

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;

autrement dit, disposant d'un rayonnement lumineux aussi faible que l'on voudra, on pourra toujours en augmentant le temps d'exposition ou temps de pose, recueillir un nombre suffisant, arbitraire de photoélectrons. Or ce nombre de photoélectrons même, si nous savons le compter sans faire aucune faute, avec un appareil idéal, fixe fondamentalement la valeur de la mesure, la précision de l'observation, le nombre d'informations que l'on peut tirer au maximum de l'étude de ce rayonnement lumineux. En effet l'émission de ces photo-électrons s'effectue d'une manière aléatoire en suivant une distribution de Poisson, si l'on arrive à compter pendant le temps d'observation N électrons, l'écart quadratique moyen sera \sqrt{N} et c'est la valeur $1/\sqrt{N}$ qui fixe la qualité de la mesure, ceci en supposant l'appareil de comptage idéal. Ce que l'on pourra réaliser pratiquement sera toujours plus mauvais. Partant de là, nous dirons que tout récepteur d'énergie lumineuse est un appareil qui sait compter les photons, le temps de pose étant le temps pendant lequel il effectue le comptage. C'est un récepteur idéal s'il les compte sans se tromper, pour des rayonnements aussi faibles que l'on voudra et pendant un temps aussi long qu'on le désire. Il n'en est jamais ainsi et nos récepteurs se trompent presque toujours par excès, c'est le courant parasite ou d'obscurité ou le voile des plaques photographiques. D'autre part ils possèdent un rendement quantique plus petit que un. un photon ne libère pas toujours un électron.

Le récepteur le plus parfait que l'on connaisse est l'œil, son rendement quantique est du même ordre de grandeur que les meilleures couches photoélectriques (20%), il est presque totalement dépourvu d'effets parasites. Un seul photon ne suffit pas à produire une sensation visuelle, mais l'œil possède un remarquable mécanisme qui permet de mettre en parallèle plusieurs éléments rétiniens lorsque le nombre de photons reçu est trop faible. Il possède une propriété très importante: son temps de pose est très court de l'ordre de $1/10$ à $1/20$ de seconde. Nous voyons donc que l'effet photoélectrique donnera, pour des éclaircissements très faibles, des informations de qualité supérieure celle de l'œil si le temps de pose est largement supérieur à $1/10$ de seconde. Par contre pour l'étude des phénomènes transitoires (détermination de l'instant de passage d'une étoile, d'une éclipse) comme il est nécessaire, pour l'appareil photoélectrique, d'avoir un temps de réponse, donc un temps de pose très court, il sera alors très difficile d'avoir de meilleures informations que celle données par l'œil. Il est bien entendu que ceci n'est vrai que pour des éclaircissements très faibles car, lorsque l'on dispose de beaucoup de photons tout est possible avec l'effet photoélectrique par exemple dans les compteurs à scintillations utilisés en physique nucléaire, l'effet photoélectrique permet de séparer deux impulsions voisines de 10^{-8} sec., ce que l'œil serait bien incapable de faire.

La plaque photographique est aussi un récepteur remarquable, son temps de pose est aussi long qu'on le désire, elle est presque totalement dépourvue d'effets parasites (voile), comme l'œil elle restitue les images, c'est à dire un nombre incomparablement plus grand d'informations que la cellule photoélectrique, mais elle possède un seuil, c'est-à-dire quelle ne donne plus aucune image quel que soit le temps de pose si l'éclaircissement devient trop faible; alors que l'effet photoélectrique dans les mêmes conditions continue à fournir des informations, pour les très faibles éclaircissements il est fondamentalement supérieur à la plaque photographique.

A l'Observatoire de Paris nous avons essayé d'utiliser au mieux ce merveilleux effet photoélectrique. Le problème consistait à réaliser des couches photoélectriques à grand rendement quantique et à trouver la meilleure méthode pour effectuer le décompte des photoélectrons.

Pour résoudre ce dernier problème plusieurs voies sont possibles:

- (a) Le comptage direct, un à un, des électrons.
- (b) Accumuler les charges électriques des photoélectrons et effectuer des mesures électrométriques.
- (c) Faire écouler les électrons dans une résistance et mesurer le courant.

Or il s'est trouvé que l'application de toutes ces méthodes a été rendue incomparablement plus facile par la découverte d'un amplificateur presque idéal: le multiplicateur d'électrons. Ce multiplicateur d'électrons utilise le phénomène d'émission secondaire,

propriété que possèdent certaines surfaces d'émettre un grand nombre d'électrons lorsqu'elles reçoivent un électron suffisamment rapide. On commence donc par multiplier les photoélectrons primaires par un facteur pouvant atteindre un million, dans un tube, tel que le 1P21 R.C.A.

La méthode de comptage qui paraît la plus directe et la plus efficace est en réalité une des plus difficiles à réaliser, car on compte bien à la sortie d'un amplificateur des impulsions de hauteurs très variables mais il est très difficile de connaître la corrélation qui existe entre un photoélectron emis et une impulsion à la sortie.

Les méthodes électrométriques peuvent être supérieures mais l'utilisation des tubes comme électromètres est délicate avec l'apparition de phénomènes parasites (différences de potentiels de contact variables, dérives, instabilité).

On peut hacher la lumière à une fréquence facile à amplifier, opérer une détection synchrone qui permet de définir le temps de pose mais on perd la moitié des photons, ce qui est mauvais, et l'amplification présente des difficultés pour les éclaircissements très faibles car on a affaire à des courants d'intensité aléatoire.

La voie que nous avons suivie est la suivante: Puisqu'il existe un amplificateur idéal: le multiplicateur d'électrons, pourquoi en changer en chemin et ne pas réaliser d'un seul coup un amplificateur idéal à émission secondaire, possédant une amplification suffisante pour actionner un instrument de mesure de grande fidélité, dont la réponse est linéaire, qui n'a pas de dérive, et dont la période c'est-à-dire le temps d'intégration ou de pose est parfaitement défini. Les excellents galvanomètres que l'on construit aujourd'hui satisfont à toutes ces conditions. Les exigences industrielles ou militaires ont fait abandonner plus ou moins ces excellents appareils mais dans un observatoire on a la place et la stabilité suffisante pour que l'usage d'un galvanomètre soit commode.

Nous avons donc cherché à réaliser des cellules à multiplicateurs ayant une photocathode à grand rendement, pouvant fournir au besoin une amplification de 50 à 500 millions sans apporter d'instabilités ou perturbations, le courant amplifié étant la reproduction fidèle du courant photoélectrique primaire, ce que nous pouvons contrôler en analysant les fluctuations du courant de sortie. Ces cellules nous les avons réalisées, nous avons pu maîtriser les sources de perturbations et instabilités. Elles sont en service depuis plusieurs années dans différents observatoires et dans un certain nombre de laboratoires de recherches atomiques. M. Lenouvel, qui les emploie, a étudié les fluctuations du courant de sortie et a trouvé qu'elles se comportaient comme un amplificateur idéal. M. Lenouvel utilise pour l'enregistrement du courant du galvanomètre un appareil enregistreur Speedomax dont la plume est asservie au spot du galvanomètre avec une précision de 1/10 de mm., si bien que l'on a d'enregistrement fidèle du galvanomètre avec la commodité d'emploi du Speedomax. Cette méthode d'enregistrement permet de faire une étude minutieuse de la courbe et de choisir a posteriori le temps de pose le mieux adapté. M. Hardie a pu obtenir avec une cellule sensible à l'infra-rouge et refroidie une multiplication de 380.10^6 avec un courant d'obscurité de 10^{-8} amp. M. Masani à l'observatoire de Merate a obtenu de beaux enregistrements d'étoiles variables.

Cette cellule ne constitue pas encore un récepteur idéal car elle ne restitue pas d'image, elle supprime une grande quantité d'informations. Le récepteur idéal nous avons cherché à le réaliser de la façon suivante: La photocathode qui reçoit de la lumière émet des photoélectrons, à l'aide d'une optique électronique, on forme l'image électronique de la photocathode sur un récepteur d'électrons. Il faut que ce récepteur d'électrons ne possède pas de seuil, c'est à dire puisse enregistrer l'impact d'un seul photoélectron et possède un temps de pose aussi long que l'on veut; ce récepteur existe, ce sont les plaques à électrons assez semblables aux plaques photographiques. Il est nécessaire cependant que les électrons soient assez rapides, il faut les accélérer sous une tension de 30 à 40.000 volts.

Voici les résultats que nous avons obtenus à l'observatoire de Paris avec M. Duchesne: l'objet lumineux était constitué par le filament de tungstène d'une lampe dont la brillance était fortement diminuée par l'interposition d'un filtre neutre; invisible à l'œil, le filament a pu être photographié en 6 heures sur plaque 'super-fulgur', dans les mêmes

litions la photographie électronique donnait l'image en 4 minutes et on avait pris d'interposer devant le filament un écran Wratten 49. C. 4 pour éliminer les radiations auxquelles la plaque 'super-fulgur' n'était pas sensible.

En vue d'effectuer sur le ciel quelques vérifications et mises au point nous avons refait le montage en utilisant le 'Petit Coudé' de l'observatoire de Paris. ($D=26$ cm. $f/40$.) Nous avons obtenu ainsi de très jolies images de Saturne, de θ Orionis, etc. Ces clichés ont été obtenus avec un temps de pose 20 à 50 fois plus court que sur plaque 'super-fulgur', ils n'apportent pas de contributions nouvelles mais la finesse des images électroniques, l'absence totale de voile des plaques à électrons, l'absence totale de grain, l'absence de contrastes ont été pour nous des constatations de grande importance.

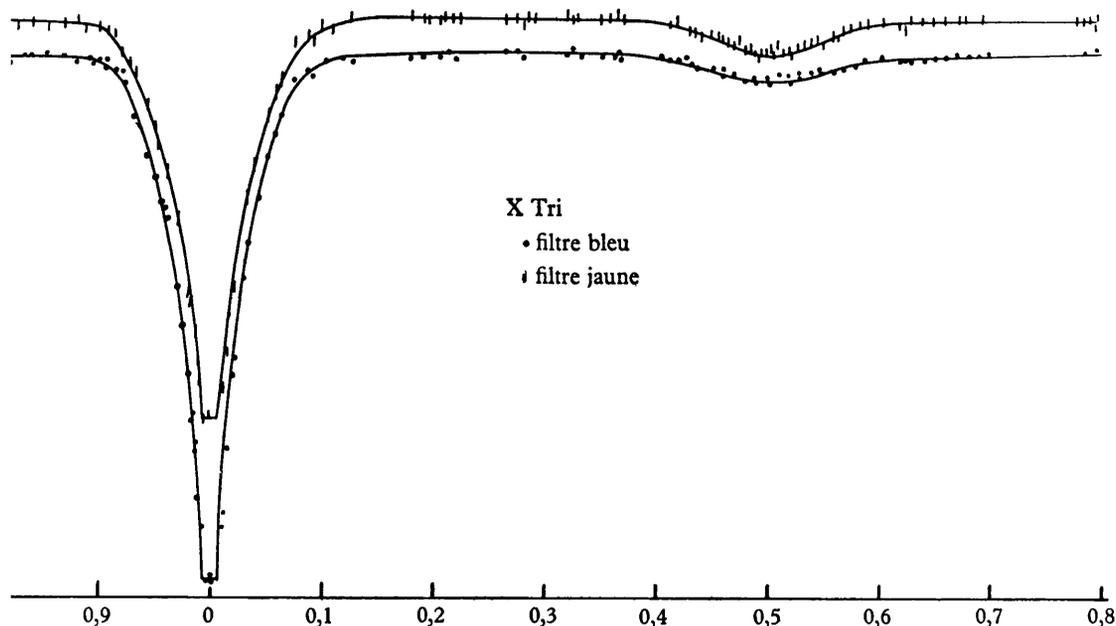


Fig. 1. Courbe de lumière de X Tri, obtenue par Lenouvel et dont le minimum est défini à quelques secondes près.

près l'exposé de M. Lallemand, M. Cialdea (Istituto Nazionale di Geofisica, Roma), a demandé

1) si un champ magnétique axial n'est pas préférable pour le convertisseur d'images, la sensibilité étant plus grande. — M. Lallemand répond que le système électrostatique est préféré, étant plus simple et donnant des images très bonnes;

2) quelle est la couche sensible de la plaque électronique. — M. Lallemand: Nous n'avons essayé des émulsions employées dans les études sur l'énergie nucléaire; mais la plaque devant être refroidie pour ne pas émettre de gaz, il se forme une mosaïque et la plaque perd de sa sensibilité. Enfin, nous avons décidé d'employer les plaques Kodak Electron Recording avec lesquelles nous avons obtenu des images de Saturne.

Le Professeur Redman (Cambridge) demande si, avec les 19 étages, il n'y a pas de difficulté à maintenir le voltage constant. — M. Lallemand: Il n'y a pas de difficulté technique; on peut le voir sur les enregistrements des étoiles de comparaison. Il faut employer une alimentation de bonne qualité. Il est nécessaire aussi que le courant de charge du multiplicateur soit faible.

Une question de M. Rinia (Eindhoven) M. Lallemand répond que le grandissement du convertisseur électronique est égal à un.