

ECLIPSE DE SOLEIL DU 11 JUILLET 1991

OBSERVER UNE ECLIPSE TOTALE DE SOLEIL

L'un des intérêts majeurs des éclipses totales de Soleil tient au fait qu'il est alors possible d'étudier les phénomènes généralement peu lumineux situés dans le voisinage immédiat du Soleil, et invisibles du fait de la différence de contraste entre le disque solaire (photosphère) et les diverses enveloppes de gaz et de poussières entourant le Soleil formant le chromosphère et les régions plus éloignées connues sous l'appellation globale de **Couronne**. Si l'on regarde le Soleil depuis le niveau de la mer, la couronne (un million de fois moins brillante que la photosphère) est invisible car elle est masquée par le rayonnement photosphérique diffusé par l'atmosphère et l'instrument.

On distingue habituellement deux parties intimement mêlées dans la couronne solaire :

la couronne de plasma, encore dénommée couronne électronique et souvent désignée par **Couronne K** (pour Kontinuum ; on assimile généralement le Soleil à un *corps noir* dont la température est de 6 000 K ; les électrons libres de la couronne diffusent la lumière photosphérique en émettant un spectre continu dont le maximum est situé dans le visible à 0,5 μm)

la couronne de poussière, souvent désignée par **Couronne F** (pour Fraunhofer ; elle montre dans le spectre solaire des raies sombres dues à l'absorption par la chromosphère des radiations émises par la photosphère, et mises en évidence par Fraunhofer).

Cette partie de l'activité solaire est assez mal connue du fait de la difficulté d'observer ces régions considérablement moins lumineuses que la photosphère et malgré tout proches du limbe. Il a fallu l'invention d'un appareil permettant d'occulter le Soleil (coronographe de B. LYOT, en 1931) pour mieux connaître ces phénomènes. Il reste cependant que les conditions optimales d'observation de la couronne sont réalisées naturellement lors d'une éclipse totale, ou encore pour des sondes spatiales qui peuvent observer en dehors de notre atmosphère (Cf projet SOHO dont le coronographe LASCO, est actuellement en cours de mise au point au Laboratoire d'Astronomie Spatiale de Marseille).

Dans une première approximation, on peut dire que jusqu'à une distance d'environ 2 rayons solaires de la photosphère, c'est la couronne K qui prédomine, et qu'au delà c'est la couronne F. Les raies de Fraunhofer sont trop élargies par l'effet Doppler dû à l'agitation thermique des électrons pour être observables dans la couronne K jusqu'à 2 rayons solaires. Au delà, la couronne F devenant prépondérante, ces raies deviennent observables.

Il est maintenant établi que la couronne K est très hétérogène et est le siège d'une intense activité, dont le moteur exact est encore mal connu, qui se manifeste par des structures bien définies : jets, boucles, arches, filaments, protubérances. Ces structures sont généralement bien visibles sur des clichés pris dans la raie H- α ou bien lors d'éclipses totales. Des zones, appelées **trous coronaux**, situées en gros près des pôles du Soleil, en dehors des structures actives de la photosphère, sont maintenant mieux connues : elles sont la source du vent solaire qui quitte le Soleil à grandes vitesses pour atteindre notamment la Terre.

On sait aussi que le Soleil présente une activité périodique (généralement appelée **cycle des 11 ans**), qui se manifeste par une alternance assez régulière de périodes d'activité maximum et de périodes de minimum. La forme générale de la couronne est caractéristique de l'intensité de l'activité du Soleil : en période de maximum, la couronne présente une symétrie sphérique assez accusée, alors qu'en période de minimum, elle a plutôt la forme d'un disque plus ou moins aplati contenant le plan équatorial du Soleil.

Les expériences montées à l'observatoire du Mauna Kea avaient un double objectif : d'une part en utilisant la puissance du télescope franco-canadien de 3,60 m de diamètre, mieux connaître la couronne K proche du Soleil, d'autre part grâce à l'emploi de détecteurs infra-rouges, étudier l'ensemble de la couronne F, tout en couvrant une très large bande spectrale (depuis le visible jusqu'au proche infra-rouge).

La couronne F

On sait que l'espace interplanétaire est rempli de poussières diverses. Celles-ci ont des origines variées : comètes, astéroïdes, mais certaines d'entre elles résultent de collisions mutuelles d'autres poussières. Elles constituent ce qu'on appelle le **nuage zodiacal** qu'il est possible d'observer sous certaines conditions depuis la Terre grâce à la lumière solaire diffusée par les grains de poussière (*lumière zodiacale*). Ces grains ont été étudiés dans l'infra-rouge par le satellite IRAS pour des élongations de l'ordre de 90°. Notre connaissance en ce qui les concerne reste cependant limitée et vaut essentiellement pour les grains relativement éloignés du Soleil.

Selon les théories actuelles, ces grains, soumis à diverses forces telles que : attraction gravitationnelle du Soleil, pression de radiation, pression corpusculaire, forces magnétiques, perturbations planétaires, tout ceci renforcé par un processus d'érosion (essentiellement la **sublimation**, mais aussi fragmentation), ont une évolution qui peut s'étaler sur des périodes allant de 10 000 à 100 000 ans. Ces évolutions deviennent particulièrement aiguës et s'exacerbent au fur et à mesure que l'on se rapproche du Soleil et que leur température augmente.

On estime que dans un premier temps, les orbites des grains se circularisent progressivement, puis leur distance héliocentrique diminue (effet **Poynting-Robertson**). Contrairement à ce que l'on pourrait imaginer ces grains ne "tombent" pas dans le Soleil, mais évoluent de façon fort complexe selon leur section géométrique : certains d'entre eux sont progressivement sublimés

jusqu'à disparition totale au fur et à mesure que leur température augmente, d'autres sont au contraire repoussés sur des orbites de moins en moins elliptiques (probablement même hyperboliques) et vont constituer ce que l'on appelle les **météorites- β** qui ont été observées en train de quitter le Système Solaire, grâce à certaines sondes spatiales.

Il est enfin désormais acquis qu'il existe tout autour du Soleil une région vide de poussières. Le calcul indique que les grains silicatés disparaissent aux alentours de 4 rayons solaires, les grains métalliques vers 20 rayons solaires et que les grains de glace ne subsistent que jusqu'à 1 ou 2 unités astronomiques.

Pourquoi observer les régions proches du Soleil dans l'infrarouge?

1) De façon tout à fait classique, la basse couronne a été étudiée grâce aux images en lumière blanche prises au moment d'éclipses totales. Ce que l'on observe alors est en fait la superposition de la lumière diffusée par les électrons de la couronne K et par les grains de poussière (couronne F). La distinction entre ces deux composantes repose sur la supposition que la couronne F a une polarisation nulle, alors que la couronne K est fortement polarisée. Ce phénomène est cependant de moins en moins valide au fur et à mesure que l'on s'éloigne du limbe solaire. En outre, le signal dû à la couronne F résulte d'une intégration, le long de la ligne de visée, de la lumière diffractée par les particules situées à de grandes distances du Soleil, combinée avec celle diffusée par les grains proches du Soleil.

L'importance relative de ces deux composantes de la couronne F n'est pas connue exactement, bien qu'il y a tout lieu de penser que la première (particules situées sur la ligne de visée) domine l'ensemble en lumière blanche.

2) On estime que dans l'infrarouge le spectre de la couronne est dominé par les émissions thermiques des grains au delà de 5 μm . De plus la contribution de la couronne K est alors négligeable, alors que celle due aux grains proches du Soleil l'emporte sur celle due aux grains éloignés, du fait des hautes températures atteintes par ces grains.

Les observations en infrarouge depuis le sol restent cependant limitées, notamment pour des sources étendues telles que la couronne solaire, pour lesquelles il n'est pas possible d'employer la technique dite du "shopping". Tant que l'on est contraint d'observer au sol (et même en haute altitude), l'émission thermique du ciel est prépondérante ; dans la pratique il n'est guère possible de dépasser 2,2 μm , même à l'observatoire du Mauna Kea (4 200 m).

POURQUOI LE CHOIX DE HAWAÏ?

La question mérite en effet d'être soulevée car le moment de l'éclipse (peu après le lever du Soleil, alors que celui-ci est encore relativement bas sur l'horizon, environ 20°) ainsi que le lieu retenu (durée de la totalité de 4 mn 12 s) ne paraissent *a priori* pas les meilleurs.

Il se trouve que cette éclipse, une des plus longues du siècle, présentait l'avantage majeur d'avoir sa bande de totalité passant au dessus de l'un des observatoires les mieux équipés. Il a ainsi été possible de réaliser une véritable première en utilisant le télescope de 3,60 m de diamètre et de disposer de toute l'infrastructure de cet observatoire, notamment des moyens électriques, et matériels (possibilité de se procurer l'azote liquide nécessaire à la caméra infra-rouge, de disposer d'un laboratoire photographique bien équipé). Un dernier avantage, non négligeable, résidait aussi dans le fait de pouvoir réaliser des observations en haute altitude, dans un site réputé pour la qualité de son "seeing" et sa transparence.

PARTICIPATION FRANÇAISE

Trois équipes françaises se sont rendues en juillet dernier à Hawaï pour observer l'éclipse du 11.

1) Une équipe de l'Institut d'Astrophysique de Paris (I.A.P.), dirigée par Serge KOUTCHMY, utilisant l'Observatoire Franco-Canadien du Mauna Kea ; elle était composée de

- Maurice Belmahdi, IAP (CNRS)
- Serge Koutchmy, IAP (CNRS)
- Patrick Martinez, Sup Aéro, Toulouse
- Jean Mouette, IAP (CNRS)
- Jean-Claude Vial, IAS (Orsay)
- Jean-Paul Zimmermann, IAP (CNRS)

La mission de cette équipe était de photographier les structures fines de la couronne K d'une part avec une chambre photographique de 3 m de focale, d'autre part en utilisant le télescope franco-canadien et en y installant des équipements divers afin de prendre des images de la basse couronne (trous coronaux, protubérances, jets...) à travers divers appareils (répartis tout autour de l'image du bord de la Lune), dont une caméra de 70 mm et des CCD.

2) Une équipe du Laboratoire d'Astronomie Spatiale de Marseille (L.A.S.), dirigée par Philippe LAMY, utilisant le site de l'Observatoire Franco-Canadien du Mauna Kea ; elle était composée de

- Yanling Fang, LAS (CNRS)
- Serge Koutchmy, IAP (CNRS)
- Jeff Kuhn, Michigan State University
- Philippe Lamy, LAS (CNRS)
- Philippe Malburet, LAS (CNRS)
- Ray Smartt, National Solar Observatory (Sac Peak).

La mission de cette seconde équipe était de recueillir des images de la couronne F dans l'infra-rouge complétées par une couverture spectrale allant du visible à l'infra-rouge.

3) Une équipe conduite par STELLMACHER (IAP), sous la direction de S. Koutchmy et Ph. Lamy, à Kona, avait pour mission de réaliser des observations spectroscopiques à haute résolution de la couronne dont l'un des objectifs était lié à la préparation des programmes scientifiques de LASCO. Cette équipe com-

prenait notamment des Astronomes Amateurs de la Société Astronomique de France (Philippon et R. Verseau).

LES APPAREILS

Outre le télescope franco-canadien de 3,60 m, équipé de divers instruments, était installée une chambre de 3 m de focale, munie d'un filtre neutre radial afin d'obtenir des images des structures fines de la couronne K en lumière totale sur émulsion couleur.

L'équipe du LAS, quant à elle disposait de :

- * une caméra infra-rouge installée sur une monture équatoriale indépendante,
- * un boîtier Hasselblad 6x6, focale de 200 mm, installé sur une seconde monture équatoriale indépendante, afin d'obtenir des images de la couronne étendue en lumière totale sur émulsion couleur (Ektachrome),
- * un boîtier Nikon 24x36, focale de 180 mm, installé sur la monture équatoriale précédente, équipé d'un filtre infra-rouge ($\lambda_{\text{eff}} = 0,8 \mu\text{m}$), afin d'obtenir des images de la couronne étendue sur émulsion sensible à l'infra-rouge,
- * un boîtier Nikon 24x36, objectif 200 mm, muni d'un analyseur polarimétrique, installé sur un pied fixe, afin d'obtenir des images polarisées de la couronne étendue sur émulsion couleur (Ektachrome).

BILAN PROVISOIRE

Il est encore trop tôt pour donner les résultats obtenus lors de cette campagne d'observation.

On peut cependant d'ores et déjà indiquer que les observations spectroscopiques à haute résolution n'ont pu avoir lieu du fait de la couverture nuageuse et de la pluie qui régnaient sur toutes les parties basses de l'île de Hawaï au moment de l'éclipse totale.

Pour ce qui concerne les expériences faites au sommet du Mauna Kea, bien que le ciel ait été dégagé au moment de l'éclipse, l'ensemble n'a pas été entièrement satisfaisant. Dès le 4 juillet, l'observatoire météorologique installé sur l'autre volcan (le Mauna Loa) a noté l'arrivée à la latitude de Hawaï des poussières volcaniques projetées dans le ciel quelques semaines plus tôt par le volcan philippin Pinatubo. Ceci avait pour conséquence d'augmenter considérablement le fond de ciel et de générer une polarisation importante. De plus de légers cirrus voilaient la haute atmosphère. Une conséquence est que l'on pensait pouvoir observer une couronne jusqu'à 20 ou 30 rayons solaires, ce qui n'a malheureusement pas été le cas. Enfin, l'appareil de prise de vue de la couronne en lumière polarisée s'est enrayé, empêchant donc de disposer lors des dépouillements des résultats en polarisation.

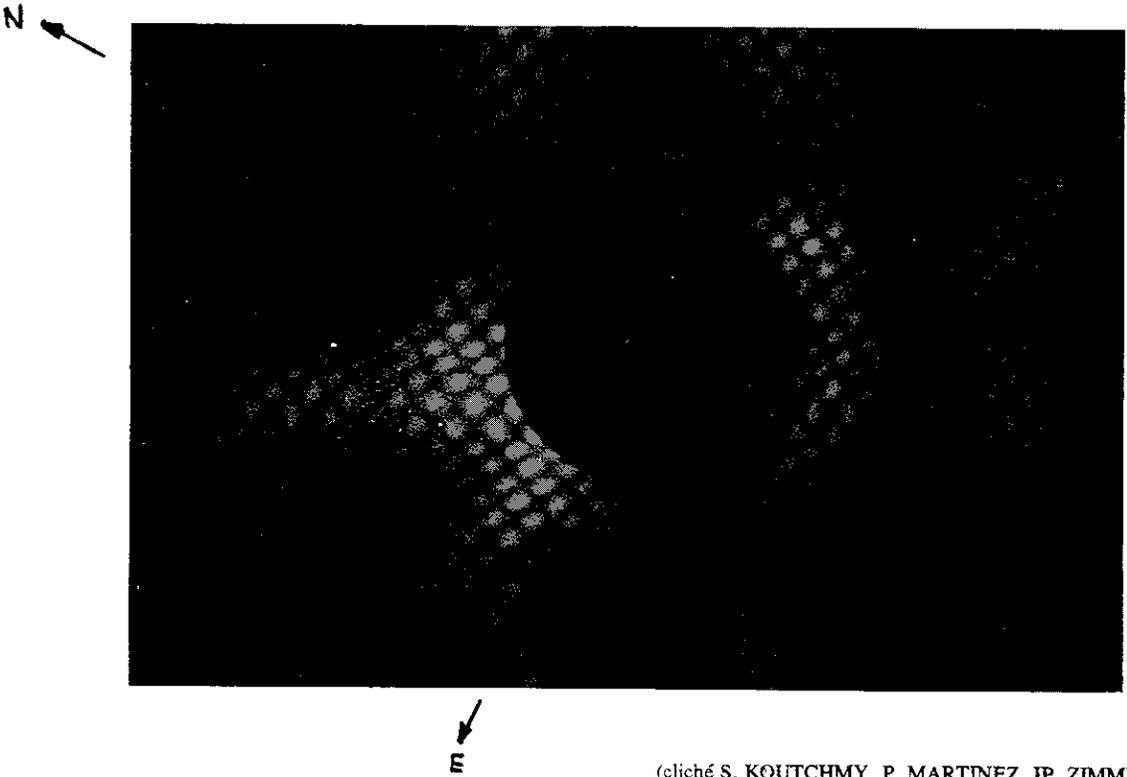
CLICHES PRESENTES

Fig 1 : Cliché en lumière blanche obtenu par l'équipe de S. Koutchmy, avec une chambre de 3 m de focale munie d'un filtre neutre radial. Il doit permettre de mettre en évidence les jets, et toute la dynamique de la couronne K.

Fig 2 : Cliché en fausses couleurs obtenu par l'équipe Ph. Lamy - J. Kuhn avec la caméra infra-rouge refroidie à l'azote liquide, muni d'un filtre centré sur $\lambda = 1,6 \mu\text{m}$ (bande H). Le cliché présenté est une image composite de plusieurs temps de pose (0,003 à 0,6 s). L'échelle de couleur est logarithmique ; le rapport de brillance entre le bord de la Lune et les régions externes est de 100. L'étendue du cliché est de +/- 6 rayons solaires.

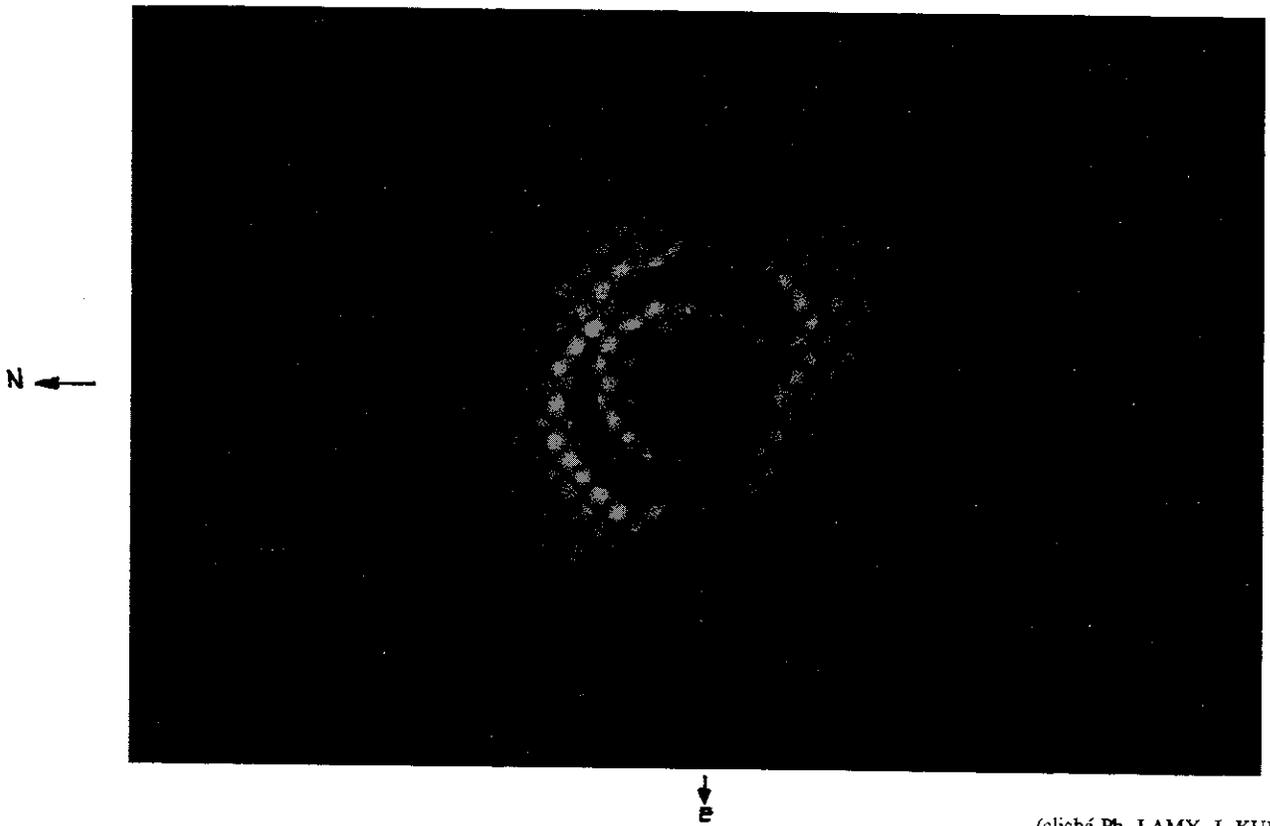
Fig 3 : Cliché en fausses couleurs obtenu par l'équipe Ph. Lamy - J. Kuhn avec la caméra infra-rouge refroidie à l'azote liquide, muni d'un filtre centré sur $\lambda = 2,2 \mu\text{m}$ (bande K). Le cliché présenté est une image composite de plusieurs temps de pose (0,003 à 0,6 s). L'échelle de couleur est logarithmique ; le rapport de brillance entre le bord de la Lune et les régions externes est de 1 500. L'étendue du cliché est de +/- 6 rayons solaires.

Fig 4 : Cliché en fausses couleurs obtenu par l'équipe Ph. Lamy - J. Kuhn avec la caméra infra-rouge refroidie à l'azote liquide, muni d'un filtre centré sur $\lambda = 2,2 \mu\text{m}$ (bande K). Le cliché présenté est une image composite de plusieurs temps de pose (0,003 à 10,5 s) et de plusieurs clichés pris le long d'un axe équatorial permettant une représentation jusqu'à 16 rayons solaires. L'échelle de couleur est logarithmique ; le rapport de brillance entre le bord de la Lune et les régions externes est de 5 000.



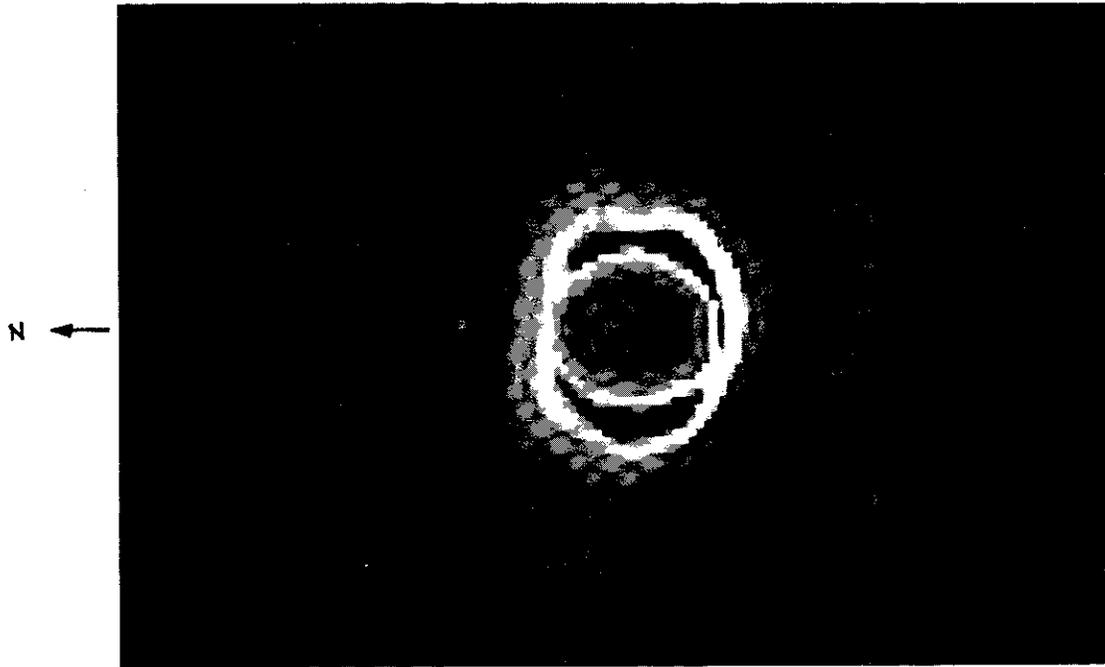
(cliché S. KOUTCHMY, P. MARTINEZ, JP. ZIMMERMANN)

Fig 1



(cliché Ph. LAMY, J. KUHN)

Fig 2

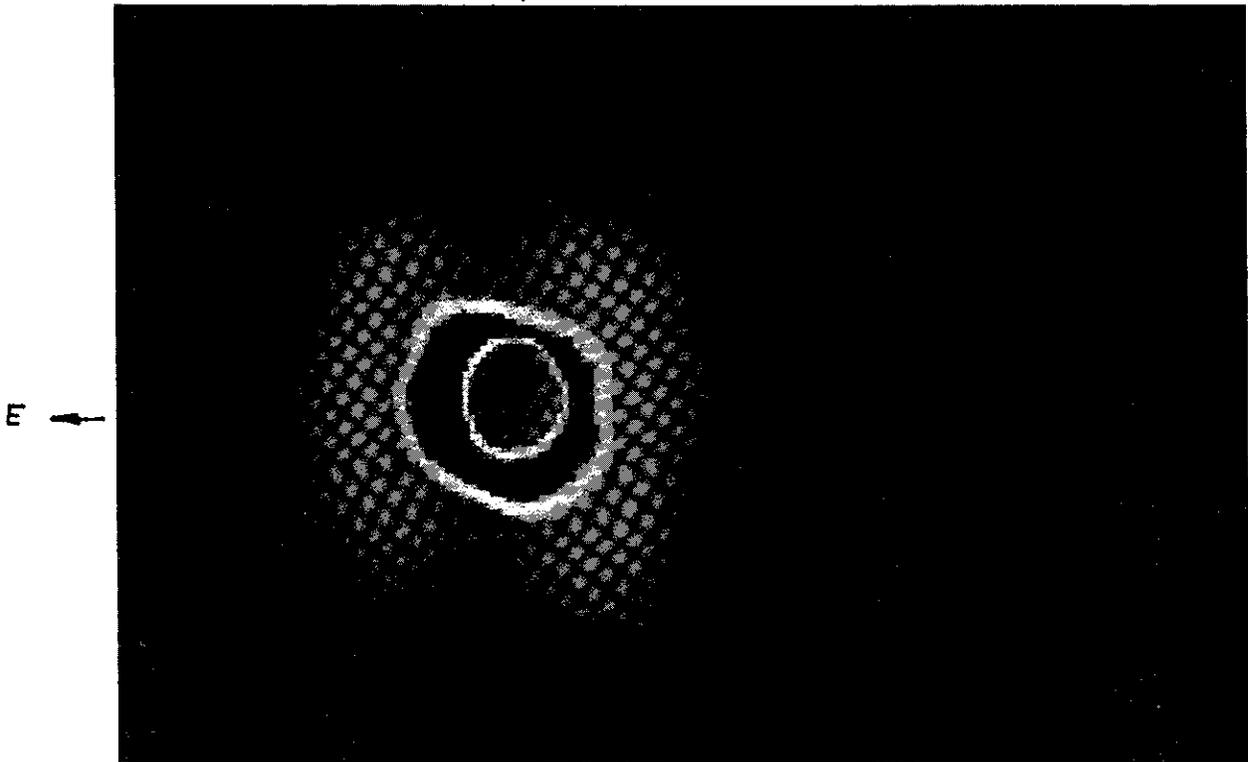


↓
E

(cliché Ph. LAMY, J. KUHN)

Fig 3

N
↑



(cliché Ph. LAMY, J. KUHN)

Fig 4