

SIXTH SESSION

SEPTEMBER 10

*Chairman:*

S. AREND

# INTÉRÊT DE LA CAMÉRA ÉLECTRONIQUE LALLEMAND POUR LA PHOTOMÉTRIE DES BINAIRES VISUELLES

P. LAQUES

*Observatoire du Pic-du-Midi et de Toulouse, France*

## 1. Introduction

J'ai montré ultérieurement les résultats des mesures astrométriques d'étoiles doubles, obtenus au moyen de la caméra électronique. Mais il est certain que l'on doit utiliser, en même temps, les propriétés intrinsèques de ce récepteur pour les mesures photométriques des binaires, complément nécessaire des mesures astrométriques.

On sait que la photométrie précise se fait à l'heure actuelle en utilisant l'effet photoélectrique et en mesurant le flux d'électrons émis par une photocathode sur laquelle est concentré le flux de photons provenant de l'étoile et que l'on veut connaître. La constance du rapport quantique entre l'énergie lumineuse reçue et l'énergie électronique réémise et mesurée, en fait un récepteur essentiellement linéaire.

Mais la photographie directe d'une étoile double au moyen d'un photomultiplicateur présente une difficulté très importante, qui est l'obligation d'une grande résolution spatiale, d'autant plus grande que l'étoile est plus serrée. Or, il est difficile d'utiliser une cellule photoélectrique avec une grande résolution spatiale, car celle-ci ne fait, de par son principe même, que des mesures globales de flux lumineux. Il faut donc la créer, en plaçant devant le photomètre un système mécanique qui produit, dans le temps, un balayage de l'image. C'est le principe de tous les systèmes dits 'à balayage' (Rakos, Franz, Bacchus). Celui-ci présente, entre autres inconvénients, celui de faire une analyse dans un temps non nul. Cela n'aurait pas d'inconvénient en principe, si les images restaient parfaitement stables au cours du temps. Malheureusement, les différents effets que provoque l'agitation atmosphérique font que l'état de l'image, au moment de l'analyse de la première composante, peut être différent au moment de celle de la deuxième composante. Cet effet n'existe plus si les deux images sont enregistrées simultanément.

C'est pourquoi l'alliance de l'effet photoélectrique et d'une haute résolution spatiale dans le même récepteur, paraît la meilleure solution. C'est précisément ce qui est réalisé dans le principe même de la caméra électronique.

Ceci montre l'intérêt de cet instrument pour réaliser les mesures photométriques des nombreuses étoiles doubles, dont un grand matériau astrométrique a déjà été accumulé.

## 2. Obtention de l'information au moyen d'un convertisseur d'image de type Lallemand

Soit  $N$  le nombre de photons par unité de temps (énergie lumineuse) tombant en un point de la photocathode. Soient  $N'$  le nombre d'électrons émis par la couche émissive

et  $N''$  le nombre de traces, sous forme de grains d'argent développables, provoquées par l'impact des électrons sur l'émulsion électrographique.

On sait que

$$\frac{N}{N'} = \text{rapport quantique} = C^{te},$$

et

$$N'' \simeq N',$$

et cela quelle que soit la façon dont les photons incidents sont tombés sur la photocathode [2].

La caméra électronique permet donc, au moins jusqu'au seuil de 'stockage' (ou de surexposition), de compter les photons incidents.

En fait, l'information s'accumule sur la plaque électrographique sous forme de densité optique.

On sait que, d'après Vernier [1], lorsque l'on considère une plage d'éclairement constant sur la photocathode, la densité obtenue sur la plaque est proportionnelle à l'éclairement de cette plage.

$$D = KE$$

que l'on peut écrire encore

$$D = KN.$$

C'est cette propriété qui caractérise la linéarité de la caméra électronique. On sait que, en photométrie photographique classique, cette propriété n'est vraie que sur une petite partie de la caractéristique.  $K$  diminue et s'annule même lorsque  $N$  diminue, faisant apparaître un seuil de plaque pour les faibles flux lumineux [2].

### 3. Processus d'exploitation des plaques électrographiques

Nous avons vu que, grâce au gain de sensibilité de la caméra, l'on pouvait obtenir des

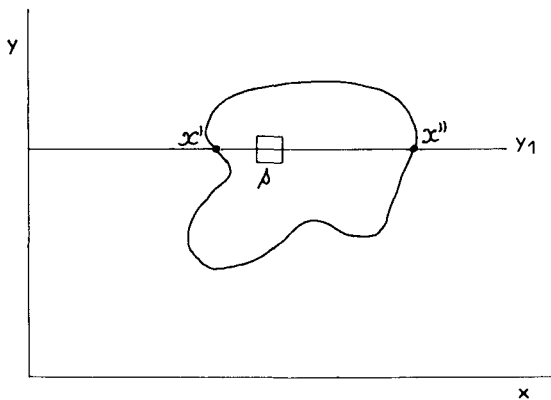


Fig. 1

photographies quasi-instantanées d'images stellaires. Sur le cliché est enregistrée la tache de diffraction, sous forme d'une fonction de densité  $d(x, y)$ .

Soit  $s$  une petite plage de l'image, assez petite par rapport aux dimensions de celle-ci, mais assez grande par rapport au grain de l'émulsion;  $d(x, y)$  est la densité optique de  $s$ .

Nous faisons une analyse densitométrique complète de l'image.

(1)  $s$  se déplace suivant une direction  $y_1$  parallèle à l'axe des  $x$ . Nous obtenons un profil densitométrique qui délimite, au dessus du fond de plaque, une surface  $q_1$  représentant l'énergie enregistrée.

$$q_1 \text{ s'écrit : } q_1 = \int_{x'}^{x''} d_1(x) \cdot dx \tag{1}$$

or, d'après équation (1)

$$d_1(x) = Kn_1(x),$$

d'où

$$q_1 = K \int_{x'}^{x''} n_1(x) dx = KN_1; \tag{2}$$

$N_1$  étant le nombre de photons enregistrés suivant la direction  $y_1$ .

(2)  $s$  se déplace ensuite successivement suivant  $y_2, y_3, y_4 \dots y_i$  jusqu'à ce que toute la surface de l'image soit ainsi analysée. Nous obtenons, d'après équation (2):

$$q_2 = KN_2,$$

$$q_3 = KN_3,$$

...

$$q_i = KN_i.$$

Si  $Q$  est l'énergie totale enregistrée, nous avons

$$Q = \sum^i q_i = K \sum^i N_i = KN; \tag{3}$$

$Q$ , somme des surfaces  $q_i$ , est bien proportionnel à  $N$ , nombre total de photons émis durant la pose photographique.

Nous avons donc la possibilité de mesurer l'énergie lumineuse tombée sur la photocathode et enregistrée sous forme de densité optique.

C'est en utilisant cette méthode de mesure que nous avons tracé le graphique de la Figure 2. Nous avons photographié une même étoile avec des temps de pose croissants. Nous avons porté en ordonnée les énergies mesurées  $E_m$ , qui sont les valeurs de  $Q$  d'équation (3), et en abscisse les énergies incidentes correspondantes, mesurées en ergs.

Des résultats semblables ont été obtenus par Lallemand *et al.* [3], puis par Walker et Kron [4]. Nous obtenons une relation linéaire entre l'énergie reçue  $E_r$  et celle mesurée

$E_m$ , à partir de la plaque électrographique, sans seuil de sous-exposition, comme dans le cas d'une simple cellule photoélectrique. Nous remarquerons que le point supérieur de la courbe se trouve légèrement en dessous de la droite tracée avec les autres points. Les images stellaires correspondant à ce point sont déjà très exposées, et il peut se faire que nous nous situions au début du seuil de surexposition de l'émulsion.

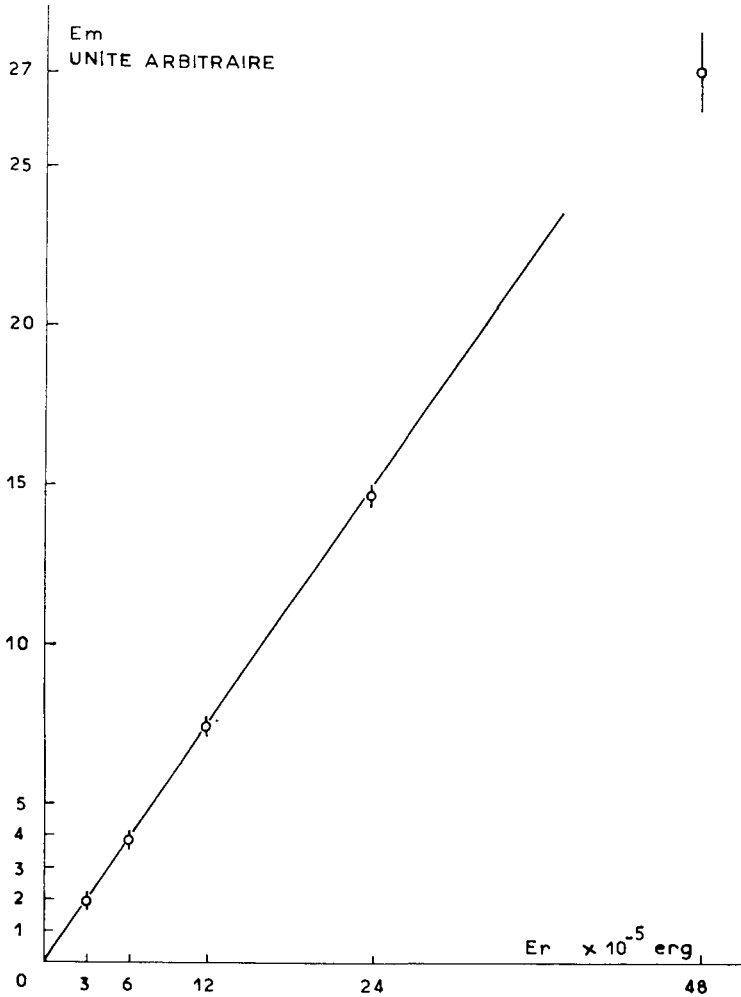


Fig. 2

Cependant, l'on doit remarquer que ces images ont été enregistrées sur une plaque différente de celle correspondant aux autres points. Les conditions expérimentales, légèrement différentes, peuvent ainsi expliquer cet effet.

Quoi qu'il en soit, il est sûrement préférable, pour la précision des mesures et lorsque cela est possible, de rester dans un domaine où les densités optiques ne sont pas trop fortes.

**4. Photométrie différentielle des couples stellaires**

Nous avons déjà défini l'aspect théorique de la mesure photométrique d'un couple stellaire. Si l'on représente le couple *AB* par sa structure isophotométrique, et si l'on considère deux plaques infinitésimales dont les densités  $d_A, d_B$  sont dans le rapport constant  $E_A/E_B$  des deux éclairagements spécifiques des deux composantes, nous avons

$$\frac{d_A}{d_B} = \frac{E_A}{E_B} = \exp\left(-\frac{\Delta m}{0.109}\right) = C^{te} \tag{4}$$

Une seule image contient déjà en elle-même une grande quantité d'informations sur la mesure de  $\Delta m$ , dans l'intervalle de longueur d'onde donné.

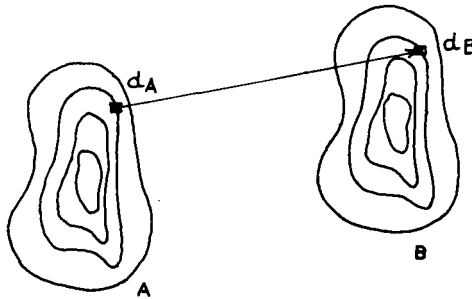


Fig. 3

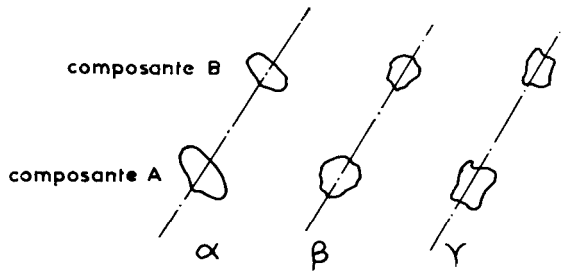


Fig. 4

Essayons de voir les divers résultats photométriques que nous pouvons tirer d'une plaque électrographique d'étoile double.

Supposons que nous voulions effectuer une photométrie trichrome  $\alpha, \beta, \gamma$  et que nous prenions successivement des images dans les trois intervalles de longueur d'onde.

(1) L'étude photométrique de la composante brillante *A*, par la méthode indiquée au chapitre précédent, donne des indices de couleur de cette étoile, considérée alors comme unique, soit

$$\left. \begin{aligned} (\alpha - \beta)^A &= m_\alpha^A - m_\beta^A, \\ (\beta - \gamma)^A &= m_\beta^A - m_\gamma^A, \end{aligned} \right\} \tag{5}$$

où  $m_x^y$  désigne la magnitude *m* de l'étoile *x*, dans la couleur *y*.

(2) L'étude différentielle permet, selon l'équation (4), les mesures de  $\Delta m$  dans les longueurs d'onde  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ . Soit

$$\begin{aligned}\Delta m(\alpha) &= m_{\alpha}^A - m_{\alpha}^B, \\ \Delta m(\beta) &= m_{\beta}^A - m_{\beta}^B, \\ \Delta m(\gamma) &= m_{\gamma}^A - m_{\gamma}^B.\end{aligned}$$

En combinant ces trois équations, nous obtenons

$$\left. \begin{aligned}(\alpha - \beta)^B &= (\alpha - \beta)^A + [\Delta m(\beta) - \Delta m(\alpha)], \\ (\beta - \gamma)^B &= (\beta - \gamma)^A + [\Delta m(\gamma) - \Delta m(\beta)].\end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Nous pouvons donc placer les deux composantes de l'étoile double dans un diagramme couleur de la forme  $(\alpha - \beta)$ ,  $(\beta - \gamma)$ .

Remarquons cependant que la mesure sur les valeurs différentielles  $\Delta m$  doivent être plus précises que les valeurs telles que  $(\alpha - \beta)$ , par le fait que dans le premier cas, la comparaison énergétique des deux composantes se fait sur des images semblables. (Figure 3).

### 5. Intérêt de la photométrie des étoiles doubles

D'une façon très générale, on peut remarquer que la photométrie apporte des informations sur les étoiles individuelles composant le couple stellaire. Tout comme la spectroscopie, elle ajoute aux données dynamiques qu'indique le mouvement orbital, celles dues à la structure des étoiles composantes. Mais, comme il est nécessaire, dans le cas des étoiles doubles serrées, d'avoir une grande résolution spatiale, la photométrie est plus facile que la spectroscopie qui n'est actuellement envisageable que pour des couples larges, donc moins intéressants.

Notons d'abord, comme le faisait remarquer P. Couteau au cours de ce colloque, que la mesure des masses individuelles à partir des données astrométriques relatives, lorsqu'on peut utiliser la relation masse-luminosité existante (masses dynamiques), fait intervenir les différences de magnitudes visuelles des composantes. Un gain sur la précision de ces magnitudes devrait permettre une meilleure détermination de ces masses.

D'autres part, la connaissance des magnitudes et d'indices de couleur devrait permettre, à partir de diagrammes différentiels de la forme  $\Delta V = f \cdot A(B - V)$  dans le cas de l'UBV, de déterminer les états d'évolution des composantes de l'étoile. En supposant leur origine simultanée, on devrait pouvoir, selon P. Giannone et M. A. Giannuzzi [5], tirer des données intéressantes sur les rapports de masse. Ajoutées aux autres données venant par exemple des mesures de vitesses radiales, il serait possible de faire des évaluations de masses individuelles en se passant de la relation masse-luminosité, et sans faire intervenir les mesures d'astrométrie absolue, qui sont très difficiles à obtenir. On devrait ainsi pouvoir apporter des données nouvelles, et assez rapidement, (car indépendantes de la période des étoiles doubles déjà bien mesurées), à la relation masse-luminosité si importante pour l'astrophysique.

Enfin, en étudiant une photométrie comparable aux photométries déjà existantes (UBV par exemple), il serait possible de positionner les composantes des binaires sur les diagrammes d'âge des amas, comme cela a été fait par J. Berger [6], au moyen du spectre continu et de la classification tridimensionnelle de Chalonge, et d'en tirer des corrélations intéressantes concernant le processus de formation des binaires.

### Bibliographie

- [1] Vernier, P.: 1959, *Bull. Astron.* **22**, fascicule II.
- [2] Bijaoui, A.: 1967, *Cours d'Été de Strasbourg*, fascicule III.
- [3] Lallemand, A., Canavaggia, R., et Amiot, F.: 1936, *Compte-Rendu Acad. Sci. Paris* No. **12**, p. 838.
- [4] Walker, M. F. and Kron, G. E.: 1967, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **79**, No. 471.
- [5] Giannone, P., and Giannuzzi, M. A.: 1969, *Astrophys. Space Sci.* **3**, No. 2.
- [6] Berger, J.: 1962, *Ann. Astrophys.* **25**, No. 3.

### Discussion

*Coupinot*: Golay (1964, Publication de l'Observatoire de Genève, fascicule 68, série A) a étudié l'effet de la dispersion dans le diagramme HR d'amas en prenant pour simples des étoiles qui sont, en fait, doubles. Il faudrait reprendre cette étude en photométrie Strömrgren, et du point de vue théorique avec des modèles plus élaborés.

*Pecker*: Il est important d'exploiter au mieux l'instrumentation. Si une étoile est assez brillante pour l'UBV ne pas l'étudier seulement en lumière blanche. Si elle est assez brillante pour les couleurs de Golay il faut étudier les couleurs de Golay. Si elle est assez brillante pour les couleurs de Strömrgren il faut le faire!

*Laques*: Cela dépend de la brillance de l'étoile.

*Rösch*: Les réponses spectrales des photocathodes sont les mêmes qu'elles soient dans un photo-multiplicateur ou dans un convertisseur d'images ce qui permet de travailler directement dans un système connue tel que l'UBV et d'éviter le problème de raccordement de systèmes qui sont si gênants quand on fait intervenir la photographie classique.

*Laques*: La photométrie avec un convertisseur Lallemand et la photométrie Strömrgren bénéficieraient d'une relation linéaire.

*Lacroute*: Quel peut être sur la précision l'effet de l'inhomogénéité des cathodes?

*Laques*: Les images d'étoiles sont prises sur des parties différentes de la photocathode et celles-ci présentent des inhomogénéités de sensibilité. Il y a une solution qui consiste à faire des corrections en faisant des plaques de lumières uniforme. Ce problème se pose lorsqu'on étudie les indices de couleur d'une même composante. Cependant on peut remarquer que lorsqu'on fait une photométrie simplement différentielle entre les deux composantes celles-ci sont séparées sur la photocathode de 75  $\mu$  environ par seconde d'arc. On peut dire qu'à cette échelle les inhomogénéités de sensibilité sont négligeables.

*Lacroute*: Quelle pourrait être la limitation à la précision par suite de l'imprécision des corrections?

*Laques*: Je n'en ai pas encore une idée car nous n'avons pas introduit de telles corrections. Mais elles se compensent en majeure partie sur l'ensemble de la plaque.

Ce défaut disparaîtrait en faisant toujours les images sur le même point et il suffirait de déplacer la plaque. Ce déplacement pose un problème mécanique.

*Coupinot*: Les différences de sensibilité d'un point à un autre d'une photocathode interviennent également en photométrie classique du fait des ombres volantes sur la pupille.

*Arend*: Vous nous avez expliqué l'autre jour la précision que vous pouvez obtenir dans la mesure des couples. Vous est-il possible de donner une idée de la précision en ce qui concerne les magnitudes?

*Laques*: Sur les Am je n'ai pas assez de résultats.

A brief communication by R. Q. Twiss on intensity interferometry described the use of a giant interferometer array which should resolve spectroscopic binaries even at dis-



tances of the order of 1 kpc. Observations at Narrabri showed that  $\beta$  Crucis is a binary with a companion some 2 or 3 magnitudes fainter than the primary, but there is no spectroscopic evidence. Sahade comments that the radial velocity behavior of  $\beta$  Cru is complex, due to the  $\beta$  CMa type variability.

Several resolution proposals were on the agenda of the final session. Little enthusiasm was felt towards the creation of a Working Group in Commission 26 for the compilation of double-star data. The proposal to consider certain double-star projects at Moon-based telescopes appeared premature. The preparation of a new catalogue of visual binary orbits, and Finsen's offer to have it published in Johannesburg, were welcomed.

The conference closed with a brief summary by van de Kamp reviewing the highlights of the proceedings, and with an expression of thanks extended by Arend, on behalf of the participants, to Pecker and his collaborators.