

1- les binaires du type WUMA :

On pense généralement que les WUMA sont formées de 2 naines de type quasi-solaire (spectres [A], F, G ou [K]) en contact. Les masses étant de l'ordre de 1 masse solaire (ou moindres), le degré d'évolution des composantes serait peu avancé. Cependant l'échange de masse entre les composantes devrait accélérer l'évolution dans de grandes proportions et abréger la vie de la binaire. Le stade ultime des WUMA pourrait bien être les U Gem* (naine blanche + naine G ou K très rapprochées). WUMA et U Gem sont nombreuses dans l'espace. La difficulté d'observation des premières et le faible éclat intrinsèque des secondes (même au maximum) fait que les systèmes connus sont peu nombreux. Mais WUMA et U Gem ont la même répartition dans la Galaxie (distribution spatiale, vitesses). Le problème majeur posé par les WUMA est celui de leur courte durée de vie théorique comparée à la durée de vie normale des étoiles de ≈ 1 masse solaire. Même si l'on admet que toutes les WUMA que l'on observe actuellement vont bientôt disparaître (en se transformant en U Gem ou en autre chose), il y a une difficulté dans le passé : ces systèmes serrés ne peuvent pas être très anciens. Et pourtant les étoiles qui les constituent ne paraissent pas toutes jeunes. Leur distribution dans la Galaxie et leur vitesse dans le voisinage solaire est caractéristique d'étoiles assez âgées !

Plusieurs solutions de ce mystère ont été avancées :

a/ on a imaginé que le stade de binaire serrée était un épisode ultime de l'évolution de binaires moins serrées. (la principale finirait par "manger" son compagnon, à moins qu'elle ne l'éjecte dans une explosion. ?)

b/ on a imaginé que le stade WUMA pourrait être un stade éphémère ($\approx 10^7$ ans) dans l'évolution générale ($\approx 10^9$ ans) d'une naine de 1 à 2 masses solaires : l'étoile se scinderait avant de se recombinaison (ou d'éjecter la seconde étoile - cf a). Question : et le Soleil alors ? ^[VANT VEER (1974)]

c/ Une théorie légèrement différente a été avancée par GORBATSKE (1975) :

les WUMA résulteraient de la scission (catastrophique) du noyau interne d'une géante rouge évoluée de 5 à 7 masses solaires (le cœur se contracte et se met à tourner de plus en plus vite sans entraîner les couches externes, et la fission se produit au terme d'un processus de 10^6 à 10^7 ans). Alors les WUMA seraient d'origine récente, et ce seraient des étoiles formées principalement d'hélium avec une enveloppe extérieure apparemment normale d'hydrogène ! (Dans le stade final U Gem, cette enveloppe d'hydrogène serait "aspirée" par la naine blanche).

2 - 44 Boo est une étoile double proche dont l'une des composantes est une WUMA variable à éclipses : une EW.

C'est même certainement l'une des plus proches du Soleil avec la EW VW Cephei ($P=0,278j$). En effet la distance est bien connue grâce à la parallaxe trigonométrique : $D \approx 13,2 \pm 0,9$ parsecs.

Le manque de spectaculaire de la EW (Variable de $V=5,9$ à $V=6,5$ en $0,268j$) provient de la présence gênante d'un compagnon de magnitude 5,2 dont l'éclat domine celui de la variable : l'amplitude apparente est ainsi réduite d'un facteur quatre (de 0,6 à 0,17 magnitude).

le compagnon de magnitude 5,2 tourne autour de la EW en 254 ans ^(GENNARO, 1940), ou 281,94 ans (ZAGAR), ou 219,5 ans (STRAND, 1937), sur une ellipse de demi-grand-axe $a = 4'',33$ (ZAGAR), ou $3'',609$ (STRAND). La somme des masses est donnée par la loi de KEPLER :

$$\sum m = \frac{a^3}{P^2} \times D^3$$

$\left\{ \begin{array}{l} a \text{ en } '' \\ D: \text{ distance en parsecs} \\ P: \text{ en années} \\ m: \text{ en masses solaires} \end{array} \right.$

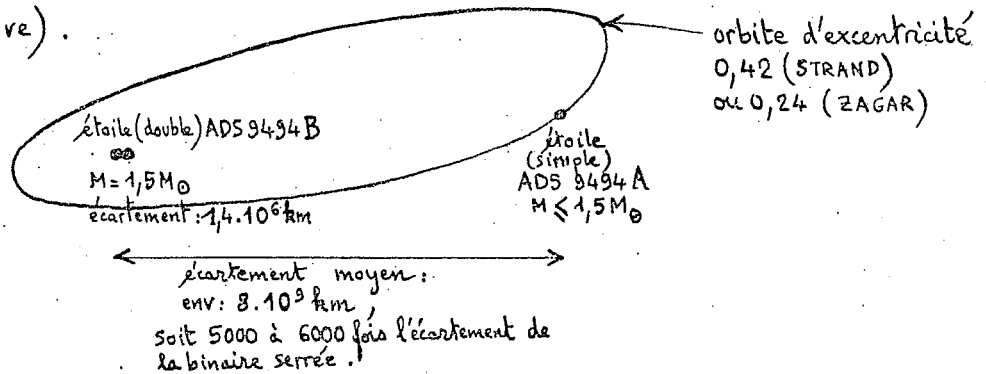
Tenant compte des diverses incertitudes, on trouve $1,82 M_{\odot} \leq \sum m \leq 2,86 M_{\odot}$.

• masse de la EW : l'étoile est binaire spectroscopique, donc on connaît $m \sin^3 i$; comme l'étoile est variable à éclipses on connaît aussi i , soit 68° . BINNENDIJK (1955) donne $M = 1,0 \pm 0,1 M_{\odot}$ et $m' = 0,5 \pm 0,1 M_{\odot}$ pour les deux composantes de la WUMA. Donc $m+m' = 1,5 \pm 0,15 M_{\odot}$.

• Pour la masse de l'étoile éloignée, il reste de 0,17 à 1,51 M_{\odot} , ce qui est très imprécis. Donc l'imprécision sur D ($\pm 0,9 pc$) est trop grande pour que l'on puisse connaître exactement la masse du compagnon optique...

Cependant - 1^{er} résultat - on voit que c'est très probablement la WUMA (magnitude moyenne 6,2) qui est l'étoile principale du couple visuel, tandis que l'étoile brillante (magnitude 5,2) est le compagnon. (on appelle "principale" la plus massive).

schématiquement :



Mais on peut aborder la question du compagnon d'une autre manière. Les livres disent toujours que le spectre de ADS 9494 A est G2 V. A vrai dire il est très difficile de déterminer ce spectre avec précision car on observe en réalité la superposition de 3 spectres. En fait KURPINSKA et VANT'VEER (1970) se sont aperçus, en mesurant la couleur de 44 Boo à son minimum, que l'étoile était sans doute de type F5 V.

Or on connaît la magnitude absolue de ADS 9494 A : puisque $V = 5,2$ à $13,2$ pc, alors à 10 pc $V = M_v = 4,6$. Alors, d'après les tables de ALLEN (1973),

- a/ Une étoile normale F5V a une masse de 1,3 masse solaire et une magnitude absolue $M_v = +3,4$;
- b/ Une étoile normale naine de $M_v = +4,6$ a une masse de 1,0 masse solaire et un spectre G2V.

Conclusion : si l'étoile est de type G2, il n'y a pas d'anomalie ; mais si KURPINSKA et VANT'VEER ont raison, l'étoile est sous-lumineuse d'environ 1,2 magnitude !

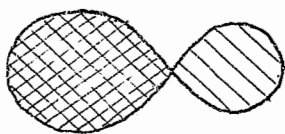
(BINNENDIJK (1955) avait même trouvé inversement que l'étoile -supposée G2V- était sur-lumineuse. Mais il n'avait pas assez tenu compte des barres d'erreur sur D. On voit à quoi peuvent tenir les interprétations astrophysiques des théoriciens !)

[Finalement : si ADS 9494 A, située à 5000 ou 6000 fois l'écartement du couple serré (et hors de portée des échanges de masse) est une étoile anormale - une sous-naine ? - c'est peut-être parce que son évolution a été influencée par "quelque chose de gros" qui aurait jadis occupé la place de la EW...]

Je pense que de toute manière il serait très intéressant de raffiner l'étude de 44 Boo A, en particulier d'essayer d'améliorer la mesure de la parallaxe trigonométrique afin de connaître un peu mieux sa masse ($< 1 M_{\odot}$ ou $> 1 M_{\odot}$?), et de vérifier qu'elle est bien F5.

La EW de 44 Boo d'après BINNENDIJK : (unité : $1 R_{\odot}$)
(1955)

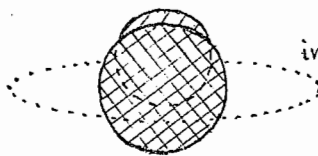
$1 R_{\odot}$



$0,90 R_{\odot}$ $0,63 R_{\odot}$

$1,0 \pm 0,1 M_{\odot}$ $0,5 \pm 0,1 M_{\odot}$

magn. abs. : $V = 5,93$ $V = 6,46$



inclinaison de l'orbite : $68,1^{\circ}$

rayon de l'orbite : $0,99 R_{\odot}$

Principale sous-lumineuse } comme il est usuel dans les WUMa dont le rapport de masses est $< 2,5$.
Secondaire sur-lumineuse }

Précisions : la principale est au total plus lumineuse (magnitude absolue 5,93), mais elle est moins brillante par unité de surface

RL1 CVn

HD 113 847 est une géante K1 III de magnitude absolue +1,34 (d'après des critères spectroscopiques HALLIDAY (1955)). Dans la parallaxe trigonométrique ne peut rien nous apprendre, l'étoile étant déjà trop éloignée. La masse est inconnue, mais on pourrait s'attendre à 2 ou 3 masses solaires. Si l'étoile est associée à une EW de période 0,239 j - hypothèse à examiner - il faut que la EW soit intrinsèquement plus brillante que celle de 44 Boo, sinon sa variation serait masquée par l'éclat de la principale. Les EW ont des amplitudes A comprises entre 0 et 0,9 magnitude. (ex: 0,5 ou 0,6 pour celle de 44 Boo).

On observe sur RL1 une amplitude de 0,10 à 0,15 magnitude. Il faut donc que A soit assez forte.

	$M_v(EW)$	$m_v(EW)$	$m_v(\text{géante K})$	module	distance D de RL1 CVn
Pour A = 0,5 :	+2,7	7,2/7,7	5,88	4,54	81 pc
— A = 0,7 :	+2,95	7,4/8,1	5,82	4,48	79 pc
— A = 0,9 :	+3,15	7,6/8,5	5,79	4,45	78 pc

\uparrow max \uparrow max \uparrow min

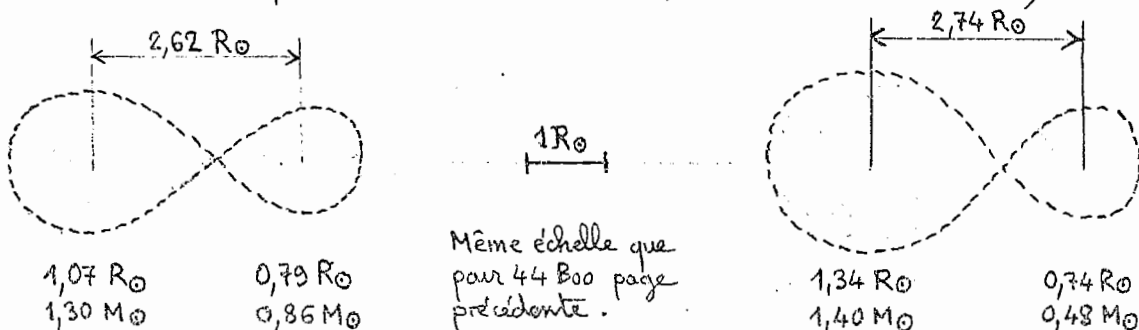
(en prenant $m_v = 5,60$ au maximum d'éclat de RL1).

Conclusion : la EW a une magnitude absolue de l'ordre de +3,0 au maximum d'éclat, ou +3,3 à l'éclat moyen : (elle est donc 8 fois plus brillante que celle de 44 Boo).

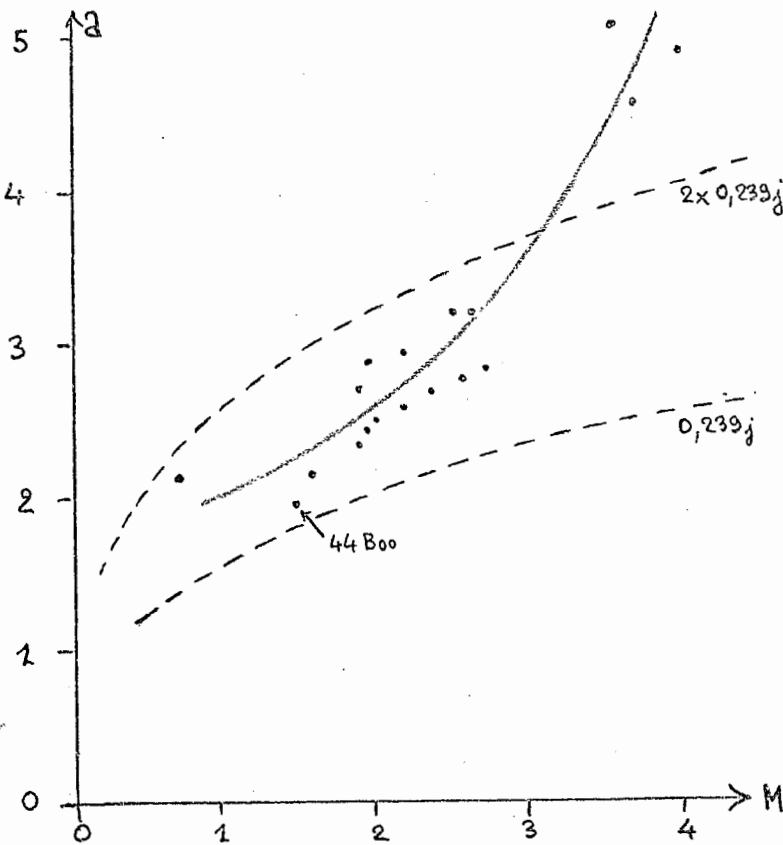
Par conséquent il s'agit d'une EW de type F, de masse totale 1,8 à 2,7 masses solaires, donc de masse pas très différente de celle de la géante K !

Modèle pour RL1 :

Finalement la EW pourrait ressembler assez fortement au couple WUMA lui-même (type G0; 2,16 masses solaires; $M_v = +4,3$), ou mieux à V 566 Oph (type F5; 1,88 masses solaires; $M_v = +3,5$). Néanmoins WUMA et V 566 Oph ont des périodes sensiblement supérieures à 0,239 j : respectivement 0,334 j pour WUMA, 0,410 j pour V 566 Oph. La période est proportionnelle au facteur $\sqrt{\frac{a^3}{M_1 + M_2}}$ où a est l'écartement des deux étoiles, M_1 et M_2 leurs masses. Pour réduire P, il faut augmenter les masses, ou mieux, réduire a. Mais on est limité dans la réduction de a par le rayon des étoiles. Voici la situation pour WUMA et V 566 Oph (unités : 1 rayon solaire) :



Voici la relation {a, masse totale} d'après un tableau de MAUDER (1972) pour 18 WUMa de masses et rayons connus :



En tirets on a figuré les courbes $P = \text{cte}$ d'après la loi de Kepler, pour $P = 0,239j$ et $P = 2 \times 0,239j$.

- On voit que la période de $0,239j$ est un peu trop courte pour une étoile WUMa normale. La moins mauvaise solution correspond à une masse de $1,3$ à $1,8 M_{\odot}$, un peu trop faible pour le type F. Il est remarquable que 44 Boo tombe précisément à cet endroit du diagramme (et elle est de type G)
- On peut imaginer, si le minimum secondaire de RL1 est profond, que les observateurs n'ont pas su discriminer les minima primaires et secondaires, et que la période vraie soit $0,239 \times 2 = 0,478j$. Dans ce cas on trouverait une masse de $2,7$ à $3,4 M_{\odot}$, un peu forte, mais encore convenable pour une EW de type F0 à F5.

Conclusion : deux modèles au choix =

			magnitude absolue au max.
1/ $P = 0,239j$	$M = 1,8 M_{\odot}$	$a = 2,0 R_{\odot}$	+ 3,2
2/ $P = 0,478j$	$M = 2,7 M_{\odot}$	$a = 3,6 R_{\odot}$	+ 2,7

le second me paraît plus plausible, la période de $0,239j$ étant excessivement courte.

IMPLICATIONS POUR L'OBSERVATION : DIFFICULTES

Jusqu'à présent nous avons seulement utilisé le fait que les observateurs ont vu des minima de $0,10$ à $0,15$ magnitude d'amplitude avec une périodicité de $0,239j$, et nous en avons déduit une explication simple :

la variation serait causée par une EW de magnitude absolue +3, d'amplitude $0,5$ à $0,9$, de période $0,478j$ (probablement), de spectre F (probablement).

Il reste à examiner si cette explication n'est pas en contradiction avec d'autres résultats. Nous allons voir qu'il y a une difficulté sérieuse.

- Premièrement le spectre de la EW devrait apparaître sur un bon spectre de HD 113 847. Il y a à peu près 2 magnitudes de différence entre la géante K et l'étoile F dans le visible, mais la différence des magnitudes photographiques (dans le bleu) n'est plus que de 1,3. les raies de la EW - du moins celles de sa primaire - devraient apparaître (quoique faibles et larges en comparaison de celles de la géante), avec une oscillation de $\pm 3 \text{ \AA}$ en position. Il est curieux que cela n'ait jamais été noté par les auteurs qui ont mesuré la vitesse radiale de la géante (notamment CHRISTIE & WILSON (1938), HALLIDAY (1955)). De plus la présence de l'étoile chaude (6600°K) associée à la géante froide (4400°K) devrait être révélée par un continu bleu et ultraviolet anormal : le flux de l'étoile EW (supposée de type F5) devrait représenter de 8% à 21% du flux total de HD 113 847 à la longueur d'onde de la raie $H\beta$ (bleu : 4863 \AA), et même de 14% à 35% dans le voisinage côté rouge de la discontinuité de BALMER (ultraviolet : 3800 \AA).
 - Deuxièmement, et encore plus simplement, de simples mesures de photométrie UBV devraient trahir l'étoile F immédiatement. On devrait observer un excès de bleu (indice B-V trop faible de 0,08 à 0,20 magnitude), et surtout un excès d'ultraviolet (indice U-B trop faible de 0,25 à 0,48 magnitude)! De plus cet excès de radiations de courtes longueurs d'onde devrait varier vite (avec la même période que celle de la EW), les variations étant détectables en quelques mn. HD 113 847 ne figure pas dans le catalogue UBV "USNOC". Mais HÄGGKVIST et OJA (1968) ont publié une valeur de B-V égale à +1,13, parfaitement normale pour une géante K1! Ce fait est très gênant pour notre modèle de HD 113 847. Il est vrai que B-V varie vite avec le type spectral. Si la géante est simplement de type K2 au lieu de K1, son B-V normal est +1,26 (le rougissement interstellaire peut être négligé à 80 pc de distance), et la présence de l'étoile F peut ramener le B-V global à $\approx +1,13$... Or une incertitude de 0,1 type spectral est quelque chose de très courant (il suffit de voir les différences d'appréciation entre divers auteurs dans la littérature... Or seul HALLIDAY a apparemment déterminé le type de HD 113 847).
 - Mais en ultra-violet (filtre U), aucune explication de ce type ne pourrait tenir, l'excès d'U étant vraiment énorme [Autrement dit : l'étoile K "s'effondre" dans l'ultraviolet].
 - Malheureusement HÄGGKVIST et OJA n'ont pas fait de mesures en ultraviolet. Leur instrument est une lunette, et par suite le système photométrique d'UPPSALA ne comporte que deux couleurs. (un objectif de lunette absorberait l'ultra-violet) :
- il est urgent de mesurer cette étoile en ultraviolet.

(GORBATSKI)

Si la théorie de la scission est juste, on doit s'attendre à trouver une binaire du type WUMa dans de nombreuses doubles écartées, à la place de l'ancienne primaire : type 44 Boo.

Très souvent une WUMa est une EW (2 fois sur 3 ?), ou au moins une variable Ellipsoïdale Ell. Vant'Veer a montré qu'un très grand nombre de variables WUMa restent à découvrir, évidemment toutes celles qui ont un faible éclat, et aussi, même parmi les brillantes une grande quantité de EW ou Ell de faible amplitude ($A < 0,3$). Vant'Veer pensait naturellement aux WUMa isolées. Mais dans les systèmes du type 44 Boo, l'amplitude apparente est évidemment encore plus faible, et une écrasante majorité d'entre eux a dû échapper à la découverte (ex: RL1 ?) Je pense que quelqu'un devrait chercher des fluctuations de faible amplitude ($\sim 0,10$ magnitude) et de courte période (< 1 jour) sur des binaires visuelles ou spectroscopiques choisies de telle manière que la composante la plus brillante ne soit pas trop massive ($\leq 2 M_{\odot}$): alors dans certains cas, l'autre étoile pourrait être une EW ayant jusqu'à présent échappé à la découverte...

- En 1970 on ne connaissait qu'un seul système analogue à 44 Boo : **AM Leo** [EW de type F8, de période 0,366 j, de magnitude moyenne 8, d'amplitude 0,5]: l'autre étoile, variable de type inconnu, se trouve à 11", et elle est de 0,6 magnitude à 1,6 magnitude plus faible que la EW...

(cf: BINNENDIJK, *Vistas in Astronomy* (1970) 12, 217)

- Quelques autres EW ont des compagnons assez faibles : $\left\{ \begin{array}{l} \text{WUMa soi-même (compagnon plus faible de 5 magn.)} \\ \text{AH Vir (3,5 magn), AK Her (3,5 magn), ER Ori (3,2)} \end{array} \right.$
Je pense qu'elles sont assimilables à des EW isolées du point de vue de l'évolution...

- Autre monstre : la binaire ADS 9537 (8,7 - 9,3 à 16") est composée de deux EW :

BV Dra [Type G0, période 0,350 j ; $A = 0,6$] !
et BW Dra [? , période 0,292 j ; $A = 0,4$] .

- L'une des graves critiques que l'on peut adresser à la théorie de GORBATSKY est qu'il y a quelques EW connues dans des amas ouverts (jeunes) : donc les EW ne peuvent pas être très évoluées. A cela GORBATSKY répond que TX Cnc, EW membre de l'amas Praesepé ^(âge $9 \cdot 10^3$ ans), et que les partisans de la jeunesse des EW citent toujours en exemple, a justement un excès d'hélium [cf. WHELAN (1973)]. De plus si les EW dérivent par fission d'étoiles de 5 à 7 M_{\odot} , rien ne les empêche d'être à la fois jeunes et évoluées ! (cf. Hazlehurst (1970): "the occurrence in Praesepé of a WUMa system which is too red to be of age zero yet too young to be evolved remains a paradox".) -

Quant aux autres EW d'Amas, on se demande s'il n'y aurait pas deux espèces différentes de EW les "pseudo", provenant du resserrement d'algolides, et les "vraies", celles de type plus rouge que F5. Exemple de "pseudo" d'après Eggen et Sandage (1959) : EQ Cep et ER Cep. Vant'Veer a suggéré que seules les pseudo deviendraient des U Gem...