

## Note sur la rotation axiale dans les étoiles doubles spectroscopiques.

Par **P. Swings**, Liège (Belgique).

Avec 3 figures. (Reçu le 24 février 1936.)

Pour la plupart des binaires de courte période ( $P < 32^d$ ) pour lesquelles on possède de bons spectrogrammes au Yerkes Observatory et dont les parallaxes sont suffisamment bien connues, l'auteur a comparé la vitesse de rotation mesurée et la vitesse calculée en supposant égales les périodes de révolution et de rotation axiale. La plupart des binaires possèdent des vitesses de rotation en excellent accord avec les nombres calculés. Pour les périodes de révolution suffisamment grandes, la période de rotation devient notablement inférieure à celle de révolution.

Sans vouloir entrer en détail dans la discussion des diverses théories concernant l'origine des étoiles doubles, nous avons cru intéressant et utile de faire une comparaison entre les périodes de rotation axiale et les périodes de révolution pour un certain nombre de binaires spectroscopiques. Une telle recherche — comme d'ailleurs toute recherche générale concernant les caractéristiques spectroscopiques des composantes de systèmes doubles<sup>1)</sup> — peut présenter de l'intérêt du point de vue cosmologique; cet intérêt apparaît ici d'une manière particulièrement nette dès que l'on examine soigneusement les conclusions relatives aux périodes de rotation et de révolution auxquelles conduisent les diverses théories sur l'origine des étoiles doubles (théories de la scission, de la capture, des condensations autour de noyaux séparés au sein d'une nébuleuse, etc. . .). On sait aussi que, dans ces dernières années, différentes recherches<sup>2)</sup> ont montré qu'il y a une transition continue entre les étoiles simples à rotation axiale rapide et les binaires spectroscopiques rapprochées, de courte période et de grande amplitude.

En fait, des recherches dans une direction analogue à celle que nous voulons exposer ici ont été entamées en 1931 et 1935 par KREIKEN<sup>3)</sup>, mais elles sont plutôt de caractère statistique, alors que nous nous proposons d'étudier individuellement un certain nombre de binaires spectroscopiques.

Nous avons considéré la plupart des binaires de courte période ( $P < 32^d$ ) pour lesquelles nous disposons de bons spectrogrammes au Yerkes Observatory, en négligeant toutes celles pour lesquelles on n'a pas encore de détermination

---

<sup>1)</sup> AITKEN, *The Binary Stars*, 2nd Edition, p. 280, 1935. — <sup>2)</sup> SHAJN and STRUVE, *M. N. R. A. S.* **89**, 222, 1929; STRUVE, *Ap. J.* **72**, 1, 1930; *Observ.* Nr. 682, 1931; STRUVE and ELVEY, *M. N. R. A. S.* **91**, 663, 1931; ELVEY, *Ap. J.* **71**, 221, 1930; SHAJN, *ZS. für Astrophys.* **6**, 176, 1933. — <sup>3)</sup> KREIKEN, *M. N. R. A. S.* **91**, 56 et 756, 1931; *ZS. f. Astrophys.* **10**, 199, 1935.

de parallaxe suffisamment digne de confiance. Pour les étoiles qui ont été réunies par ELVEY (loc. cit.) et pour lesquelles les profils ont été examinés par ELVEY et par STRUVE du point de vue rotation axiale, nous avons utilisé la moyenne des deux mesures. Pour les autres binaires, nous avons souvent employé les mesures de Miss CHR. WESTGATE<sup>1)</sup>, que nous avons d'ailleurs toujours vérifiées et éventuellement modifiées dans les cas douteux ou particulièrement intéressants.

Pour chacune de ces binaires, le rayon de la composante la plus lumineuse a été estimée en partant des tables de RUSSELL<sup>2)</sup>. Pour les binaires où deux spectres apparaissent, nous avons fait une estimation soignée de la magnitude de la composante principale avant d'appliquer les tables de RUSSELL. Nous avons alors calculé la vitesse de rotation qu'on devrait observer si la période de rotation était égale à la période de révolution et si l'axe polaire était normal à la ligne de visée<sup>3)</sup>.

Nous nous rendons d'ailleurs parfaitement compte du peu de précision de nos déterminations de rayons stellaires; non seulement, la théorie est encore imparfaite, mais, de plus, les parallaxes d'étoiles B et A peuvent dans de nombreux cas être entachées d'une incertitude notable. Nous vérifierons cependant plus loin que, dans l'ensemble, il n'y a pas d'erreur systématique grave. Dans les cas particulièrement intéressants, nous avons aussi déterminé les rayons stellaires en partant du mémoire de HERTZSPRUNG<sup>4)</sup>.

Les tableaux I et II contiennent<sup>5)</sup> respectivement les résultats pour les étoiles des classes B et A. Dans la dernière colonne, les lettres grecques ont la signification suivante:

$\alpha$  = bon accord entre les vitesses observées et calculées, les différences pouvant être interprétées par un effet d'inclinaison de l'axe polaire ou par une erreur plausible dans les mesures ou estimations;

$\beta$  = la vitesse observée est supérieure à la vitesse calculée;

$\gamma$  = id., mais moins sûr;

$\delta$  = la vitesse observée est plus faible que la valeur calculée, sans être avec certitude du type  $\alpha$ ; à discuter dans la suite;

$\varepsilon$  = étoile examinée spécialement.

Plusieurs conclusions résultent immédiatement de l'examen des tableaux I et II.

<sup>1)</sup> WESTGATE, Ap. J. **77**, 141, 1933; **78**, 46, 1933. — <sup>2)</sup> RUSSELL, P. A. S. P. **32**, 315, 1920. — <sup>3)</sup> Ce que nous appellerons toujours dans la suite „vitesse calculée“, par opposition avec la „vitesse observée“ qui est le résultat direct de la mesure. — <sup>4)</sup> HERTZSPRUNG, Annalen van de Sterrewacht te Leiden, Deel XIV, Eerste Stuk. — <sup>5)</sup> Algol a été étudiée en détail par STRUVE et ELVEY, M. N. R. A. S. **91**, 663, 1931, et n'a pas été considérée ici.

Tableau I. Binaires de courte période, de classe B.

Numéro d'ordre <sup>1)</sup>	No. Boss	Etoile	Spectre	Période de révolution	Amplitude $K$	Vitesse rotation calculée	Vitesse rotation mesurée <sup>2)</sup>	Remarque
1	4864	18 Aql	B 8	1,302	27,59	135	90	$\alpha$
2	3138	31 Crv	B 3	1,503	118,19	233	90	$\delta$
3	1107	94 Tau	B 5	1,505	44,34	137	90	$\alpha$
4	5018	$\sigma$ Aql	B 3	1,950	163,52	125	80	$\delta$
5	4388	$u$ Her	B 3	2,051	99,50	100 <sup>3)</sup>	80	$\alpha$
6	1314	$\psi$ Ori	B 2	2,526	144,12	100	90	$\alpha$
7	5764	2 Lac	B 5	2,616	80,3	50	40	$\alpha$
8	5375	57 Cyg	B 3	2,855	110,4	80	45	$\alpha \epsilon$
9	1159	$\pi^5$ Ori	B 3	3,700	57,88	91	40	$\alpha$
10	641	$\pi$ Ari	B 5	3,854	24,77	60	50	$\alpha$
11	1213	66 Eri	B 9	5,522	97	29	0	$\alpha$
12	1339	$\delta$ Ori	B 0	5,732	100,12	70	120	$\gamma$
13	2445	$\kappa$ Cnc	B 8	6,393	67,8	27	10	$\alpha$
14	4086	$\beta$ Sco	B 1	6,828	125,66	50	80	$\gamma$
15	1139	9 Cam	B 0	7,996	9,0	58	70	$\gamma ?$
16	1301	$\eta$ Ori	B 1	7,99	144,75	30	30	$\alpha \epsilon$
17	1147	3 $\pi^4$ Ori	B 3	9,519	25,93	46	40	$\alpha$
18	1366	44 $\iota$ Ori	O 8	29,136	113,7	4	65	$\beta$

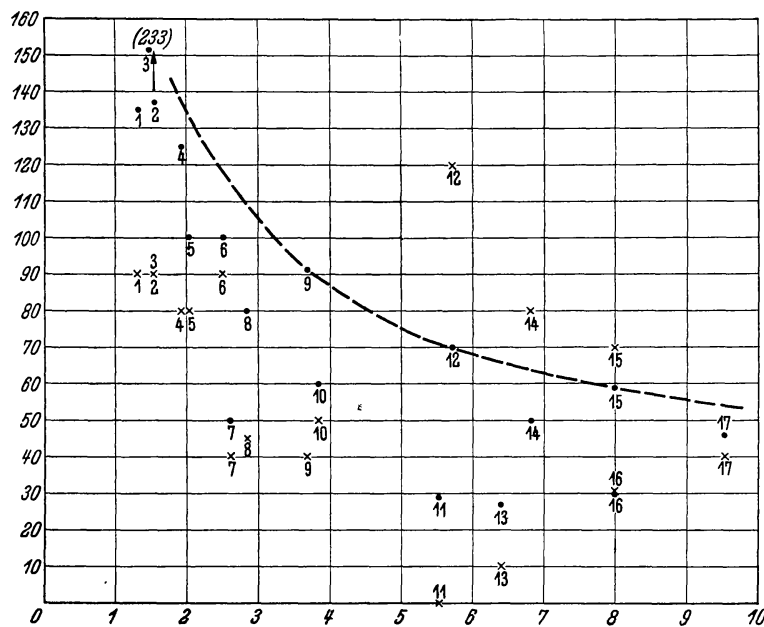


Fig. 1. Doubles spectroscopiques de classe B.

<sup>1)</sup> Suivant les périodes de révolution croissantes. — <sup>2)</sup> Parmi les nombres indiqués dans cette colonne, ceux qui diffèrent du travail de Miss WESTGATE sont des mesures nouvelles faites spécialement pour cette recherche. — <sup>3)</sup> Si on emploie le rayon indiqué par SCHLESINGER et BAKER (A. O. 2, 51, 1910) on obtient pour la vitesse calculée, 146 km/sec.

Tableau II. — Binaires de courte période de classe A.

Numéro d'ordre	No. Boss	Etoile	Spectre	Période de révolution	Amplitude $K$	Vitesse rotation calculée	Vitesse rotation mesurée	Re-marque
1	5600	$\delta$ Cap	A 5	1,023	65,67	100	100	$\alpha$
2	3182	4 Dra	A 5	1,271	63,2	70	50	$\alpha$
3	986	$b^1$ Per	A 2	1,527	41,89	90	50	$\alpha$
4	145	$\pi$ Cas	A 5	1,964	117,32	50	25	$\alpha$
5	4462	$\xi$ Ser	A 5	2,292	19,35	41	50	$\alpha$
6	3825	$\delta$ Lib	A 0	2,327	76,5	41	40	$\alpha$
7	2987	55 U Ma	A 2	2,5	38,5	44	25	$\alpha$
8	1979	66 $\alpha^1$ Gem	A 0	2,928	31,76	25	40	$\alpha$
9	1452	31 Cam	A 0	2,933	76,02	27	25	$\alpha$
10	5099	$\varphi$ Aql	A 2	3,32	38,25	35	50	$\alpha$
11	1244	14 Aur	A 2	3,789	21,56	30	25	$\alpha$
12	82	—	A 2	3,956	41,7	30	0	$\alpha$
13	1478	$\beta$ Aur	A 0 p	3,960	108,96	53	25	$\alpha$
14	4328	$\varepsilon$ Her	A 0	4,023	70,39	24	25	$\alpha$
15	4788	50 Dra	A 0	4,117	79,12	18	25	$\alpha$
16	4752	$\zeta^1$ Lyr	A 3	4,30	51,24	30	25	$\alpha$
17	1501	$\mu$ Ori	A 2	4,447	30,8	24	0	$\alpha$
18	1457	136 Tau	A 0	5,969	48,9	18	0	$\alpha$
19	1979	66 $\alpha^2$ Gem	A 0	9,219	13,56	10	0	$\alpha$
20	1492	2 Mon	A 5	9,355	57,1	13	25	$\alpha$
21	5469	$\sigma$ Cyg	A 0 p	11,043	1,98	16	40	$\gamma$
22	2754	30 U Ma	A 0	11,583	34,07	10	0	$\alpha$
23	2900	$\omega$ U Ma	A 0	15,84	20,64	9	25	$\alpha$
24	5171	$\theta$ Aql	A 0	17,124	46,0	17	25	$\alpha$
25	3961	5 $\alpha$ Cr B	A 0	17,36	34,93	6,6	125	$\beta$
26	482	4 $\beta$ Tri	A 5	31,4	26	15	75	$\beta$

*Remarque  $\alpha$ .* — La plupart des binaires possèdent des vitesses de rotation en excellent accord avec les valeurs calculées.

*Remarques  $\beta$  et  $\gamma$ .* — Pour quelques étoiles, la période de rotation est incontestablement plus courte que la période de révolution. Si nous classons les étoiles marquées  $\beta$  ou  $\gamma$  suivant les périodes croissantes, nous obtenons le tableau III.

Tableau III.

Etoile	Période de révolution	Excentricité	Remarque	Vitesse calculée	Vitesse observée
$\delta$ Ori	5 <sup>d</sup> ,732	0,096	$\gamma$	70	120
$\beta$ Sco	6,828	0,27	$\gamma$	50	80
$\sigma$ Cyg	11,043	0,40	$\gamma$	16	40
5 $\alpha$ Cr B	17,36	0,387	$\beta$	6,6	125
$\iota$ Ori	29,136	0,75	$\beta$	4	65
4 $\beta$ Tri	31,4	0,456	$\beta$	15	75

Nous constatons immédiatement que, pour les binaires de période inférieure à 5,7 jours, nous n'obtenons jamais de vitesse calculée inférieure

à la vitesse observée. Mais le tableau III montre que, pour des périodes de révolution suffisamment grandes, la période de rotation devient notablement inférieure à celle de révolution. Remarquons encore que les trois binaires marquées  $\beta$  ont une excentricité assez élevée, ce qui, dans la théorie de la scission, signifierait une évolution avancée.

Le résultat indiqué par le tableau III apparaît encore plus clairement dans les figures 1 et 2 correspondant respectivement aux étoiles B et A;

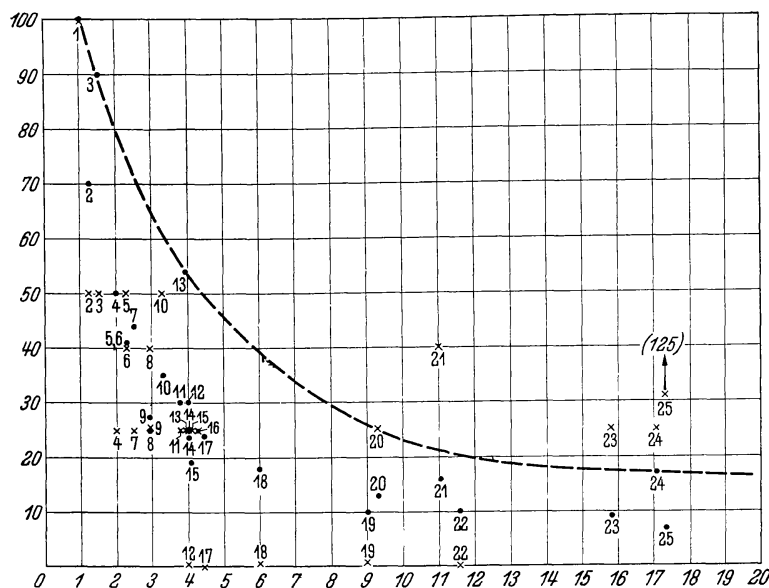


Fig. 2. Doubles spectroscopiques de classe A.

pour tracer ces figures, nous avons porté en abscisses les périodes de révolution et en ordonnées les vitesses de rotation; les croix correspondent aux vitesses observées tandis que les points indiquent les valeurs calculées. Les courbes en trait interrompu fournissent en quelque sorte, les vitesses calculées limites. On constate immédiatement que, sur la figure 1, aucune vitesse observée n'apparaît au-dessus de la courbe limite pour les périodes de révolution inférieures à 5,7 jours; à partir de cette valeur de la période, on trouve des vitesses observées supérieures aux valeurs calculées, l'effet étant particulièrement grand pour  $\alpha$  Cor B,  $\iota$  Ori et  $\beta$  Tri.

Le résultat ressort encore mieux de la figure 3, sur laquelle nous avons porté en abscisses les périodes de révolution et en ordonnées les différences  $O-C$  entre les valeurs observées et calculées des vitesses de rotation. La différence  $O-C$  va en augmentant continuellement lorsqu'on se dirige vers les longues périodes; la droite en trait interrompu donne l'allure moyenne de la variation de  $O-C$ . L'intersection de cette droite

avec l'axe des ordonnées correspond à une vitesse d'environ 30 km/sec; c'est précisément ce nombre que l'on obtient lorsque l'on estime la correction à apporter à la moyenne des mesures pour tenir compte de la répartition au hasard, des inclinaisons des axes polaires. La droite corrigée, dessinée en pointillé, passe donc sensiblement par l'origine, ce qui montre que le travail n'est pas affecté d'erreurs systématiques graves. Pour tenir compte de la distribution des inclinaisons des axes, on peut pour les très courtes périodes

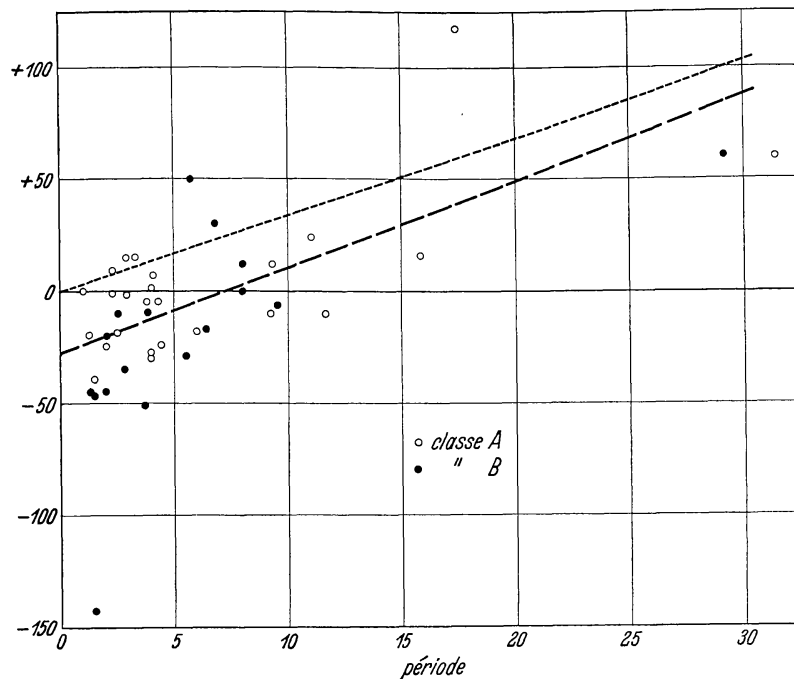


Fig. 3. Vitesse observée — vitesse calculée.

prendre simplement la valeur moyenne de  $\sin i$ , ce qui donne la correction de 30 km/sec. Mais pour les périodes plus longues, il n'en est plus de même, car on ne découvre alors les binaires spectroscopiques que si l'inclinaison est favorable. Nous avons supposé à titre de pur moyen de calcul, que, pour une période de 30 jours, l'angle  $i$  doit être compris entre 30 et 90°; nous avons ensuite interpolé pour les périodes intermédiaires. On obtient ainsi la droite en pointillé de la figure 3. Naturellement, cette représentation linéaire a un intérêt purement qualitatif.

Notre conclusion — au moins sous sa forme qualitative — ne peut être due à des erreurs d'observation ou d'estimation. Si nous considérons  $5 \alpha$  CrB,  $\iota$  Ori et  $4 \beta$  Tri, nous pourrions constater aisément qu'aucune erreur plausible sur les parallaxes ne pourrait expliquer les différences observées. D'ailleurs, qualitativement, les résultats obtenus en déterminant

les rayons stellaires soit par les tables de RUSSELL, soit par celles de HERTZSPRUNG, sont en bon accord: dans les deux cas, les vitesses calculées sont inférieures nettement aux vitesses observées.

Notre résultat est en accord avec celui de KREIKEN<sup>1)</sup>.

*Remarque  $\delta$ .* — Pour 31 Crv et  $\sigma$  Aql, les vitesses de rotation observées sont beaucoup plus petites que les valeurs calculées quoique les amplitudes apparentes  $K$  soient plutôt grandes. Si nous supposons que cela résulte simplement d'un effet d'inclinaison, nous trouvons que les amplitudes réelles sont:

$$\begin{aligned} &\text{pour 31 Crv, } 307 \text{ km/sec,} \\ &\text{pour } \sigma \text{ Aql, } 262 \text{ km/sec;} \end{aligned}$$

ces nombres paraissent anormalement élevés.

Naturellement, de tels exemples seraient fort intéressants du point de vue cosmogonique; mais on ne doit pourtant pas leur accorder une très grande confiance, car on ne possède pour ces étoiles que les parallaxes spectroscopiques (0'',003 dans les deux cas). Il serait très utile que ces parallaxes soient redéterminées soigneusement; il suffirait que  $\pi$  soit 0'',006 au lieu de 0'',003 pour que les vitesses calculées soient ramenées respectivement à 117 et 93 km/sec, ce qui serait le cas  $\alpha$ .

*Remarque  $\epsilon$ .* —  $\eta$  Orionis. — La vitesse de rotation a été déterminée en partant du triplet de Si III en  $\lambda\lambda$  4553, 4568 et 4575 Å; la valeur moyenne pour dix spectres est 30 km/sec, en parfait accord avec la valeur calculée.

*57 Cygni.* — La moyenne de nos mesures est 45 km/sec; l'amplitude réelle serait donc 184 km/sec, ce qui est tout-à-fait raisonnable.

Nous tenons à remercier vivement Prof. O. STRUVE pour sa cordiale hospitalité au Yerkes Observatory et pour ses nombreux conseils et suggestions. Nous désirons aussi exprimer notre gratitude envers la C. R. B. Educational Foundation Inc. pour l'obtention d'un advanced fellowship qui nous a rendu possible notre séjour au Yerkes Observatory.

---

<sup>1)</sup> KEIKEN, ZS. f. Astrophys. 10, 208, 1935.