

UN DIAGRAMME FONDAMENTAL LUMINOSITE-TYPE SPECTRAL POUR LES ETOILES
DOUBLES

P. COUTEAU

Observatoire de Nice

ABSTRACT. In the Hertzsprung-Russell diagram, which is not well known for the binary stars, we can use the unit-mass brightness instead of the brightness itself. For each component this parameter can be obtained using the photometry and the orbital elements of the system. It is only through the orbital constant that the parallax comes in the calculation. This new diagram can be applied to any component of binary stars which orbit and class are known. By using a mass luminosity relationship one can define the zero-age main sequence on the diagram. The evolved stars can thus easily be noticed on the diagram; the mean age of the solar vicinity binary systems should be about 10^{10} years.

Les paramètres stellaires fondamentaux que permet d'obtenir l'observation des étoiles doubles sont essentiellement les magnitudes absolues et les masses. La connaissance exacte de ces paramètres est liée à la précision sur les mesures de parallaxe. Actuellement, comme on sait, les parallaxes sont mal connues dès que leur dimension est inférieure à $0,05''$, ce qui limite à quelques dizaines le nombre d'étoiles dont les magnitudes et les masses sont à la fois bien connues.

Plusieurs auteurs, Russell et Moore (1938), Baize et Romani (1946), Eggen (1967) ont calculé des relations empiriques masse-luminosité à l'aide d'étoiles doubles d'orbites et de parallaxes connues. Ces relations, très simples, appliquées aux binaires donnent des parallaxes dynamiques, puis des masses et des magnitudes absolues.

On arrive ainsi à établir le diagramme de Hertzsprung-Russell (M_V , Type) et le diagramme masse-luminosité. Ce sont deux diagrammes fondamentaux de l'astrophysique, ils situent les étoiles en puissance rayonnée, en masse et en température effective. Mais le diagramme de Hertzsprung-Russell construit à partir des parallaxes dynamiques n'est plus fondamental, puisqu'établi à partir d'une loi empirique.

Nous proposons ici un diagramme similaire, applicable à toute étoile qui fait partie d'un système d'orbite connue, mais établi uniquement sur des valeurs observées, sans hypothèse et qui a, ainsi, un caractère fondamental. C'est le diagramme luminosité par unité de masse en fonction de l'indice (B-V).

Définissons ce que nous appelons la luminosité par unité de masse. Considérons une binaire d'orbite connue de composante A et B. Soient μ_A et μ_B les masses en Soleils, m_A et m_B les magnitudes apparentes dans un système photométrique quelconque et M_A , M_B les magnitudes absolues dans le même système photométrique. On connaît le demi-grand axe apparent a'' , la période en années P . On sait que :

$$\Sigma\mu = \mu_A + \mu_B = a''^3 / \pi^3 P^2 = \alpha^3 / \pi^3$$

π étant la parallaxe, ou en faisant intervenir le rapport des masses

$$R = \mu_B / \Sigma\mu \quad \mu_A = (1-R)\alpha^3 / \pi^3 \quad (1)$$

D'autre part, la loi de Pogson s'écrit :

$$M_A = m_A + 5 + 5 \log \pi \quad (2)$$

ce qui donne :

$$M_A = m_A + 5 + 5 \log \alpha + (5/3)\log(1-R) - (5/3) \log \mu_A \quad (3)$$

C'est une relation masse-luminosité dynamique pour un couple donné, elle a été mise en évidence bien des fois, surtout par P.J. Morel et A. Baglin (1983). Cette relation peut s'écrire aussi :

$$M_x = M_A + (5/3) \log \mu_A \quad (4)$$

M_x est la magnitude absolue de la composante A par unité de masse, elle s'écrit :

$$M_x = m_A + 5 + 5 \log \alpha + (5/3)\log(1-R)$$

Ce paramètre est connu en fonction de la magnitude apparente, de la constante orbitale α et du rapport des masses R . Sa connaissance ne fait appel à aucune hypothèse, sauf, parfois, dans la détermination de R , dont l'imprécision possible n'a que peu d'influence sur la valeur de M_x .

Les observateurs d'étoiles doubles ont l'habitude de considérer M_x les magnitudes visuelles, ou photovisuelles, V . C'est ce système que nous utiliserons par la suite et nous écrivons :

$$M_{Vx} = V + 5 + 5 \log \alpha + (5/3)\log(1-R) = M_V + (5/3)\log \mu_A \quad (4bis)$$

L'observation donne également les types spectraux et, d'une manière plus précise, quoique plus rare, les différences $(B-V)$ entre les magnitudes photographiques et photovisuelles. Le diagramme M_{Vx} , $(B-V)$ des points représentatifs de chaque étoile est obtenue sans hypothèse. Son intérêt est de nécessiter ni la connaissance de la parallaxe, ni celle de la masse, seuls sont nécessaires les éléments de l'orbite, connus pour près d'un millier de couples, et la mesure photométrique $(B-V)$, ou à défaut la connaissance du type spectral.

Ceci étant, on peut obtenir d'autre part, M_{Vx} par la relation masse-luminosité et comparer les valeurs obtenues. On trouve ainsi une mesure réelle de l'écart à la relation masse-luminosité. Nous allons préciser cela.

Les relations masse-luminosité se ressemblent toutes. Nous considérerons celle de Baize-Romani (1946) :

$$\text{Log} \mu = -k(M - M_{\odot}) \tag{5}$$

k est un facteur voisin de 0,1117 et M_{\odot} est la magnitude absolue bolométrique du Soleil. Il convient de ramener (5) au système photovisuel. Les liaisons entre les types spectraux, les (B-V), les M_V , les corrections bolométriques B.C., et les magnitudes bolométriques M_b sont dispersées dans la littérature. Les accords entre les auteurs sont acquis, mais relativement récents. Nous avons donc constitué le tableau I, en puisant à différentes sources sûres qui font autorité.

Tableau I

1	2	3	4	5	6	7	8
Sp	(B-V)	M_V	B.C.	M_b	log μ	log μ	M_{Vx}
B7V	-0,12		-1,04				
B8V	- ,09	0,71	-0,85	-0,14	0,548	0,523	1,623
B9V	- ,06	1,04	-0,66	+0,38	,490	,474	1,857
AOV	,00	1,55	-0,40	1,15	,404	,400	2,223
A1V	,03	1,70	- ,32	1,38	,379	,379	2,332
A2V	,06	1,85	- ,25	1,60	,354	,358	2,440
A3V	,09	2,00	- ,20	1,80	,338	,338	2,563
A5V	,15	2,25	- ,15	2,10	,298	,304	2,747
A7V	,20	2,50	- ,12	2,38	,267	,271	2,945
FOV	,33	3,10	- ,08	3,02	,196	,195	3,427
F2V	,38	3,41	- ,06	3,35	,159	,157	3,675
F5V	,45	3,88	- ,04	3,84	,104	,102	4,053
F6V	,47	4,01	- ,04	3,97	,089	,087	4,158
F7V	,50	4,20	- ,04	4,16	,068	,066	4,313
F8V	,53	4,38	- ,05	4,33	,049	,046	4,462
G0V	,60	4,80	- ,06	4,74	,003	,002	4,805
G2V	,64	5,04	- ,07	4,97	-,022	-,022	5,003
G5V	,68	5,28	- ,10	5,18	-,046	-,046	5,203
G8V	,72	5,50	- ,15	5,35	-,065	-,067	5,392
K0V	,81	5,94	- ,19	5,75	-,110	-,108	5,757
K2V	,92	6,40	- ,25	6,15	-,154	-,148	6,143
K3V	,98	6,70	- ,35	6,35	-,177	-,173	6,405
K5V	1,18	7,56	- ,71	6,85	-,232	-,238	7,173
K7V	1,38		-1,02				

- Colonne 1.- Type spectral, série principale.
- Colonne 2.- Indice (B-V) donné par D.L.Harris III (1963).
- Colonne 3.- Magnitude absolue visuelle donnée par A.Blaauw(1963).
- Colonne 4.- Correction bolométrique par D.L.Harris III (1963).
- Colonne 5.- Magnitude absolue bolométrique $M_b = M_V + B.C.$
- Colonne 6.- log de la masse en Soleils selon Baize-Romani (1946).
- Colonne 7.- log de la masse selon (6), voir ci-dessous.
- Colonne 8.- Magnitude absolue visuelle par unité de masse $M_{Vx} = M_V + (5/3) \log \mu$

Ce tableau donne une courbe ($M_V, \log \mu$). On considère la parabole qui passe au mieux par trois points dont $\log \mu = 0$ et $M_V = 4,81$ (magnitude absolue photovisuelle du Soleil), et on obtient les relations :

$$\log \mu = 0,0059 M_V^2 - 0,16 M_V + 0,634 \quad (6)$$

ou

$$\log \mu_A^2 - 1,794 \log \mu_A + 1 - 0,208 M_{VxA} = 0 \quad (7)$$

La colonne 7 donne les valeurs $\log \mu$ en fonction de M_V d'après l'équation (6), valeurs très proches de celles de la colonne 6. La relation (6) est la transformée de la relation de Baize-Romani dans le système photovisuel.

La relation (7) donne la masse de la composante A (ou B) en fonction de M_{VxA} donnée par l'observation. Une seule des deux racines est valable, la plus petite. On obtient ensuite M_V et la parallaxe par (4) et (3).

Remarquons que l'équation (7) est une relation entre la masse et la luminosité, celle-ci étant ramenée à l'unité de masse par (5).

On peut illustrer tout cela par le diagramme $M_{Vx}, (B-V)$. Dans ce diagramme, les étoiles se placent selon des valeurs observées, donc sans hypothèse. On trace la courbe $M_{Vx}, (B-V)$ du tableau I. Cette courbe est le lieu des étoiles d'âge zéro selon la relation de Baize-Romani. Les autres relations sont très proches.

Nous avons porté cent cinquante points. Chaque point représente l'étoile principale d'un couple d'orbite bien connue. Ces orbites ont été choisies soit dans le catalogue Finsen-Worley (1970), soit dans les fichiers du Centre d'étoiles doubles de l'Observatoire de Nice. Les $(B-V)$ ont été extraits du catalogue de Blanco et al. (1970). Les $(B-V)$ indiqués dans ce catalogue concernent généralement le couple AB. Dans ce cas, ou bien les deux étoiles sont de même éclat et leur $(B-V)$ est, en principe, le même, ou bien sont d'éclats différents et le $(B-V)$ concerne la primaire.

Pour un $(B-V)$ donné, la plupart de ces points se placent au dessus de la courbe d'âge zéro, représentant la série principale. Ceci traduit une évolution nette de l'astre. Cette évolution démarre à partir de $(B-V) = 0,6$, correspondant au type GOV. Le domaine des naines rouges se situe bien sur la courbe théorique, alors que les types chauds, surtout à partir de FOV, montrent souvent un excès de luminosité. Le point de démarrage indique que les étoiles de type solaire commencent à quitter la série principale. L'âge moyen des binaires du voisinage solaire serait de dix milliards d'années, âge comparable à celui de la Galaxie. Le diagramme met en évidence quelques sous-naines, moins de dix pour cent du total.

Ce diagramme ne concerne que les étoiles principales des systèmes, les compagnons se placeraient plus près de la courbe d'âge zéro, les données photométriques précises font défaut.

Une étude détaillée portant sur les 350 binaires d'orbite et de type assez bien connus permettrait de comparer plus finement la composition chimique et l'évolution des binaires de notre voisinage avec les amas ouverts proches, les Hyades, les Pléiades et Praesepe. Les modèles théoriques de la séquence principale d'âge zéro étudiés tout récemment

entre autres par Vandenberg et Bridges (1984) pourraient s'appliquer aux étoiles doubles et permettraient peut-être de voir si les binaires forment une famille homogène.

BIBLIOGRAPHIE

- Baize, P., Romani, L. 1946, Ann. d'Astrophys. t 9, n^o 1-2.
 Blaauw, A. 1963, Basic Astronomical Data, ed. K. Aa. Strand (U. of Chicago, Chicago), p. 383.
 Blanco, V.M., Demers, S., Douglass, G.G., Fitzgerald, M.P. 1970, Photometric Catalogue, Publ. U.S.N.O. Sec. Ser. XXI.
 Eggen, O.J., 1967, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 5, 105.
 Finsen, W.S., Worley, C.E. 1970, Third Catalogue of Orbits of Visual Binary Stars, R.O.J.C., 7, n^o 129.
 Harris III, D.L. 1963, Basic Astronomical Data, ed. K. Aa. Strand (U. of Chicago, Chicago), p. 269.
 Johnson, H.L. 1963, Basic Astronomical Data, ed. K. Aa. Strand (U. of Chicago, Chicago), p. 205.
 Morel, P.J., Baglin, A. 1983, Cptes Rendus Journées de Strasbourg, 5ème réunion.
 Russell, H.N., Moore, C.E. 1938, Astrophys. J., 87, 389.
 Vandenberg, D.A., Bridges, T.J. 1984, Astrophys. J., 278, 679.

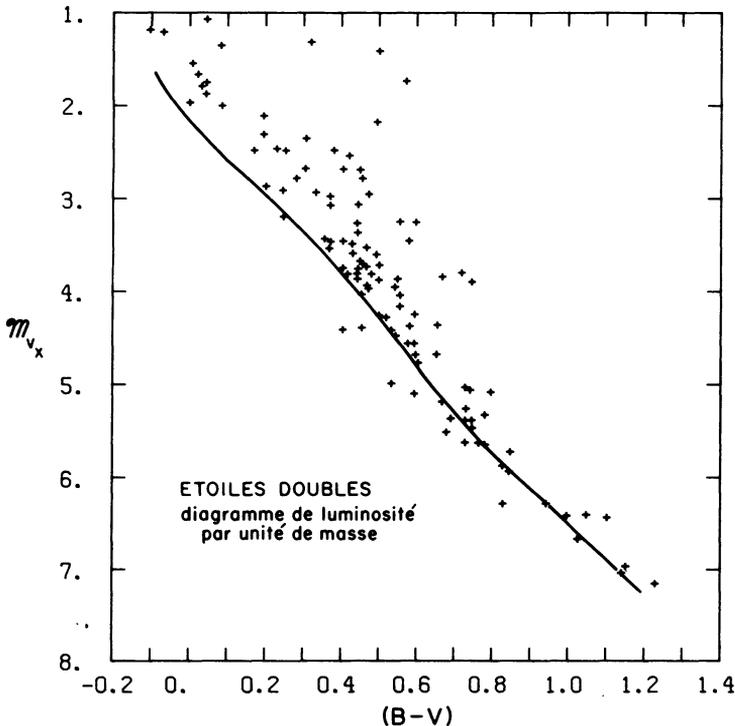


Fig. 1. Etoiles Doubles.

A MODIFIED HR DIAGRAM FOR VISUAL BINARY STARS

SUMMARY. The HR diagram is poorly known for visual binaries because of uncertainty in the parallaxes. However, when the orbits of these stars are known, one can plot a modified diagram using observed quantities and draw the same conclusions.

By combining Kepler's laws with Pogson's scale the formula

$$M_A = m_A + 5 + 5 \log \alpha - \frac{5}{3} \log (\mu_A + \mu_B)$$

can be derived relating the main component's absolute (M_A) and apparent (m_A) magnitudes. $\alpha = ap^{-2/3}$ is the orbital parameter and μ_A , μ_B are the masses of the two components in solar units. It is convenient to introduce M_{*A} , which represents the luminosity of component A per unit mass and is defined by

$$M_{*A} = M_A + \frac{5}{3} \log \mu_A .$$

This magnitude is of particular interest because it only involves observed quantities. It does not appear to have been used previously in the way suggested here. A modified HR diagram can be drawn by plotting M_{*A} against (B-V) for stars with known color index which are members of binary systems whose orbits have been computed.

In order to plot the ZAMS curve on this diagram it is necessary to know the mass μ_A . For this we adopt the mass-luminosity relationship of Baize and Romani (1946) and transform it to the photovisual system by making use of a table which relates spectral types, (B-V), M_V , B.C., and M_{bol} . This table is completed by including M_{*V} and μ_A which are related as follows:

$$M_{*V} = 4.81 \log \mu_A^2 - 8.625 \log \mu_A + 4.81 .$$

In terms of the visual magnitude this becomes:

$$M_{*V} = 0.0098 M_V^2 + 0.733 M_V + 1.057,$$

where both of these relationships are valid for $-0.1 \leq (B-V) \leq 1.2$.

As an illustration of the method we present a diagram containing data points which correspond to the main sequence components of 164 visual binaries with measured orbits. The early-type stars lie on the ZAMS, but as stars become hotter (from G0V onwards) they begin to diverge from the curve, thus indicating a mean age of 10^{10} years for binaries in the neighborhood of the Sun. The modified HR diagram enables one to conclude whether binaries form a family and to compare it with the population of local open clusters.