

I - Je réclamaï en circulaire NC 124 A une photométrie de RL1 dans l'ultraviolet afin de tester l'hypothèse de la EW de type spectral F. J'ai trouvé dans un article plus récent de HÄGGKVIST et OJA [1970; A et A suppl^t 1, 199] des mesures qui répondent partiellement à mon vœu.

En effet, comme ils ne pouvaient faire de l'UBV avec leur lunette, les deux suédois ont tiré le maximum de leur instrument en faisant une photométrie à trois couleurs limitée au bleu et au violet seulement. Les filtres sont centrés à 4508 Å (bleu), 4269 Å et 4176 Å (violet), et ils sont beaucoup plus étroits que les filtres UBV : 40 et 50 Å au lieu de 700 Å.

Le résultat est net : RL1 se comporte jusqu'à 4100 Å au moins comme une géante K1 parfaitement normale et conforme à la moyenne ; il n'y a aucun excès de bleu, aucun excès de violet...

Nous allons voir que ce résultat n'est pas totalement incompatible avec l'existence d'une EW plus chaude que la géante. En effet si la géante est légèrement plus rouge que K1, un effet de compensation existe peut-être entre la géante et la EW, et la résultante peut simuler le type spectral K1.

I - REDETERMINATION de LA MAGNITUDE ABSOLUE de la EW :

1/ La calibration des magnitudes absolues des étoiles a été révisée progressivement tout au long des 20 dernières années. Dans le papier précédent, nous avons utilisé la valeur $M_v = +1,34$ pour la géante K1, d'après HALLIDAY (1955). En réalité les géantes sont plus brillantes que ce l'on croyait en 1955. Ainsi les deux éditions successives du livre d'ALLEN "ASTROPHYSICAL QUANTITIES" datant de 1965 et de 1973 donnent les valeurs typiques suivantes :

spectre	classe	M_v (1965)	M_v (1973)
G0	III	+1,8	+1,1
G5	III	+1,5	+0,7
K0	III	+0,8	+0,5

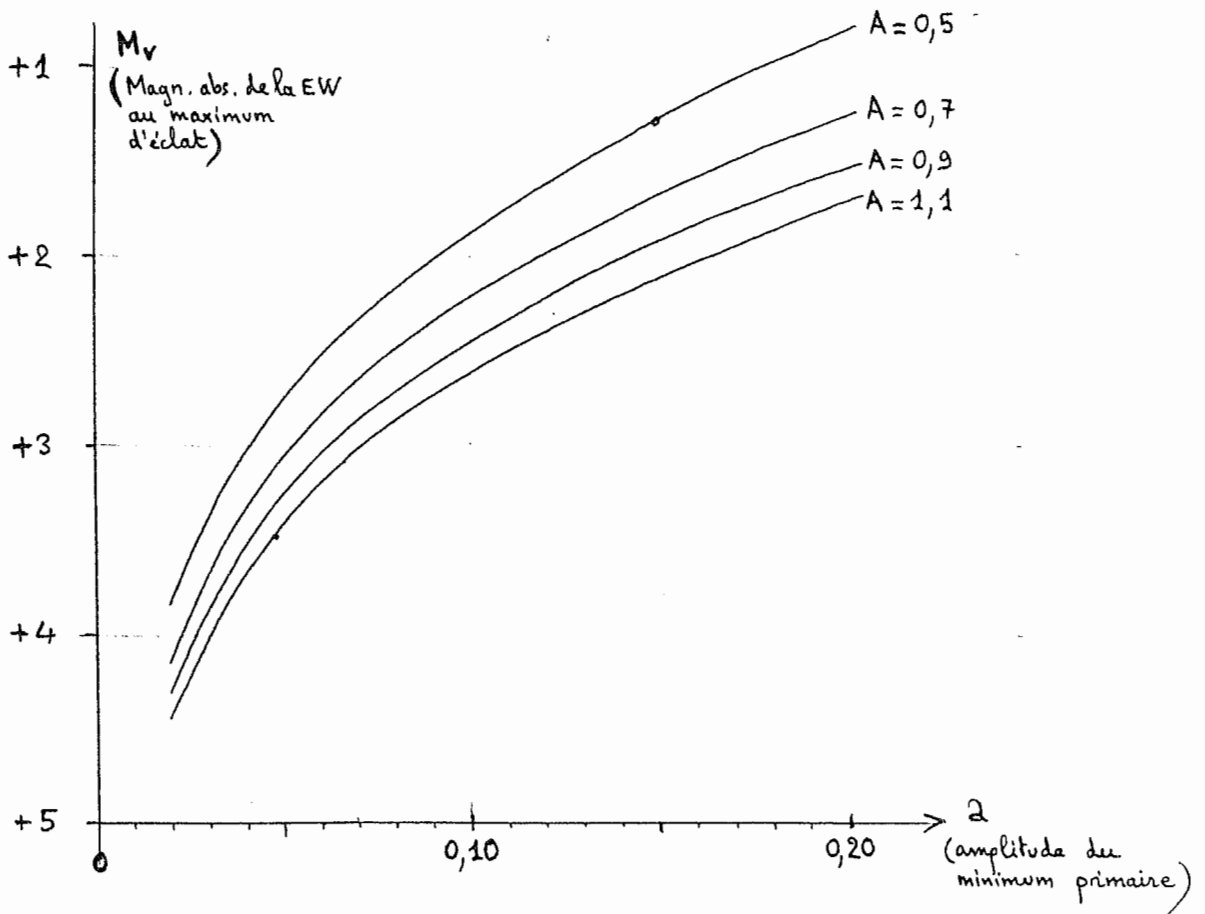
tandis que dans l'article de HALLIDAY, la valeur +1,34 mesurée est très proche de la valeur typique pour une géante G8 - K1 ...

D'ailleurs les indices de couleur $m_{4269} - m_{4508}$ et $m_{4176} - m_{4269}$ mesurés par HÄGGKVIST et OJA correspondent, selon la calibration admise par ces auteurs, à une magnitude absolue de $+0,62 \pm 0,04$.

Conclusion : si RL1 est une géante K1 normale, la valeur la plus probable de M_v est +0,6, et non +1,3, et la distance la plus probable est 110 pc (au lieu de 80 pc).

2/ Nous avons admis dans le papier précédent que l'amplitude apparente a de RL1 était comprise entre 0,10 et 0,15 magnitude. Pourtant FGR trouve une amplitude a de l'ordre de 0,07 d'après ses observations les plus récentes.

Comme il est exclu que a change en quelques mois, il ressort que a est encore très mal déterminé par les observateurs, et nous allons prendre a comme paramètre libre pour calculer la magnitude absolue de la EW. L'autre paramètre est l'amplitude vraie A de la EW. Nous avons pris précédemment A dans la fourchette $\{0,5 ; 0,9\}$. Cependant il existe des EW dont l'amplitude excède légèrement une magnitude : (exemple 00 AQL : $A=1,01$). Nous allons être plus généreux, et prendre A entre 0,5 et 1,1. La valeur $M_v = +0,62$ pour la géante K1 est adoptée :



On voit que M_v tombe dans la fourchette $\left\{ +1,3 \left(\begin{smallmatrix} a=0,15 \\ A=0,5 \end{smallmatrix} \right) ; +3,5 \left(\begin{smallmatrix} a=0,05 \\ A=1,1 \end{smallmatrix} \right) \right\}$: c'est extrêmement imprécis, mais ça correspond tout de même dans tous les cas à une EW assez lumineuse (luminosité : de 3 à 30 fois celle du soleil).

37) Mais il ne faut pas oublier que la valeur $+0,6$ pour la géante n'est que la valeur la plus probable pour une géante K1 typique. La distribution de luminosité des étoiles K III normales présente une dispersion de plusieurs dixièmes de magnitude autour de la valeur la plus probable. D'autre part, si l'on se réfère au système 44 Boo où l'étoile compagne est sous-lumineuse, il y a une possibilité que la géante K soit elle aussi un peu "anormale"...

Conclusion : la EW peut avoir une magnitude absolue comprise entre $+1,0$ et $+4,0$
 La valeur la plus probable est $\left\{ \begin{array}{l} +2 \text{ si } a \simeq 0,15 \\ +3 \text{ si } a \simeq 0,07 \end{array} \right.$

III - DISCUSSION sur la COULEUR DE LA EW.

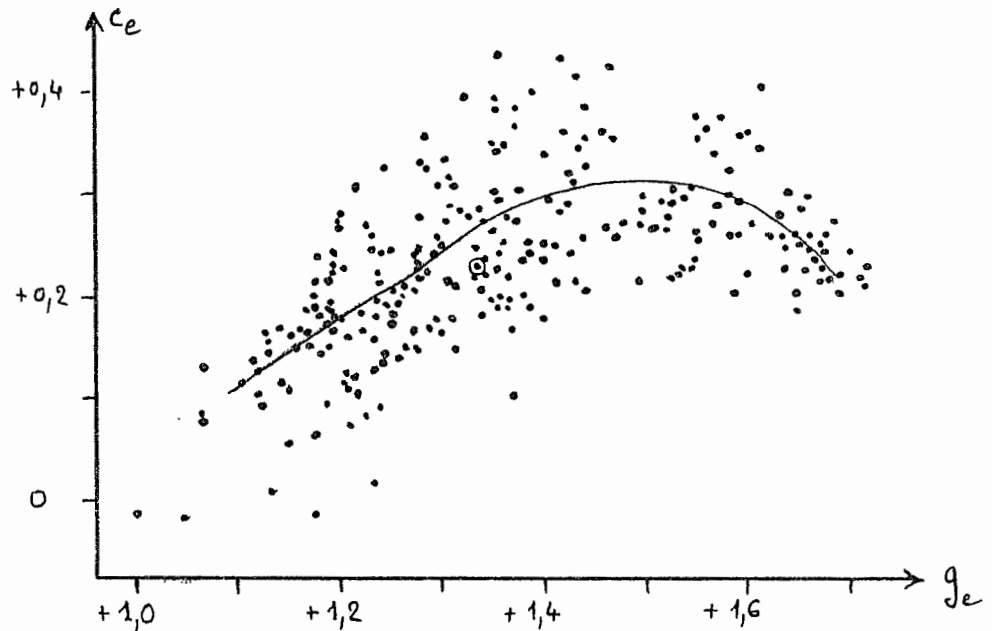
On pourrait penser que la type F est exclue parceque HÄGGKVIST et OJA n'ont pas trouvé un excès de bleu sur RL1 ; et d'autre part nous trouvons que la EW est un peu plus brillante que ce que nous avons admis dans le papier précédent. Nous allons chercher quelles sont les limites plausibles pour le type spectral de la EW ,

- 1/ Compte tenu de l'indétermination propre à la photométrie à 3 couleurs de HÄGGKVIST et OJA ;
- 2/ Compte tenu de ce que l'on sait en général sur les EW .

1/ les indices mesurés sont $\left\{ \begin{array}{l} m_{4269} - m_{4508} = +1,337 \pm 0,014 \quad : \text{indice } g_e \leftarrow \text{selon les notations utilisées par les auteurs.} \\ m_{4176} - m_{4269} = +0,234 \pm 0,013 \quad : \text{indice } c_e \leftarrow \end{array} \right.$

Nous allons d'abord comparer la position de RL1 dans un diagramme $\{g_e, c_e\}$ avec celle des autres géantes mesurées par HÄGGKVIST et OJA :

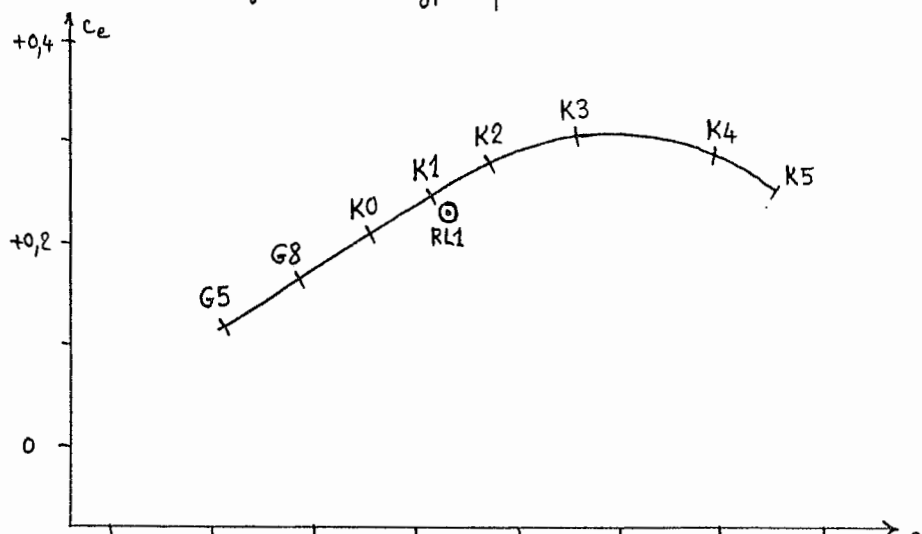
RL1 a ici le symbole ⊙



On voit que RL1 occupe dans le nuage de points une position assez centrale !

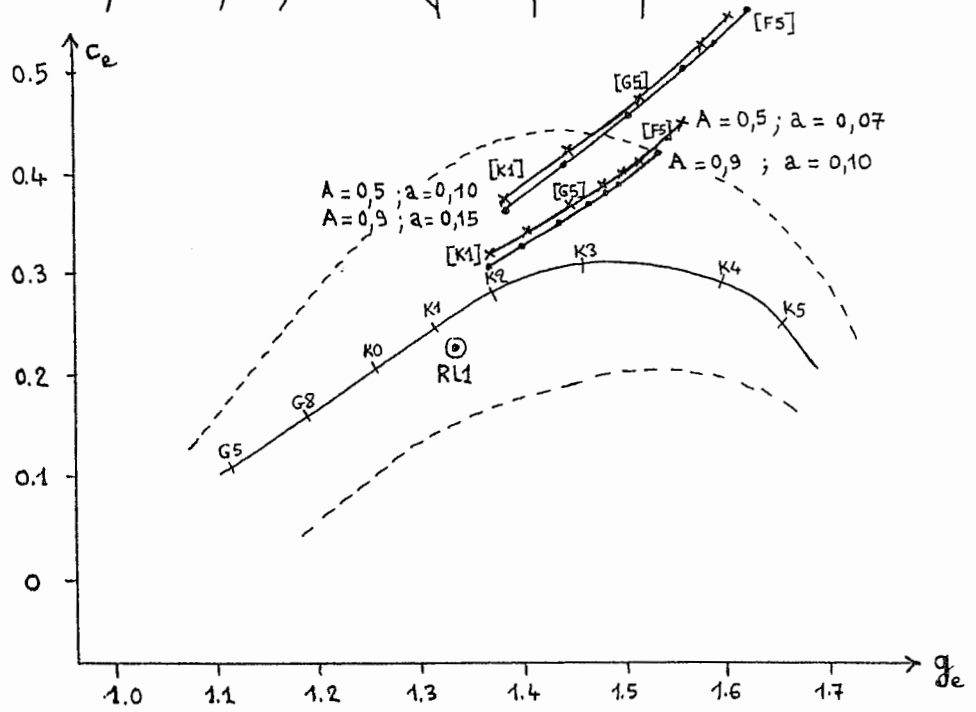
La ligne moyenne de HÄGGKVIST et OJA est graduée en types spectraux de la manière suivante :

le type K1 a l'air de marcher très bien pour RL1 ---



La présence d'un compagnon plus bleu que la géante déplacerait le point représentatif de RL1 dans le diagramme $\{g_e, c_e\}$. Nous allons chercher en fonction du type spectral de la EW où serait la position vraie de la géante seule pour que la combinaison corresponde au point observé pour RL1. le paramètre a est pris entre 0,07 et 0,15, et nous fixons pour simplifier deux valeurs de A : 0,5 et 0,9.

- x } positions de la géante dans le diagramme
- entre crochets [...]: type spectral de la EW



On voit qu'il existe une gamme de solutions assez vaste à condition d'admettre que la géante est de type K2 à K4. L'éventail des solutions est large si $a \leq 0,10$, beaucoup plus restreint si $a > 0,10$.

Solutions pour $\begin{cases} A=0,9 \\ a=0,10 \end{cases}$

géante	+	EW
K4	+	F5
K3,5	+	F8
K3	+	G0
K3	+	G2
K2,5	+	G5
K2	+	G8
K1,5	+	K1

Solutions pour $\begin{cases} A=0,5 \\ a=0,07 \end{cases}$

géante	+	EW
.	.	.
K3,5	+	F8
K3	+	G0
K3	+	G2
K2,5	+	G5
K1,5	+	G8
K2	+	K1

Solutions pour $\begin{cases} A=0,9 \\ a=0,15 \end{cases}$ ou $\begin{cases} A=0,5 \\ a=0,10 \end{cases}$

géante	+	EW
.	.	.
.	.	.
.	.	.
.	.	.
K3	+	G8
K2,5	+	K1

Conclusion : Le type G pour la EW est parfaitement compatible avec les mesures photométriques de HÄGGKVIST et OJA à condition que l'amplitude a ne dépasse pas 0,10 magnitude.

Le type F (de F5 à G0) est possible aussi, mais il place la géante en position très marginale sur le diagramme $\{g_e, c_e\}$.

IV - Diagramme magnitude - couleur des EW

Il reste à voir si une EW de type G, (en tous cas plus froide que F5), peut avoir un éclat aussi élevé que celui que nous avons trouvé au paragraphe II (de l'ordre de 10 fois l'éclat du Soleil, à un facteur 3 près).

- Nous allons examiner la primaire, qui représente évidemment entre 50% et 100% de l'éclat total de la EW. Sur un échantillon de 30 EW étudiées par MAUDER [(1972) ActA, 17, 1], on trouve

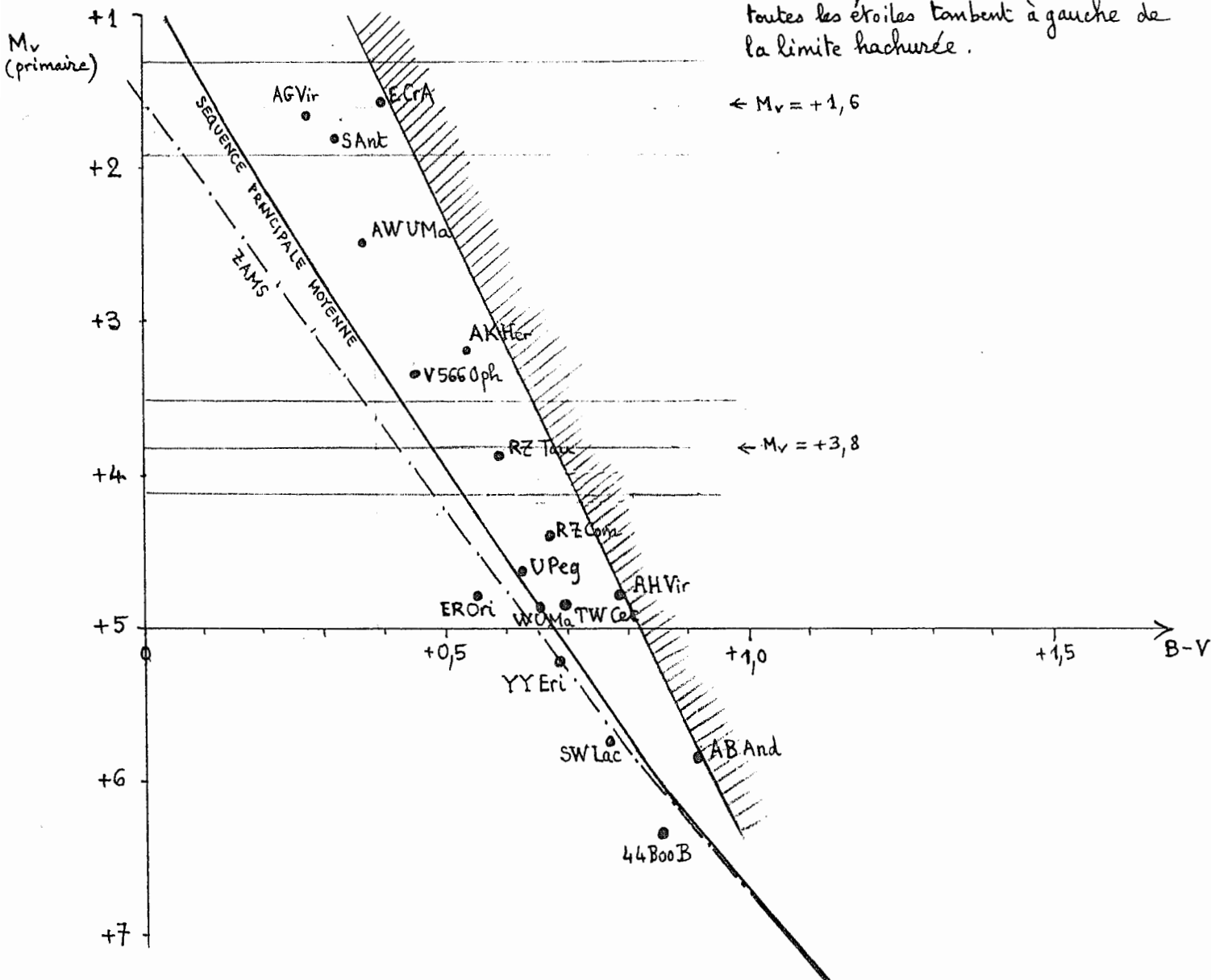
$$\text{Magnitude Absolue de la Primaire} = \text{Magnitude Absolue de la EW au Maximum d'éclat} + 0,31 \begin{matrix} +0,32 \\ -0,25 \end{matrix}$$

Etant donné la grande imprécision de notre estimation de la magnitude absolue au paragraphe I, il est légitime de ne tenir compte de la deuxième étoile que de façon statistique, et d'écrire :

$$\text{Magn. abs. de la primaire} \approx \text{Magn. abs. de la EW au max. d'éclat} + 0,3.$$

Considérons maintenant la relation { Magnitude absolue (M_v) ; Couleur (B-V) } pour

- α - la séquence principale moyenne (étoiles dans le voisinage du Soleil) ;
- β - la séquence principale d'âge zéro ("ZAMS"), valable pour les naines jeunes des amas ouverts ;
- γ - Les primaires de 17 EW dans le tableau de MAUDER ;



On vérifie avec ce diagramme le fait déjà connu que les EW (primaires) sont à éclat égal plus rouges, donc plus froides, que les étoiles de la séquence principale moyenne ; [A noter que les étoiles de la ZAMS sont au contraire plus bleues]. Cela entraîne que les primaires de EW ont, à éclat égal, un rayon un peu plus grand que les étoiles de la séquence principale moyenne [la moindre émissivité par unité de surface est compensée par une surface plus grande].

Les limites $1,3 + 0,3 \leq M_V \leq 3,5 + 0,3$
 $(\pm 0,3) \quad (\pm 0,3)$

entraînent la condition $+0,38 \leq B-V \leq +0,72$,

ou par le spectre, un type compris entre F4 et G5.

Nous avons vu au paragraphe III que les mesures de HÄGGKVIST et OJA impliquent que le véritable type spectral de la géante est alors compris entre K4 et K2,5.

V - Discussion sur la masse et la période :

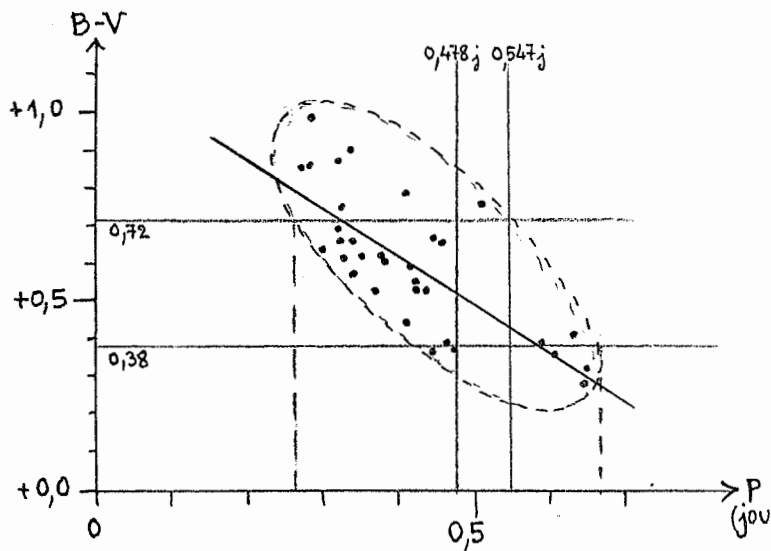
La couleur est corrélée avec la magnitude absolue (ligne moyenne à gauche de la séquence principale la magnitude absolue est corrélée avec la masse ("relation masse-luminosité") ; le rayon des étoile est lié à la couleur et à la magnitude absolue ; l'écartement des deux composantes en contact dépend des rayons ; la période de la EW est donnée par la 3^e loi de Kepler en fonction de la masse totale et de l'écartement.

Finalement la période P est corrélée avec la couleur B-V. La liste de MAUDER permet d'étudier cette corrélation sur un échantillon de 33 EW :

les limites $0,38 \leq B-V \leq 0,72$

trouvées ci-dessus correspondent à la fourchette très large :

$0,26 \text{ j} \leq P \leq 0,66 \text{ j}$

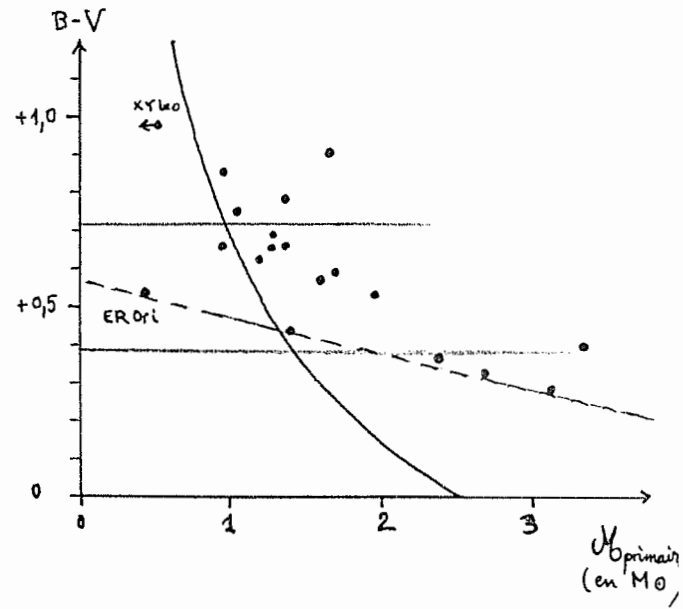
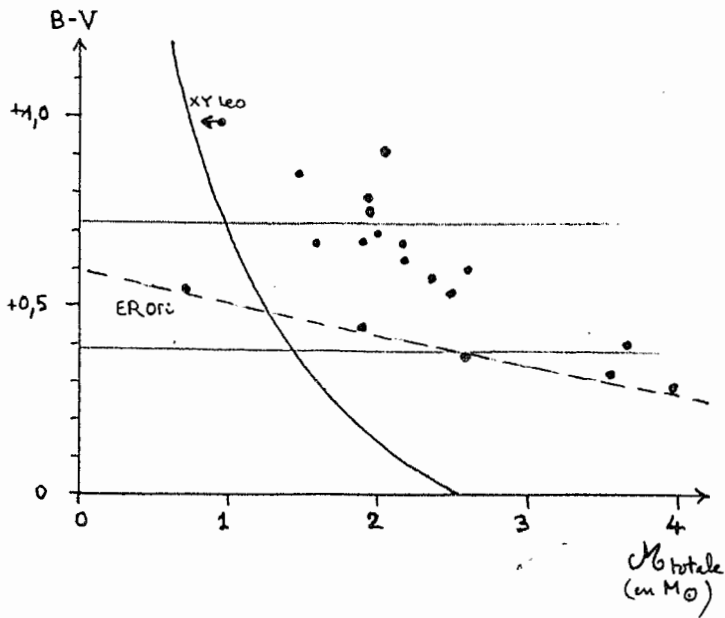


La période $P = 2 \times 0,239129 \text{ j} = 0,478 \dots \text{ j}$ peut s'accorder avec n'importe quel indice de couleur B-V dans la fourchette $\{0,38 ; 0,72\}$

la période $P = 2 \times 0,2733 \text{ j} = 0,5466 \text{ j}$ proposée récemment par FGR également.

(En revanche les périodes moitié 0,239 et 0,273 sont nettement trop courtes, et compatibles seulement avec des EW très rouges et peu lumineuses)

La masse peut être évaluée grâce à la corrélation couleur-Masse tirée du tableau de MAUDER. Nous représentons successivement la masse totale du couple et la masse de la principale



La ligne continue est la séquence principale moyenne. La singularité de ER Ori apparaît clairement : cette étoile est beaucoup trop bleue pour sa masse : est-ce une véritable EW ?

[Question : la ligne en tirets que j'ai tracée a-t-elle une signification astrophysique ?]

On voit que les EW sont à peu près groupées $1 M_{\odot}$ à droite de la séquence principale dans le domaine qui nous intéresse ($0,4 \leq B-V \leq 0,7$) :
on obtient :

$$1,5 M_{\odot} \leq M_{\text{totale}} \leq 2,7 M_{\odot}$$

Finalement je propose le modèle suivant pour RL1 :

système à 110 parsecs ;	
}	géante K2 III ou K3 III, de 1 à 2 Masses Solaires, de magnitude absolue +0,65
	EW de type G2 V, de masse 1,5 à 2,5 Masses Solaires, de magnitude absolue +3,0 (au max. d'éclat)
amplitude des minima primaires de la EW : $A = 0,9$ magnitude	
amplitude observée résultante (minima primaires) : $a = 0,07$ magnitude	
Période : 0,478 j ou 0,547 j	

Test : possible en mesurant la magnitude U.

Cette mesure est prioritaire car absolument décisive.

L'étoile G2 apparaîtrait en U, l'excès d'ultraviolet serait de l'ordre de 0,13 magnitude.

L'amplitude a passerait d'autre part de 0,07 en V
à 0,11 en B,
et 0,25 en V ...

Remarque : il est très curieux de constater qu'on peut voir les variations d'une étoile invisible à l'œil nu : (!)

En effet, selon notre modèle, la magnitude V de la EW varie entre 8,0 et 8,9. S'il n'y avait pas la géante K, la EW serait donc invisible à l'œil nu.

Or l'éclat combiné de la géante et de la EW oscille entre $V=5,63$ et $V=5,70$: cela est observable à l'œil nu.

Donc la présence de la géante, loin de masquer la EW, au contraire la fait apparaître ! (Il y a tout de même un "prix à payer" : c'est l'atténuation de l'amplitude).

Ce paradoxe est dû au fait que les énergies s'ajoutent arithmétiquement ($E = E_1 + E_2$) tandis que l'œil est sensible aux variations du logarithme.

Jean LECACHEUX
(Meudon , 12 Mars 1976)