Étude sur un groupe de huit céphéides

Autor(en): **Tiercy, Georges**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Archives des sciences physiques et naturelles**

Band (Jahr): **11 (1929)**

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-740983

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

ÉTUDE

SUR

UN GROUPE DE HUIT CÉPHÉIDES

PAR

Georges TIERCY

(Avec 10 fig.)

---

1. — Il s'agit ici du groupe formé par les étoiles suivantes: SU Cassiopeiae, T Vulpeculae, W Sagittarii, X Sagittarii, S Sagittae, Y Ophiuchi, X Cygni, et η Aquilae. Nous nous sommes déjà occupé des sept premières dans un article inséré dans les *Publicazioni del R. Osservatorio Astrofisico di Arcetri* (fasc. 45; 1928); les conclusions données dans cette recherche étaient toutes basées sur les résultats numériques obtenus antérieurement dans l'étude individuelle de chacune de ces étoiles; et ces résultats numériques avaient été établis en utilisant certaines formules fondamentales de l'astrophysique, notamment les suivantes:

$$\left\{\begin{aligned} 0{,}819\,\mathrm{I} &= \log \mathrm{R} + 0{,}2\,\mathrm{M}_v - 0{,}515\ ; \\ \mathrm{T} &= \frac{7200}{1 + 0{,}611}\ ; \end{aligned}\right. \qquad (1)$$

où I représente l'index de couleur de l'étoile, R son rayon linéaire, M_v sa magnitude absolue et T la température moyenne de la couche renversante.

Nous avons montré, dans un mémoire paru dans les *Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève* [(5), 10, p. 363, (1928)] et dans le fascicule 6 des *Publications de l'Observatoire de Genève*,

BIBLIOTHÈQUE DE L'UNIVERSITÉ 13 NEUCHATEL

que les formules (1) ne sauraient s'appliquer à tous les types d'étoiles; en nous restreignant aux étoiles géantes (cas des Céphéides), des résultats numériques beaucoup meilleurs sont fournis par les nouvelles formules que voici:

$$\left\{\begin{array}{l} 0{,}819\,\mathrm{I} = \log \mathrm{R} + 0{,}2\,\mathrm{M}_v + 0{,}819\,\alpha - 0{,}2\,\beta\,, \\ \mathrm{T} = \dfrac{7200}{\mathrm{I} - \alpha}\,, \end{array}\right. \qquad (2)$$

où les paramètres α et β prennent une valeur déterminée pour chaque type spectral [1].

Nous nous proposons de reprendre ici cette étude d'ensemble, mais sur 8 Céphéides au lieu de 7, en nous basant sur les valeurs tirées de l'emploi des formules (2) [2]. Nous serons amené à modifier quelque peu certaines de nos conclusions antérieures, et à les compléter par des détails nouveaux.

Rappelons que le but de cette étude d'ensemble est d'examiner si les résultats obtenus jusqu'ici peuvent être reliés entre eux, et si l'on peut en tirer quelques renseignements nouveaux permettant d'aborder plus facilement l'étude de nouvelles Céphéides.

§ 1. — Examen des résultats moyens.

2. — *Données numériques.*

Etoile	Masse μ	Période	M_v	M_v moyenne	R ($R_s = 1$)	R moyen	I moyen
		d					
SU Cassiopeiae	6,3	1,95	— 1,20 à — 0,73	— 0,96	9,7 à 8,9	9,3	0,38
T Vulpeculae	5,6	4,44	— 1,80 à — 0,91	— 1,35	12,6 à 9,8	11,2	0,46
W Sagittarii	6,4	7,59	— 2,30 à — 1,20	— 1,75	19,0 à 13,0	16,0	0,53
η Aquilae	6,1	7,18	— 2,30 à — 1,70	— 2,00	19,3 à 14,7	17,0	0,57
X Sagittarii	7,0	7,01	— 2,60 à — 1,93	— 2,26	23,0 à 19,4	21,2	0,64
S Sagittae	6,0	8,38	— 2,85 à — 2,15	— 2,50	27,7 à 22,5	25,1	0,68
Y Ophiuchi	—	17,12	— 3,80 à — 3,00	— 3,40	—	(58)	(0,78)
X Cygni	—	16,38	— 3,80 à — 2,60	— 3,20	—	(58)	(0,84)

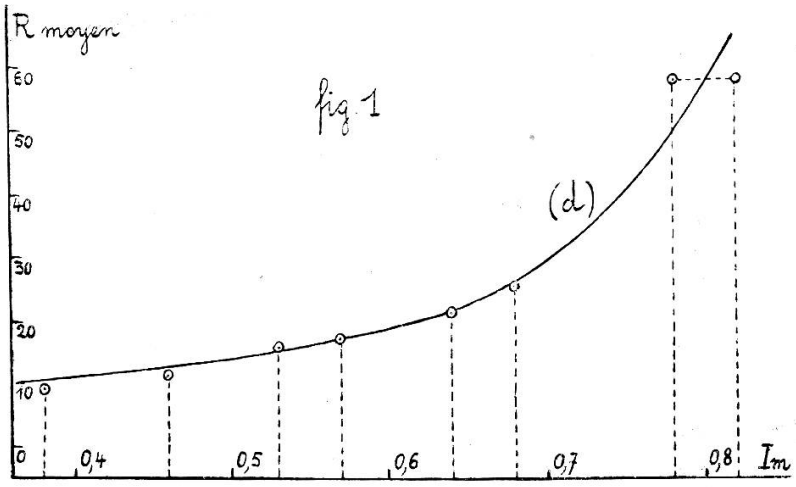
[1] *Loc. cit.*

[2] Les résultats concernant spécialement η Aquilae paraîtront dans un prochain mémoire.

Types spectraux.

Etoile	Champ spectral	Spectre moyen
SU Cassiopeiae	A_9 à F_6	F_3
T Vulpeculae	A_9 à G_1	F_5
W Sagittarii	A_9 à G_2	F_{5-6}
η Aquilae	A_9 à G_5	F_{7-8}
X Sagittarii	F_{1-2} à G_5	F_8
S Sagittae	F_5 à G_5	G_0
Y Ophiuchi	(F_7 à G_3)	(G_{1-2})
X Cygni	—	(G_3)

3. — *Relation graphique entre le rayon moyen et l'index de couleur moyen.* — Les résultats indiqués dans les deux dernières colonnes du premier tableau permettent de tracer une courbe (*d*) donnant une relation approchée entre la valeur du rayon moyen R_m et celle de l'index de couleur moyen I_m. On a porté (fig. 1) les I_m en abcisses et les R_m en ordonnées. Visiblement, la valeur de R_m augmente avec celle de I_m; et cette augmentation est réglée par l'allure de la courbe (*d*).



Si donc, d'une façon ou d'une autre, on a connaissance de la valeur de I_m, la courbe (*d*) donnera immédiatement une valeur approchée du rayon moyen de l'étoile; et cette valeur est toujours proche de celle du rayon R_1 qui correspond à la phase

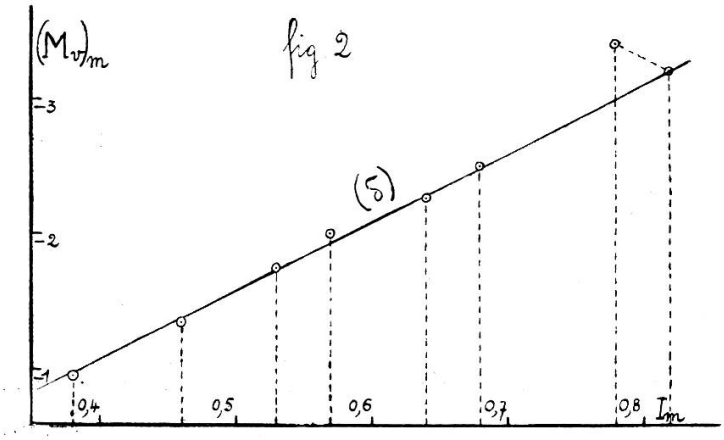
du maximum de lumière; la différence $R_m - R_1$ a les valeurs suivantes:

SU Cassiopeiae	0
T Vulpeculae	— 0,2
W Sagittarii	0,9
X Sagittarii	1,2
S Sagittae	1,1
η Aquilae	1,9

4. — *Relation graphique entre la magnitude absolue moyenne* $(M_v)_m$ *et l'index moyen* I_m. — Du tableau n° 2, détachons les valeurs suivantes:

Etoile	I_m	$(M_v)_m$	Spectre moyen
SU Cassiopeiae	0,38	— 0,96	F_3
T Vulpeculae	0,46	— 1,35	F_5
W Sagittarii	0,53	— 1,75	F_{5-6}
η Aquilae	0,57	— 2,00	T_{7-8}
X Sagittarii	0,64	— 2,26	F_8
S Sagittae	0,68	— 2,50	G_0
Y Ophiuchi	0,78	— 3,40	G_{1-2}
X Cygni	0,84	— 3,20	G_3

Portant les valeurs de $(M_v)_m$ en ordonnées et celles de I_m en abscisses (fig. 2), on obtient une courbe (δ) analogue à la courbe (d) précédente, mais beaucoup moins « courbée ».



On connaîtra donc $(M_v)_m$, d'après cette courbe, dès qu'on connaîtra I_m. Comme, d'autre part, on connaît l'écart entre le

maximum et le minimum de M_v, on trouvera la valeur de M_v correspondant à toute phase de la variation lumineuse d'une Céphéide.

5. — *Autre calcul de* M_v *au maximum de lumière.* — Soit $(M_v)_1$ cette magnitude. Désignons par R_1 le rayon de l'étoile à ce moment-là; et appelons M'_s la magnitude absolue qu'aurait notre Soleil, si, gardant son rayon, il prenait le type spectral de l'étoile étudiée; le rayon R_s du Soleil étant pris pour unité, on a approximativement:

$$\frac{R_1^2}{R_s^2} = \frac{E_1}{E'_s} = R_1^2 ,$$

où E_1 est l'énergie de l'étoile au maximum de lumière et E'_s celle du nouveau Soleil. D'autre part, la loi de Pogson donne:

$$2{,}5 \log \frac{E_1}{E'_s} = M'_s - (M_v)_1 ;$$

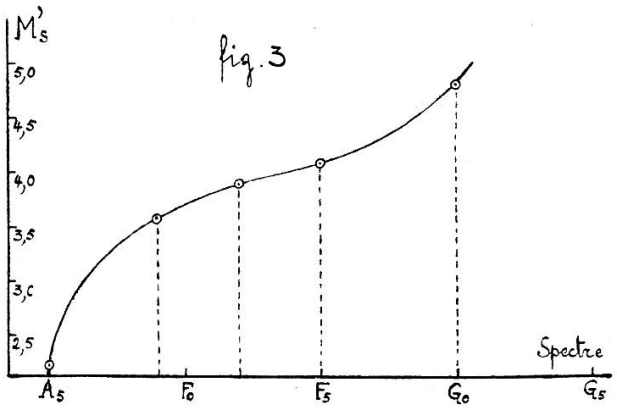
d'où:

$$(M_v)_1 = M'_s - 5 \log R_1 . \qquad (3)$$

Cette relation (3) nous donnera $(M_v)_1$, [et par suite $(M_v)_m$ puisqu'on connaît l'écart des magnitudes extrêmes], dès qu'on connaîtra M'_s et R_1.

Pour M'_s on peut utiliser le tableau et le graphique approximatifs suivants (fig. 3):

Spectre	A_5	A_9	F_2	F_5	G_0
M'_s	+ 2,2	+ 3,6	+ 3,9	+ 4,1	+ 4,83



Quant à R_1, il est à peu près égal à R_m (peut-être légèrement supérieur, de 0,1) lorsque le rayon est de l'ordre de 10; il est inférieur à R_m, de 1 à 2 environ, lorsque le rayon est de l'ordre de 20.

On aura par exemple:

SU Cassiopeiae:

$$R_1 = R_m = 9{,}3$$
$$\text{spectre} = A_9$$
$$(M_v)_1 = 3{,}60 - 5(0{,}968) = -1{,}24$$
$$\text{soit} \quad (M_v)_1 = -1{,}2 \ .$$

T Vulpeculae:

$$R_1 = R_m = 11{,}2$$
$$\text{spectre} = A_9$$
$$(M_v)_1 = 3{,}60 - 5(1{,}049) = -1{,}645$$
$$\text{soit} \quad (M_v)_1 = -1{,}7 \qquad (\text{au lieu de } -1{,}8) \ .$$

W Sagittarii:

$$R_1 = R_m - 1{,}0 = 15$$
$$\text{spectre} = A_9$$
$$(M_v)_1 = 3{,}60 - 5(1{,}176) = -2{,}28$$
$$\text{soit} \quad (M_v)_1 = -2{,}3 \ .$$

X Sagittarii:

$$R_1 = R_m - 1{,}2 = 20$$
$$\text{spectre} = F_{1-2}$$
$$(M_v)_1 = 3{,}9 - 5(1{,}30103) = -2\ 60 \ .$$

S Sagittae:

$$R_1 = R_m - 1{,}5 = 23{,}6$$
$$\text{spectre} = F_5$$
$$(M_v)_1 = 4{,}1 - 5(1{,}373) = -2{,}77$$
$$\text{soit} \ -2{,}8 \qquad (\text{au lieu de } -2{,}85) \ .$$

η Aquilae:

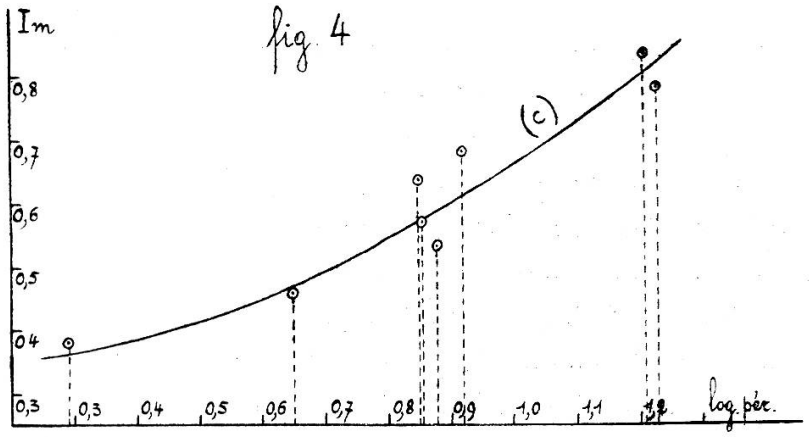
$$R_1 = R_m - 1{,}5 = 15{,}5$$
$$\text{spectre} = A_9$$
$$(M_v)_1 = 3{,}60 - 5(1{,}190 = -2{,}35 \ .$$

6. — *Relation graphique entre* I_m *et le logarithme de la période.* — Prenons le tableau réduit suivant:

Etoile	log Période	I_m
SU Cassiopeiae	0,290	0,38
T Vulpeculae	0,647	0,46
W Sagittarii	0,880	0,53
η Aquilae	0,856	0,57
X Sagittarii	0,846	0,64
S Sagittae	0,923	0,68
Y Ophiuchi	1,234	0,78
X Cygni	1.214	0,84

et portons les logarithmes des périodes en abscisses ; les I_m seront les ordonnées.

On trouve ainsi une nouvelle courbe *c* (fig. 4), qui semble devoir donner la valeur de I_m dès qu'on connaîtra la période.



On aurait ainsi la valeur de I_m sans aucune mesure photométrique; d'où l'importance probable de la courbe (*c*).

Les courbes (*d*) et (δ) donneront ensuite les valeurs approchées de R_m et de $(M_v)_m$.

Rien, d'ailleurs, n'empêche de construire directement les courbes donnant $(M_v)_m$ et R_m en fonction du logarithme de la période.

7. — *Relation graphique entre* I_m *et le spectre moyen.* — Le tableau du n° 4 donne le dessin suivant (fig. 5):

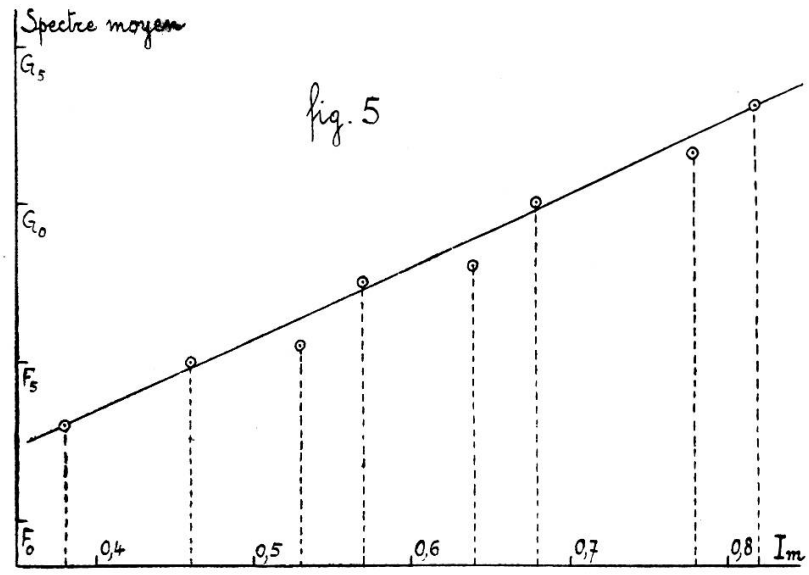


fig. 5

qui semble indiquer une relation linéaire entre I_m et le type spectral moyen.

§ 2. — Quelques remarques sur le spectre au maximum de lumière.

8. — Les remarques faites à ce sujet dans l'article paru à Arcetri [1] ne sont que fort peu modifiées par l'adoption des nouvelles valeurs numériques des éléments.

Rappelons qu'il s'agit de quatre spectres de type A_9, et correspondant respectivement aux maximums de lumière des étoiles SU Cassiopeiae, T Vulpeculae, W Sagittarii et η Aquilae. On a le tableau numérique suivant:

Etoile	Période	log Pér.	μ	I_m	I (A_9)
	d				
SU Cass.	1,95	0,290	6,3	0,38	0,295
T Vulp.	4,44	0.647	5,6	0,46	0,260
W Sgii	7,59	0,880	6,4	0,53	0,288
η Aquilae	7,18	0,856	6,1	0,57	0,285

[1] *Loc. cit.*

Les valeurs de la dernière colonne, tout en étant du même ordre de grandeur, présentent des différences sensibles; celles-ci sont sans doute fonctions des masses et des périodes.

Quoiqu'il soit impossible d'énoncer une règle basée sur quatre résultats seulement, il est curieux de remarquer que les valeurs de I (A_9) sont sensiblement proportionnelles aux valeurs de la masse μ; on a en effet:

$$\frac{0,285}{6,1} = 0,047 \; ; \quad \frac{0,295}{6,3} = 0,047 \; ; \quad \frac{0,260}{5,6} = 0,046 \; ;$$

$$\frac{0,288}{6,4} = 0,046 \; .$$

Le phénomène est-il général ? Sera-t-il répété chaque fois qu'on aura à comparer des spectres de même nom et correspondant tous à la phase d'un maximum de lumière ? Il est impossible de répondre ici; et nous nous bornons à poser la question.

D'autre part, les différences $I(A_9) - I_m$ valent respectivement (— 0,085), (— 0,200), (— 0,242) et (— 0,285); et l'on constate qu'elles sont approximativement proportionnelles aux logarithmes des périodes:

$$\frac{0,085}{8,290} = 0,3 \; ; \quad \frac{0,200}{0,647} = 0,3 \; ; \quad \frac{0,242}{0,880} = 0,3 \; ; \quad \frac{0,285}{0,356} = 0,3 \; .$$

Ainsi, dans l'hypothèse où l'on aurait à considérer une nouvelle Céphéide de type A_9 au maximum de lumière, on pourrait avoir immédiatement, non seulement la valeur de I_m par (*c*), mais encore le type spectral moyen par le graphique du n° 7, et la valeur approchée de $I(A_9)$ au maximum de lumière par la remarque ci-avant.

On pourrait même, ensuite, en se basant sur la première remarque de ce paragraphe, trouver une indication relative à la masse de l'étoile.

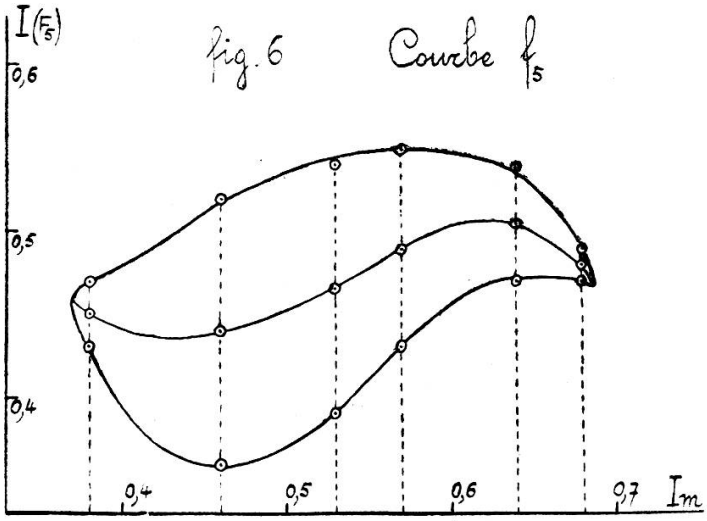
§ 3. — Considérations sur les spectres F_5.

9. — *Données numériques.* — Les spectres F_5 se trouvent dans la variation lumineuse des cinq premières étoiles étudiées; c'est,

en particulier, le type spectral correspondant au maximum de lumière de S Sagittae.

Etoile	I_m	I (F_5)		I (F_5) moyen	R (F_5)		R (F_5) moyen	M_v (F_5)		M_v (F_5) moyenne
		branch. desc.	branch. asc.		branch. desc.	branch. asc.		branche descend.	branche ascend.	
SU Cass.	0,38	0,470	0,430	0,45	9,5	9,0	9,2	— 0,78	— 0.82	— 0,80
T Vulp.	0 46	0,520	0,360	0,44	12,5	9,9	11,2	— 1,19	— 1,31	— 1,25
W Sgii.	0,53	0,540	0,390	0,47	18,8	13,4	16,1	— 1,80	— 1,84	— 1,82
η Aquilae	0,57	0,550	0,428	0,49	19,2	15,5	17,3	— 2,05	— 2,05	— 2,05
X Sgii	0,64	0,540	0,470	0,50	22,2	19,7	21,0	— 2,25	— 2,40	— 2,33
S Sgtae	0,68	0,490	0,465	0,48	25,7	22,9	24,3	—(2,80)	—(2,80)	— 2,80

10. — *Courbe donnant* I (F_5) *en fonction de* I_m. — Les valeurs de I_m étant portées en abscisses, le tableau du n° 9 conduit au graphique suivant (fig. 6):



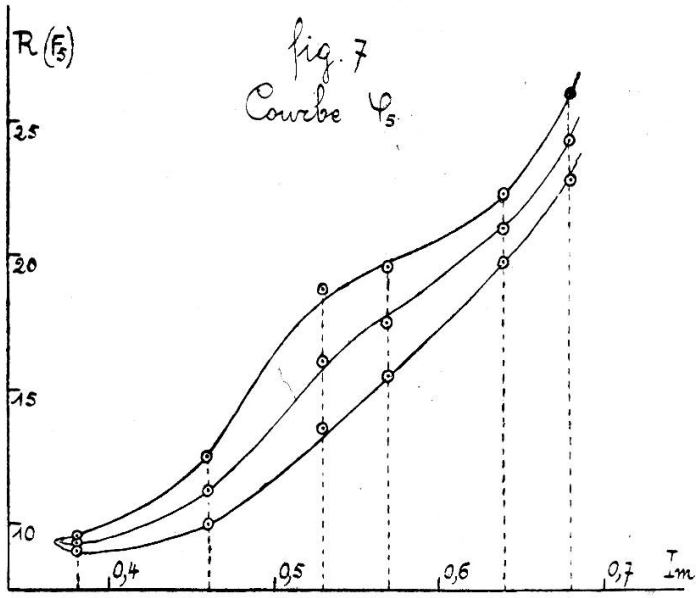
Ainsi, connaissant la valeur de I_m d'après la période (courbe *c*), on trouvera par la courbe f_5 les indices de couleur probables du spectre F_5 sur les deux branches de la courbe de lumière. Il est bon d'insister sur le fait que, pour SU Cassiopeiae, les spectres F_5 sont très voisins du minimum de lumière, tandis qu'ils sont au maximum de lumière, ou presque, dans le cas de S Sagittae.

Il semble, en outre, que pour des valeurs de I_m supérieures à

0,70 (c'est-à-dire pour des périodes dépassant 9 jours), il n'y aura plus de spectre F_5 à enregistrer; les spectres seront tous plus avancés. C'est, en particulier, ce qui arrive pour Y Ophiuchi et X Cygni.

On remarquera que les valeurs de « I (F_5) *moyen* » sont un peu plus petites pour SU Cassiopeiae et T Vulpeculae que pour les trois autres étoiles; cela n'a rien d'étonnant, puisque les rayons des deux premières sont notablement plus faibles que ceux des trois autres.

11. — *Courbe donnant* R (F_5) *en fonction de* I_m. — Le tableau du n° 9 conduit à la courbe suivante (fig. 7), où les valeurs de R (F_5) sont portées en ordonnées.



Là encore, il semble indiqué que, pour une période plus grande que 9 jours, on ne trouvera plus de type spectral F_5. Ainsi, après avoir trouvé R_m par la courbe (*d*), on trouve les rayons correspondants au type F_5 par la courbe de la fig. 7.

12. — *Modification de la courbe* φ_5; *courbe* φ'_5. — La courbe φ_5 n'a pas une forme aussi simple que celle de la courbe f_5; cela tient au fait que les étoiles envisagées n'ont pas la même magnitude absolue moyenne; et l'on sait bien que la magnitude

M_v entre en jeu dans la relation entre l'index de couleur I et le rayon R; on a, en effet, d'une manière approchée:

$$0{,}819\,I = \log R + 0{,}2\,M_v - A\ , \qquad (4)$$

où A possède une valeur déterminée pour chaque étoile et pour chaque phase.

Nous allons nous proposer de chercher ce que serait la courbe φ_5 si toutes les étoiles avaient la même magnitude moyenne pour le type F_5; par exemple, celle de W Sagittarii, c'est-à-dire $(M_v)_{F_5} = -1{,}82$; les valeurs de I_m restent celles du n° 9.

Supposons que, dans la formule fondamentale ci-dessus, on donne à M_v un accroissement algébrique ε; I ne variant pas, c'est R qui change de valeur et devient R'; on a:

$$\begin{cases} \log R = 0{,}819\,I - 0{,}2\,M_v + A\ ; \\ \log R' = 0{,}819\,I - 0{,}2\,(M_v + \varepsilon) + A\ ; \end{cases}$$

$$\log \frac{R'}{R} = -\,0{,}2\,\varepsilon\ ; \qquad (5)$$

autrement dit, si ε est positif, $R' < R$ (I restant constant). Par l'égalité (5), nous corrigerons les rayons de la courbe φ_5; nous trouverons ce que celle-ci deviendrait si toutes les étoiles prenaient la magnitude $(M_v)_{F_5} + \varepsilon_i = -1{,}82$, tout en conservant leurs I_m respectifs. Le résultat est la courbe φ_5' de la figure (8).

Voici le calcul de correction pour chaque étoile:

SU Cassiopeiae:

$$(M_v)_{F_5} = -\,0{,}80\ ; \qquad \varepsilon = -\,1{,}02\ ;$$

$$-\,0{,}2\,\varepsilon = +\,0{,}204 = \log \frac{R'}{R}\ ;$$

$$R' = 1{,}60\,R\ ;$$

T Vulpeculae:

$$(M_v)_{F_5} = -\,1{,}25\ ; \qquad \varepsilon = -\,0{,}50\ ;$$

$$-\,0{,}2\,\varepsilon = 0{,}10\ ; \qquad R' = 1{,}26\,R\ ;$$

X Sagittarii:

$$(M_v)_{F_5} = -2{,}33 \; ; \qquad \varepsilon = +0{,}58 \; ;$$
$$-0{,}2\,\varepsilon = -0{,}116 = \bar{1}{,}884 \; ;$$
$$R' = 0{,}766\,R \; ;$$

η Aquilae:

$$(M_v)_{F_5} = -2{,}05 \; ; \qquad \varepsilon = +0{,}23 \; ;$$
$$-0{,}2\,\varepsilon = -0{,}046 = \bar{1}{,}954 \; ;$$
$$R' = 0.9\,R \; .$$

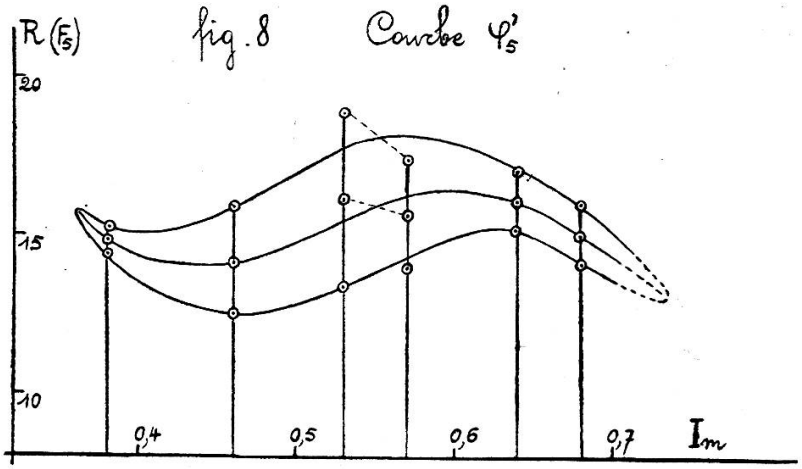
S Sagittae:

$$(M_v)_{F_5} = -2{,}80 \; ; \qquad \varepsilon = +1{,}05 \; ;$$
$$-0{,}2\,\varepsilon = -0{,}210 = \bar{1}{,}790 \; ;$$
$$R' = 0{,}617\,R \; ;$$

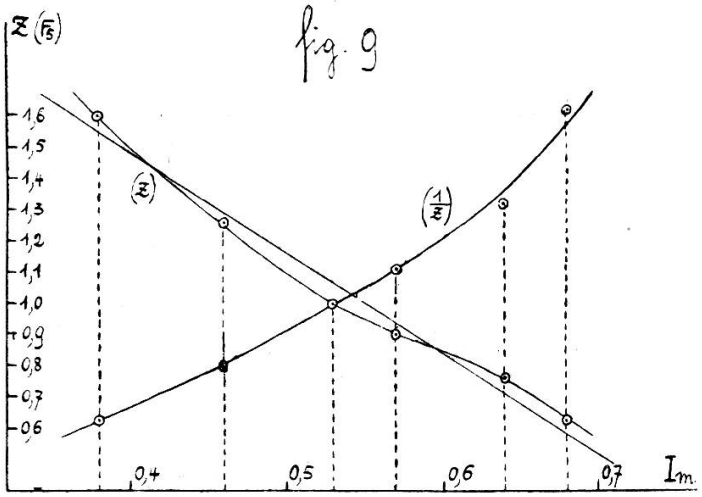
en tenant compte des facteurs calculés ci-dessus, les données réduites à $(M_v)_{F_5} = -1{,}82$ sont:

Etoile	I_m	Facteur $z = R'/R$	$R'(F_5)$ br. desc.	$R'(F_5)$ br. asc.	$R'(F_5)$ moyen	Facteur $1/z$
SU Cassiopeiae	0,38	1,60	15,2	14,4	14,8	0,625
T Vulpeculae	0,46	1,26	15,8	12,5	14,1	0,800
W Sagittarii	0,53	1,00	18,8	13,4	16,1	1,00
η Aquilae	0,57	0,900	17,3	14,0	15,6	1,11
X Sagittarii	0,64	0,766	17,0	15,1	16,0	1,31
S Sagittae	0,68	0,617	15,9	14,1	15,0	1,62

et la courbe correspondante est la suivante (fig. 8):



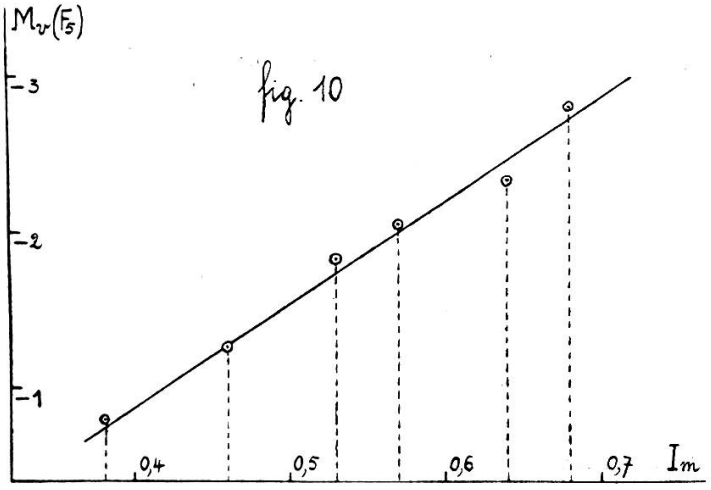
D'ailleurs, il est intéressant de remarquer que la courbe de variation du rapport $\left(z = \frac{R'}{R}\right)_{F_5}$ s'éloigne peu d'une droite (fig. 9):



La courbe φ'_5 ainsi obtenue est du même type que la courbe f_5 type que l'on rencontre souvent dans les recherches d'astrophysique.

Si l'on se sert de la courbe φ'_5, il est évident qu'il faudra multiplier les résultats par le facteur $\left(\frac{1}{z}\right)_{F_5}$, dont la courbe des valeurs est donnée dans la figure (9).

Du point de vue pratique, on a avantage à se servir de la courbe φ_5 (fig. 7); mais la courbe φ'_5 est peut-être plus intéressante en soi.



13. — *Courbe relative aux valeurs de* $M_v(F_5)$. — On se contentera de marquer les valeurs moyennes de $M_v(F_5)$; on ne peut, en effet, tirer aucune conclusion du tableau du n° 9 en ce qui concerne les branches ascendante et descendante; les valeurs de $M_v(F_5)$ y sont trop peu distinctes et trop peu nombreuses. On trouve la figure (10):

On constate que les points représentatifs ne s'éloignent guère d'une droite.

Quant à la courbe complète, elle serait très étroite et très malcommode; elle est d'ailleurs inutile si l'étude spectrale de l'étoile a été faite simultanément avec l'étude photométrique.

§ 4. — Résumé.

14. — Les courbes les plus importantes sont les suivantes:

courbes moyennes	(d), qui donne R_m si l'on connaît I_m; (δ), qui donne $(M_v)_m$ dans les mêmes conditions; (c), qui donne I_m en fonction de la période;
courbes du type F_5	(f_5), qui donne $I(F_5)$ dès qu'on connaît I_m; φ_5 ou φ'_5, qui donne $R(F_5)$ en fonction de I_m.

Il est bien certain que l'étude faite en faveur du type spectral F_5 peut être recommencée en faveur de chacun des autres types.