

SÉANCE DU MERCREDI 3 OCTOBRE, APRÈS-MIDI.

PRÉSIDENT DE SÉANCE : A. R. HOGG.

---

## INSTRUMENTS ET TECHNIQUES

G. COURTÈS.

---

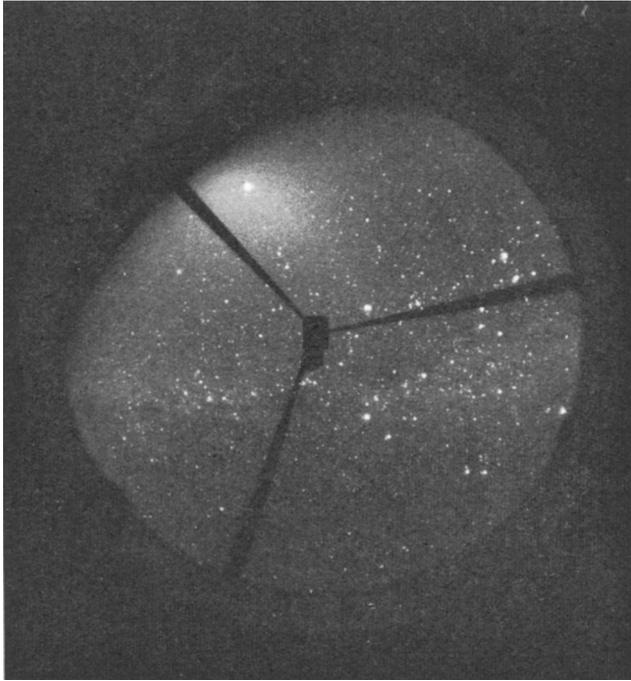
**Introduction.** — Dans cet exposé, on cherche à définir les conditions que doivent remplir les instruments utilisables en campagne pour une mesure aussi bonne que possible des paramètres caractéristiques permettant de choisir l'emplacement d'un grand télescope d'au moins 3 m de diamètre.

**Rappel des difficultés principales.** — Quel que soit le programme d'observation d'un grand instrument, la nécessité d'obtenir d'excellentes images est absolument incontestable. C'est pourtant une préoccupation très récente des astronomes de rechercher le site des observatoires en fonction de la nébulosité nocturne minimale et de la qualité des images la meilleure. Il semble que le premier observatoire qui ait fait l'objet d'une telle recherche ait été l'Observatoire de Haute Provence à la suite des mesures de Danjon, Dufay et Couder en 1926. Nous étudierons non pas tous les instruments qu'on a imaginés, mais plutôt les qualités indispensables qu'on doit exiger des appareils destinés à ce type d'études. Nous suivrons d'ailleurs le rapport établi par le Groupe de Travail de la Sous-Commission 9 b de l'U. A. I. (Berkeley, 1961) en distinguant :

- 1° les instruments de mesure de la nébulosité et de l'absorption;
- 2° les instruments de mesure de la qualité des images;
- 3° les instruments météorologiques qui doivent être consultés pendant les observations des instruments précédents.

1° **Nébulosité et absorption.** — *a. Nébulosité.* — Il peut paraître superflu de songer à un instrument destiné au contrôle de la nébulosité, celle-ci étant généralement évaluée à l'œil nu, et pourtant, l'expérience montre que son appréciation est un perpétuel sujet de contestation, surtout en ce qui concerne le groupement des nuages. Par exemple  $2/8$  de nuages compacts au zénith n'ont pas le même sens que  $2/8$  à l'horizon,

$\frac{2}{8}$  de cirrus légers ou  $\frac{2}{8}$  de nuages en mouvement constant. Dans ce dernier cas, des observateurs trop zélés peuvent observer la qualité des images pendant des nuits entières et dans toutes les directions bien que de telles nuits eussent été inutilisables pour un grand instrument. Comme l'a suggéré le Groupe de Travail, on peut préconiser l'usage d'un appareil photographique de  $180^\circ$  de champ. Cet appareil pourrait prendre automatiquement des photographies du ciel sur film de 35 mm. Le rapport d'ouverture devrait être de l'ordre de  $F/1$  ou  $F/2$  pour que le fond du ciel vienne entre 1 et 3 mn d'exposition. Dans ces conditions, on obtiendrait une photographie de l'état des nuages semblable à celle qu'on aurait en plein jour. J'ai expérimenté plusieurs appareils de ce type semblables dans leur principe à l'objectif à grand champ d'Henyei-Greenstein, mais ayant un champ de  $180^\circ$ ; ils sont faciles à construire et le cliché ci-joint (*fig. 29*) donne une idée des qualités qu'ils possèdent pour ce genre d'utilisation. J'ai indiqué par ailleurs <sup>(1)</sup> les principes de



**Fig. 29.** — Photographie du ciel obtenue par temps clair,  $F/1,8$ , pose : 3 mn. On distingue la lumière zodiacale s'étendant depuis l'horizon jusqu'au centre du champ. Diamètre de l'original : 22 mm.

<sup>(1)</sup> G. COURTÈS, *Ann. Astroph.*, t. 23, 1960, p. 115 à 217.

tels appareils, je me bornerai ici à conseiller de choisir comme collecteur un miroir concave parabolique ou elliptique qui présente l'avantage de simplifier la correction de la courbure de champ, de l'astigmatisme et la distorsion. Dans le cas du miroir parabolique, la projection de l'image du ciel avec un tel instrument se rapproche d'une projection stéréographique. Avec les modèles que j'ai expérimentés, les étoiles sont enregistrées en assez grand nombre et avec une qualité d'image suffisante pour juger de l'absorption des cirrus ou de la brume grâce à la détermination de la magnitude limite. On peut peut-être procéder d'une façon différente en utilisant au contraire un objectif de faible ouverture et en laissant les étoiles brillantes impressionner leur traînée pendant toute la nuit, mais on peut craindre que l'interprétation des clichés soit plus difficile et la détection des nuages faibles moins sûre.

*b. Absorption.* — En suivant toujours les conseils du Groupe de Travail, on peut envisager de mesurer l'absorption dans le système U.B.V.; la seule exigence serait de mieux définir la précision réelle de chaque observation, qui doit être comparable à celle qu'on recherche pour les photomètres d'observatoire. Il paraît indispensable que l'instrument soit monté sur une petite monture équatoriale et soit d'un diamètre suffisant (25 cm). Les observations doivent être faites dans toutes les régions du ciel pour mettre en évidence les directions où il y a une absorption systématique (présence de vallées humides, du littoral, d'un désert à vents de sable, etc.).

L'étude des variations de l'absorption est d'un intérêt indiscutable pour évaluer la valeur d'un site du point de vue de la précision qu'on pourra espérer pour les mesures de photométrie photoélectrique mais elle n'enseigne rien de sûr concernant la magnitude limite qu'on pourra atteindre avec un grand télescope par photographie directe et par spectrographie. En effet, la magnitude limite atteinte par un grand instrument dépend surtout de la qualité des images. Un étalement global deux fois moindre entraîne une multiplication de l'éclairement (et par conséquent du contraste étoile/fond du ciel) par un facteur 4 dans le cas de la photographie directe, et par un facteur qui dépend de la dimension de la fente dans le cas des spectrographes.

Enfin, la photométrie photoélectrique des objets très faibles exige la régularité de la transparence et des images de bonne qualité puisqu'il faut que, dans ce cas, le diaphragme soit aussi petit que possible (4" pour les mesures de Baum au mont Palomar).

Il serait indispensable que les participants particulièrement compétents dans ce domaine expliquent s'il existe des types de transparence caractéristiques et combien de nuits sont nécessaires pour reconnaître chaque type. Par exemple, existe-t-il des sites à absorption sélective systématique, des sites à brume systématique inappréciable à l'œil mais

dont la régularité n'empêche pas des mesures précises ? Il faudrait aussi que soient donnés au cours de ce Symposium les coefficients d'absorption mesurés pour l'atmosphère normale dans les diverses longueurs d'onde et en fonction de l'altitude de l'observatoire.

2° **Qualité des images.** — La difficulté principale pour imaginer l'instrument idéal capable de mesurer la qualité des images est qu'il faut pouvoir, avec un instrument de petit diamètre prévoir avec certitude ce qui se passera pour un grand télescope. Cette extrapolation sera toujours sujette à contestations, il s'agit seulement de la rendre aussi peu contestable que possible. Pour cela, il semble qu'il soit préférable de laisser au phénomène toute sa pureté et de l'étudier avec les moyens les plus directs et non par ses effets secondaires comme les fluctuations photométriques de la scintillation. Tous les phénomènes constatés, agitation, étalement, scintillation et distorsion sont les effets d'une seule et même cause : les déformations de la surface d'onde, causées par les inhomogénéités d'indice de réfraction de l'atmosphère. Ces déformations (*fig. 30*) ont une allure pseudo-périodique couvrant un registre

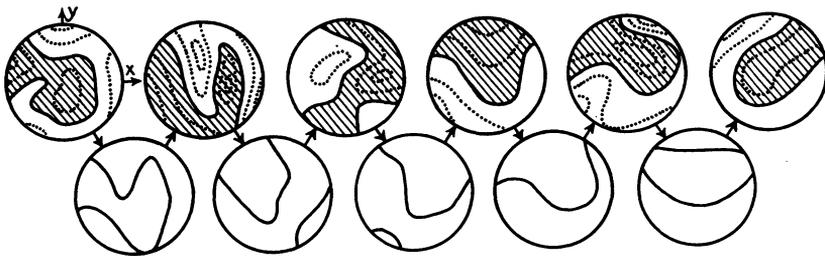


Fig. 30. — Application de la méthode de Hartmann à l'étude de la surface d'onde (Rösch). Exemple de variation dans le temps de la déviation  $\delta_x$  des rayons dans la direction de l'axe des  $x$ , sur un objectif de 60 cm de diamètre.

Ligne supérieure : figures consécutives (7 par seconde) déduites des mesures;  
Ligne inférieure : figures intermédiaires obtenues par interpolation  
(équidistance des courbes :  $0^{\circ},15$ ).

de fréquence assez étendu, et mal connu, sauf peut-être dans leurs effets photométriques (Protheroe, 1955); les amplitudes au contraire, ont été bien évaluées par plusieurs observateurs (Danjon, 1925; Rösch, 1954) <sup>(2)</sup>.

A ces déformations de régime relativement constant au cours d'une observation, viennent s'ajouter des troubles plus accidentels de la surface d'onde qui sont dus aux masses d'air d'indice de réfraction différent se

(<sup>2</sup>) *Note ajoutée en cours d'édition.* — La méthode de Hartmann ne donne directement que les déplacements angulaires de la normale à l'onde. Il est facile d'en déduire la valeur de  $t$  mais aussi, *sans intégration*, la distribution des « éléments  $\Gamma$  ». En effet, la superposition du réseau des courbes d'égale valeur du déplacement  $\delta_x$

déplaçant dans les environs plus ou moins proches du télescope et dans son tube même. Un observateur un peu habitué sélectionne très facilement ces deux sortes de perturbations, les secondes ayant d'ailleurs une vitesse d'évolution beaucoup plus lente. Les limites des régions de convection des nuages visibles ou invisibles introduisent des perturbations brusques parfois extrêmement fortes que je n'envisagerai pas puisque nous nous intéressons seulement au cas des images suffisamment bonnes pour un grand télescope. L'observation au couteau de Foucault ne laisse aucun doute sur l'interprétation de ces troubles divers.

Rappelons brièvement comment ces perturbations expliquent l'agitation, la distorsion, l'étalement et la scintillation.

de la normale dans la direction des  $x$  et du réseau analogue en  $\delta_y$ , permet de diviser la surface d'onde en *facettes* définies par la propriété que sur l'étendue de chacune la variation de la normale égale l'équidistance des courbes. La courbure moyenne est donc inversement proportionnelle à cette étendue, et les plus grandes des facettes représentent approximativement des « éléments  $\Gamma$  » (fig. 31). Par ailleurs, dans un système

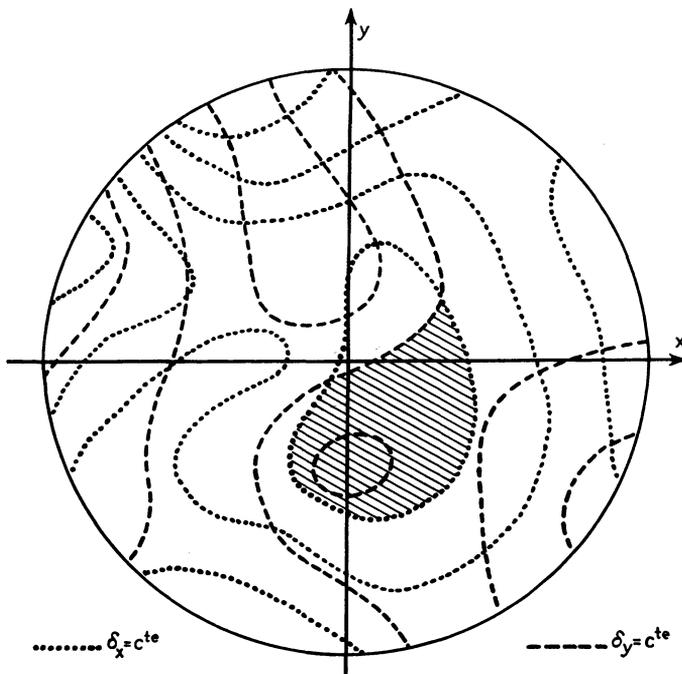


Fig. 31. — Détermination des « éléments  $\Gamma$  » d'après des figures de Hartman. Superposition du premier diagramme de la figure précédente (en  $\delta_x$ ) et du diagramme en  $\delta_y$  au même instant.

On a hachuré la région la plus typiquement assimilable à un « élément  $\Gamma$  » (elle résulte du voisinage d'un maximum de  $\delta_x$  et d'un maximum de  $\delta_y$ ).

a. *Agitation.* — La courbe  $\Sigma$  (fig. 33) représente la trace de la surface d'onde sur le plan de figure, plan passant par l'axe optique du télescope. En dehors des cas extrêmes, la surface  $\Sigma$  comporte des régions d'étendue plus ou moins grande qui se rapprochent presque parfaitement d'un plan. Si le diamètre  $D$  du télescope est de l'ordre de grandeur du diamètre moyen du contour  $\Gamma$  de ces régions quasi planes, l'image d'une étoile sera conforme à la théorie de la diffraction chaque fois que l'une de ces régions  $\Gamma$  sera interceptée par l'ouverture du télescope. Le rayon du premier anneau noir (fig. 34), exprimé en radians, sera

$$\alpha = 1,22 \frac{\lambda}{D}$$

de coordonnées rectangulaires  $\delta_x, \delta_y$  (fig. 32) à chacune des facettes correspond un élément d'aire carré de côté égal à l'équidistance des courbes. Si l'on somme, dans chaque carré, les aires des facettes qui s'y trouvent représentées, on obtient dans le système d'axes  $(\delta_x, \delta_y)$  une distribution des écarts de la normale d'où l'on peut tirer la valeur maximale  $t$ , ou une valeur moyenne, et même, le cas échéant, l'indication d'une direction privilégiée dans les déformations de la surface d'onde (fig. 32) (J. Rösch).

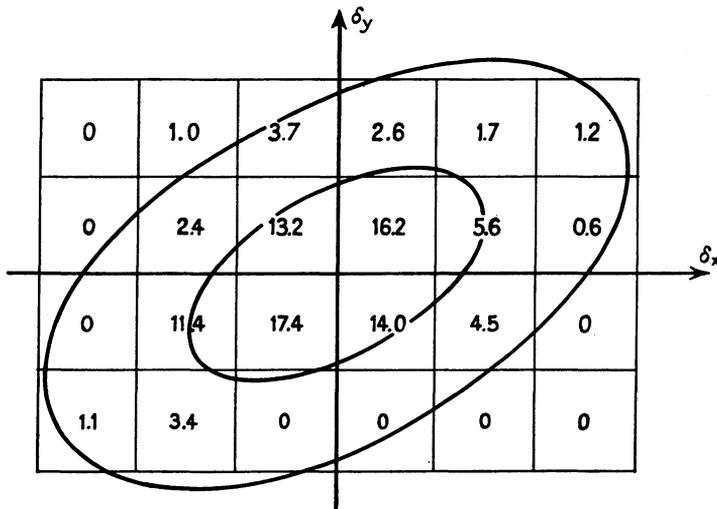
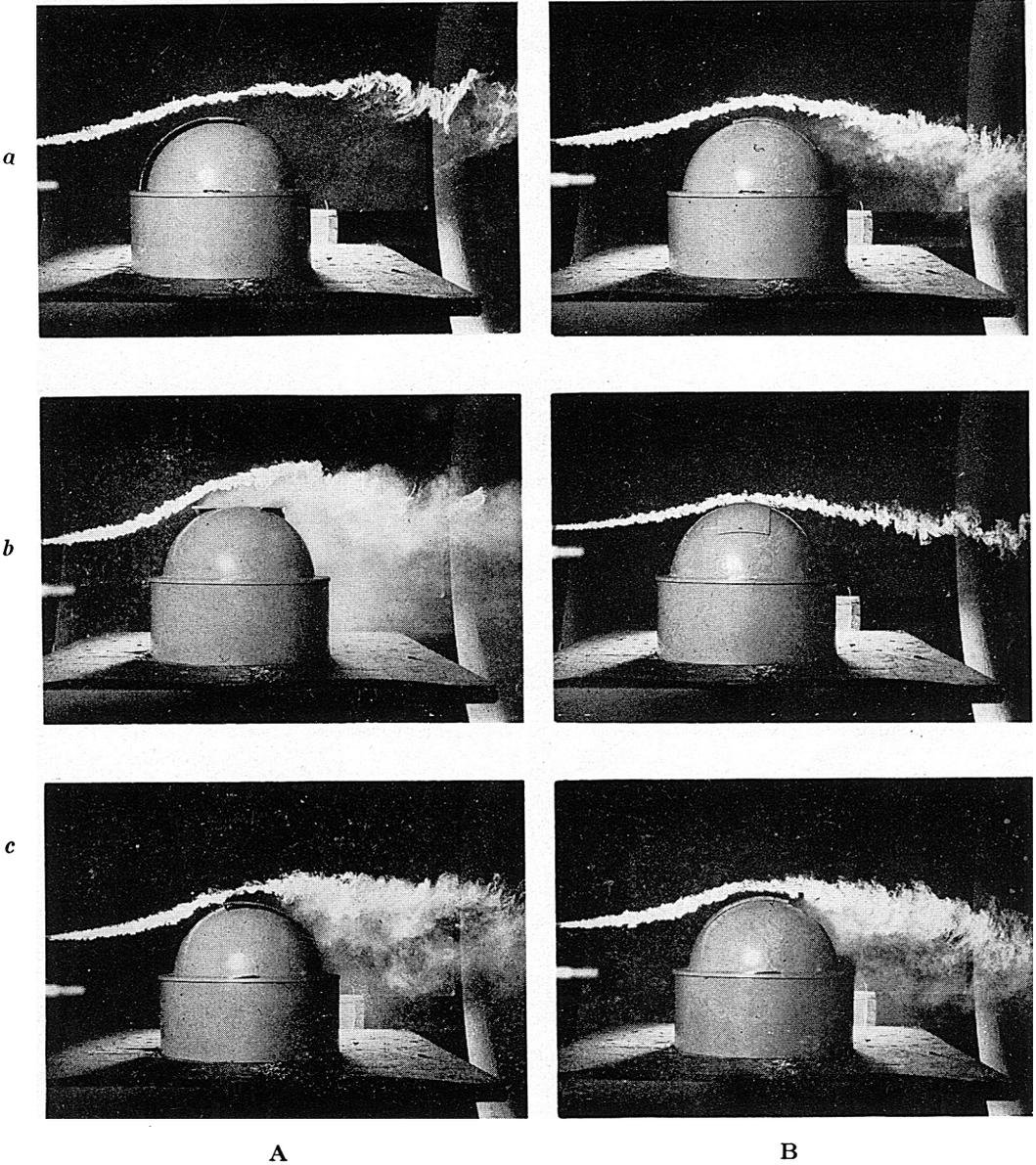


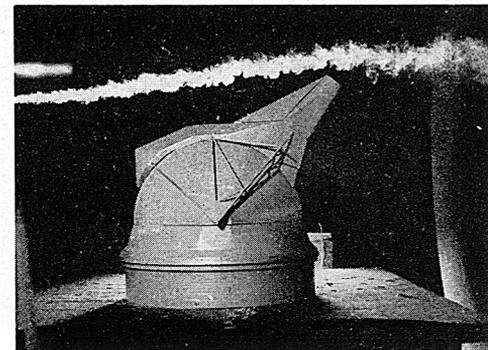
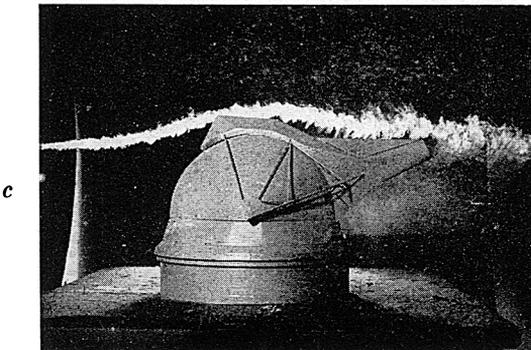
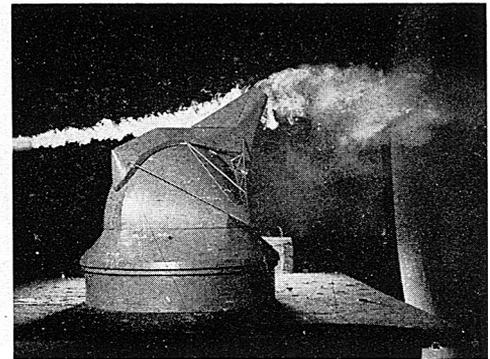
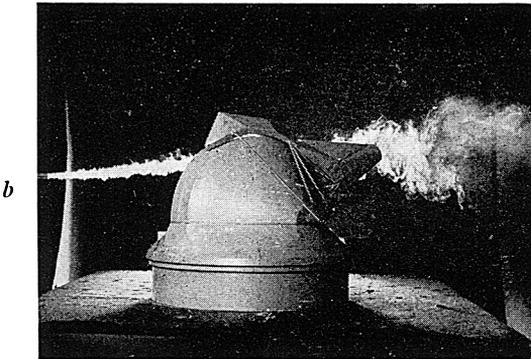
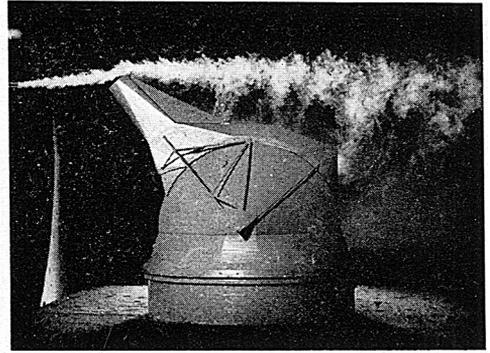
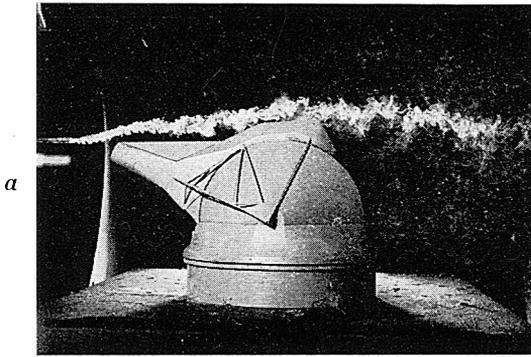
Fig. 32. — Détermination de  $t$  à partir des aires des régions délimitées sur la figure précédente. (On a sommé les aires pour chaque intervalle de  $\delta_x$  et  $\delta_y$  et porté sur le graphique les distributions en pour-cent. On a tracé une ellipse englobant la quasi-totalité des positions de la normale; elle fournit une valeur de  $t$  maximale de  $\pm 0,45$  dans une certaine direction, et  $0, \pm 22$  dans la direction perpendiculaire. L'évaluation de  $t$  par la méthode de Danjon cette nuit là donnait environ  $0,30$ . L'ellipse intermédiaire englobe 50 % des positions de la normale. Ces résultats ne portent que sur la situation à un instant donné.)

PLANCHE IX.



Essais en soufflerie sur maquettes de coupoles.  
A, coupole sphérique fermée par deux volets cylindriques se translatant horizontalement;  
B, coupole sphérique fermée par un seul volet sphérique glissant sur la coupole.  
*a*, observation vers la direction d'où vient le vent; *b*, observation vers une direction à 90° du vent;  
*c*, observation vers une direction opposée à celle d'où vient le vent.

PLANCHE X.

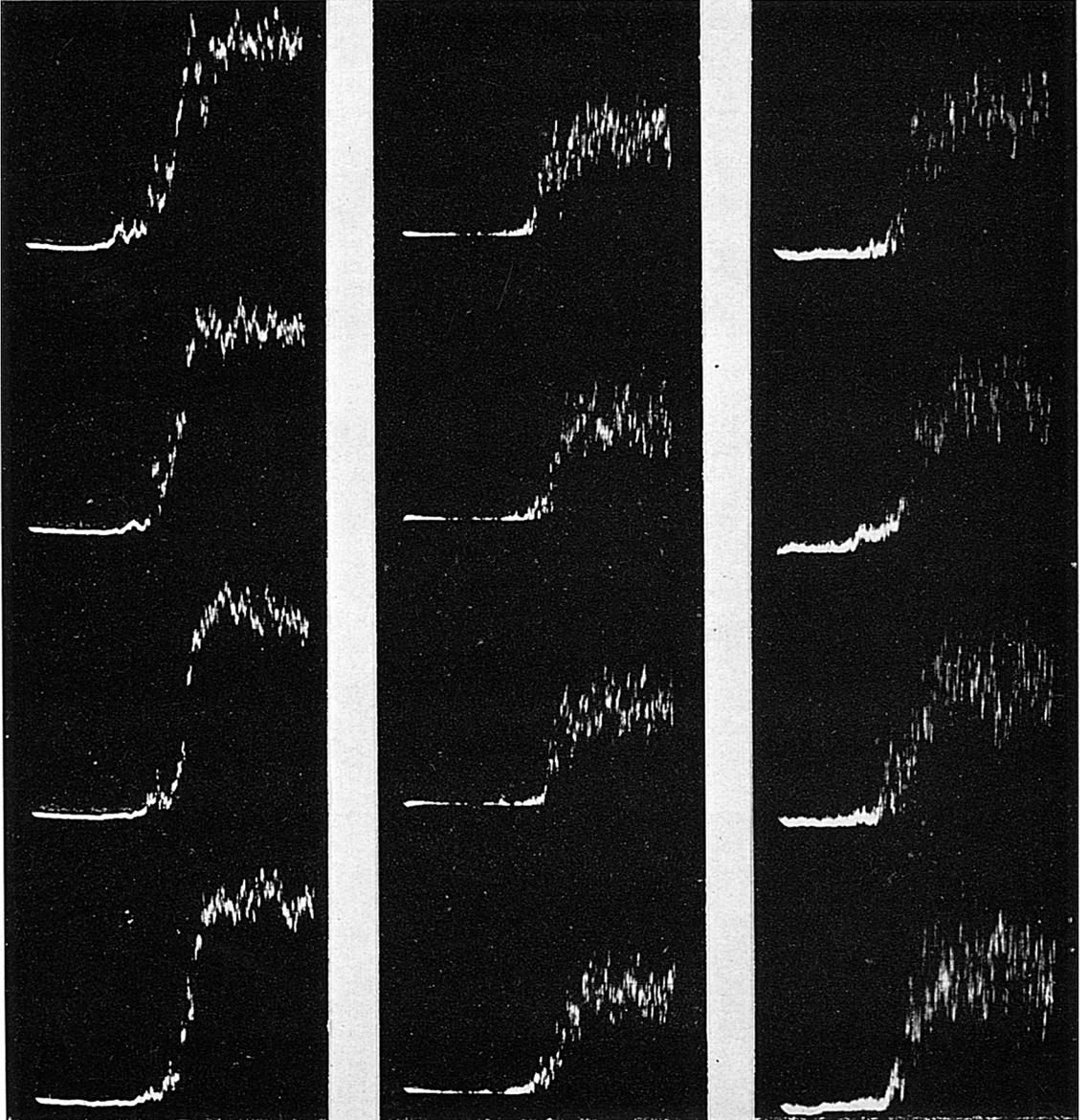


C

D

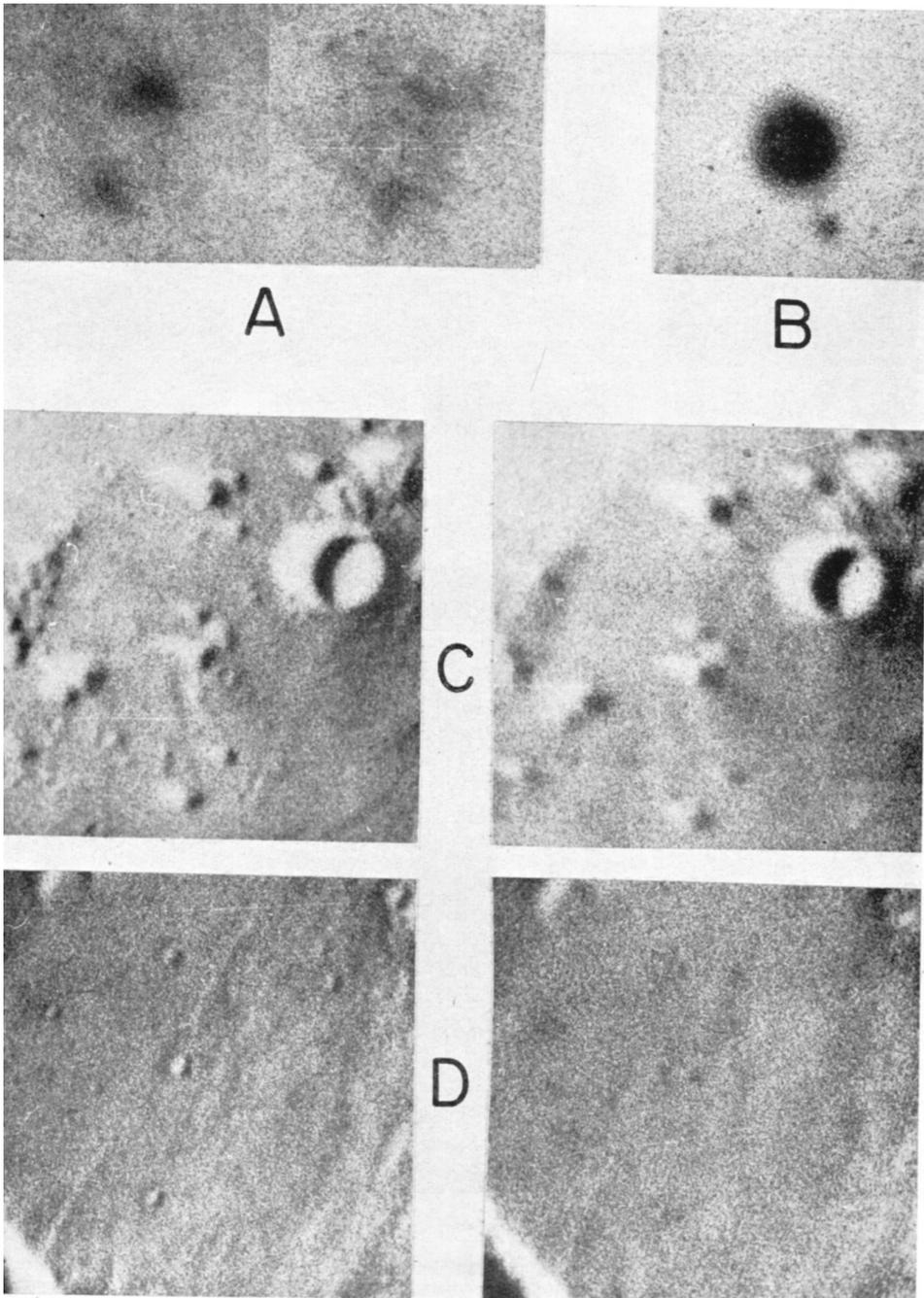
Essais en soufflerie sur maquettes de coupoles.  
C, coupole fermée à tube de protection, observation à  $60^\circ$  du zénith.  
D, la même, observation à  $30^\circ$  du zénith.  
a, b, c, même signification que pour la planche IX.

PLANCHE XI.



Diagrammes d'occultation d'une étoile par un bord d'écran, pour des diamètres d'objectif de 54, 27 et 13 cm (de gauche à droite). Durée de balayage de l'écran de l'oscillographe cathodique : 2 s.

PLANCHE XII.



A, successive frames of a 24 frames per second run on 51 *Aquarii* = ADS 15902 with 24-inch aperture,  $d = 0.6''$   
B, selected frame on 85 *Pegasi* = ADS 17175,  $d = 0.8''$ ,  $\Delta m = 3$  magnitudes.  
C, D, comparison of two parts of successive frames taken at 8 frames per second with a 24-inch aperture (negative prints).

ou, avec  $\lambda = 5\,500 \text{ \AA}$ ,  $D$  exprimé en centimètres et  $a$  en secondes :

$$a = \frac{13,8}{D}$$

Si l'on fait coïncider cette image avec la croisée d'un réticule, au foyer de l'instrument, on constatera que l'image est agitée avec une fréquence d'agitation assez élevée (plusieurs fois par seconde) et subit des déviations angulaires apparentes égales à l'angle de la normale à la surface d'onde avec l'axe optique. On appelle  $t$  (*turbulence optique*) le demi-angle au sommet du cône à l'intérieur duquel oscille cette normale.

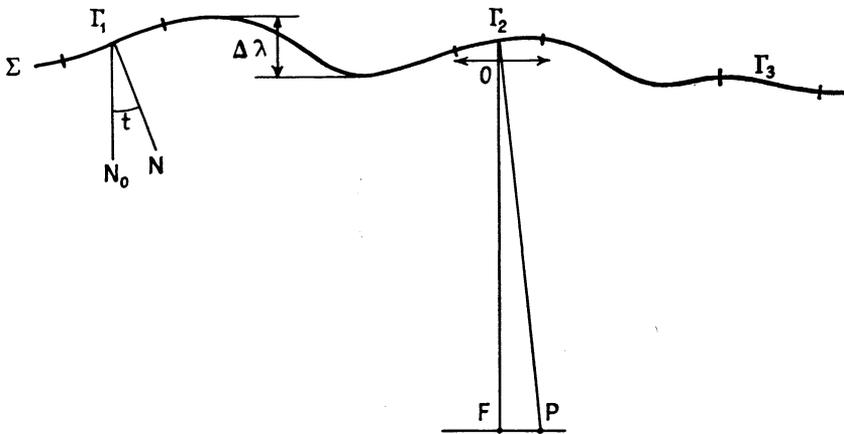


Fig. 33. — Section d'une surface d'onde  $\Sigma$  présentant quelques éléments quasi plans  $\Gamma$ .

La différence de marche maximale est  $\Delta\lambda$ , et l'écart maximal de la normale  $N$  à l'onde est  $t$ .

Au moment où l'un des éléments  $\Gamma$  est admis par un télescope de petite ouverture les images sont conformes à la théorie de la diffraction. La succession des inclinaisons variées des éléments  $\Gamma$  entraîne par contre un déplacement de l'image  $P$  (agitation).

Une perturbation d'un genre très différent de l'agitation entraîne des déplacements lents de l'image en dehors des fils, l'image se stabilise parfois assez longtemps pour qu'on ait le temps d'agir sur les rappels de l'instrument. Ce phénomène peut exister dans le cas d'excellentes images. L'étude ancienne de Schlesinger avait montré dès 1927 que des étoiles situées à  $20'$  de distance l'une de l'autre subissaient aux mêmes instants ces mêmes déviations qui avaient une amplitude de  $1''$  et une période de l'ordre de  $1 \text{ mn}$ . On appelle ce phénomène : réfraction accidentelle; le fait qu'il affecte également des points éloignés du champ montre que les masses d'air responsables de ces réfractions sont situées à une distance relativement petite de l'instrument. Les observations

récentes que j'ai eu l'occasion de faire, comme beaucoup d'autres astronomes d'ailleurs, confirment celles de Schlesinger qui avaient été faites avec le grand réfracteur de Yerkes de 102 cm. Les grands instruments subissent aussi ces réfractions accidentelles et je les ai observées aussi

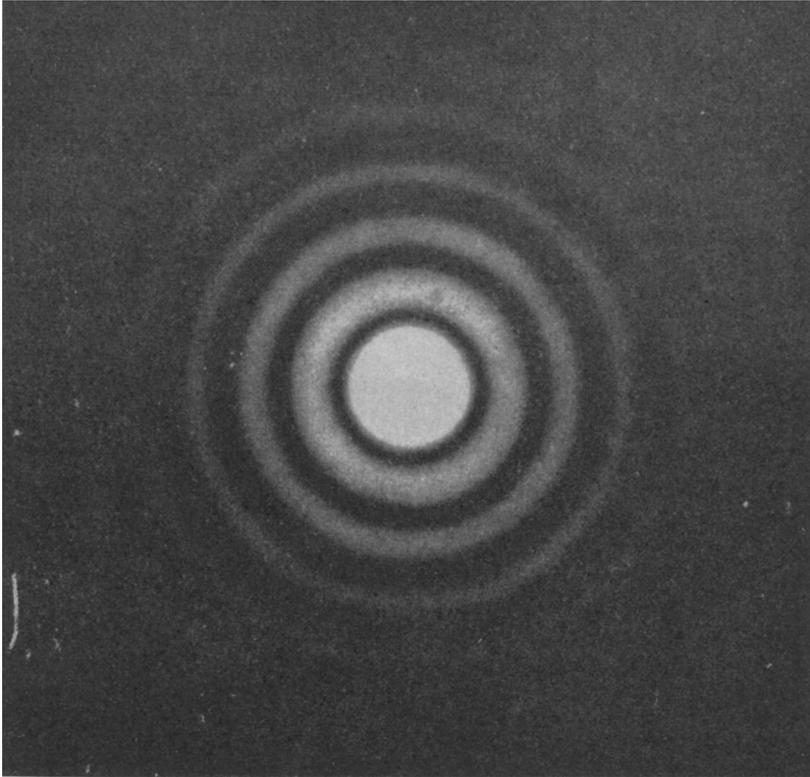


Fig. 34. — Photographie en laboratoire des anneaux de diffraction dans le cas où la surface d'onde est parfaitement plane (Françon). Le rayon du premier anneau sombre mesure  $20 \mu$  pour un objectif de 13,8 cm de diamètre et 4,1 m de longueur focale (soit  $1''$  angulairement) ou pour un objectif de 60 cm de diamètre et 18 m de longueur focale ( $0'',23$  angulairement).

bien avec le télescope de 193 cm de l'Observatoire de Haute Provence qu'avec le réfracteur de 26 cm de Zeekoegat <sup>(3)</sup>. Il serait très intéressant de reprendre les expériences de Schlesinger car si elles étaient confirmées, elles entraîneraient l'inaptitude à détecter les réfractions accidentelles

---

<sup>(3)</sup> Station d'observation de l'Observatoire Européen Austral (Province du Cap, Afrique du Sud).

des appareils à miroirs séparés par un intervalle de l'ordre de grandeur du télescope projeté.

*b. Distorsion.* — Si l'astre a un fort diamètre apparent, Lune, groupe d'étoiles, les points de l'astre situés loin de l'axe optique seront observés à travers des régions différentes de la couche perturbatrice et l'inclinaison instantanée de la normale à la nouvelle surface d'onde  $\Sigma$  pourra être très différente, il s'ensuivra une distorsion constamment variable de l'image et en dépit de l'aspect « théorique » de la figure de diffraction, le cliché de la Lune ou du groupe d'étoiles pris ainsi serait impropre par exemple à l'astrométrie. Ceci ne peut arriver que lorsque la couche perturbatrice se trouve assez loin de l'instrument pour que les faisceaux la traversent effectivement en des régions différentes.

*c. Altération et étalement.* — Dans le cas qu'on vient d'envisager, la figure de diffraction de l'image de l'étoile ne sera affectée que pendant les instants de transition entre les régions successives de  $\Sigma$  considérées comme planes (régions  $\Gamma$ ) à moins qu'il n'y ait plus de surfaces assimilables à un plan qui défilent devant le télescope. Dès que les régions cessent d'être planes, la répartition de la lumière dans la figure de diffraction change en liaison avec l'orientation des sections de courbure principale de la surface d'onde. Les anneaux de diffraction, par exemple, présentent des nodosités plus ou moins fortes pouvant aller jusqu'à la rupture ou à la disparition complète des anneaux. Les valeurs de  $t$  pour le diamètre  $D$  peuvent d'ailleurs être déduites avec précision de ces aspects par la classification de Danjon ou bien avec la méthode de Hartmann telle que l'a utilisée Rösch (*fig. 41*).

Enfin si les régions  $\Gamma$  assimilables à des plans admettent des séries de contours de diamètre moyen  $d_1, d_2, \text{etc.}$ , les figures de diffraction correspondantes à chacun de ces contours interfèrent entre elles et contribuent aussi par le seul effet du faible diamètre des régions  $\Gamma$  à étaler l'énergie lumineuse à des distances d'autant plus grandes de l'axe que  $d_1$  est plus petit. La statistique des contours de diamètres moyens  $d_1, d_2, \text{etc.}$  permettrait en principe de calculer la répartition de l'énergie dans la figure de diffraction résultante; le phénomène serait aussi compliqué des différences de phase  $\Delta\lambda$  entre les diverses régions  $\Gamma$  (*fig. 33*). Le Professeur Siedentopf a récemment présenté à la Commission des Instruments de l'European Southern Observatory une étude qu'il réexposera au cours de ce Symposium. J. Texereau, du point de vue observationnel, a obtenu des clichés avec le télescope de 193 cm de l'Observatoire de Haute Provence qui montrent très bien les effets de ces phénomènes sur des poses photographiques de courte durée (*fig. 35*). Il semble que dans la plupart des cas, la « réticulation » de la surface d'onde en éléments  $\Gamma$  soit la cause principale de l'étalement. Pour  $d_1 \neq 26$  cm par exemple, le diamètre du premier anneau noir de

diffraction sera égal à  $1''$  et il faudra donc les cas exceptionnels où les surfaces  $\Gamma$  ont un diamètre moyen supérieur à  $d_1 = 26$  cm pour que les images du faux disque de la figure de diffraction soient inférieures à  $1''$ .

*d. Scintillation.* — Quand la région de  $\Sigma$  utilisée est plane (région  $\Gamma$ ) le flux lumineux découpé par l'ouverture du télescope est uniforme et identique à celui qui serait découpé dans une surface d'onde non

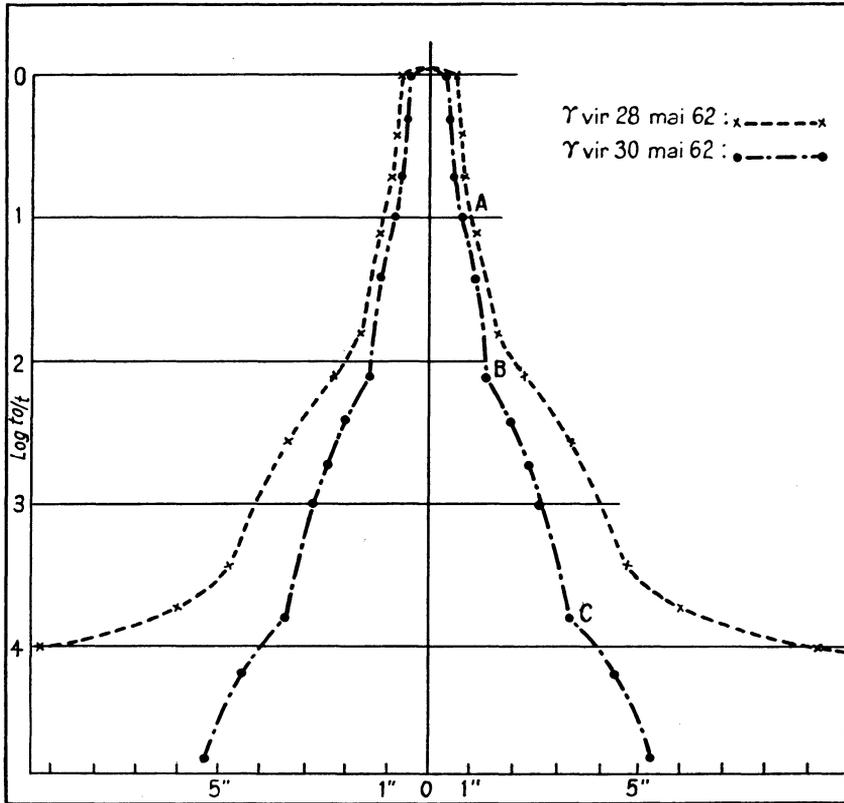


Fig. 35. — Répartition de l'énergie dans une image stellaire étalée par la turbulence (Texereau).

perturbée, donc parfaitement plane. Dès que  $\Sigma$  présente une courbure (régions de transition par exemple) et si la perturbation a lieu à *une altitude assez grande*, le flux admis dans l'instrument n'est plus uniforme et l'éclat de l'étoile fluctue constamment.

Si l'on place l'œil directement, c'est-à-dire sans oculaire, au foyer d'un télescope de grand diamètre, pointé sur une étoile, on voit sur la surface du miroir le phénomène bien connu des ombres volantes qui

n'est que l'observation directe des inhomogénéités de la répartition de l'énergie lumineuse dans le plan de la pupille d'entrée du télescope.

Les effets de l'agitation, de l'étalement et de la scintillation sont aisément visibles sur les enregistrements photométriques de l'occultation d'une étoile par un écran tels que les a obtenus Rösch (*pl. XI*).

**3° Instruments et méthodes.** — Après ce bref exposé qui n'est destiné qu'à rappeler les résultats essentiels, il semble que tous les phénomènes décrits seraient prévisibles si l'on pouvait reconstruire la surface d'onde. Dans la vision simplificatrice qui doit être la nôtre, il ne faut pas oublier que les déformations de la surface d'onde sont en mouvement continu et qu'aucun élément de la surface d'onde n'est particulièrement privilégié; il subira au cours du temps toutes les inclinaisons de  $0$  à  $t$ . Si l'on dispose d'un équatorial suivant l'étoile, l'agitation de l'image mesurée par rapport au réticule permettra en fait de déterminer toutes les déviations de la normale à la surface d'onde pour toutes les valeurs du diamètre du télescope supérieures à  $D$ . L'aspect des anneaux dans la classification de Danjon permettra de juger de l'altération et de mesurer  $t$  pour un diamètre  $D$  et de donner par comparaison au rayon apparent  $\alpha$  de la tache centrale de la figure de diffraction, l'échelle de l'agitation.

Comme nous l'avons déjà vu, quand on observe une très bonne image ( $t$  petit), on peut facilement estimer l'amplitude des déplacements de l'image (réfractions accidentelles); ils peuvent atteindre  $1$  à  $2''$  mais pendant des durées relativement courtes par rapport à la durée de l'image non déviée. J'ai eu l'occasion tout dernièrement d'observer ces phénomènes au foyer de la lunette guide (26 cm de diamètre) du prisme objectif de Fehrenbach installé à Zeekoegat au cours de poses de plusieurs heures. Lorsque les images étaient très bonnes (n° 4 de l'échelle de Danjon,  $0'',14$  avec cet objectif), les déplacements ne dépassaient  $1''$  que pendant  $1$  à  $2/10$  du temps. Parfois l'image était encore plus stable. Certains de ces écarts étaient lents et se stabilisaient assez longtemps en dehors du fil; ils devaient alors être dus aux réfractions accidentelles dont j'ai déjà parlé. On pourrait conclure de cela qu'un grand télescope observant au cours des mêmes nuits, aurait donné des images dont le rayon du profil photométrique aurait dépassé de peu  $0'',14$  et les ailes  $0'',50$ . Au cours des réfractions accidentelles, la lumière se répartit sur une surface beaucoup plus grande et au cours d'une durée relativement petite, les ailes ont donc une intensité moyenne très inférieure à l'intensité centrale. Les réfractions accidentelles ne jouent donc pas un rôle très important dans l'étalement de l'image. J. Texereau a d'ailleurs vérifié cela en prenant des clichés, tantôt instantanés, ( $1/500^e$  de seconde), tantôt posés  $2$  à  $5$  mn. Le diamètre des étoiles était le même ( $0'',93$ ). Le pouvoir séparateur photographique d'un grand

instrument serait dans les conditions des observations de Zeekogat de l'ordre de  $0'',35$  environ. J'ai constaté plusieurs fois à l'Observatoire de Haute Provence visuellement avec le télescope de 193 cm des pouvoirs séparateurs du même ordre et N. U. Mayall a obtenu des résultats semblables pour certaines photographies prises au cours des réglages du télescope de 3 m de l'Observatoire de Lick.

Des images de  $0'',3$  de rayon sont peut-être la limite qu'on puisse espérer sauf dans le cas de quelques réfracteurs exceptionnellement bien situés (Lick, Pic du Midi) où l'on atteint  $0'',2$  mais pour des poses toujours très courtes. Les diamètres minimaux d'étoiles obtenus par d'excellents observateurs sur les plus grands instruments sont rarement descendus à moins de  $1''$  ( $0'',7$  pour le Palomar) quand on consulte la collection complète des clichés (<sup>4</sup>).

Le moment est maintenant venu de définir les qualités pratiques minimales qu'on doit exiger de l'instrument de projection. L'instru-

(<sup>4</sup>) En cours d'édition, le Docteur Bowen nous a fait parvenir les renseignements suivants :

La mesure du diamètre d'images photographiques d'étoiles de 0,5 à 2,0 magnitudes au-dessus de la magnitude limite a donné pour les meilleurs clichés les résultats du tableau I. (Diamètres d'images mesurés par Miss Swope sur des plaques prises avec le télescope de 5 m du Mont Palomar muni d'une lentille de Ross.)

TABLEAU I.

| N°          | Plaque. | Durée de pose (mn). | Qualité visuelle des images. | Diamètre moyen des images. |
|-------------|---------|---------------------|------------------------------|----------------------------|
| 229 B.....  | 103 aE  | 90                  | 4-7                          | 0,84                       |
| 648 B.....  | 103 aD  | 60                  | 5                            | 0,77                       |
| 1353 B..... | 103 aD  | 10                  | 5                            | 0,67                       |
| 954 B.....  | 103 aO  | 5                   | 4-5                          | 0,63                       |
| 1095 S..... | 103 aO  | 2,4                 | 3-1                          | 0,56                       |
| 668 B.....  | 103 aD  | 2                   | 4-5                          | 0,54                       |

TABLEAU II.

*Cotation de la qualité des images.*

| Qualité.....                  | 3       | 4         | 5         | 6         | 7         |
|-------------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Diamètre visuel de l'image... | 1 à 1,5 | 0,6 à 1,0 | 0,4 à 0,6 | 0,3 à 0,4 | 0,2 à 0,3 |

Les résultats du tableau I montrent que le diamètre des images croît avec la durée de pose. Le Docteur Bowen pense que la seule interprétation qu'on puisse donner consiste en un effet prédominant du voile de fond de ciel :

"... Thus the first group of plates was exposed for from 60 to 90 mn, which brought the background density due to sky fog up to 0.5 to 0.8. On the other hand, the short exposure plates had a relatively clean background. On these short exposure plates, as one moves out from the center of the image, the intensity rapidly drops below the threshold intensity of the plate and is therefore not recorded. On the

ment devra être capable de vérifier les deux conditions suivantes au moins :

1° que les irrégularités de planéité des contours  $\Gamma$  de diamètre  $d$  n'entraînent pas de déviations  $t$  supérieures au pouvoir séparateur maximal qu'on puisse espérer atteindre, soit  $0''{,}3$ ;

2° que le diamètre  $d$  des contours  $\Gamma$  soit au moins assez grand pour ne pas compromettre le pouvoir séparateur général du télescope, soit  $d \geq 40$  cm.

La première de ces qualités est fournie par un télescope de 20 à 30 cm de diamètre et la méthode de Danjon qui donnera une précision surabondante pour l'évaluation de  $t \geq 0''{,}3$ .

La seconde nécessiterait un grand miroir qu'on ne peut pas envisager pour une prospection. On peut remplacer de grands miroirs par de petits miroirs répartis régulièrement en un réseau assez serré pour que plusieurs d'entre eux puissent recevoir la lumière des régions  $\Gamma$  de l'ordre de 40 cm de diamètre. La méthode de Hartmann permettrait alors de connaître la figure de la surface d'onde  $\Sigma$  et de déterminer le diamètre  $d$  des contours  $\Gamma$ . Rösch a préconisé cette méthode pour laquelle on peut imaginer des instruments très simples et des méthodes rapides de dépouillement par comparaison à des diagrammes types.

Un instrument ayant ces deux qualités négligerait encore le caractère constamment variable de l'inclinaison des contours plans  $\Gamma$ , c'est-à-dire l'agitation pour un télescope de diamètre  $d$ . Un équatorial serait l'idéal, mais il ne peut en être question pour une première prospection. Il est toutefois possible de procéder ainsi :

1° choisir par la méthode de Danjon (télescope de 20 à 30 cm) un site où  $t$  est le plus faible possible. Cela paraît de première nécessité;

2° après cette première sélection, utiliser la forme de la méthode de Hartmann préconisée par Rösch. On aura ainsi déjà obtenu une bonne élimination;

3° installer un télescope réflecteur équatorial de 50 cm de diamètre, ce qui après tout n'est pas très difficile et permet de mesurer le troisième

---

long exposure plates however all points on the plates are brought above the threshold by the sky fog and consequently the small addition due to the intensity at some distance from the image center is still recorded thus giving an apparently larger image. I suspect the eye also in estimating diameter neglects the outer part of the image where the intensity has fallen below  $1/4$  to  $1/2$  of that of the center. This is a very surprisingly large effect and I believe would well justify further study.... I next measured some short exposure plates and as you will note these consistently gave substantially smaller images. I do not believe this difference can be attributed to seeing effects since the shortest exposure (2 mn) is very long compared to the period of any motions or distortions.... "

paramètre tout en vérifiant les deux premiers, en prenant par exemple des clichés détaillés avec un amplificateur d'image (*fig.* 36 à 40).

C'est d'ailleurs, à l'exception du stade 2 de ce plan de prospection, le programme qui a été suivi au cours de la prospection de l'E. S. O. en Afrique du Sud. La méthode de Danjon a permis de sélectionner deux stations possibles après une prospection de plusieurs années. Maintenant des instruments de puissance moyenne, montés équatorialement, ayant d'ailleurs d'autres programmes scientifiques, permettent de terminer cette prospection dans des conditions très sûres. On peut se demander si le troisième stade de cette prospection est bien nécessaire. En effet, les mesures de Danjon à l'aide de l'interféromètre de Mach montrent que les différences de marche maximales  $\Delta\lambda$  (*fig.* 33) de la surface d'onde sont de l'ordre d'une longueur d'onde soit  $0,5 \mu$  et sont atteintes pour une séparation de faisceaux de 20 cm; cela correspond à des inclinaisons maximales de  $0",5$  des éléments  $\Gamma$ .

L'effet de moyenne introduit par un grand nombre d'éléments  $\Gamma$  d'inclinaisons différentes est peut-être une des raisons du léger gain en pouvoir séparateur des très grands télescopes (3 à 5 m de diamètre), car le profil photométrique de l'étoile résulte d'une meilleure « intégration » des nombreux faisceaux issus d'éléments  $\Gamma$  affectés de l'agitation, la position du maximum de la tache photométrique reste stable et l'accumulation de la lumière se fait mieux selon un profil en cloche dont la convexité au sommet est mieux conservée, ce qui favorise la netteté des étoiles faibles à la limite de la détection par rapport au fond du ciel. Ce n'est plus le cas pour un télescope de l'ordre du mètre où le nombre des éléments est beaucoup moindre (dans le rapport des carrés des diamètres, soit 25, entre un télescope de 1 m et celui de 5 m par exemple). Le maximum se déplace constamment et il se peut que le sommet ait une répartition plus plate.

**Micro-météorologie.** — *Conditions locales et effets de tube.* —

La coupole, le tube du télescope, qu'il soit plein ou à claire-voie, sont le siège de tourbillons et d'écoulement d'air de température différente; l'examen au couteau de Foucault permet de suivre ces phénomènes qui sont aussi nuisibles que les « fils » ou les inhomogénéités d'indice des pièces d'optique des réfracteurs. La topographie locale entraîne aussi des écoulements d'air près du sol (quelques mètres). Il arrive, au cours de nuits de qualité exceptionnelle, que ces phénomènes soient la seule raison de perturbation des images (cas où l'on observe uniquement les mouvements très lents).

A l'observatoire de Haute Provence, nous avons aussi constaté des différences systématiques de la qualité des images d'un télescope à l'autre. Les vallées même peu prononcées sont des régions d'écoulement d'air froid qu'on doit éviter. On peut conseiller aux observateurs, d'abord

de repérer par l'observation directe les phénomènes systématiques, ensuite de les contrôler par la mesure du gradient de température sur les 20 premiers mètres, et peut-être aussi de mesurer les vents faibles (brise) sur la même différence de hauteur avec un petit anémomètre sensible.

La durée des échanges thermiques avec le sol est aussi essentielle; certains terrains désertiques (Hammadah, Sahara et Grand Karroo, Afrique du Sud) en dépit d'un échauffement excessif dans la journée, rayonnement si vite que la qualité des images est excellente dès le début de la nuit.

L'idéal dans le stade final d'une prospection serait de placer les instruments d'optique de mesure de la qualité des images sur une plateforme métallique légère d'au moins une dizaine de mètres de hauteur, rayonnant rapidement la chaleur emmagasinée pendant la journée. Les « tours » de Meinel correspondent à ce souci de s'élever au-dessus du sol; il est regrettable seulement que la direction visée soit toujours celle de la Polaire car les effets en azimut sont parfois très importants comme nous avons pu le constater, Dommanget et moi-même, en Afrique du Sud. Les inhomogénéités à l'intérieur du tube et de la coupole peuvent être considérablement diminuées en s'arrangeant pour établir dans le tube et dans l'ouverture de trappe des courants d'air en régime laminaire. On sait comment A. Couder a résolu ce problème pour le télescope de 193 cm de l'Observatoire de Haute Provence. L'amélioration, quand la qualité des images n'est compromise que par les inhomogénéités dans le tube du télescope, est incontestablement très sensible et entraîne par exemple le dédoublement net d'une étoile double à la limite de séparation.

Depuis la mise en service du télescope de Schmidt de 48 pouces on a pu constater qu'aucun télescope de même ouverture ne donnait une définition équivalente en dépit d'une perfection équivalente de l'optique. Ce seul fait dû uniquement au tube fermé de Schmidt devrait persuader de la nécessité absolue de créer la plus grande homogénéité d'indice dans le tube des grands instruments. Mais ceci nous éloigne quelque peu de notre sujet tout en attirant l'attention sur le dernier et essentiel stade de la recherche des bonnes images.

**Conclusion.** — Peut-être sera-t-on déçu au moment de conclure de ne pas trouver le schéma de l'appareil idéal, ou simplement la description de tous les instruments précédemment utilisés.

J'ai volontairement laissé le soin à chacun des auteurs de décrire ses propres méthodes et j'ai donné à cet exposé uniquement le caractère d'un rapport introductif, c'est-à-dire se limitant à poser le problème instrumental en précisant les paramètres essentiels qui ne sauraient être négligés par aucune méthode.

Enfin, on peut regretter, en lisant les travaux effectués sur ces sujets que vu l'importance du problème on ne fasse pas davantage de recherches sur les grands télescopes eux-mêmes. On comprendrait peut-être beaucoup mieux leur comportement dans le cas d'une surface d'onde perturbée. Le programme des grands instruments est bien sûr très chargé, mais la clé réelle des recherches efficaces sur le choix des sites et des instruments ne serait-elle pas d'abord dans cette étude ?

