

FIRST SESSION

SEPTEMBER 8

Chairman:

P. VAN DE KAMP

LA MESURE DES ÉTOILES DOUBLES VISUELLES

Exposé Introductif

PAUL COUTEAU

Observatoire de Nice, Nice, France

1.

La découverte des étoiles doubles visuelles a été une des conséquences logiques du développement de l'astrométrie équatoriale. L'étude de ces objets est fonction du temps et de l'abondance des découvertes qui dépend, elle aussi, du temps. Il en résulte que nos connaissances dans ce domaine croissent en progression arithmétique, au lieu de suivre une progression géométrique comme la plupart des spécialités astrophysiques qui dépendent davantage de méthodes que du temps.

L'observation des étoiles doubles visuelles est justiciable de moyens d'étude très différents et cloisonnés. Les spécialistes s'ignorent le plus souvent et travaillent sans cohésion mutuelle. On peut même dire que le spécialiste est davantage attaché à une méthode qu'à une catégorie d'objets; il est esclave de son procédé de recherche, il considère trop souvent les catégories d'astres comme des objets d'expérience plutôt que des sujets d'étude.

Le but de ce colloque est de rechercher des points d'intersection entre les méthodes si diverses d'études des binaires, afin d'apporter à l'astrophysicien des *catalogues cohérents*: masses, magnitudes, parallaxes, mouvements propres, classes et types spectraux. De tels catalogues n'existent que partiellement, ils ne se complètent pas entre eux et sont peu utilisables pour le théoricien.

Il convient donc de confronter nos méthodes et au besoin de les orienter. Il faut concilier la continuité quasi-immuable de l'astrométrie classique avec les progrès spectaculaires de la spectroscopie et de la photométrie.

2.

Ce court préambule nous conduit à préciser quelques points relatifs à notre connaissance des étoiles doubles et aux progrès qu'on peut en attendre. Je ne dresserai pas un tableau récapitulatif de l'état d'avancement de l'observation des étoiles doubles. Cela a été fait bien des fois (Baize, 1930; Aitken, 1935; Muller, 1951; van den Bos 1962). Il suffit de rappeler que l'Index Catalogue des étoiles doubles contient 60000 objets dont quelques milliers sont suivis régulièrement, donnant quelques centaines d'orbites. Ces 60000 objets ne sont pas tous des binaires: Dommanget (1956, 1966) a précisé à plusieurs reprises des critères, tirés de l'observation, qui rendent compte de la nature physique ou optique des couples d'étoiles.

Je vais insister sur l'*information* dans les étoiles doubles visuelles et m'attacher à trois paramètres qui la caractérisent pour en dégager les lignes d'orientation de leur étude. Ces trois paramètres sont la *rapidité* de l'information, sa *quantité* et sa *qualité*.

A. RAPIDITÉ DE L'INFORMATION

Elle est caractérisée par le temps qui s'écoule entre le moment de la découverte d'un couple et la connaissance de son orbite. C'est en ordre de grandeur la demi-période. Elle dépend de la séparation des composantes et en définitive de l'ouverture de l'instrument. Je vais préciser de quelle façon.

On sait qu'entre la somme des masses $\sum M$, le demi-grand axe apparent a'' , la parallaxe ω et la période P en années existe la relation

$$\sum M = \frac{a''^3}{\omega^3 P^2}. \quad (1)$$

On peut partir de cette équation pour préciser la rapidité de l'information en fonction de l'ouverture de l'instrument. On sait qu'entre la séparation s des composantes et le demi-grand axe a'' existent les relations (Couteau, 1960)

$$\left(\frac{s}{a''}\right) = 0,85 \quad \text{et} \quad \left(\frac{a''}{s}\right) = 1,41.$$

On peut écrire en ordre de grandeur

$$a'' \sim \frac{s}{0,8}. \quad (2)$$

J'associe à s le pouvoir séparateur correspondant à l'ouverture D en cm soit $s = 12/D$ et (2) devient $a'' \sim 15/D$ et en unités astronomiques

$$a \sim 15 \frac{P}{D} \quad (3)$$

ce qui donne en *ordre de grandeur* le demi-grand axe minimum accessible à une ouverture D en fonction de la distance p en parsecs.

Reportant (3) dans (1) et compte tenu que $\sum M$ s'écarte peu de 2, on a dans ces conditions

$$P^2 \sim 1,2 \cdot 10^3 \frac{p^3}{D^3}. \quad (4)$$

Il en résulte qu'à une distance p parsecs, on voit des étoiles doubles dont la période minimum accessible à l'ouverture D cm est donnée par (4). Exemple: à 100 parsecs avec une ouverture de 50 cm on verra des binaires de période minimum voisine de 100 ans (type G). Si on double l'ouverture, la période minimum, toujours à 100 parsecs, descend à 34 ans (type G).

A la même distance les périodes les plus courtes P_1 et P_2 accessibles à des ouvertures D_1 et D_2 obéissent à la relation

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{3/2}. \quad (5)$$

Quand on double l'ouverture, la période la plus courte accessible est 2,8 fois plus petite à distance égale.

B. QUANTITÉ DE L'INFORMATION

L'observateur s'intéresse aux binaires dont la période sera rapidement connue. En fonction des sondages actuels, il est facile d'avoir un ordre de grandeur du nombre de ces objets, de la distance à laquelle ils se trouvent de nous, et en conséquence de la récolte de masses stellaires qu'on peut espérer en un temps donné avec une ouverture donnée.

A chaque orbite est associée un demi-grand axe a en UA. Soit $dn = q(a)da$ le nombre de binaires dans l'intervalle da , par unité de volume (parsec-cube). On ne connaît pas la fonction q . Mais quelques considérations vont guider mon propos.

- (1) On ne s'intéresse qu'aux périodes assez courtes soit $P < 200$ ans.
- (2) On ne s'intéresse qu'aux couples accessibles.
- (3) On se limite aux masses voisines de 1.

Les considérations (1) et (3) montrent que a est limité supérieurement à 43 UA $a_1 = 43$. La considération (2) impose une limite inférieure a_p en dessous de laquelle on ne voit plus le couple. Cette limite inférieure est donnée par (3)

$$a_p = 15 \frac{P}{D} = k \frac{P}{D}.$$

Le nombre de couples par unité de volume à une distance p parsecs, accessibles à une ouverture D et de périodes inférieures à 200 ans est donc

$$n = \int_{a_p}^{a_1} q(a) da. \tag{6}$$

Supposons faute de mieux et compte tenu de la petitesse de l'intervalle (a_p, a_1) que q est constant

$$n(p) = q(a_1 - a_p), \tag{7}$$

$n(p)$ s'annule pour

$$p = \frac{a_1 D}{k}.$$

Le nombre total de couples accessibles à une ouverture D et de périodes inférieures à 200 ans est donc, dans ces conditions restrictives:

$$N = \int_0^{a_1 D/k} 4\pi q p^2 \left(a_1 - \frac{k}{D} p \right) dp, \tag{8}$$

$$N = \frac{\pi q a_1^4 D^3}{3k^3}.$$

La relation (8) montre que N est proportionnel au cube de l'ouverture. Quel est son ordre de grandeur?

Les recensements montrent qu'à l'intérieur d'une sphère de 20 parsecs de rayon on a 44 binaires dont les demi-grands axes sont plus petits que 43 UA. Mais il y a toutes les masses. On arrive ainsi à

$$N \sim 0,039 D^3.$$

C'est une limite supérieure puisqu'on se limite aux masses solaires. Pour $D=50$ cm, $N=4900$ et pour $D=100$ cm, $N=39000$.

Le sens de variation en fonction de a_1 est important; mais a^4 est proportionnel à

$$\sum M^{4/3} \text{ et à } P^{8/3}.$$

Que se passe-t-il si on ne considère que la couche au-delà de p parsecs? Soit N_p le nombre de couples accessibles dans cette couche

$$N_p = 4\pi q \int_p^{a_1 D/k} \left(a_1 - \frac{k}{D} p \right) p^2 dp.$$

Le rapport

$$\frac{N_p}{N} = \frac{12 k^3 p^3}{a_1^4 D^3} \left(a_1 - \frac{kp}{D} \right) \tag{9}$$

avec $kp/D < a_1$.

Ce rapport indique la proportion de couples situés au-delà de p parsecs, de demi-grands axes inférieurs à a_1 et visibles avec une ouverture D . Exemple: si on considère une ouverture D de 50 cm, on a 5000 couples ainsi définis dont 60% sont plus proches que 100 parsecs. Avec une ouverture de 100 cm, on a 39000 couples dont 13% seulement sont plus proches que 100 parsecs. Si on augmente l'ouverture, le nombre de couples augmente; ils sont en général plus éloignés tout en ayant la même période.

La rapidité d'information croît comme $D^{3/2}$, sa quantité croît comme D^3 .

C. QUALITÉ DE L'INFORMATION

Elle est liée à son mode d'acquisition et de traitement. Cela dépend de la magnitude.

Ecrivons la loi de Pogson:

$$5 \log p = 5 - (M - m), \tag{9a}$$

où M et m sont les magnitudes absolues et apparentes. Supposons des étoiles G avec M voisin de 5 situées aux distances limites définies par (3), soit $a = 15 p/D$ avec $a=45$ UA. On a

$$m = 5 \log D + 2,40. \tag{10}$$

D'où le tableau I

<i>D</i>	50 cm	100 cm	150 cm
<i>m</i>	10,9	12,4	13,3

Ce sont en ordre de grandeur les magnitudes limites associées aux couples les plus serrés, de période voisine de 200 ans, accessibles aux ouvertures *D*.

L'œil est donc en retard en ce qui concerne la sensibilité. On ne peut explorer la magnitude 11 jusqu'au pouvoir séparateur avec une ouverture de 50 cm, il y a une magnitude d'écart. Avec 1 mètre d'ouverture 9 couples sur 10 sont au delà de 100 parsecs, mais 9 couples sur 10 sont plus faibles que la magnitude 10.

En revenant au pouvoir séparateur $s = 12/D$ l'équation (10) s'écrit

$$m = 7,9 - 5 \log s. \tag{11}$$

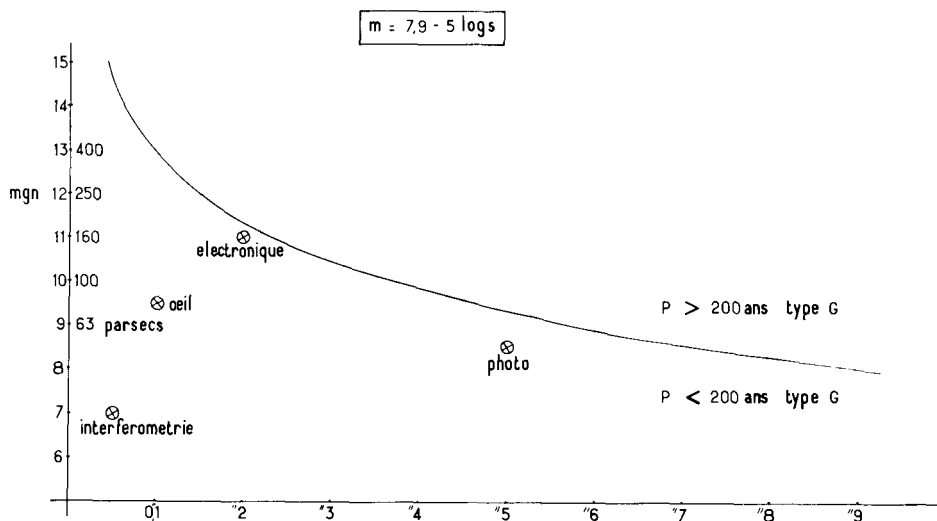


Fig. 1

Cette relation délimite dans le diagramme (*m*, *s*) la région des binaires de périodes inférieures à 200 ans, plus écartées que le pouvoir séparateur. Sur ce diagramme sont portés des points représentant les performances actuelles de l'œil avec et sans interféromètre, de la plaque photographique, de la plaque électronique. On en déduit le tableau récapitulatif II

TABLEAU II

	sensibilité	résolution	rendement	} trait. information
œil	non	oui	bon	
photo	oui	non	bon	possible
électron.	oui	oui	mauvais	possible
interféromètre	non	oui	mauvais	possible

Bibliographie

- Aitken R. G.: 1935, *The Binary Stars*, McGraw-Hill Co., New York.
- Baize, P.: 1930, 'L'astronomie des étoiles doubles', *Bull. Soc. Astron. France* **44**, 268.
- Dommanget, J.: 1956, 'Limites rationnelles d'un catalogue d'étoiles doubles visuelles', *Bull. Astron.* **20**, 183.
- Dommanget, J.: 1966, 'Nouveaux critères permettant la recherche de couples stellaires optiques', *Bull. Astron.* **29**, 511.
- Muller, P.: 1951, 'Un bilan des observations modernes d'étoiles doubles et ses enseignements', *Bull. Astron.* **16**, 161.
- Van den Bos, W. H.: 1962, in W. A. Hiltner (ed.), *Astronomical Techniques* (Stars and Stellar Systems, Vol. 2), Univ. Chicago Press, Chicago, Chapter 22.

Discussion

Replying to a question by Dommanget, Couteau assumes that the scatter of the mean values (s/a'') and (a''/s) is small. Deutsch and Pecker feel that the entries in Figure 1 are on the optimistic side, especially the photographic limit, yet Couteau asserts that these orders of magnitude have actually been reached. Rakos mentions the influence of 'seeing' as the chief factor limiting the resolving power of larger apertures.

Couteau: Avec un mètre d'ouverture l'accès à des périodes plus petites est possible mais le nombre de nuits utilisables décroît. On considère une ouverture 'pratique' qui est un compromis. Si l'ouverture est grande, le rendement est moins bon mais les nuits sont irremplaçables. Pour un réfracteur il faut environ 70 cm, pour un télescope 1,50 m n'est pas exagéré. Avec un 70 cm on travaille à la limite de la diffraction, avec un 1,50 m on ne peut pas obtenir les mêmes performances.

There is some discussion if formula (9a) should be really termed 'Pogson's law'.

Jonckheere: Les magnitudes des composantes sont toujours observées plus brillantes que celles calculées d'après la magnitude totale de l'étoile. Il y a là un phénomène à étudier.

Certains observateurs donnent pour les composantes des magnitudes calculées. A mon avis, un observateur devrait toujours publier ce qu'il a véritablement observé.

Couteau: C'est un phénomène physiologique difficile à mettre en équation. On pourrait demander à un autre récepteur que l'œil de mesurer la magnitude globale et mesurer le Δm à l'œil.

Dommanget: En complément à ce que vient de dire le Professeur Deutsch, je voudrais signaler qu'à Uccle, j'ai essayé la technique photographique sur le 45 cm à l'aide d'un Miflex Zeiss et un agrandisseur d'image. On atteint facilement une distance de séparation de 2" à 1" sur des étoiles de magnitude 4-5 et avec des temps de pose courts grâce à l'emploi du film Kodak très sensible Recording 2475 (il existe en plus sensible: 2485). On a les anneaux de diffraction et la mesure des parties correspondantes, comme le fait Rösch, donne de bons résultats.