

Vitesses radiales photoélectriques de binaires à éclipses VI. Orbites spectroscopiques et éléments physiques de 12 étoiles doubles^{*,**,***}

Photoelectric radial velocities of eclipsing binaries VI. Orbital and physical elements of 12 double stars

M. Imbert[†]

Observatoire de Marseille, 2 place Le Verrier, 13248 Marseille Cedex 4, France

Reçu le 11 décembre 2001 / Accepté le 12 mars 2002

Abstract. Spectroscopic orbits of the 12 eclipsing binary systems, TW And, CD And, RS Ari, RU Cnc, TW Cnc, UU Cnc, V788 Cyg, AW Her, MM Her, RV Lib, EW Ori and ZZ UMa are obtained from *Coravel* and *Elodie* radial velocity measurements. We obtain a first orbit for CD And, RS Ari, TW Cnc, and V788 Cyg. For the systems TW And, RU Cnc, UU Cnc, AW Her, MM Her, RV Lib, EW Ori and ZZ UMa, the new spectroscopic orbits are either better or of quality comparable to that previously published. The physical properties of these systems were estimated with the photometric parameters from available data except CD And, TW Cnc, UU Cnc, V788 Cyg and RV Lib for which we found a model compatible with the observations. The systems RU Cnc, AW Her, MM Her and RV Lib belong to RS CVn group. In general these systems were difficult to observe with *Coravel*, on the one hand because the stars are relatively weak and on the other hand because of nature of the components giving peaks of correlation with weak contrast.

Key words. stars: binaries: eclipsing – stars: binaries: spectroscopic – stars: individual: TW And, CD And, RS Ari, RU Cnc, TW Cnc, UU Cnc, V788 Cyg, AW Her, MM Her, RV Lib, EW Ori, ZZ UMa

1. Introduction

La seule possibilité d'obtenir des masses stellaires précise s'appuie sur la détermination des orbites spectroscopiques d'étoiles doubles à éclipses, qui, par ailleurs possèdent des éléments géométriques relatifs déduits des observations photométriques. La combinaison des deux types d'observation, vitesses radiales et photométrie permet de calculer les masses et les rayons des étoiles du système. Cependant cette détermination est subordonnée à l'observation des vitesses radiales des deux composantes du système. Dans le cas contraire l'évaluation des masses

et des rayons ne pourra se faire qu'à travers des modèles plus ou moins représentatifs de la réalité.

Ce travail présente les orbites spectroscopiques de 12 binaires à éclipses et une modélisation des paramètres physiques des systèmes. Parmi ces systèmes, quatre d'entre eux, RU Cnc, AW Her, MM Her et RV Lib, appartiennent au groupe RS CVn.

2. Observations

Les observations ont été effectuées durant 21 ans, entre août 1977 et mars 1998, nous avons ainsi obtenu 617 vitesses radiales pour 12 étoiles doubles à éclipses. La plupart des mesures a été obtenue avec le spectromètre *Coravel* (Baranne et al. 1979). En mars 1998 nous avons obtenu 9 mesures supplémentaires pour ZZ UMa avec le spectromètre *Elodie* (Baranne et al. 1996), monté sur le foyer Cassegrain du télescope de 1,93 m de l'observatoire de Haute Provence. Avec *Coravel*, la majorité des observations a été faite sur le télescope suisse de un mètre de l'observatoire de Haute Provence, seules six mesures de RV Lib et deux mesures de RS Ari ont été obtenues avec le

* La plupart des observations ont été effectuées à l'Observatoire de Haute-Provence (CNRS).

** Based, in part, on observations collected at the European Southern Observatory, la Silla, Chile.

*** La Table 1 est disponible seulement sous forme électronique au CDS via ftp à [cdsarc.u-strasbg.fr](ftp://cdsarc.u-strasbg.fr) (130.79.128.5) ou via

<http://cdsweb.u-strasbg.fr/cgi-bin/qcat?J/A+A/387/850>

[†] e-mail: maurice.imbert@observatoire.cnrs-mrs.fr

télescope Danois de 1,5 m de l'ESO. Ces systèmes présentent souvent de grandes difficultés d'observation, d'abord pour leur relativement faible luminosité, et, principalement, par la nature de leurs pics de corrélation. La plupart des étoiles ont des spectres de type F ou G et une rotation non négligeable, les contrastes des pics sont très faibles et certaines composantes secondaires a été mesurées très difficilement.

3. Calcul des éléments orbitaux

Les éléments orbitaux approchés ont été calculés à l'aide du programme LF (Imbert 1972), variante numérisée de la méthode graphique de Lehman-Filhès (1894). Les orbites définitives ont été calculées à partir de ces éléments approchés en deux temps : d'abord en laissant libres tous les éléments pour avoir, d'une part, une évaluation de la période et, d'autre part, une valeur de l'excentricité orbitale. Un deuxième calcul a été conduit en fixant, éventuellement, la période et en laissant d'abord l'excentricité libre, puis avec une orbite circulaire si l'excentricité précédemment déterminée n'est pas significativement différente de zéro. Les calculs ont été faits avec notre programme SB3MC (Imbert 1988), traduisant la méthode générale d'amélioration des éléments (Schlesinger 1908), et permettant, dans une de ses options, de traiter par moindres carrés l'ensemble des mesures des deux composantes, par itérations successives, en fixant la période à une valeur prédéterminée. Lors du premier calcul de l'orbite la période a toujours été laissée libre, de manière à vérifier si elle est en accord avec la valeur donnée par la photométrie. S'il y a accord, le calcul définitif a été conduit en fixant la période. Dans le cas contraire la période a été laissée libre pour permettre aux vitesses radiales d'avoir les phases correctes.

4. Résultats et discussion

L'identification des composantes est faite par le calcul de l'époque des éclipses déduite des éléments orbitaux, de l'époque du minimum principal de lumière M_I et, éventuellement, avec les éléments photométriques. Quand l'observation détecte les deux composantes elles sont nommées h pour la plus chaude et c pour la plus froide ou à défaut p pour l'étoile principale, celle qui présente le pic de corrélation le plus profond, et s pour la secondaire. Les époques exprimées en jours juliens sont simplifiées à $JJ - 2\,400\,000$.

TW And. Les mesures de vitesses ont été effectuées de septembre 1981 à octobre 1994. Ammann & Walter (1973) déterminent l'époque du minimum de lumière principal M_I à $JJ_{\min} = 39\,020,4104$. L'époque de l'éclipse de l'étoile principale, TE_p , déduite des éléments orbitaux, est telle que $TE_p - JJ_{\min} = 1949 P$. Cela indique que la composante que l'on observe avec *Coravel* est celle qui est éclipsée lors du minimum M_I . Les types spectraux des composantes, dF0 et K, les luminosités relatives,

$L_B F = 0,868$ et $L_B K = 0,076$, données par Ammann & Walter (1973) et la nature du pic de corrélation indique que la composante observée avec *Coravel* est la composante chaude. Une première orbite spectroscopique, limitée à cette composante, a été calculée par Hiltner et al. (1949). Leurs vitesses radiales ont été mesurées sur des spectres à 55 et 76 Å mm^{-1} et leurs éléments sont naturellement beaucoup moins précis que ceux déterminés avec *Coravel*. Leurs mesures de vitesse n'ont pas été utilisées pour le calcul de notre orbite. Plus récemment Popper (1989) a obtenu des vitesses radiales pour les deux composantes du système. Pour la composante froide, les vitesses ont été mesurées uniquement avec les raies D du sodium. Avec ces vitesses, il calcule des éléments orbitaux proches des nôtres, avec une incertitude un peu plus grande sur leur détermination.

L'étude photométrique très complète de Ammann & Walter (1973) a précisé la période à 4,122774 jours et a permis de déterminer les éléments géométriques relatifs du système. Ils montrent que le système est composé d'une étoile brillante chaude et d'une étoile plus faible, plus froide et de plus grande dimension qui occulte complètement l'étoile chaude lors de l'éclipse principale. Ils définissent les dimensions relatives $r_h/a = 0,1627$ et $r_c/a = 0,2465$ et les luminosités relatives $L_h = 0,868$ et $L_c = 0,076$ ainsi que l'inclinaison du plan de l'orbite égale à 87° . En attribuant une masse de $1,8 M_\odot$ à la composante chaude de type F0V, la fonction de masse et l'inclinaison de l'orbite permettent de calculer une masse de $0,34 M_\odot$ pour l'étoile secondaire. Si on attribut la même valeur à la masse de la composante chaude, l'orbite de Popper (1989) conduit à une masse de $0,34 M_\odot$ pour la composante froide, et une inclinaison de l'orbite de 87° , c'est-à-dire aux mêmes valeurs que celles déduites à partir de notre orbite et de l'inclinaison donnée par Ammann & Walter (1973). Les éléments photométriques combinés avec nos éléments orbitaux, conduisent aux dimensions absolues du système : $R_h = 2,27 R_\odot$, $R_c = 3,44 R_\odot$, $a = 13,9 R_\odot$. La table donnée par Plavec & Kratochvil (1964) indique que la composante froide de masse $0,34 M_\odot$ remplit son lobe de Roche ($3,75 R_\odot$) alors que la composante chaude reste à l'intérieur du sien. Le système est ainsi semi-détaché. Récemment le satellite Hipparcos a mesuré une parallaxe de 4,31 mas avec une incertitude de 1,25 mas. Cette incertitude ne permet pas d'évaluer les magnitudes absolues des composantes de manière significative.

CD And. Les mesures de vitesse ont été effectuées de septembre 1979 à septembre 1986. Une seule composante est détectée par son pic de corrélation, ce qui indique, a priori, que l'autre composante est, soit plus chaude que le type F5, soit de luminosité plus faible d'environ deux magnitudes. Notre détermination est la première orbite spectroscopique calculée pour cette étoile. Il n'existe pas de photométrie photoélectrique dans la littérature. Les seules données photométriques disponibles sont les mesures photographiques de Wedel (1955), de qualité insuffisante pour estimer les paramètres relatifs du système. La période de

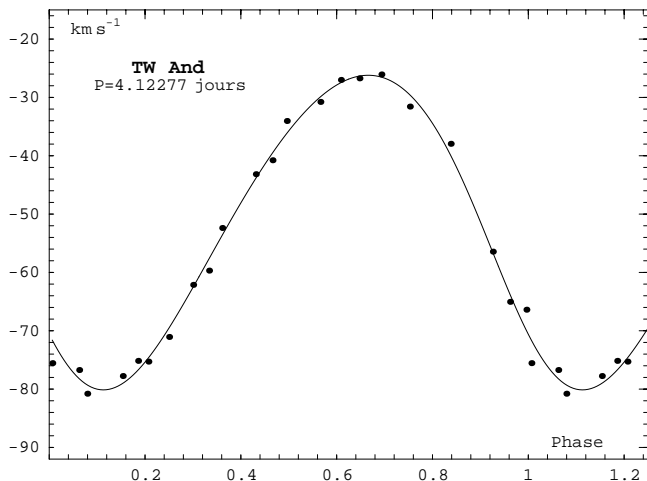


Fig. 1. Vitesses radiales observées et courbe de vitesse déduite des éléments pour TW And.

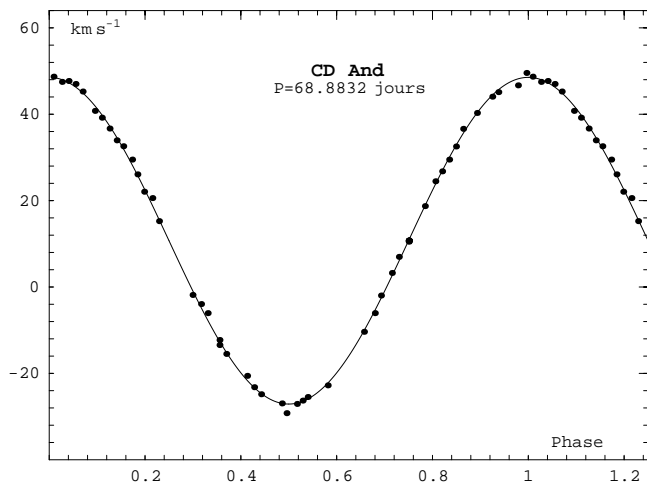


Fig. 2. Vitesses radiales observées et courbe de vitesse déduite des éléments pour CD And.

34,4416 jours, déduite de la photométrie, est incompatible avec nos mesures de vitesse radiale. Pour rendre les observations de vitesse cohérentes, la période doit être doublée soit 68,8832 jours. L'observation du pic de corrélation hors éclipses et pendant les éclipses montre que :

- Il n'y a pas de changement de profondeur pendant l'éclipse de la composante p (21 novembre 1985) par rapport aux observations hors éclipses.
- Pendant l'éclipse de s (1 novembre 1981 et 27 septembre 1986) le contraste du pic est fortement augmenté (0,15 à 0,25) ce qui indique qu'il y a occultation de la composante chaude et que la perte de lumière est sensible. Pendant l'éclipse de p le pic ne perdant pas de contraste, cela indique que l'étoile chaude passant devant, a un rayon relativement petit par rapport à celui de la composante plus froide éclipsée partiellement. La classification spectrale donne F8 pour la composante visible. Si cette étoile est de classe V, de masse environ $1,1 M_{\odot}$ la contrainte de la fonction de masse (en supposant i voisin de 90°),

implique pour la composante s une masse voisine de 1,3, qui ne peut pas être de classe III, car elle serait plus lumineuse que p et de couleur voisine ; cela impliquerait la visibilité de son pic de corrélation. La classe V pour la composante s , conduirait à un type voisin de F5 et là aussi on aurait la visibilité de deux pics de corrélation. La classe V pour la composante p ne peut donc pas être retenue. Dans le cas d'une classe I, la masse de p serait voisine de $10 M_{\odot}$, d'où pour s une masse proche de $4 M_{\odot}$, valeur de masse pour une étoile B5V ou A0III. Dans ce cas la M_v de s serait de -1 ou 0 à comparer avec la M_v de la composante p voisine de -5 . La différence de magnitude absolue serait telle que la composante s aurait une influence négligeable sur la perte de luminosité pendant l'éclipse de s et par conséquent ne peut pas expliquer le changement de contraste du pic de corrélation. La seule possibilité est alors de considérer la composante p proche du type III. Dans ces conditions, un modèle compatible avec les différentes contraintes évoquées ci-dessus, conduit à un système F8III-II + A5V de masses respectives voisines de 2,6 et $2,0 M_{\odot}$, pour p et s et des rayons voisins de 6,5 et $2 R_{\odot}$. Pour une orbite circulaire et i voisin de 90° , la séparation apparente des composantes au début et à la fin de l'éclipse est donnée par $R_h + R_c = a \sin(\pi D/P)$ où D est la durée totale de l'éclipse. Dans le cas de CD And, D peut être estimée à $0,03 P$ à partir de la courbe de lumière de Wedel (1955), ce qui conduit à estimer la somme des rayons à $9,7 R_{\odot}$, valeur proche de celle du modèle. Il est évident que seule une courbe de lumière de qualité permettrait de modéliser complètement ce système.

RS Ari. Les mesures de vitesse ont été effectuées de septembre 1978 à novembre 1992. Les deux composantes sont visibles avec *Coravel*. Les deux pics ont des profondeurs et des largeurs sensiblement différentes, indiquant une différence de luminosité et de température. Cela correspond bien à la classification spectrale des composantes F8IV-V et G5IV. Notre détermination est la première orbite spectroscopique calculée pour cette étoile. Les éléments orbitaux ont été calculés avec la période fixée à la valeur photométrique la plus récente $P = 8,803205$ jours (Kholopov et al. 1985). Si on laisse libre ce paramètre, nos mesures de vitesses radiales seules conduisent à $P = 8,80321 \pm 0,00005$ jours, en excellent accord avec la valeur admise. L'excentricité de l'orbite, déterminée dans un premier temps à $0,002 \pm 0,005$, a été admise comme nulle. L'époque de l'éclipse principale M_1 s'est produit à $JJ_{\min} = 24\,020,353$. L'époque d'éclipse de notre composante principale, $TE_p = TN_p + P/4$, calculée à partir de l'époque du passage au noeud ascendant de l'orbite, conduit à $TE_p - JJ_{\min} = 2833 P$. Cela indique que l'éclipse principale correspond à l'éclipse de la composante p de *Coravel* et que l'éclipse secondaire est l'éclipse de la composante s de *Coravel*. L'orbite étant circulaire, les dimensions apparentes des étoiles sont identiques pour les deux types d'éclipses qui sont symétriques en termes de surface éclipsée. Cela implique que le minimum de lumière le plus profond se produit quand l'étoile froide est devant

l'étoile chaude, et ce, quelles que soient les dimensions relatives des étoiles. La composante p de *Coravel*, éclipsée en M_I , est donc l'étoile chaude de type F8. Miner (1966) calcule des magnitudes absolues visuelles pour les composantes de RS Ari, respectivement 1,7 et 2,4 pour l'étoile chaude et l'étoile froide avec une incertitude de 0,4 magnitude. Si l'on applique la loi de rayonnement du corps noir, $L_{\text{bol}} = \sigma R^2 T^4$, à la détermination des rayons, en utilisant les températures et les corrections bolométriques correspondant au type spectral de chaque composante, on obtient $R_h = 3,8 \pm 0,7 R_\odot$ et $R_c = 3,7 \pm 0,7 R_\odot$, respectivement pour l'étoile chaude et l'étoile froide. Ce résultat n'est pas en désaccord avec Popper (1996) qui indique, d'après l'aspect des raies, que la composante froide est la plus grande. Pour une orbite circulaire la distance, projetée sur le plan du ciel, des centres des étoiles est, au début ou à la fin de l'éclipse :

$$R_h + R_c = a \left(\sin^2 \frac{\pi D}{P} + \cos^2 i \cos^2 \frac{\pi D}{P} \right)^{1/2}$$

D étant la durée totale de l'éclipse, a le demi grand axe de l'orbite relative et i l'angle du plan orbital sur le plan du ciel. Dans le cas d'une éclipse centrale la somme des rayons est donc $R_h + R_c = a \sin(\pi D/P)$. Si l'éclipse n'est pas centrale on aura seulement une minimisation de la somme des rayons $R_h + R_c \geq a \sin(\pi D/P)$. Kholopov et al. (1985) donnent $D/P = 0,10$ ce qui se traduit par $R_h + R_c \geq 7,8 R_\odot$, valeur tout-à-fait compatible avec l'évaluation des rayons. L'incertitude sur les rayons ne permet pas de déterminer l'angle i , qui est, sans doute très voisin de 90° . On ne peut donc pas se prononcer sur la nature des éclipses. i étant voisin de 90° on calcule a à l'aide des éléments orbitaux, soit $a = 25,33 \pm 0,17 R_\odot$. La table donnée par Plavec & Kratochvil (1964) indique que les deux étoiles sont à l'intérieur de leur lobe de Roche, le système est ainsi un système détaché. La seule parallaxe dont on dispose est celle mesurée par Tycho, $\pi = 42 \pm 22$ mas. Cette indétermination n'est pas de nature à permettre une évaluation significative des magnitudes absolues des composantes. Une courbe de lumière de qualité permettrait de modéliser correctement ce système.

RU Cnc. Les mesures de vitesse ont été effectuées de mars 1980 à mars 1989. Les deux composantes du système sont détectées avec *Coravel*. Les deux premières orbites spectroscopiques publiées, l'une par Struve (1945) et l'autre par Lucy & Sweeney (1971), ne font apparaître qu'une composante sur les spectres, qui paraît être le blend des raies de chaque composante ($K = 33 \text{ km s}^{-1}$). Une orbite plus récente a été publiée par Popper (1990), lequel donne également des éléments photométriques très peu différents de ceux de Wyse (1934) et les types K1IV et F5. Les éléments orbitaux de Popper sont cependant moins précis et les mesures moins nombreuses que notre étude. La période retenue pour notre calcul est celle donnée par Wyse, $P = 10,172988$ jours. Une éclipse principale M_I s'est produite à $\text{JJmin} = 41\,775,857$. L'époque d'éclipse de notre composante principale, $TE_p = TN_p + P/4$, calculée

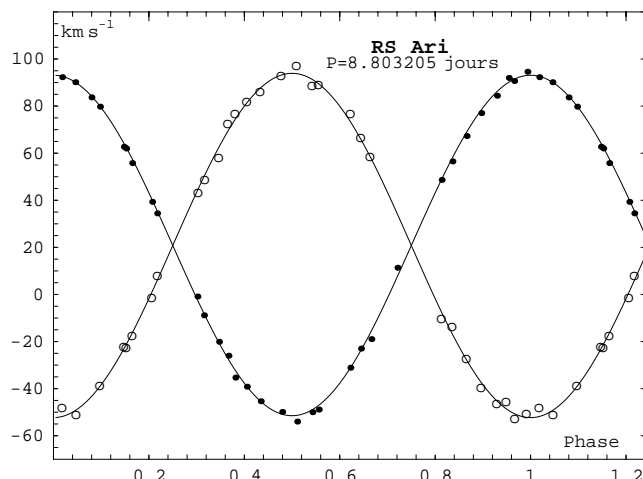


Fig. 3. Vitesses radiales observées et courbe de vitesse déduite des éléments pour RS Ari. Les cercles pleins représentent les mesures de la composante chaude F8 et les cercles vides celles de la composante froide G5IV.

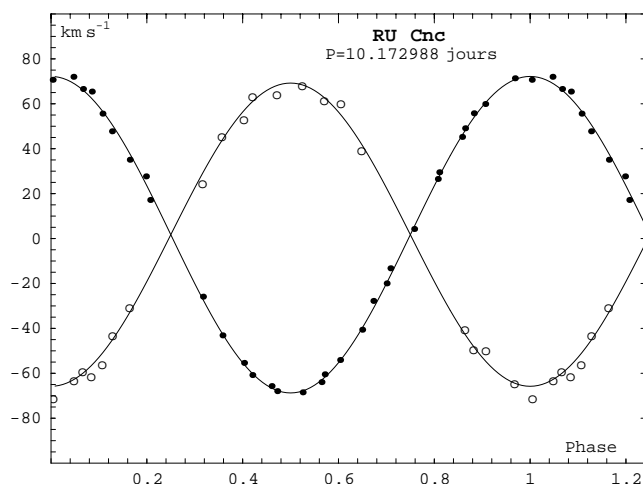


Fig. 4. Vitesses radiales observées et courbe de vitesse déduite des éléments pour RU Cnc. Les cercles pleins représentent les mesures de la composante chaude F5 et les cercles vides celles de la composante froide K1IV.

à partir de l'époque du passage au noeud ascendant de l'orbite, conduit à $TE_p - \text{JJmin} = 571 P$. Cela indique que l'éclipse principale correspond à l'éclipse de la composante p de *Coravel* et que l'éclipse secondaire est l'éclipse de la composante s de *Coravel*. L'orbite étant circulaire, les dimensions apparentes des étoiles sont identiques pour les deux types d'éclipses qui sont symétriques en termes de surface éclipsée. Cela implique que le minimum de lumière le plus profond se produit quand l'étoile froide est devant l'étoile chaude, et ce, quelles que soient les dimensions relatives des étoiles. La composante p de *Coravel*, éclipsée en M_I , est donc l'étoile chaude de type F5. Popper donne $r_h = 0,068$ et $r_c = 0,174$ comme rayons relatifs et $i = 90^\circ$. Les éléments de l'orbite spectroscopique nous fournissant des dimensions absolues pour le demi grand

axe, on en déduit la valeur des rayons des deux étoiles soit $R_h = 1,89 R_\odot$ et $R_c = 4,83 R_\odot$.

TW Cnc. Les vitesses radiales ont été obtenues d'avril 1978 à décembre 1987. Cette étoile présente une éclipse totale au minimum principal de lumière, $JJmin = 31\,854,76$ (Whitney 1958). Aucune orbite spectroscopique n'a été publiée avant la présente orbite. Popper (1962) donne cependant l'amplitude de variation de la vitesse radiale pour la composante froide $K_c = 37 \text{ kms}^{-1}$ sans donner les vitesses mesurées. Il donne aussi une classification spectrale des composantes du système, G8III et A8. La seule composante observable avec *Coravel* est la composante froide. La période utilisée pour le calcul des éléments orbitaux est celle proposée par Whitney (1958), soit $P = 70,760$ jours. Le calcul nous ayant conduit, dans un premier temps, à une excentricité non significativement différente de zéro, $e = 0,0025 \pm 0,0042$, nous avons considéré l'orbite comme circulaire. Nous avons déterminé les éléments V_o , K_c , et TN_c . Le calcul de l'époque d'éclipse de la composante chaude, $TE_c = TN_c - P/4$, permet de constater que $TE_h - JJmin = 181 P$, cela indique que l'éclipse principale est celle de la composante chaude du système. Notre valeur de $TN_c = 44680,0597 \pm 0,0374$ permet ainsi de préciser la période à $P = 70,7603 \pm 0,0002$ jours. Si on utilise la valeur de $K_h = 46 \text{ km s}^{-1}$, donnée par Popper (1962) comme incertaine, on peut estimer les masses à partir des éléments orbitaux soit $M_c \sin^3 i = 2,4 M_\odot$ et $M_h \sin^3 i = 2,0 M_\odot$. L'inclinaison, i , de l'orbite étant voisine de 90° , ces valeurs permettent d'estimer le grand axe de l'orbite relative à $a = 118 R_\odot$. En l'absence d'éléments géométriques déduits d'une courbe de lumière de qualité, l'estimation des rayons des composantes peut se faire en utilisant la durée de la phase de totalité de l'éclipse, d , ainsi que la perte de lumière au centre de l'éclipse. Le minimum principal de lumière, correspondant à l'éclipse totale de la composante chaude, permet d'estimer les magnitudes V des composantes à l'aide de la magnitude hors

éclipse, 8,50, et pendant l'éclipse, 8,97. Cela conduit à $mv_h = 9,0$ et $mv_c = 9,6$, soit en adoptant les types spectraux de Popper, $m_{bol_h} = 8,6$ et $m_{bol_c} = 9,5$. Les températures des composantes, 4900 K et 7600 K, associées à la différence de magnitude absolue bolométrique permet à l'aide de la relation $L_{bol} = \sigma R^2 T^4$, d'estimer le rapport des rayons à $R_c/R_h = 3,6$. Si on considère maintenant la durée de la phase de totalité de l'éclipse, $d = 0,014 P$, valeur moyenne entre celle de Whitney (1958) et celle de Huruata & Kitamura (1960), on peut estimer $R_c - R_h = a \sin(\pi d/P) = 5,2 R_\odot$. Cette dernière valeur étant une valeur minimale car bien que l'éclipse soit totale elle n'est peut être pas centrale. On peut donc estimer les rayons à $R_c = 7,2 R_\odot$ et $R_h = 2,0 R_\odot$. Ce système est semblable à CD And. Cette étoile n'a pas été observée par Hipparcos.

UU Cnc. L'étoile a été observée et les vitesses radiales obtenues de avril 1978 à mars 1982. Les seules vitesses préalablement disponibles sont les 19 mesures de Popper (1977) mesurées sur des spectres à 66 et 75 Å mm^{-1} . Il a calculé une orbite circulaire de qualité médiocre compte tenue de la dispersion et du petit nombre de mesures. Une seule composante est visible avec *Coravel*. Notre orbite, déterminée avec 60 mesures, est naturellement plus précise que celle de Popper (1977). Le calcul a été conduit en laissant libres tous les paramètres, y compris la période et l'excentricité. Nous avons calculé la période $P = 96,667 \pm 0,009$ jours, en bon accord avec les valeurs déduites de la photométrie de Zola et al. (1994) ($P = 96,682$ jours) et de Eaton (1990) ($P = 96,666$ jours). L'orbite est légèrement, mais significativement, elliptique avec $e = 0,054 \pm 0,007$. Zola et al. (1994) donnent pour époque du minimum de lumière principal $JJmin = 46530,926$. Nous avons déduit de notre orbite l'époque de l'éclipse de la composante s, $TE_s = 44403,755$, soit $TE_s - JJmin = 22 P$, ce qui implique, compte tenu du modèle géométrique de

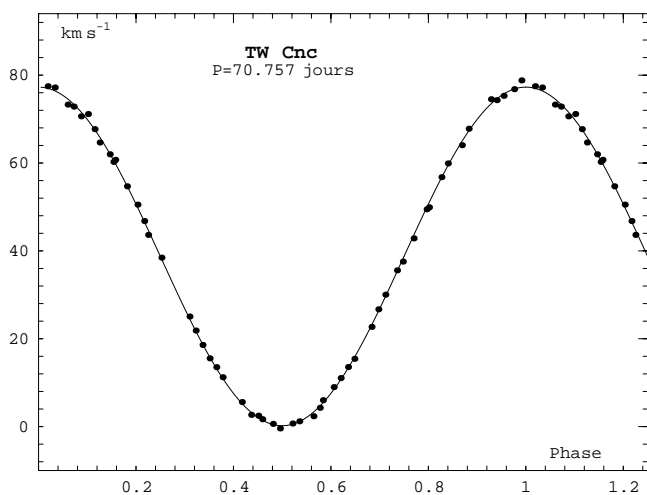


Fig. 5. Vitesses radiales observées et courbe de vitesse déduite des éléments pour TW Cnc.

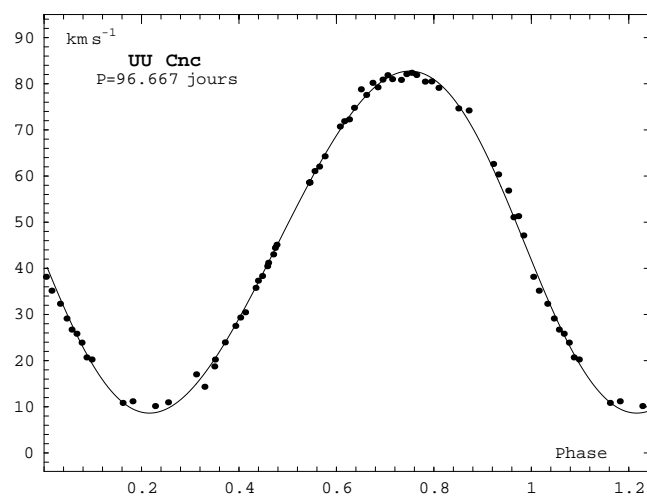


Fig. 6. Vitesses radiales observées et courbe de vitesse déduite des éléments pour UU Cnc. Les cercles pleins représentent les mesures de la composante froide de type K4III.

Zola et al. (1994), que la composante éclipsée à TE_s est la composante la plus chaude et la plus petite. En retenant le rapport des masses donné par Zola et al. (1994), notre détermination de la fonction de masse $f(m) = 0,51 M_\odot$ et du demi grand axe projeté de la composante principale $a_s \sin i = 70,8 R_\odot$, permettent de préciser la valeur des masses et des rayons des composantes, si l'on admet une inclinaison proche de 90° . On obtient ainsi : $M_h = 1,25 M_\odot$, $M_c = 0,70 M_\odot$, $R_h = 1,15 R_\odot$ et $R_c = 35,9 R_\odot$. Le type spectral de l'étoile froide est voisin de K3-4/II-III et celui de l'étoile chaude peut être estimé, d'après sa masse et son rayon à F8V.

V788 Cyg. Les mesures de vitesses radiales ont été effectuées de août 1977 à mai 1984. Il n'existe pas de photométrie photoélectrique publiée pour cette étoile. Les seules données photométriques sont les mesures photographiques de Geyer (1956) et une série d'observations visuelles de bonne qualité donnée par Baldwin (1977). La période déduite par Geyer (1956), 23,9265 jours, est incompatible avec nos mesures de vitesse radiale. Pour rendre les observations de vitesse cohérentes, la période doit être doublée, ce que confirme Baldwin qui donne $P = 47,8487$ jours.

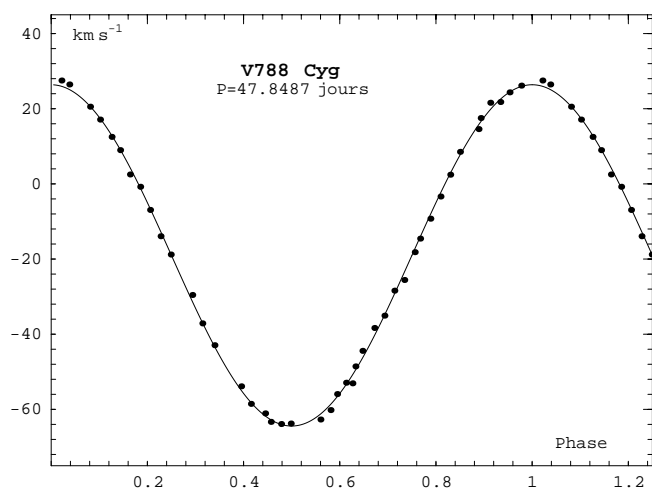


Fig. 7. Vitesses radiales observées et courbe de vitesse déduite des éléments pour V788 Cyg.

Les observations de Geyer (1956) et de Baldwin (1977) permettent d'estimer la durée de l'éclipse principale à environ $0,04 P$. Le minimum secondaire a une profondeur inférieure à la fluctuation des mesures et n'est donc pas détectée. Baldwin (1977) adopte l'époque du minimum principal $JJmin = 26\,620,54$. Notre orbite spectroscopique est la première orbite calculée pour cette étoile. Une seule composante est observable avec *Coravel*. Un premier calcul de l'orbite, effectué en laissant tous les paramètres orbitaux libres, nous a donné $P = 47,8482 \pm 0,0033$ jours, et $e = 0,007 \pm 0,015$. La période est en excellent accord avec la valeur de Baldwin (1977) qui sera adoptée pour la suite du calcul. L'excentricité e , n'étant pas significativement différente de zéro, l'orbite sera considérée

comme circulaire. Nous avons donc déterminé les éléments orbitaux définitifs V_o , K_p , et TN_p . TN_p permet de calculer $TE_p = TN_p + P/4$, époque d'éclipse de notre composante principale, celle qui est détectée avec *Coravel*, et $TE_s = TN_p - P/4$, époque d'éclipse de la composante secondaire qui n'est pas détectée. On constate que $TE_s - JJmin = 401 P$, ce qui signifie que l'éclipse principale est celle de la composante non détectée avec *Coravel*. L'observation du pic de corrélation hors éclipse et pendant l'éclipse nous donne des indications sur la nature des composantes. Pendant l'éclipse de la composante secondaire, observée le 17 juin 1982, le contraste du pic de corrélation est fortement augmenté passant de 0,105 à 0,204 ce qui indique que pendant l'éclipse il y a occultation d'une composante plus chaude et de luminosité non négligeable. Pendant l'éclipse de la composante principale, observée le 9 novembre 1978, au contraire, le pic perd du contraste passant de 0,105 à 0,085, ce qui indique que l'étoile chaude, passant devant, a un rayon relativement petit par rapport à celui de la composante plus froide éclipsée partiellement mais occulte une surface non négligeable de la composante principale. La classification spectrale indiquant une composante de classe F8, le système est donc composé de cette étoile F8, qui est visible avec *Coravel* et d'une étoile plus chaude et plus petite, invisible avec *Coravel*, éclipsée lors du minimum principal de la courbe de lumière. Ces contraintes, associées à la fonction de masse, nous donnent des indications pour la modélisation du système. Si la composante F8 est de classe V sa masse est voisine de $1,1 M_\odot$. Si on admet que l'inclinaison de l'orbite est proche de 90° , la contrainte de la fonction de masse $f(m) = 0,465 M_\odot$ conduit à une masse de l'étoile chaude proche de $1,45 M_\odot$ c'est à dire une étoile de type F5V de dimension voisine de la composante F8, ce qui ne satisfait pas les observations. Dans le cas d'une classe I la masse de la composante F8 serait voisine de $10 M_\odot$, d'où pour la composante chaude une masse proche de $4,6 M_\odot$, valeur de masse pour une étoile B6V ou B9III. Dans ces deux cas la M_v serait respectivement de $-0,9$ et $-0,6$ à comparer avec la M_v de la composante froide voisine de -5 . La différence de magnitude absolue serait telle que la composante chaude aurait une influence négligeable sur la perte de luminosité pendant son éclipse et par conséquent ne peut pas expliquer le changement de contraste du pic de corrélation. La seule possibilité est de considérer la composante froide proche du type F8III. Si on admet que l'éclipse est totale lors du minimum principal de lumière, les magnitudes B de 10,0 et 10,9, respectivement hors éclipse et pendant l'éclipse, conduisent à $mB_c = 10,9$ et $mB_h = 10,6$, soit $m_{v_c} = 10,4$ et $10,3 < m_{v_h} < 10,9$. De ces différences de magnitude V , donc de magnitude absolue V , on déduit que la composante chaude est de type spectral voisin de A3V ou de F0III. Une composante de type F0III serait probablement détectée avec *Coravel*. Une étoile A3V de masse voisine de $2,4 M_\odot$ détermine, avec la fonction de masse de $0,465 M_\odot$, une masse de $3 M_\odot$ pour la composante F8. Si l'on calcule le rapport des luminosités bolométriques des deux composantes à l'aide de $L_{bol} = \sigma R^2 T^4$, avec les magnitudes

absolues bolométriques de 1,2 et 1,3 et les températures de 6150 K et 8720 K respectivement pour l'étoile froide et l'étoile chaude, on détermine $R_c/R_h = 2,1$. Si on admet un rayon de $2 R_\odot$ pour la composante A, la composante F aura un rayon voisin de $4,2 R_\odot$. Un modèle compatible avec les différentes contraintes évoquées est donc cohérent avec un système F8III + A3V, de masse respective 3,0 et $2,4 M_\odot$, et des rayons voisins de $4,2$ et $2 R_\odot$. Il est bien évident que seule une courbe de lumière photoélectrique de qualité permettrait de modéliser complètement ce système.

AW Her. Les vitesses radiales ont été mesurées de juin 1978 à juillet 1989. Une première orbite spectroscopique a été calculée par Popper (1990), avec des vitesses déduites de spectres. Cependant pour cette étude les vitesses radiales de la composante secondaire ne sont mesurées que pour les raies H et K. Le présent travail utilise des vitesses obtenues par corrélation sur un grand nombre de raies spectrales et donne naturellement des vitesses de meilleure qualité. De plus nos mesures sont plus nombreuses et régulièrement réparties le long du cycle orbital. Cela conduisant à des éléments orbitaux plus précis. Un premier calcul de l'orbite spectroscopique a été fait en laissant l'excentricité comme paramètre libre. La valeur obtenue, $e = 0,002 \pm 0,006$, n'étant pas significative, nous avons admis que l'orbite est circulaire. Une deuxième orbite calculée en laissant la période libre nous a donné $P = 8,80078 \pm 0,00004$ jours, valeur en excellent accord avec celle issue de la photométrie, $P = 8,800760$ jours, donnée par Hall & Kreiner (1980). Cette valeur plus précise que la notre a été utilisée pour la suite des calculs. Pour le calcul définitif des éléments orbitaux nous avons donc considéré une orbite circulaire dont les seuls paramètres libres ont été V_o , K_p , K_s et TN_p . Le calcul a été conduit en deux temps. Les premiers calculs ayant montré que $\sigma(O-C)$ de

la composante principale, p , était bien plus petit que celui de la composante secondaire, s , nous avons d'abord déterminé les paramètres V_o , K_p , et TN_p en ne considérant que les vitesses de la composante principale. Le calcul suivant a été fait avec les vitesses des deux composantes, pour déterminer le paramètre K_s , qui seul a été laissé libre. Nous obtenons ainsi une plus grande précision des éléments V_o , K_p , et TN_p . Hall & Kreiner (1980) déterminent l'époque du minimum principal à $JJmin = 25\,719,434$. Notre orbite spectroscopique détermine l'époque de passage au noeud ascendant de la composante principale TN_p et ainsi l'époque d'éclipse de cette composante $TE_p = TN_p + P/4$ soit $47\,712,6281$. On constate que $TE_p - JJmin = 2499 P$. Notre composante principale est donc celle qui est éclipsée au minimum principal de lumière. L'éclipse étant totale, c'est aussi la plus petite étoile. L'excentricité de l'orbite étant nulle les surfaces éclipsées lors des éclipses principale, M_I , et secondaire, M_{II} , sont identiques. Les magnitudes V hors éclipse (9,65) et pendant l'éclipse principale (10,7) indiquent une perte de lumière en M_I de 0,62, ce qui implique que notre composante principale, éclipsée en M_I , est l'étoile qui a la brillance par unité de surface la plus forte, c'est à dire la plus chaude. Notre orbite spectroscopique indique que c'est aussi l'étoile la moins massive. L'estimation de la valeur des rayons des composantes peut se faire en considérant une inclinaison de l'orbite de 90° . Dans cette hypothèse et avec une excentricité nulle, la distance des centres projetée sur le plan du ciel au début ou à la fin des éclipses partielle ou totale est respectivement égale à la somme et la différence des rayons de l'étoile chaude, h , et de l'étoile froide, c , soit $R_c + R_h = a \sin(\pi D/P)$ et $R_c - R_h = a \sin(\pi d/P)$. D et d étant respectivement la durée totale de l'éclipse et la durée de la phase de totalité, exprimées en fraction de période. Avec les valeurs de $a_c \sin i$ et $a_h \sin i$ déduites de l'orbite spectroscopiques, $D = 0,07$ et $d = 0,03$ données dans le General Catalogue of Variable Stars (1985), on calcule $R_c + R_h = 5,4 R_\odot$ et $R_c - R_h = 2,4 R_\odot$ soit $R_c = 3,9 R_\odot$ et $R_h = 1,5 R_\odot$. En l'absence d'éléments photométriques déterminés avec une courbe de lumière de qualité, les valeurs D et d sont très mal déterminées et ne représentent, sans doute, que des ordres de grandeur. Un autre possibilité d'évaluation des rayons utilise la formulation $L_{bol}/L_{bol\odot} = (R/R_\odot)^2 (T_e/T_{e\odot})^4$. Les données récentes du satellite Hipparcos (1997), notamment la parallaxe de $4,71 \pm 1,55$ mas et les types spectraux G2 et K2 donnés par Wyse (1934) et Popper (1990), respectivement pour l'étoile chaude et l'étoile froide, permettant d'estimer les températures et les corrections bolométriques. Disposant enfin des magnitudes V hors éclipse et pendant l'éclipse totale de l'étoile chaude soit 9,65 et 10,7, nous pouvons calculer les rayons : $R_c = 3,0 \pm 1,0 R_\odot$ et $R_h = 2,2 \pm 0,8 R_\odot$. La parallaxe mesurée avec Hipparcos, 4,71 mas avec une incertitude de 1,55 mas, ne permet pas d'évaluer les magnitudes absolues des composantes de manière significative.

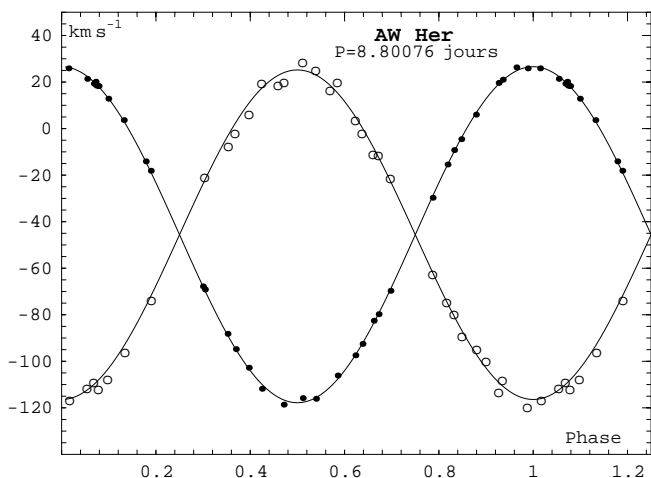


Fig. 8. Vitesses radiales observées et courbe de vitesse déduite des éléments pour AW Her. Les cercles pleins représentent les mesures de la composante chaude G2 et les cercles vides celles de la composante froide K2.

MM Her. Les mesures de vitesses ont été effectuées d'août 1977 à juillet 1986. Une première orbite

Table 2. Eléments orbitaux.

	TW And	CD And	RS Ari	RU Cnc	TW Cnc	UU Cnc	V788 Cyg	AW Her	MM Her	RV Lib	EW Ori	ZZ UMa
P (jours)	4,122774	68,8832	8,803205	10,172988 $\pm 0,0002$	70,7603 $\pm 0,0002$	96,967 $\pm 0,009$	47,8487	8,800760	7,960358	10,722164	6,936801	2,299262 $\pm 0,000001$
V_o (km s^{-1})	-51,27 $\pm 0,42$	10,72 $\pm 0,11$	20,81 $\pm 0,25$	1,72 $\pm 0,36$	38,74 $\pm 0,09$	45,90 $\pm 0,17$	-19,03 $\pm 0,17$	-45,60 $\pm 0,15$	-51,19 $\pm 0,21$	-29,96 $\pm 0,35$	-5,59 $\pm 0,17$	-65,22 $\pm 0,20$
e	0,109 $\pm 0,023$	0	0	0	0	0,054 $\pm 0,007$	0	0	0	0,014 $\pm 0,007$	0,069 $\pm 0,003$	0
ω (degrés)	130,3 $\pm 11,4$					95,99 $\pm 7,6$				332,4 $\pm 23,3$	307,6 $\pm 2,8$	
K_h (km s^{-1})	26,97 $\pm 0,59$		72,31 $\pm 0,47$	67,50 $\pm 0,71$				72,21 $\pm 0,20$	74,69 $\pm 0,27$	20,17 $\pm 0,59$	72,26 $\pm 0,32$	94,99 $\pm 0,33$
K_c (km s^{-1})		37,82 $\pm 0,16$	73,11 $\pm 0,48$	70,46 $\pm 0,64$	38,54 $\pm 0,13$	37,06 $\pm 0,27$	45,41 $\pm 0,25$	70,80 $\pm 0,48$	69,67 $\pm 0,46$	117,19 $\pm 0,66$	75,59 $\pm 0,32$	112,03 $\pm 0,39$
T_o/TN_p (JJ-2 440 000)	7056,19 $\pm 0,13$	6649,649 $\pm 0,044$	8957,565 $\pm 0,007$	7582,981 $\pm 0,013$	4680,060 $\pm 0,037$	4357,21 $\pm 1,90$	5820,085 $\pm 0,040$	7710,428 $\pm 0,004$	4116,583 $\pm 0,006$	5852,477 $\pm 0,693$	4903,648 $\pm 0,052$	7493,186 $\pm 0,002$
TE_h (JJ-2 440 000)	7055,81 $\pm 0,16$	6632,458 $\pm 0,044$	8959,766 $\pm 0,007$	7579,524 $\pm 0,013$	4662,370 $\pm 0,037$	4355,77 $\pm 1,93$	5808,123 $\pm 0,040$	7712,628 $\pm 0,004$	4118,573 $\pm 0,006$	5855,935 $\pm 0,769$	4903,012 $\pm 0,061$	7493,761 $\pm 0,001$
TE_c (JJ-2 440 000)	7057,69 $\pm 0,17$	6666,900 $\pm 0,044$	8964,167 $\pm 0,007$	7584,611 $\pm 0,013$	4697,750 $\pm 0,037$	4403,76 $\pm 1,93$	5832,048 $\pm 0,040$	7717,028 $\pm 0,004$	4122,553 $\pm 0,006$	5850,660 $\pm 0,769$	4906,295 $\pm 0,062$	7492,611 $\pm 0,001$
$M_h \sin^3 i$ M_\odot			1,41 $\pm 0,03$	1,42 $\pm 0,04$				1,32 $\pm 0,02$	1,20 $\pm 0,02$	2,46 $\pm 0,06$	1,18 $\pm 0,02$	1,15 $\pm 0,01$
$M_c \sin^3 i$ M_\odot			1,40 $\pm 0,03$	1,36 $\pm 0,04$				1,35 $\pm 0,02$	1,29 $\pm 0,02$	0,42 $\pm 0,06$	1,13 $\pm 0,02$	0,97 $\pm 0,01$
$f(M_h, M_c)$ M_\odot	0,0082 $\pm 0,0006$	0,387 $\pm 0,005$			0,421 $\pm 0,004$	0,51 $\pm 0,01$	0,465 $\pm 0,008$					
$a_h \sin i$ (10^6 km)	1,520 $\pm 0,037$		8,753 $\pm 0,057$	9,443 $\pm 0,099$				8,739 $\pm 0,025$	8,175 $\pm 0,030$	2,976 $\pm 0,087$	6,877 $\pm 0,031$	3,003 $\pm 0,010$
$a_c \sin i$ (10^6 km)		35,82 $\pm 0,15$	8,851 $\pm 0,058$	9,857 $\pm 0,089$	37,497 $\pm 0,125$	49,2 $\pm 0,4$	29,879 $\pm 0,162$	8,569 $\pm 0,059$	7,627 $\pm 0,050$	17,277 $\pm 0,099$	7,193 $\pm 0,032$	3,542 $\pm 0,012$
σ_h (km s^{-1}) n_h	1,69 22		1,56 32	3,22 20				0,84 34	1,21 35	1,63 20	0,90 25	1,73 33
σ_c (km s^{-1}) n_c		0,76 50	2,21 30	1,80 31	0,63 54	1,21 60	1,07 43	2,86 32	2,73 36	2,00 15	1,33 25	1,96 16

Table 3. Paramètres physiques des 12 systèmes – les masses M_h et M_c et les rayons R_h et R_c sont exprimés en unités solaires, a est exprimé en rayons solaires.

	S _{ph}	S _p	i°	M_h	M_c	R_h	R_c	a
TW And	dF0	K	87	1,8	0,34	2,27	3,44	13,9
CD And	A5V	F8III-II	90:	2,0:	2,6:	2,0:	6,5:	118:
RS Ari	F8IV-V	G5IV	90:	1,4	1,4	$3,8 \pm 0,7$	$3,7 \pm 0,7$	$25,33 \pm 0,17$
RU Cnc	F5	K1IV	90	$1,35 \pm 0,04$	1,42	$1,89 \pm 0,02$	$4,83 \pm 0,05$	$27,72 \pm 0,27$
TW Cnc	A8	G8III	90:	2,0:	2,4:	2,0:	7,2:	118:
UU Cnc	F5:	K4III	90:	1,25	0,70	1,2	36	$110,6 \pm 0,9$
V788 Cyg	A3V	F8III	90:	2,4:	3,0:	2:	4:	88,5:
AW Her	G2IV	K2IV	90:	$1,32 \pm 0,02$	$1,35 \pm 0,02$	$2,2 \pm 0,8$	$3,0 \pm 1,0$	$24,86 \pm 0,12$
MM Her	G2IV	K1IV	$86,4 \pm 0,2$	$1,21 \pm 0,02$	$1,30 \pm 0,02$	$1,59 \pm 0,12$	$2,85 \pm 0,13$	$22,78 \pm 0,12$
RV Lib	G8IV	K3IV	90:	$2,46 \pm 0,06$	$0,42 \pm 0,02$	4,0:	7,7*	$29,1 \pm 0,3$
EW Ori	G0	G5	90	$1,18 \pm 0,02$	$1,13 \pm 0,02$	$1,14 \pm 0,01$	$1,09 \pm 0,01$	$20,24 \pm 0,09$
ZZ UMa	G0V	G5V	$88,01 \pm 0,07$	$1,19 \pm 0,02$	$0,99 \pm 0,02$	$1,53 \pm 0,03$	$1,17 \pm 0,02$	$9,52 \pm 0,06$

* On suppose que l'étoile remplit son lobe de Roche.

spectroscopiques, basée sur des spectres à 40 \AA mm^{-1} , nous a permis d'obtenir une modélisation de ce système (Imbert 1971). Plus récemment une étude de Popper (1988) a confirmé et amélioré nos premiers résultats. Cependant pour ces deux études les vitesses radiales de la composante secondaire ne sont mesurées que pour les raies H et K. Le présent travail utilise des vitesses obtenues par corrélation sur un grand nombre de raies spectrales et donne naturellement des vitesses de meilleure qualité. De plus nos mesures sont plus nombreuses et régulièrement réparties le long du cycle orbital. Cela conduisant à des éléments orbitaux plus précis. Lors de notre première étude l'excentricité de l'orbite, e , avait été calculée à $0,039 \pm 0,019$. Notre présente étude, effectuée avec des vitesses de meilleure qualité, notamment pour la composante secondaire, a conduit, dans un premier temps, à une valeur non significativement différente de zéro pour l'excentricité. Les éléments orbitaux ont donc été recalculés pour une orbite circulaire. Un premier calcul des éléments a été effectué en ne considérant que les mesures de vitesse de la composante principale (celle qui présente le plus fort contraste de pic de corrélation). Nous avons ainsi déterminé les paramètres V_o , K_p et TN_p et leur incertitude. Un deuxième calcul a ensuite été fait en fixant les éléments V_o , K_p et TN_p , calculés précédemment et en laissant seulement libre le paramètre K_s . Les mesures de la composante secondaire étant sensiblement plus dispersées, cette procédure a été utilisée pour avoir une meilleure détermination des éléments V_o et TN_p . Pour tous les calculs la période utilisée est $P = 7,960358$ jours, donnée par Evren (1987). Cette valeur étant mieux déterminée que celle déduites des vitesses radiales ($P = 7,96028 \pm 0,00005$ jours). Evren (1987) détermine l'époque du minimum principal à $JJmin = 45\,551,4336$. La présente orbite spectroscopique permet de calculer l'époque de passage au noeud ascendant de la composante principale, $TN_p = 44\,116,5828$.

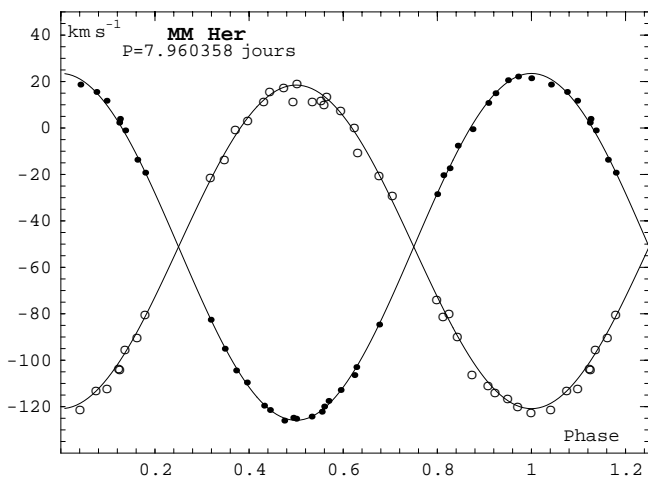


Fig. 9. Vitesses radiales observées et courbe de vitesse déduite des éléments pour MM Her. Les cercles pleins représentent les mesures de la composante chaude G2 et les cercles vides celles de la composante froide K1IV.

On peut ainsi calculer l'époque d'éclipse de cette composante avec $TE_p = TN_p + P/4$ soit $44118,5729$. On constate que $JJmin - TE_p = 180 P$. Notre composante principale est donc celle qui est éclipsée au minimum principal de lumière. Lors de notre étude précédente, l'époque de l'éclipse de la composante principale avait été déterminée à $TE_{p71} = 40\,711,589$. Cette valeur est séparée de $JJmin$ de $680 P$. Cela indique que notre composante principale est la même composante pour l'étude spectroscopique et pour les mesures *Coravel*. L'excentricité de l'orbite étant nulle, les surfaces éclipsées lors des éclipses principale M_I et secondaire M_{II} sont identiques. Les pertes de lumière en M_I et M_{II} , sont, d'après Sowell et al. (1983), respectivement de $0,566$ et $0,131$ ce qui indique que notre composante principale, éclipsée en M_I , est l'étoile qui a la brillance par unité de surface la plus forte, c'est-à-dire la plus chaude. La composante secondaire est l'étoile qui présente les raies H et K en émission. Les éléments photométriques déterminés par Sowell et al. (1983) et Evren (1987), combinés aux éléments orbitaux de la présente étude conduisent à des masses et rayons, pour l'étoile chaude, h , et pour l'étoile froide, c , de $M_h = 1,21 M_\odot$, $M_c = 1,30 M_\odot$, $R_h = 1,59 R_\odot$, $R_c = 2,85 R_\odot$. Les paramètres orbitaux et les paramètres physiques sont détaillés dans les Tableaux 2 et 3. Les types spectraux admis par Popper (1988) sont G2 et K1IV. Hall & Ramsey (1992) classent les composantes du système G5IV et K0IV et plus récemment Tas et al. (2001) donnent G2V et K0IV. La parallaxe mesurée avec le satellite Hipparcos, $4,71 \pm 1,55$ mas, ne permet pas, pour cette étoile non plus, d'évaluer significativement, les magnitudes absolues des composantes.

RV Lib. Une première orbite spectroscopique, basée sur des spectres dans le bleu à 16 \AA mm^{-1} et 11 \AA mm^{-1} dans le visible, a été calculée par Popper (1991). Les deux composantes du système montrent les raies H et K du Ca en émission. Popper (1991) donne une période de $10,722214$ jours. Nous avons recalculé une orbite à partir de 20 mesures de la composante principale et 15 de la secondaire obtenues entre avril 1978 et mars 1989. La valeur obtenue pour l'excentricité, bien que faible, paraît significative avec $e = 0,015 \pm 0,007$. Notre détermination de la période, calculée en utilisant nos seules mesures est de $P = 10,72226 \pm 0,00019$ jours, valeur en excellent accord avec celle de Popper (1991), mais sans doute moins précise que celle qu'il a admise. Notre calcul de l'orbite définitive a donc été fait avec la valeur $P = 10,722214$ jours. L'époque de l'éclipse de l'étoile principale, TE_p , déduite de nos éléments orbitaux, est telle que $TE_p - JJmin = 383 P$. Le minimum de lumière correspond donc à l'éclipse de l'étoile la plus massive. Les types spectraux G8IV et K3IV, respectivement pour la composante la plus massive et la moins massive, sont donnés dans la compilation de Strassmeier et al. (1993). Si l'éclipse est totale, les magnitudes visuelles hors éclipse et pendant l'éclipse principale, $m_{v_t} = 9,14$ et $m_{v_s} = 9,50$, permettent d'estimer la magnitude de l'étoile éclipsée à $m_{v_p} = 10,50$, ce qui indique que notre composante p est la moins lumineuse.

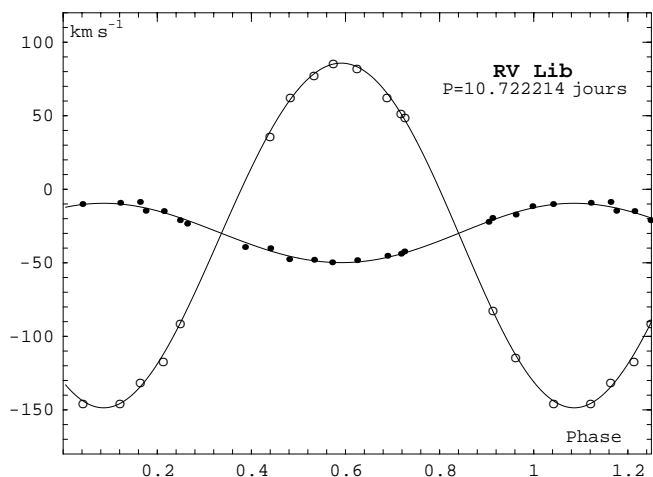


Fig. 10. Vitesses radiales observées et courbe de vitesse déduite des éléments pour RV Lib. Les cercles pleins représentent les mesures de la composante chaude G8IV et les cercles vides celles de la composante froide K3IV.

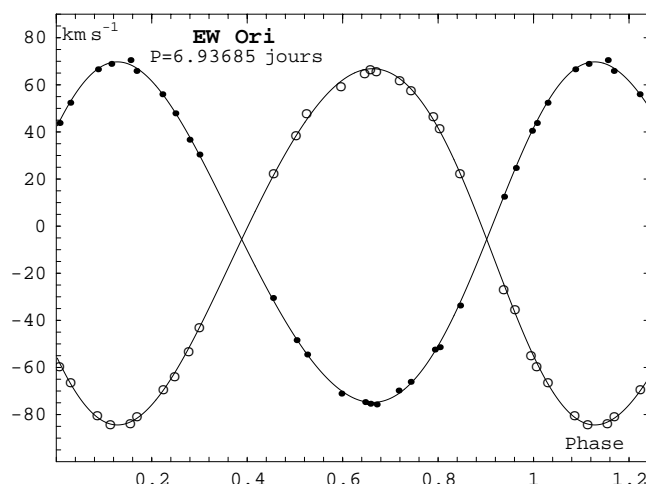


Fig. 11. Vitesses radiales observées et courbe de vitesse déduite des éléments pour EW Ori. Les cercles pleins représentent les mesures de la composante p et les cercles vides celles de la composante s .

En considérant ces magnitudes et les températures admises par Torres et al. (1998), on est conduit, dans l'hypothèse où l'éclipse est totale, sans nécessairement être centrale, à évaluer le rapport des rayons à $R_c/R_h = 1,9$. L'inclinaison de l'orbite, proche de 90° , le rapport des masses des composantes et les dimensions de l'orbite déduites de nos éléments, nous permettent d'estimer la dimension du lobe de Roche de la composante la moins massive et la plus froide à $7,65 R_\odot$. Si cette composante remplit son lobe, on en déduit $R_h = 4,0 R_\odot$ (Plavec & Kratochvil 1964).

EW Ori. Une étude photométrique et spectroscopique a été faite par Popper et al. (1986). La spectroscopie, basée sur des spectres à 11 \AA mm^{-1} , leur a permis de déterminer le type spectral des deux composantes et de calculer une première orbite spectroscopique. Nous avons obtenu 50 mesures de vitesse radiale entre janvier 1981 et février 1986. Elles montrent que les pics de corrélation des deux composantes sont très peu différents, ce qui est en accord avec les types G0 et G5. Nous avons retenu comme composante principale, p , celle qui présente le pic le plus profond. Notre orbite permet de calculer l'époque d'éclipse de cette composante $TE_p = 44\,906,295$. L'époque de l'éclipse principale $JJ_{\min} = 44\,947,894$, déterminée par Popper et al. (1986), permet de constater que $JJ_{\min} - TE_p = 6 P$. Notre composante principale est donc celle qui est éclipsée au minimum principal de lumière. Notre orbite, calculée en laissant libre la période P , nous donne, d'une part, une excentricité faible mais significative, $e = 0,069 \pm 0,003$, en accord avec la valeur de Popper et al., et, d'autre part, une valeur de $P = 6,93685 \pm 0,00002$ jours, en parfait accord avec la valeur de Popper et al. (1986). Nos éléments orbitaux restent globalement très proches des leurs. Les grandeurs physiques du système, masses et rayons restent ainsi identiques à celles données par Popper et al. (1986).

ZZ UMa. Les vitesses radiales ont été obtenues de février 1980 à octobre 1993. La composante secondaire, de pic beaucoup moins contrasté, n'a été détectée qu'en juillet 1986, en considérant un rapport de masses voisin de un. Un premier calcul de l'orbite spectroscopique, effectué en laissant tous les paramètres orbitaux libres, nous a donné $P = 2,299262 \pm 0,000001$ jours, en excellent accord avec la valeur de la photométrie de $2,299260$ jours admise par Döppner (1962), inchangée depuis et que nous adoptons pour l'orbite définitive. L'excentricité $e = -0,006 \pm 0,005$ conduit à considérer une orbite circulaire. Les éléments orbitaux définitifs ont été calculés avec l'ensemble des mesures des deux composantes. Nous obtenons ainsi V_o , K_p , K_s , et TN_p . L'étude photométrique récente de Clement et al. (1997) détermine l'époque de l'éclipse principale $JJ_{\min} = 41499,5953$. On constate que l'époque d'éclipse de notre composante principale, $TE_p = TN_p + P/4$, est en phase avec JJ_{\min} , soit $TE_p - JJ_{\min} = 2607 P$. Notre Composante principale est donc celle qui est éclipsée lors du minimum principal de lumière. Clement et al. (1997) indiquent pour leur composante principale une classification G0V et G5V pour leur composante secondaire. Cette classification permet d'identifier notre composante principale avec l'étoile la plus chaude et la plus massive, c'est aussi la composante principale de Clement et al. (1997). Utilisant leurs éléments géométriques et les éléments de notre orbite spectroscopique on en déduit les paramètres physiques donnés dans le Tableau 3. La parallaxe mesurée avec le satellite Hipparcos, $4,71 \pm 1,59$ mas, ne permet pas d'évaluer les magnitudes absolues des composantes de manière significative. Postérieurement à notre étude, Lacy & Sabby (1999) ont obtenue 54 nouvelles mesures de vitesse radiale de meilleure qualité que les nôtres. Leurs résultats confirment nos éléments, mais ils donnent des incertitudes plus petites.

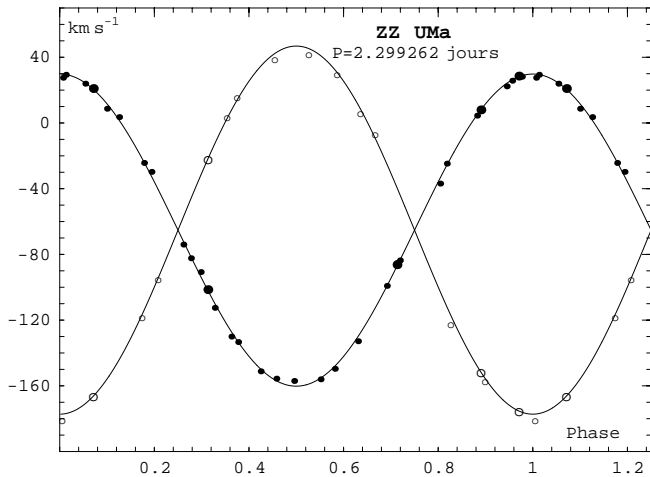


Fig. 12. Vitesses radiales observées et courbe de vitesse déduite des éléments pour ZZ UMa. Les cercles pleins représentent les mesures de la composante la plus chaude (G0V) et les cercles vides celles de la composante G5V. Les points de plus grande taille sont relatifs aux mesures *Elodie*.

Pour six des systèmes étudiés, CD And, RS Ari, TW Cnc, V788 Cyg, AW Her et RV Lib les mesures photométriques sont soit très pauvres soit inexistantes, ce qui ne permet pas de faire l'analyse conduisant à l'évaluation des dimensions relatives des rayons des étoiles. Il serait très utiles d'observer ces systèmes, au moins avec une photométrie *UBV*, afin de modéliser plus sûrement ces systèmes.

Remerciements. Quelques observations ont été faites par Claude Bardin et Louis Prévot. Il m'est très agréable de les remercier pour leur collaboration.

Références

- Ammann, M., & Walter, K. 1973, *A&A*, 24, 131
 Baldwin, M. E. 1977, *J. Amer. Variable Stars Obs.*, 10, 1
 Baranne, A., Mayor, M., & Poncet, J. L. 1979, *Vistas Astron.*, 23, 279
 Baranne, A., Queloz, D., Mayor, M., et al. 1996, *A&AS*, 119, 373
 Clement, R., Garcia, M., Reglero, V., et al. 1997, *A&AS*, 125, 529
 Döppner, M. 1962, *Mitteilungen über veränderliche Sterne*, No. 630
 Eaton, J. A. 1990, *MNRAS*, 247, 62
 Evren, S. 1987, *Ap&SS*, 137, 357
 Geyer, E. 1956, *Kleine Veröffentlichungen der Reimeis-Sternwarte Bamberg*, No. 16
 Hall, D. S., & Kreiner, J. M. 1980, *Acta Astron.*, 30, 387
 Hall, D. S., & Ramsey, L. W. 1992, *AJ*, 104, 1942
 Hiltner, W. A., Burke, S., & Struve, O. 1949, *ApJ*, 109, 95
 Huruata, M., & Kitamura, M. 1960, *PASJ*, 12, 441
 Imbert, M. 1971, *A&A*, 12, 155
 Imbert, M. 1972, *A&A*, 18, 267
 Imbert, M. 1988, *A&AS*, 76, 459
 Kholopov, P. N., Samus', N. N., Frolov, M. S., et al. 1985, *General Catalogue of variable Stars*
 Lacy, C. H., & Sabby, J. H. 1999, *IBVS*, 4755
 Lehman-Filhes, R. 1894, *Astron. Nachr.*, 136, 17
 Lucy, L. B., & Sweeney, M. A. 1971, *AJ*, 76, 544
 Miner, E. D. 1966, *ApJ*, 144, 1101
 Plavec, M., & Kratochvil, P. 1964, *Bull. Astr. Inst. Czech.*, 15, 165
 Popper, D. M. 1962, *PASP*, 74, 129
 Popper, D. M. 1977, *PASP*, 89, 315
 Popper, D. M., Lacy, C. H., Frueh, M. L., & Turner, A. E. 1986, *AJ*, 91, 383
 Popper, D. M. 1988, *AJ*, 96, 1040
 Popper, D. M. 1989, *ApJS*, 71, 595
 Popper, D. M. 1990, *AJ*, 100, 247
 Popper, D. M. 1991, *AJ*, 101, 220
 Popper, D. M. 1996, *ApJS*, 106, 133
 Schlesinger, F. 1908, *Alleg. Obs. Publ.*, 1, 33
 Strassmeier, K. G., Hall, D. S., Fekel, F. C., & Scheck, M. 1993, *A&AS*, 100, 173
 Sowell, J. R., Hall, D. S., Henry, G. W., et al. 1983, *Ap&SS*, 90, 421
 Struve, O. 1945, *ApJ*, 102, 74
 Taş, G., Evren, S., Marino, G., et al. 2001, *A&A*, 376, 966
 Torres, G., Neuhauser, R., & Wichmann, R. 1998, *AJ*, 115, 2028
 Wedel, B. 1955, *Mitteilungen über veränderliche Sterne*, No. 184
 Whitney, B. S. 1958, *AJ*, 63, 243
 Wysen A. B. 1934, *Lick Obs. Bull.*, 17, 41
 Zola, S., Hall, D. S., & Henry, G. W. 1994, *A&A*, 285, 531