

Raymond Michard

et son groupe de Physique Solaire à Meudon

*Témoignages recueillis par
Pierre et Nicole Mein*

Remerciements :

M-J. Martres, M . Pick, Z.Mouradian,
J-M. Malherbe, I. Bualé, R. Le Cocguen
Bibliothèques Observatoire Paris et Meudon, Bass2000
ADS abstracts
R. Michard (Conférence 1/02/2008, JAF n°57, ...)

Raymond Michard

Né en 1925 à Tunis

1946-47 licence Mathématiques

1947-48 Diplôme Etudes Sup. (Astro. Approfondie)

1948-54 Chercheur **CNRS**

IAP (D. Chalonge) + Utrecht, Meudon

1953 Thèse

1954 Astronome-adjoint **Obs. Paris**

A. Danjon lui confie un service de recherches

1959 Direction du **Service Solaire** Meudon

1968 Direction du **Départ. D'Astron. Solaire et Planétaire**

1971-76 **Président Observatoire de Paris**

1977-78 *Année sabbatique Université Texas*

*Recherches en **physique Extragalactique***

1981-89 *Fondation et direction de l'**Obs. De la Côte d'Azur***

1990-2015 *Observatoire de Paris*

Président Comm. 12 (UAI), Membre comité organisation Com. 10

Année Soleil Calme, Service Intern. des Ursigrammes, COSPAR.....

I – Les années de recherche à l'IAP (1948 - 1954)

- Théorie Atmosphères stellaires et physique solaire
- Nombreuses collaborations

II -Direction partielle puis totale du Service Solaire de l'Observatoire de Meudon (1954 - 1968)

Création de nouvelles équipes :

Recrutement de **jeunes chercheurs**

Développement d'**instruments**

Nouveaux **thèmes de recherche**

III – Direction du DASOP (1968 – 1971)

Les recherches initiées par R. Michard (1971-1980)

Extension des **domaines d'activités**

(Radio, Centre de prévision,.....)

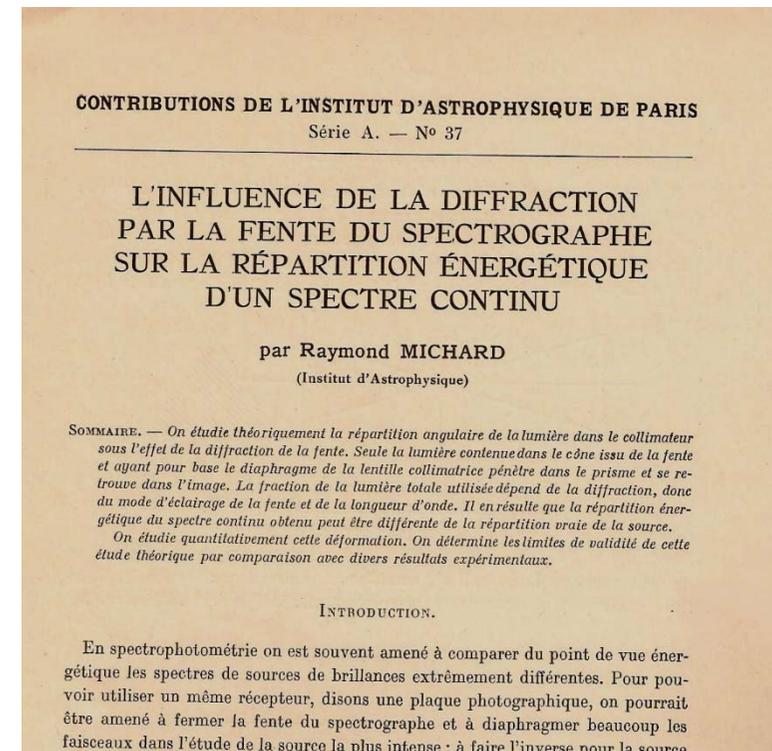
Laboratoire de Physique Solaire LA 326 << DASOP

Le projet THEMIS

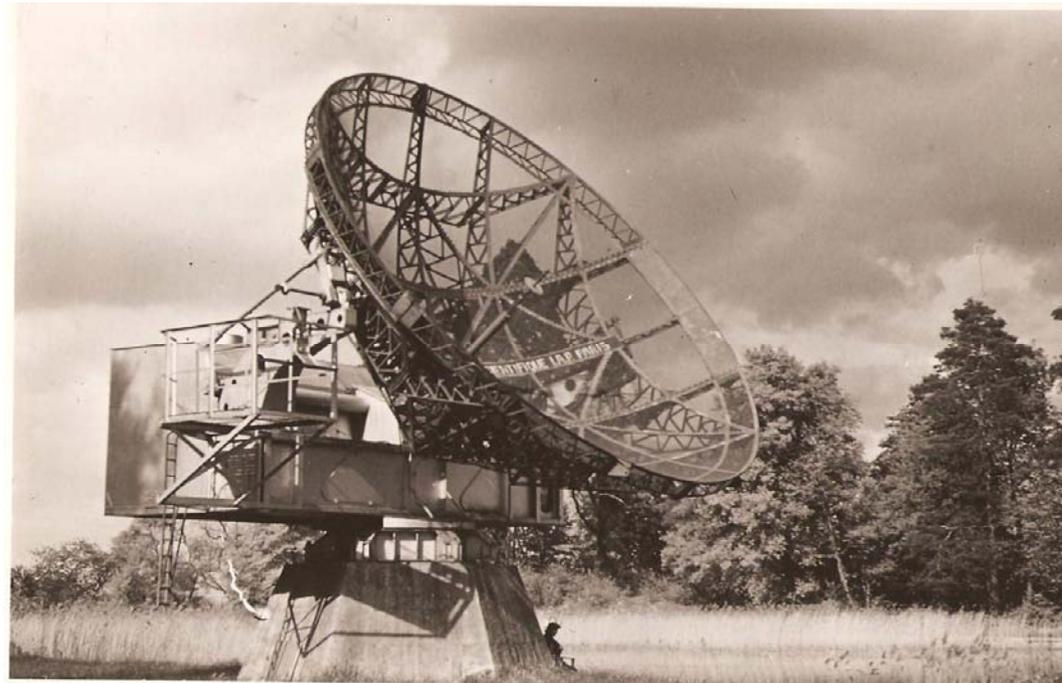
I - Les années de recherche à l'IAP (1948-1954)

Entre au CNRS à l'IAP dirigé par **H. Mineur** dans le laboratoire de **D. Chalonge** :
Classement et rayonnement continu des étoiles

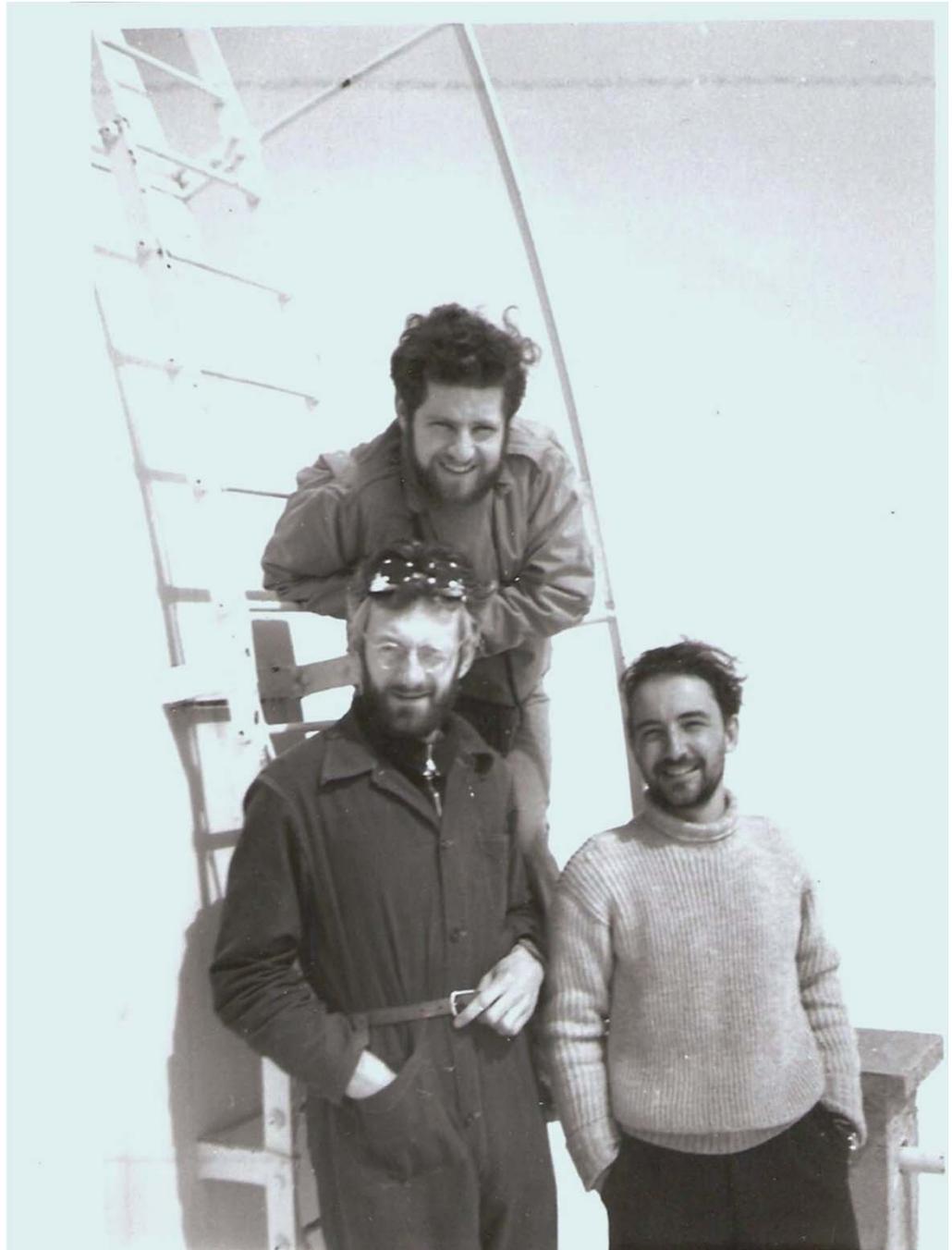
- Mesure des plaques photo de spectres stellaires au microphotomètre
- Observations au **Jungfrau** avec D. Chalonge et son équipe (mauvais temps et départ anticipé)
- Stagiaire de Recherches en 1948 et **premier article** (erreurs systématiques sur les mesures absolues de flux)



- Théorie des **atmosphères stellaires** avec **V. Kourganoff**
- Kourganoff souffrant.. R. Michard prend une autonomie nouvelle,
Publie un article seul :
1949 AnZAp **R. Michard**
Sur l'usage des coefficients d'absorption moyens dans la construction des modèles d'atmosphères stellaires
- Conflit avec V. Kourganoff. D. Chalonge l'adresse à **M. Laffineur**
1950 AnAp **M. Laffineur, R. Michard, R. Servajean, J.L. Steinberg**
Observations radioélectriques de l'éclipse de Soleil du 28 avril 1949
Premier article de **radioastronomie solaire** en collaboration avec l'ENS.
Observations avec le radar allemand (utilisé à l'observatoire de Meudon) et le spectrohéliographe de Meudon lors de l'éclipse partielle (Avril 1949)



- Séjour à **Utrecht** en 1949 :
conversion à la physique solaire
sous la direction de **M. Minnaert**
(atlas du spectre solaire)
- 1950
observation de spectres d'éruptions
au Petit Sidé de **Meudon**
avec un spectrographe de l'ENS
prêté par **A. Kastler**,
un filtre $H\alpha$ prêté par **B. Lyot**
et un miroir de renvoi taillé par
P. Couder
Pas d'éruptions, mais spectres
de taches (thèse)
- 1951
observations du bord solaire
avec le coronographe de Lyot
au **Pic du Midi** , en collaboration
avec **C. de Jager** et **J-C. Pecker**
Mauvais temps mais prémises
des nombreuses collaborations
R. Michard / Pic du Midi



1953 : **thèse** sous la direction de **D. Chalonge** (Président de jury **A. Danjon**) :
« *Contribution à l'étude physique de la photosphère et des taches solaires* »

- **Spectre continu solaire :**

Calcul de modèles (avec H^-), abondance He

Fonctions-sources \rightarrow flux continu fonction profondeur \rightarrow zone convective

- **Spectres de taches :**

Spectres obtenus au Petit Sidé :

Continuum : Variation centre-bord,

Relations aire / champ magnétique

- **Conditions physiques dans les taches :**

Fonctions-sources continues, absorption H^-

Largeurs équivalentes raies Ti, Ti^+ et Fe

$\rightarrow p_e$ et p

Eclipse 1952 de Khartoum (Soudan)

M. Laffineur embauche J-C. Pecker et R. Michard pour effectuer des observations **optiques et radios** de la couronne solaire

1954 AnAp Collab. R. Michard, A. Dollfus, J.C. Pecker, M. Laffineur,
M. D'Azambuja, B. Vauquois

Observations optiques et radioélectriques de l'éclipse totale de Soleil du 25 février 1952

*I - Observations photométriques et polarimétriques de la **Couronne externe**
+ Lumière **zodiacale** rouge et infra-rouge*

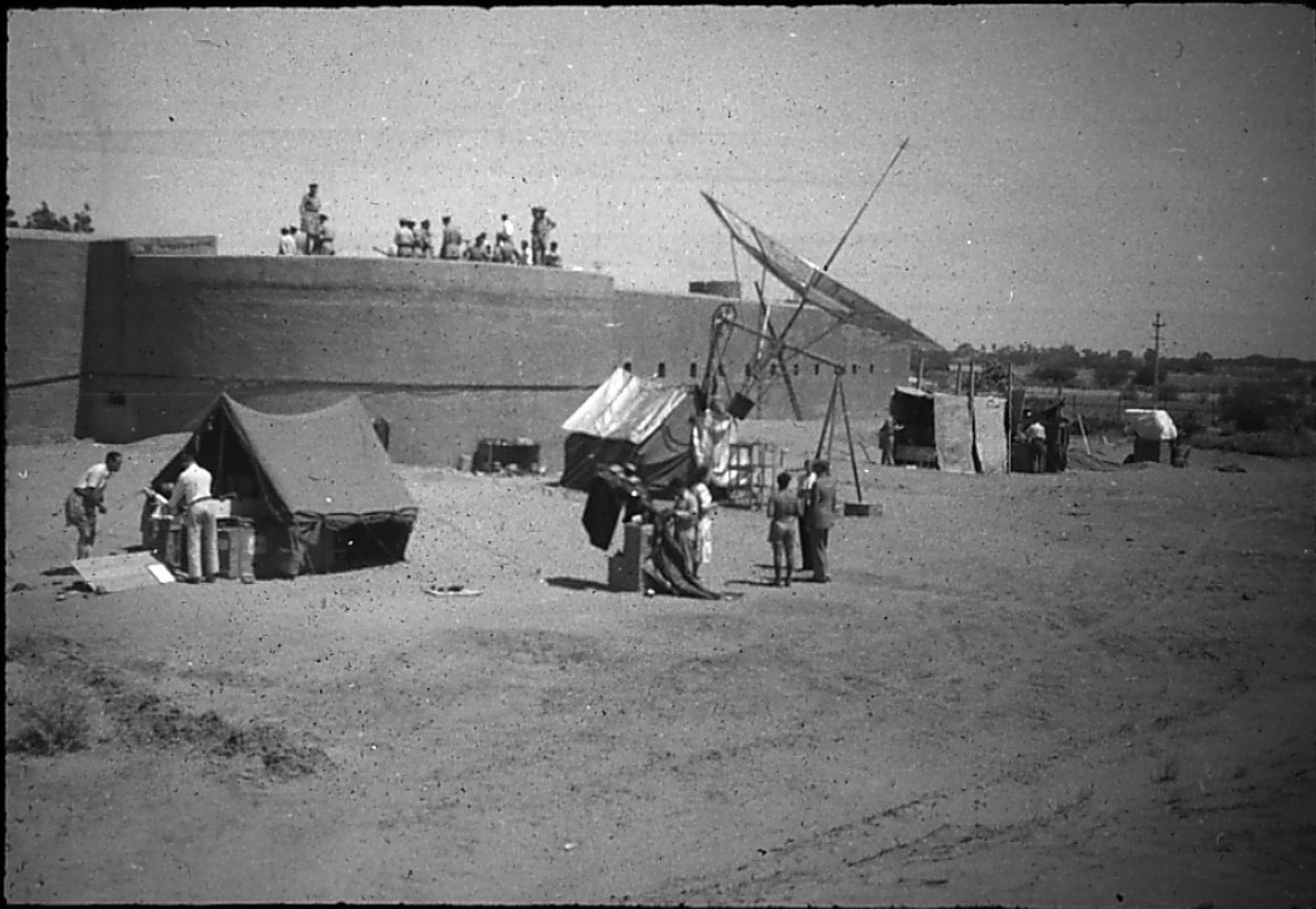
*II - Photographies monochromatiques de la Couronne
Raies 5303 **FeXIV** et 6374 **FeX** avec **filtre de Lyot***

*III – Observations radioélectriques de la Couronne
Images radios de la couronne (555 et 255 MHz)*

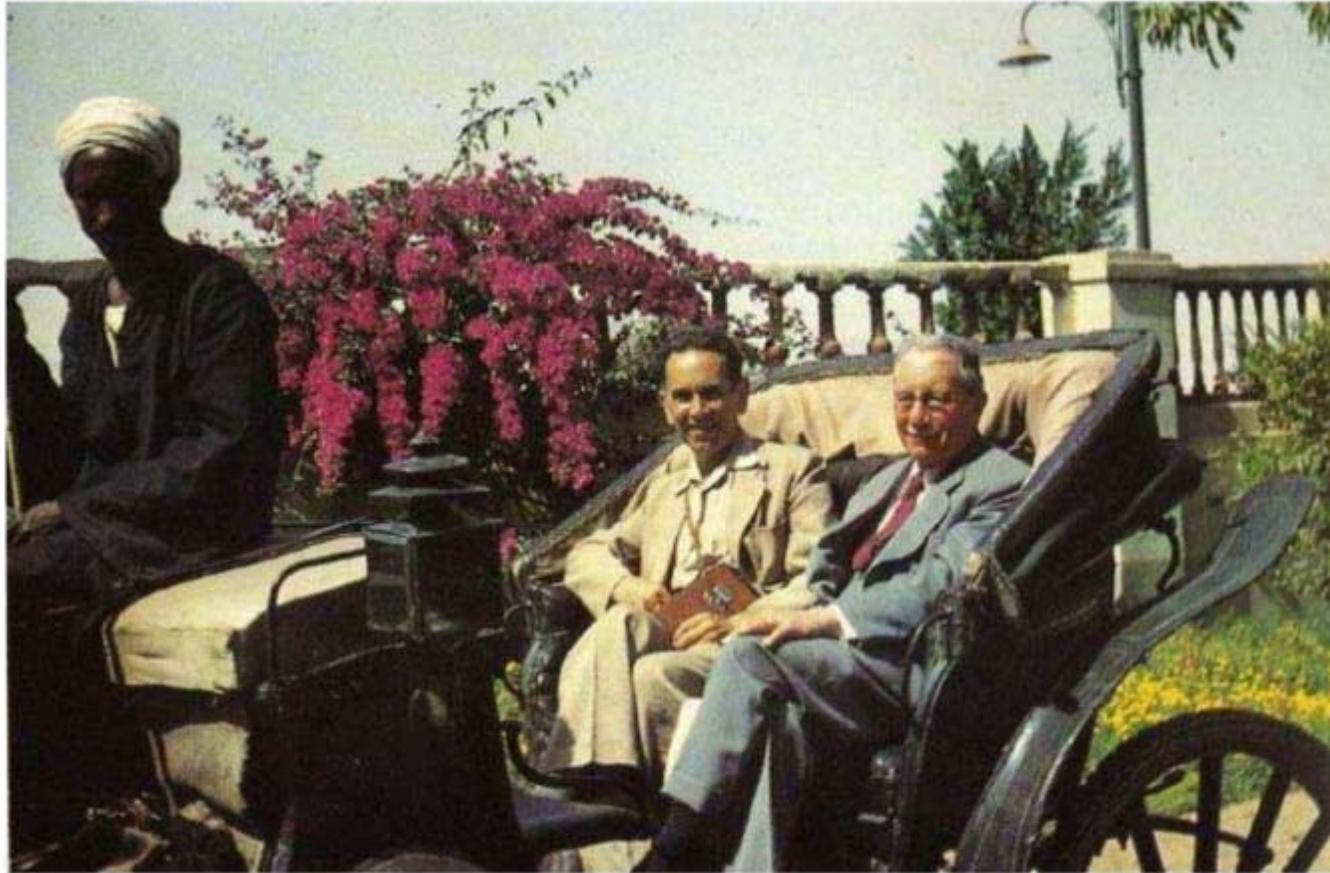
1954 AnAp R. Michard → **Densités électroniques** de la couronne



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.



Eclipse de Khartoum (Soudan) avril 1952. Miroir radio de Mr l'affineur



D'Azambuja et Bernard Lyot (à gauche) à Louksor en 1952.

Malgré ses nombreuses obligations, **B. Lyot** dirige la mission franco-égyptienne à l'éclipse de Karthoum au Soudan.

Les égyptiens ne lui permettant pas de rapporter les clichés d'éclipse, Bernard Lyot se rend au Caire pour les dépouiller. Il **décède** d'une crise cardiaque lors du voyage.

Bernard Lyot (1897 - 1952)

- Thèse (1929) sur la **polarisation** de la lumière
Surface et atmosphère des planètes
- **Filtre** polarisant (filtre le Lyot)
Images monochromatiques (disque et protubérances)
- Invention du **Coronographe** (1930)

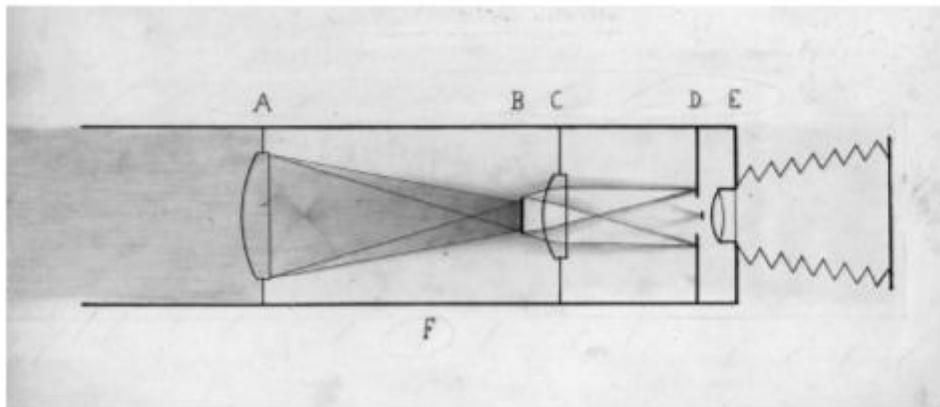


Schéma du coronographe.

En A, l'objectif constitué d'une lentille simple. B, disque occulteur qui est généralement un cône qui renvoie la lumière. C, lentille de champ. D, diaphragme. E, lentille.

Observations Coronographe + Filtre au Pic du Midi

Raie verte 5303 + raie rouge 6374

Film « les flammes du Soleil »

Mouvement des protubérances

Très lié à la SAF : nombreuses conférences et articles

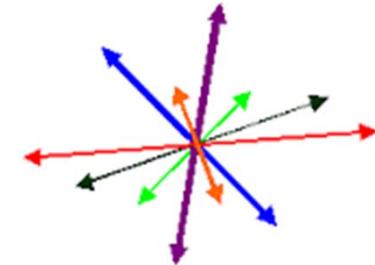
Président de la SAF

Polarisation de la lumière

Lumière : onde électromagnétique : champs E et B perpendiculaires à la direction de propagation

Lumière **non polarisée** :

E oscille dans toutes les directions de façon aléatoire



Onde naturelle non polarisée

Lumière **polarisée linéairement** (exemple réflexion) :
E oscille dans une direction privilégiée

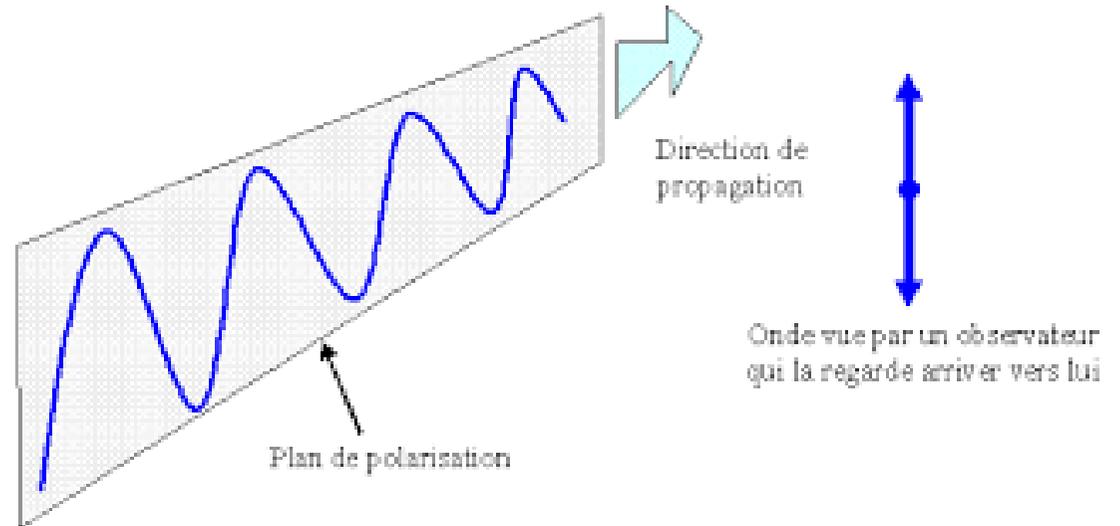
Étudiée par B. Lyot :

Planètes

Filtre de Lyot

Effet **Zeeman** :

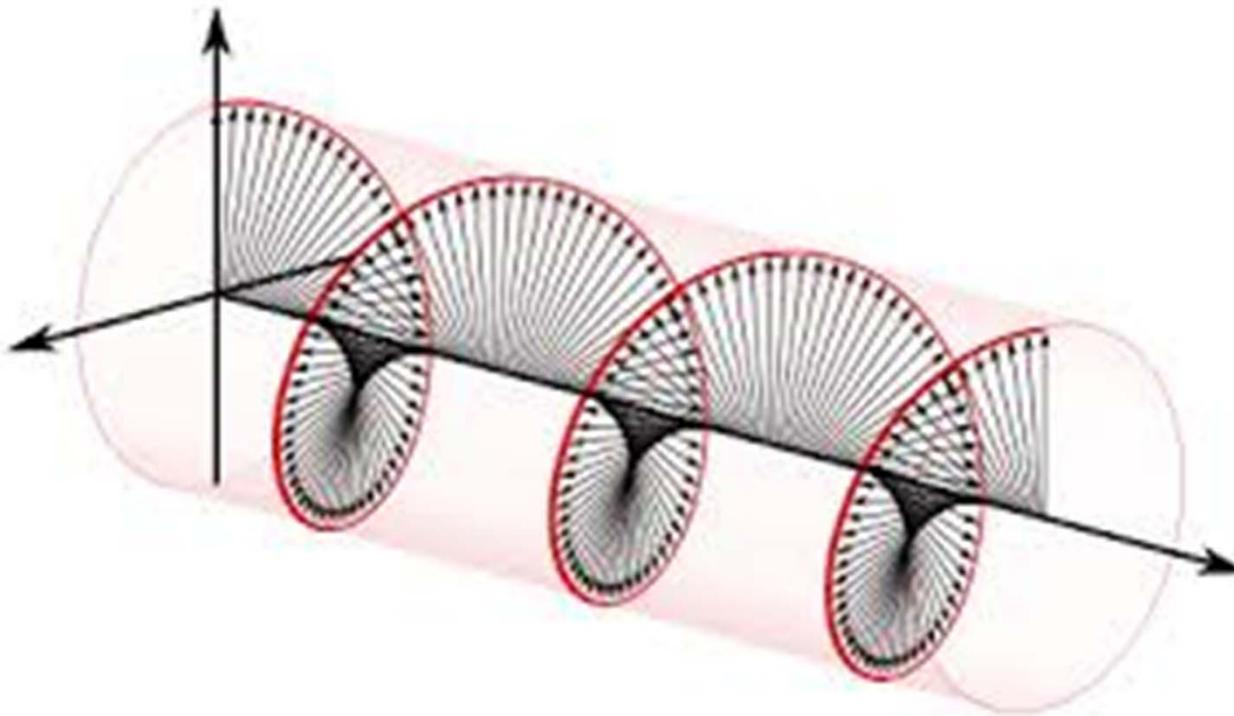
Champ magnétique
transverse



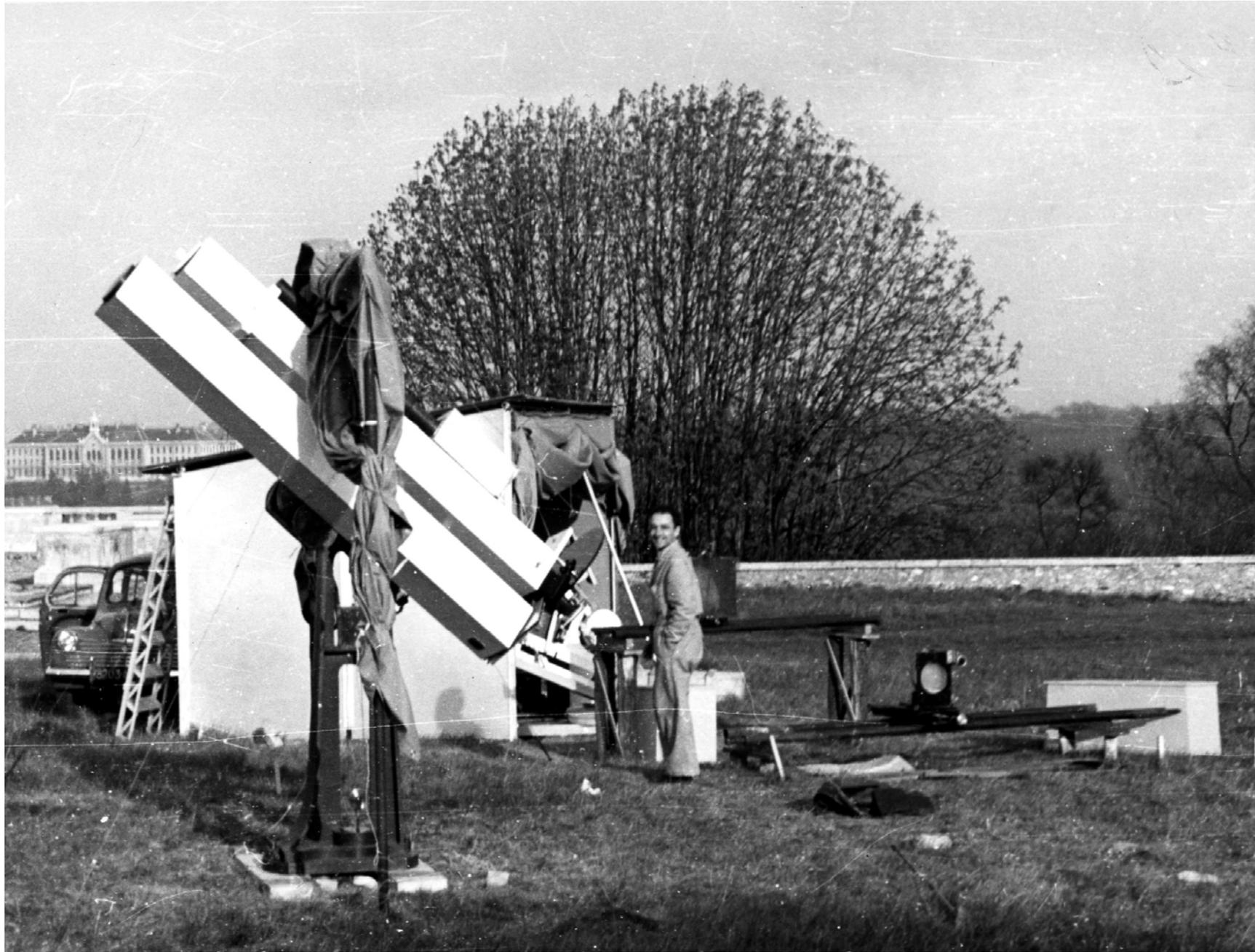
Lumière **polarisée circulairement** :

La direction d'oscillation varie au cours du temps

Exemple : effet **Zeeman**, champ magnétique **longitudinal**



Eclipse 1954 de Ohland (Suède)



Mr Michard préparant la monture à Meudon pour l'éclipse du 30 juin 1954 à Ohland (Suède)

II – Directions au Service Solaire de Meudon (1954 – 59 - 68)

1952 : Décès de B. Lyot

1954 : Retraite de Lucien D'Azambuja.

Le **Service Solaire** est dirigé par Marguerite D'Azambuja

A. Danjon confie à **R. Michard** le nouveau

Service des Couches Extérieures du Soleil

(ancienne équipe de B. Lyot)

1959 Retraite de M. D'Azambuja,

R. Michard prend la direction du **Service Solaire** :

R. Servajean, G. Laborde

G. Olivieri, M. Brebion , H. Grenat

J. Rayrole (55->), M-J. Martres (55->)

Autres équipes : R. Herman, G. Wlérick, A. Dollfus, C. Bertaud....

Bureaux dans les Communs de l'Observatoire de Meudon

R. Michard dispose

- d'une **petite équipe**

- d'instruments **de premier plan**

(peu d'analogues à l'étranger, collaborations limitées)

dans un site de **qualité moyenne**

Il a acquis une bonne expérience des **modélisations** théoriques sur les atmosphères

Tout en poursuivant les recherches menées par L. et M. d'Azambuja

R. Michard va

- **recruter** des chercheurs

- autour d'instruments **nouveaux**

(champs magnétiques, structures fines chromosphériques)

- qu'il transporte au **Pic du Midi**

(tout en poursuivant des campagnes de sites....)

- pour des **thèmes** de recherche nouveaux

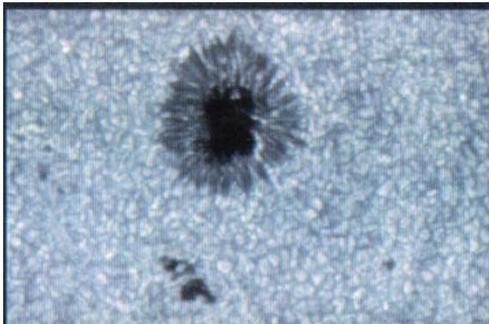
L'évolution des publications du laboratoire reflète

- L'arrivée de **nouveaux chercheurs**
- Le degré de **participation de R. Michard** aux travaux qu'il a lui-même initiés (avant les charges administratives de 1968, il est co-auteur de près de la **moitié** des publications)
- Les **collaborations** entre équipes

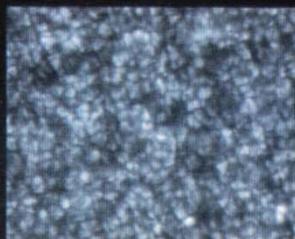
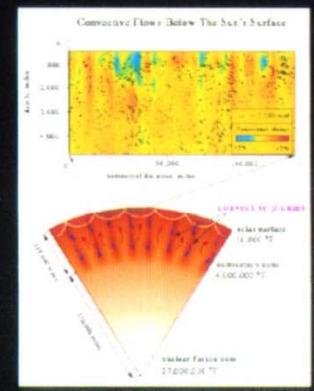
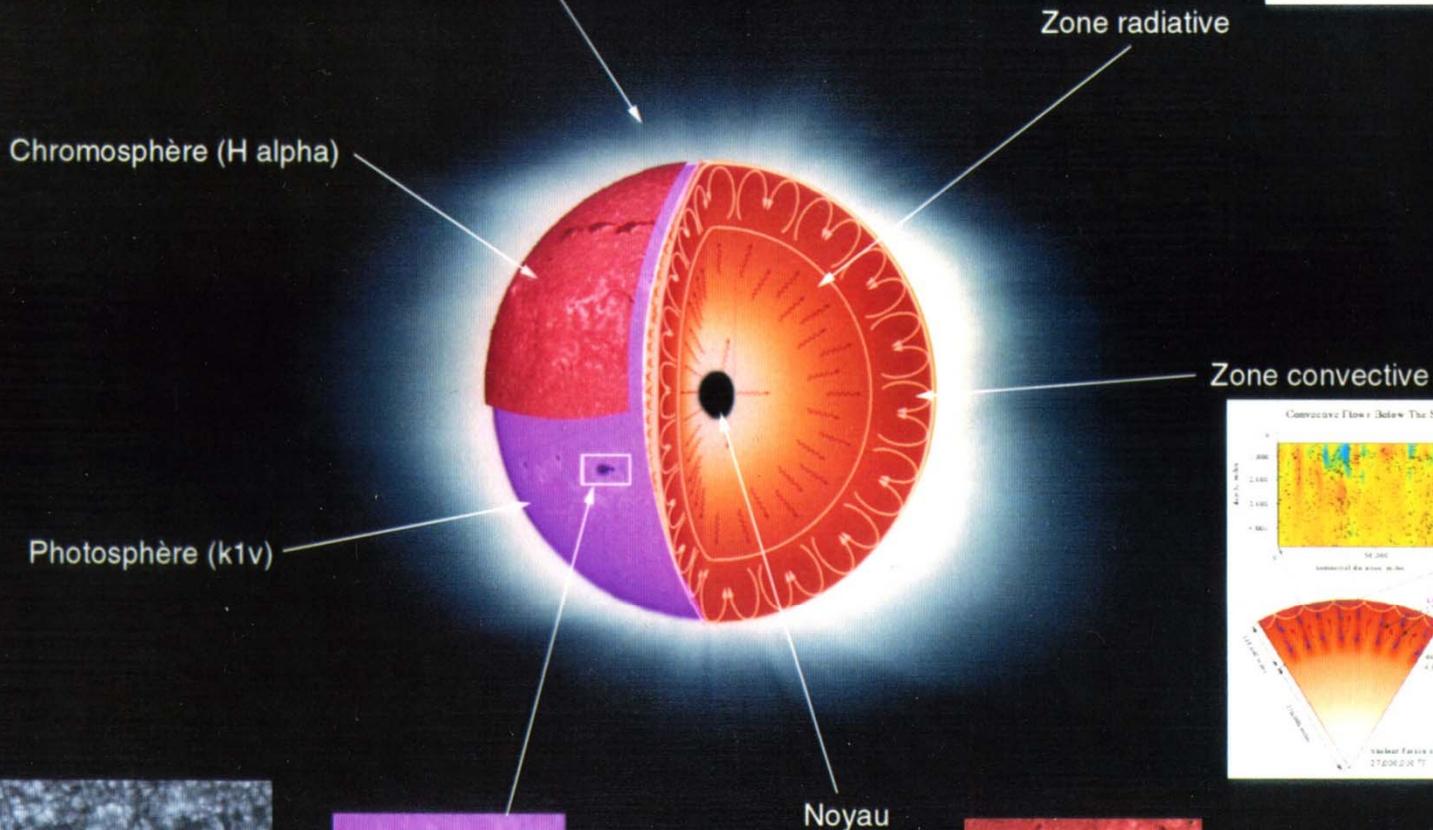
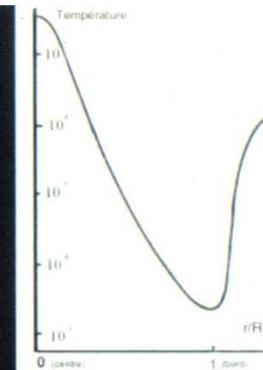
- les **étapes** inévitables de la recherche :
 - Développements **instrumentaux**
 - Etudes **qualitatives** des phénomènes
 - Etudes **quantitatives**
(souvent liées aux perfectionnements instrumentaux)
 - **Modélisations** des paramètres physiques des structures observées
 - Eventuellement modélisations complexes pour **structures non résolues**

Publications citées le plus souvent **AnAp, A&A, SoPh, ApJ**

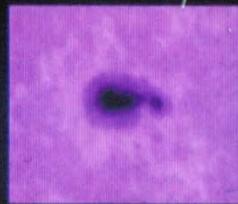
COUPE DU SOLEIL



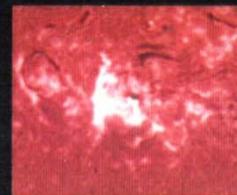
Couronne



Granulation



Tache



Eruption



Protubérance

1954 - 1968

Instruments et programmes

1) Spectrohéliographes et héliographes

Spectrohéliographe (activité solaire)

Héliographes $H\alpha$ (surveillance des éruptions)

2) Nouveaux instruments

Tour d'Arcetri (spicules)

Spectrographe de 4m (à éruptions)

Spectrographe de 9m au Pic du Midi (éruptions, taches et spicules)

Magnétographe de 7m (grand sidérostaf Meudon) et **lambdamètre**

3) Collaborations héliographes + radio + espace (éruptions)

4) Missions d'éclipses (couronne solaire)

5) Structures fines et oscillations (données **Sac Peak**, Pic du Midi)

1954 - 1968

Instruments et programmes

1) Spectrohéliographes et héliographes

Spectrohéliographe (activité solaire)

Héliographes $H\alpha$ (surveillance des éruptions)

2) Nouveaux instruments

Tour d'Arcetri (spicules)

Spectrographe de 4m (à éruptions)

Spectrographe de 9m au Pic du Midi (éruptions, taches et spicules)

Magnétographe de 7m (grand sidérostas Meudon) et λ damètre

3) Collaborations héliographes + radio + espace (éruptions)

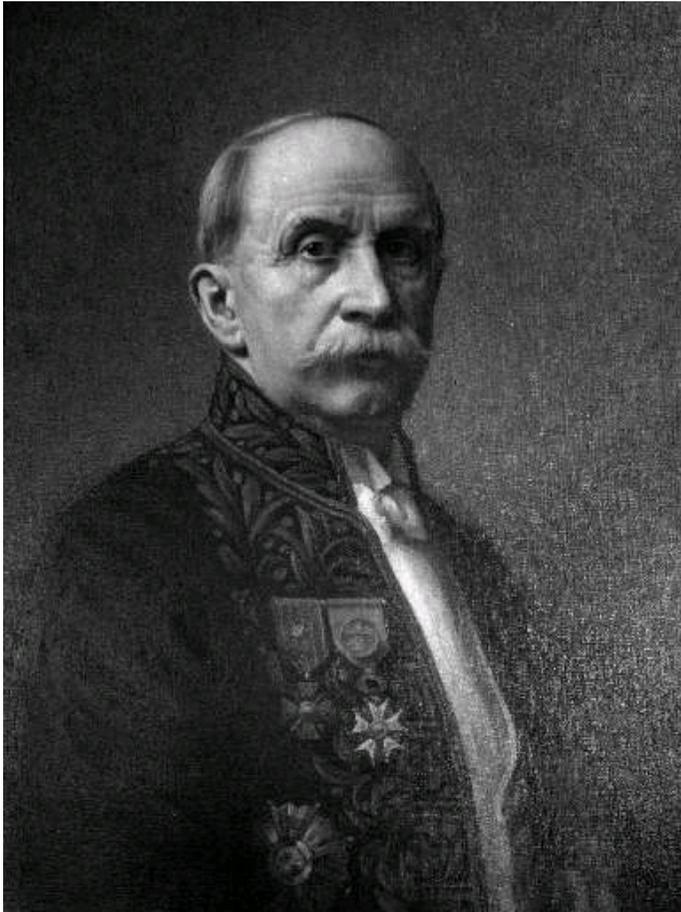
4) Missions d'éclipses (couronne solaire)

5) Structures fines et oscillations (données Sac Peak, Pic du Midi)

1a) L'héritage de H. Deslandres et L. D'Azambuja

Les spectrohéliographes

Construit en 1908 par **H. Deslandres** assisté de **L. D'Azambuja**



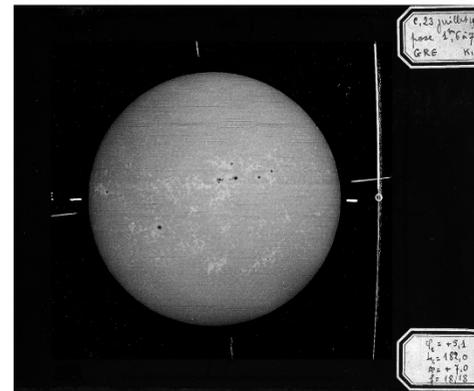
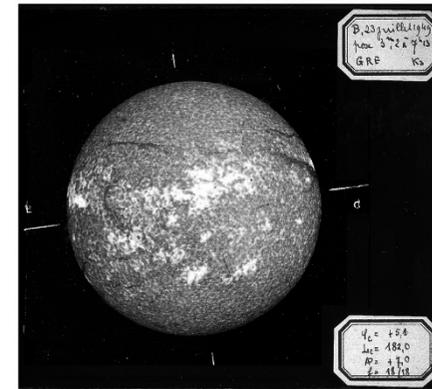
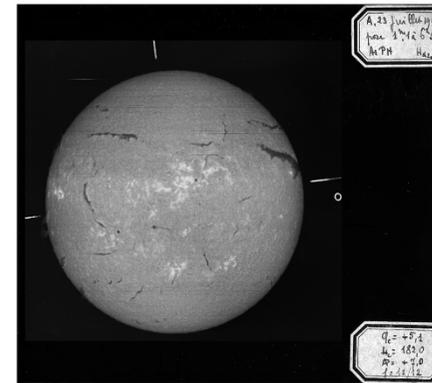
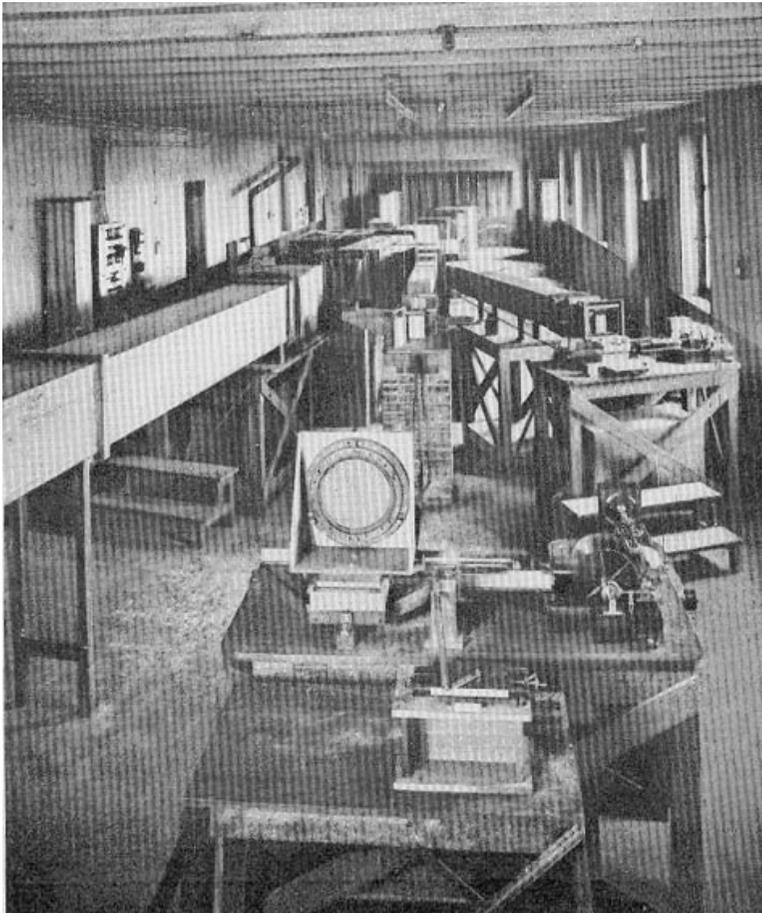
H. Deslandres



Lucien D'Azambuja

L. D'Azambuja

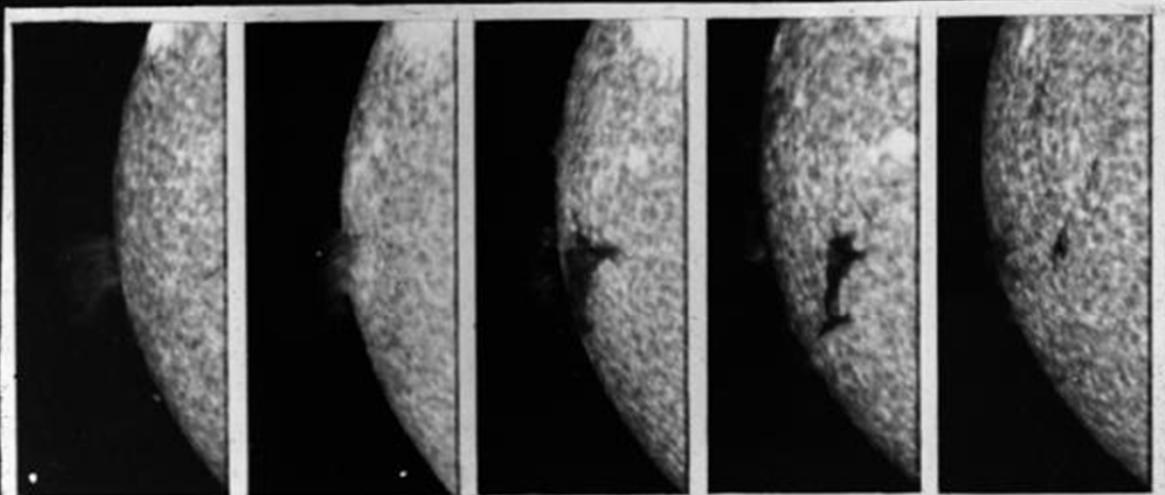
Nouveau spectrohéliographe 1919 (réseau + 3 prismes) $H\alpha$, K1, K3



23 juillet 1949

$H\alpha$
K3
K1

Passage remarquable d'une protubérance
au 'bord est du Soleil.
Enregistré au spectrohéliographe de Mondon, avec la raie K.



Le 22 à 9^h 0^m Le 23 à 9^h 31^m Le 24 à 9^h 29^m Le 25 à 9^h 48^m Le 26 à 8^h 15^m

Mai 1920

27

La surveillance de l'activité solaire

Les cartes synoptiques : régions actives (taches et facules) + filaments

1928 Annales Obs Paris

1929 *l'Astronomie*

M. D'Azambuja

puis M.J. Martres

Carte Synoptique

(nov. 1957)

- taches,
- plages faculaires
- filaments

au fur et à mesure
de leurs passages
au méridien solaire

L'ACTIVITÉ SOLAIRE

CARTE-PANISPHERE de la *chromosphère* et des *taches*,
d'après les observations effectuées au spectrohéliographe de l'Observatoire de Meudon (1)

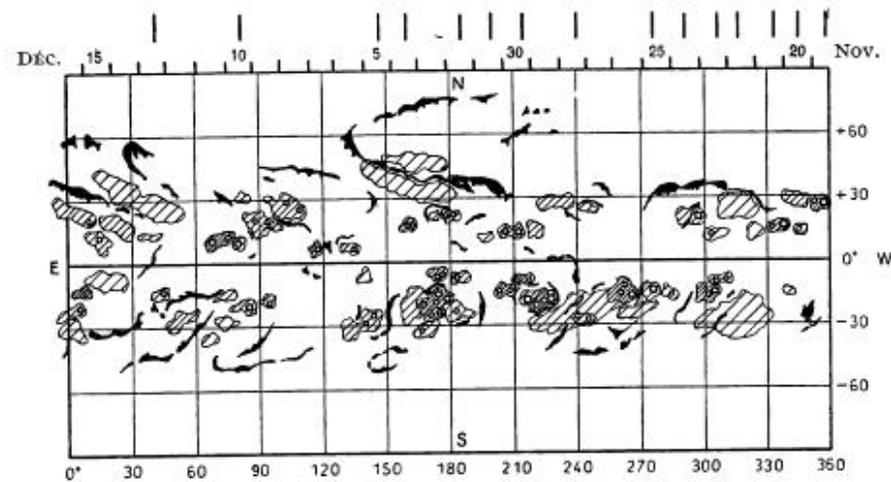


Fig. 38. — Rotation n° 1394, du 19 novembre 1957 à 7,4 heures (T. U.),
au 16 décembre, à 15,0 heures.

Les taches sont figurées par de petits cercles dont le diamètre est proportionnel à leur importance moyenne. Les plages faculaires, dont les contours moyens sont indiqués en traits fins, sont couvertes de hachures d'autant plus serrées que la densité et l'éclat des plages sont plus grands. Les filaments sont représentés par des traits noirs épais qui en marquent grossièrement la position et l'aspect moyens.

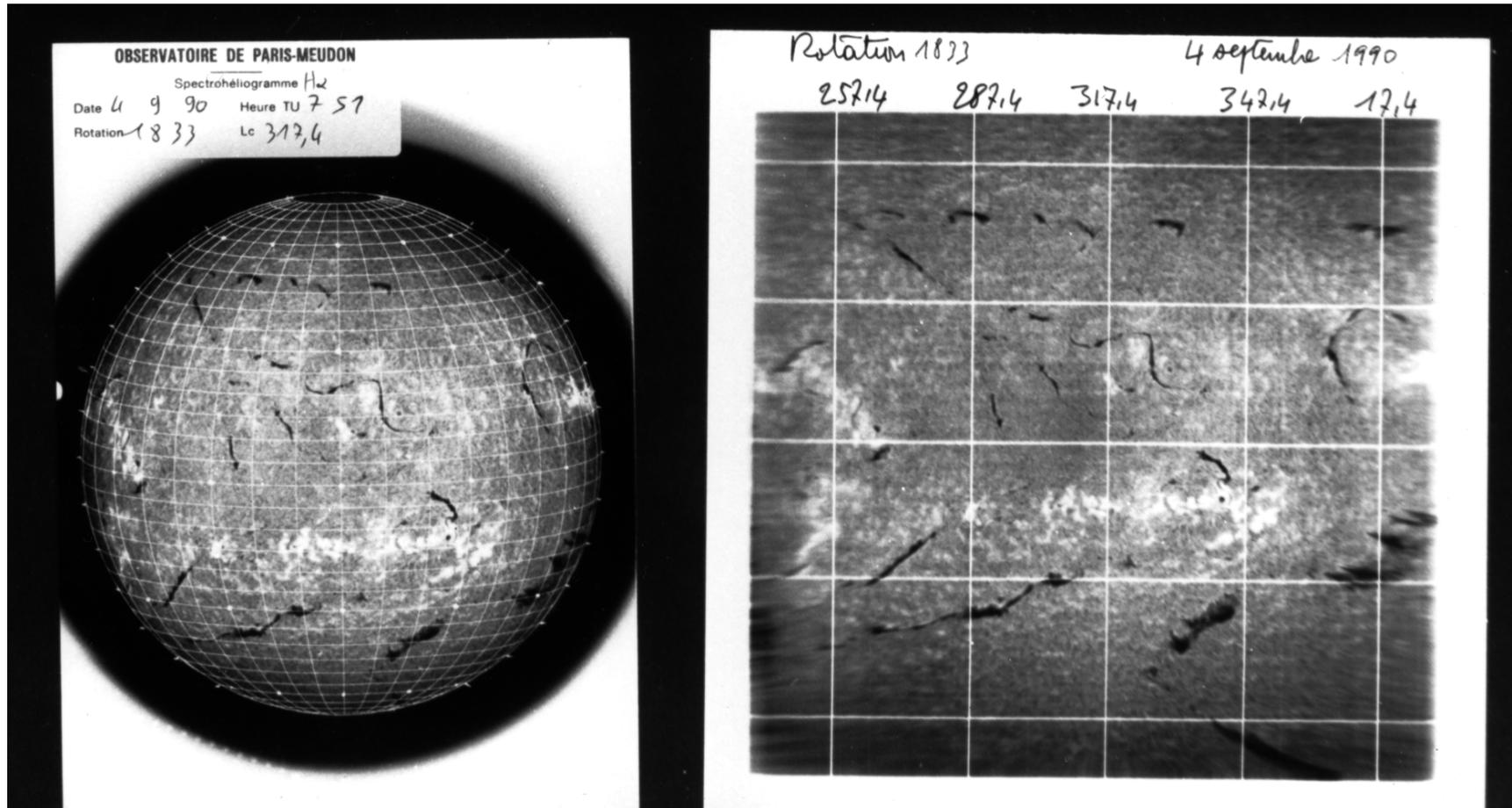
PROTUBÉRANCES LES PLUS REMARQUABLES

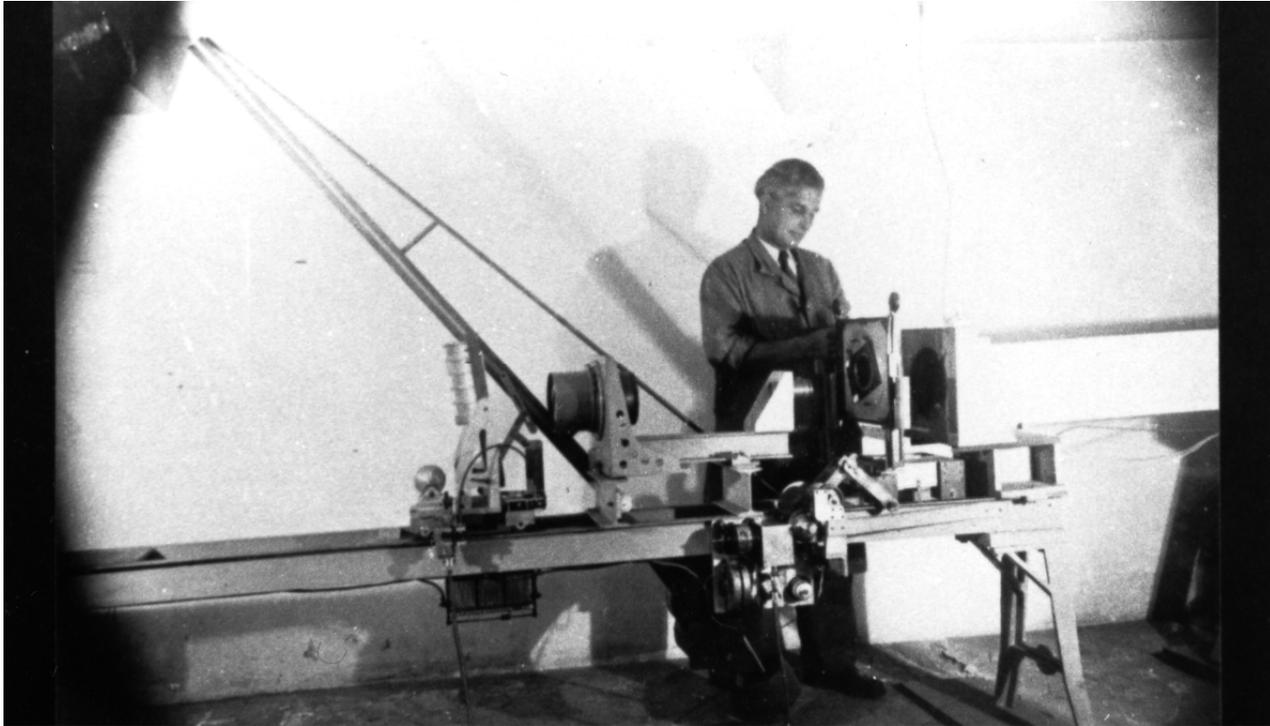
Dates et heures d'observation (T. U.)	Latitudes des extrémités		Hauteurs (kilomètres)
	Hémisphère Est	Hémisphère Ouest	
{ 10 déc. 1957, 10 ^h 26 ^m (2)	—	70° N. et 77° N.	45 000
{ 13 — 9 55	—	57° N. et 80° N.	37 000
{ 21 — 10 04	—	49° N. et 63° N.	61 000
{ 22 — 10 16	—	52° N. et 62° N.	55 000

1949-1990: L'**anamorphoseur**

(R. Servajean, H. Grenat, M. Brebion)

Images des spectrohéliogrammes **converties** en **cartes planisphères**





ci-contre

L'anamorphoseur au moment de sa mise en service.

M. BREBION , mécanicien à l'observatoire procède aux derniers essais de l'instrument qui devait lui valoir le titre de " Un des meilleurs ouvriers de France ".

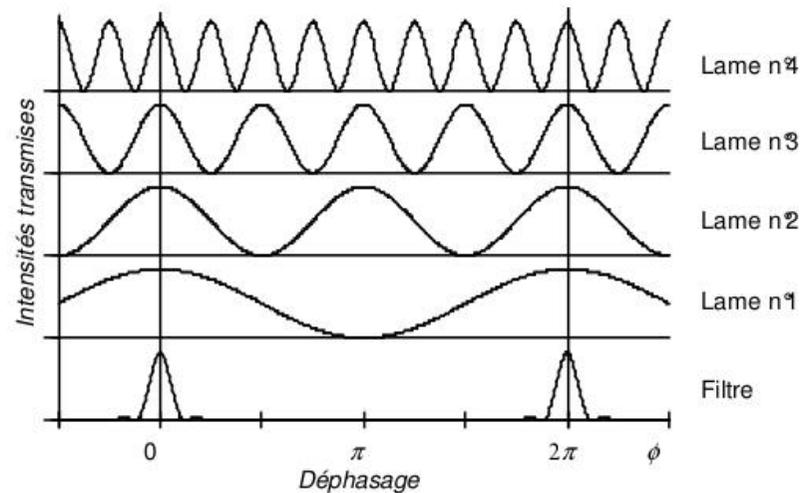
1b) L'héritage de B. Lyot
Les héliographes $H\alpha$



Filtre de Lyot

Lames biréfringentes (**spath**) entre **polariseurs** linéaires
transmettant des spectres **cannelés**

Lames de **tailles décroissantes** → cannelures de largeurs croissantes
Cannelures très **fines en sortie**



Principe du filtre de LYOT



Blocs de spath d'un filtre de LYOT

Les héliographes $H\alpha$ et la surveillance des éruptions

Lunette + filtre de Lyot + monture équatoriale

Meudon : 1) **H. Grenat** et **G. Laborde** collaborateurs de Lyot, mise en service 1954
1954 AnAp *Héliographe monochromatique de Lyot*
2) **G. Olivieri** : + Héliographe « lambda variable » 0, +/-0.7 ✎ (1960)

OHP : 3) héliographe SECASI (1958)



La surveillance des éruptions

Listes d'**éruptions** chromosphériques

M-J. Martres, G. Olivieri, M. Bernot

Contributions au **Quarterly Bulletin on Solar Activity**

(Centaines d'éruptions, milliers d'images)

LAstr **M.J. Martres, M. D'Azambuja, G. Olivieri, J. Rayrole**

1956 *Manifestations remarquables de l'activité solaire*

1957 *L'éruption chromosphérique du 3 juillet 1957*

1959 *L'éruption chromosphérique du Soleil avec
déplacement de matière absorbante
du 6 février 1959*

1954 - 1968

Instruments et programmes

1) Spectrohéliographes et héliographes

Spectrohéliographe (activité solaire)

Héliographes $H\alpha$ (surveillance des éruptions)

2) Nouveaux instruments

Tour d'Arcetri (spicules)

Spectrographe de 4m (à éruptions)

Spectrographe de 9m au Pic du Midi (éruptions, taches et spicules)

Magnétographe de 7m (grand sidérostат Meudon) et λ damètre

3) Collaborations héliographes + radio + espace (éruptions)

4) Missions d'éclipses (couronne solaire)

5) Structures fines et oscillations (données Sac Peak, Pic du Midi)

2a) Observations à la Tour d'Arcetri

Spicules

1956 – 59 AnAp **R. Michard**

*Spectrophotométrie des raies d'émission intenses
de la chromosphère*

- la raie $H\alpha$

- la raie D_3 HeI 5876

Spicules $H\alpha$:

intensité, largeur de raie, vitesses Doppler

2b) Spectrographe de 4m (à éruptions) au Pic du Midi

Collaboration **Michard, R., Servajean, Laborde, G.**

1958 ApJ *The « Flare Spectrograph » in the French IGY Program*
(Année Géophysique Internationale 1957)

Spectre complet des éruptions entre 3500 et 8800

Grating Order	Usable Range of Wave Length (Å)	Dispersion (mm/Å)	Film	Exposure Time (sec)
2	8800–6800	0.33	High Speed IR film (Kodak)	0.5
3	6650–4800	.50	Kodak III-F	.6
4	4900–3550	0.66	Kodak II-O	0.3

1959 AnAp Spectroscopie des **éruptions** solaires dans le programme français :

I. Instruments et observations

II. Généralités sur les **spectres** des éruptions

(Pic du Midi spectrographe 4m, coelostat 40 cm)

Les variations d'intensité des raies métalliques **précèdent** celles des raies de Balmer

Phénomène **ascendant**

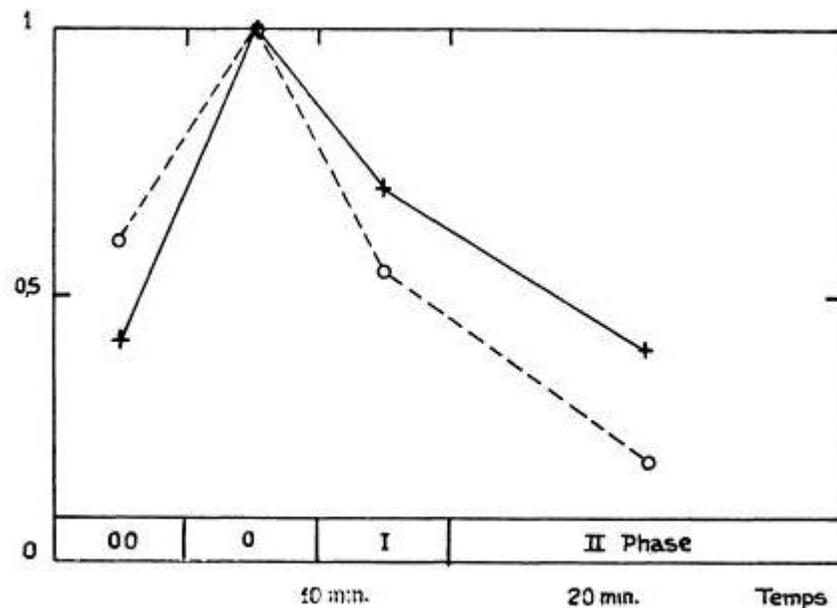
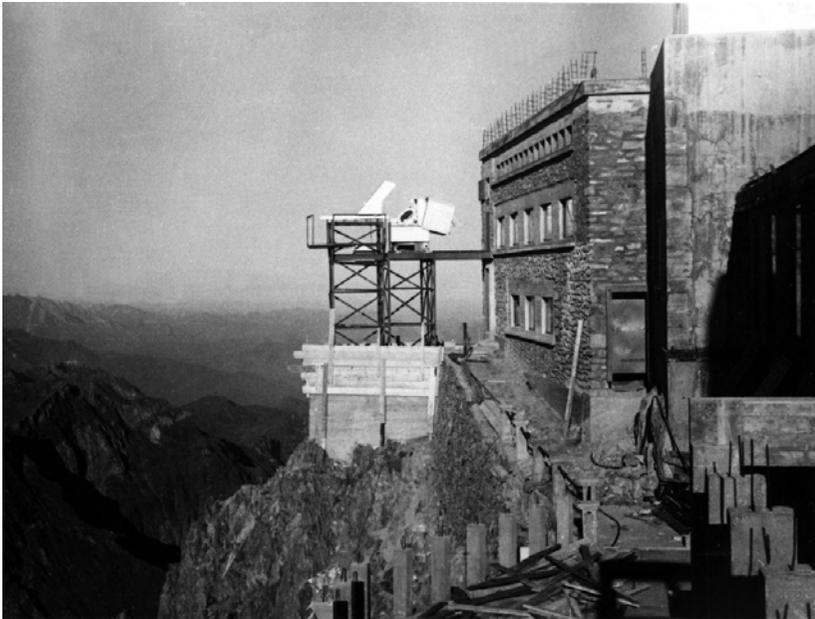


FIG. 2. — Évolution avec la *phase* de l'éruption, de l'intensité du spectre de BALMER (en trait plein) et de l'intensité des raies métalliques de la basse chromosphère (en trait discontinu).

2c) Spectrographe de 9m

Testé à Meudon

1957 AnAp Laborde, G., Michard, R., Servajean, R
Premières observations avec le spectrographe de 9 m
(Meudon 1956, bâtiment Petit Sidérostat)
puis **transporté au Pic du Midi** (1959)



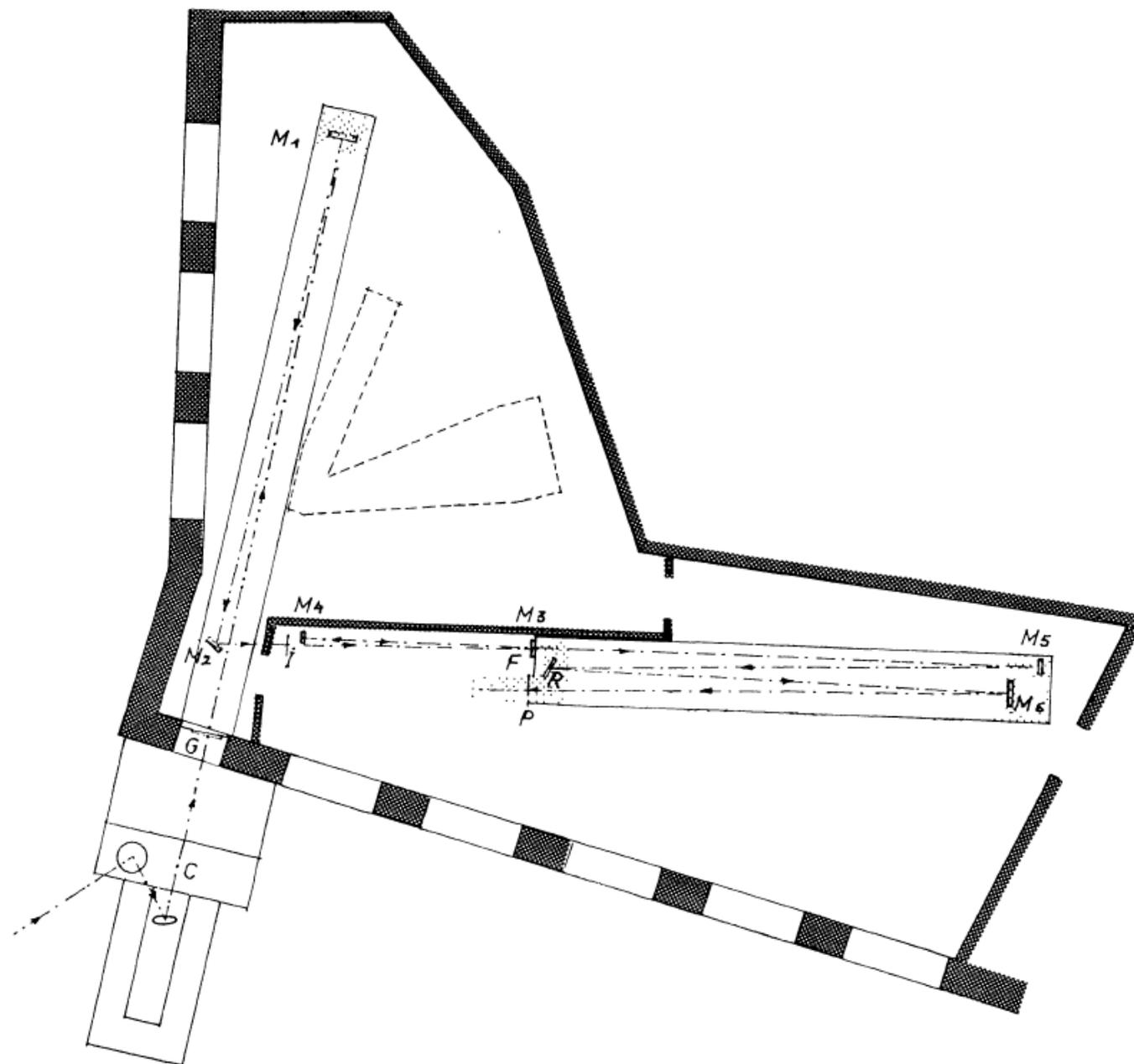


FIG. 1. — Disposition générale du coelostat et du spectrographe de 9 m au Pic du Midi.

- | | | | |
|-----|------------------------|-----|--|
| C, | Coelostat. | 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. |

1961 AnAp **Servajean, R.** (thèse)
Contribution à l'étude de la cinématique de la matière
*Dans les **taches** et la **granulation** solaire.*
(spectrographe de 9m, Pic du Midi 1959)

1) **Taches** : répartition en profondeur des **vitesse Evershed**
vers la périphérie des taches
(Utilisation de plusieurs raies simultanément)

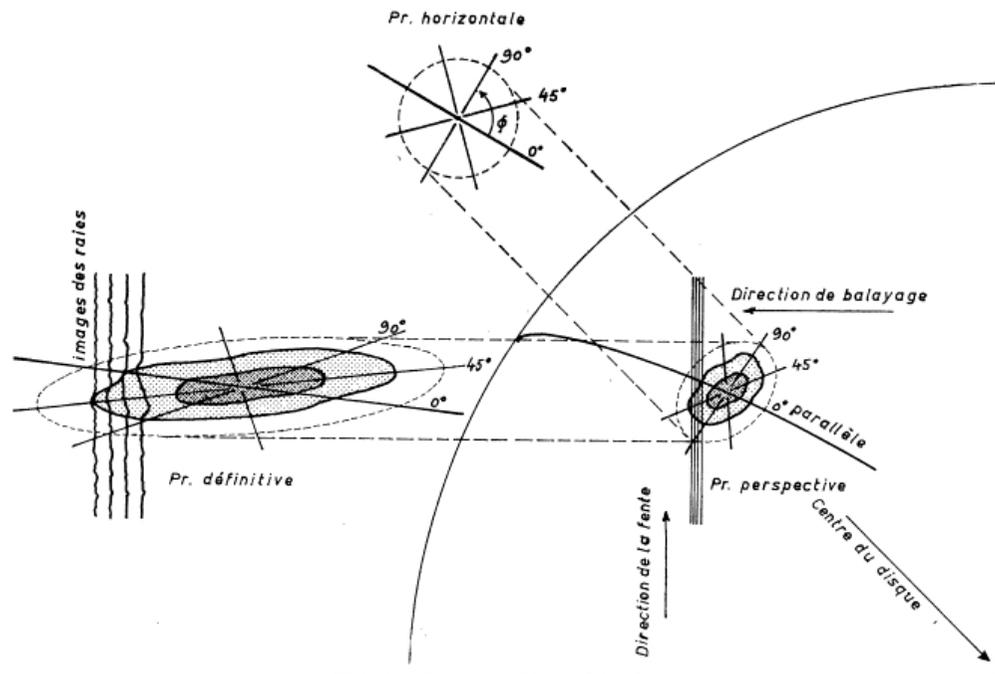


FIG. 10. — Méthode graphique de restitution.

- 2) Relations **intensité - vitesses** dans la **granulation** solaire
Intensités ailes de raies bleu / rouge → vitesses Doppler
Brillances = vitesses montantes

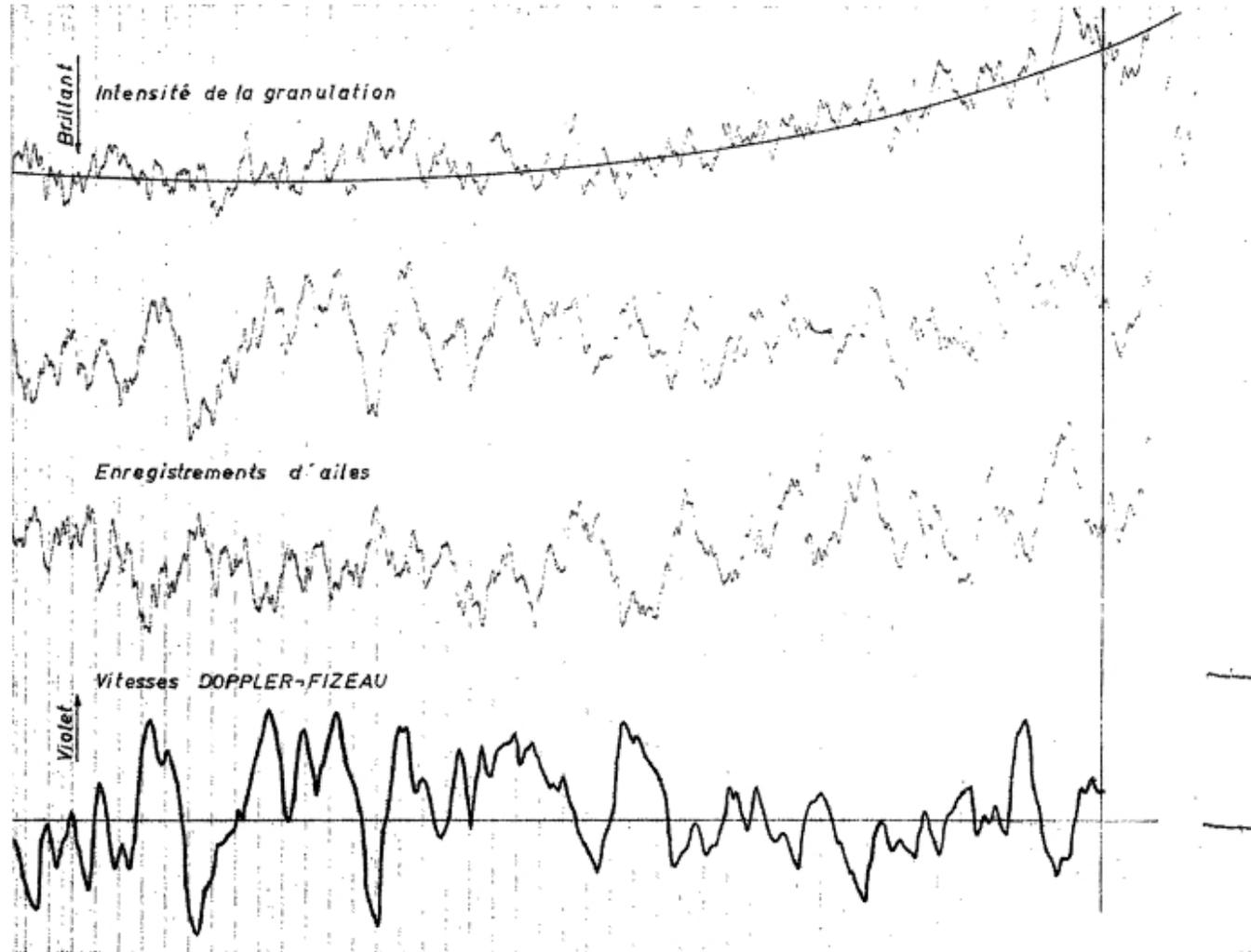


FIG. 16.

Taches solaires (spectro de 9m)

1961 AnAp **Laborde, G.**,

*Etude de la photosphère et des taches solaires
à l'aide des **bandes moléculaires***

Spicules (spectro de 9m)

1959 AnAp **R. Michard**

*Raie $H\alpha$ dans la **chromosphère***

Profils de raies dans **spicules** et chromosphère

→ **fonction-source $H\alpha$** (spicules / interspicules),

épaisseur optique des spicules au-dessus de 1000 km

1965 AnAp R.G. Giovanelli, **R. Michard, Z. Mouradian**

*Some remarks on spectroscopic observations of **chromospheric limb structures***

Spicules. Distinction entre haute et basse chromosphère ($h < 5000$ km)

Nécessité d'**améliorer la résolution** des observations actuelles

1965 AnAp **Z. Mouradian** (Thèse)

Contribution à l'étude du **bord solaire** et de la structure **chromosphérique**

1) **Assombrissement** à l'extrême bord solaire

Etalement des images dû au Profil instrumental + Atmosphère terrestre

Eclipse partielle du 15 fev 1961 **Pic du Midi**

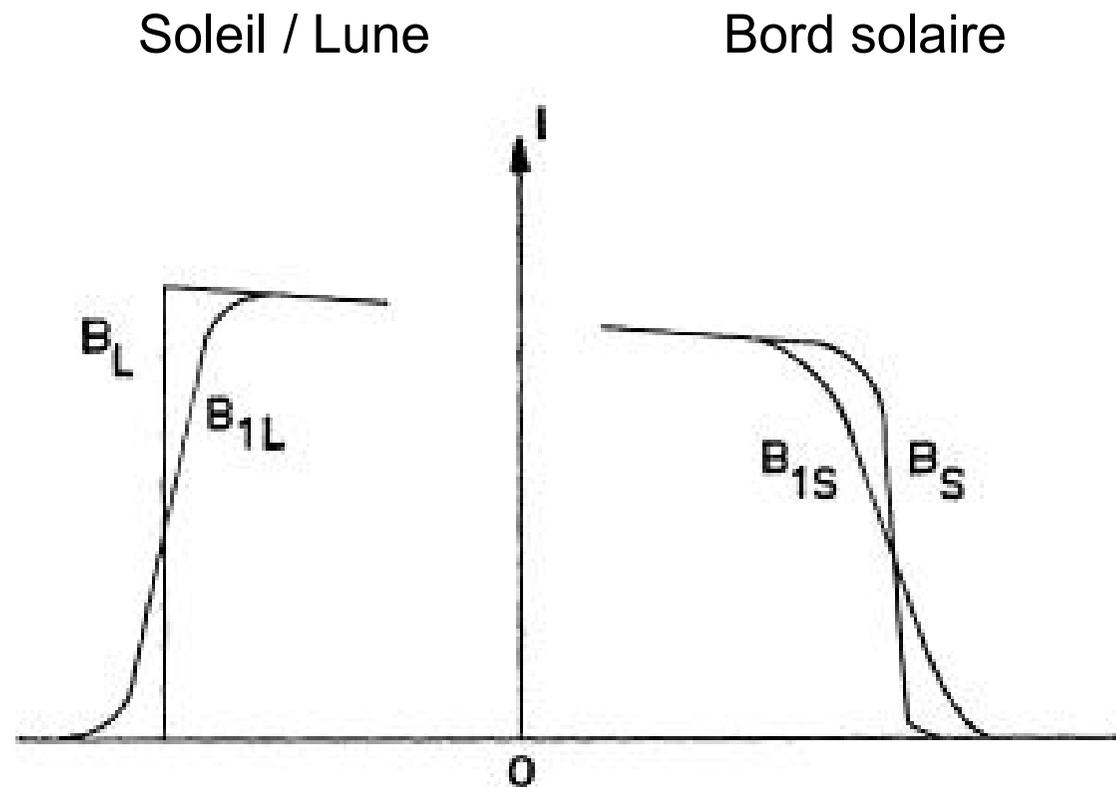


FIG. 1. — Déformation subie par le bord du soleil (B_S) et par la transition Soleil-Lune (B_L), pendant une éclipse partielle de Soleil, due à l'étalement et à l'agitation atmosphérique.

2) Spectre de raies de la **chromosphère moyenne** Profils **corrigés** en fonction de la **hauteur au-dessus** **de la photosphère**

Exemple He 10830

C.N.R.S. • Provided by the NASA Astrophysics Data System

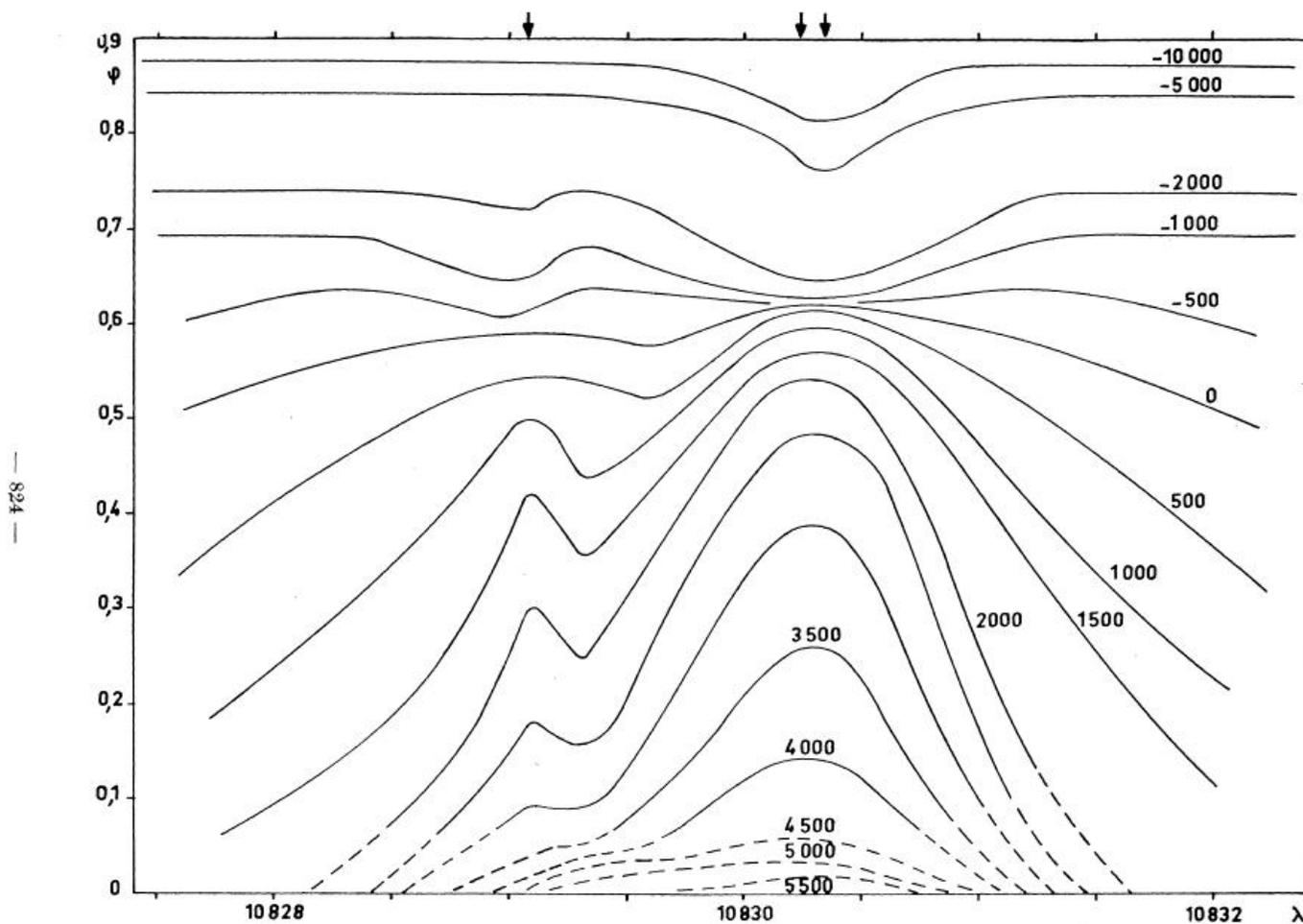


FIG. 2. — Les profils corrigés de He 10830 à différentes hauteurs au-dessus de la photosphère.
 Les trois flèches indiquent les positions des trois composantes de la raie.

3) **Spicules** chromosphériques $H\alpha$, $H\gamma$

Modèles Athay (MA épais) et Michard (MM mince)

Les spicules **montent** dans la couronne et **disparaissent** sans retombée apparente

Evolution des vitesses radiales

Dénombrement des spicules au bord du disque

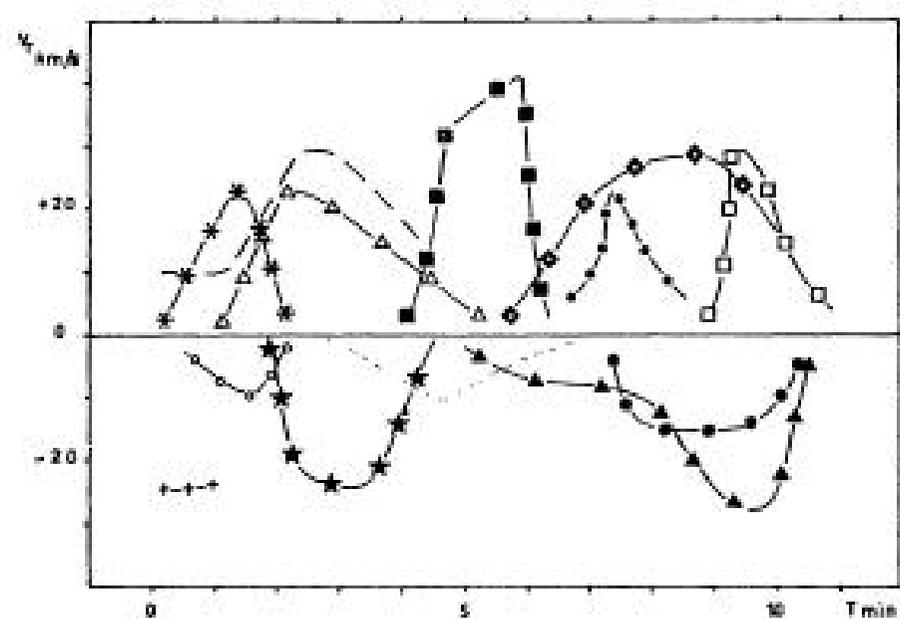
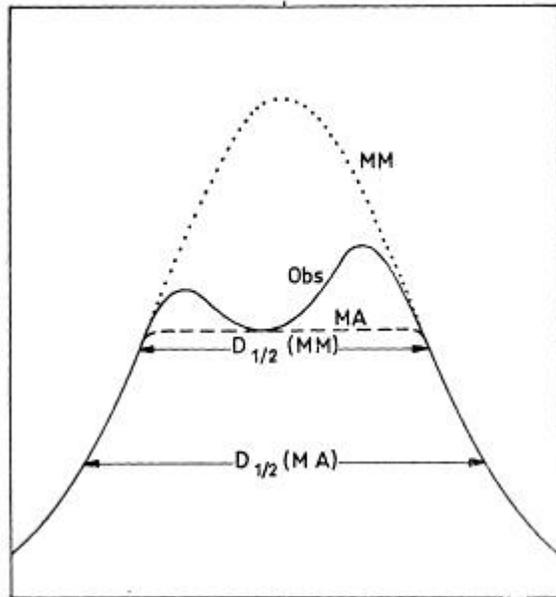


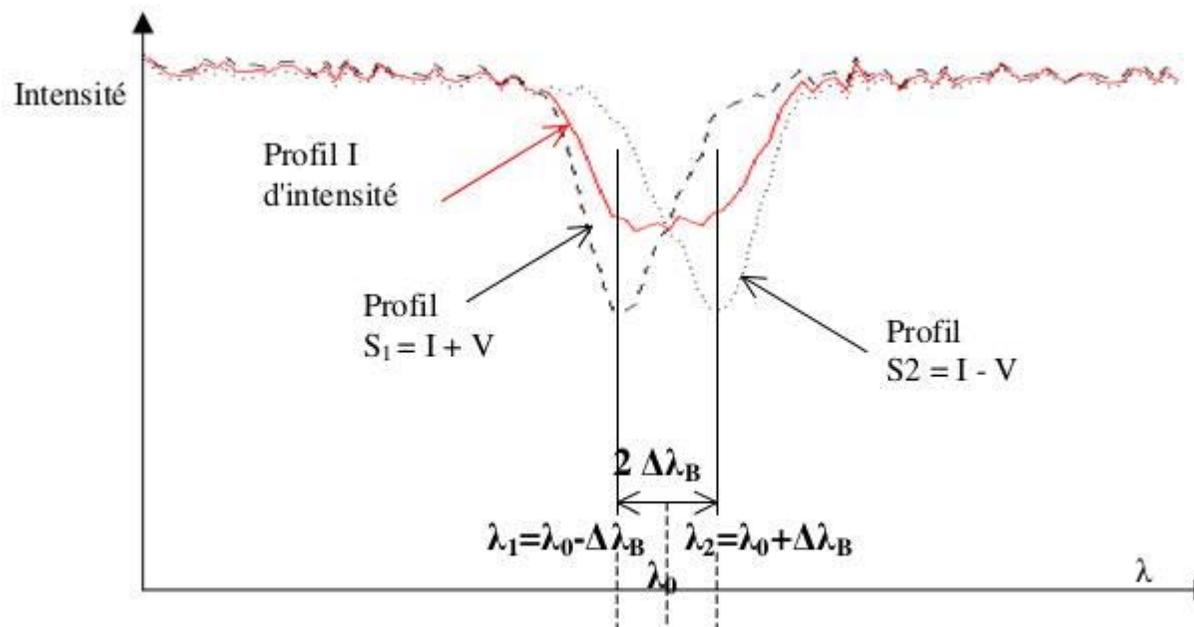
FIG. 14. — Variation de la vitesse radiale (v_r) des spicules au cours de leur durée de vie.

Mesure des champs magnétiques longitudinaux (spectro 9m)

Effet **Zeeman** : effet du champ magnétique sur les raies spectrales.

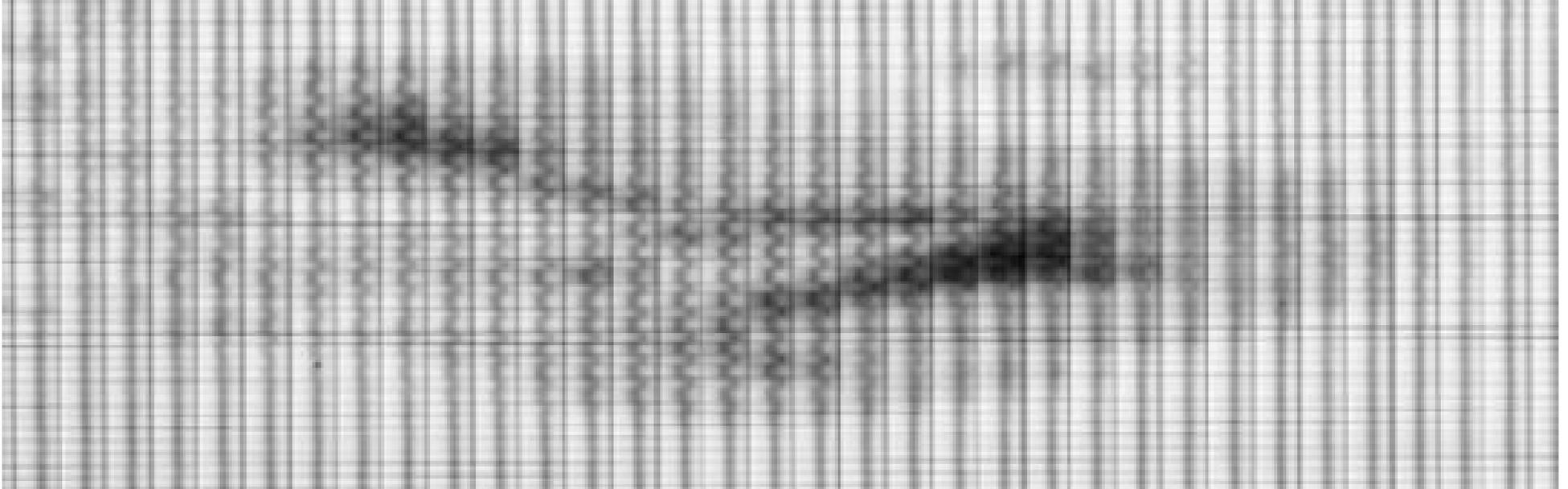
En présence de champ $H_{//}$, une raie se décompose en deux **composantes** de **polarisation circulaire** σ_+ et σ_- décalées en longueur d'onde

Le **décalage** $\Delta\lambda$ est **proportionnel** à $H_{//}$



5 - Mesure à distance par effet Zeeman du champ magnétique longitudinal $B_{//}$ par la mesure du taux de polarisation circulaire des raies spectrales

Champ magnétique des régions actives



Observations spectro-polarimétriques avec **grille de Hale** placée au niveau de la fente d'entrée du spectrographe et laissant passer **alternativement** les polarisations circulaires **droite et gauche**.
Effet Zeeman visible sur les taches.

Champ magnétique lors des **éruptions** solaires (spectro 9m)

1961 AnAp **R. Michard, Z. Mouradian, M. Semel**

Champs magnétiques dans un centre d'activité solaire avant et pendant une éruption

6302 Cal, **polarisation circulaire**, grille (Hale et Nicholson 1938)

Aucune modification détectée entre H// avant et après éruption.

Si **modifications**, avant le déclenchement de l'éruption $H\alpha$?

Champ magnétique des **taches** solaires (spectro 9m)

1963 AnAp **Hénoux, J.C.** (1960 DES direction R.Michard)

*Essai de détermination des **intensités et des orientations** des champs magnétiques d'un groupe de taches solaires*

2d) Magnétographe de 7m (Grand Sidérostât 1962)



Jean Rayrole
devant le Grand Sidérostât
de Meudon
(côté opposé au
spectrohéliographe)

1965 IAUS R. Michard, J. Rayrole

Observations systématiques des Champs Magnétiques des centres d'activité
à l'Observatoire de Meudon

Grand sidérost, tél. 40cm, spectro 7m, grille Hale-Nicholson, polar circul. → H//
Raies 6302 ou 5250 Fe

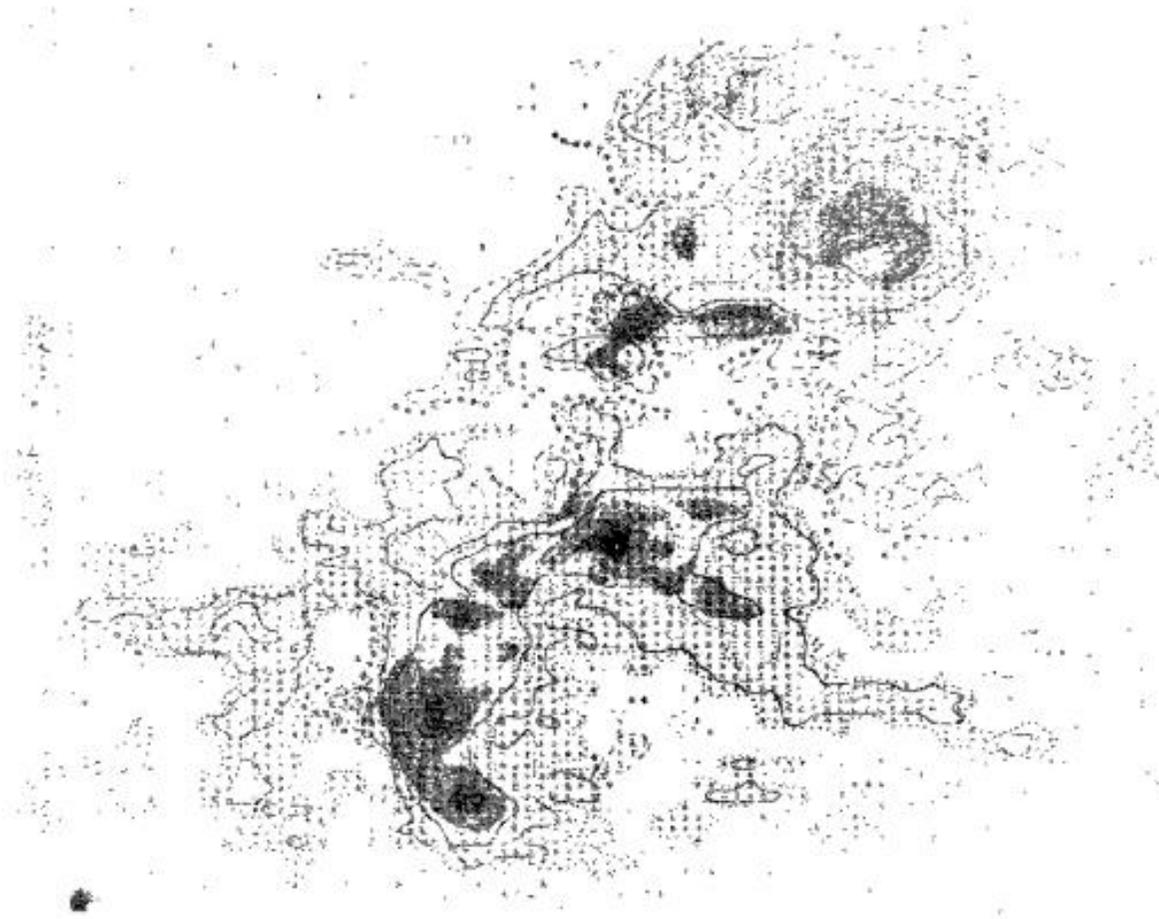
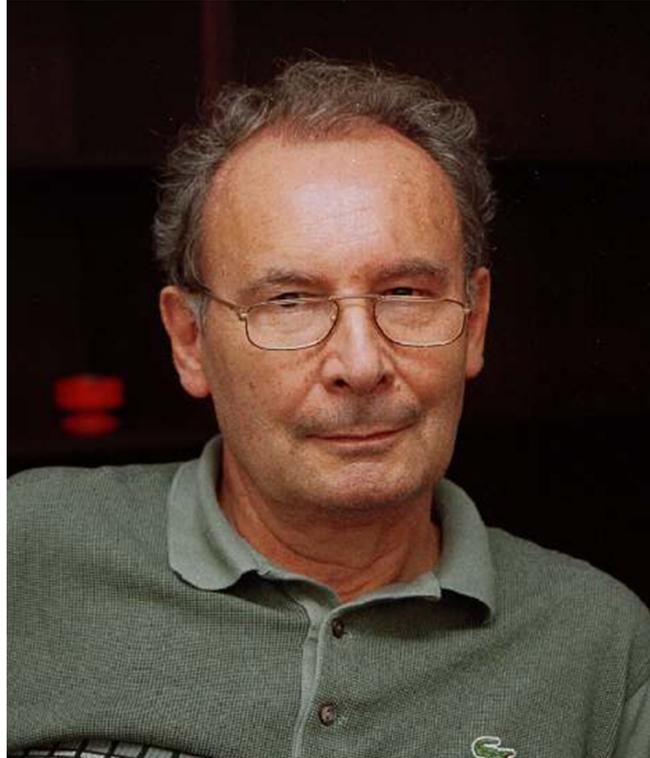


Fig. 2. - Carte du champ longitudinal tirée de la fig. 1 et tabulée par un ordinateur, IBM 1401. Les ombrages représentent les taches.

A	B	C	D	E	,	I	Polarité S
1	2	3	4	5	,	9	Polarité N
≥ 25	≥ 50	≥ 100	≥ 250	≥ 500	,	≥ 1500	gauss.

1967 AnAp **J. Rayrole** (thèse)

*Contribution à l'étude de la structure du **champ magnétique** dans les taches solaires*



1) Le « **Lambdamètre** », enregistreur des **fluctuations de λ le long d'une raie**

Image de la raie formée sur **2 fentes** placées de part et d'autre du centre de la raie :
l'**inégalité de flux** → rotation de la lame compensatrice → enregistrement **$d\lambda$**

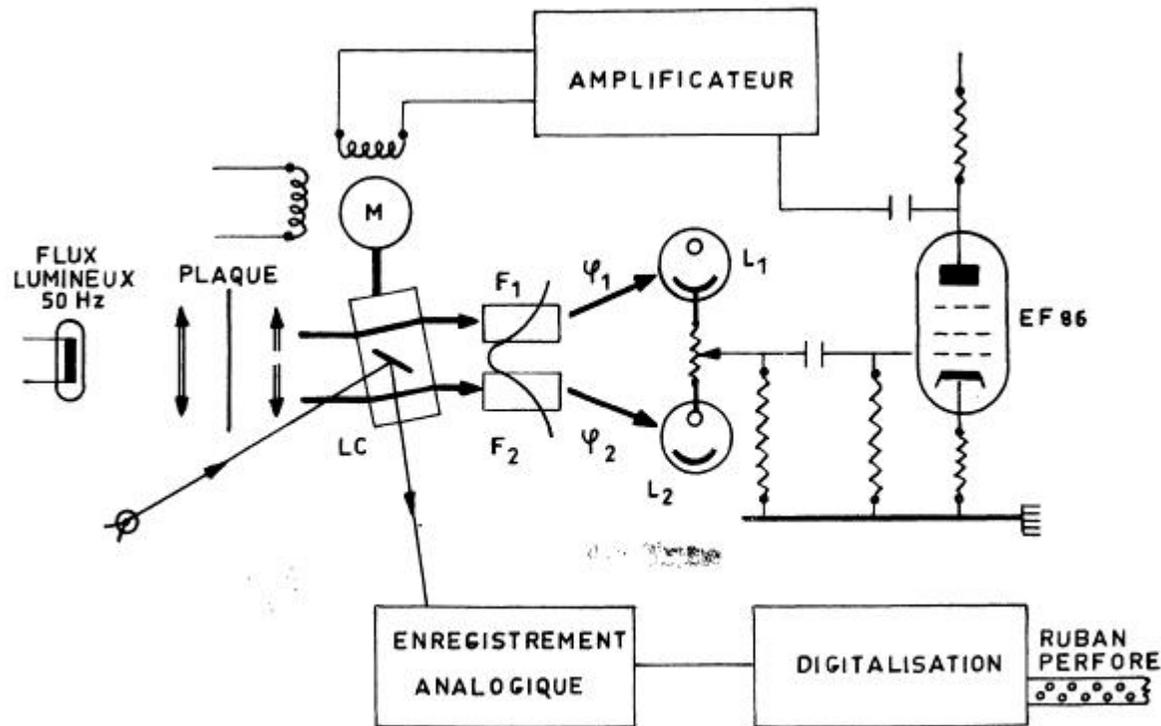


FIG. 1. --- Schéma de principe du lambdamètre.

2) Analyse de polarisation **circulaire et linéaire**
 Mesure des paramètres du **vecteur** champ **H**, **psi**, **phi**

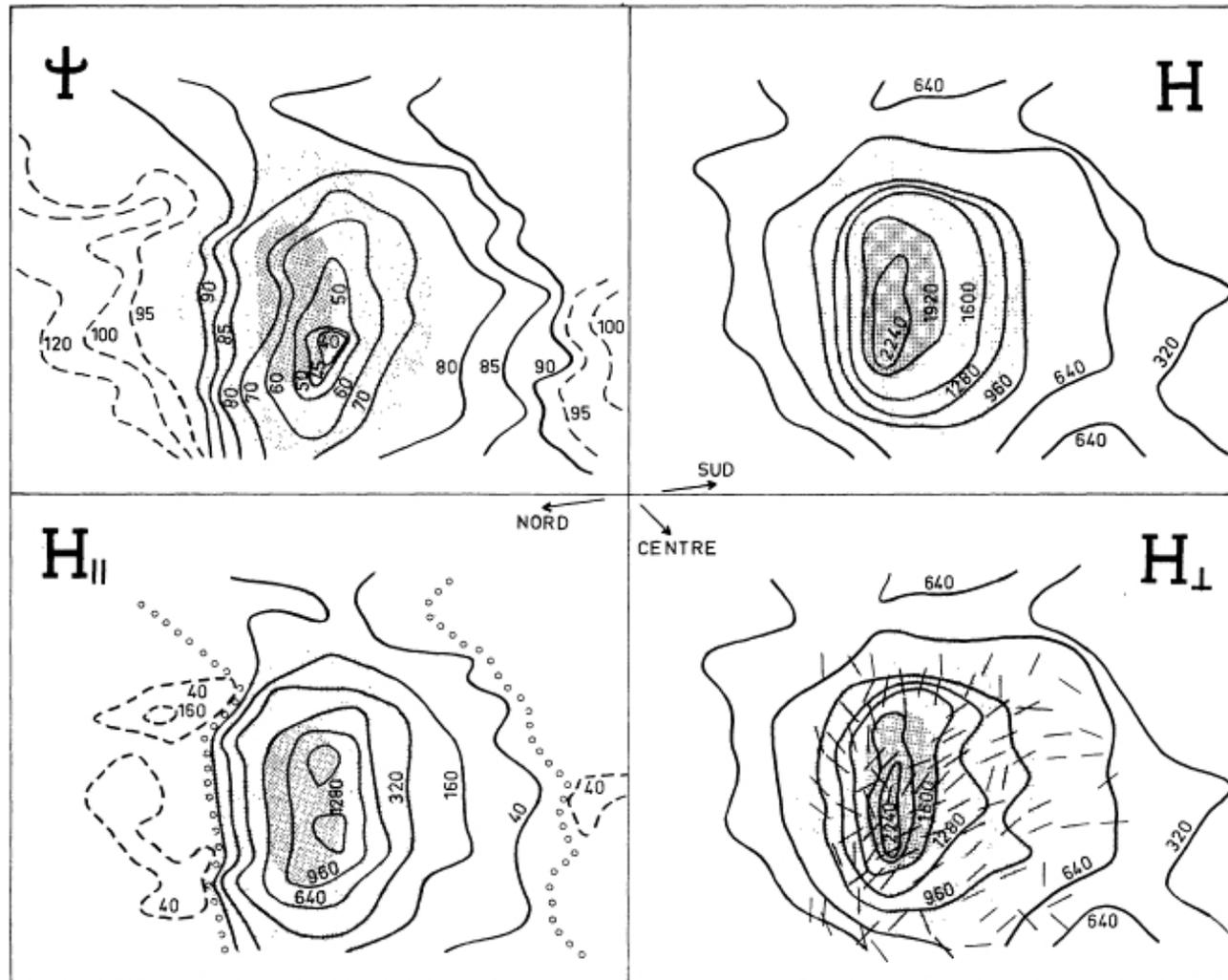


FIG. 36. — Composantes du champ magnétique (9 septembre 1965; tache 16 N—20 W). ψ représente l'angle avec la ligne de visée, H l'intensité du champ total, H_{\parallel} l'intensité de la composante suivant la ligne de visée (les ronds représentent la courbe $H_{\parallel} = 0$ et les traits pleins et pointillés les deux polarités), H_{\perp} l'intensité de la composante perpendiculaire à la ligne de visée. Sur la carte H_{\perp} , les tirets représentent l'orientation de la composante transversale.

1967 AnAp **M. Semel** (thèse)

*Contribution à l'étude des **champs magnétiques** dans les régions actives solaires*



- 1) Mesure de la **composante longitudinale H//** par analyse de polarisation circulaire.
 Comparaison des mesures **Lambdamètre** / **Centre de Gravité** de la raie
 2 intensités ailes / profil complet
- 2) Calcul de **courants** et de **flux** dans des groupes de taches
 Cas de raies différentes formées à des niveaux différents → **gradient vertical de H//**
- 3) Comparaison entre les cartes de **H//** et de **vitesse radiales**

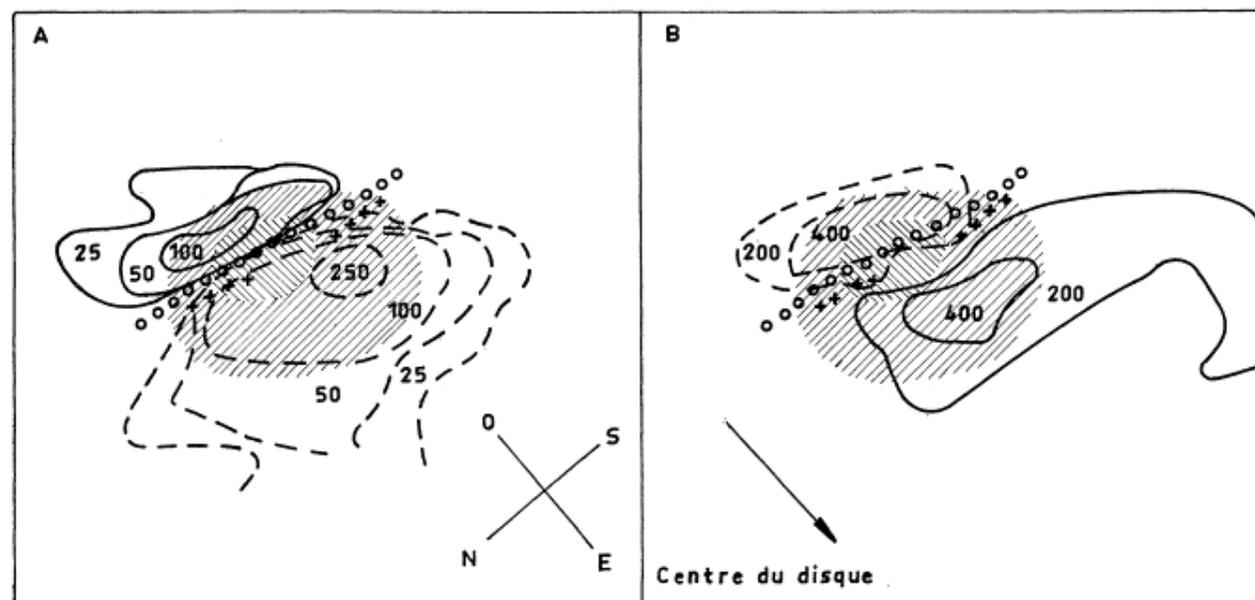


Fig. (III-7). — 16 octobre 1962. Raie 6302 Å. Heure d'observation : 09 h 53 T. U. — 04° N 65° W.

A) Champ magnétique en Gauss.

----- Polarité Nord.

----- Polarité Sud.

B) Vitesse radiale en m/s.

----- Déplacement vers le rouge.

----- Déplacement vers le violet.

○○○○ Ligne de champ zéro.

++++ Ligne de vitesse zéro.

4) Calcul du vecteur champ dans l'hypothèse « sans courant »

Champ longitudinal

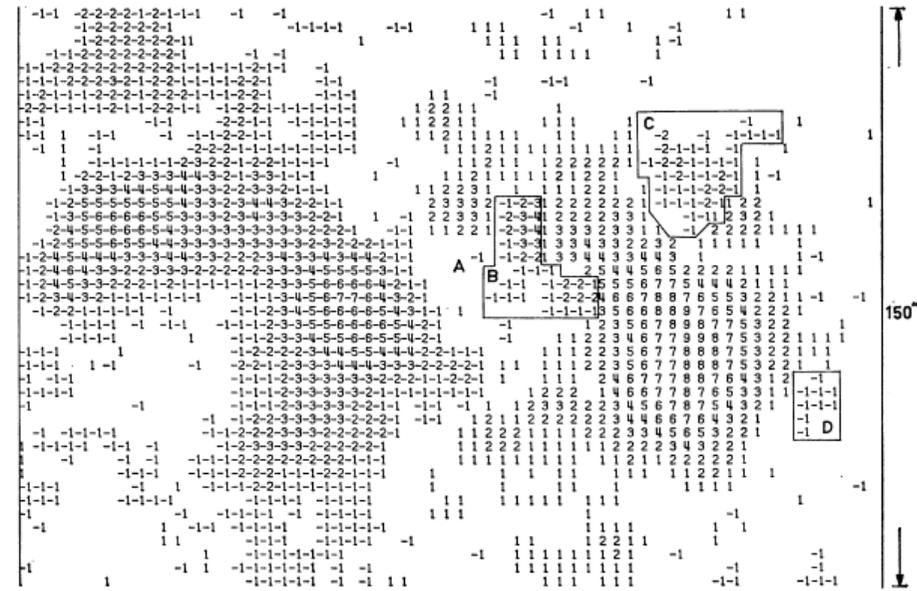


FIG. (IV-2a). — H_l Champ mesuré (composante longitudinale).

Champ transverse

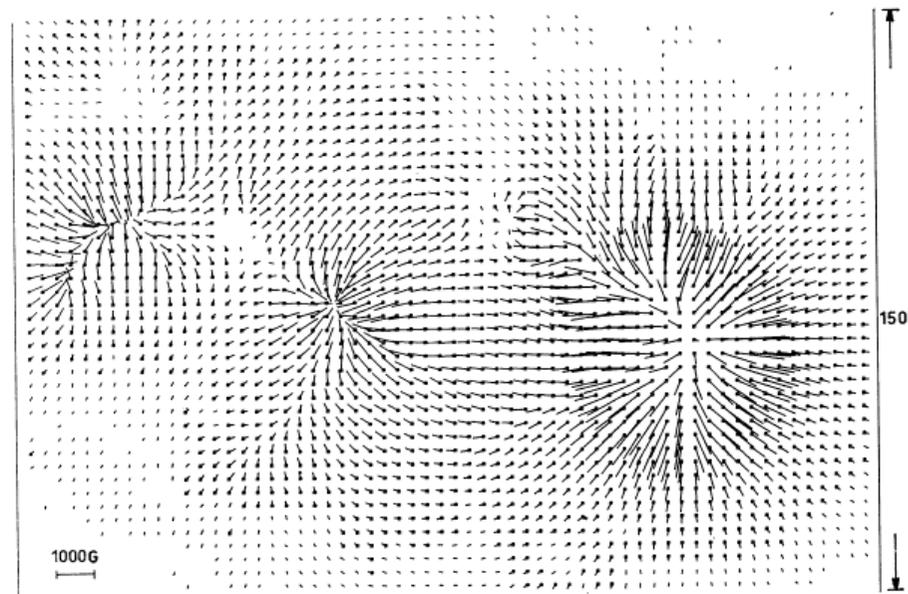


FIG. (IV-2b). — H_t Composante transverse calculée à l'altitude zéro.

1954 - 1968

Instruments et **programmes**

1) Spectrohéliographes et héliographes

Spectrohéliographe (activité solaire)

Héliographes $H\alpha$ (surveillance des éruptions)

2) Nouveaux instruments

Tour d'Arcetri (spicules)

Spectrographe de 4m (à éruptions)

Spectrographe de 9m au Pic du Midi (éruptions, taches et spicules)

Magnétographe de 7m (grand sidérostaf Meudon) et **lambdamètre**

3) Collaborations héliographes + radio + espace (éruptions)

4) Missions d'éclipses (couronne solaire)

5) Structures fines et oscillations (données **Sac Peak, Pic du Midi**)

3) Collaborations utilisant des données des **Héliographes**

a) **Héliographes + Réseau interférométrique de Nançay** (M. Pick)
+ Centre de Prévision des Eruptions (Y. Avignon)

Début de recherches communes très développées par la suite

1962 AnAp **Martres, M-J., Pick, M.**

*Matières propres aux **éruptions** chromosphériques associées à des émissions **radio électriques***

(héliographes de Meudon et OHP,

Réseau interférométrique de Nançay (branche Est-Ouest), **169 MHz**,
sursauts de Type IV)

1964 -1966 AnAp **Avignon, Y., Martres, M-J., Pick, M.**

- *Identification de classes d'**éruptions** chromosphériques associées aux émissions de **rayons cosmiques et à l'activité radioélectrique***

- *Etude de la **composante lentement variable** en relation avec la structure des centres d'activité solaires associés*

Le **Centre de Prévision** des éruptions (CNET → Service Solaire en 1965) :

Y. Avignon, J. Gapihan, P. Lantos, P. Simon

b) Héliographes + Magnétographe (Meudon)

1966 AnAp **Martres, M-J., Michard, R., Soru-Iscovisci, I.**

*Etude morphologique de la **structure magnétique** des régions actives en relation avec les phénomènes chromosphériques et les **éruptions** solaires*

I. Classification magnétique et éruptivité

II. Localisation des plages brillantes, filaments et éruptions

1968 SoPh **Martres, M-J., Michard, R., Soru-Iscovisci, I.**

*Localisation des **éruptions** dans la **structure magnétique évolutive** des régions actives solaires*

les éruptions sont **localisées entre des SME** de polarités opposées, **croissante et décroissante**

M-J. Martres



I. Soru-Iscovisci

1954 - 1968

Instruments et **programmes**

1) Spectrohéliographes et héliographes

Spectrohéliographe (activité solaire)

Héliographes $H\alpha$ (surveillance des éruptions)

2) Nouveaux instruments

Tour d'Arcetri (spicules)

Spectrographe de 4m (à éruptions)

Spectrographe de 9m au Pic du Midi (éruptions, taches et spicules)

Magnétographe de 7m (grand sidérostaf Meudon) et **lambdamètre**

3) Collaborations héliographes + radio + espace (éruptions)

4) Missions d'éclipses (couronne solaire)

5) Structures fines et oscillations (données **Sac Peak**, **Pic du Midi**)

4) Couronne solaire et missions d'éclipse

- 1956 AnAp **Michard R.** *Observations **aériennes** de la couronne externe à l'éclipse du **20 juin 1955***
Altitude 8000 m
Mesures de la polarisation couronnes F et K
- **éclipse du 15 février 1961**, **Hvar**, Yougoslavie :
1965 AnAp **Laborde, G.; Michard, R.; Olivieri, G.; Rayrole, J.; Servajean, R.**
 - I. Observations*
Michard R., Sotirovski P.
 - II. **Photométrie et polarimétrie** de la couronne*
Sotirovski, P.
 - III. Raies d'émission de la **protubérance** observée à **Hvar***
Kerno A., **Michard R., Servajean R.**
 - IV. **Photométrie des raies d'émission de la couronne***
- **éclipse du 30 mai 1965**
1966 AnAp **Leroy, J.L. , Servajean, R.**
*Sur la brillance de la couronne blanche au **voisinage des protubérances solaires** (variations < 5%)*

1954 - 1968

Instruments et **programmes**

1) Spectrohéliographes et héliographes

Spectrohéliographe (activité solaire)

Héliographes $H\alpha$ (surveillance des éruptions)

2) Nouveaux instruments

Tour d'Arcetri (spicules)

Spectrographe de 4m (à éruptions)

Spectrographe de 9m au Pic du Midi (éruptions, taches et spicules)

Magnétographe de 7m (grand sidérostaf Meudon) et **lambdamètre**

3) Collaborations héliographes + radio + espace (éruptions)

4) Missions d'éclipses (couronne solaire)

5) Structures fines et **oscillations** (données **Sac Peak** et **Pic du Midi**)

5) Structures fines et oscillations

Données Sacramento Peak

1961 : R. Michard est invité par J.W. Evans pour un long séjour à Sac Peak

a) Structures fines (bord) Données Sac Peak

1966 AnAp **Hénoux J.C.**

Étude du **triplet b du magnésium** sur le disque et sur la chromosphère

1) Profils chromosphériques des raies b

corrigés des défauts dus à l'atmosphère et aux instruments

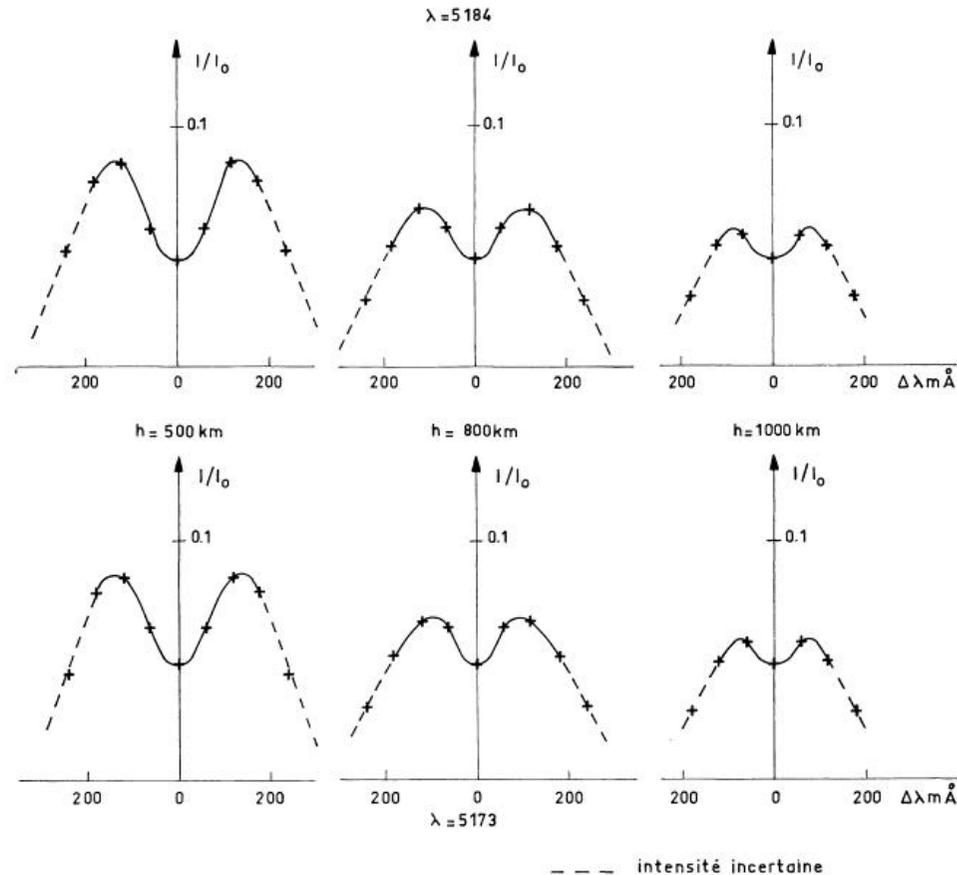


FIG. 5. — Profils corrigés. Les régions des profils particulièrement incertaines sont représentées par des pointillés.

2) Profils **observés sur le disque**

Modélisation des fonctions sources et opacités → profils **calculés**

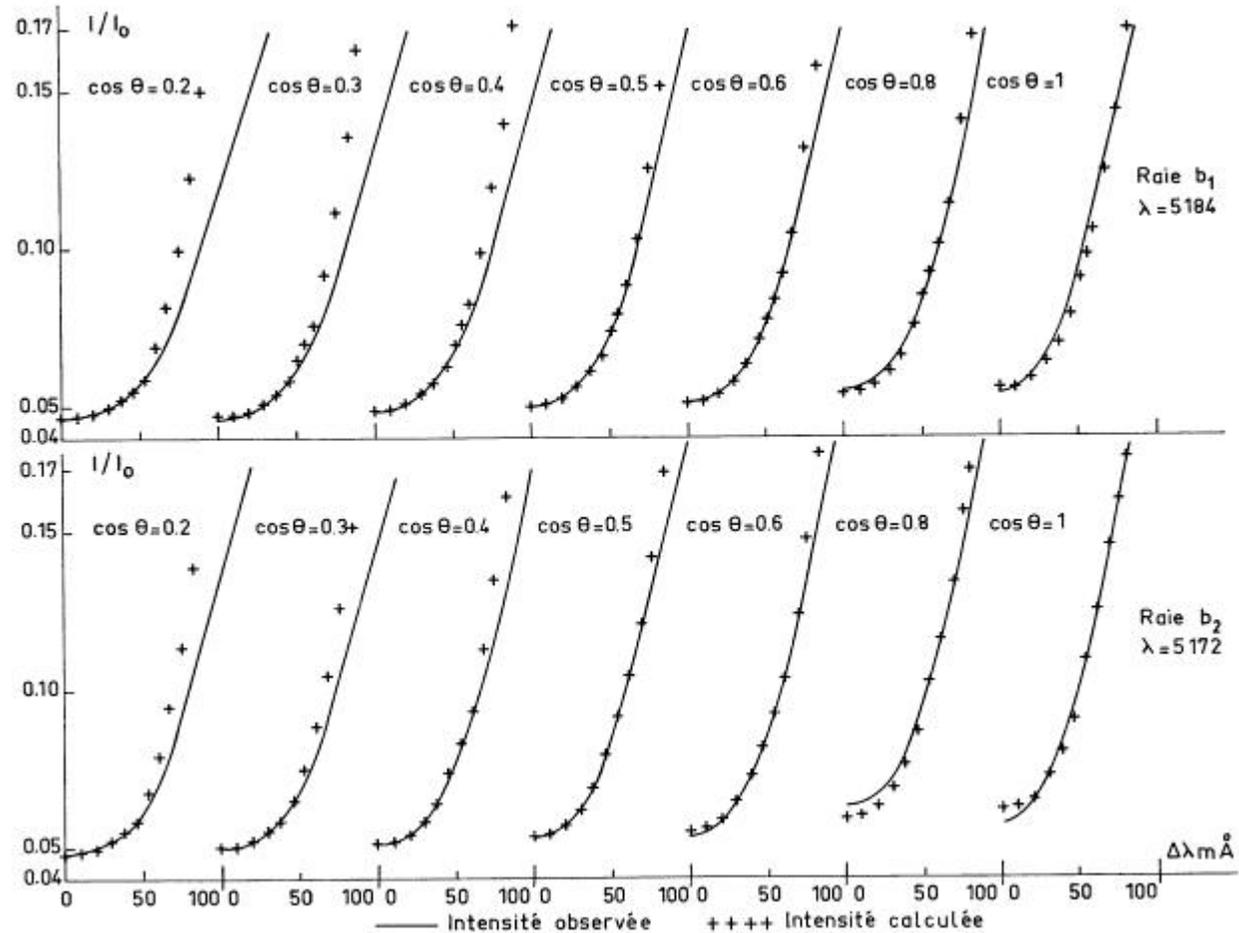


FIG. 9. — Profils observés et profils calculés à l'aide de $S(\tau_0)$ et $\Delta\lambda_1(\tau_0)$.

3) Profils **chromosphériques calculés** :

Nécessité de tenir compte des **hétérogénéités** de la basse chromosphère

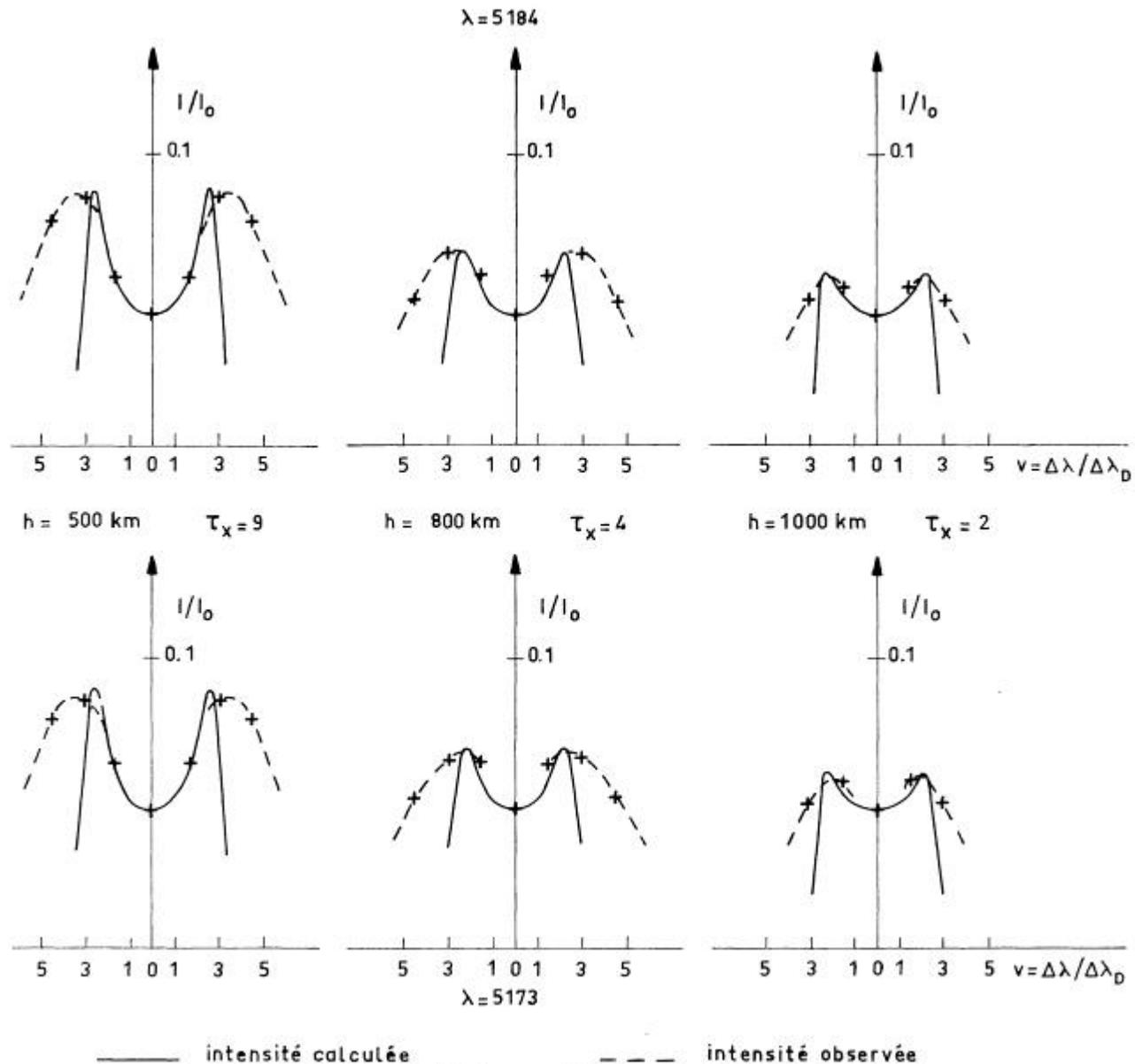


FIG. 11. — Profils chromosphériques observés et calculés.

b) Oscillations (disque) Données Sac Peak

1962 ApJ

J.W. Evans, R. Michard

Observational study of macroscopic inhomogeneities in the Solar Atmosphere

I. **Velocity** displacements of Fraunhofer lines as a function of line strength and position on disk

II. **Brightness** fluctuations in Fraunhofer lines and continuum

III. Vertical **oscillatory** motions in the solar photosphere

J.W. Evans, P. Mein, R. Michard, R. Servajean

Correlations in the **time variations** of macroscopic inhomogeneities in the solar atmosphere

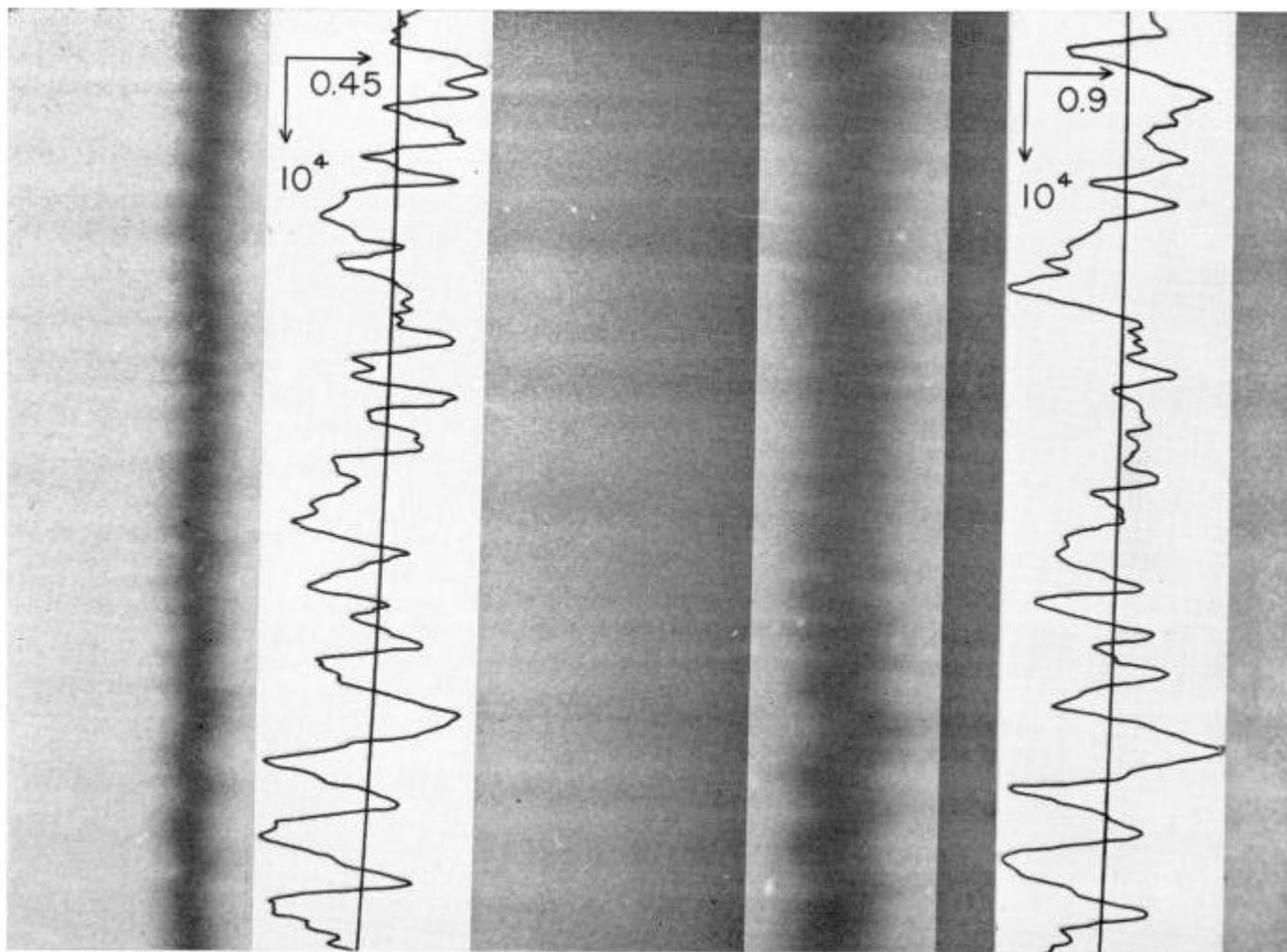
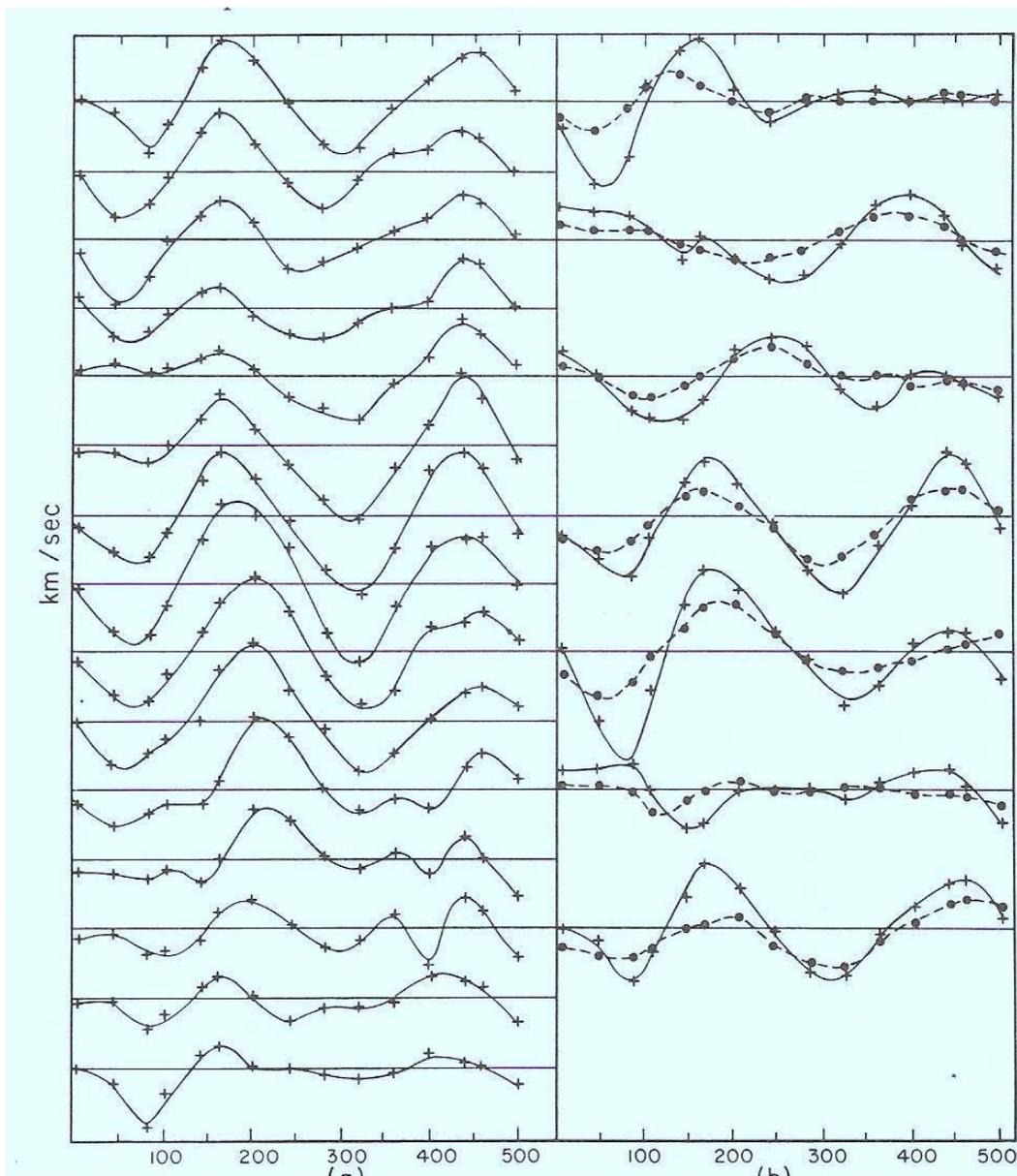


FIG. 2.—Spectrum and corresponding velocity curves for b_2 and nearby Ti I 5173.7. The print shows only one-third of the usable slit length of the original frame. The core of b_2 has been printed separately (note that a small difference of scale between the curves and the photograph was not entirely avoided). The arrows accompanying the velocity curves indicate the velocity scale in km/sec and the scale of distance on the sun in km.

LES OSCILLATIONS DE 5 MINUTES



Les oscillations de 5 minutes de la surface solaire, une découverte partagée en 1961 par R.B. Leighton, Evans et Michard.

Fig. 1 in Evans & Michard 1962 ApJ 136, 493
Vitesses radiales solaires locales en fonction du temps.
A gauche: 15 points contigus, distants de 1000km
A droite: 7 points indépendants pour 2 raies

1963 AnAp **J.W.Evans, R. Michard, R.Servajean**

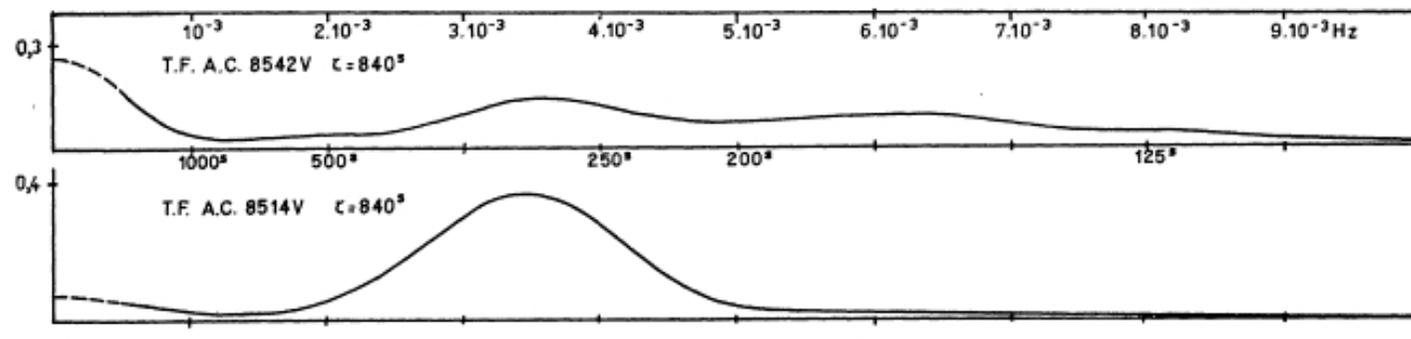
V. **Statistic** study of the time variations of the solar inhomogeneities

1965 AnAp **F.N. Edmonds, R. Michard, R. Servajean**

VII. A **statistical** analysis of photometric and kinematic inhomogeneities in the deep atmosphere

- Oscillations $T=295s$
- Vitesses et intensités (températures) en quadrature : ondes hydrodynamiques
- 295s : résonance, **ondes stationnaires ?**
- Chromosphère : **queue** hautes fréquences

Chromosphère



Photosphère

1966 AnAp **P. Mein**

Thèse soutenue à l'IAP, dir. **E.Schatzman + R. Michard**

*Champ macroscopique des vitesses
dans l'atmosphère solaire*

- Données Evans, Michard et al.
- Calculs profils de raies **hors ETL**
altitudes de formation pour **phase et amplitude** des ondes
- Diagramme diagnostique **fréquence / nombre d'onde**
(théorie thèse **P. Souffrin IAP -->**)

Ondes: A :Acoustiques progressives

S :**Stationnaires évanescentes** → **Oscill. 300 s**

G :de Gravité progressives

Acoustiques

(Freq. Coup. Adiab.)

(Freq. Coup. Isoth.)

Stationnaires

Gravité

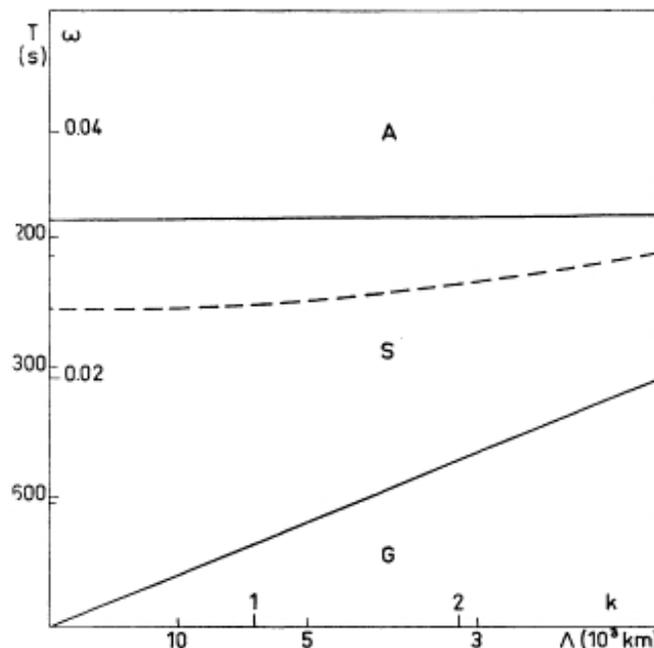
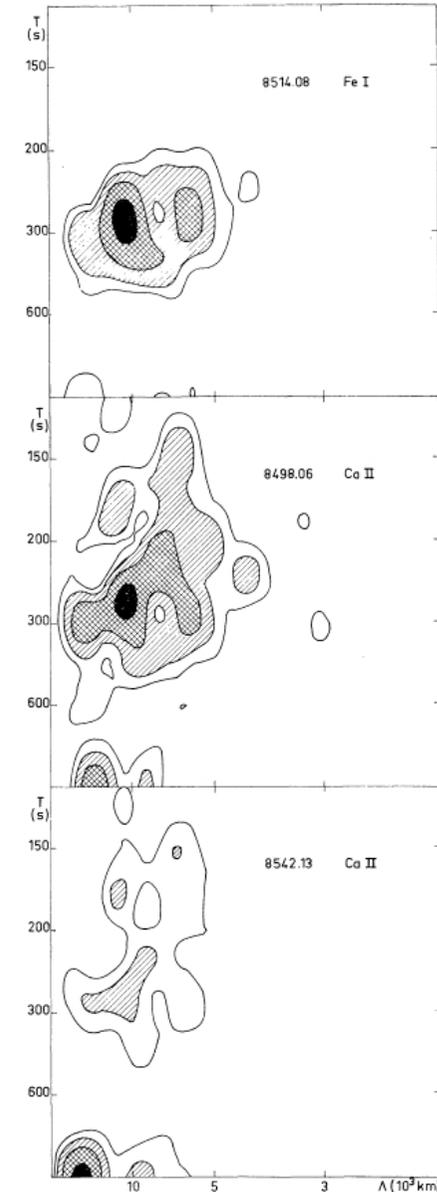


FIG. 11. — Diagramme diagnostique dans le cas solaire pour une température moyenne de 5000 °K. La portion de plan (k, ω) représentée est la même que dans la figure 9.

Photosphère



Chromosphère

c) Granulation (Données Pic du Midi)

1967 AnAp **M. Lévy**

Analyse photométrique statistique de la granulation

Images du **Pic du Midi** (Rösch, Chauveau, Hugon, lunette J. Rösch, obj. 38cm)

Spectres de puissance des fréquences

spatiales

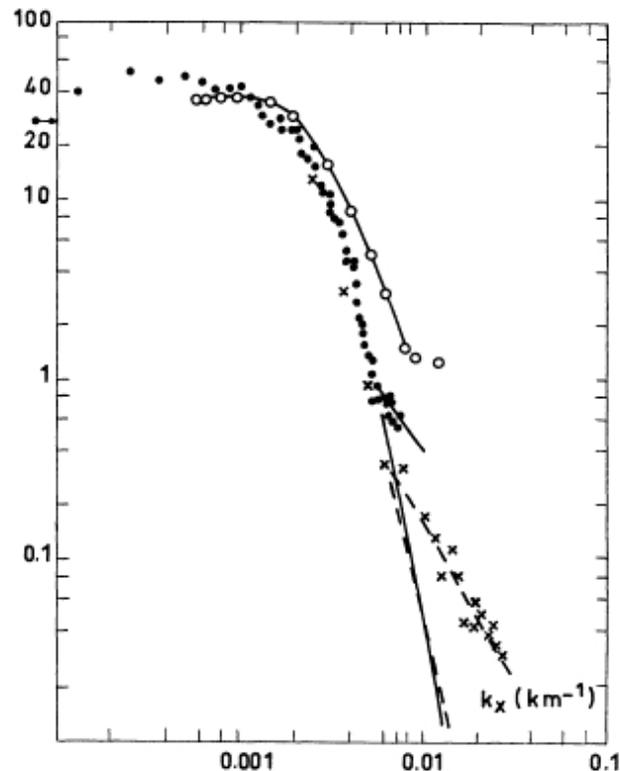


FIG. 3. — Spectre de puissance $G_1(k_x)$ à une dimension en unités absolues. Sont rassemblés le spectre calculé par EDMONDS (1962) (croix), celui de FRENKIEL et SCHWARZSCHILD (1955) (cercles pleins) et le nôtre (cercles ouverts).

temporelles

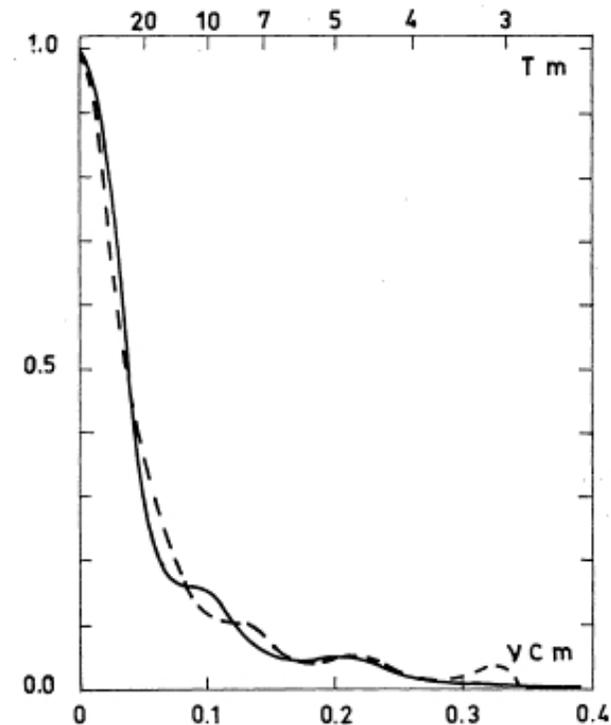


FIG. 5. — Spectre de puissance temporel $G(v)$: Celui que nous avons obtenu (traits pleins) ainsi que celui obtenu par EDMONDS, MICHARD et SERVAJEAN (1955) (traits discontinus). En abscisse, ont été portées les fréquences mais également les périodes.

III – Le Département d'Astronomie Solaire et Planétaire (1968-1980) Recherches initiées par R. Michard

- Groupe Solaire Optique en 1978: **chercheurs**

R. Boyer, G. Chambe, J-C. Hénoux, D. Heristchi, M.J. Martres, N. Mein, P. Mein, Z. Mouradian, J. Rayrole, E. Ribes, B. Schmieder, M. Semel, G. Simon, P. Sotirovski

ITA

R. Barthalot, M. Bernot, G. Brigardis, C. Coutard, Ph. Dechy, D. Durain, I. Escaut (ITA chercheur), J.R. Frémy, J. Geoffroy, R. Hellier, C. Lours, A. Miguel, G. Olivieri, M. Savinelli, G.Zlicaric

- Centre Prévion des Eruptions

- Groupe Radiohéliographe

- Groupe Radioastronomie Décamétrique

- Laboratoire de Physique des Atmosphères Planétaires

- Laboratoire de physique du Système Solaire

- Groupe cohérence des Rayonnements Optiques (P. Charvin, R. Charvin)

Accroissement des personnels chercheurs et ITA (> 80)

Extension des collaborations intérieures et extérieures au Groupe Optique

1968 - 1980

Directeurs du DASOP : R. Michard (1968-1971)

J. Rayrole, P. Mein, J-C. Hénoux

Groupe Solaire Optique (ultérieurement LA 326 physique solaire CNRS) :

Equipe

Instruments

Principaux responsables

Secrétariat

D. Durain

Obs. Systematiques
et exploitation

Spectrohéliographe,
Héliographes

M-J. Martres, G. Olivieri

Structures Fines

Tour Solaire

P. Mein

Champs Magnétiques

Magnétographe Meudon

J. Rayrole

Chromosphère

Spectros Pic du Midi

Z. Mouradian

Spectro. molec., rayt X

J-C. Hénoux

Locaux spacieux neufs jouxtant la Tour Solaire de Meudon

D. Durain

B. Schmieder

G. Olivieri



S. Bordet

M. Savinelli

G. Zlicaric

1968 - 1980

Programmes et instruments
(Groupe Solaire Optique)

1) Activité solaire

- a) **Surveillance** (Spectrohéliographe et héliographes)
- b) Méthodes de mesure du **champ magnétique**
- c) **Taches et facules**
- d) **Régions actives et éruptions** ; **modélisations** chromosphère-couronne
(magnétographe de Meudon, spectros et coros du Pic du Midi,
spectros X et radioastronomie, collaborations internationales)

2) Couronne (coronographes, éclipses et sondes spatiales)

3) Structures fines

- a) **Bord** solaire : **spicules** et **protubérances**
(Pic du Midi et sondes spatiales)
- b) **Disque** : **granulation, oscillations**
(Pic du Midi, Sac Peak)

4) Nouveaux instruments

- a) **Tour Solaire** de Meudon et **DPSM**
(Observations coordonnées)
- b) **Spectro-Tourelle** du Pic du Midi
- c) Recherche de Sites et préparation de **THEMIS**

1968 - 1980

Programmes et instruments

(Groupe Solaire Optique)

1) Activité solaire

- a) **Surveillance** (Spectrohéliographe et héliographes)
- b) Méthodes de mesure du **champ magnétique**
- c) **Taches et facules**
- d) **Régions actives et éruptions** ; **modélisations** chromosphère-couronne
(magnétographe de Meudon, spectros et coros du Pic du Midi,
spectros X et radioastronomie, collaborations internationales)

2) Couronne (coronographes, éclipses et sondes spatiales)

3) Structures fines

- a) **Bord solaire** : **spicules** et **protubérances**
(Pic du Midi et sondes spatiales)
- b) **Disque** : **granulation, oscillations**
(Pic du Midi, Sac Peak)

4) Nouveaux instruments

- a) **Tour Solaire** de Meudon et **DPSM**
(Observations coordonnées)
- b) **Spectro-Tourelle** du Pic du Midi
- c) Recherche de Sites et préparation de **THEMIS**



G. Zlicaric devant la « Noria » des spectrohéliographes

Quarterly Bulletin on Solar Activity (QBSA)

Coordonnées et chronologie pour :

- **Taches** solaires,
- **Eruptions** chromosphériques brillantes,
- Intensité de la **couonne** solaire
- Emissions **radios**

(Zurich 1928-1976, Tokyo 1976)

Meudon fait la synthèse des observations relatives aux éruptions, apportées par un grand nombre d'observatoires

1969 **QBSA**

M. Waldmeier, **R. Michard**, J.G. Bastiaans, A.D. Fokker

Années suivantes :

M. Waldmeier, R. Howard, **R. Michard**, **G. Olivieri**, **M. Bernot**

1b) Régions actives : Mesure des Champs Magnétiques

Modernisations du magnétographe de Meudon et **publications**

1968 J. Rayrole

- **Nouvel analyseur de polarisation circulaire** remplaçant la grille de Hale
- Nouveau **récepteur** (Lallemand) pour le **lambdamètre**

1980 J. Rayrole

- 2 barrettes de **diodes** remplacent la plaque photo dans le magnétographe

1970 A&A **Michard, R., Rayrole, J.**

***Rapid Mapping** of Solar Magnetic Fields*

1970 A&A **Rayrole, J., Semel, M.**

*Evaluation of the **Electric Current** in a Sunspot*

*by the Study of the Observed **Transverse Component** of the Magnetic Field*

Améliorations des **méthodes de mesure** des champs magnétiques

A&A **M. Semel**

1970 *A proposal for a Solar Magnetograph*

1970 *The Use of the Magnetograph for the Study of the **Unresolved Solar Fine Structure** (Answer to Harvey and Livingston)*

1970 *A Proposed **Method of Calibrating Measurements** of Linearly Polarized Light for the Observation and Analysis of Zeeman Effects in Solar Spectral Lines*

1979 A&A Rees, D.E., **Semel, M.**,
*Line formation in an **unresolved magnetic element** - a test of the **centre of gravity** method*

1980 A&A M. Semel *Un analyseur précis de polarisation optique*
 « Grille de Semel »

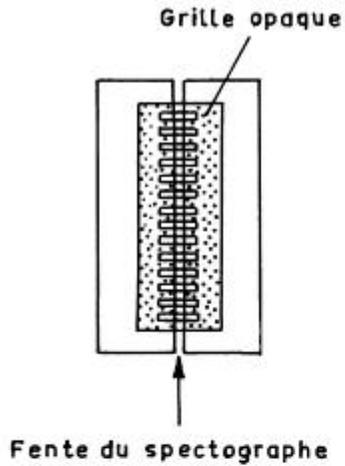


Fig. 1

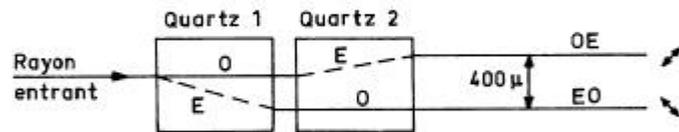


Fig. 2

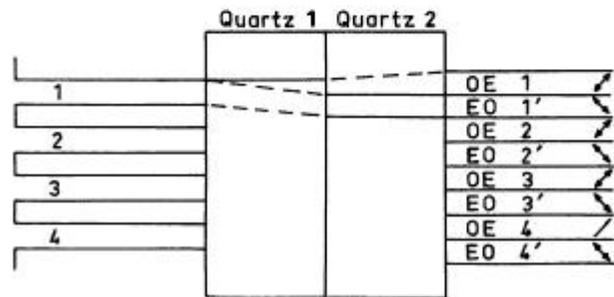


Fig. 3

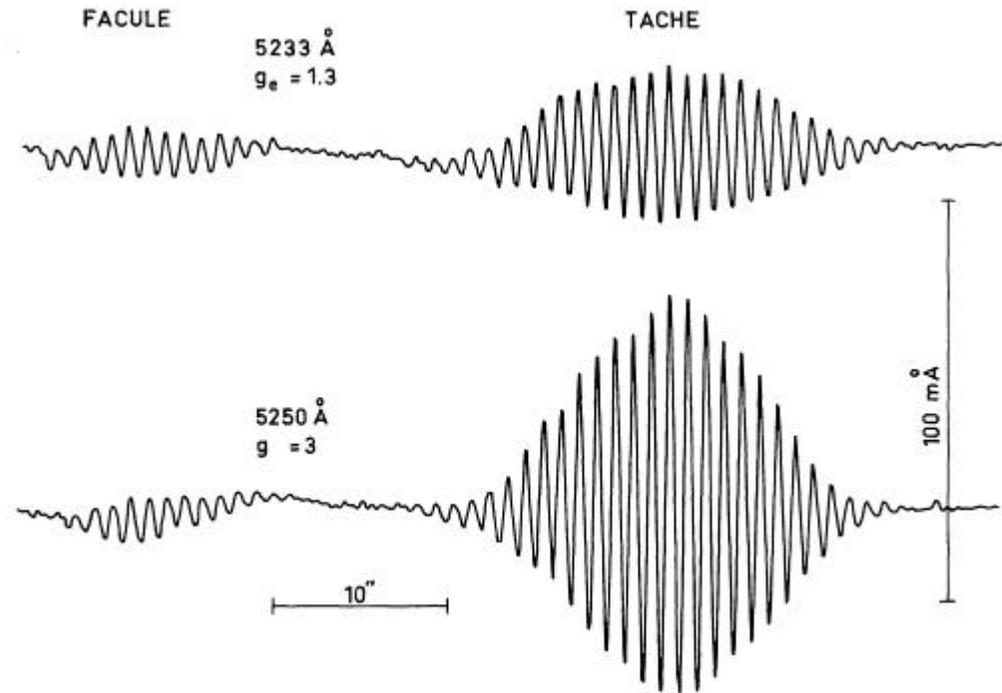


Fig. 5. Dépouillement avec le
 lambdamètre d'une observation
 faite à Kitt Peak en Novembre
 1972. Largeur des bandes
 $200 \mu \approx 0.5$

1c) Régions actives : Taches solaires, facules

1968 AnAp **Hénoux J.C.**

Un **modèle thermique** de l'ombre d'une tache
basé sur la spectrophotométrie du continuum infra rouge

1969 A&A **J.-C. Hénoux** (Thèse)

Un modèle de l'**ombre des taches**

Température (5040/T)

Pression

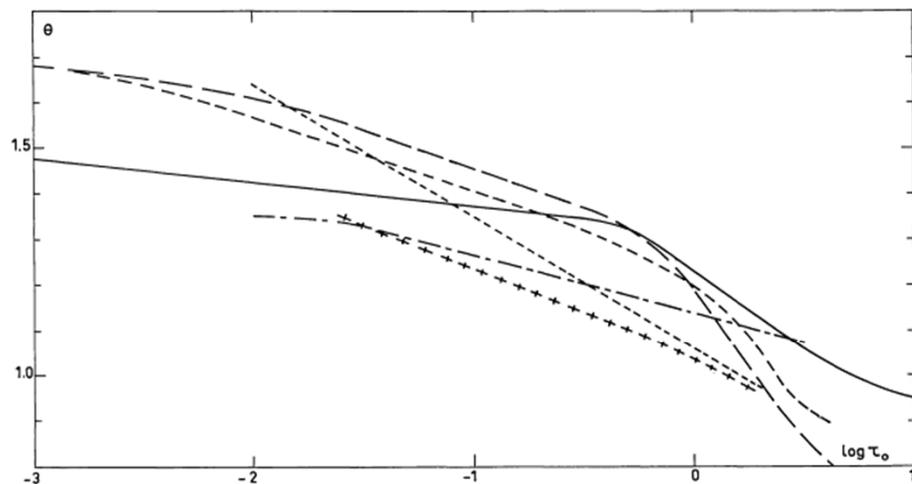


Fig. 11. Modèle thermique adopté et modèles de différent auteurs. — Modèle adopté, — Zwaan 1965, - - - Fricke-Elsässer 1965, - · - · Makita 1963, + + + Michard 1963, ····· van't Veer 1966

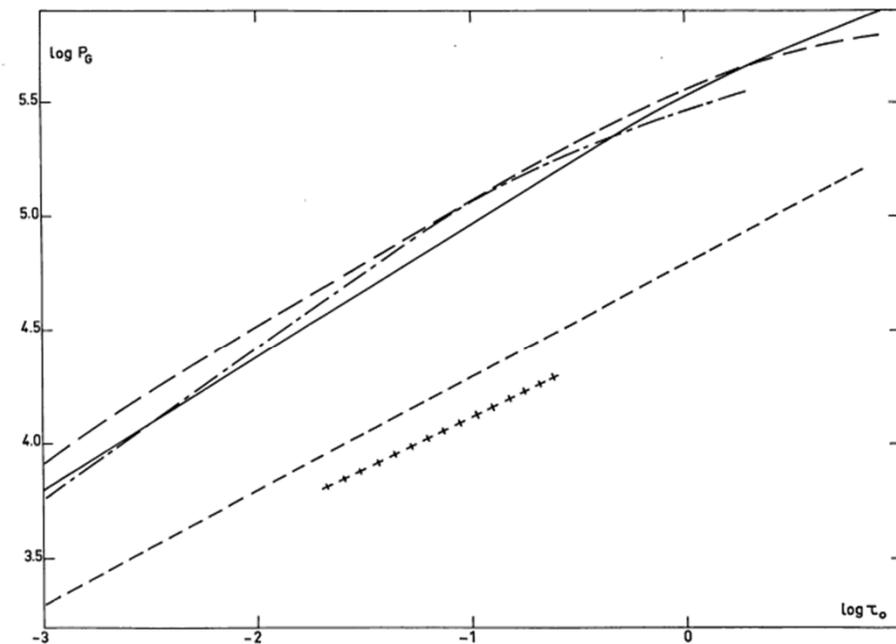


Fig. 12. Loi de pression $\log P_0 = f(\log \tau_0)$. — Modèle adopté, — Zwaan 1965, - - - Fricke-Elsässer 1965, - · - · van't Veer 1966, + + + Michard 1963

Taches: Raies moléculaires

1971 A&A **P. Sotirovski** *The **Molecular Spectrum** of Sunspot Umbrae*

1971 A&A **R. Boyer** *Isotopic Lines of the **MgH Molecule***

1971 SoPh **R. Boyer, J.C. Henoux, P. Sotirovski**
Isotopes of Magnesium in the Solar Atmosphere

1972 A&AS **Sotirovski, P.** (Thèse 1971)

*Table of solar **diatomic molecular lines** spectral range 4900-6441 A*

1973 A&A **R. Boyer, P. Sotirovski**

*Molecular Line **Formation Levels** and **Rotational Temperatures** in Sunspots*

1975-1978 A&AS **R. Boyer, P. Sotirovski, J.W. Harvey**

*Table of solar **diatomic molecular lines** I Spectral range 6100-6600 A*

II Spectral range 6600-7100 A

III Spectral range 7100-7600 A

1978 A&A **R. Boyer** *Molecular Spectroscopy in Sunspots.*

*Criteria for Choice of the **TiO Molecule***

Selection of Lines and Rotational Temperatures

Données de laboratoire CaH, CN, MgH, MgO, TiO

Ombre de taches : Temperature rot. **TiO** 3330 K

1980 A&AS **R. Boyer** (Thèse 1979)

Molecular spectroscopy in sunspots

*Theoretical interpretation of **TiO line equivalent widths** measurements*

Facules

1980 A&A **G. Simon, Z. Mouradian,**
S. Dumont, J.C. Pecker, G. Artzner, J.C. Vial
Microturbulence near the Edge of a Solar Plage

Données de la **sonde spatiale OSO-8**
Ecartement des pics de la raie CaII K
au bord de la plage faculaire (B)
Accroissement de la **micro-turbulence**

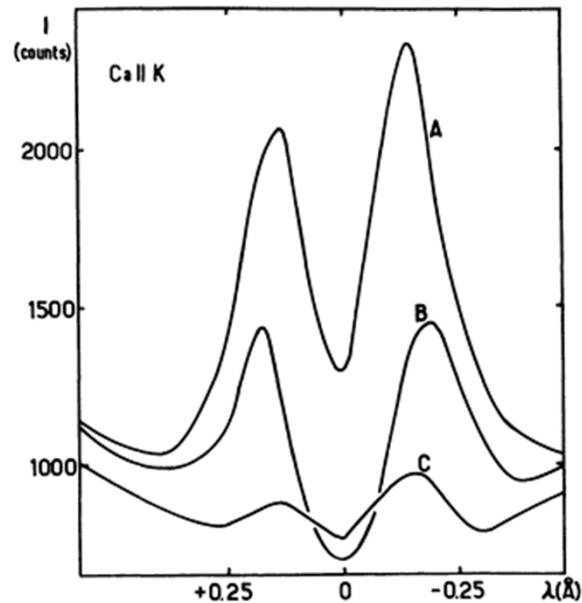


Fig. 2 Profile of the CaII K line in regions A, B and C, as indicated in Fig. 3-iii. (A) is for the plage, (C) for the quiet Sun and (B) for the intermediate region.

1d) Régions actives et éruptions

Modélisation chromosphère - couronne

1974 **E. Ribes** thèse sur articles :

Contribution observationnelle et théorique à l'étude de la dynamique dans les configurations magnétiques solaires

- I Etude du **courant** électrique dans une configuration stable
- II Etude de l'**évolution** d'une configuration active (en liaison avec **éruptions**)
- III Elaboration d'un **modèle MHD** d'atmosphère
- IV Application du modèle MHD à la **dynamique des spicules**
- V **Supergranulation**

1969 A&A **E. Ribes**

*Study of the correlation between **flares** and the **evolution of magnetic field***

(Spectro 7m, grille de Hale)

Eruptions entre deux polarités, croissante et décroissante

1970 A&A **E. Ribes**

Magnetic field configuration in active regions as derived from

perspective effects

1971 PASAu **E. Ribes**, W. Unno

*Hydromagnetic structure at the boundary of a **supergranule***

1974 SoPh W. Unno, **E. Ribes**, I. Appenzeller

*On the structure and the motion of a **spicule***

1976 ApJ Unno, W., **Ribes E.**

On *magnetic buoyancy* in the convection zone

1976 A&A **Ribes, E.**, Unno, W.

Hydromagnetic structure of the chromosphere near the *supergranule Boundary*

1979 A&A Unno, W., **Ribes, E.**

Steps toward a *solar network model*

1980 A&A **Ribes, E.**, Unno, W.

Steady flow models of dark *filaments*



Evolution des régions actives

Martres M-J.,

Collaborations **Michard, R., Soru-Escaut, I., Semel, M., Rayrole, J.,
Tsap, T.T., Nakagawa, Y.**

- 1970 SoPh *Quelques effets de **l'interaction** des centres actifs solaires*
- 1971 SoPh **Chromospheric Absorbing Features** *Promising the Appearance
and the Development of an Active Center*
- 1971 A&A *On the Broadening of the **Balmer Lines** during a **Flare***
- 1973 SoPh *Relationship between Some **Photospheric Motions** and the
Evolution of Active Centers*
- 1976 SoPh *Spatial correlation of **H-alpha filaments** and **photospheric
velocity***
- 1977 A&A *H alpha off-band **pre-flare activities***
- 1977 SoPh *The relation of flares to '**newly emerging flux**' and
'**evolving magnetic features**'*

Eruptions, EUV et rayons X

- 1969 A&A **Chambe, G.**, Sain, M.
*The Observation of Solar Soft **X-Ray** Bursts and their Relations with **Microwave Radio** Bursts*
- 1969 SoPh **Chambe, G.**
*The emission of solar **X-rays** in the 0.5 3 Å wavelength range and its relation to the **magnetic configuration** of active centers*
- 1973 SoPh Bonnelle, C.; Senemaud, C.; Senemaud, G.; **Chambe, G.**;
Guionnet, M.; **Henoux, J. C.**; **Michard, R.**
***X-rays spectroheliograms** in lines of Mg XI and Mg XII*
Spectromètre Bragg

- 1977 A&A **J.C. Hénoux**, Y. Nakagawa
Chromospheric** response to **soft X-ray** radiation in **flares
Ne x 10, Te x 2 au-dessus du minimum de température
- 1978 A&A **J.C. Hénoux**, Y. Nakagawa
***Dynamics** of an atmosphere irradiated by soft X-rays in flares*
Oscillations de vitesse, période 270s, amorties en 30 mn
- 1978 A&A **Chambe, G.**
*Comparaison of **EUV** and **Radioelectric** Diagnostics of the Solar Chromosphere-Corona **Transition Region***
- 1979 A&A **G. Chambe, J.C. Hénoux**
*Direct **excitation of hydrogen** by photoelectron
and accelerated electron collisions in solar chromospheric flares –
Effects on the profile and polarization of **LY alpha***

1980 A&A **J.C. Héroux, D. Rust**

Horizontal distribution of the X-ray energy deposit in the chromosphere
H alpha two ribbon flares

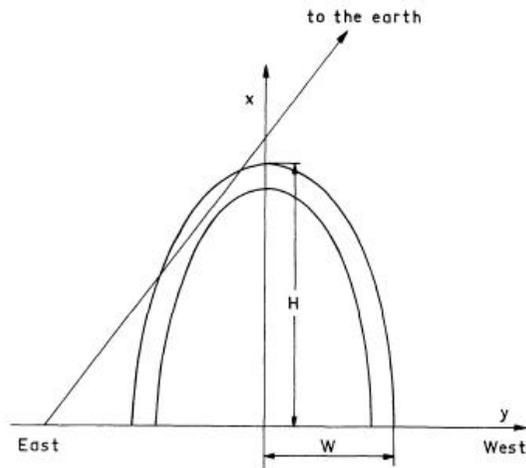


Fig. 1. The geometry of an elliptical arch

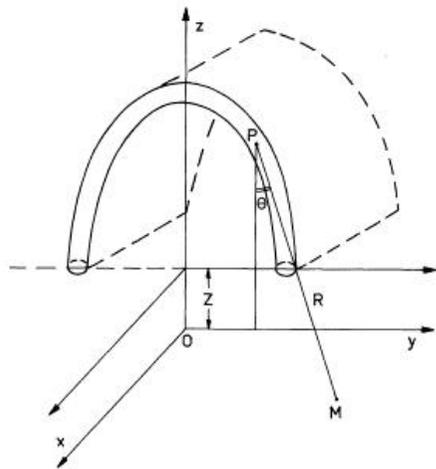


Fig. 2. An X-ray arcade irradiating the *xoy* plane

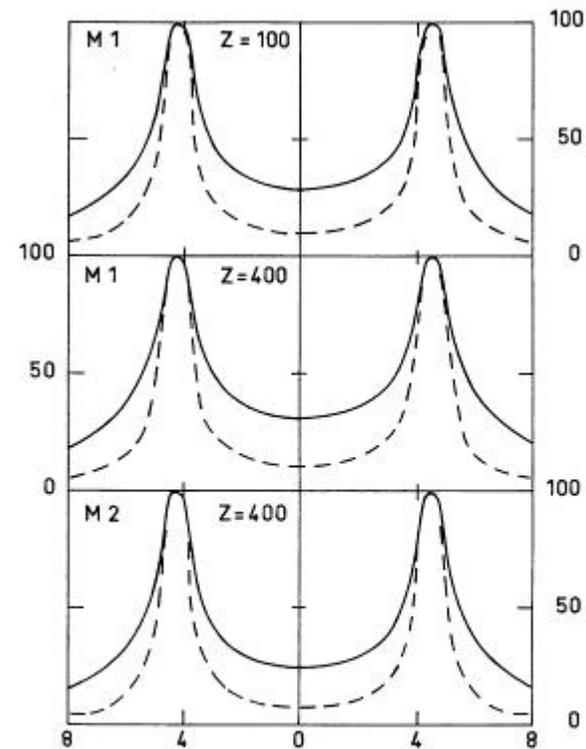


Fig. 3. The horizontal variation of (dE/dV) ($10; 300 \text{ \AA}$), in the layer $m - m_0 = 10^{-3} \text{ g cm}^{-2}$, along the direction *oy*. Full line, below an arcade; dashed line, below a single elliptical arch horizontal scale, one unit = 10^4 km ; *M 1*, model 1; *M 2*, model 2. *Z* is the height of the bottom of the feet above the layer $m - m_0 = 10^{-4}$

Collaborations Optique + Radio Chromosphère - couronne

1971 : incendie au réseau interférométrique de Nançay.

R. Michard soutient la reconstruction
d'un instrument de hautes performances

Radiohéliographe de Nançay

Interféromètre à **deux branches en T**

- 1977 E-W avec extensions,
- 1983 N-S

Images radios 1D de la couronne en
plusieurs fréquences (150, 432 MHz...)

- 1996 images 2D

I.G. Jones,
A. Kerdraon,
P. Lantos,
C. Mercier,
M. Pick,
A. Raoult,
G. Trottet



Martres, M-J., Soru-Escaut, I., Pick, M., Axisa, F., Avignon, Y., Simon, P., Mercier, C., Parks, G.K., Kane, S.R., Kreplin, R.W.

SoPh

1970 *The Origin of **Interplanetary Sectors** from **Radio** Observations*

1971 *Solar **Coronal Streamers** Observed at **169 MHz** with the Nançay East-West **Radioheliograph***

1973 *On Same **Transient H α Features** Associated with Metric **Type III Bursts***

1974 ***Acceleration of electrons** in absence of detectable optical flares deduced from **type III** radio bursts, **H alpha** activity and **soft X-ray** emission*

1975 *Discussion on the coronal structure related to **type III** bursts*

1968 - 1980

Programmes et instruments
(Groupe Solaire Optique)

1) Activité solaire

- a) **Surveillance** (Spectrohéliographe et héliographes)
- b) Méthodes de mesure du **champ magnétique**
- c) **Taches et facules**
- d) **Régions actives et éruptions** ; **modélisations** chromosphère-couronne
(magnétographe de Meudon, spectros et coros du Pic du Midi,
spectros X et radioastronomie, collaborations internationales)

2) Couronne (coronographes, éclipses et sondes spatiales)

3) Structures fines

- a) **Bord solaire** : **spicules** et **protubérances**
(Pic du Midi et sondes spatiales)
- b) **Disque** : **granulation, oscillations**
(Pic du Midi, Sac Peak)

4) Nouveaux instruments

- a) **Tour Solaire** de Meudon et **DPSM**
(Observations coordonnées)
- b) **Spectro-Tourelle** du Pic du Midi
- c) Recherche de Sites et préparation de **THEMIS**

2) Couronne

a) Eclipses

1969 SoPh **Simon G.**

*Le **rayonnement X** du soleil lors de l'éclipse du 20 Mai 1966*

Satellite Explorer 30 ; 3 sources X ; obs ; collab. R. Michard

1972 SoPh **Z. Mouradian**

Raies nouvelles observées lors de l'éclipse du 7 Mars 1970

(zone de transition chrom. Couronne FeVI, KVI, ...)



Z. Mouradian et J. Pasachoff
à l'éclipse d'Oaxaca (Mexique)

b) Coronographe (Pic du Midi)

1974 A&A Fort, B., **Martres, M.J.**,

*On the Structure of the Quiet Corona near **Quiescent Prominences***

FeX et FeXIV (coronographe Pic du Midi)

1968 - 1980

Programmes et instruments
(Groupe Solaire Optique)

1) Activité solaire

- a) **Surveillance** (Spectrohéliographe et héliographes)
- b) Méthodes de mesure du **champ magnétique**
- c) **Taches et facules**
- d) **Régions actives et éruptions** ; **modélisations** chromosphère-couronne
(magnétographe de Meudon, spectros et coros du Pic du Midi,
spectros X et radioastronomie, collaborations internationales)

2) Couronne (coronographes, éclipses et sondes spatiales)

3) Structures fines

- a) **Bord solaire** : **spicules** et **protubérances**
(Pic du Midi et sondes spatiales)
- b) **Disque** : **granulation, oscillations**
(Pic du Midi, Sac Peak)

4) Nouveaux instruments

- a) **Tour Solaire** de Meudon et **DPSM**
(Observations coordonnées)
- b) **Spectro-Tourelle** du Pic du Midi
- c) Recherche de Sites et préparation de **THEMIS**

3) Structures fines :

a) Chromosphere au bord : spicules et protubérances

1974 IAUS R. Michard (présenté J. Rösch)

Spicules and their surroundings

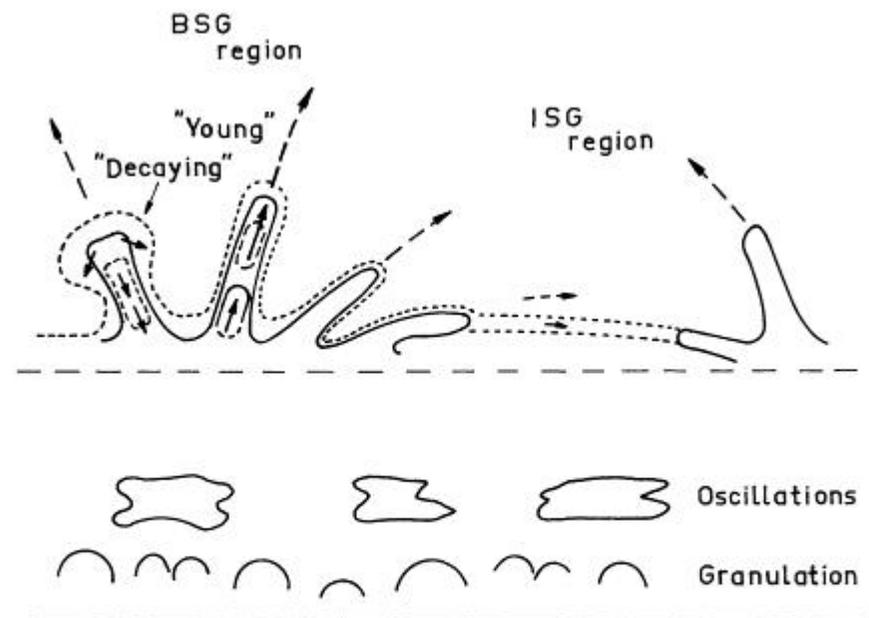


Fig. 8. Tentative summary picture of the chromospheric structure, shown along a vertical cut in the solar atmosphere. A distinction has been made between 'young' and 'decaying' spicules, assuming that the two classes have systematically different velocities and brightnesses.
---→ magnetic field; → velocity; - - - limit of roughly isothermal chromosphere; - - - - - transition layer $T \approx 10^5$ K; = = Spicular material with $S(H\alpha) > 0.2$; and ~ ~ ~ spicular material with $S(H) \approx 0.1$.

1975 SoPh **Mouradian, Z., Simon, G.**

*Chromospheric **bubbles***

(Observations R.B. Dunn, Sac Peak)

1976 SoPh **Z. Mouradian, I. Soru-Escaut**

*Results of observations of chromospheric **spicules in K and D3 lines***

(9m Pic du Midi)

1977 SoPh **Mouradian, Z.; Leroy, J. L.**

*Temperature and microturbulence in the outer regions of **prominences***

(9m Pic du Midi)

Données spatiales

1979 A&A **Mouradian, Z.; Martres, M.-J.; Soru-Escaut, I.**

*Horizontal temperature gradient measurements and the condensation of a solar **prominence***

Skylab raies EUV

b) Disque : granulation

1968 AnAp **P. Mein**

Etude spatio-temporelle de la granulation solaire

Amélioration des images déformées par l'agitation atmosphérique

(correction des distorsions)

1970 A&A **F. Magnant**

Une tentative de mesure de l'assombrissement à l'extrême bord solaire

au moyen du profil du bord lunaire, lors de l'éclipse du 20 mai 1966

1971 A&A **M. Lévy**

Photometric analysis of solar granulation corrected for the blurring-effect

Données d'éclipse 1966 (Pic du Midi, Rösch et Hugon)

Bord lunaire → fonction d'étalement

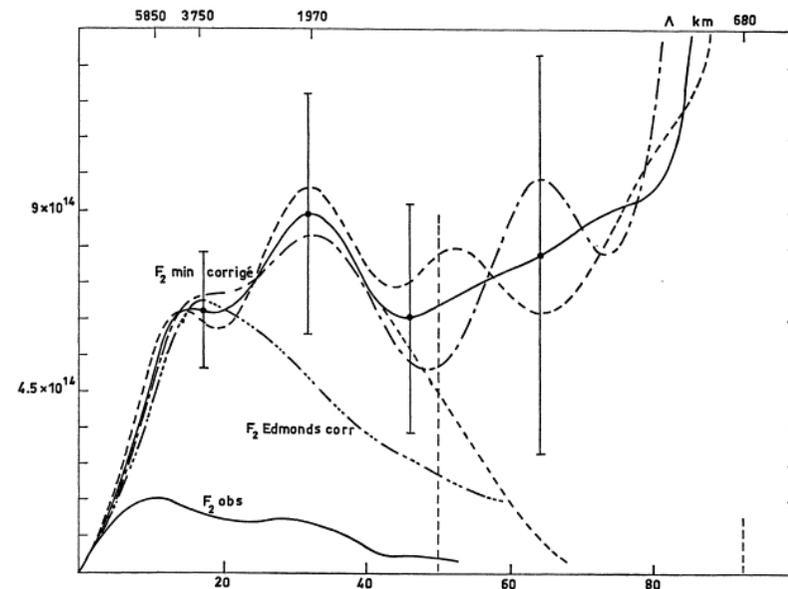


Fig. 6. Spectres $F_s(k)$ corrigés de la fonction d'étalement. Le spectre $F_s(k)$ est donné en unités absolues $\text{erg}/(\text{s cm}^2 \text{sterad } \text{Å})^2/\text{km}^{-1}$; — $F_s(k)$ observé et corrigé, pour la moyenne de 10 enregistrements; $F_s(k)$ corrigé pour la moyenne des 5 enregistrements; - - - $F_s(k)$ corrigé, pour la moyenne des 5 autres enregistrements; - · - · $F_s(k)$ corrigé d'Edmonds (1961)

1974 Thèse **M. Lévy**

*Contribution à l'étude de la **granulation** solaire*

1974 A&A **M. Lévy**

***Temperature fluctuations** in solar granulation*

Modèle des cellules convectives →

temps de relaxation des fluctuations de température

< < **durée de vie** des granules

→ la granulation est essentiellement de nature **convective**

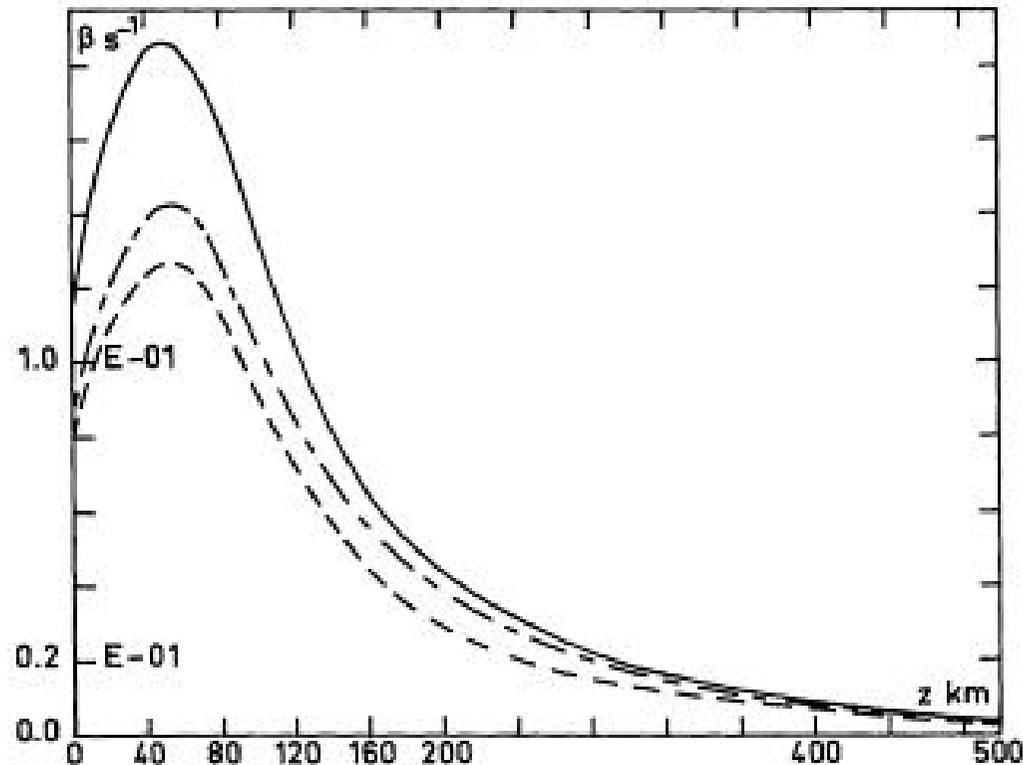


Fig. 8. Variation of β with k ; $x = y = 0$, $\alpha = 0$, $V(z) = 0$, $A = 0.1$. — pour $k = 2\pi/1000$; - - - - pour $k = 2\pi/2000$; - · - · pour $k = 2\pi/4000$

c) Disque : oscillations

Suite des travaux sur les ondes stationnaires de 300s

1971 A&A **M. Blondel**

*Statistical Compared Studies of **Velocity-Fields** in a **Facular** Region and in **two Quiet** Regions of the Photosphere*

Ondes **non stationnaires** dans la région **faculaire** vers 300 s

1971 A&A **N. Bel, P. Mein**

*Propagation of **magneto-acoustic waves** along the gravitational field in an isothermal atmosphere*

Le champ magnétique fait décroître la fréquence de coupure
(ondes stationnaires / progressives)

1977 A&A **N. Bel, B. Leroy**

Analytical study of Magneto-acoustic Gravity Waves

1979 A&A **B. Leroy, N. Bel**

*Propagation of waves in an atmosphere in the presence of a **magnetic field***
I – The method

Propagation d'ondes dans la **chromosphère**

1971 SoPh **P. Mein**

*Inhomogeneities in the solar atmosphere from Call **infra-red lines***

Fonctions de poids → Response functions

Altitudes de formation de la phase **Différentes** suivant
raies / Intensités / vitesses

1975 SoPh **P. Mein, N. Mein**

*The hydrogen Balmer lines and the structure of the **quiet solar chromosphere***

Données Sac Peak (bourse JILA de P. Mein)

Densités et **microturbulence modèle** chromosph. $2000 < h < 6000$ km

1977 **B. Schmieder** (Thèse)

*Transport d'énergie par les **ondes avec dissipation radiative**
dans la **photosphère** solaire*

1972 A&A *Fluctuations of temperature and density in the photosphere
Données **Tour Solaire** Meudon (raies FeI et MgI)*

1976 SoPh ***Wave propagation** in the photosphere
Données **Sac Peak***

1976 col. Nice *Interpretation of photospheric observations by **wave theory***

1977- 1978 SoPh *Linear **hydrodynamical equations** coupled with
radiative transfer in a non-isothermal atmosphere*

I. Method

*II. Application to solar **photospheric** observations*

(Publié en 1979) A&A *Waves in the low solar **chromosphere***

Vitesse raie MgI à deux $\Delta\lambda$ différents

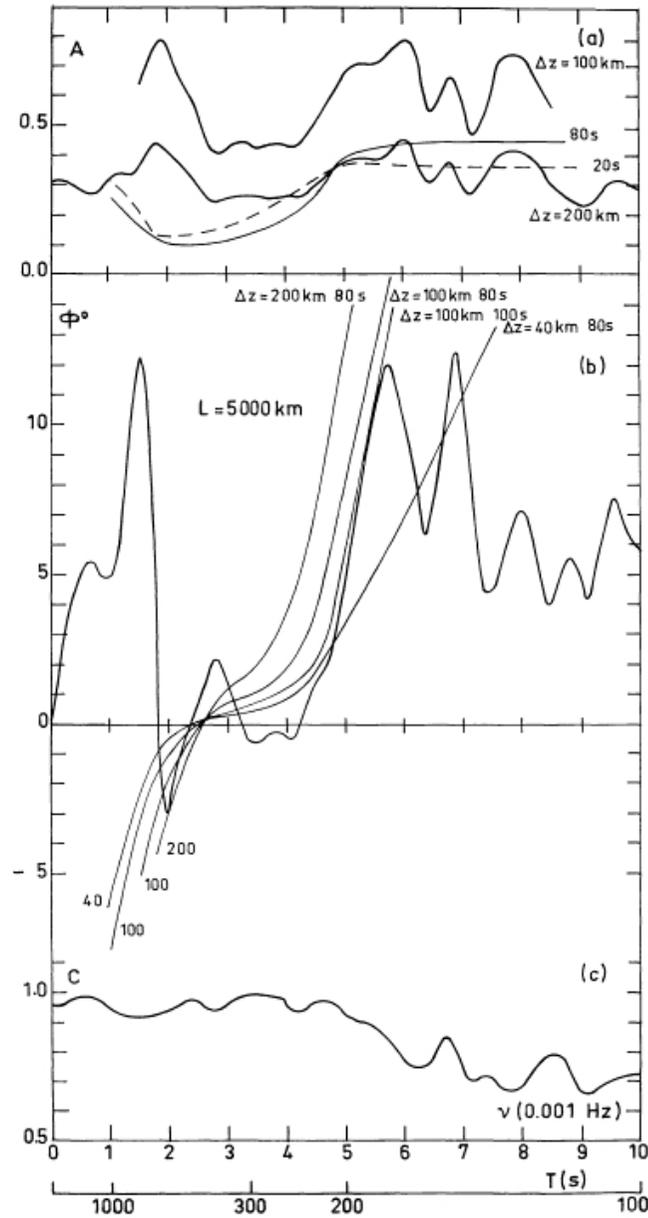


Fig. 5. Amplitude ratio (a), phase shift (b) and coherence (c) for a pair of velocities in the Mg I line $[V(8)/V(6)] - \tau_{5000} = 0.08 - 0.13$. Solid lines are observational results, light or dashed ones are theoretical results obtained with $L = 5000$ km for different values of Δz and β^{-1} .

vitesse raies MgI / FeII

Amplitude
Phase
Cohérence

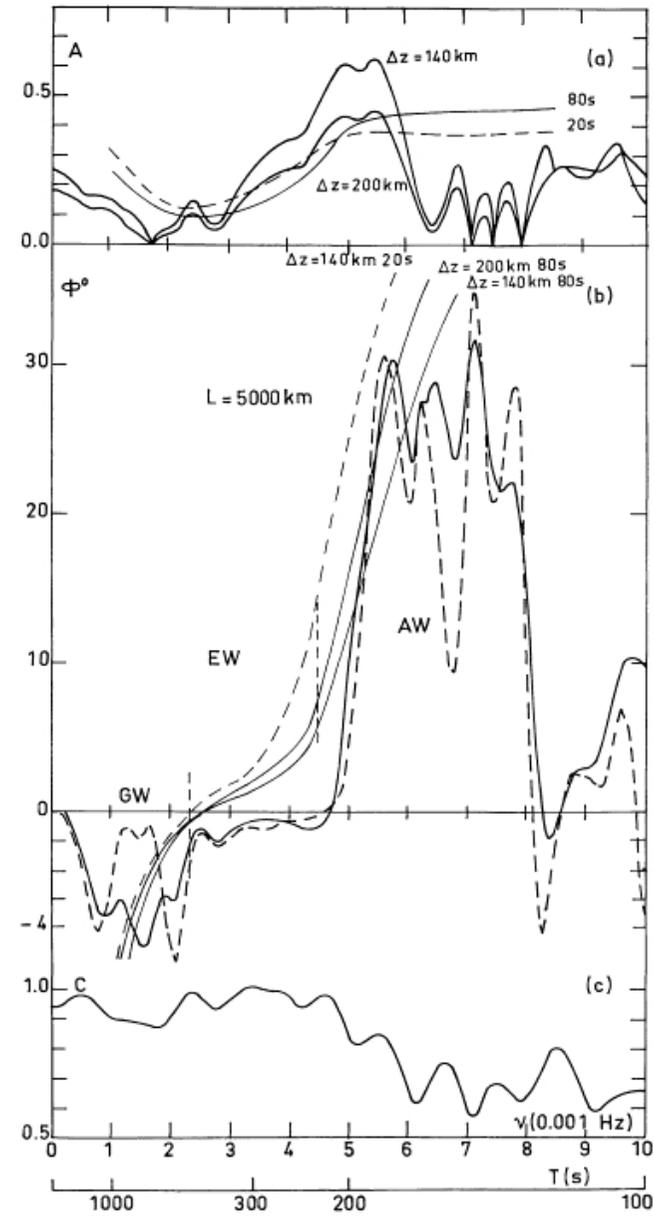
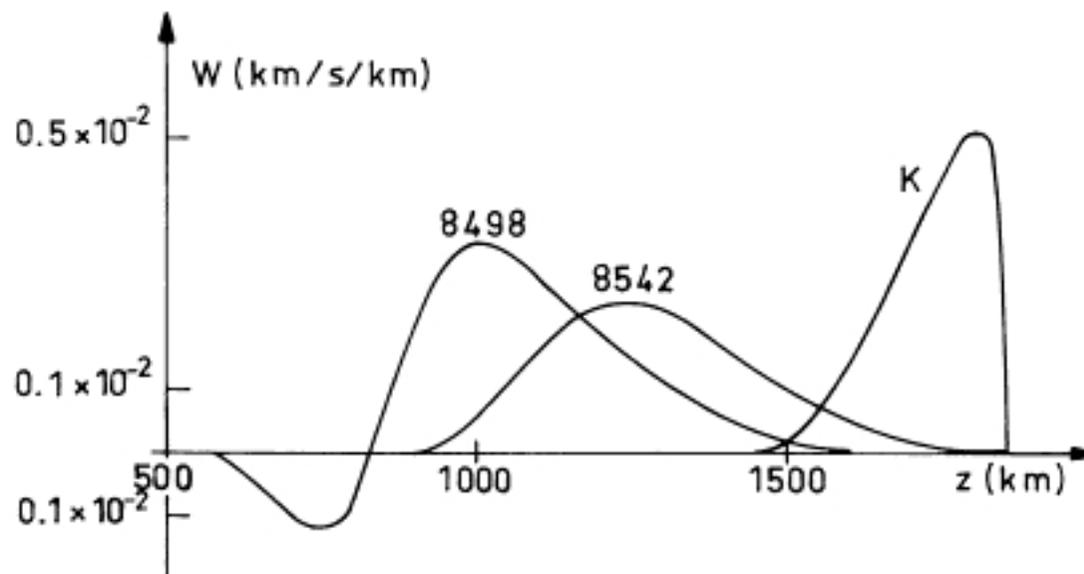


Fig. 6. Amplitude ratio (a), phase shift (b) and coherence (c) for the Mg I line and the Fe II line $[5172V(6)/5172V(6)]$ in (b), the heavy solid curves are observational results, the heavy dashed curve represents the phase obtained with a statistical analysis on half of the scanned spectra. The light curves refer to theoretical results with the values of parameter Δ and β^{-1} indicated. Three frequency ranges are indicated as GW for gravity, EW evanescent, and AW for acoustic waves.

- 1980 Thèse **N. Mein**
- 1976 SoPh **N. Mein, P. Mein** *Velocity waves in the quiet solar chromosphere*
- 1977 SoPh **N. Mein** ***Wave propagation** in the quiet solar **chromosphere***
- 1978 SoPh **N. Mein** *Relation between the mode of oscillations and the velocity amplitude of chromospheric waves*
- 1979 SoPh **J. Provost, N. Mein** *Wave **reflections** in the solar atmosphere*
- 1980 jfss conf **P. Mein, N. Mein, B. Schmieder** *Observational proof of the **inefficiency** of the **chromospheric heating** by **acoustic waves***
- 1980- 1981 A&A **N. Mein, P. Mein, B. Schmieder** ***Mechanical flux** in the solar chromosphere*
- I. Velocity and temperature **weighting functions** for CA II lines
 - II. Determination of the mechanical flux
 - III. Variation of the mechanical flux



Fonctions de poids

(programmes de transfert
prêtés par **S. Dumont**)

Fig. 3. Weighting functions $W(z)$ for Doppler shifts in the 3 lines 8498, 8542, and K (HSRA model).

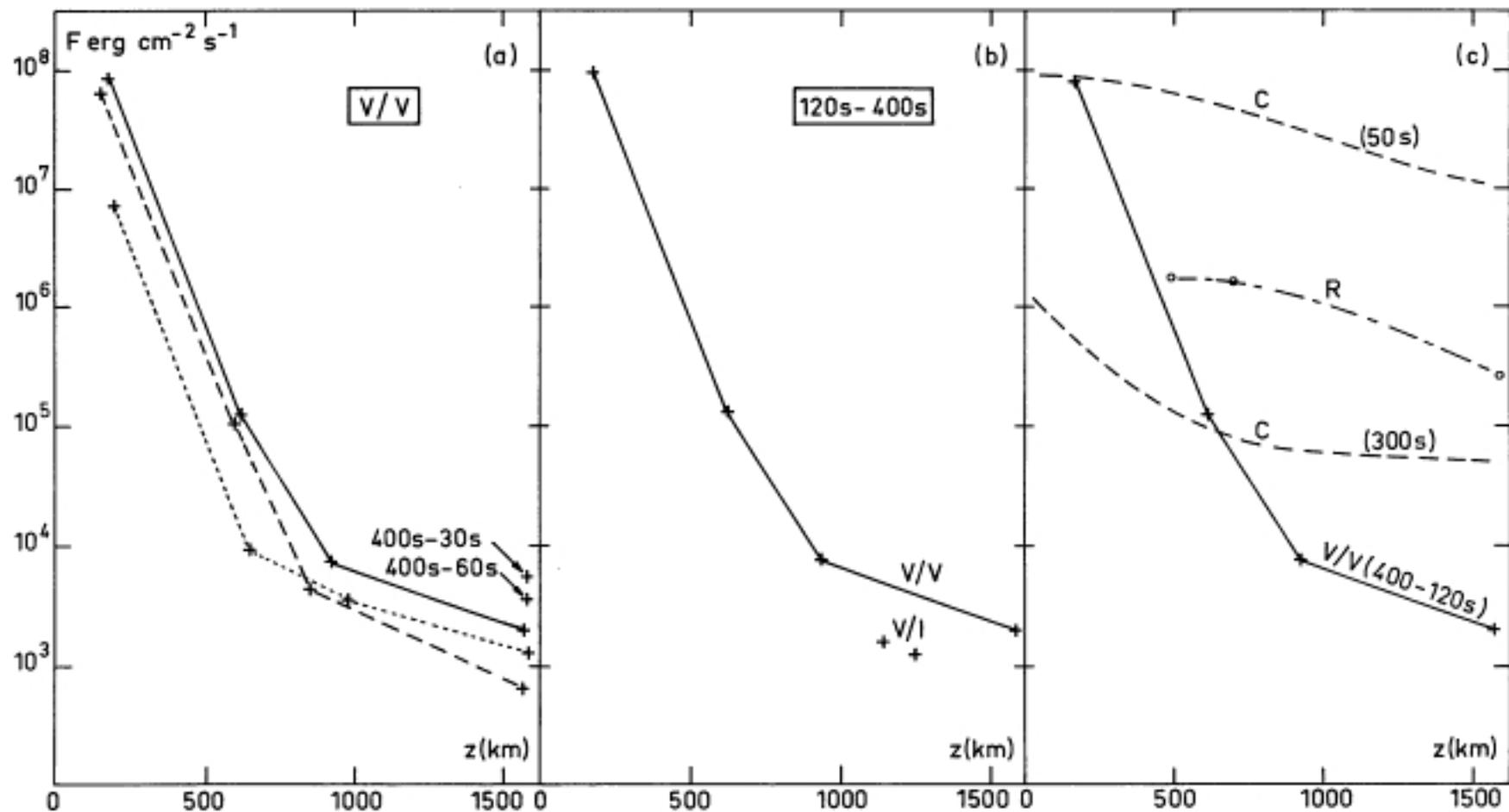


Fig. 3. a Mechanical flux (V/V) versus the altitude integrated over different period ranges: — 120–400s, --- 200–400s, ... 120–200s. For 1500 km, two more ranges are considered: 60–400s, 30–400s. The altitude value is averaged over the integration range. **b** Mechanical flux obtained by two calculation methods (V/V) and (V/I). **c** Mechanical flux (V/V) integrated over 120–400s compared to mechanical theoretical flux (- - -) by dissipation of shock waves (Stein and Leibacher, 1974) and to radiative losses (- · - · -)

Le **flux acoustique**, fortement décroissant avec l'altitude, **ne peut chauffer la chromosphère et la couronne**

1968 - 1980

Programmes et instruments

(Groupe Solaire Optique)

1) Activité solaire

a) **Surveillance** (Spectrohéliographe et héliographes)

b) Méthodes de mesure du **champ magnétique**

c) **Taches et facules**

d) **Régions actives et éruptions** ; **modélisations** chromosphère-couronne
(magnétographe de Meudon, spectros et coros du Pic du Midi,
spectros X et radioastronomie, collaborations internationales)

2) Couronne (coronographes, éclipses et sondes spatiales)

3) Structures fines

a) **Bord** solaire : **spicules** et **protubérances**
(Pic du Midi et sondes spatiales)

b) **Disque** : **granulation, oscillations**
(Pic du Midi, Sac Peak)

4) Nouveaux instruments

a) **Tour Solaire** de Meudon et **DPSM**
(Observations coordonnées)

b) **Spectro-Tourelle** du Pic du Midi

c) Recherche de Sites et préparation de **THEMIS**

4) Nouveaux instruments

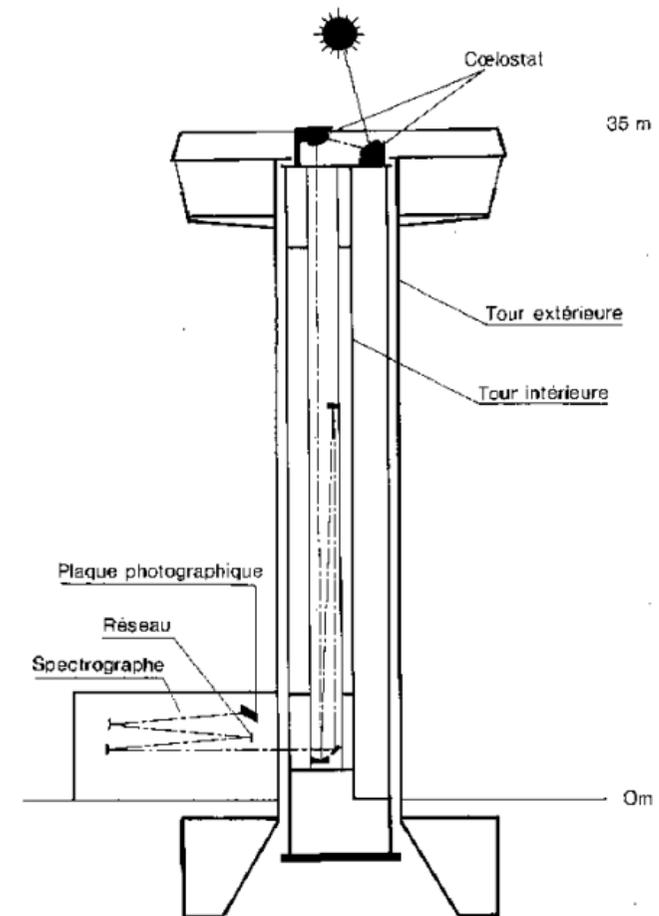
a) La Tour Solaire de Meudon

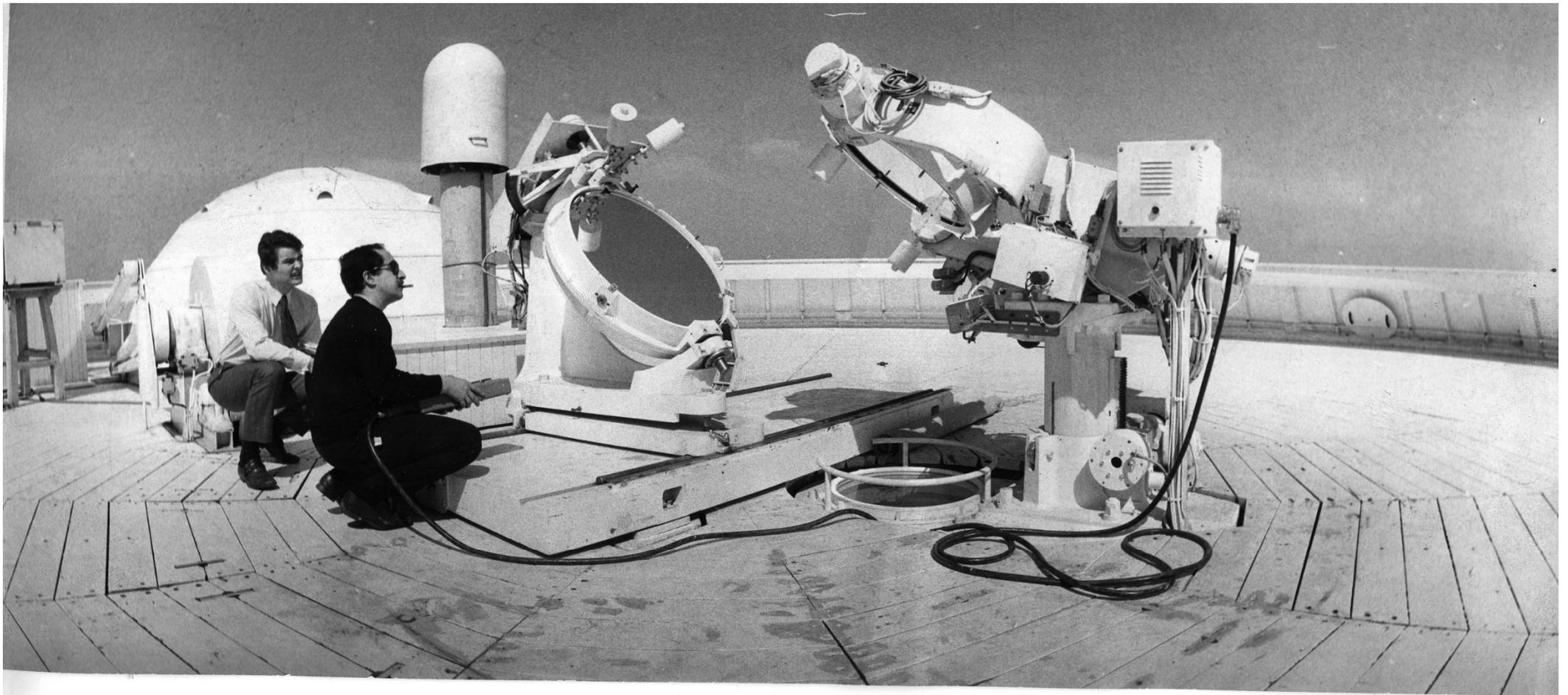
Projet de château d'eau + théodolite + télescope solaire

1967 **R. Michard** et **G. Wlérick**

Hauteur 35 m (chauffage du tube vertical → haute résolution **spatiale**)

Spectrographe 14 m (haute résolution **spectrale**), ouverture 60 cm
(Thèse Ing. **A. Miguel**)





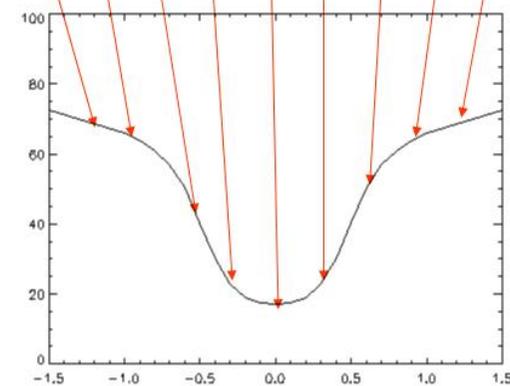
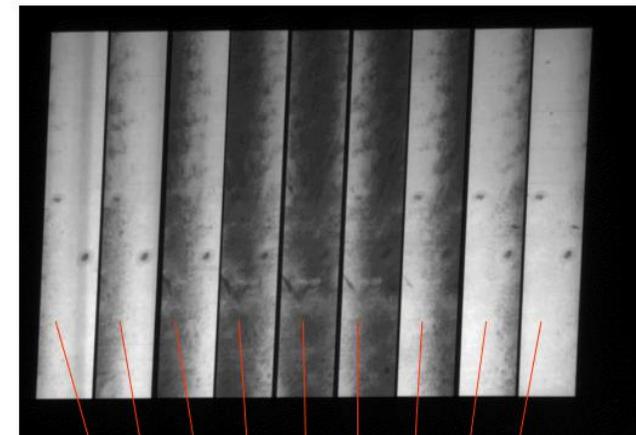
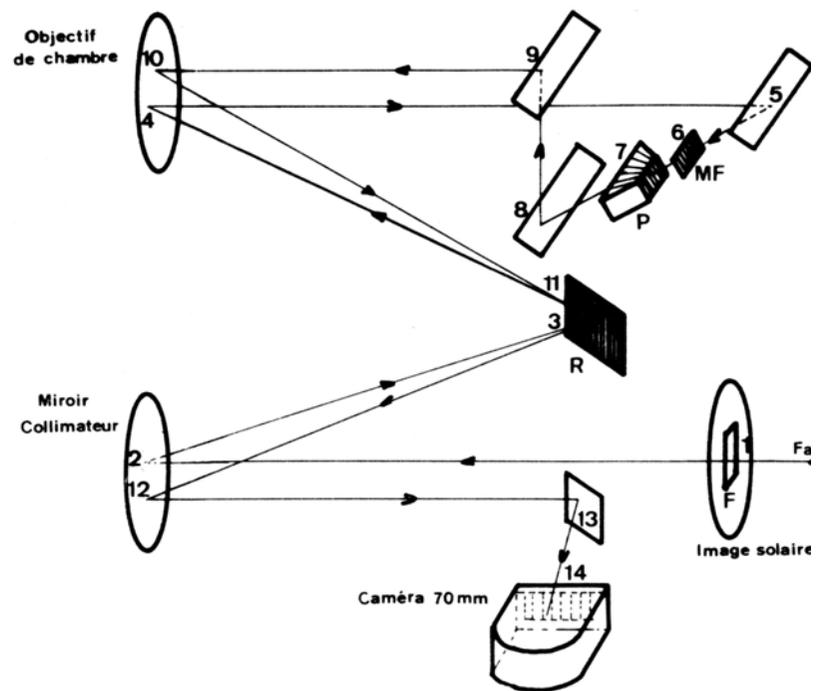
Coelostat sur la terrasse de la tour solaire à Meudon.
Juillet 1970
Roland Hellier en chemise blanche et Alain Miguel en noir.

Le spectro Double Passage Soustractif Multicanal (DPSM) de la Tour Solaire de Meudon

La **spectro-imagerie** permet un suivi précis des cibles solaires
1972 SoPh **P. Mein, M. Blondel**

A **Subtractive Double Pass Spectrograph** for solar observations (2 canaux)
1977 SoPh **P. Mein**

Multichannel Subtractive spectrograph and filament observations (9 canaux)
(Collaboration **C. Coutard, R. Hellier**)



Le DPSM de Meudon

- l'étude des filaments

1980 jfss **Malherbe, J. M.**; Martres, M. J.; Mein, P.; Schmieder, B.; Soru-Escaut, I.
Motions and Oscillations in Filaments

- les observations coordonnées Radio-Optiques

1978 pfs1 conf Toulouse **P. Mein, M-J. Martres, I. Soru-Escaut**
The Evolution of a transient H α Feature probably associated with a Type III Burst

- les observations coordonnées Sol-Espace

1982 A&A **P. Mein, G. Simon, J.C. Vial, R.A. Shine**
Mass Motions in the Solar Chromosphere and Transition Zone
H α (DPSM Meudon) et CIV (UVSP,SMM) du 9/10/1980

OBSERVATIONS

SOLAIRES

COORDONNEES

MAI-JUIN 1978



Légende des tableaux et définition sommaire des instruments

Abréviations utilisées dans les tableaux	Instruments	Implantation	λ	fréquence des observations	Champ observé
Spectro de référence	Spectrohéliographe Spectrohéliographe	Meudon Meudon	H α (K ₃) (k _{1V}) + k _{1V}	1 j. 1 j. 1 j.)) 32' x 32') portions du disque associées aux observations Gd. Sidé.
Héliog.	Héliographe	Meudon St Michel	H α centre H α centre	1/mn 1/mn	32' x 32' 32' x 32'
Héliog. λ var.	Héliographe à longueur d'onde variable	Meudon	(H α , (H α + 0,7 (H α - 0,7	1/mn	20' x 15'
D.P.S.M.	Double passage soustractif multicanal	Meudon (Tour)	9 canaux autour d'H α	1/10s	8' x 1' (n fois)
Grand Sidé.	Spectrographe photographique à balayages pour la mesure des champs magnétiques et des vitesses photosphériques	Meudon	5250 5576 simultanément	de 1'ordre de 5 mn	5' ou plus x 5'
Pic du Midi	Héliographe	Pic du Midi	5800 près de 3933	1/mn	2' x 1'30
Oslo	Spectrographe (balayages)	Haruesta (Norvège)	K, H α , D ₃	5 mn	
R.H.	Radiohéliographe métrique	Nançay	1m 77	100 Hz	32' x 32'
Bordeaux	Interféromètre millimétrique	Bordeaux	8mm		15' x 15'
Bonn	Grand radiotélescope	Eiffelsberg	2cm 8		
OSO 8	Spectromètre multicanaux UV	piloté par le L.P.S.P.	H, K, h, k, L α , L β OVI simultanément	82 s	2'75 x 2'5

b) Le spectro-tourelle de 8m au Pic du Midi

1980 jfss conf **Mouradian, Z.**; Chauveau, F.; **Colson, F.**; Darre, G.; Kerlirzlin, P.; **Olivieri, G.**
The New Solar Spectrograph at Pic du Midi Observatory
(Lunette J. Rösch,obj. 50 cm, **hautes résolutions spatiale et spectrale**)



et son DPSM

1980 jfss conf **P. Mein**

Multi-Channel Subtractive Double Pass spectrograph

c) La recherche de sites et JOSO (Joint Organization for Solar Observations)

En 1969 **R. Michard** propose un Laboratoire d'Astronomie Solaire **Transportable** (LAST) avec tour et télescope de 45cm pour profiter de meilleurs sites.

En 1969 naissance de **JOSO** , **projet européen** pour

- rechercher un site (méditerranéen) pour qualité d'images et continuité
Participation Meudon : **G. Olivieri, G. Brigardis**
- installer un observatoire commun
- ultérieurement construire un très grand instrument européen

1975 : **projet** de grand télescope français **THEMIS** par **J. Rayrole**
(Télescope Héliographique pour l'Etude du Magnétisme et des Instabilités Solaires, sigle proposé par R. Michard)

Participation active des membres du DASOP (**Comité THEMIS**)

Site des **Canaries** décidé en 1979

C'est à Tenerife qu'ont été construits et exploités par le DASOP

- un **DPSM** sur le **télescope VTT allemand** (1991)
- le grand télescope **sans polarisation THEMIS** (premières observations 1997)

Le télescope THEMIS à Tenerife (1997)



Conclusion

R. Michard a su exploiter tous les atouts dont il disposait pour développer la recherche en physique solaire et fonder un groupe important à l'observatoire de Meudon :

- Compétences acquises à l'IAP dans la **modélisation des atmosphères**
- en même temps qu'une grande expérience des **observations** (éclipses et Meudon)
- Mises à profit de l'**héritage** de B. Lyot et L. d'Azambuja, qui se poursuit encore aujourd'hui
- Développement de **nouveaux instruments** et recrutement de jeunes chercheurs :
 - Spectrographes à Meudon et au Pic du Midi
 - Magnétographe de Meudon, ancêtre de Thémis
 - Tour Solaire
- permettant d'aborder de nombreux **domaines de la physique solaire**
 - activité solaire, taches, éruptions, structures fines, oscillations, structure coronale
- grâce au développement de **plusieurs équipes**
- et aux collaborations avec la **radioastronomie** et les **observations spatiales**.

Après son œuvre étendue et multiple en **Physique Solaire**,
Raymond Michard fut le premier **Président de l'Observatoire de Paris**,
se consacra à l'**Observatoire de la Côte d'Azur**,
et à la **Physique des Galaxies**.....

Merci Raymond Michard !