

Céphéides et binarité.

II. Vitesses radiales et orbites spectroscopiques de quatre céphéides galactiques : RX Camelopardalis, MW Cygni, Z Lacertae et U Vulpeculae^{*,**}

Cepheids and binarity. II. Radial velocities and spectroscopic orbits of four galactic Cepheids: RX Camelopardalis, MW Cygni, Z Lacertae and U Vulpeculae

M. Imbert

Observatoire de Marseille, 2 place Le Verrier, 13248 Marseille Cedex 04, France

Reçu le 2 juin; accepté le 7 septembre 1995

Abstract. — Continued radial velocity observations over several years, have allowed to discover four spectroscopic binary systems among our sample of twenty five galactic Cepheids. Each system is composed by the Cepheid and an invisible probably hot dwarf star. A spectroscopic orbit has been determined for each system. The orbital periods for RX Cam, MW Cyg, Z Lac and U Vul are 1113, 439, 383 and 2510 days, respectively. For the pulsation motion, radial velocity versus phase diagram have been fitted by an analytic relation, formally similar to a Kepler motion. The stellar radius variation of each cepheid has been derived by integration of this relation over the whole pulsating period.

Key words: stars: individual: RX Cam, MW Cyg, Z Lac, U vul — cepheids — binaries: spectroscopic

1. Introduction

Lors de la mise en service du spectromètre à corrélation *Coravel* à l'observatoire de Haute Provence en 1977, nous avons entrepris l'observation systématique des vitesses radiales des céphéides galactiques sur tout le cycle de pulsation. Ce travail a pour but d'obtenir les rayons de ces étoiles et ainsi d'améliorer la relation période-rayon. Le programme originel comprenait une trentaine de céphéides jusqu'à la magnitude 12. Parmi ces étoiles plusieurs se sont rapidement révélées des systèmes doubles, dont seule la composante céphéide est observée. Un premier travail sur le système SU Cyg a déjà été présenté (Imbert 1984). Le présent travail étudie quatre nouveaux systèmes doubles dont l'une des composantes est une céphéide : RX Cam, MW Cyg, Z Lac et U Vul. La duplicité de ces étoiles, a été mise en évidence, uniquement à l'aide des vitesses radiales, grâce à la qualité des mesures *Coravel* et la très large base de temps d'observation. L'amplitude de varia-

tion de vitesse, due au mouvement orbital varie, pour les quatre étoiles, de 6 à 28 km s⁻¹.

2. Observations

Les observations ont été effectuées de novembre 1978 à juin 1993 avec le spectromètre *Coravel* monté sur le télescope Suisse de 1 m de l'observatoire de Haute-Provence. Une description détaillée de l'instrument a été donnée par Baranne et al. (1979). Pour nos quatre étoiles la précision moyenne de la vitesse radiale pour une seule mesure est de 0.67 km s⁻¹. Les durées d'intégration variant de 3 à 10 min, de la plus brillante (RX Cam) à la plus faible (MW Cyg) des étoiles. Nous avons obtenu 86, 23, 39 et 46 mesures de vitesse respectivement pour RX Cam, MW Cyg, Z Lac et U Vul. Les données d'observation et les mesures figurent dans les Tableaux 1 et 2 (ce dernier est disponible sous forme électronique au CDS). Nos mesures *Coravel* venant en complément de mesures plus anciennes.

*Les observations ont été effectuées à l'Observatoire de Haute-Provence (CNRS)

**Tables 2 and 5 are also available only electronically at the CDS via anonymous ftp 130.79.128.5

Tableau 1. Données d'observation pour les quatre céphéides binaires

Etoile	α (1975)	δ	Période de pulsation	n	Cycles Observés	$\langle B-V \rangle$	Vmax Vmin	Type spectral
	(h m.d)	(° ')						
RX Cam	4 02.9	58 36	7.912	86	523	1.28	7.30 - 8.07	F6 - G2 Ib
MW Cyg	20 11.6	32 48	5.955	23	244	1.35	9.14 - 9.90	F8 - G2 Ib
Z Lac	22 36.9	56 18	10.886	38	334	1.15	7.88 - 8.93	F6 - G6 Ib
U Vul	19 32.3	20 07	7.991	46	474	1.31	6.73 - 7.54	F6Iab -G2

Légende du Tableau 1 :

Colonne 1 (Etoile) :	Nom de l'étoile.
Colonne 2 and 3 :	Coordonnées.
Colonne 4 (Période):	Période de pulsation (jours) calculée dans le présent travail.
Colonne 5 (n):	Nombre de mesures <i>Coravel</i> .
Colonne 6 (Cycles observés) :	Nombre de cycles de pulsation couverts par nos observations .
Colonne 7 ($\langle B-V \rangle$):	Indice (B-V) moyen.
Colonne 8 (Vmax, Vmin):	Magnitude V maximale et minimale.
Colonne 9 (Type spectral):	Types spectraux extrêmes au cours de la pulsation.

3. Calcul des éléments orbitaux et lissage de la pulsation

L'observation des vitesses radiales des quatre étoiles sur une période couvrant de nombreux cycles de pulsation a montré que, d'un cycle à l'autre, les courbes du plan phase-vitesse radiale ne se superposaient pas du fait de l'évolution de la vitesse moyenne dans le temps. Cette variation manifeste la présence d'un corps invisible orbitant avec la céphéide . Pour les quatre céphéides cette variation est suffisamment lente pour n'être que très peu sensible à l'intérieur d'un cycle et ainsi conserver la même forme à la courbe de pulsation, ce qui permet d'apprécier les variations de la vitesse moyenne.

Pour les quatre étoiles, nous avons suivi la variation de la vitesse moyenne sur plusieurs révolutions orbitales. Cela nous a conduit à des valeurs approchées de la période orbitale de 1100, 440, 380 et 2500 jours respectivement pour RX Cam, MW Cyg, Z Lac et U Vul. L'amplitude de variation de la vitesse, due au mouvement orbital seul, étant de 28, 12, 21 et 6 km⁻¹ respectivement.

L'analyse du mouvement résultant de la superposition de la pulsation et du mouvement orbital a été faite en assimilant chaque composante de la pulsation à un mouvement képlérien fictif et en considérant le mouvement observé comme la somme de deux ou trois mouvements képlériens, suivant que la pulsation est sans ou avec "bump". On a montré précédemment que cette représentation de la pulsation par des mouvements orbitaux fictifs permet de lisser parfaitement les observations en évitant les oscillations d'un lissage par développement de Fourier (Imbert et al. 1985, 1989 ; Imbert 1987).

Le calcul des éléments orbitaux, réels et fictifs, décrivant les deux ou trois mouvements a été fait en trois étapes.

Nous avons d'abord déterminé des éléments approchés relatifs à la pulsation. Les mesures visualisées sur un diagramme, phase de pulsation - vitesse, permettent de vérifier que l'enveloppe du nuage de points conserve, globalement, la forme de la courbe de pulsation observée sur un seul cycle (Figs. 1a, 2a, 3a, 4a à comparer avec 1b, 2b, 3b, 4b). Cela permet de considérer, dans un premier temps, la dispersion, due au mouvement orbital, comme des erreurs de mesure. La détermination des éléments orbitaux fictifs approchés de la pulsation principale et éventuellement du "bump", a donc été faite par un traitement de l'ensemble des mesures en prenant pour période la période de pulsation P et éventuellement P/n pour la période du "bump".

Le calcul des éléments du mouvement orbital réel a été conduit en considérant les résidus de vitesse radiale de la vitesse observée, par rapport à la vitesse calculée avec l'orbite fictive approchée traduisant la pulsation. Ces résidus sont considérés comme la composante de la vitesse due au mouvement orbital réel du système. Des éléments approchés de l'orbite réelle ont ainsi été calculés avec ces résidus. La période orbitale approchée utilisée est celle déduite de l'évolution de la vitesse moyenne.

Dans une dernière étape nous avons calculé simultanément l'ensemble des éléments orbitaux (réels et fictifs), décrivant les deux ou trois mouvements. Partant des éléments approchés, calculés précédemment pour chaque mouvement séparément, nous avons utilisé le programme SB3MC pour l'amélioration itérative de ces éléments au

Tableau 2. a) Vitesses radiales mesurées et calculées par superposition du mouvement de pulsation et du mouvement orbital

RX Cam

date TU	JJH	Vobs	Vcal	O-C	Source (*)	date TU	JJH	Vobs	Vcal	O-C	Source (*)
190826.3553	24747.994	-10.6	-15.39	4.79	7	191179.2338	44197.4896	-25.76	-27.42	1.66	1
230826.1212	24751.008	-44.2	-43.28	-0.91	7	240280.1948	44294.3257	-51.97	-51.48	-0.48	1
181026.3543	24807.992	-47.1	-49.06	1.96	7	250280.2054	44295.3716	-44.98	-45.66	0.68	1
191026.3506	24808.966	-49.5	-45.31	-4.19	7	260280.2054	44296.3711	-40.34	-41.71	1.37	1
311127.3246	25216.870	-57.5	-43.21	-14.29	7	270280.2040	44297.3618	-40.77	-40.89	0.12	1
80128.2938	25254.739	-22.1	-24.79	2.69	7	280280.2203	44298.4194	-28.09	-28.52	0.43	1
40928.1223	25494.016	-30.2	-41.04	10.84	7	290280.2031	44299.3555	-17.36	-17.66	0.30	1
281028.3339	25548.906	-20.3	-21.37	1.07	7	10380.2135	44300.3994	-26.15	-25.76	-0.38	1
201128.3523	25571.979	-9.0	-7.92	-1.07	7	170880.2749	44469.6577	-39.20	-38.08	-1.11	1
260229.2754	25669.663	-42.9	-38.05	-4.84	7	180880.2739	44470.6509	-36.08	-35.79	-0.29	1
91229.3229	25955.858	-56.5	-51.50	-4.99	7	190880.2720	44471.6382	-32.56	-32.32	-0.23	1
101229.3223	25956.854	-50.9	-52.29	1.39	7	200880.2745	44472.6553	-20.17	-20.09	-0.07	1
111229.3341	25957.908	-31.2	-42.49	11.29	7	210880.2738	44473.6509	-8.99	-9.57	0.58	1
170979.3400	44134.918	-51.5	-53.53	2.03	2	220880.2742	44474.6538	-28.02	-26.40	-1.61	1
301079.3146	44177.828	-46.8	-45.79	-1.00	2	230880.2647	44475.6157	-46.71	-46.25	-0.46	1
311079.3146	44178.828	-36.0	-43.27	7.27	2	20981.2604	44850.5864	-45.83	-45.85	0.02	1
11179.3205	44179.841	-25.9	-31.17	5.27	2	60981.2751	44854.6611	-45.19	-45.42	0.23	1
221179.3132	44200.819	-48.6	-46.63	-1.96	2	80981.2602	44856.5854	-52.61	-53.16	0.55	1
71279.3058	44215.795	-49.9	-50.97	1.07	2	90981.2719	44857.6387	-47.17	-47.48	0.31	1
91279.3030	44217.776	-41.4	-45.73	4.33	2	190981.2646	44867.6167	-40.93	-40.66	-0.26	1
220880.3532	44474.980	-39.3	-37.98	-1.31	2	240981.2756	44872.6655	-54.38	-54.50	0.12	1
290980.3238	44512.862	-10.7	-10.88	0.18	2	100282.1950	45011.3281	-31.26	-31.09	-0.16	1
300980.3302	44513.879	-15.8	-13.38	-2.41	2	20482.2114	45062.3828	-59.32	-59.32	0.00	1
241080.3121	44537.810	-16.0	-18.50	2.50	2	80482.1920	45068.3032	-52.80	-52.84	0.04	1
291080.3133	44542.819	-33.6	-29.67	-3.92	2	291182.2108	45303.3853	-30.22	-30.44	0.22	1
261180.3118	44570.809	-42.0	-42.25	0.25	2	31282.1947	45307.3291	-53.28	-53.51	0.23	1
291180.3109	44573.803	-34.3	-32.41	-1.89	2	170283.2224	45383.4346	-17.77	-17.57	-0.20	1
131081.3222	44891.852	-37.9	-37.88	-0.01	2	180283.2036	45384.3599	-27.55	-27.09	-0.45	1
100387.1749	46865.242	-37.5	-39.30	1.80	5	271183.2315	45666.4736	-27.80	-27.59	-0.20	1
251091.2120	48555.393	-31.3	-31.38	0.08	5	281183.2122	45667.3950	-16.35	-16.44	0.09	1
51191.2102	48566.381	-59.5	-58.84	-0.66	5	291183.2241	45668.4497	-6.31	-5.81	-0.49	1
61191.2041	48567.366	-54.4	-54.59	0.19	5	301183.2142	45669.4087	-24.15	-24.37	0.22	1
81191.1955	48569.334	-48.7	-48.89	0.19	5	190984.2439	45963.5288	-56.05	-55.36	-0.69	1
111191.1923	48572.312	-21.9	-21.36	-0.54	5	200984.2432	45964.5239	-50.71	-50.55	-0.15	1
141191.1845	48575.286	-54.5	-54.29	-0.20	5	210984.2432	45965.5239	-46.27	-45.58	-0.69	1
251191.1906	48586.301	-40.0	-39.38	-0.61	5	230984.2456	45967.5405	-36.80	-36.33	-0.46	1
261191.1906	48587.301	-27.1	-27.25	0.15	5	300185.2015	46096.3467	-35.35	-35.74	0.39	1
291191.2000	48590.338	-58.7	-57.55	-0.82	5	310185.2205	46097.4229	-64.65	-64.75	0.10	1
301191.1737	48591.239	-52.3	-53.03	0.73	5	10285.2121	46098.3921	-63.19	-63.47	0.28	1
41291.1858	48595.295	-25.5	-26.04	0.54	5	190986.2451	46693.5366	-35.15	-35.71	0.56	1
71291.2024	48598.355	-54.9	-56.91	2.01	5	151286.2150	46780.4146	-33.09	-32.52	-0.56	1
91291.1749	48600.247	-46.2	-47.03	0.83	5	161286.2113	46781.3887	-33.69	-33.28	-0.40	1
11178.2406	43814.5081	-54.07	-54.71	0.64	1	120487.1905	46898.2925	-31.37	-31.54	0.17	1
21178.2431	43815.5256	-43.85	-43.85	0.00	1	140487.1917	46900.3008	-26.54	-27.01	0.47	1
31178.2647	43816.6201	-31.09	-30.91	-0.17	1	290687.2611	46976.5874	-35.76	-35.86	0.10	1
51178.2435	43818.5288	-61.37	-62.07	0.70	1	140787.2627	46991.5986	-38.69	-38.59	-0.09	1
61178.2442	43819.5332	-64.48	-63.97	-0.50	1	280787.2645	47005.6118	-4.30	-3.22	-1.07	1
71178.2135	43820.4036	-59.35	-59.35	0.00	1	180887.2713	47026.6328	-34.88	-34.47	-0.41	1
71178.2626	43820.6057	-57.71	-58.16	0.45	1	300887.2628	47038.6030	-40.19	-41.45	1.26	1
81178.2159	43821.4202	-54.10	-54.28	0.18	1	130987.2709	47052.6323	-15.96	-16.23	0.27	1
91178.2222	43822.4365	-54.05	-54.87	0.82	1	190987.2526	47058.5615	-41.03	-40.61	-0.41	1
140179.2127	43888.3972	-27.51	-27.98	0.47	1	220987.2436	47061.5264	-19.45	-20.13	0.68	1
150179.2144	43889.4089	-55.47	-54.40	-1.06	1	61287.1757	47136.2529	-54.82	-54.28	-0.53	1
210179.2222	43895.4351	-34.29	-34.44	0.15	1	71287.1808	47137.2607	-54.13	-54.19	0.06	1
240179.1836	43898.2783	-65.69	-65.05	-0.63	1	210288.1902	47213.2939	-66.26	-65.51	-0.74	1
210279.1921	43926.3071	-42.89	-43.17	0.28	1	230288.2010	47215.3413	-57.21	-55.90	-1.30	1
230279.1956	43928.3315	-31.30	-31.64	0.34	1	81288.2054	47504.3755	-21.89	-21.04	-0.84	1
240279.2031	43929.3555	-62.43	-62.16	-0.26	1	230989.2207	47793.4233	-36.23	-36.09	-0.13	1
310879.2700	44117.6250	-21.45	-21.76	0.31	1	230989.2220	47793.4326	-36.08	-36.08	0.00	1
20979.2445	44119.5313	-58.67	-58.43	-0.23	1	230989.2412	47793.5103	-35.84	-36.08	0.24	1
40979.2509	44121.5483	-50.96	-49.96	-0.99	1	230989.2600	47793.5854	-35.79	-36.16	0.37	1
80979.2606	44125.5879	-21.54	-21.29	-0.24	1	230989.2712	47793.6353	-36.37	-36.26	-0.10	1
231079.2454	44170.5410	-47.46	-46.80	-0.65	1	230989.2726	47793.6450	-36.68	-36.29	-0.39	1
301079.2341	44177.4907	-45.79	-45.81	0.02	1	10390.1845	47952.2816	-30.89	-30.74	-0.14	1

(*) (1) Coravel (2) Barnes et al. 1988 (3) Gorynya et al. 1992-1 (7) Joy 1937

Tableau 2. b)

MW Cyg

date TU	JH	Vobs	Vcal	O-C	Source (*)	date TU	JH	Vobs	Vcal	O-C	Source (*)
30733.3400	27257.920	-16.9	-20.20	3.30	7	230792.2329	48827.482	-7.7	-9.18	1.48	6
310733.3425	27285.938	-0.4	-0.03	-0.36	7	260792.2352	48830.498	-16.0	-15.86	-0.13	6
31033.2935	27349.735	-6.1	-5.97	-0.13	7	270792.2306	48831.466	-24.5	-24.55	0.05	6
200744.3135	31292.82	9.1	7.40	1.70	9	280792.2232	48832.443	-16.9	-17.58	0.68	6
220744.3302	31294.88	-28.8	-28.37	-0.42	9	290792.2219	48833.434	-7.8	-9.57	1.77	6
250744.2926	31297.73	-4.3	-4.90	0.60	9	300792.2211	48834.428	-1.9	-0.31	-1.58	6
270744.2954	31299.75	-19.7	-22.84	3.14	9	310792.2320	48835.476	12.2	11.23	0.96	6
280744.3023	31300.77	-34.6	-29.75	-4.84	9	110892.2021	48846.352	-2.2	-1.24	-0.96	6
290744.2954	31301.75	-22.2	-22.68	0.48	9	130892.2224	48848.437	-18.5	-20.39	1.89	6
300744.2926	31302.73	-15.3	-14.80	-0.49	9	140892.2140	48849.407	-24.6	-25.73	1.13	6
310744.2926	31303.73	-1.5	-5.41	3.91	9	150892.2102	48850.380	-23.8	-18.69	-5.11	6
20844.2926	31305.73	-26.6	-24.80	-1.79	9	160892.2003	48851.339	-10.5	-10.94	0.44	6
40844.2940	31307.74	-26.5	-23.39	-3.10	9	190892.1925	48854.313	-17.0	-17.98	0.98	6
100844.3023	31313.77	-22.6	-23.74	1.14	9	210892.1932	48856.318	-18.6	-19.57	0.97	6
110844.3106	31314.80	-17.1	-15.31	-1.78	9	220892.2050	48857.372	-9.5	-11.05	1.55	6
130844.3233	31316.86	4.2	4.16	0.04	9	230892.2052	48858.373	-3.5	-1.54	-1.95	6
80779.3400	44063.920	-11.9	-16.20	4.30	2	70789.2409	47715.5098	-0.10	-1.57	1.47	1
240780.3220	44445.851	3.5	0.01	3.49	2	80789.2416	47716.5146	0.44	-0.57	1.01	1
71281.2618	44946.594	-1.6	-2.51	0.91	2	100789.2437	47718.5293	-28.69	-28.16	-0.52	1
300980.2729	44513.648	-34.2	-34.74	0.54	2	110789.2502	47719.5464	-19.23	-20.06	0.83	1
301080.2733	44543.649	-35.6	-37.48	1.88	2	91089.2200	47809.4189	-9.54	-10.56	1.02	1
271180.2539	44571.568	-6.7	-2.99	-3.70	2	101089.2054	47810.3730	-1.67	-1.20	-0.46	1
150791.2403	48453.506	-6.8	-6.38	-0.42	6	111089.1914	47811.3032	8.88	9.08	-0.20	1
260891.2211	48495.428	-6.5	-7.10	0.60	6	121089.1909	47812.2998	-21.93	-21.22	-0.71	1
270891.2243	48496.450	1.4	-0.65	2.05	6	131089.2115	47813.3872	-25.69	-26.10	0.41	1
290891.2109	48498.385	-32.2	-33.69	1.49	6	141089.1936	47814.3188	-18.78	-19.06	0.28	1
261091.1442	48556.114	-2.2	-1.97	-0.22	6	160491.2622	48363.5977	-3.82	-3.20	-0.62	1
271091.1623	48557.184	-36.4	-35.73	-0.66	6	180491.2642	48365.6113	6.16	7.08	-0.92	1
281091.1543	48558.156	-32.3	-30.23	-2.06	6	190491.2632	48366.6045	-26.01	-24.89	-1.11	1
291091.1532	48559.148	-20.5	-22.34	1.84	6	200491.2623	48367.5986	-19.57	-19.50	-0.06	1
311091.1558	48561.166	-4.1	-2.41	-1.68	6	210491.2606	48368.5869	-11.87	-11.70	-0.16	1
11191.1526	48562.144	-5.5	-4.63	-0.86	6	280292.2829	48681.6836	-21.20	-21.34	0.14	1
21191.1525	48563.143	-36.2	-35.42	-0.77	6	31192.1940	48930.3203	-5.73	-4.70	-1.03	1
51191.1629	48566.187	-12.2	-12.36	0.16	6	41192.1825	48931.2676	-4.02	-3.70	-0.31	1
61191.1514	48567.135	-1.2	-1.93	0.73	6	51192.1834	48932.2744	-38.07	-37.36	-0.70	1
210692.2212	48795.428	-23.4	-24.81	1.41	6	61192.1858	48933.2910	-32.61	-32.07	-0.53	1
30792.2337	48807.487	-24.1	-24.43	0.33	6	71192.1845	48934.2813	-23.57	-24.27	0.70	1
190792.2138	48823.405	10.8	10.38	0.41	6	81192.1833	48935.2734	-16.46	-15.59	-0.86	1
200792.2337	48824.488	-13.6	-12.93	-0.66	6	300693.2400	49169.5029	4.42	5.22	-0.80	1
210792.2323	48825.478	-25.0	-24.39	-0.60	6						

(*) (1) Coravel (2) Barnes et al. 1988 (6) Gorynya et al. 1992-2 (7) Joy 1937 (9) Struve 1945

moyen de la formulation décrite dans un travail précédent (Imbert 1988). Dans ce calcul tous les paramètres étaient libres, y compris la période de pulsation, sauf éventuellement la période du “bump” asservie à être un sous multiple de la période de pulsation principale (généralement 1/2).

Tous les calculs concernant la recherche des périodes, la détermination des éléments orbitaux approchés et leur amélioration par la méthode de moindres carrés de Schlesinger (1908), ont été effectués avec le programme SB3MC mis en oeuvre sur Apple Macintosh. Ce programme, très interactif, permet la recherche des périodes (Imbert 1972), le calcul des éléments approchés par une variante numérisée de la méthode graphique de Lehman-Filhès (1894) ou par une méthode analytique exposée au cours d’un travail précédent (Imbert 1972), ainsi que l’amélioration des

éléments orbitaux par itérations successives. Il est possible de prendre en compte jusqu’à trois mouvements képlériens superposés, nécessaires pour traiter les étoiles triples spectroscopiques à une, deux ou trois composantes visibles, ainsi que pour la représentation analytique des pulsations de céphéides avec ou sans “bump” et éventuellement elles-mêmes doubles spectroscopiques. Le programme donne en outre la possibilité de fixer tous les éléments souhaités à une valeur prédéterminée (par exemple périodes ou excentricités).

Les éléments orbitaux calculés par la méthode ci-dessus figurent dans les Tableaux 3 et 4. Les vitesses et les résidus, calculés avec la composition des deux, ou trois, mouvements, sont donnés dans le Tableau 2.

Pour chaque céphéide, nous avons également calculé un développement de Fourier à six harmoniques

Tableau 2. c)

Z Lac											
date TU	JJH	Vobs	Vcal	O-C	Source (*)	date TU	JJH	Vobs	Vcal	O-C	Source (*)
160821.3255	22918.8740	-43.1	-45.03	1.93	7	251188.1811	47491.2603	-26.36	-25.86	-0.49	1
80921.3013	22941.7620	-44.4	-40.84	-3.56	7	31288.1726	47499.2285	-55.04	-55.84	0.80	1
120921.3408	22945.9250	-7.2	-6.43	-0.76	7	71288.1725	47503.2275	-18.91	-18.23	-0.67	1
230925.2921	24417.7260	-27.3	-27.78	0.48	7	81288.1956	47504.3325	-14.53	-14.65	0.12	1
191026.3158	24808.8350	-17.6	-18.75	1.15	7	40789.2540	47712.5693	-23.13	-22.09	-1.03	1
291027.3021	25183.7680	-38.1	-37.76	-0.33	7	91089.1815	47809.2637	-2.80	-2.22	-0.58	1
290728.3430	25457.9390	-24.1	-24.22	0.12	7	101089.1858	47810.2939	-21.25	-21.38	0.13	1
230629.3509	25786.9640	-14.3	-14.48	0.18	7	231187.2811	47123.6770	-14.58	-17.03	2.45	4
190829.3539	25843.9880	-39.4	-35.44	-3.95	7	241187.2907	47124.7160	-35.44	-38.45	3.01	4
210829.3247	25845.8680	-47.9	-38.93	-8.96	7	61287.2705	47136.6306	-48.46	-48.36	-0.10	4
180929.3001	25873.7540	0.4	-1.45	1.85	7	61287.2807	47136.6733	-49.23	-48.48	-0.74	4
211079.2239	44168.4473	-53.06	-53.32	0.26	1	71287.2828	47137.6880	-50.65	-49.96	-0.68	4
191179.1851	44197.2878	-39.36	-39.94	0.58	1	71287.2910	47137.7174	-50.54	-50.00	-0.53	4
291081.1836	44907.2783	-56.33	-55.29	-1.04	1	111287.2743	47141.6568	-41.96	-42.46	0.50	4
311081.2200	44909.4194	-48.24	-48.88	0.64	1	70788.3307	47350.8800	-1.4	-0.34	-1.05	3
11181.2020	44910.3501	-39.94	-39.36	-0.57	1	90888.3208	47383.8410	0.3	0.76	-0.46	3
20786.2510	46614.5488	-28.65	-29.94	1.29	1	141089.2814	47814.6800	-46.8	-45.86	-0.93	3
30786.2408	46615.5054	-31.67	-31.20	-0.46	1	150792.3332	48819.8980	-18.5	-11.47	-7.02	3
150986.2247	46689.4526	-32.55	-32.49	-0.05	1	160792.3313	48820.8850	-5.4	-5.22	-0.17	3
180986.2112	46692.3862	-44.36	-44.62	0.26	1	170792.3233	48821.8570	-4.9	-5.79	0.89	3
190986.2034	46693.3604	-50.09	-50.74	0.65	1	170792.3252	48821.8700	-7.2	-5.96	-1.23	3
200986.2212	46694.4282	-41.52	-42.55	1.03	1	180792.3343	48822.9060	-28.2	-27.09	-1.10	3
171286.1842	46782.2808	-44.96	-45.20	0.24	1	290792.3323	48833.8920	-28.4	-26.86	-1.53	3
181286.1753	46783.2466	-34.95	-35.56	0.61	1	20892.3347	48837.9090	-44.3	-44.31	0.01	3
191286.1814	46784.2612	-26.64	-25.77	-0.86	1	70892.3213	48842.8440	-1.7	-1.30	-0.39	3
201286.1831	46785.2725	-19.00	-19.57	0.57	1	290788.2436	47372.5260	-0.9	-1.01	0.11	5
211286.1741	46786.2378	-21.62	-20.47	-1.14	1	61188.1746	47472.2430	-15.3	-15.52	0.22	5
40687.2621	46951.5962	-28.8	-29.94	1.14	1	210590.2325	48033.4740	-40.4	-41.36	0.96	5
50687.2621	46952.5962	-32.05	-31.25	-0.79	1	241190.1854	48220.2900	-22.6	-22.73	0.13	5
60687.2631	46953.6035	-34.62	-34.83	0.21	1	120791.2517	48450.5540	-2.7	-4.06	1.36	5
290687.2556	46976.5806	-39.29	-39.42	0.13	1	250791.2437	48463.5270	-21.6	-21.05	-0.54	5
180987.2206	47057.4238	-5.62	-5.54	-0.08	1	10891.2346	48470.4920	-16.6	-16.97	0.37	5
190987.2305	47058.4648	-9.06	-7.89	-1.16	1	60891.2512	48475.5520	-27.6	-30.50	2.90	5
200987.2322	47059.4766	-29.64	-29.01	-0.62	1	90891.2519	48478.5570	-41.6	-41.70	0.10	5
220987.2012	47061.3447	-38.08	-38.12	0.04	1	110891.2428	48480.5210	-24.4	-24.53	0.13	5
240987.1833	47063.2759	-48.54	-48.34	-0.19	1	120891.2515	48481.5540	-14.2	-14.13	-0.07	5
61287.1813	47136.2612	-46.31	-46.69	0.38	1	160891.2515	48485.5540	-22.9	-22.95	0.05	5
40788.2425	47347.5176	-32.62	-32.58	-0.03	1	190891.243	48488.5230	-33.6	-34.86	1.26	5
50988.2234	47410.4434	-33.50	-34.70	1.20	1	220891.2503	48491.5460	-22.5	-22.32	-0.17	5
60988.2039	47411.3633	-44.12	-41.67	-2.44	1	230891.2520	48492.5580	-12.2	-12.17	-0.02	5
80988.2101	47413.3784	-30.25	-29.97	-0.28	1	240891.2418	48493.5150	-2.9	-3.18	0.28	5
161188.1826	47482.2710	-12.15	-11.83	-0.31	1	260891.2339	48495.4880	-2.2	-2.70	0.50	5
171188.1755	47483.2490	-20.03	-19.98	-0.04	1	270891.2523	48496.5600	-23.9	-23.82	-0.07	5

(*) (1) Coravel (3) Evans & Welch 1993 (4) Gieren 1989 (5) Gorynya et al. 1992-1 (7) Joy 1937

représentant la pulsation. Comme il a été montré précédemment, (Imbert et al. 1985, 1989 ; Imbert 1987), ce lissage ajuste moins bien les observations. Il est cependant donné pour permettre la comparaison avec les résultats des céphéides de même période, dont le lissage de la pulsation a été fait avec cette technique. Dans le Tableau 6, figurent les coefficients A_k et ϕ_k pour un lissage de la forme :

$$f(t) = A_k + \sum_{k=1}^n A_k \cos(2\pi k(t - T_0/P + \phi_k)).$$

Tous les diagrammes ont été réalisés avec le logiciel Mathematica, notamment ceux en phase-vitesse, pour les-

quels nous avons écrit un script permettant de représenter les mesures et les courbes de vitesses dans tous les cas de figure à partir du fichier de mesure et des éléments orbitaux.

4. Variation du rayon des céphéides

Disposant de vitesses radiales et de mesures photométriques en deux couleurs, la méthode de Baade-Wesselink permet de déterminer le rayon absolu d'une céphéide. Dans notre cas, les couleurs de la céphéide sont, probablement, perturbées par la composante secondaire spectroscopiquement invisible, et on n'a aucun moyen, fiable, d'évaluer la luminosité de l'étoile secondaire et d'en

Tableau 2. d)

U Vul

date TU	JH	Vobs	Vcal	O-C	Source (*)	date TU	JH	Vobs	Vcal	O-C	Source (*)
170745.3509	31654.969	-12.8	-12.74	-0.05	8	31282.1702	45307.2075	-25.85	-26.12	0.27	1
180745.3200	31655.838	-3.3	-4.27	0.97	8	310584.2358	45852.5020	-20.18	-19.38	-0.79	1
190745.3157	31656.836	5.6	4.05	1.55	8	160984.1909	45960.3008	2.75	3.62	-0.87	1
200745.3104	31657.799	-4.4	-5.59	1.19	8	170984.1929	45961.3145	-11.81	-11.53	-0.27	1
180945.3018	31717.765	-15.0	-15.43	0.43	8	170685.2459	46234.5449	-26.22	-25.66	-0.55	1
100846.3222	32043.853	-19.9	-20.42	0.52	8	200685.2312	46237.4707	-16.72	-17.09	0.37	1
110846.3025	32044.772	-15.8	-16.09	0.29	8	20786.2300	46614.4629	-4.51	-3.88	-0.62	1
40947.2919	32433.725	-22.1	-21.22	-0.87	8	40786.2108	46616.3848	-6.83	-6.37	-0.45	1
50947.3055	32434.792	-21.7	-21.24	-0.46	8	150986.1934	46689.3184	-25.90	-25.63	-0.26	1
60947.3057	32435.793	-16.7	-16.97	0.27	8	180986.1946	46692.3262	-16.41	-15.62	-0.79	1
260947.2728	32455.647	6.5	5.20	1.29	8	151286.1724	46780.2217	-15.67	-15.41	-0.25	1
270947.2716	32456.638	2.9	2.36	0.53	8	191286.1727	46784.2236	-6.69	-6.90	0.21	1
280947.2846	32457.701	-21.8	-21.80	0.00	8	150487.2529	46901.5614	-9.75	-8.64	-1.11	1
170848.3116	32781.807	-12.7	-11.65	-1.04	8	160487.2537	46902.5671	0.74	1.00	-0.26	1
190679.3247	44044.870	-27.8	-25.85	-1.94	2	280687.2646	46975.6196	1.53	2.14	-0.61	1
200679.3317	44045.891	-20.5	-22.20	1.70	2	210987.1841	47060.2813	-15.57	-14.87	-0.69	1
40779.3248	44059.871	-23.5	-20.12	-3.37	2	40788.2623	47347.6035	-11.13	-11.01	-0.11	1
50779.3324	44060.896	-28.9	-25.73	-3.16	2	50988.2258	47410.4604	-15.73	-14.84	-0.88	1
301079.2558	44177.582	1.4	-1.08	2.48	2	70988.1903	47412.2974	-11.13	-10.68	-0.44	1
230780.3232	44444.860	-26.1	-23.47	-2.62	2	100988.1934	47415.3188	1.90	1.86	0.03	1
240780.3138	44445.823	-18.8	-19.27	0.47	2	231188.1804	47489.2510	-21.75	-21.11	-0.63	1
220880.3013	44474.763	-2.7	-2.34	-0.35	2	41288.1812	47500.2559	-11.69	-11.88	0.19	1
230880.2925	44475.730	-24.8	-23.89	-0.90	2	81288.1730	47504.2263	-21.63	-21.99	0.36	1
300980.2659	44513.626	11.1	3.80	7.29	2	40789.2307	47712.4678	-25.41	-25.57	0.16	1
241080.2632	44537.606	2.4	4.00	-1.60	2	111089.1756	47811.2485	-16.88	-16.01	-0.86	1
301080.2652	44543.619	-11.3	-14.31	3.01	2	121089.1754	47812.2471	-12.87	-11.95	-0.91	1
241180.2501	44568.540	-12.9	-5.22	-7.67	2	141089.1810	47814.2578	3.29	4.17	-0.88	1
271180.2452	44571.534	-26.5	-22.63	-3.86	2	20390.2857	47953.7036	-20.34	-20.83	0.49	1
281180.2500	44572.539	-26.1	-23.35	-2.74	2	210788.2322	47364.478	-8.6	-9.70	1.10	5
110781.3153	44797.833	-13.1	-14.06	0.96	2	180691.2349	48426.496	-15.8	-16.49	0.69	5
120781.3153	44798.833	-9.9	-11.92	2.02	2	200691.2341	48428.491	-3.7	-3.16	-0.53	5
130781.3240	44799.866	-4.9	-6.60	1.70	2	250691.2304	48433.465	-19.2	-19.50	0.30	5
131081.2710	44891.633	-27.8	-21.02	-6.77	2	270691.2252	48435.457	-12.5	-13.12	0.62	5
71281.2515	44946.549	-14.2	-8.07	-6.12	2	290691.2235	48437.445	4.5	3.65	0.84	5
101281.2430	44949.518	-19.3	-14.68	-4.61	2	310691.2351	48439.498	-26.6	-26.68	0.08	5
131281.2442	44952.526	0.0	1.47	-1.47	2	250791.2105	48463.383	-25.2	-26.65	1.45	5
211079.1903	44168.2939	-13.77	-13.66	-0.10	1	280791.2042	48466.367	-16.1	-16.38	0.28	5
191179.1719	44197.2196	-23.06	-23.98	0.92	1	80891.2307	48477.468	3.0	3.66	-0.66	5
10480.2714	44331.6338	-22.03	-21.16	-0.86	1	90891.2109	48478.386	-11.2	-11.69	0.49	5
20480.2636	44332.6074	-25.77	-25.04	-0.72	1	120891.2118	48481.392	-19.7	-19.57	-0.12	5
30480.2557	44333.5801	-21.77	-21.44	-0.32	1	150891.2044	48484.368	-3.6	-3.70	0.10	5
40480.2700	44334.6240	-17.29	-16.56	-0.72	1	170891.2206	48486.425	-12.5	-13.05	0.55	5
60480.2549	44336.5752	-8.76	-8.59	-0.16	1	220891.2110	48491.386	-12.7	-13.16	0.46	5
70480.2620	44337.5967	1.26	1.16	0.09	1	260891.1935	48495.320	-26.8	-26.61	-0.18	5
190880.2053	44471.3740	-14.25	-15.51	1.26	1	270891.2013	48496.346	-23.9	-24.26	0.36	5
220880.1954	44474.3330	3.72	4.55	-0.83	1	290891.2006	48498.341	-16.2	-16.38	0.18	5
60981.2014	44854.3462	-10.90	-11.08	0.18	1	300891.1839	48499.281	-13.9	-14.08	0.18	5
70981.1912	44855.3031	-9.93	-10.53	0.60	1	261091.1352	48556.078	-5.8	-5.66	-0.13	5
80981.1949	44856.3291	-0.55	-0.73	0.18	1	291091.1410	48559.090	-25.3	-26.22	0.92	5
190981.2233	44867.4424	-21.36	-20.79	-0.56	1	311091.1358	48561.082	-20.5	-20.58	0.08	5
210981.1824	44869.2695	-15.60	-15.53	-0.06	1	11191.1343	48562.071	-16.6	-16.48	-0.11	5
40482.2612	45064.5908	1.04	0.97	0.06	1	21191.1308	48563.047	-16.1	-15.50	-0.59	5
80482.2643	45068.6123	-19.57	-20.74	1.17	1	41191.1316	48565.052	2.9	2.86	0.03	5
170682.2312	45138.4707	-16.17	-15.54	-0.63	1	61191.1325	48567.058	-26.5	-26.13	-0.36	5

(*) (1) Coravel (2) Barnes et al. 1988 (5) Gorynya et al. 1992-1 (8) Sanford 1951

Contenu des colonnes du Tableau 2 :

Colonnes 1 et 7 : Date TU de l'observation (jjmmaa.hhmm).

Colonnes 2,3 et 8,9 : Date julienne héliocentrique et vitesse radiale observée.

Colonnes 4 et 10 : Vitesse radiale calculée par superposition des mouvements de pulsation et du mouvement orbital :

$$V_{cal}(t) = V_0 + K_P [e_P \cos \omega_P + \cos (\vartheta_P(t) + \omega_P)] \\ + K_b [e_b \cos \omega_b + \cos (\vartheta_b(t) + \omega_b)] + K_G [e_G \cos \omega_G + \cos (\vartheta_G(t) + \omega_G)] ,$$

Colonnes 5 et 11 : Vitesse radiale observée - vitesse radiale calculée .

Tableau 3. Eléments orbitaux réels

	RX Cam	MW Cyg	Z Lac	U Vul
P_G (Jours)	1113.55 ± 0.14	439.41 ± 0.07	382.90 ± 0.05	2509.8 ± 3.2
V_0 (km s ⁻¹)	-37.48 ± 0.07	-13.76 ± 0.21	-31.14 ± 0.14	-12.85 ± 0.09
K_G (km s ⁻¹)	14.34 ± 0.14	6.33 ± 0.26	10.73 ± 0.21	2.85 ± 0.14
e_G	0.459 ± 0.007	0.277 ± 0.041	0 (fixéc)	0.582 ± 0.039
ω_G (degrés)	78.8 ± 1.2	100.7 ± 10.2		17.6 ± 5.2
T_{0G} ou T_{nG} (JJ)	45931.9 ± 2.2	48882.2 ± 1.2	46597.8 ± 1.2	44908.4 ± 2.2
$a_G \sin i$ (R \odot)	280.3 ± 4.0	52.8 ± 2.9	81.2 ± 1.6	114.8 ± 9.8
$f(M) (M_\odot)$	0.239 ± 0.010	0.0103 ± 0.0017	0.0491 ± 0.0029	0.0032 ± 0.0008

Légende du Tableau 3 :

Ces éléments orbitaux permettent le calcul de la composante de la vitesse radiale due au mouvement képlérien de la céphéide, à l'instant t , au moyen de la relation :

$$V_{RG}(t) = V_0 + K_G [e_G \cos \omega_G + \cos (\mathcal{U}_G(t) + \omega_G)] ,$$

dans laquelle $\mathcal{U}_G(t)$ est calculé avec :

$$\text{tg} (\mathcal{U}_G(t)/2) = [(1 + e_G) / (1 - e_G)]^{1/2} \text{tg} (E_G/2) ,$$

où E_G , anomalie excentrique, est solution de l'équation de Kepler :

$$E_G - e_G \sin E_G = 2 \pi (t - T_{0G}) / P_G .$$

soustraire les effets. Il n'est donc pas possible d'évaluer la luminosité des composantes séparément. On s'est contenté de déterminer les variations de rayon de chaque céphéide, ce qui peut se faire par l'utilisation des seules vitesses radiales.

L'effet Doppler observé, dû au déplacement radial de l'atmosphère de l'étoile, n'est pas exactement la vitesse d'expansion V_e , mais la moyenne des vitesses radiales intégrée sur tout l'hémisphère visible de l'étoile. La vitesse d'expansion est, évidemment, la seule à considérer pour l'étude du mouvement de l'atmosphère de l'étoile. L'intégration sur tout le disque conduit à une relation linéaire entre la vitesse d'expansion et la vitesse radiale :

$$V_e = -\alpha V_R \quad \alpha \text{ tant le facteur de projection.}$$

$$V_e = -\alpha [K(e \cos \omega + \cos (\nu(t) + \omega)) + K_b(e_b \cos \omega_b + \cos (\nu_b(t) + \omega_b))]$$

Le déplacement de l'atmosphère entre les temps t_0 et t , due à chaque composante de la pulsation, est alors donné par : $\Delta R(t) = R(t) - R(t_0)$

$$\Delta R(t) = -\alpha \int_{t_0}^t [K(e \cos \omega + \cos (\nu(t) + \omega)) + K_b(e_b \cos \omega_b + \cos (\nu_b(t) + \omega_b))] dt$$

Si on se réfère à la théorie des étoiles doubles spectroscopiques, exposée notamment par Binnendijk (1960), nous obtenons, après intégration, $R(t)$ à une constante près :

$$R(t) = -\frac{\alpha}{2\pi} \left[\frac{P K(1 - e^2)^{3/2}}{[1 + e \cos \nu(t)]} \sin (\nu(t) + \omega) + \frac{P_b K_b(1 - e_b^2)^{3/2}}{[1 + e_b \cos \nu_b(t)]} \sin (\nu_b(t) + \omega_b) \right] + C$$

Si $R(t)$ est exprimé en rayons solaires, P en jours et K en km s⁻¹, on a :

$$R(t) = -0.02687 \left[\frac{P K(1 - e^2)^{3/2}}{1 + e \cos \nu(t)} \sin (\nu(t) + \omega) + \frac{P_b K_b(1 - e_b^2)^{3/2}}{1 + e_b \cos \nu_b(t)} \sin (\nu_b(t) + \omega_b) \right] + C$$

La valeur de α retenue est 1.36. Elle est basée sur les résultats de Burki et al. (1982) et Burki & Benz (1982). Les paramètres de lissage utilisés pour ce calcul sont ceux des orbites fictives qui représentent la pulsation et qui sont donnés dans le Tableau 4.

Le calcul appliqué aux quatre céphéides, pour les époques correspondant au minimum et au maximum du rayon ($V_R = 0$), conduit à l'amplitude de variation du rayon, ΔR , donnée dans le Tableau 4.

Tableau 4. Paramètres de lissage de la composante pulsation de la vitesse radiale, amplitude de variation du rayon au cours d'un cycle de pulsation et paramètres physiques du système

	RX Cam	MW Cyg	Z Lac	U Vul
P_p (Jours)	7.912048 ± 0.000016	5.954749 ± 0.000008	10.885709 ± 0.000017	7.990686 ± 0.000012
K_p (km s ⁻¹)	16.41 \pm 0.14	19.16 \pm 0.29	23.06 \pm 0.28	13.57 \pm 0.17
e_p	0.371 \pm 0.009	0.440 \pm 0.011	0.418 \pm 0.010	0.352 \pm 0.013
ω_p (degrés)	60.6 \pm 1.4	76.1 \pm 2.4	34.6 \pm 1.6	60.1 \pm 1.9
T_{op} (JJ)	46096.43 \pm 0.03	48931.47 \pm 0.03	45469.13 \pm 0.04	46895.90 \pm 0.04
P_b (Jours)	3.956024		5.442854	3.995343
K_b (km s ⁻¹)	3.48 \pm 0.15		6.31 \pm 0.27	2.53 \pm 0.19
e_b	0.287 \pm 0.028		0.230 \pm 0.033	-0.370 \pm 0.048
ω_b (degrés)	125.1 \pm 6.2		135.2 \pm 9.7	308.5 \pm 9.6
T_{ob} (JJ)	46096.84 \pm 0.06		47068.56 \pm 0.14	46906.55 \pm 0.08
σ_{O-C} (km s ⁻¹)	1.14 (0.62)	1.65 (0.74)	1.09 (0.77)	0.64 (0.57)
ΔR (R _☉)	6.78 \pm 0.07	5.48 \pm 0.11	11.30 \pm 0.20	5.62 \pm 0.14
R (R _☉)	60	52	70	60
M/M_{\odot}	6.5	5.9	7.1	6.5
M_{Bmin}/M_{\odot}	2.7	0.8	1.5	0.55

Légende du Tableau 4 :

Ces paramètres permettent le calcul de la composante pulsation de la vitesse radiale, à l'instant t , au moyen de la relation :

$$V_{R_{pul}}(t) = K_p [e_p \cos \omega_p + \cos (\mathcal{U}_p(t) + \omega_p)] + K_b [e_b \cos \omega_b + \cos (\mathcal{U}_b(t) + \omega_b)]$$

dans laquelle $\mathcal{U}(t)$ est calculé avec :

$$\operatorname{tg} (\mathcal{U}(t)/2) = [(1 + e) / (1 - e)]^{1/2} \operatorname{tg} (E/2) ,$$

où E , pseudo anomalie excentrique, est solution de l'équation de Kepler :

$$E - e \sin E = 2 \pi (t - T_0) / P .$$

σ_{O-C} pour la totalité des mesures, et entre parenthèses, pour les mesures *Coravel* seules .

ΔR est calculé en prenant $\alpha=1.36$ comme facteur de projection ($V_e = -\alpha V_r$)

R est calculé avec $\log R = 0,5 \log P + 1.33$

M est calculée avec $\log M = -0,00414 (\log P)^2 + 0,3014 \log P + 0,5425$

5. Estimation des masses et des rayons

en prenant $M_{bol \odot} = 4.75$ on est conduit à :

Pour estimer la masse de la composante secondaire nous utilisons la relation masse-luminosité donnée par Parsons & Bouw (1971) pour des supergéantes évoluées de 5 à 15 masses solaires :

$$\log \frac{\mathcal{L}}{\mathcal{L}_{\odot}} = 3.63 \log \frac{M}{M_{\odot}} + 0.58,$$

et la formulation de la correction bolométrique utilisée dans un travail précédent (Imbert 1987) :

$$BC = 0.144 - 0.370 (B - V),$$

$$\log \frac{M}{M_{\odot}} = -0.110 M_v + 0.041 (B - V) + 0.348$$

Si, d'autre part, on utilise les relations données par Kraft (1961), liant M_v et $B - V$ à la période, soit :

$$M_v = -1.67 - 2.54 \log P$$

$$B - V = -0.101 (\log P)^2 + 0.5365 \log P + 0.2644,$$

Tableau 6. Coefficients de Fourier pour le lissage de la pulsation

	A_0	T_0		A_0	T_0
	A_k	ϕ_k		A_k	ϕ_k
	:	:		:	:
RX Cam	0	46096.4272	Z lac	0	45469.1326
	14.3329	1.0734		18.9880	0.6279
	8.1213	1.2422		3.8146	1.5085
	2.0627	1.0743		3.4432	0.6008
	1.7840	0.9652		0.7997	0.5842
	0.3989	1.0295		0.4796	6.0268
	0.4341	0.4860		0.6914	5.8714
MW Cyg	0	48931.4740	U Vul	0	46895.9043
	15.7420	1.3398		12.0039	1.0651
	6.7119	1.3400		6.2678	1.0985
	3.2890	1.3388		1.5459	1.0616
	1.7671	1.3048		1.2809	0.5538
	1.0319	1.1840		0.2553	1.0773
	0.4271	1.2073		0.2938	5.7854

on est conduit à estimer la masse avec le seul paramètre P :

$$\log \frac{\mathcal{M}}{\mathcal{M}_\odot} = -0.00414 (\log P)^2 + 0.3014 \log P + 0.5425$$

Nous trouvons ainsi, pour les masses, respectivement 6.5, 5.9, 7.1, et 6.5 \mathcal{M}_\odot . pour RX Cam, MW Cyg, Z Lac et U Vul.

Disposant de la fonction de masse $f(\mathcal{M}) = \frac{\mathcal{M}_2^3 \sin^3 i}{(\mathcal{M}_1 + \mathcal{M}_2)^2}$ par l'orbite spectroscopique (Tableau 3), et de la masse de la céphéide, cela nous permet de calculer la masse minimale de la composante chaude du système ; soit respectivement 2.7, 0.8, 1.5 et 0.55 \mathcal{M}_\odot . pour RX Cam, MW Cyg, Z Lac et U Vul.

Les rayons des céphéides galactiques peuvent être estimés par une relation rayon-période, notamment par celle de Fernie (1964), $\log R/R_\odot = 1.33 + 0.50 \log P$. Cela nous conduit à évaluer les rayons de RX Cam, MW Cyg, Z Lac et U Vul à respectivement 60, 52, 70 et 60 R_\odot .

Les calculs de Plavec & Kratochvil (1964), sur les dimensions des lobes de Roche des deux composantes d'un système double en fonction du rapport des masses, permettent de les comparer aux rayons des étoiles et ainsi de préciser si le système est détaché ou non.

Pour les quatre systèmes, nous avons fait varier la masse, \mathcal{M}_2 , du compagnon depuis la limite inférieure déterminée ci-dessus jusqu'à une valeur voisine des plus grandes masses stellaires connues. Nous avons ainsi calculé, pour chaque valeur de \mathcal{M}_2 : l'angle i , la séparation au périastre et les dimensions minimales du lobe de Roche des deux composantes.

Pour les quatre systèmes, nous avons constaté que la dimension minimale du lobe entourant la céphéide, varie relativement peu quand \mathcal{M}_2 varie depuis la valeur minimale jusqu'au voisinage de 50 \mathcal{M}_\odot , et est toujours

beaucoup plus importante que le rayon de la céphéide : 295 à 226 R_\odot pour RX Cam, 203 à 157 R_\odot pour MW Cyg, 279 à 212 R_\odot pour Z Lac et 396 à 304 R_\odot pour U Vul.

Les dimensions des lobes des compagnons varient beaucoup plus dans les mêmes conditions, mais les valeurs minimales, restent, néanmoins, très largement supérieures aux dimensions présumées de ces étoiles : 102 R_\odot pour RX Cam, 73 R_\odot pour MW Cyg, 93 R_\odot pour Z Lac et 136 R_\odot pour U Vul. Les quatre systèmes apparaissent ainsi très largement détachés.

6. Remarques individuelles

6.1. RX Cam

Les observations de vitesses radiales avec *Coravel* ont débuté en novembre 1978 (phase orbitale 0.1). L'évidence de la duplicité est apparue vers août 1979 (phase orbitale 0.36). En 1983, après plus d'un cycle orbital, nos mesures nous ont permis de disposer d'une très bonne estimation de la période orbitale. De 1983 à 1990 des mesures supplémentaires ont été ajoutées pour une couverture complète du cycle orbital et de pulsation, avec, notamment pour ce dernier cycle, la zone de phase du "bump". La duplicité de cette étoile a été détectée indépendamment par Evans (1992) à partir de ses observations du satellite IUE. Le flux ultraviolet indiquant un compagnon chaud à la céphéide.

La duplicité a également été signalée par Szabados (1992) après analyse des vitesses radiales disponibles en 1992. Toutefois il en déduit une période orbitale inférieure à 500 jours au lieu des 1113 jours de la valeur réelle. Dans ce même article il donne une bonne détermination de la valeur de la période de pulsation (7.912024 jours) déduite des mesures photométriques. Cette valeur est très proche de

notre détermination à l'aide des vitesses radiales (7.912048 ± 0.000016 jours).

Les mesures de Barnes et al. (1988) (BMS) n'ont pas été retenues dans le calcul final des éléments, car bien que leur nombre soit significatif, leur qualité, relativement à *Coravel*, est bien inférieure : $\sigma_{O-C} = 3.11$ contre 0.62 km s^{-1} pour les mesures *Coravel*. De plus les observations se situant à la même époque que le début des observations *Coravel*, il n'y avait aucun gain à attendre pour la précision de la période orbitale. Les mesures BMS ont, néanmoins, été présentées sur les Figs. 1b et 1c (symbole +). La dispersion est évidente.

A partir des éléments approchés, un premier calcul d'éléments orbitaux a été fait pour une détermination précise de la période orbitale et de la période de pulsation. Ce calcul a été fait avec les mesures de Joy (1936), sauf trois mesures aberrantes, les mesures de Gorynya et al. (1992a) (GIRSa) et les mesures *Coravel*. Nous avons obtenu pour les périodes de pulsation et orbitale, respectivement : $P = 7.912048 \pm 0.000016$ et $P_G = 1113.53 \pm 0.16$. La période du "bump" étant asservie à $P/2$.

Le calcul suivant a été restreint aux seules mesures GIRSa et *Coravel* qui présentent des O-C très nettement plus faibles que les autres groupes de mesures. Ce nouveau calcul des éléments orbitaux a été conduit pour déterminer les éléments orbitaux "de forme", c'est à dire tous les paramètres sauf les périodes, lesquelles étaient fixées aux valeurs du premier calcul.

Un dernier calcul des éléments utilisant toutes les mesures sauf BMS, a été fait pour une détermination fine de la période orbitale, les autres éléments étant fixés aux valeurs déterminées précédemment. Nous avons ainsi obtenu, pour la période orbitale, $P_G = 1113.55 \pm 0.14$ jours.

Les éléments orbitaux définitifs, sont donnés dans les Tableaux 3 et 4.

La Fig. 5 donne, pour RX Cam, un exemple de représentation du mouvement de pulsation d'une céphéide.

6.2. MW Cyg

Les premières observations de vitesses radiales avec *Coravel* ont débuté en juillet 1989 (phase orbitale 0.35). L'évidence de la duplicité est apparue dès octobre 1989 (phase orbitale 0.55). Une première estimation de la période orbitale a été disponible en juin 1991, montrant une période d'environ 450 jours, relativement courte pour ce type d'objet. De 1991 à 1993 les observations ont été poursuivies pour, d'une part, préciser la période orbitale, et, d'autre part, couvrir au mieux le cycle de pulsation et le cycle orbital. Szabados (1991) a suggéré la duplicité d'après les vitesses radiales moyennes de Joy (1937) et de Moffett & Barnes (1987), sans donner de valeur pour cette période. Il donne en outre une nouvelle valeur de la période de pulsation $P = 5.954666 \pm 7 \cdot 10^{-6}$ jours. La duplicité a été confirmée par Gorynya et al. (1992b), qui ne donnent pas davantage de valeur pour la période.

Partant des éléments approchés, un premier calcul des éléments orbitaux a été fait pour une détermination précise de la période orbitale et de la période de pulsation. Ce calcul a été effectué avec l'ensemble des mesures de Joy (1936), Struve (1945), Gorynya et al. (1992b), Barnes et al. (1988) et les mesures *Coravel*. Quelques mesures ont été éliminées parmi les plus anciennes, car elles présentaient de très gros O-C lors d'un calcul précédent les incluant. Nous avons obtenu pour les périodes de pulsation et orbitale, respectivement : $P = 5.954749 \pm 8 \cdot 10^{-6}$ et $P_G = 439.51 \pm 0.15$. Comme pour RX Cam, le calcul suivant a été conduit de manière à déterminer les éléments "de forme", les périodes étant contraintes aux valeurs du premier calcul. Pour ce calcul, seules les mesures de Gorynya et al. et les mesures *Coravel* ont été retenues.

La troisième et dernière détermination d'éléments orbitaux a été faite avec l'ensemble des mesures en fixant les éléments "de forme" à leurs valeurs déterminées précédemment et en laissant libre la période orbitale pour l'ajuster aux nouveaux éléments "de forme". Nous avons ainsi obtenu une amélioration de la précision $P_G = 439.407 \pm 0.067$ jours.

Les éléments orbitaux définitifs, réels et fictifs, de MW Cyg, ainsi déterminés sont donnés dans les Tableaux 3 et 4.

6.3. Z Lac

Les observations de vitesses radiales avec *Coravel* ont débuté en octobre 1979 (phase orbitale 0.51). L'évidence de la duplicité est apparue en juillet 1986 (phase orbitale 0.22). Une bonne estimation de la période orbitale a été disponible en septembre 1987, montrant une période de 382 jours, dans ce cas aussi, relativement courte. De 1987 à 1989 les observations ont été poursuivies pour, préciser la période orbitale, et terminer la couverture du cycle de pulsation et du cycle orbital.

La duplicité de cette étoile avait déjà été soupçonnée par plusieurs auteurs, et des estimations de période ont été tentées avec un matériel très insuffisant.

Gieren (1989) analyse la duplicité à partir des mesures de vitesses radiales de Joy (1937) et de ses sept mesures obtenues en novembre et décembre 1987. Il en déduit une période "considérablement plus longue que 100 ans" mais une période de l'ordre de 50 ans restant possible!

A partir des mesures photométriques, Szabados (1991) explique la décroissance apparente de la période de pulsation, par une période de l'ordre de 8700 jours (24 ans). Il dit, néanmoins que cette période paraît trop longue pour rendre compte des variations de vitesse du centre des masses. Il suggère que la période orbitale est "beaucoup plus courte que 8700 jours et est peut être de l'ordre de un an".

En 1993 Evans & Welch, utilisant les vitesses radiales de Joy & Gieren, proposent des périodes de 41, 25, 18 ou 14 ans. Cela les conduit à estimer à $3 M_\odot$, la masse

minimale du compagnon invisible, non détecté par leurs observations IUE, alors que leur limite de détection était de $1.9 M_{\odot}$. Toutes ces tentatives montrent bien la nécessité de disposer de bonnes mesures de vitesses radiales réparties régulièrement sur une longue base de temps. Ayant réuni toutes ces conditions avec nos mesures *Coravel*, nous n'avons eu aucune difficulté pour calculer la période orbitale. Notre orbite permet de fixer à $1.5 M_{\odot}$ la masse minimale du compagnon, valeur qui se situe en dessous de la limite de détection de IUE.

Utilisant la procédure décrite à la Sect. 3, nous avons déterminé des éléments orbitaux, réels et fictifs, approchés. A partir de ces éléments, un premier calcul a été conduit pour une détermination simultanée de tous les éléments de pulsation et orbitaux. Ce calcul a été fait avec l'ensemble des vitesses radiales disponibles. Les résidus de vitesse laissés par ces éléments ont montré deux mesures nettement discordantes, une de Joy (JJ=25845) et une de Evans & Welch (JJ=48819). Un deuxième calcul a donc été fait sans ces mesures. Le résidus moyen passant ainsi de 1.45 à 1.07 km s^{-1} . L'étape suivante a été conduite pour déterminer les éléments de forme. Pour cela les périodes orbitale et de pulsation ont été fixées aux valeurs précédemment déterminées et seules les mesures de Evans & Welch, GIRSa et les mesures *Coravel* ont été retenues pour ce calcul. Cet ensemble de mesures étant de bien meilleure qualité que le reste de l'échantillon et donc susceptible de donner la précision maximale aux éléments de forme. Le reste des mesures étant par contre très utile pour la détermination des périodes, de par leur étalement dans le temps.

Le calcul des éléments définitifs a été fait avec toutes les mesures en fixant les éléments de formes aux valeurs déterminées au calcul précédent, et en laissant libre de nouveau les périodes pour un ajustement fin de celles-ci. Cela nous a donné une très bonne précision pour la période orbitale 382.90 ± 0.05 jours et la période de pulsation $10.885709 \pm 17 \cdot 10^{-6}$ jours, par ailleurs très proche de la dernière détermination de Szabados (1991) qui donne $10.885642 \pm 21 \cdot 10^{-6}$ jours.

6.4. U Vul

Les mesures *Coravel* ont débuté en octobre 1979 (phase orbitale 0.70). La duplicité de l'étoile a été établie avec certitude par nos mesures de vitesse en septembre 1981 (phase orbitale 0.98), avec seulement 15 vitesses, deux groupes de vitesses présentant un décalage d'environ 5 km s^{-1} aux mêmes phases de la pulsation. De 1981 à 1990, 31 mesures supplémentaires ont été obtenues afin d'une part, de calculer la période orbitale, et d'autre part, assurer une couverture homogène des cycles de pulsation et orbital. Nos mesures s'étalant régulièrement sur 3785 jours et sur deux maximums de la vitesse orbitale, il a été aisé de déterminer précisément la période 2510 ± 3 jours.

La duplicité de cette étoile a été envisagée, notamment par Szabados (1991), qui indique, sous réserve, une période de 868 jours, qui s'est avérée être un simple ordre de grandeur. D'autre part les observations IUE de Evans (1992) en ultraviolet n'ont pas permis la détection du compagnon de la céphéide. Le compagnon étant supposé plus froid que A1. Ce dernier résultat est parfaitement en accord avec notre détermination de $0.55 M_{\odot}$ pour la masse minimale du compagnon.

A partir des éléments orbitaux approchés, réels et fictifs, déterminés suivant la procédure de la Sect. 3, nous avons calculé simultanément, les 16 paramètres décrivant le mouvement orbital et les deux composantes de la pulsation. L'étoile étant relativement brillante, toutes les mesures, même les plus anciennes, peuvent être considérées de qualité équivalente. Nous avons donc conservé l'ensemble des mesures disponibles pour le calcul. Au cours du calcul la période de pulsation secondaire étant contrainte à être exactement 1/2 de la période principale.

La période de pulsation principale $7.990686 \pm 12 \cdot 10^{-6}$ jours, que nous avons définie est légèrement différente de la dernière détermination de Szabados (1991), $7.990821 \pm 26 \cdot 10^{-6}$ jours. Cette différence s'explique, sans doute, par les effets de la duplicité.

Récemment 16 vitesses radiales supplémentaires, mesurées avec *Coravel*, ont été publiées par Bersier et al. (1994). Ces mesures, ne sont pas de nature à modifier significativement nos résultats, car elles ont été effectuées à des époques contemporaines des nôtres, et ne sont qu'une duplication d'une partie de nos mesures.

Remerciements. Quelques observations, à des phases critiques du mouvement orbital ou de la pulsation, ont été obtenues grâce à la collaboration de : Claude Bardin, Jean-Michel Carquillat, Emile Ischi, Michel Mayor et Louis Prévot, que je remercie cordialement. Ma gratitude va aussi, tout particulièrement, à Antoine Duquenois.

Bibliographie

- Baranne A., Mayor M., Poncet J.L., 1979, *Vistas Astron.* 23, 279
 Barnes III T.G., Moffett T.J., Slovak M.H., 1988, *ApJS* 66, 43
 Bersier D., Burki G., Mayor M., Duquenois A., 1994, *A&AS* 108, 25
 Binnendijk L., 1960, *Properties of double stars.* University of Pennsylvania Press
 Burki G., Mayor M., Benz W. 1982, *A&A* 109, 258
 Burki G., Benz W. 1982, *A&A* 115, 30
 Evans N.R., 1992, *ApJ* 384, 220
 Evans N.R. Welch D.L., 1993, *PASP* 105, 836
 Fernie J.D., 1964, *ApJ* 140, 1482
 Gieren W.P., 1989, *PASP* 101, 160
 Gorynya N.A., Irmambetova T.R., Rastorgouev A.S., et al., 1992a, *Pis'ma Astron. Zh.* 18, 777
 Gorynya N.A., Samus N.N., Irmambetova T.R., et al., 1992b, *IBVS* 3776
 Imbert M., 1972, *A&A*, 18, 267

- Imbert M., 1981, A&AS 44, 319
Imbert M., 1983, A&AS 53, 85
Imbert M., 1984, A&AS 58, 529
Imbert M., Andersen J., Ardeberg A., et al., 1985, A&AS 61, 259
Imbert M., 1987, A&A, 175, 30
Imbert M., 1988, A&AS 76, 459
Imbert M., Andersen J., Ardeberg A., et al., 1989, A&AS 81, 339
Imbert M., 1994, A&AS 105, 1
Joy A. H., 1937, ApJ 86, 263
Kraft R.P., 1961, ApJ 134, 616
Lehman-Filhes R., 1894, Astron. Nachr. 136, 17
Mayor M., Imbert M., Andersen J., et al., 1983, A&AS 54, 495
Mayor M., 1985, Proc. of IAU Coll. No. 88, 35
Moffett T.J., Barnes III T.G., 1987, PASP 99, 1206
Parsons S. B., Bouw, G.D., 1971, MNRAS 152, 133
Plavec M., Kratochvil P., 1964, Bull. astr. Inst. Czech. 15, 165
Schlesinger F., 1908, Allegh. Obs. Publ. 1, 33
Sanford R.F., 1928, ApJ 67, 326
Struve O., 1945, ApJ 102, 132
Szabados L., 1980, Comm. Konkoly Obs. No. 76
Szabados L., 1988, IBVS 3165
Szabados L., 1991, Comm. Konkoly Obs. No. 96
Szabados L., 1992, IBVS 3812

Tableau 5. Composante pulsation de la vitesse radiale (mesures Coravel) V_R mesurées - V_R orbitales calculées. (To be seen in landscape)

RX Cam							MW Cyg (suite)							Z Lac							U Vul								
date	TU	JH	Phase	V_R	date	TU	JH	Phase	V_R	date	TU	JH	Phase	V_R	date	TU	JH	Phase	V_R	date	TU	JH	Phase	V_R					
11178.2406		43814.5081	0.5893	-4.16	100282.1950		45011.3281	0.8348	18.79	21079.2239		44168.4473	0.5144	-15.91	180987.2206		47057.4238	0.9061	22.22	191179.1851		44197.2878	0.1638	-6.93	190987.2305		47058.4648	0.0017	18.96
21178.2431		43815.5256	0.7179	6.10	20482.2114		45062.3828	0.3076	-10.48	191179.1851		44197.2878	0.1638	-6.93	190987.2305		47058.4648	0.0017	18.96	21079.2239		44168.4473	0.5144	-15.91	180987.2206		47057.4238	0.9061	22.22
31178.2647		43816.6201	0.8363	18.89	80482.1920		45068.3032	0.0559	-4.13	291081.1836		44907.2783	0.3861	-15.95	200987.2322		47059.4766	0.0947	-1.45	71192.1845		48934.2813	0.4714	-3.23	200987.2322		47059.4766	0.0947	-1.45
51178.2435		43818.5288	0.0975	-11.32	291182.2108		45303.3853	0.7678	11.11	311081.2200		44909.4194	0.5828	-8.06	220987.2012		47061.3447	0.2663	-9.57	81192.1833		48935.2754	0.6380	3.90	220987.2012		47061.3447	0.2663	-9.57
61178.2442		43819.5532	0.2245	-14.4	31282.1947		45307.3291	0.2663	-12.08	11181.2020		44910.3501	0.6882	0.15	240987.1833		47063.2759	0.4437	-19.70	300693.2400		49169.5029	0.9730	14.05	240987.1833		47063.2759	0.4437	-19.70
71178.2626		43820.6057	0.3600	-7.60	170283.2036		45384.3599	0.0022	11.13	30786.2408		46615.5054	0.3099	-10.81	40788.2425		47347.5176	0.5551	-11.84	71192.1845		48934.2813	0.4714	-3.23	40788.2425		47347.5176	0.5551	-11.84
81178.2159		43821.4202	0.4630	-3.97	271183.2315		45666.4736	0.6584	0.25	150986.2247		46689.4526	0.1029	-2.13	50988.2234		47410.4434	0.3357	-10.08	71192.1845		48934.2813	0.4714	-3.23	150986.2247		46689.4526	0.1029	-2.13
91178.2227		43822.4365	0.5914	-3.89	281183.2122		45667.3950	0.7748	11.66	180986.2112		46692.3862	0.3724	-13.42	60988.2039		47411.5633	0.4202	-20.58	21079.2239		44168.4473	0.5144	-15.91	180986.2112		46692.3862	0.3724	-13.42
140179.2122		43888.3972	0.9281	22.71	291183.2241		45687.4497	0.9081	21.65	190986.2034		46693.3604	0.4619	-18.98	80988.2101		47413.3784	0.6053	-6.46	140179.2122		43888.3972	0.9281	22.71	190986.2034		46693.3604	0.4619	-18.98
150179.2144		43889.4089	0.0560	-5.27	301183.2142		45689.4087	0.0293	3.77	200986.2212		46694.4282	0.5600	-10.22	161188.1826		47482.2710	0.9341	22.83	150179.2144		43889.4089	0.0560	-5.27	200986.2212		46694.4282	0.5600	-10.22
210179.2222		43895.4351	0.8177	15.81	190984.2439		45963.5289	0.2030	-15.21	171286.1814		46782.2808	0.6305	-3.16	171188.1755		47483.2490	0.0239	15.21	210179.2222		43895.4351	0.8177	15.81	190984.2439		45963.5289	0.2030	-15.21
240179.1836		43898.2783	0.1770	-15.65	200984.2432		45964.5239	0.3288	-9.66	201286.1831		46785.2466	0.7192	6.87	251188.1811		47491.2603	0.7599	10.15	240179.1836		43898.2783	0.1770	-15.65	200984.2432		45964.5239	0.3288	-9.66
230279.1956		43928.3315	0.9754	18.07	210984.2432		45967.5405	0.7101	4.87	201286.1741		46786.2378	0.9940	20.24	31288.1726		47499.2285	0.4918	-17.37	230279.1956		43928.3315	0.9754	18.07	210984.2432		45967.5405	0.7101	4.87
310879.2700		44119.5313	0.1411	-15.08	10285.2121		46098.3921	0.2483	-17.75	191286.1814		46788.1753	0.6783	-13.17	71288.1725		47503.2275	0.8592	19.31	310879.2700		44119.5313	0.1411	-15.08	10285.2121		46098.3921	0.2483	-17.75
20979.2445		44119.5313	0.1411	-15.08	10285.2121		46098.3921	0.2483	-17.75	191286.1814		46788.1753	0.6783	-13.17	71288.1725		47503.2275	0.8592	19.31	20979.2445		44119.5313	0.1411	-15.08	10285.2121		46098.3921	0.2483	-17.75
80979.2606		44121.5483	0.3960	-7.44	190986.2451		46697.4279	0.4684	-3.49	201286.1831		46785.2466	0.7192	6.87	251188.1811		47491.2603	0.7599	10.15	80979.2606		44121.5483	0.3960	-7.44	190986.2451		46697.4279	0.4684	-3.49
80979.2606		44125.5879	0.9066	21.86	151286.2150		46780.4146	0.4488	-5.06	191286.1814		46788.1753	0.6783	-13.17	71288.1725		47503.2275	0.8592	19.31	80979.2606		44125.5879	0.9066	21.86	151286.2150		46780.4146	0.4488	-5.06
231079.2454		44170.5410	0.5882	-5.51	161286.2113		46781.3887	0.5720	-5.70	201286.1831		46785.2466	0.7192	6.87	251188.1811		47491.2603	0.7599	10.15	231079.2454		44170.5410	0.5882	-5.51	161286.2113		46781.3887	0.5720	-5.70
301079.2341		44177.4907	0.4665	-4.06	120487.1905		46898.2925	0.3474	-8.47	201286.1831		46785.2466	0.7192	6.87	251188.1811		47491.2603	0.7599	10.15	301079.2341		44177.4907	0.4665	-4.06	120487.1905		46898.2925	0.3474	-8.47
191179.2338		44197.4896	0.9442	15.32	140487.1917		46900.3008	0.6012	-3.71	201286.1831		46785.2466	0.7192	6.87	251188.1811		47491.2603	0.7599	10.15	191179.2338		44197.4896	0.9442	15.32	140487.1917		46900.3008	0.6012	-3.71
240280.1948		44294.3257	0.2333	-14.08	290687.2611		46976.5874	0.2430	-13.13	201286.1831		46785.2466	0.7192	6.87	251188.1811		47491.2603	0.7599	10.15	240280.1948		44294.3257	0.2333	-14.08	290687.2611		46976.5874	0.2430	-13.13
250280.2054		44295.3716	0.3634	-7.12	140787.2627		46991.5986	0.1403	-14.92	40687.2621		46951.5962	0.1844	-7.19	81288.1956		47504.3325	0.9607	23.83	250280.2054		44295.3716	0.3634	-7.12	140787.2627		46991.5986	0.1403	-14.92
260280.2054		44296.3711	0.4918	-2.52	280787.2645		47005.6118	0.9114	21.14	40687.2621		46951.5962	0.1844	-7.19	81288.1956		47504.3325	0.9607	23.83	260280.2054		44296.3711	0.4918	-2.52	280787.2645		47005.6118	0.9114	21.14
270280.2040		44297.3618	0.6170	-2.98	180887.2713		47026.6328	0.5682	-5.74	50687.2621		46952.5962	0.2765	-10.52	91089.1815		47809.2637	0.9728	22.81	270280.2040		44297.3618	0.6170	-2.98	180887.2713		47026.6328	0.5682	-5.74
191179.2338		44197.4896	0.9442	15.32	140487.1917		46900.3008	0.6012	-3.71	201286.1831		46785.2466	0.7192	6.87	251188.1811		47491.2603	0.7599	10.15	191179.2338		44197.4896	0.9442	15.32	140487.1917		46900.3008	0.6012	-3.71
200280.2031		44299.3555	0.8690	30.36	300887.2628		47038.6030	0.0811	-8.41	201286.1831		46785.2466	0.7192	6.87	251188.1811		47491.2603	0.7599	10.15	200280.2031		44299.3555	0.8690	30.36	300887.2628		47038.6030	0.0811	-8.41
10380.2135		44300.3994	0.0009	11.54	190987.2526		47058.5615	0.6037	-4.45	201286.1831		46785.2466	0.7192	6.87	251188.1811		47491.2603	0.7599	10.15	10380.2135		44300.3994	0.0009	11.54	190987.2526		47058.5615	0.6037	-4.45
170880.2749		44469.6577	0.3934	-7.67	220987.2436		47061.5264	0.9784	17.85	201286.1831		46785.2466	0.7192	6.87	251188.1811		47491.2603	0.7599	10.15	170880.2749		44469.6577	0.3934	-7.67	220987.2436		47061.5264	0.9784	17.85
180880.2739		44470.6509	0.5189	-4.59	61287.1757		47136.2529	0.4231	-5.88	201286.1831		46785.2466	0.7192	6.87	251188.1811		47491.2603	0.7599	10.15	180880.2739		44470.6509	0.5189	-4.59	61287.1757		47136.2529	0.4231	-5.88
190880.2770		44471.6382	0.6437	-1.11	71287.1808		47137.2607	0.5504	-5.12	201286.1831		46785.2466	0.7192	6.87	251188.1811		47491.2603	0.7599	10.15	190880.2770		44471.6382	0.6437	-1.11	71287.1808		47137.2607	0.5504	-5.12
200880.2745		44472.6553	0.7722	11.24	210288.1902		47213.2939	0.1602	-15.83	201286.1831		46785.2466	0.7192	6.87	251188.1811		47491.2603	0.7599	10.15	200880.2745		44472.6553	0.7722	11.24	210288.1902		47213.2939	0.1602	-15.83
210880.2738		44473.6509	0.8981	22.38	230288.2010		47215.3413	0.4190	-6.80	201286.1831		46785.2466	0.7192	6.87	251188.1811		47491.2603	0.7599	10.15	210880.2738		44473.6509	0.8981	22.38	230288.2010		47215.3413	0.4190	-6.80
220880.2742		44474.6538	0.0248	3.31	81288.1956		47504.3325																						

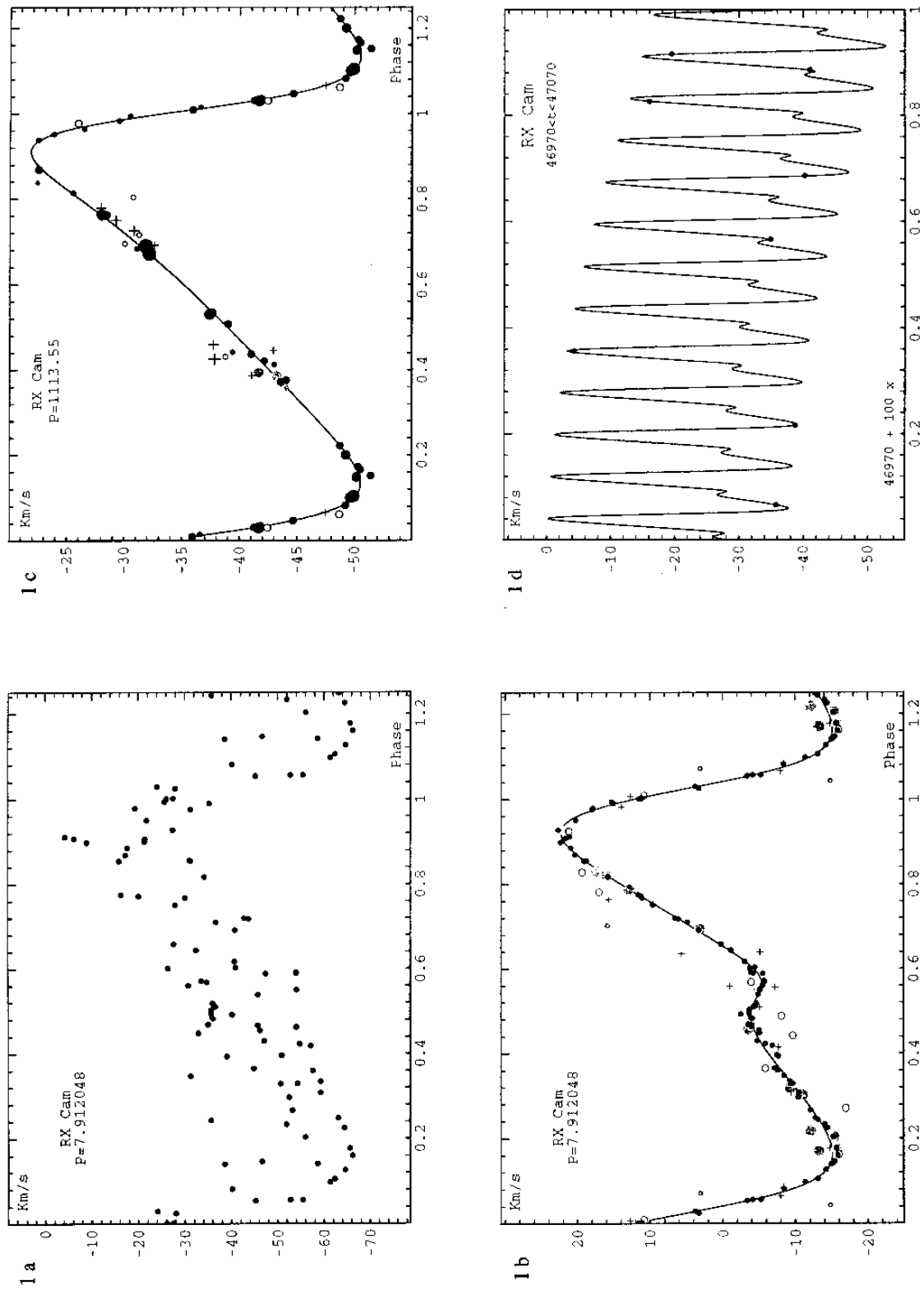


Fig. 1. Cercles pleins : Coravel ; cercles vides : Joy 1937 ; cercles gris : Gorynya et al. 1992a ; croix : Barnes et al. 1988 (To be seen in landscape)

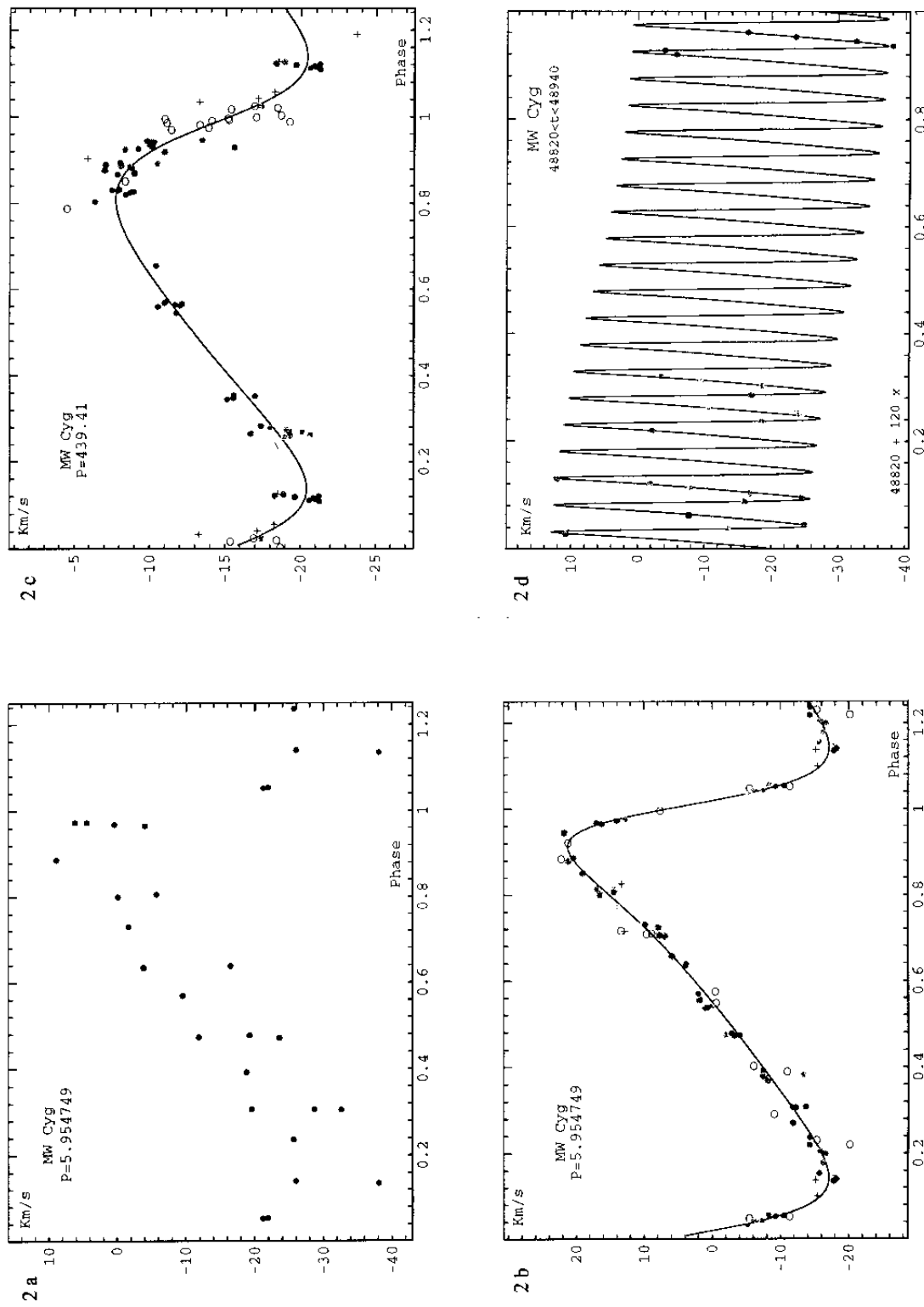


Fig. 2. Cercles pleins : Coravel ; cercles vides : Joy 1937, Struve 1945 ; cercles gris : Gorynya et al. 1992b ; croix : Barnes et al. 1988 (To be seen in landscape)

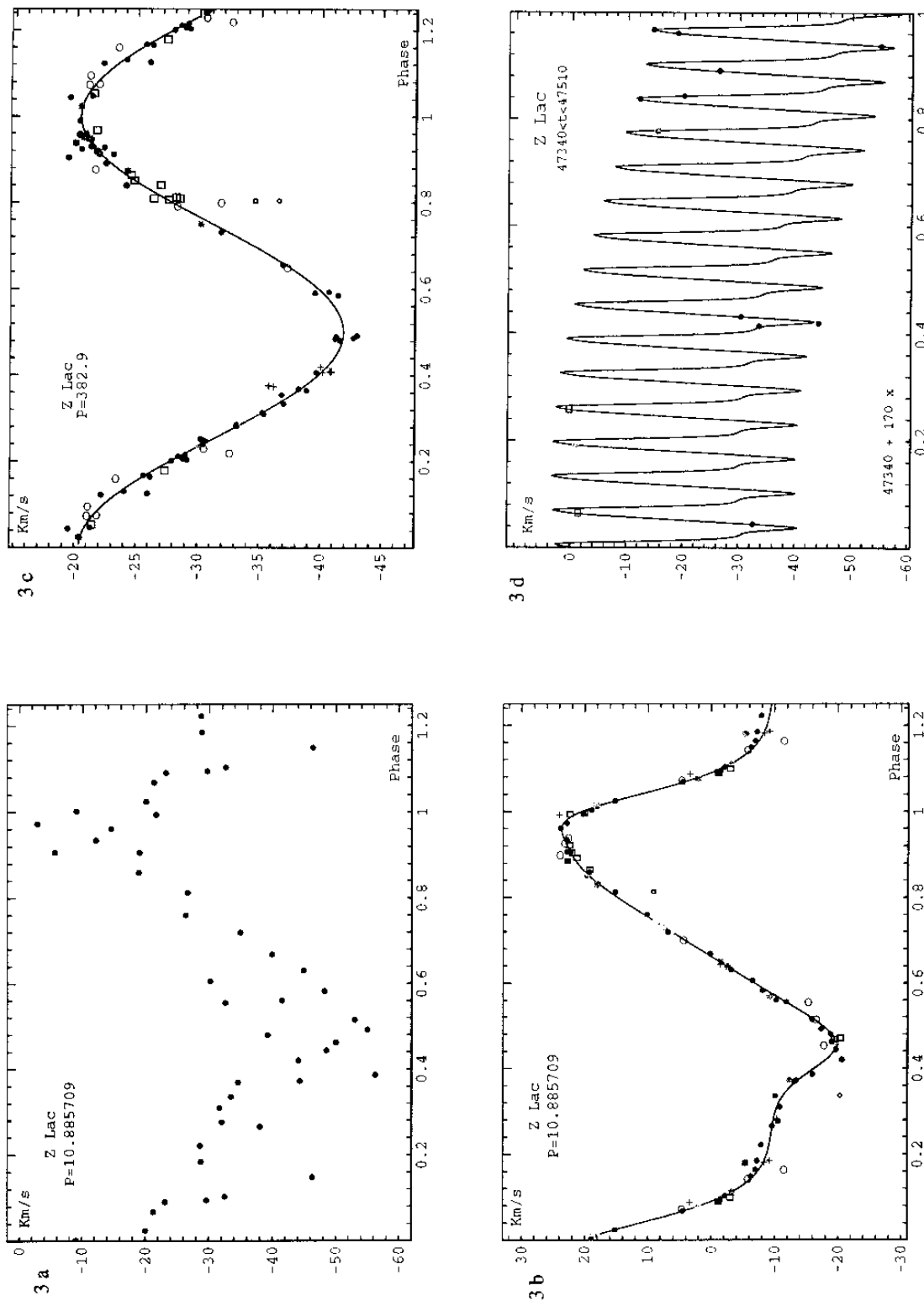


Fig. 3. Cercles pleins : Coravel ; cercles vides : Joy 1937 ; cercles gris : Gorynya et al. 1992a ; croix : Gieren 1989 ; carrés : Evans & Welch 1993 (To be seen in landscape)

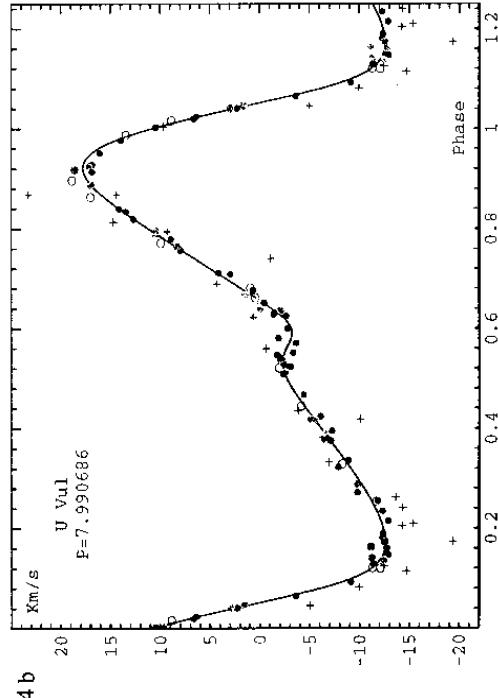
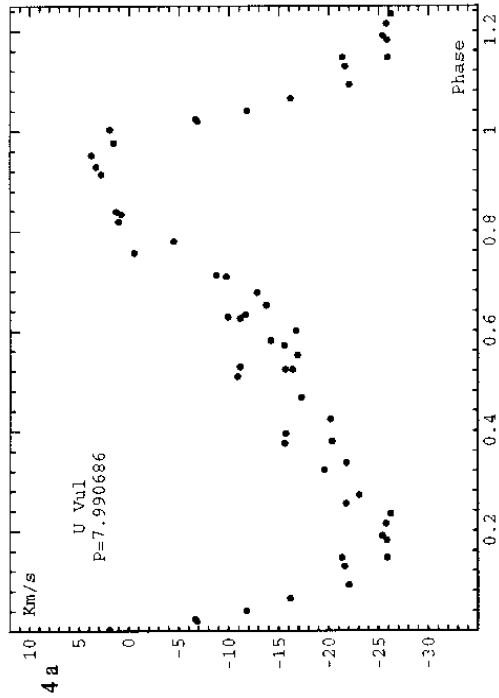
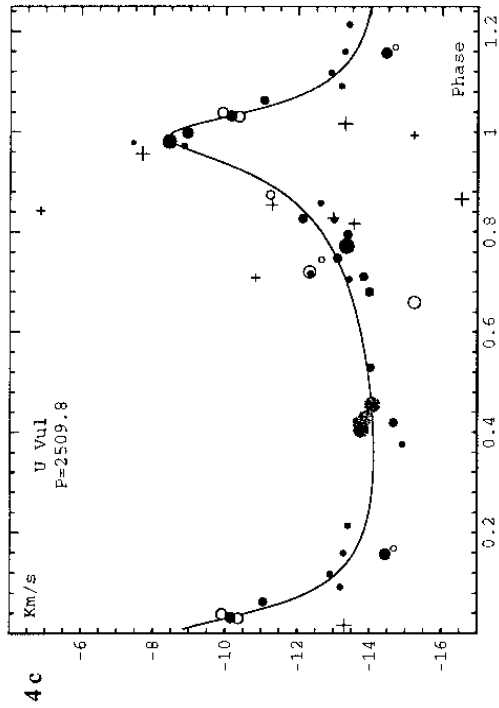


Fig. 1, 2, 3 et 4. -
 Représentation des mouvements de RX Cam, MW Cyg, Z Lac et U Vul.
 (a) - Diagramme phase-vitesse des mesures brutes ; la période est celle de la pulsation. La dispersion des vitesses montre la superposition d'un mouvement orbital au mouvement de pulsation.
 (b) - Représentation de la pulsation seule après soustraction du mouvement orbital.
 (c) - Représentation du mouvement orbital seul après soustraction du mouvement de pulsation. La taille des points est proportionnelle au nombre de mesures.
 (d) - Mouvement radial réel résultant de la pulsation et du mouvement orbital, représenté sur une partie du cycle orbital.
 Dans les figures (a) et (b) l'origine des phases est T_0 .
 Dans les figures (c) les mesures obtenues à des époques très voisines sont figurées par un seul symbole dont la taille est fonction du nombre de mesures et dont la coordonnée vitesse est la moyenne des vitesses. L'origine des phases est T_0G .

Fig. 4. Cercles pleins : Coravel ; cercles vides : Sanford 1951 ; cercles gris : Gorynya et al. 1992a ; croix : Barnes et al. 1988 (To be seen in landscape)

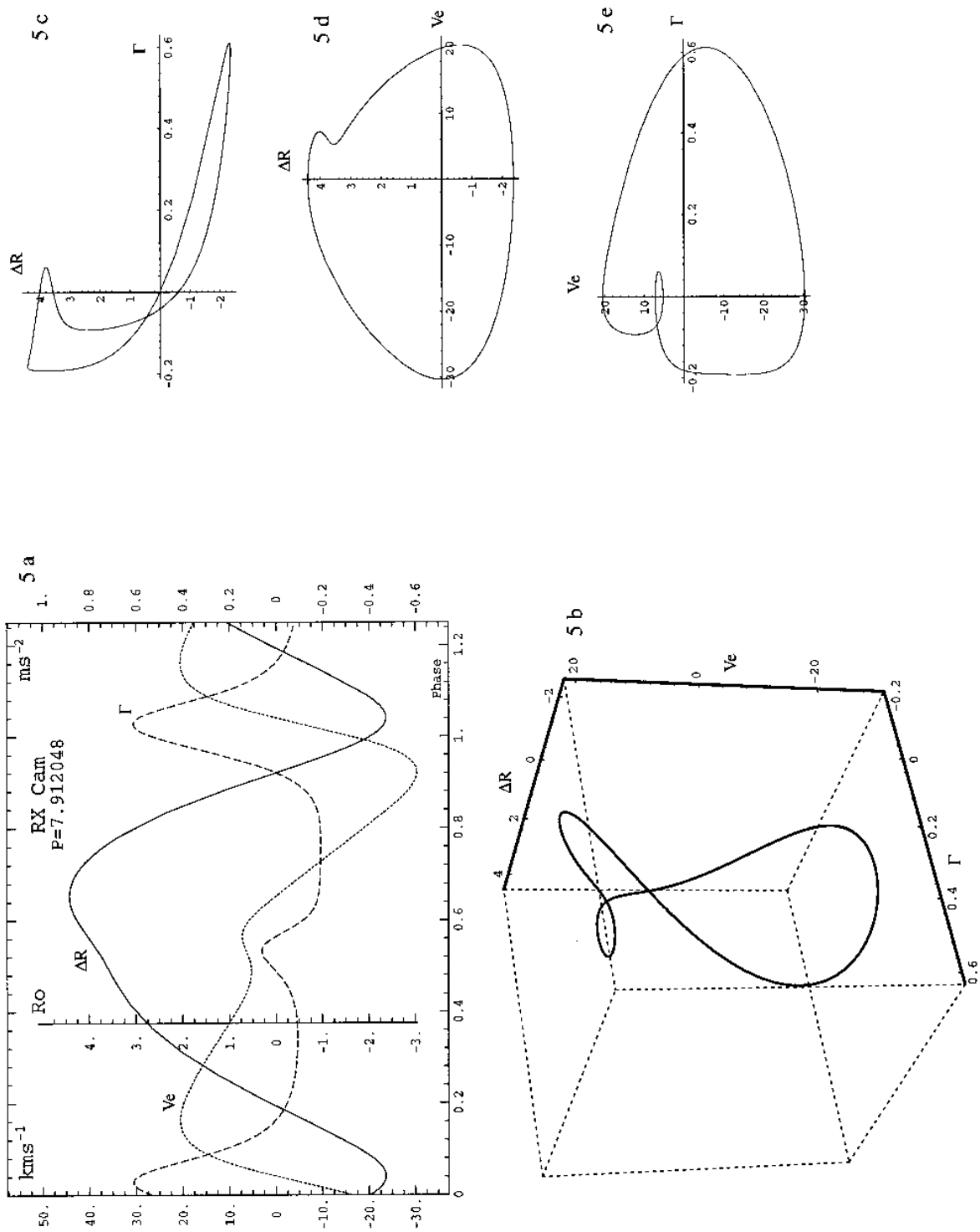


Fig. 5. Représentation du mouvement de pulsation de RX Cam. **a)** Vitesse d'expansion (V_e , variation du rayon (ΔR) et de l'accélération (Γ) au cours de la pulsation, **b)** représentation d'un cycle de pulsation dans l'espace ΔR , V_e , Γ , **c)** représentation d'un cycle de pulsation dans le plan ΔR , Γ , **d)** représentation d'un cycle de pulsation dans la plan ΔR , V_e , **e)** représentation d'un cycle de pulsation dans le plan V_e , Γ (**To be seen in landscape**)