

Answer. No. The photograph is a microphotograph, taken with a 6 mm. objective on Kodak Super XX film and subsequently enlarged.

Nous plaçons ici une communication de M. Whipple, se rapportant au sujet traité par M. Linfoot, quoique cet exposé ait été fait, pour des raisons matérielles, au début de l'après-midi.

2. EXPERIENCES WITH THE BAKER SUPER-SCHMIDT METEOR CAMERAS

By FRED L. WHIPPLE, *Harvard College Observatory*

The Super-Schmidt Meteor Camera was designed by James G. Baker and manufactured by the Perkin-Elmer Corporation for the Bureau of Ordnance of the United States Navy, to be used by the Harvard Observatory. The camera, of fine optical components including a spherical mirror, has an aperture of 12.3 inches, a focal length of 8.0 inches and covers a field of 55° with a spherical focal surface of 7.3 inches diameter. The optical focal ratio is nominally $f/0.65$ and effectively $f/0.85$.

The first complete telescope was installed in New Mexico during the summer of 1951. Since March 1952 two of them have been operating at two stations for the simultaneous photography of meteors.

Rotating shutters break the exposure for meteors 60 times per second and admit 25 % of the light for stationary objects in the sky. Special equipment has been designed at the Harvard Observatory for moulding flat photographic film to a radius of curvature of 8.0 inches by means of heat. The moulding technique is completely successful and requires 2 minutes per film. The optical system of the camera is opened for loading the film. The operation requires about 3 minutes. The film is held on a spherical surface by vacuum to a precision of about 0.0005 inch. With Eastman X-Ray film and with the rotating shutter, the maximum exposure on the sky is 12 minutes; the operating cycle is 15 minutes.

The Super-Schmidt cameras give the optical performance of high quality wide-angle lens systems with about 80 % of the light contained in a 25-micron disk near the optical axis and in about a 50-micron disk near the edge of the field. Lack of achromatism is small in the wave-length range 3800–4500 Å., but becomes quite appreciable in the red end of the spectrum.

Some 200 meteors have been doubly photographed in the interval March through July 1952 with a rate of about one meteor per 30 minutes of exposure time. This effective rate for meteor photography is from 50 to 100 times greater than with any previous lens systems used for the purpose.

3. SUR LES PHENOMENES THERMIQUES NUISIBLES DANS LES TELESCOPES A REFLEXION

Par A. COUDER, *Paris, France*

Les phénomènes dont je vais parler sont de deux ordres différents. J'examinerai en premier lieu les effets qui résultent des différences de température qui existent dans l'air, à l'intérieur d'un instrument et dans son voisinage immédiat, sur le trajet du faisceau lumineux: c'est là ce qu'on pourrait appeler la micrométéorologie de l'observation télescopique. Comme résultat de cette étude je décrirai brièvement les dispositions qui ont été introduites dans l'installation du télescope de 193 cm. actuellement en cours de réalisation à l'Observatoire de Haute-Provence, comme une tentative pour améliorer ces conditions micrométéorologiques.

Dans une seconde partie je considérerai les déformations thermiques des miroirs eux-mêmes. Sans revenir bien longuement sur la description de ces déformations, connues

depuis longtemps, je rendrai compte des résultats que j'ai obtenus récemment en cherchant à les corriger.

En étudiant le fonctionnement de mon dispositif correcteur, j'ai trouvé que ce même dispositif convient d'une façon heureuse à une autre application. l'exécution même de la surface paraboloidale; je terminerai en racontant comment j'ai pu tailler sans aucune retouche locale un miroir de 120 cm.

* * * *

On sait que le défaut d'homogénéité optique de l'atmosphère trouble les images télescopiques à un degré plus grave, en général, que les imperfections des instruments. Les procédés d'examen dont on dispose pour analyser l'image agitée permettent de localiser l'origine des perturbations. Des aspects très différents caractérisent l'effet des couches troublantes situées à une altitude élevée, qui produisent la turbulence atmosphérique proprement dite et, d'autre part, les défauts d'homogénéité de l'air au voisinage de la coupole, à l'intérieur de celle-ci et dans l'instrument lui-même. Dans l'observation nocturne, c'est lorsque le vent au sol est nul, circonstance souvent favorable à une agitation lointaine faible, qu'on discerne le plus aisément l'aspect des troubles locaux et qu'on peut le mieux apprécier leur gravité. L'ouverture de la coupole est le siège d'une circulation complexe, due à l'excès de la température intérieure, où les vitesses sont de l'ordre du mètre par seconde. Les pièces de grande masse du télescope présentent une température superficielle souvent supérieure de plusieurs degrés à celle de l'air. On voit s'élever au-dessus d'elles des courants d'air chaud turbulents qui passent, avec des vitesses de l'ordre du décimètre par seconde, à travers le faisceau optique, où ils introduisent des différences locales de marche dépassant communément une demi-onde.

Depuis longtemps, les observateurs usent de moyens qui permettent de diminuer l'échauffement diurne et de hâter le refroidissement au début de la nuit. D'autre part, dans un télescope construit en 1931, j'ai cherché à isoler des courants chauds le volume occupé par le faisceau en l'enfermant dans un tube léger fait de matériaux isolants et de faible capacité calorifique, placé à l'intérieur de la charpente métallique. Ces divers moyens sont utiles, mais laissent désirer des résultats plus complets. Je décris ici les dispositions nouvelles qui sont introduites dans la construction et l'installation du télescope de 193 cm. destiné à l'Observatoire de Haute-Provence.

On se propose de détruire complètement la convection naturelle en lui substituant une circulation forcée. Le faisceau optique est dirigé suivant l'axe d'un jet d'air prélevé à l'extérieur de la coupole et conduit jusqu'au miroir du télescope lui-même. Les différents organes qui canalisent ce jet constituent une tuyère à peu près de révolution autour de l'axe optique; la vitesse axiale est maxima à l'entrée de la coupole; elle décroît progressivement le long du tube du télescope et ne s'annule qu'à une très faible distance du miroir. Voici comment il a paru possible de concilier ce programme avec les exigences qui résultent d'autres considérations, tout en laissant possible de revenir, quand il conviendra, aux conditions habituelles de l'observation.

L'ouverture de la coupole n'est plus, comme d'ordinaire, une fente étendue du zénith à l'horizon: des volets la limitent de telle sorte que sa hauteur soit égale à sa largeur. Des ventilateurs sont installés dans d'autres ouvertures de la paroi de la coupole; ils créent dans son intérieur une dépression en refoulant l'air au dehors (dans l'azimut opposé à celui où l'on observe). A l'égard de l'atmosphère extérieure, l'ouverture d'observation constitue un 'puits' où règne un écoulement dont le régime est bien déterminée. Les bords du trou portent des garnitures arrondies, constituant une courte buse, destinées à réduire un peu la contraction et à conserver la régularité de l'écoulement en présence d'un faible vent transversal. Une vitesse sur l'axe pouvant atteindre 2,5 m/s paraît nécessaire pour détruire la convection naturelle. Comme il faut surmonter l'effet de 'tirage' dû à l'excès de la température intérieure, la dépression que les ventilateurs doivent créer est voisine de 0,6 mm. d'eau.

Le tube du télescope s'ouvre à peu de distance du plan de l'ouverture; son diamètre est inférieur à la section contractée de la veine gazeuse, dont son bord tranchant prélève

la partie centrale, tandis que le reste se disperse dans le volume de la coupole. La paroi du tube est double: l'extérieure, étanche, est faite de matériaux rigides; l'intérieure, poreuse, d'une simple toile. Ces parois et les cloisons terminales délimitent un volume dans lequel de petits ventilateurs, refoulant vers l'extérieur, créent une dépression. L'air qui a pénétré dans le tube intérieur filtre donc à travers toute sa surface et fuit latéralement le volume occupé par le faisceau lumineux; corrélativement, la vitesse axiale diminue progressivement du haut en bas. Dans ce courant régulier, la présence du support du miroir secondaire introduit inévitablement un sillage turbulent. On peut espérer que ce remous sera peu nuisible parce que le trajet des rayons dans son intérieur est court et parce que, vu la vitesse de l'air, les variations de pression sont très faibles: les écarts de température y sont seulement de l'ordre du millième de degré.

La température d'un grand miroir de télescope étant d'ordinaire supérieure de 2 ou 3 degrés à celle de l'air, on observe à sa surface une couche de convection très active qui prend parfois l'organisation régulière d'un système de tourbillons cellulaires de Bénard. On cherche ici à réduire l'épaisseur de cette couche en produisant un écoulement radial de l'air. Pour cela, un collecteur sous dépression est disposé autour du miroir; il présente une fente circulaire qui s'ouvre au voisinage immédiat du contour de la surface optique. Un second dispositif équivalent entoure l'ouverture centrale du miroir. Les précautions nécessaires sont prises pour que celle-ci ne donne pas lieu à une rentrée d'air.

Cette description, quoique un peu sommaire, suffit à faire ressortir l'idée fondamentale: conduire jusqu'au miroir un lent courant d'air prélevé à l'extérieur de la coupole toujours par une faible aspiration, sans jamais souffler vers le faisceau lumineux: l'air refoulé par un ventilateur est, en effet, dans un état d'hétérogénéité optique très préjudiciable à la qualité des images.

Je dois savoir limiter mon propos. En réalité, l'étude micrométéorologique des instruments implique beaucoup de recherches de détail que je crois utiles. Je me permettrai de renvoyer à un travail sur les effets thermiques qui se produisent près de l'ouverture supérieure du télescope, autour du support du miroir secondaire [*L'Astronomie*, 63, 1949, p. 253].

* * * *

Nous allons maintenant examiner les déformations thermiques d'un miroir de télescope.

Jusqu'à présent, on n'a opposé à ces déformations que des moyens de lutte passifs (verres à faible coefficient de dilatation, calorifugation partielle du disque; aération ménagée de ses surfaces) qui sont utiles mais insuffisants. J'ai cherché à intervenir d'une manière active: l'arme offensive est un faible apport artificiel de chaleur, convenablement localisé.

Les expériences ont été faites sur le télescope de 81 cm de l'Observatoire de Haute-Provence; longueur focale de la combinaison Cassegrain 12 m., épaisseur moyenne du miroir 7,6 cm., capacité calorifique 19 kg. d'eau; coefficient de dilatation $8 \cdot 10^{-6}$. Au cours d'une séance d'observation, la température de l'air et celle de l'instrument s'abaissent avec une vitesse qui atteint souvent un degré par heure. A ce régime, le miroir perd constamment par conduction, convection et rayonnement environ 22 W et sa température moyenne se tient à 2,4 degré au-dessus de celle du milieu. Si la température de tout l'instrument restait uniforme, on n'observerait qu'un lent déplacement apparent du plan focal, résultant de la différence des coefficients de dilatation du miroir et du tube d'acier: inconvénient négligeable en pratique. Les effets réellement nuisibles viennent de ce que la température du miroir n'étant pas constante ne peut être uniforme; il existe d'assez forts gradients de température à l'intérieur de cette masse médiocrement conductrice, d'où résultent des déformations importantes.

Moyennant certaines dispositions (tube ajouré au voisinage du miroir), la déformation de la surface respecte la symétrie de révolution autour de l'axe optique.

En chaque point d'un méridien, à la distance x de l'axe, la différence de marche Δ introduite par l'effet thermique se présente sous la forme

$$\Delta = ax^2 + bx^4.$$

Le terme ax^2 correspond à un changement de la longueur focale. Sa valeur moyenne est à peu près nulle, mais il est soumis à des fluctuations aléatoires liées aux conditions micro-météorologiques. On s'en accommode en modifiant le tirage de mise au point.

Le terme bx^4 représente un défaut semblable à l'aberration de sphéricité. On observe toujours une sur-corrrection, variable entre zéro et 3 fois la limite de Rayleigh (le plus souvent égale à 1,2 fois cette limite), laquelle pour l'ouverture relative $F:15$ correspond à une aberration longitudinale des rayons marginaux égale à 2,0 mm. C'est cet effet partiel, directement nuisible, que je me suis proposé de corriger.

Le dispositif qui a réussi est le suivant. Sur la face postérieure du miroir est appliquée une résistance en fil fin de constantan, en bon contact thermique avec le verre, doublée extérieurement d'une enveloppe calorifuge. Elle recouvre d'un lacs serré une zone ayant 57,8 cm. de diamètre intérieur, 70,8 cm. de diamètre extérieur. La structure du faisceau fourni par une étoile brillante est étudiée par la méthode de Foucault. Le circuit étant fermé sur une batterie on obtient en peu de temps un état stable caractérisé par l'apparition d'une sous-corrrection sphérique, l'aberration longitudinale des rayons marginaux valant 0,81 mm. pour chaque watt dépensé dans l'enroulement, et d'autre part un raccourcissement de la longueur focale du même ordre de grandeur. Dans les circonstances ordinaires, une puissance un peu inférieure à 3 W. suffit à compenser le défaut thermique habituel du miroir avec toute la précision que comporte l'essai à la lame de couteau. Avec une puissance 8 fois plus grande, l'aberration créée artificiellement devient énorme, sans cesser d'être régulière.

Le régime stable est atteint suivant une fonction exponentielle du temps: la moitié de l'effet limite est obtenue en 8 minutes. Comme les changements spontanés de la forme du miroir sont beaucoup plus lents, l'observateur est toujours maître d'obtenir par le simple jeu d'un rhéostat une correction excellente en un quart d'heure.

Lorsque, par un réglage convenable, on a obtenu la disparition de l'aberration, cela signifie que l'apport local de chaleur a transformé les surfaces isothermes à l'intérieur du miroir en des plans normaux à l'axe optique. Il a suffi pour cela d'ajouter 3 W. aux 22 W. que perd constamment le miroir au cours de la nuit. L'excès de la température de la surface optique sur celle de l'air est rendu uniforme dans toute son étendue, et il est augmenté au total de 13,5%. Cet accroissement n'est pas tel qu'il puisse aggraver sensiblement l'effet optique des courants de convection aériens. Aussi l'amélioration des images est-elle remarquable.

Tout miroir existant peut recevoir un tel correcteur pourvu qu'on adopte un dispositif de support antiflexion qui laisse au dos du verre le petit espace nécessaire à loger les enroulements chauffants et le revêtement calorifuge. La puissance à mettre en jeu dans chaque cas ne peut être connue d'avance; en revanche, on peut prévoir que les constantes de temps seront proportionnelles aux carrés des épaisseurs des miroirs.

* * * *

J'ai dit tout à l'heure que lorsque j'ai cherché par l'expérience à définir les conditions de réglage du compensateur de déformation thermique, j'ai examiné l'effet d'un régime fortement exagéré.

Tandis qu'une puissance de quelques watts peut ramener à la forme parabolique le miroir qui apparaît légèrement hyperbolique dans les conditions ordinaires de l'observation, l'accroissement de la puissance dissipée dans les enroulements chauffants permet de faire apparaître une forte sous-corrrection et même de ramener le miroir à la forme sphérique avec un degré de régularité et de précision suffisant. Cette remarque m'a paru ouvrir une perspective intéressante pour l'exécution, à l'atelier, de la surface parabolique des grands miroirs de télescope.

Le frottement d'un polissoir rigide engendre naturellement une surface sensiblement sphérique. L'abaissement du bord, qui caractérise le paraboloïde comparé à sa sphère osculatrice, est d'ordinaire obtenu par les effets conjugués d'un mouvement relatif très ample et de la flexibilité de l'outil, puis, à la fin du travail, par l'action locale de polissoirs de petites dimensions: l'opération est laborieuse et le résultat incertain. Pour tourner la

difficulté, on peut se proposer d'exécuter une surface sphérique sur un disque de verre actuellement soumis à des contraintes telles que leur relaxation ultérieure fasse apparaître la forme parabolique cherchée. B. Schmidt a réalisé vers 1930 ses lames asphériques en recourant à une contrainte purement mécanique; lorsque j'ai donné en 1940 la théorie de ce procédé, j'ai montré numériquement qu'il ne peut s'appliquer qu'à des disques de verre très minces; d'ailleurs la déformation la moins malaisée à produire est de sens opposé à celle qui convient ici.

En conséquence, ce sont seulement les déformations résultant de la création d'un gradient de température qui peuvent rendre l'artifice valable pour un miroir de télescope épais et rigide.

Le laboratoire d'optique de l'Observatoire de Paris ayant reçu la tâche de tailler pour l'Observatoire de Haute-Provence un miroir de 120 cm. de diamètre et de 720 cm. de longueur focale, j'ai tenté de le mettre en forme suivant le principe indiqué ci-dessus. Après un polissage préliminaire, la forme de la surface obtenue a été soigneusement déterminée par la méthode de Foucault. Ensuite on a appliqué au dos du miroir, placé en position d'examen, des résistances chauffantes analogues à celles que j'ai décrites précédemment, et l'on a cherché par l'expérience une disposition et un régime tels que la déformation thermique observée, par rapport à la forme initiale, soit précisément opposée à la différence en chaque point des ordonnées du paraboloïde comparé à une certaine sphère de référence. L'état d'équilibre caractéristique d'un régime donné est atteint suivant une fonction exponentielle du temps; ici, la moitié de la déformation est acquise en 40 mn. Cela fait, le dispositif chauffant et le miroir ont été placés dans la même position relative sur la machine à polir. Le disque étant soumis depuis 17 h. au régime de chauffage précédemment défini, sa surface a reçu un polissage prolongé pendant 5 h. L'examen consécutif a montré l'efficacité de la méthode et conduit à modifier la marche suivie: la puissance de chauffage a été un peu réduite, et l'on a renoncé à prétendre opérer près de l'état d'équilibre; en effet, la viscosité de la poix à polir permet de travailler en régime variable.

Voici le mode opératoire finalement adopté. Une résistance chauffante *A* recouvrait une zone du dos du miroir de rayon intérieur 47 cm. et de rayon extérieur 58 cm., une résistance *B* était enroulée au fond de la gorge creusée sur la tranche du disque vers le milieu de son épaisseur; celle-ci vaut 18 cm. Le chauffage était établi 1 h. avant le début du travail, pendant le pressage préliminaire de l'outil, les résistances *A* et *B* dissipant respectivement 28,7 et 12,0 W.; le polissage durait 4 h.

Le miroir étant, au départ, à peu près sphérique, les examens faits à la suite des trois premières reprises ont montré des formes ellipsoïdales assez régulières d'excentricités croissantes, avec une tendance à la formation d'une dépression centrale qu'on a combattue en dégarnissant le centre de l'outil. Le quatrième essai, confirmé par la méthode de Hartmann, a montré que la surface s'écartait seulement de 1:6 de frange d'un paraboloïde parfait (extrême bord relevé). Ce résultat paraît assez remarquable si l'on note que l'écart du paraboloïde à la sphère osculatrice vaut ici 5,4 μ soit 19 franges. Il m'avait fallu 28 reprises pour obtenir le même résultat par les moyens classiques sur un miroir identique taillé en 1931.

Une dernière retouche locale eût été facile, mais j'ai renoncé à la donner; en effet, l'action retenue d'un petit polissoir crée toujours de menus accidents à structure fine qui diffusent la lumière; d'autre part, le défaut résiduel, inférieur à la limite de Rayleigh, est de sens opposé à la déformation thermique qu'on peut s'attendre à observer sur le télescope en service.

* * * *

M. Colacevich demande si la méthode des déformations thermiques pourrait être appliquée à l'exécution de la lame correctrice d'une chambre de Schmidt.

M. Couder: Le procédé original de B. Schmidt, qui utilise une déformation purement mécanique due à la pression atmosphérique (et qui a l'avantage de ne pas faire intervenir le temps) s'applique facilement aux lames à bord relevé, pourvu qu'elles soient très minces; j'ai donné, il y a un certain temps, les calculs et les valeurs numériques nécessaires à l'application de cette méthode [C.R. 210, 1940, p. 327]. Il faudrait créer des gradients thermiques considérables, répartis d'une manière difficile à réaliser, pour obtenir le même résultat avec beaucoup moins de commodité. Le cas d'un miroir parabolique est tout opposé: c'est la déformation purement mécanique qui serait difficilement praticable. Il faudrait appliquer une pression d'air positive sur le dos du disque et lui opposer une réaction uniformément répartie le long du contour, ce qui est difficile; enfin, comme un miroir de télescope doit être rigide, les forces à mettre en jeu seraient très grandes. Les deux procédés ont donc des champs d'application différents.

Sur la demande de M. Sisson, M. Couder explique comment est installé le système de chauffage sur la machine à polir. Naturellement, le courant est amené par des balais à la table tournante. Celle-ci est plane et recouverte du coussin qui doit soutenir le verre par une pression bien uniforme; il consiste en des couches alternées de couvertures de laine et de feuilles de papier (ce qui évite le feutrage des fibres et accroît en même temps l'isolement calorifique). L'organe chauffant est placé sur le coussin, c'est un fil de constantan de 3/10 de mm. enroulé sur une couronne de plexiglas de 1,5 mm. d'épaisseur; l'ouverture centrale est comblée par un disque pris dans la même feuille de plexiglas; ainsi la flexibilité du coussin est peu diminuée et elle reste uniforme. Le verre est placé sur le tout avec interposition d'une feuille mince de chlorure de vinyle (pour arrêter l'eau qui ruisselle autour du verre). Grâce au coussin calorifuge, la table de métal n'absorbe qu'une très faible part de la chaleur émise par la résistance. Cela est très important; en effet, la table de fonte est renforcé sur sa face inférieure par des nervures en relief, capables de bien diffuser la chaleur et qui risquent donc de produire un refroidissement local. On pourrait craindre que les lignes isothermes dessinent sur le plan dorsal du miroir une réplique des nervures de la table. La précaution, que M. Couder a recommandée depuis longtemps, de faire tourner de 1/4 ou 1/3 de tour, à chaque 1/2 heure, le verre par rapport à son support évite complètement l'astigmatisme; ici son avantage est double: éliminer l'effet astigmatissant des irrégularités mécaniques du coussin et celui des irrégularités thermiques de l'organe chauffant.

M. ten Bruggencate: Is it possible to get rid of deformation of caelostat mirrors heated by the Sun, by using a similar method? — M. Couder: Certainement; c'est la première application que j'ai envisagée après la correction de 'l'effet de bord' nocturne, avant de penser à la taille des miroirs paraboliques. Je l'ai signalée à la fin de ma première note à l'Académie des Sciences [C.R. 231, 1950, p. 1290].

Séance de l'après-midi: M. A. Couder (*Président*): R.P. J. de Kort (*Secrétaire*); M. Laffineur, G. M. Sisson (*Traducteurs*).

4. LES RECEPTEURS ELECTRONIQUES

Par A. LALLEMAND, *Paris, France*

L'interaction d'un photon avec la matière peut donner naissance à la libération d'un électron, c'est l'effet photoélectrique extérieur; c'est un phénomène physique des plus remarquables où on assiste à la quantification de la lumière. Ce qui nous intéresse surtout en astronomie c'est qu'il semble bien établi que la probabilité d'émission d'un électron par un photon ne dépend pas du nombre des photons reçus par unité de temps;