



Mise en évidence de La granulation Solaire à 2000 Å

Jacques-Emile Blamont, G. Carpentier

► To cite this version:

Jacques-Emile Blamont, G. Carpentier. Mise en évidence de La granulation Solaire à 2000 Å. Solar Physics, 1967, 1 (2), pp.180-190. 10.1007/BF00150853 . insu-03523513

HAL Id: insu-03523513

<https://insu.hal.science/insu-03523513>

Submitted on 12 Jan 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MISE EN ÉVIDENCE DE LA GRANULATION SOLAIRE À 2000 Å

J. E. BLAMONT et G. CARPENTIER

*Service d'Aéronomie du CNRS,
Verrières-le-Buisson*

(Reçu le 28 octobre 1966)

Résumé. Huit photographies monochromatiques ($\lambda = 2000 \text{ Å}$) au bord du soleil sont analysées en vue de mettre en évidence la granulation dans le domaine ultra-violet lointain. La fenêtre spectrale est définie par deux filtres interférentiels qui donnent une bande passante à mi-hauteur de 125 Å . Ces clichés de haute résolution ont été obtenus en ballon stratosphérique à une altitude de $30\,500 \text{ m}$ en profitant d'une fenêtre de transparence atmosphérique et en utilisant un télescope Cassegrain de 20 cm d'ouverture dont la résolution atteint $1''$. Ce télescope était porté par un dispositif pointeur de soleil dont la stabilité à court terme était meilleure que $2''$. Les clichés ont été pris à intervalles de 210 secondes avec un temps de pose de 0.25 seconde. On observe d'une part des variations de brillance grossières de largeur comprise entre $10''$ et $20''$ qui sont interprétées comme microfacules chromosphériques de durée de vie supérieure à $1/2$ heure. On observe d'autre part une granulation dont la distribution densitométrique pour laquelle on a calculé les fonctions de corrélation et de structure présente une corrélation limitée à une distance angulaire de $4''$.

Il existe une fenêtre atmosphérique entre l'absorption de l'ozone et celle de l'oxygène de 1900 à 2100 Å où l'absorption de la lumière solaire observée vers 30 km d'altitude ne doit pas dépasser 50% (BREWER et WILSON, 1967), c'est pourquoi nous avons poursuivi un programme d'observations solaires à partir de ballons (BLAMONT, 1959). La Figure 1 représente l'intensité solaire disponible en fonction de l'altitude d'observation exprimée par la pression en millibars d'après Brewer et Wilson.

Nous avons obtenu des photographies du soleil avec un télescope placé à bord de la nacelle stabilisée, qu'a fabriquée la Compagnie des Compteurs sur un contrat du Centre National d'Etudes Spatiales (BIZOUARD *et al.*, 1965, 1966).

La nacelle est suspendue à un ballon tétragonal en polyéthylène d'un volume de $40\,000 \text{ m}^3$ gonflé à l'hydrogène. Elle doit permettre à notre instrument de pointer le centre du soleil avec une précision de l'ordre de 20 secondes d'arc. Les éléments moteurs du pointage proviennent des accélérations des roues d'inertie pour deux axes perpendiculaires (hauteur et verticale locales), et d'un pivot activé vertical pour l'azimut. Le mouvement de deux masselottes, déplaçant la position du centre de gravité, permet de désaturer les roues d'inertie.

Le pointage de la nacelle s'obtient en deux phases successives:

(1) L'acquisition dure 30 minutes: à l'aide d'un magnétomètre qui utilise le champ magnétique terrestre puis d'un gyroscope le soleil est amené dans le champ du capteur optique solaire (25° carré).

(2) Le pointage fin commence grâce à une minuterie et prend environ une minute. Les capteurs solaires sont un ensemble de cellules photoélectriques placées derrière des lames de rasoir situées dans le plan local d'un objectif. Il existe un capteur pour la

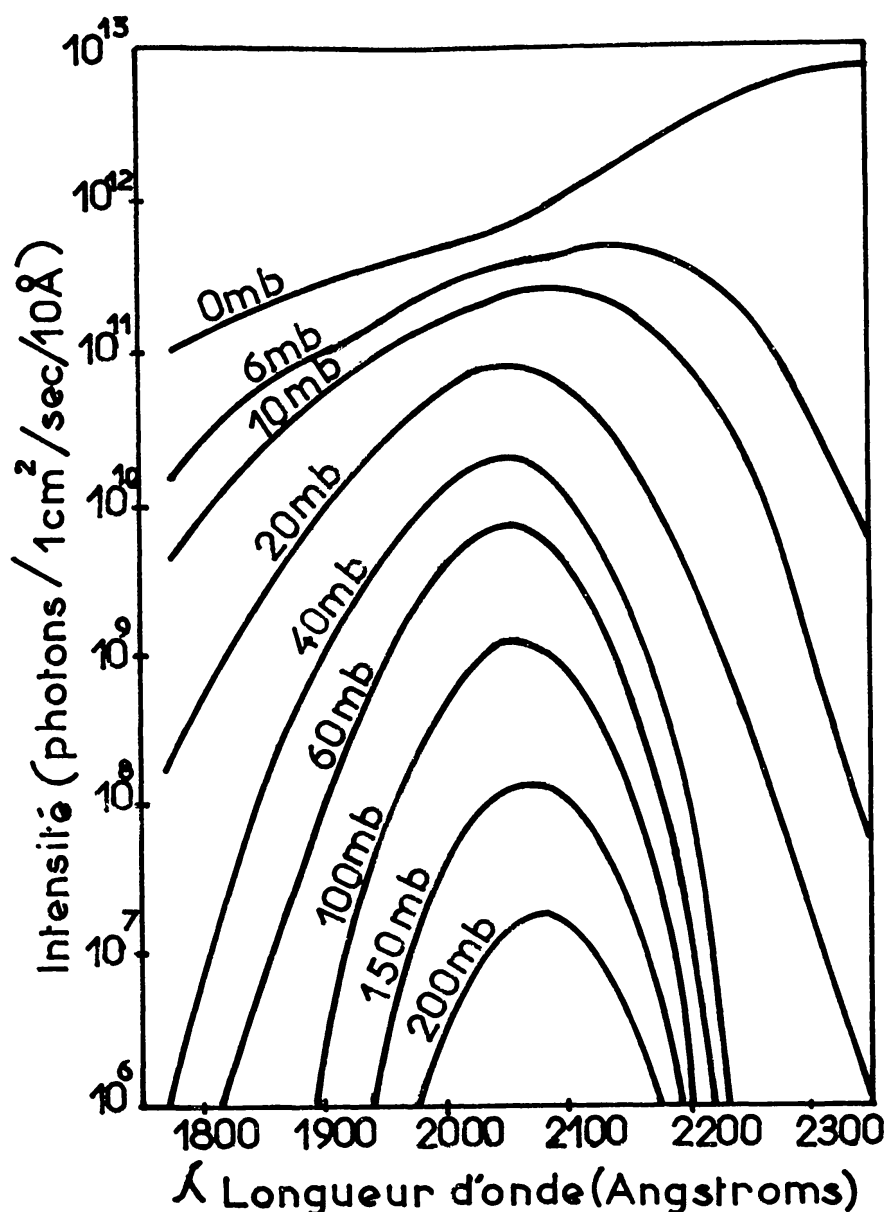


Fig. 1. Intensité du rayonnement solaire direct entre 1775 et 2300 Å calculée à 9 niveaux de pression (représentation schématique) d'après Brewer et Wilson.

hauteur et un pour l'azimut. Le troisième élément de commande pour la verticale locale est le même gyroscope que celui de l'acquisition.

Le lancement de notre expérience était le premier vol de la nacelle. Il était donc nécessaire, pour vérifier son fonctionnement, non seulement d'obtenir la position des instruments et la précision du cycle limite des servomécanismes par télémessure, mais de s'assurer avec un appareil photographique, de la qualité du pointage; c'est pourquoi il a été décidé de placer le bord solaire au milieu du champ de notre télescope.

Notre équipement qui pèse 40 kg, est constitué par un télescope Cassegrain dont les miroirs, en silice fondue, ont été calculés et taillés par J. Texereau de l'Observatoire de Paris. La Figure 2 représente le schéma optique du télescope. Le miroir primaire a un diamètre utile de 20 cm et une distance focale de 100 cm. La distance focale équi-

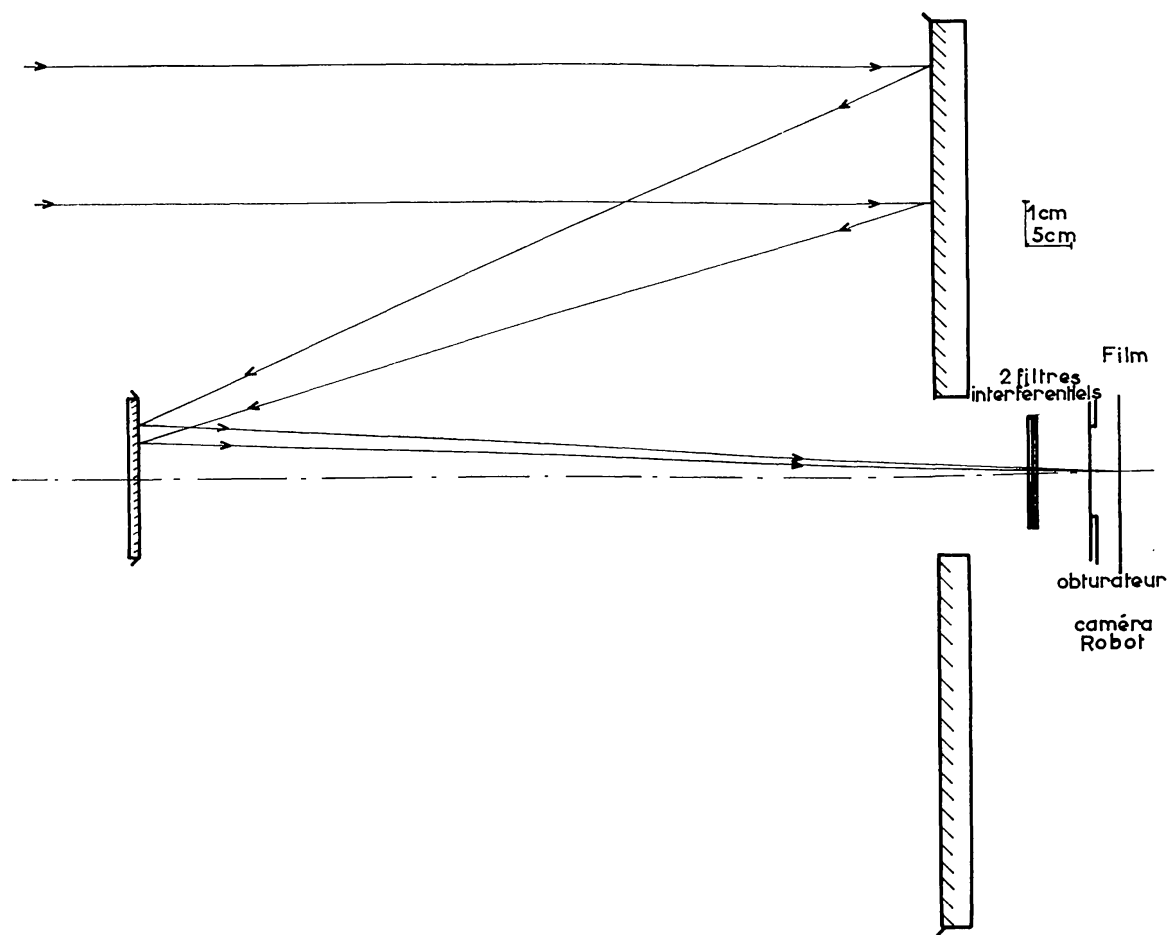


Fig. 2. Schéma de l'appareil.

valente de la combinaison est 800 cm, le champ total est de 6 minutes d'arc, de sorte qu'on ne peut obtenir tout le disque solaire. Le rayon de la tache de diffraction théorique d'un tel télescope à la longueur d'onde de $2000 \text{ \AA}$ est de 0.24 seconde d'arc.

Nous sommes cependant bien loin d'avoir obtenu cette résolution, à cause nous semble-t-il, de la déformation des surfaces optiques, en particulier du miroir secondaire, sous l'action échauffante du rayonnement incident, et de la turbulence de l'air dans le tube du télescope.

Pour réduire l'échauffement des miroirs, nous avons placé devant le télescope un grand rideau obturateur qui s'ouvrait au moment de chaque photographie et se refermait après chaque photographie. Mais il était nécessaire après chaque mouvement du rideau, donnant un choc au système, de le laisser ouvert ou fermé assez longtemps (15 secondes) afin de laisser la position de la nacelle se stabiliser. Il fallait donc 30 secondes pour obtenir une photographie et l'appareil était éclairé la moitié du temps. Il semble que ce rideau ait été insuffisant.

Quant à la turbulence dans le tube, il faut noter que les parois du télescope étaient maintenues à la température de 20°C par un thermostat afin d'éviter des changements de distance focale; d'où une différence de température avec l'air ambiant d'environ 65°C . Même si l'on reconnaît que la pression de l'air est réduite à $\frac{1}{100}$ de la pression

atmosphérique, il faut admettre que des effets de turbulence dans le tube sont induits par ces différences de température.

Le filtre est constitué par la superposition de *deux filtres interférentiels* fabriqués par Thin Films Products, dont la bande passante centrée à 2000 Å a une largeur de 150 Å. La transmission de ces deux filtres au sommet est respectivement de 10 et 15%. La Figure 3 présente la transmission T de ces deux filtres superposés et l'énergie solaire F passant à travers ces filtres en prenant pour énergie incidente la courbe de Brewer et Wilson donnée par la Figure 1, à une pression de 10 mb. F y est exprimée en photons/cm²/sec/Å.

Le film utilisé est un film 35 mm Eastman-Kodak 103ao-UV développé pendant cinq minutes dans le révélateur D 19-b.

Le temps de pose calculé à partir des résultats de la Figure 3 et de la courbe de

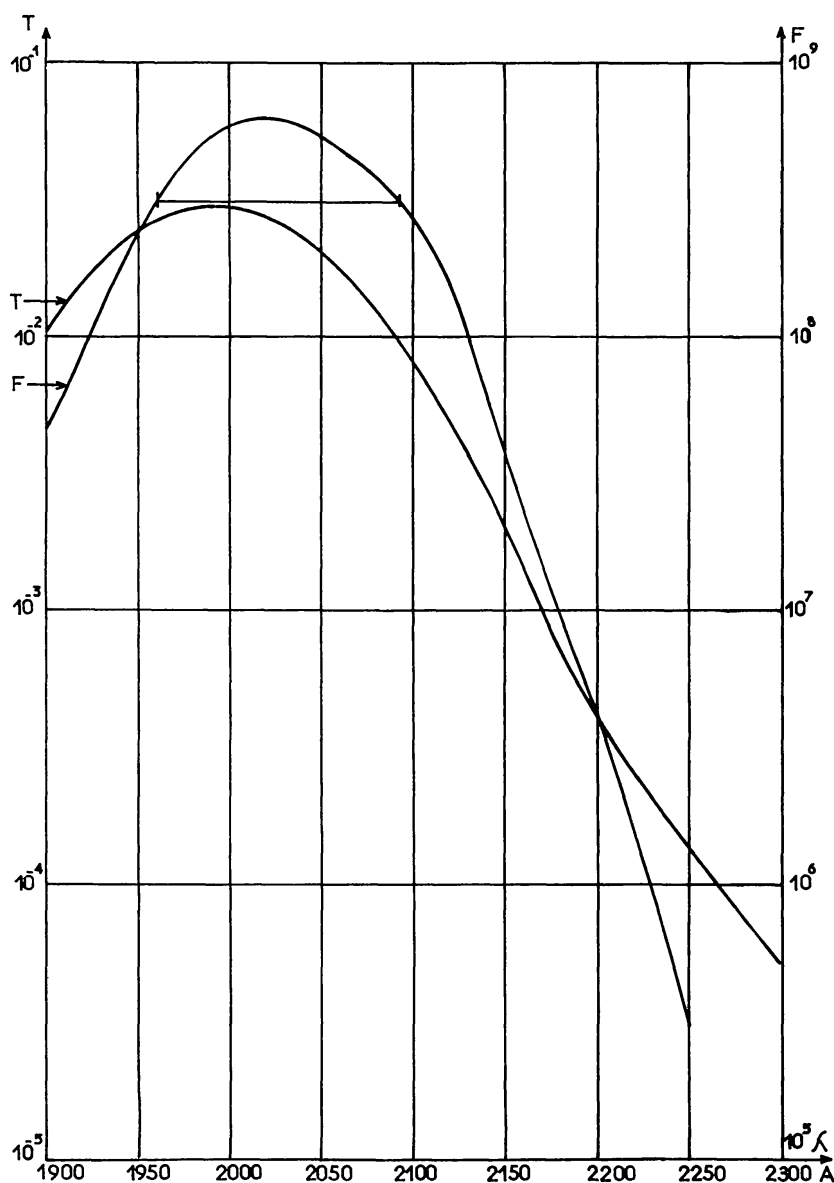
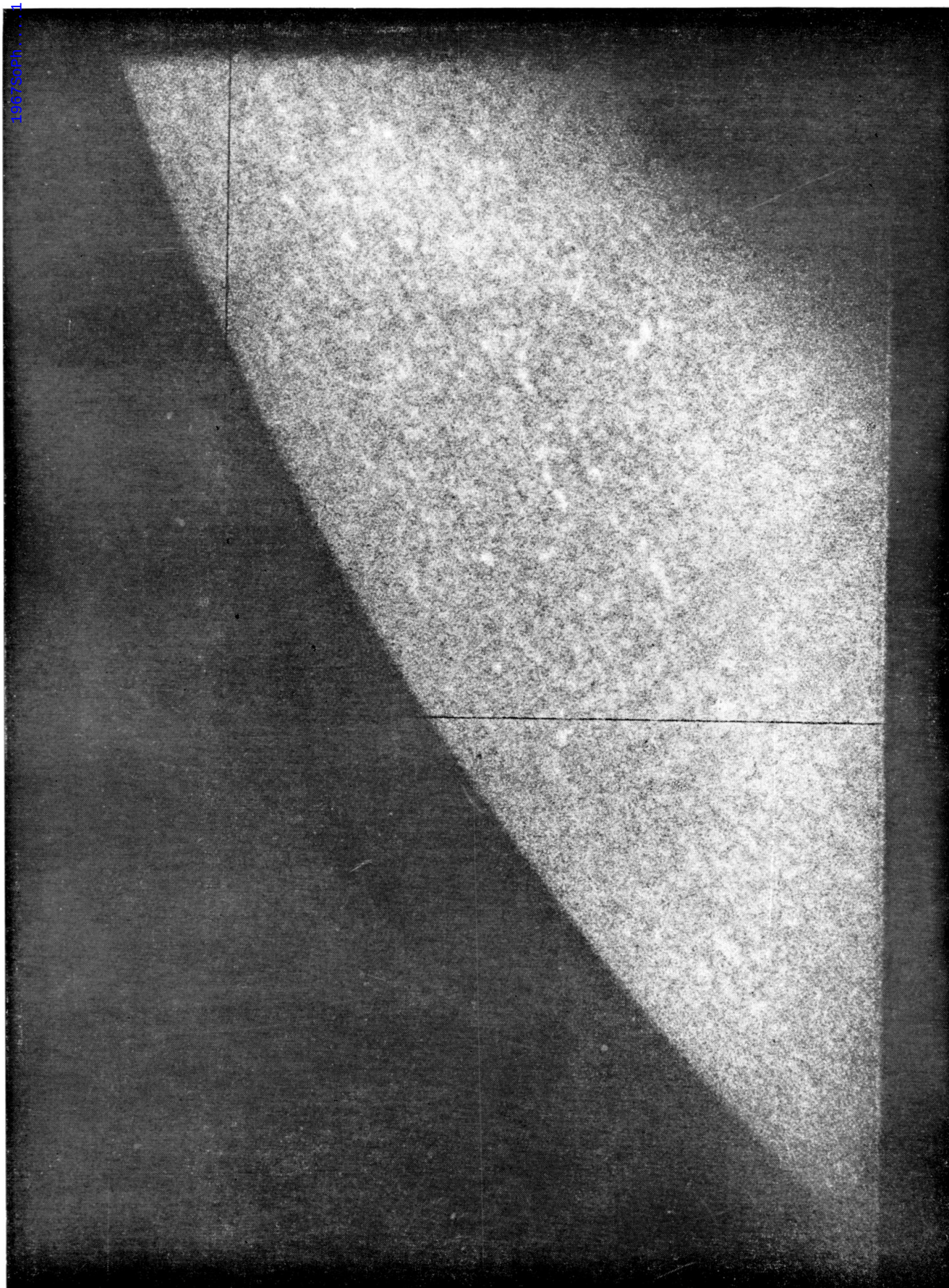


Fig. 3. Transmission totale des deux filtres interférentiels et flux incident après traversée des filtres.



sensibilité du film (LEMAIRE, 1965) et qui permettait à priori d'obtenir un noircissement moyen était de $\frac{1}{25}$ seconde.

L'appareil photographique est un "robot" dont nous avons enlevé l'objectif. Le fond arrière du télescope, la caméra, le programmeur de prises de vues et de changement de temps de pose, un enregistreur photographique SFIM destiné à détecter les pannes éventuelles, sont placés dans un caisson étanche maintenu à la pression au niveau du sol et à la température de 20 °C, et dont le hublot d'entrée est constitué par les filtres interférentiels.

Les temps de pose sont modifiés entre chaque prise de vue par l'action d'un moteur sur le bouton du changement de temps de pose du "robot". La séquence des différents temps de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{32}$, $\frac{1}{64}$, $\frac{1}{125}$, $\frac{1}{250}$ de seconde est commandée par un programmeur Brailsford.

La séquence comprend: (1) L'ouverture du rideau par un moteur, (2) Quand le rideau est ouvert complètement, le sens du moteur s'inverse et en même temps l'obturateur est ouvert puis fermé, (3) Le rideau se referme; pendant ce temps, le temps de pose est modifié par le moteur du robot, (4) etc., puis un deuxième temps de pose.

Les trois mouvements de la séquence ont une durée de 30 secondes. Puisque nous avons sept temps de pose, une séquence complète dure 3 minutes 30 secondes et les photographies obtenues avec un temps de pose identique sont distantes de 3 minutes 30 secondes. On pourrait craindre, même avec les deux filtres interférentiels que les longueurs d'onde supérieures à 3000 Å n'impressionnent le film, mais une pose de *25 minutes au sol*, sur le soleil, avec l'appareil utilisé dans ces conditions, de façon identique à son utilisation à bord, laisse le film vierge.

Le lâcher a eu lieu à Aire-sur-l'Adour, Landes, France, le 2 mai 1966 au centre de lancement de Ballons du CNES. La charge utile totale de 200 kg a plafonné à l'altitude de 30.5 km, soit une pression de 10 mb, pendant 55 minutes qui ont été consacrées à: 20 minutes de la phase finale d'acquisition, commencée avant la mise au plafond, 10 minutes de pointage fin, avant le commencement de l'expérience, et 25 minutes de pointage fin pendant lesquelles 7 cycles complets de 7 photographies ont été obtenues. Ces photographies ont été prises de 10.09 T.U. à 10.34 T.U., instant où une minuterie a déclenché la descente en parachute de l'appareillage qui a été récupéré en bon état.

Nous avons obtenu 7 photographies correctement exposées de densité 0.8 au-dessus du fond du film pour un temps de pose de $\frac{1}{4}$ sec, 7 photographies un peu sous-exposées de $\frac{1}{8}$ de sec et 7 photographies très sous-exposées à $\frac{1}{16}$ sec.

Il ne semble pas que l'effet de bougé ait beaucoup affecté la résolution. La première photographie au $\frac{1}{4}$ de seconde (1ère photographie prise) a une résolution meilleure que les suivantes. La Figure 4 est une reproduction de cette photographie.

Sur toutes ces photographies apparaissent deux sortes d'éléments différents:

D'une part des éléments brillants qu'on peut reconnaître sur toutes les photographies pendant les 25 minutes de l'expérience et dont les dimensions sont supérieures à 10 secondes et inférieures à 20 secondes d'arc. Ces éléments que nous pensons

← Fig. 4. Première photographie (temps de pose = 0.25 s).

être des *microfacules chromosphériques* paraissent plus ou moins alignés parallèlement au bord solaire, ce qui est dû à un effet de perspective et peut conduire à une augmentation quand on se déplace du centre vers le bord, de l'influence de ces éléments sur la lumière émise. Ces microfacules semblent former un réseau assez semblable au réseau chromosphérique observé dans les raies *K*. Leur durée de vie est certainement supérieure à 25 minutes puisqu'on peut les reconnaître sur toutes les photographies bien que leur aspect se soit modifié.

D'autre part une granulation photosphérique dont on aperçoit la structure malheureusement oblitérée par la mauvaise qualité du cliché.

Afin d'étudier les dimensions de cette granulation, nous avons fait au densitomètre Vassy huit enregistrements de l'intensité du disque sur la photographie de la Figure 4. Les passages rectilignes d'une longueur de 63 secondes d'arc, sont effectués à l'intérieur du champ de pleine lumière, aussi parallèlement au bord solaire que possible, avec un spot constitué d'un carré de 20μ de côté, soit 0.5 sec. Les points sont relevés tous les 10μ , soit toutes les 0.25 seconde d'arc.

A partir de ces enregistrements, on peut calculer la fonction de corrélation $F(j)$ (BLACKWELL *et al.*, 1959) et la fonction de structure $S(j)$ (TEITELBAUM, 1965) des intensités solaires.

$$F(j) = \frac{\sum_{k=1}^{k=N-j} (I_k - M)(I_{k+j} - M)}{\sum_{k=1}^{k=N-j} (I_k - M)^2}$$

$$S(j) = \frac{\sum_{k=1}^{k=N-j} (I_k - I_{k+j})^2}{\sum_{k=1}^N I_k^2}$$

où I_k est l'intensité lumineuse de chacun des N points mesurés, qui a impressionné le film au point K , I_{k+j} est l'intensité au point J , distant de K de la distance j , et

$$M = \frac{\sum_{k=1}^{k=N} I_k}{N}.$$

Remarques:

Les $F(j)$ et $S(j)$ sont reliés l'un à l'autre. Si l'on considère:

$$F(j)^* = \overline{(I_k - M)(I_{k+j} - M)}$$

$$S(j)^* = \overline{(I_k - I_{k+j})^2}$$

c'est-à-dire si l'on considère les fonctions des intensités sans les normaliser, on obtient en faisant l'hypothèse que ces fonctions sont aléatoires et stationnaires, la relation

$$F(j)^* = \frac{1}{2} S^*(j = \infty) - \frac{1}{2} S^*(j)$$

On peut donc dire que les fonctions de corrélation et de structure fournissent la même information; la fonction de structure fournit en plus $S(j = \infty)$, qui est le contraste moyen.

Nous avons tracé les huit courbes des fonctions de corrélation et de structure, et nous n'en avons retenu que cinq qui sont bien groupées. Les trois autres s'en éloignent

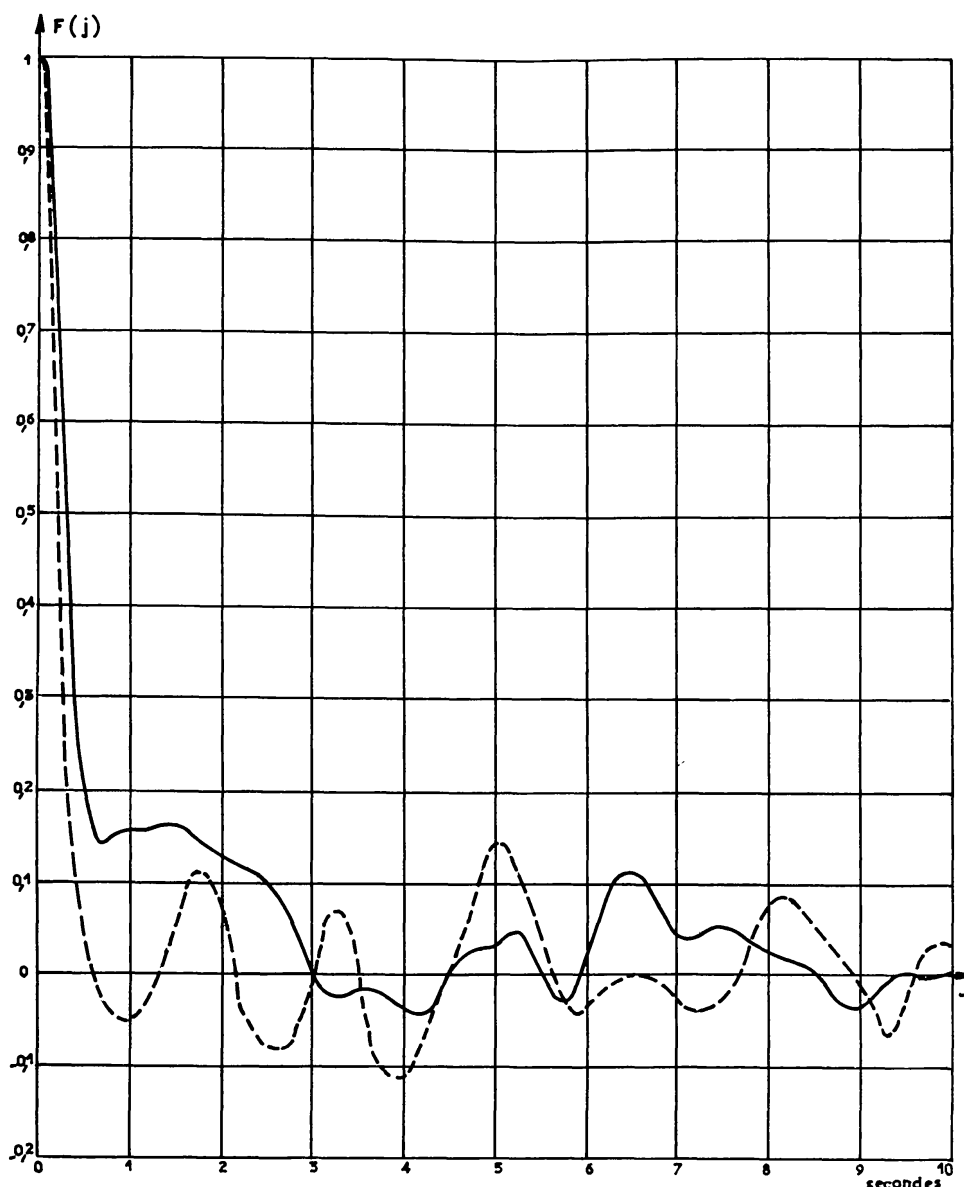


Fig. 5. Fonction de corrélation de la moyenne de cinq enregistrements photométriques.

sensiblement, et l'examen de la photographie justifie leur mise à part, puisqu'elles peuvent être contaminées par des accidents microfaculaires différents de la granulation. Par la suite nous ne ferons intervenir que les moyennes arithmétiques de ces cinq courbes.

Nous avons également exposé au laboratoire le même film provenant de la même bobine à une lumière de la même longueur d'onde avec le même temps de pose donc dans des conditions aussi identiques que possible à celles de l'expérience en vol, de façon à obtenir une densité de noircissement uniforme comparable à celle de la photographie No. 1. Nous en avons obtenu deux microdensitogrammes et avons calculé les fonctions de corrélation et de structure de ce que nous appelons le grain du film.

La Figure 5 représente la fonction de corrélation de la moyenne des cinq enregistrements de l'intensité solaire (en trait plein) et la fonction de corrélation de la

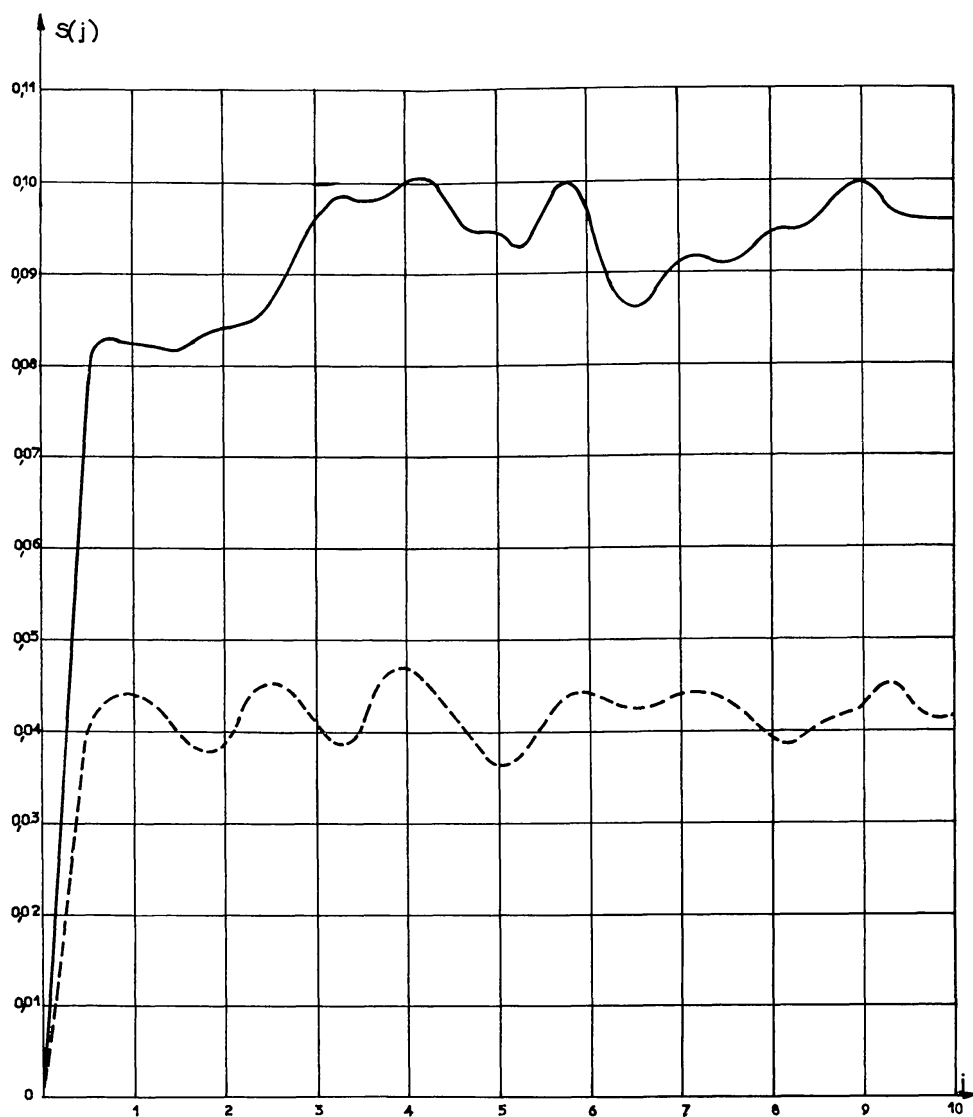


Fig. 6. Fonction de structure de la moyenne de cinq mêmes enregistrements photométriques.
Pointillé: fonction de structure due au grain photographique.

moyenne des deux enregistrements du grain du film. En abscisse est portée la distance sur le soleil j exprimé en seconde d'arc.

La Figure 6 représente les fonctions de structure correspondantes (trait plein pour l'intensité solaire et pointillé pour le grain du film).

Cette dernière figure montre que les dimensions du grain du film et de la granulation solaire ont dans les conditions de nos enregistrements photométriques (dimension du spot analyseur de 0.5 secondes d'arc) une influence du même ordre de grandeur sur la fonction de structure. Il faut isoler la part de la granulation solaire dans la courbe obtenue.

Soit la fonction de structure non normalisée

$$S(j)^* = \overline{(I_k - I_{k+j})^2} \quad (1)$$

I_k peut être considéré comme la somme des deux termes, l'un I_{k1} correspondant à l'intensité provenant du soleil, l'autre I_{k2} , terme algébrique correspondant à un effet du grain du film exprimé en intensité:

$$I_k = I_{k1} + I_{k2} \quad (2)$$

Portant cette valeur de I_k dans la définition (1), on obtient après regroupement:

$$S(j)^* = \overline{(I_{k1} - I_{(k+j)1})^2} + \overline{(I_{k2} - I_{(k+j)2})^2} + 2\overline{(I_{k1} - I_{(k+j)1})(I_{k2} - I_{(k+j)2})}$$

Puisque les deux fonctions sont aléatoires et stationnaires, les deux facteurs du terme croisé sont nuls.

Appelant $S_s(j)$ la fonction de structure de l'intensité solaire

$$S_s(j)^* = \overline{(I_{k1} - I_{(k+j)1})^2}$$

et $S_g(j)$ la fonction de structure du grain du film

$$S_g(j)^* = \overline{(I_{k2} - I_{(k+j)2})^2}$$

on obtient la relation linéaire $S_s(j)^* = S(j)^* - S_g(j)^*$.

Le fait d'avoir normalisé nos courbes en prenant un dénominateur partout égal à $\overline{(I_k)^2}$ ne change rien puisque nos $\overline{I_k}$ sont tous les mêmes.

Il suffit donc de soustraire la fonction de structure due au grain (en pointillé sur la Figure 6), de la fonction brute obtenue sur la photographie No. 1 (en trait plein) pour obtenir la fonction de structure de l'intensité solaire.

C'est ce que représente la Figure 7 où $S_s(j)$ est représentée en fonction de j . Cette courbe peut se décomposer en trois parties selon les valeurs de j : (1) au-dessous de 0.4

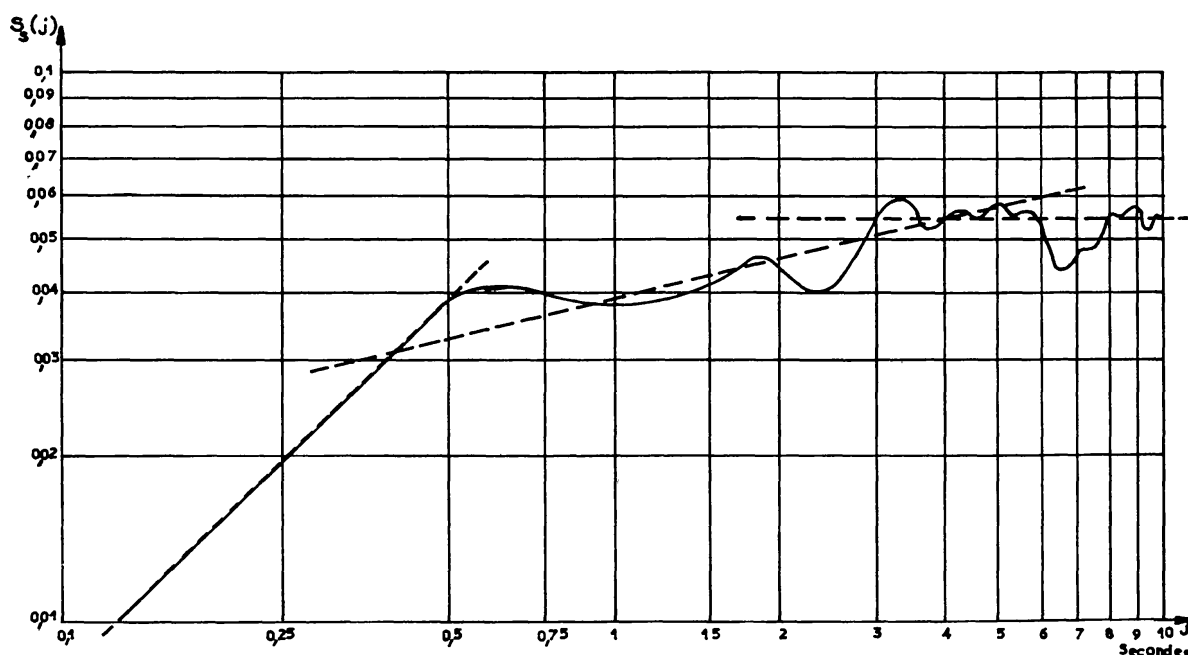


Fig. 7. Fonction de structure de la granulation solaire seule.

secondes, partie représentant la dimension du spot du microdensitomètre, (2) de 0.4 à 4 secondes, partie croissante indiquant une corrélation, et (3) au-delà de 4 secondes, partie constante.

Cette constance indique que nous avons dépassé la valeur de j au-delà de laquelle il n'y a plus de corrélation. $S_s(j)$ est alors une constante $S_s(\infty) = S(\infty) - S_g(\infty)$. En pratique les $S(\infty)$ ont été calculés en prenant la moyenne arithmétique de tous les $S(j)$ compris entre $j = 10$ secondes et $j < 20$ secondes.

La Figure 7 montre donc que la distance au-delà de laquelle il n'y a plus de corrélation se situe aux environs de 4 secondes d'arc sur le soleil, ce qui donne une limite supérieure des dimensions de la granulation.

Summary

Eight ultra-violet monochromatic pictures at the limb of the sun are analyzed for evidence of granulation in this spectral range ($\lambda = 2000 \text{ \AA}$). The spectral window ($125 \text{ \AA}$) is defined by two interference filters. These high-resolution pictures were obtained with a 20 cm Cassegrain telescope carried at 30 500 m of altitude by a stratospheric balloon. The resolution of the telescope is $1''$. The instrument is mounted on a sun-pointing control of excellent short time stability ($2''$). The pictures were taken at intervals of 210 seconds with a 0.25 second exposure. Large brilliant irregularities $10''$ to $20''$ in diameter are interpreted as chromospheric microfaculae with a half-hour lifetime. On the other hand, the smaller irregularities are interpreted as ultra-violet granulation. Using the correlation and structure functions, the analysis of the density distribution shows that spatial correlation of these irregularities is limited to a $4''$ range.

Références

- BIZOUARD, B., GODIN, P., et RAOULT, J. C.: 1965, *Science et industrie spatiale* 3 et 4.
 BIZOUARD, B., GODIN, P., et RAOULT, J. C.: 1966, Communication au 17e congrès de la F.I.A., Madrid.
 BLACKWELL, D. E., DEWHIRST, D. W., and DOLFUSS, A.: 1959, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **119**, 98.
 BLAMONT, J.: 1959, New York Meeting of the I.A.S.
 BREWER, A. et WILSON, A.: 1967, à paraître dans *Ann. Géophys.*
 LEMAIRE, P.: 1965, Thèse 3e cycle, Paris.
 TEITELBAUM, H.: 1965, Thèse d'Université Paris.