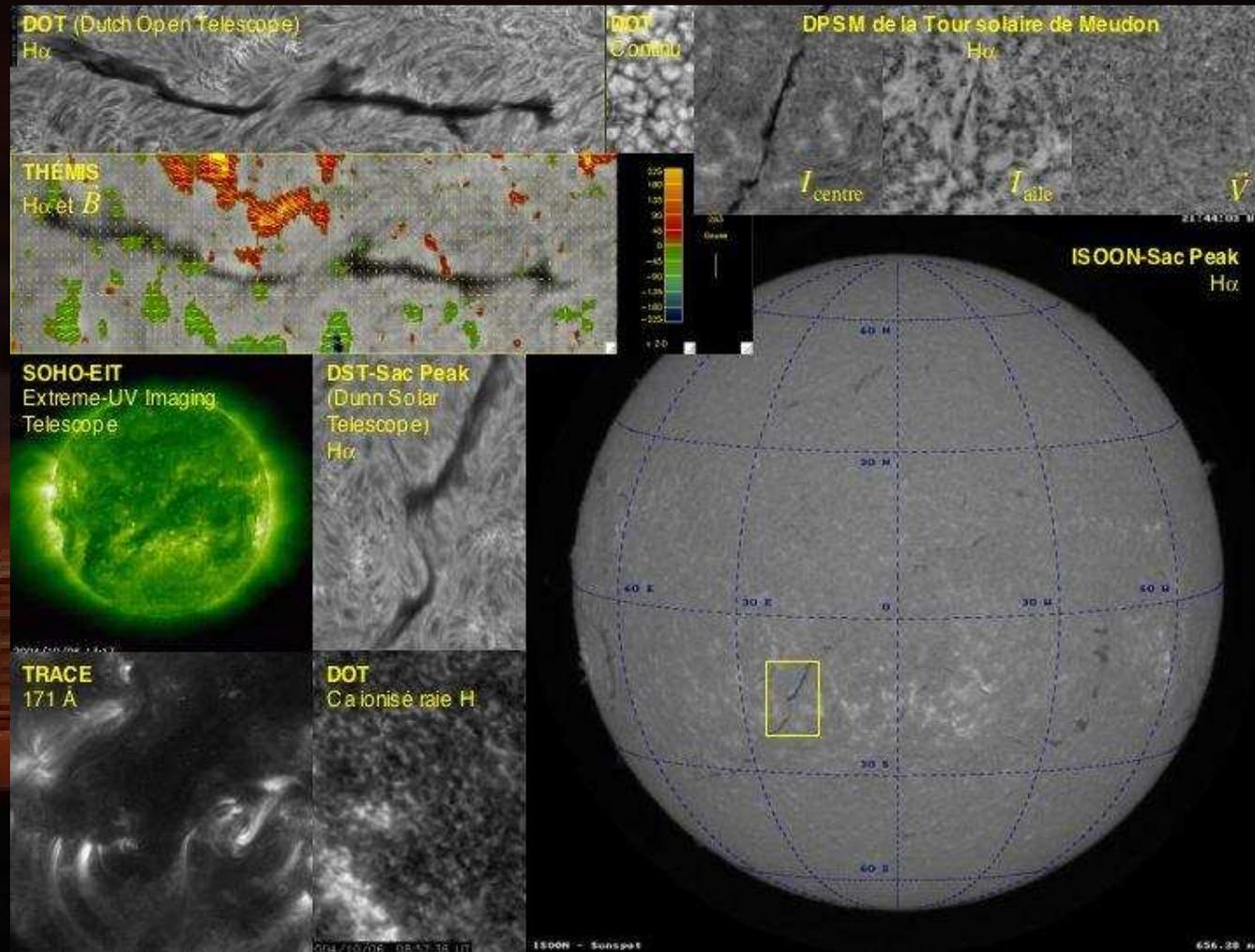
La supergranulation pourrait résulter d'une instabilité à grande échelle du flot granulaire

→ La Spectro imagerie polarimétrique DPSM fournit B_z et V_z sur un champ 2D ; les mouvements propres donnent V_x et V_y

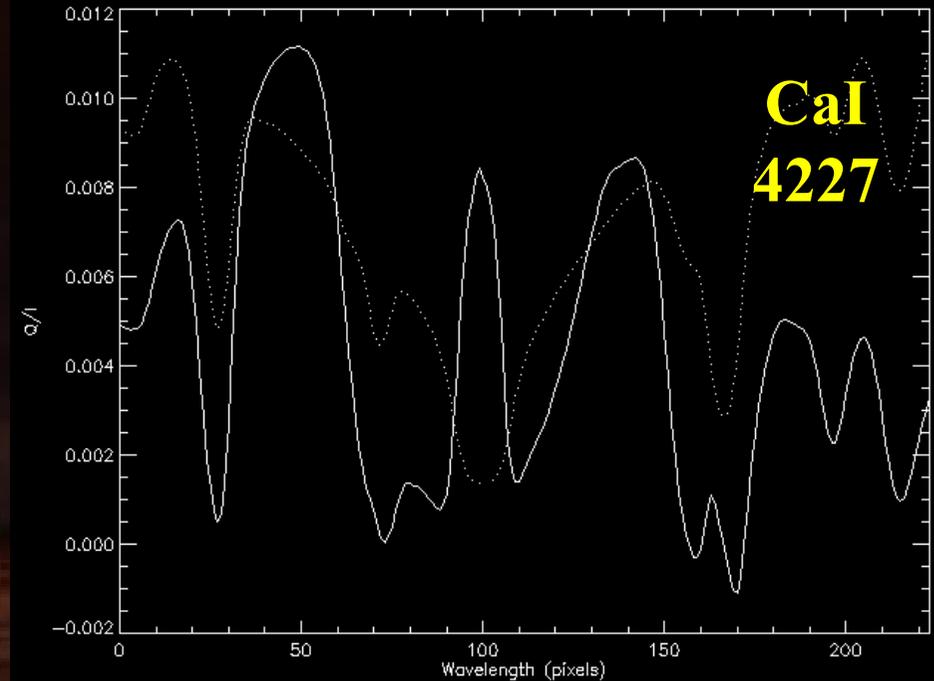
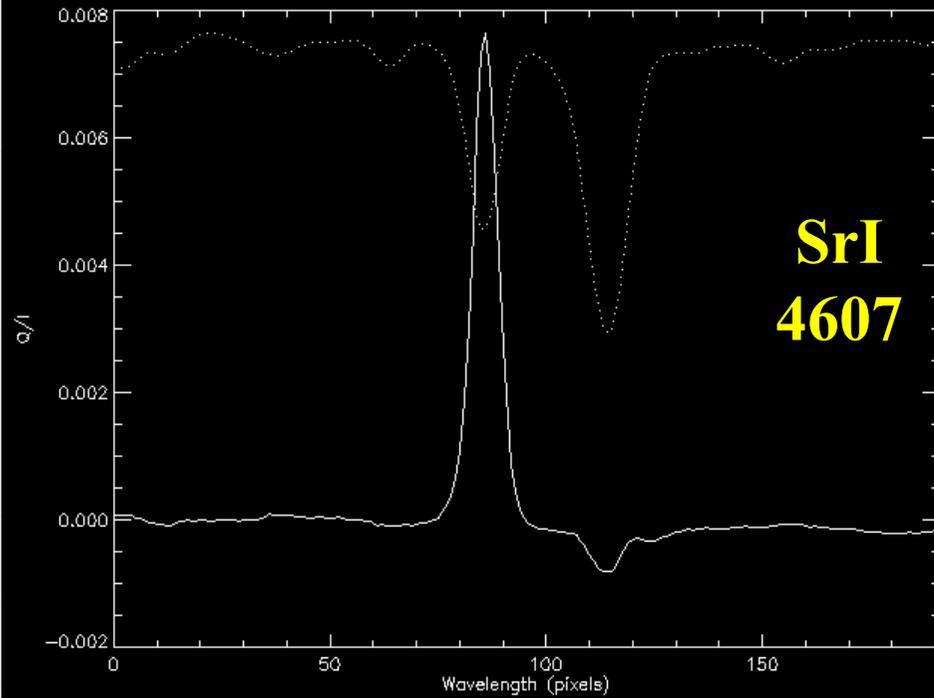
JOP 178 SOHO-TRACE-LJR-THEMIS , P.I. Th. Roudier

programme coordonné SOL/ESPACE

Quel est le rôle des mouvements photosphériques dans la déstabilisation des filaments et la production des CMEs ?

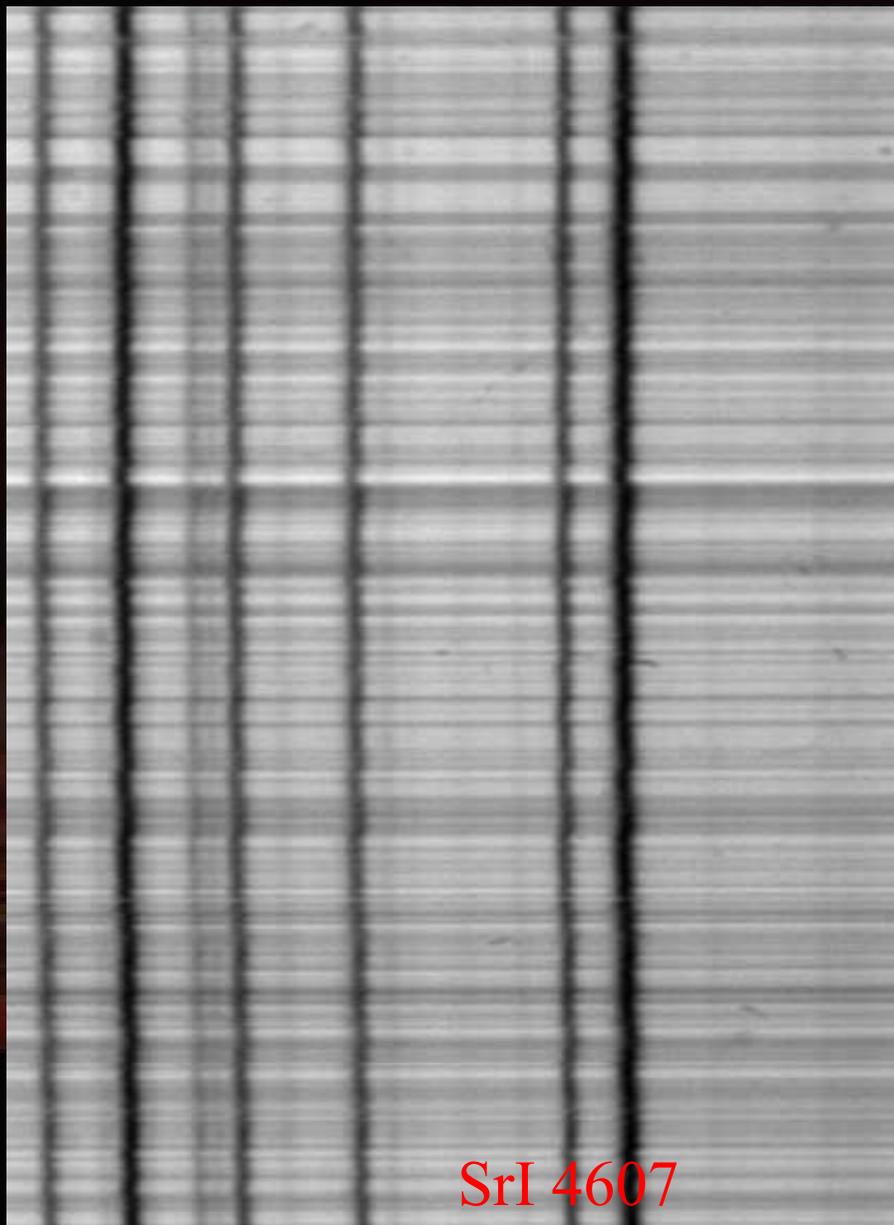


Polarisation au limbe et champ magnétique turbulent



Dépolarisation des raies de résonance au limbe par effet Hanlé = indication de la présence d'un champ magnétique turbulent, non résolu, à polarités mélangées, faible (qq dizaines de G), partout sur la surface solaire, dans la photosphère et dans la chromosphère

Variations spatiales du second spectre solaire



SrI 4607

**Domaine important et nouveau
pour le magnétisme solaire à
explorer selon les théoriciens:**

→ Variations spatiales des
champs magnétiques turbulents
dans les structures du soleil
calme (granules, intergranules)
de la photosphère et du réseau
chromosphérique

Haute résolution angulaire
nécessaire (0.3'')

SrI 4607, CaI 4227, BaII 4554

SrII 4078, Molécule C2

Effet Hanle différentiel

Mesure de la polarisation de différentes raies spectrales d'un même multiplet formées dans des conditions voisines, mais ayant des sensibilités différentes à l'effet Hanle

Raies moléculaires comme C2 vers 514 nm, MgH vers 517 nm, ainsi que des raies de TiI entre 474 et 476 nm

Champ magnétique déduit de rapports de Q/I dans des raies différentes du même multiplet. Interprétation simplifiée, car indépendante du modèle atmosphérique et car le transfert du rayonnement n'est pas nécessaire

Raies en émission au dessus du limbe

He D3, raies moléculaires C2, MgH

Diagnostic des champs chromosphériques et des spicules

Raies de Balmer: interprétation difficile

Polarisations faibles et processus de polarisation des raies

Des profils de polarisation linéaire Q/I inattendus et parfois inexplicables

Comprendre les processus de polarisation des raies

nombreux mécanismes invoqués (structure hyperfine liée à la présence d'isotopes de spins nucléaires différents, pompage optique du niveau atomique le plus bas, interférences quantiques...)

**énigme posée pour les transitions du type D1
($J=1/2 \rightarrow 1/2 \rightarrow 1/2$) en théorie non polarisables**

NaI (589.6 nm), BaI (493.4 nm), LiI (670.8 nm), VI (612.2 nm), NaI (615.4 nm), SiII (637.1 nm), AlI (669.6 nm)

sensibilité de 10^{-5} recherchée

Spectropolarimétrie des protubérances solaires

He D3 et raies de Balmer seulement

Variations de la polarisation au cours du cycle

Y a t-il une variation temporelle des champs magnétiques turbulents au cours du cycle ?

→ Pouvoir différencier les variations instrumentales des variations solaires : programme très difficile

Polarisation des continus

Peu de données précises disponibles sur la polarisation des continus. Programme faisable soit en spectropolarimétrie (continus au voisinage des raies) soit en imagerie polarimétrique (intégration sur des bandes de 10 nm au moyen de filtres interférentiels).

variation spatiale des continus

Développements instrumentaux pour la polarimétrie

à fente fine

2005: installation d'un séparateur de faisceaux « Semel » pour la Spectroscopie fente fine (dans un premier temps). Le séparateur sera placé derrière une unique fente en F2

- Pas de problème de concordance de fentes
- Deux polarisations sur la même caméra (2 x 1' de champ)
- Programmes non statistiques possibles
- Mais derrière le P45 (influence à examiner)

2006: réfection du système de guidage (porte cellules 4 cadrans)

- Suppression des dérives du champ
- Balayage de la surface solaire possible avec une fente fine

Développements instrumentaux pour la spectro-polarimétrie (suite)

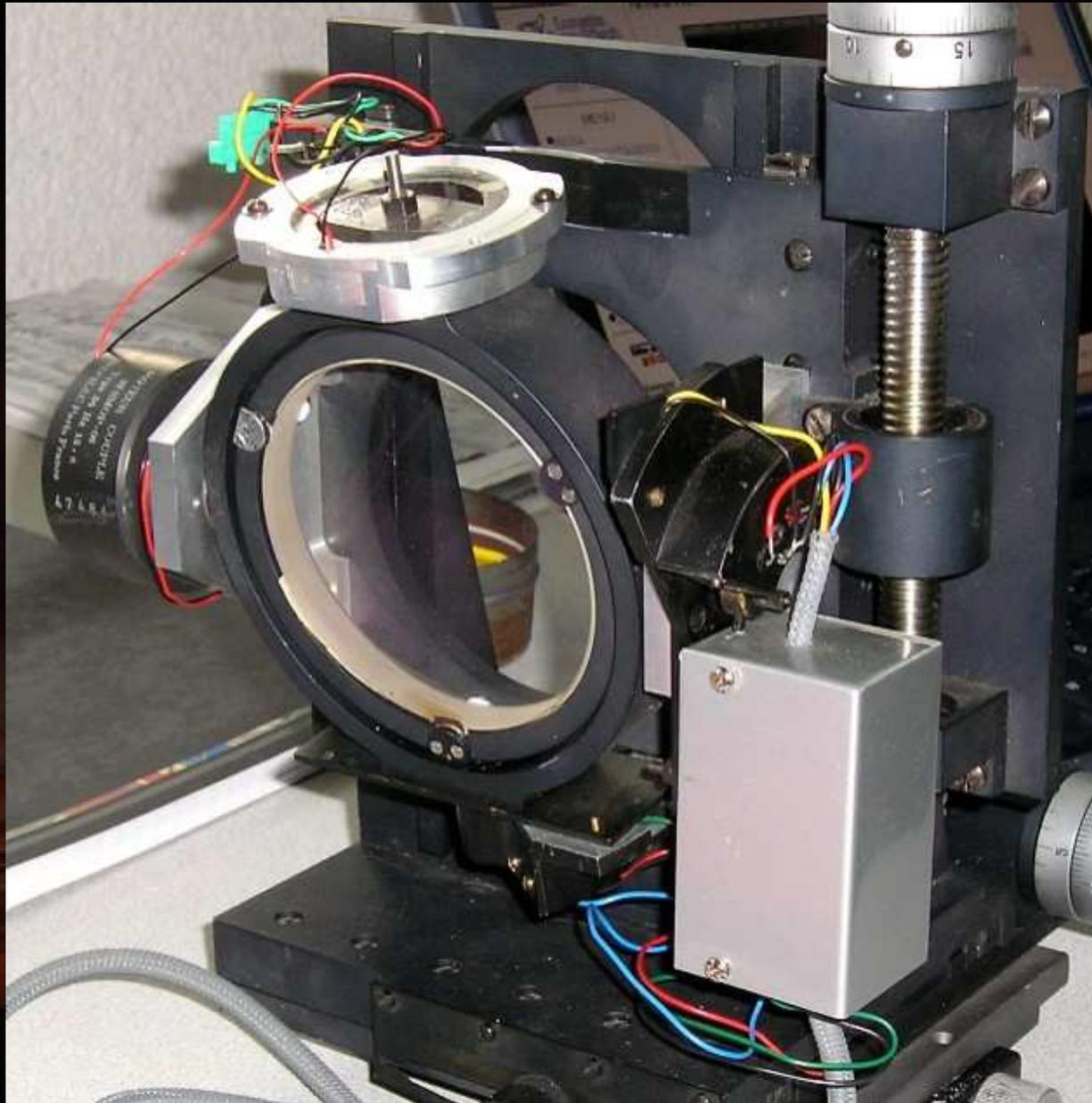
à fente large (DPSM)

2005: test de la boîte « raies fines », 18 canaux, résolution 50 mÅ
→ observation des raies photosphériques possible

Tous programmes spectroscopiques

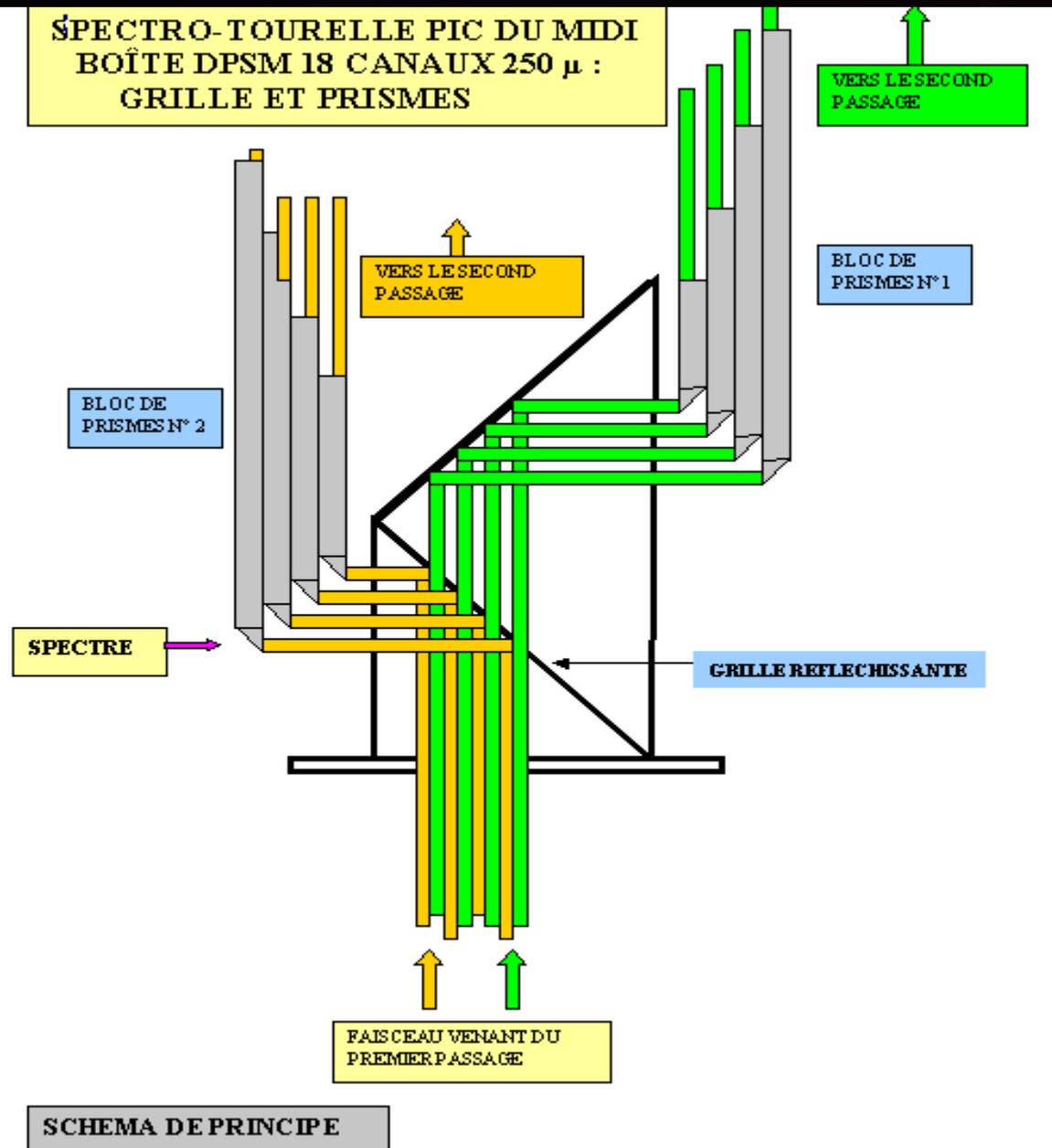
2006 ???: caméra à grand puits de potentiel 1024 x 1024 (pixels de 24 μ , 650 Ke, haut rendement quantique 400-800 nm)

2007: modernisation et incorporation de la lame à faces parallèles tip tilt « Colson Mouradian » pour stabiliser l'image devant le foyer F1, couplage avec le porte cellules pour les grand déplacements



Lame
Tip Tilt
« Colson
Mouradian »
En avant
Du foyer F1

SPECTRO-TOURELLE PIC DU MIDI
BOÎTE DPSM 18 CANAUX 250 μ :
GRILLE ET PRISMES



Boîte

DPSM

Raies fines

Pas de grille 250 μ

18 canaux

Résolution spectrale

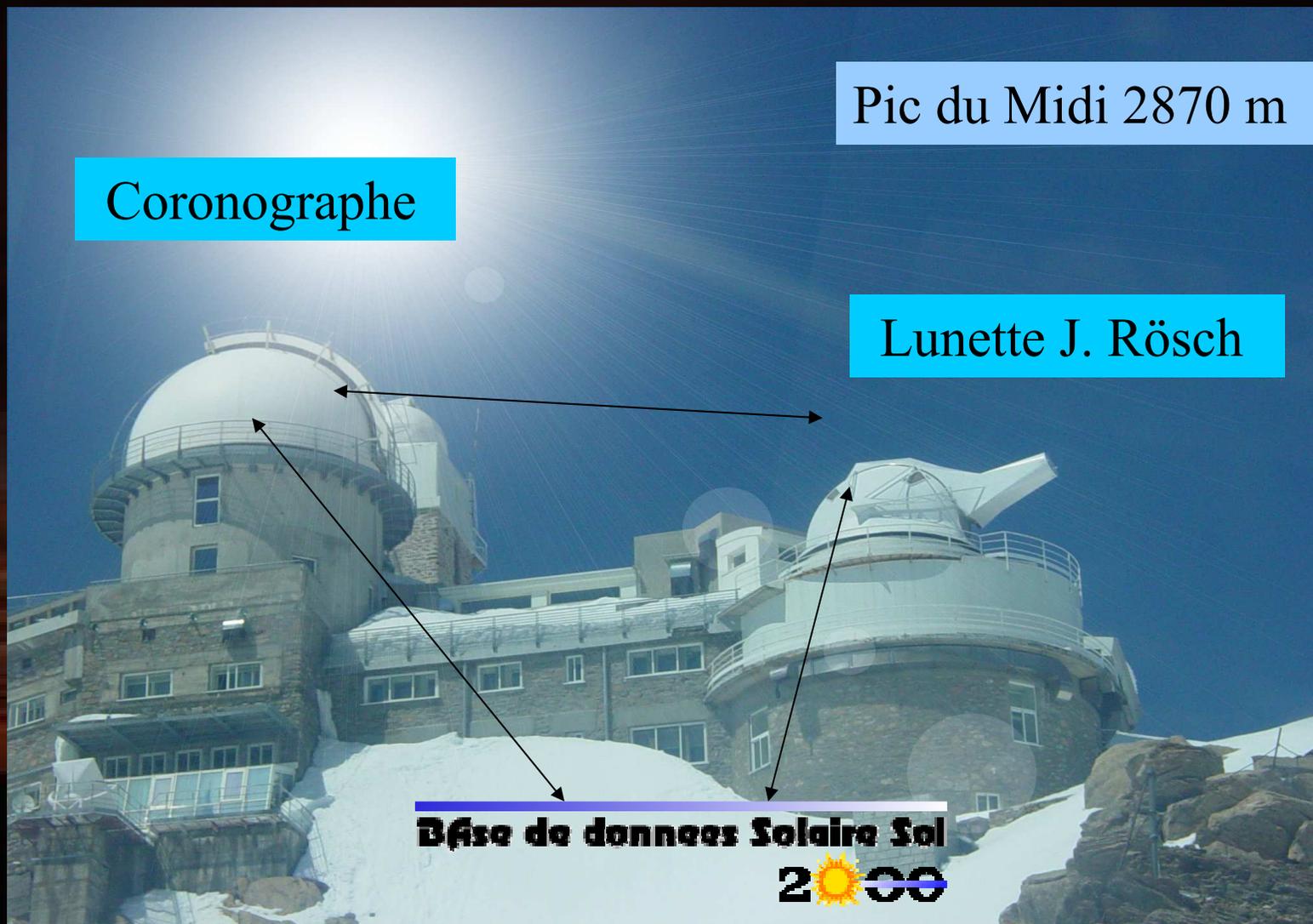
50 mÅ

Champ de 2' x 10''

EXTENSION ENVISAGEE pour les champs coronaux:

MAGES, proposée par Th. Roudier (2010)

Mesure de B dans: Couronne, Chromosphère, Photosphère



Mesure de B dans la Couronne, la Chromosphère, la Photosphère: Projet MAGES (MAGnetic External Sun)

Th. ROUDIER (2010)

Mesure de B dans la Photosphère, la Chromosphère (LJR) et dans la COURONNE (coronographe), dans un réseau mondial en collaboration avec HAO

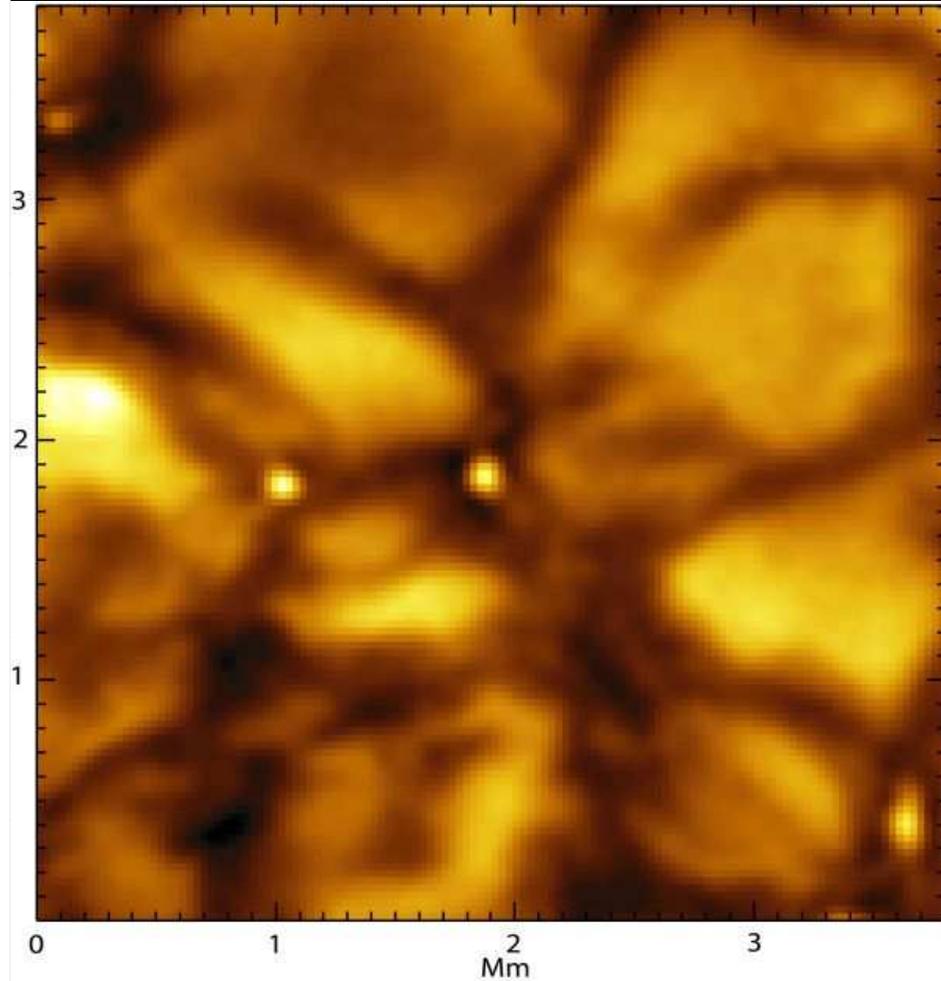
→ Soutien sol des manip spatiales

→ Applications à la météo de l'espace

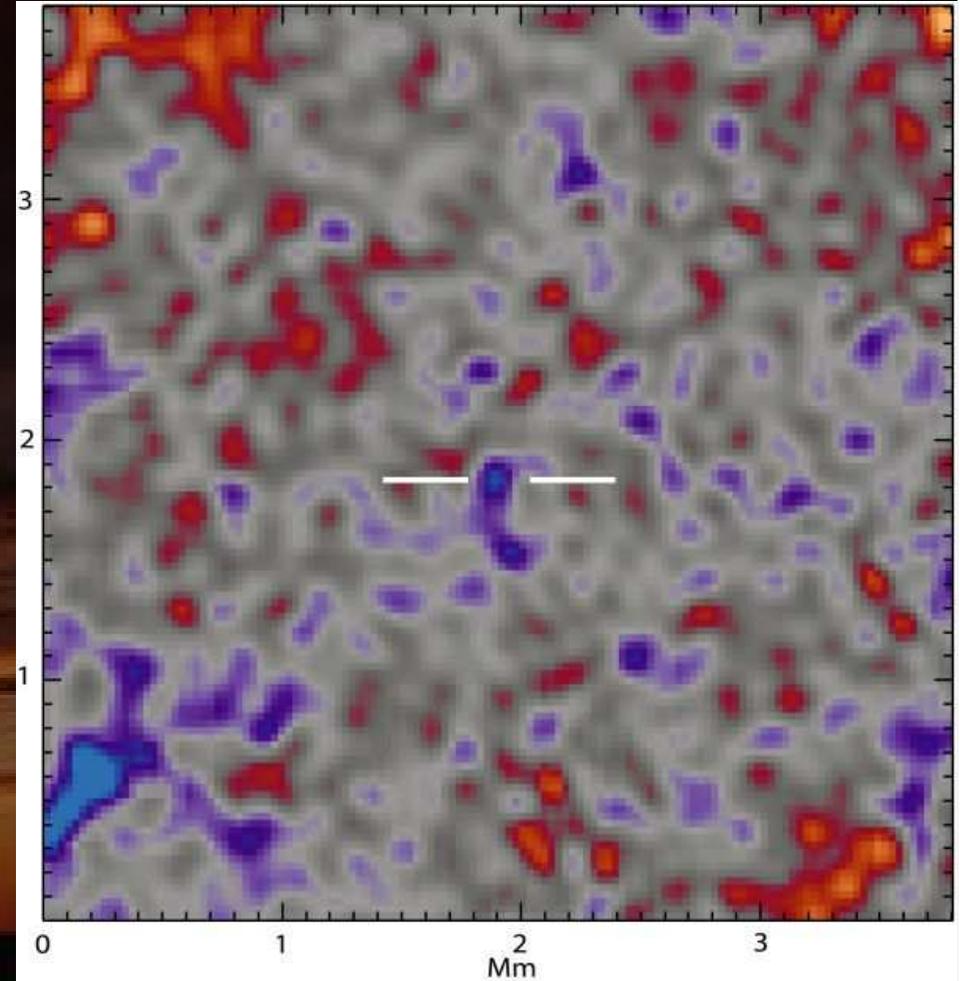
→ Dans des raies proche IR du Fe XIII vers $1.07 \mu\text{m}$ (+ raie de He I à $1.08 \mu\text{m}$ pour la matière froide)

Intérêt au Pic du Midi: longitude complémentaire d'Hawaï et qualité du site reconnue pour l'observation coronale

SST La Palma, *Scharmer et al, Nature, 2004*
Optique adaptative



I



B//

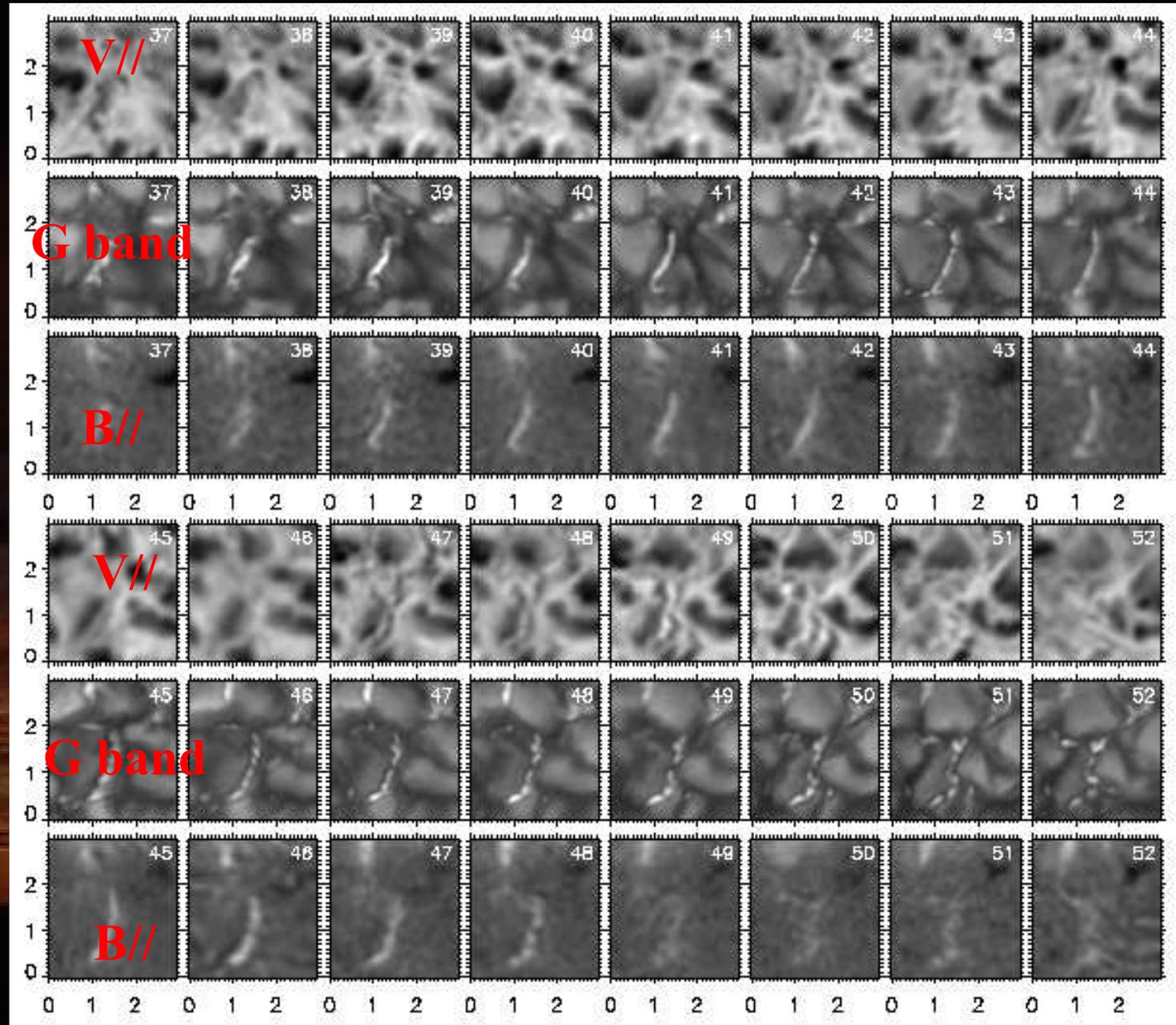
1m SST la
Palma

Roupe et al

A&A 2005

Solar
magnetic
elements at
0.1''
resolution

SOUP
polarimeter
Ni 6768



SOLAR B (2006)

magnétographie à haute résolution spatiale avec le SOT



SOLAR B (2006): Solar Optical Telescope (SOT)

This will be the first large optical telescope flown in space. Its aperture is 50cm and angular resolution achieved will be 0.25" (175km on the Sun) covering a wavelength range of 480-650nm. SOT also includes the Focal Plane Package (FPP) vector magnetograph and spectrograph. The vector magnetograph will provide time series of photospheric vector magnetograms, Doppler velocity and photospheric intensity.

Magnetic lines: Fe I 525.0 nm, Fe I 630.2 nm, Continuum: 524.6nm,

Velocity: Fe I 532.4nm

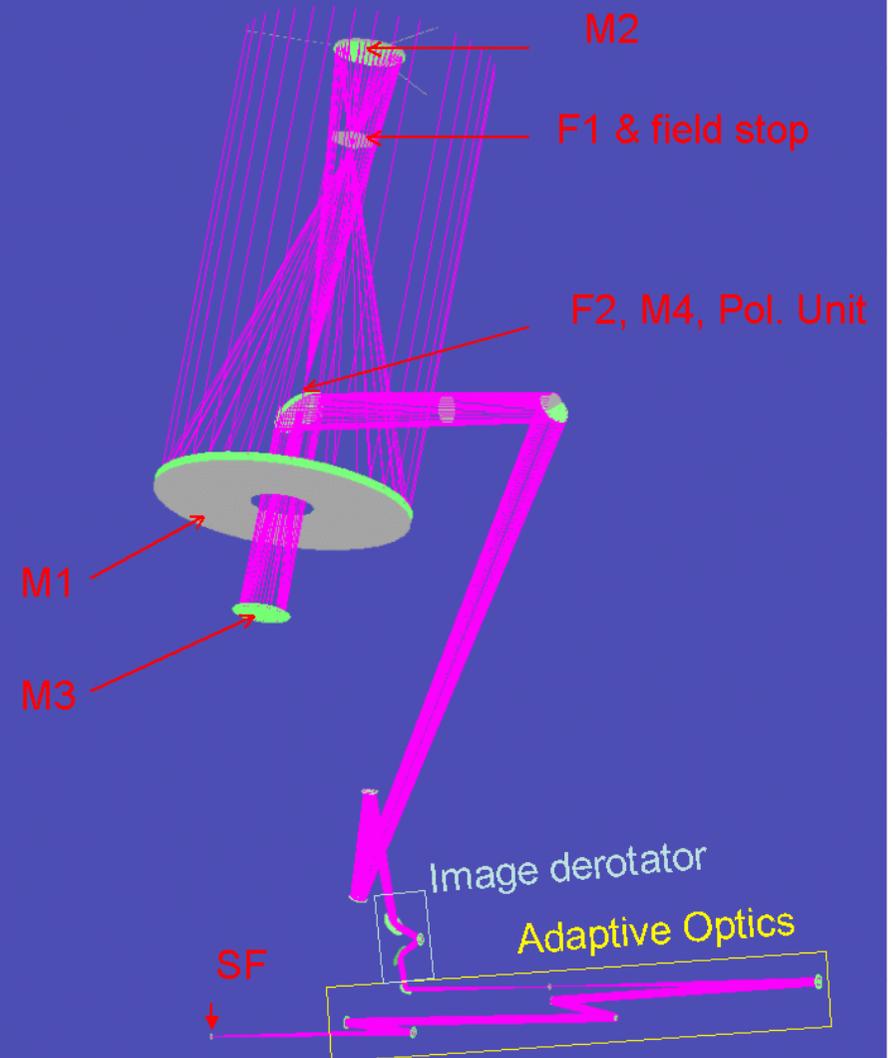
FOV: 164x164"

Magnetic sensitivity: B(longitudinal): 1-5G, B(transverse): 30-50G

Temporal resolution: 5 mins

The FPP spectrograph has a spectral resolution of 20 mÅ and provides detailed Stokes line profiles of intensity and polarization.

GREGOR, Ténérife (2006)



GREGOR, 2006

AO System for all post focus instruments

High-resolution Fabry-Perot filter spectrometer

- Spectral resolution $< 5 \text{ pm}$, Approx. $50''$ FOV , 530 nm – 870 nm
- Stokes polarimetry possible

High resolution slit spectrograph

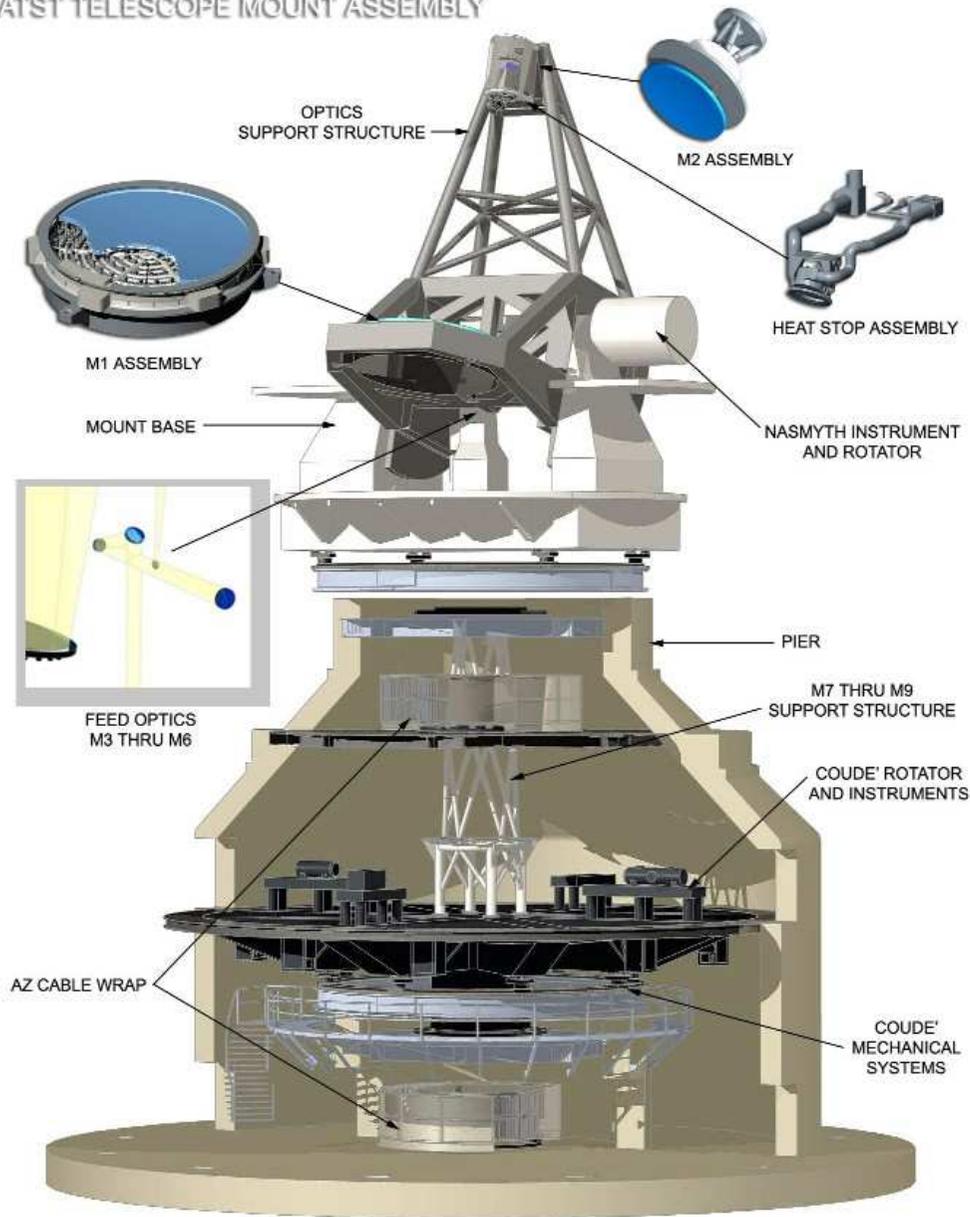
- Infrared and visible wavelength range
- Infrared with focal reducer (spatial scale 7.5 arcsec/mm)
- Grating ruling 316 lines/mm

Polarisation calibration unit

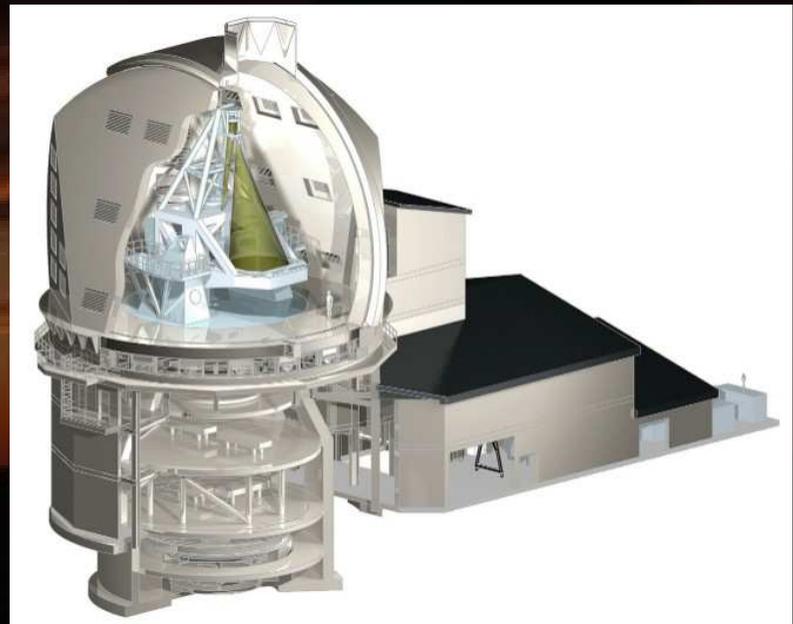
- Integrated at F2 (symmetric beam path)

- Polarimetric spectrograph (POLIS) for the visible and near-UV

ATST TELESCOPE MOUNT ASSEMBLY



ATST
Hawaii
> 2012



ATST, 2012

Polarization accuracy: 10^{-4} of intensity

- to precisely measure the magnetic field vector and test models of wave generation in magnetic flux tubes by the surrounding granulation
- to test models of extremely weak magnetic fields in the photosphere, chromosphere, and in prominences using the Hanle effect

Spatial resolution: $> \sim 0.1''$ using adaptive optics

- to resolve the photon mean free path and the pressure scale height in the photosphere
- to probe the IR signature of cool clouds in the chromosphere and test models of their radiative cooling

LJR: plusieurs domaines concurrentiels au niveau international et complémentaires de Thémis

Jusqu'en 2008 ? : magnétographie des structures fines

Spectro-imagerie polarimétrique à haute résolution spatiale

type DPSM sur le disque (0.3'', par rafales)

Raies chromosphériques et photosphériques

Concurrence certaine: SST La Palma/Solar B/Gregor

Jusqu'en 2015 ? : second spectre solaire

Spectro-polarimétrie des raies bleues 390-480 nm au limbe

SrI 4607, BaII 4554, CaI 4227, SrII 4078

Spectro-polarimétrie à haute résolution spatiale au limbe

SrI 4607, bande C2 5140, ...

Variations spatiales de la polarisation

Pas de concurrence évidente avant ATST