

FIFTH SESSION

SEPTEMBER 10

Chairman:

M. G. FRACASTORO

PHOTOMÉTRIE DES ÉTOILES DOUBLES

Lecture introductive

P. MULLER

Observatoire de Meudon, France

1. Introduction

Du point de vue de la photométrie, on peut distinguer très schématiquement trois sortes d'étoiles doubles :

- (1) les couples optiques
- (2) les couples physiques sans orbite connue
- (3) les couples orbitaux.

Ce classement correspond à une progression parallèle dans l'intérêt et dans la difficulté d'observation des objets.

Dans le cas des couples optiques, la détermination précise des magnitudes ne fournit aucun renseignement astrophysique intéressant *du point de vue des étoiles doubles*. Cependant la mesure des Δm peut être utile à deux fins :

(a) pour le spécialiste des étoiles variables, si l'une des étoiles est une variable connue ou suspectée ;

(b) dans le domaine qui nous concerne plus particulièrement, pour contribuer à étalonner la relation empirique entre les estimations et les valeurs réelles des Δm , seul l'aspect du couple intervenant ici.

Les étoiles doubles de cette première classe sont en général écartées et, pourvu que leurs composantes ne soient pas trop faibles, accessibles aux méthodes photométriques les plus précises (photographique et photoélectrique).

Les couples physiques dont l'orbite n'est pas encore connue sont déjà plus intéressants puisque la valeur de Δm conduit, si l'on connaît au moins sommairement les spectres, à celle de ΔM (magnitudes absolues) d'où une indication sur la place relative des composantes sur un diagramme $H-R$. Un cas assez fréquent est celui du compagnon faible d'une étoile brillante dont les caractères physiques sont bien déterminés ; la mesure de Δm renseigne alors assez complètement sur le compagnon, surtout si elle est possible en plusieurs couleurs.

Les binaires orbitales enfin sont évidemment des objets de choix pour la photométrie, comme du reste pour toutes les observations physiques possibles. Il suffit que l'arc parcouru ait permis une détermination à peu près définitive du quotient a^3/P^2 , et que l'on connaisse une parallaxe, pour que le passage de Δm à ΔM et au rapport des masses (relation masse-luminosité) donne les masses individuelles des composantes. Une bonne photométrie est donc essentielle pour une connaissance complète du couple. En contre-partie, les binaires orbitales sont aussi les plus serrées, et il est rare que l'on puisse leur appliquer les techniques précises évoquées plus haut ; la seule méthode toujours valable sera visuelle.

2. Historique

Voyons maintenant ce qui a été fait jusqu'à présent en matière de photométrie des étoiles doubles; il s'agit essentiellement de mesures des différences de magnitude apparente Δm .

Le premier travail, et qui reste un modèle du genre, est celui de Pickering et de ses collaborateurs à Harvard, d'abord de 1877 à 1879, puis de 1892 à 1912 [1]; leur catalogue contient en tout environ 700 couples observés à l'aide de divers photomètres basés sur le même principe: celui de la polarisation, par la comparaison des deux images de nom contraire appartenant à chacune des deux composantes. Les images d'une étoile sont séparées et polarisées à angle droit par un premier prisme biréfringent mobile le long de l'axe de l'instrument (ce qui permet de modifier leur écartement), et analysées par un second biréfringent qui peut tourner autour de l'axe optique. L'ensemble est monté sur un cercle de position comme un micromètre ordinaire, ce qui permet en outre de faire tourner l'image secondaire de chaque étoile autour de l'image primaire. Pickering a parfaitement mis en évidence l'intérêt et même la quasi-nécessité de pouvoir placer l'image seconde du couple dans toute position (en angle et en distance) par rapport à l'image première. C'est en effet le seul moyen d'arriver à placer finalement les deux images à comparer dans une position relative toujours identique (à très peu près), condition indispensable à une comparaison valable. Les observateurs de Harvard ont bientôt découvert également la nécessité de procéder toujours à une double mesure, avec échange des deux images; et même la précaution de faire intervenir lors de la seconde mesure les deux images non utilisées dans la première.

La technique de Harvard a souffert cependant de petites imperfections de l'optique employée; j'y reviendrai. Les auteurs estiment les mesures difficiles au-dessous de 3" d'écartement, et aucune étoile observée n'est à moins de 2". L'accord interne des observations se traduit par un écart moyen de 0"15 à 0"20. Mais ce travail reste une œuvre de pionnier, et un modèle de méthode. Ajoutons enfin que l'on y trouve déjà un certain nombre de mesures en plusieurs couleurs, soit une véritable colorimétrie différentielle qui à ma connaissance n'a jamais été reprise avant mes propres observations à partir de 1947.

Un peu plus tard, Stebbins [2] a repris par la même méthode un programme sur 107 couples seulement, avec des résultats un peu plus précis, l'écart moyen interne étant inférieur à 0.10. Il fallut attendre 1931 pour voir paraître un nouveau travail sur la question, celui de Kuiper [3]; la méthode était nouvelle. Opérant avec un jeu de grilles d'objectif, l'auteur comparait une image secondaire de la principale à la première image du compagnon. Une partie seulement des résultats ont été publiés, portant sur une cinquantaine de couples [4, 5]. Il s'agit en général, comme la méthode l'exige, de Δm assez forts, au moins 1.5; mais on y trouve pour la première fois quelques objets serrés, à moins de 2". L'accord interne (selon Wallenquist) serait un peu supérieur à 0"15.

En 1943, Detre [6] publiait environ 200 Δm de couples observés au réfracteur de Munich avec un photomètre à coin, la précision étant de l'ordre de celle que l'on avait obtenue à Harvard. En 1946, Kooreman [7] groupait les Δm photographiques de

157 étoiles doubles; l'écart interne dans cette liste est de 0^m03 seulement mais il ne s'agit que de couples écartés, et en général de petits Δm . Wallenquist apporte ensuite une contribution importante d'abord à Uppsala (1942–46) puis à La Plata (1947) [8, 9]. La première série comporte 3255 Δm de 2346 systèmes à plus de $5''$, plus 66 couples à moins de $5''$. La seconde, actuellement la seule du genre dans le ciel austral, réunit 542 Δm pour 521 systèmes. L'auteur a pris soin de reprendre à La Plata 70 couples de la série boréale afin de rattacher les deux. Sa méthode était visuelle, avec l'emploi d'un coin photométrique. Une étude soigneuse a été faite pour comparer les résultats à ceux des autres observateurs; les conclusions ne sont pas très significatives en raison de la dispersion des observations des uns et des autres. Dans la comparaison aux Δm estimés (pris dans ADS), on voit seulement se dessiner la surestimation des Δm , croissante avec Δm lui-même. La méthode a un bon rendement numérique (Wallenquist indique une moyenne horaire de 20 étoiles) mais elle manque encore de précision et n'atteint pas les couples serrés.

Hopmann s'intéresse au problème en 1938 à Leipzig; arrêté en 1943 par la destruction de l'Observatoire, il continue à Vienne à partir de 1951 au réfracteur de 67 cm. Sa liste initiale comportait 450 objets, dont 115 étaient observés en 1943; la publication finale en donne 420. [10]. La méthode reprenait le principe de celle de Harvard, en remplaçant le nicol analyseur par un polaroïd; mais la position relative des deux images à comparer ne pouvait être choisie. Hopmann a étudié les différences entre les séries antérieures, ainsi que les miennes déjà parues à l'époque, après un bref historique. Son travail est le premier où l'on puisse trouver une étude comparée entre des séries d'observations dont certaines sont déjà de bonne qualité, ce qui d'ailleurs se confirme dans ses conclusions.

Signalons un travail de la même époque dû à Miczaika [11]; il s'agit d'une série de Δm pour 827 couples, tous à plus de $5''$, observés à Heidelberg en 1946–47 avec un photomètre de Zöllner. L'accord interne dépasse un peu 0^m15 .

Les observations photométriques avec mon micromètre à double image ont commencé un peu avant la dernière guerre; elles ont été reprises en 1946 aux lunettes de 16 cm et de 49 cm, puis à celle de 21 cm qui avait remplacé la première, à Strasbourg; ainsi qu'au 60 cm du Pic-du-Midi et au télescope de 80 cm de l'Observatoire de Haute-Provence. L'appareil est construit pour les mesures de position et permet donc de placer avec précision les deux images à comparer l'une par rapport à l'autre. Le micromètre devient un photomètre simplement en disposant à la suite de l'oculaire un polaroïd tournant. L'optique dans son ensemble est supérieure à celle des photomètres différentiels antérieurs. Le prisme diviseur restitué à la sortie deux faisceaux parallèles et non divergents, de sorte que l'anneau oculaire n'est pas dédoublé. Son mode de déplacement pour agir sur l'écartement des images (parallèlement au plan focal et non le long de l'axe de la lunette) respecte la qualité des images qui sont pratiquement indiscernables. Ceci permet non seulement un meilleur jugement d'égalité à l'œil, mais l'emploi de forts grossissements et par suite la mesure de couples serrés. La limite inférieure (sauf pour les objets très brillants ou très disparates) est comprise entre deux et cinq fois la limite de résolution; j'ai mesuré couramment un peu en-dessous

de 2" avec le 16 cm, de 0".7 avec le 49 et jusqu'à 0".5 au 60 cm. L'accord interne a été régulièrement de 0".04 pour les objets de facilité moyenne (notamment au 16 cm), un peu plus grand (0".07) au 49 cm sur les couples plus serrés et des images en général moins stables [12].

Deux séries de mesures ont été faites par la suite avec un appareil de ce type. La première est celle de Worley [13] obtenue en 1960–61 aux deux réfracteurs de Lick, mais elle vient seulement de paraître; elle groupe 94 couples dont le grand intérêt est le nombre élevé (69) de binaires orbitales parmi eux. La seconde est de van Herk [14] qui a observé au 38 cm de Nice une liste de 115 couples. Worley compare quatre séries: les trois dernières, obtenues avec des appareils semblables, et celle de Kuiper. Il conclut que les résultats ne comportant pas de différences systématiques dans les limites de ce que permet de prévoir leur précision interne respective.

3. Programmes à entreprendre

J'espère que la demi-journée du colloque consacrée à la photométrie permettra de dégager des directions de recherches. Un avenir certain est réservé aux techniques impersonnelles (photographique et photoélectrique) pour les binaires les moins serrées; un certain nombre, même parmi les orbitales déjà connues, sont à leur portée et ont déjà été l'objet d'observations, parfois en plusieurs couleurs. La question est de savoir si ce matériel d'une particulière qualité est assez abondant pour fournir des conclusions générales à l'astrophysique.

Pour les couples les plus serrés, où le plus souvent tout reste à faire, la méthode visuelle par double image paraît la plus souple et la mieux adaptée, et le plus souvent la seule possible. Les observations en plusieurs couleurs apportent un substitut imparfait mais utile des spectres quand ceux-ci ne peuvent être obtenus séparément. Il serait sans doute intéressant également, bien que cela puisse passer pour un programme 'de luxe' devant la pauvreté générale de nos données photométriques, de suivre les Δm de certains couples suspectés de variabilité de l'une de ses composantes.

Un résultat au moins est bien acquis: il est malheureusement négatif car il s'agit de la surestimation évidente des Δm , croissante avec Δm lui-même, mais dont on ne peut donner une loi véritable. Baize avait tenté de passer des Δm estimés aux Δm réels par une formule où figurait la distance [15], mais la mesure reste préférable même si elle est difficile. On sait que l'erreur d'estimation de Δm atteint couramment 1 mag. entière quand Δm atteint 3. Il est juste d'ajouter que, si les auteurs des premiers catalogues se sont peut-être contentés de magnitudes assez grossières, simplement pour ne pas laisser vides deux colonnes et pour identifier un peu mieux l'objet, les observateurs modernes ont souvent pris la peine de les améliorer par de nouvelles estimations indépendantes.

Souhaitons enfin que les observateurs aient le courage de faire aussi des mesures de Δm en plusieurs couleurs; elles sont sensiblement plus pénibles que les mesures sans écrans, mais on doit en attendre beaucoup et l'on peut se limiter à quelques dizaines d'objets sélectionnés.

Bibliographie

- [1] *Harvard Annals* **11**, Part 1 (1879) et **64**, Part 6 (1912).
- [2] *Univ. of Illinois Bull.* **4**, N. 25 (1907).
- [3] *Statistische onderzoekingen van dubbelsterren*, Thèse, Leiden, 1933.
- [4] *Publ. Astron. Soc. Pacific* **47** (1935) 15.
- [5] *Astrophys. J.* **88** (1938) 472.
- [6] *Astron. Nachr.* **273** (1943) 253.
- [7] *Bull. Astron. Inst. Neth.* **10**, 375 (1946).
- [8] *Uppsala Astron. Obs. Ann.* **2**, No. 2 (1947).
- [9] *Uppsala Astron. Obs. Ann.* **2**, No. 3 (1948).
- [10] *Sitzungsber. Österr. Akad. Wiss., Abt. IIa*, **162** (1953).
- [11] *Veröff. Badische Landessternw. zu Heidelberg (Königstuhl)* **15**, No. 6 (1947).
- [12] *Ann. Obs. Strasbourg* **5**, fasc. 1 (1948); 2 (1949); 3 (1951).
- [13] *Astron. J.* **74** (1969) 764.
- [14] *J. Obs.* **49** (1966) 355.
- [15] *Ann. Astrophys.* **6** (1943), 95.