

**EVOLUTION A LONG TERME DE RR LYRAE A PARTIR DES MAXIMA DE LA BASE DE
DONNEES DU GEOS**

VII. SW Aqr, SX Aqr, TW Boo, UU Boo, XZ Cyg, DX Del, BK Dra et SS Psc

Jacqueline Vandebroere

1. Introduction

Voici l'étude de l'évolution à long terme d'une septième série de RR Lyrae, faite à partir des maxima de la base de données du GEOS (Le Borgne et al., 2000 – 2006). La méthodologie est la même que celle des articles précédents (NC 1021, 1023, 1030, 1034, 1036 et 1042), soit pour chaque étoile :

- Renseignements du GCVS et courbe des O-C de la base de données du GEOS.
- Vérification de la cohérence des O-C ; si nécessaire, nouvelle numérotation des maxima et rejet des instants manifestement erronés ou trop peu précis.
- Calcul des éléments de la période, avec tous les maxima conservés, à l'aide d'une éphéméride linéaire unique et examen de la courbe des nouveaux O-C.
- Si le graphique de ces O-C est de forme parabolique, calcul d'un terme non linéaire et visualisation des O-C résiduels.
- Conclusions et tentative d'interprétation des phénomènes observés.

2. SW Aqr

- GCVS : RRab, mag. 10.37 à 11.68 (V), sp. A5 – G1, pér. var., JH 2425097.3771 + 0.45930318 E.
Base de données : 93 maxima s'étendant sur 93 ans. Le graphique des O-C ne montre pas de grands changements de période.
- Nous n'avons écarté que 2 maxima : l'époque du GCVS qui ne correspond pas à un instant observé et le maximum déduit des mesures Hipparcos qui s'écarte trop des autres instants.
- La nouvelle régression linéaire, calculée avec 91 maxima, nous donne les éléments de la période qui suivent :

$$\text{JH } 2425097.378 (\pm 0.001) + 0.45930314 (\pm 0.00000005) \text{ E} \quad (2)$$

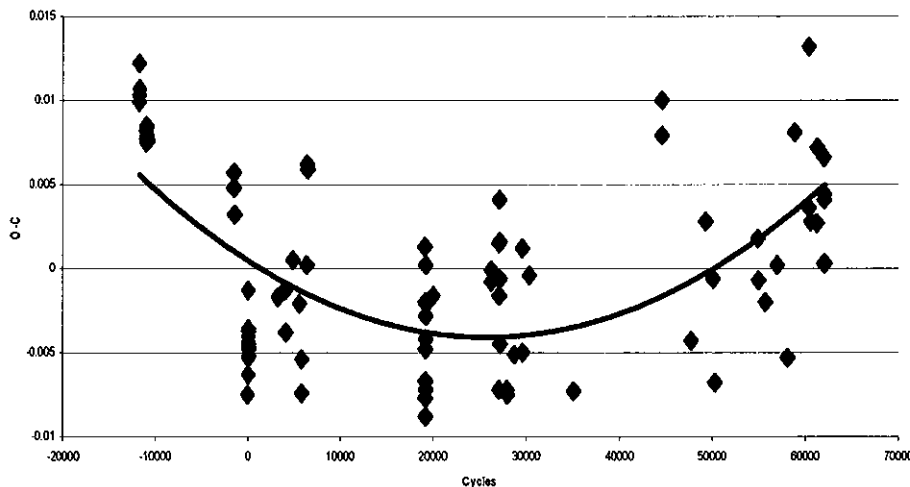


Fig. 1 : Courbe des O-C de SW Aqr avec l'éphéméride (2)

Nous observons sur la fig. 1 que les maxima sont particulièrement peu dispersés. On y distingue toutefois une légère augmentation de la période.

- Comme l'allure générale des O-C de SW Aqr peut être représentée par une parabole, nous avons calculé un terme non linéaire qui correspondrait à une croissance à taux constant. Nous avons obtenu : $0.0685775 \times 10^{-10} E^2 - 0.0353235 \times 10^{-5} E + 0.0004621 j$. Après leur soustraction des O-C (2), les O-C résiduels (voir fig. 2) ne montrent plus de variation, mais la dispersion des instants n'est pas moindre.
- Conclusion : il est possible que SW Aqr croisse à un taux constant. Dans ce cas, l'éphéméride quadratique représentant les éléments de sa période serait :

$$\text{JH } 2425097.3785 + 0.45930279 E + 0.069 \times 10^{-10} E^2$$

et, depuis 93 ans, le taux de croissance constant serait de :

$$\frac{dP/dt}{0.45930314} = 2 \times \frac{0.0685775 \times 10^{-10}}{0.45930314} = 0.299 \times 10^{-10} \text{ j/j}$$

et la période aurait augmenté de 0.09 s. Un changement aussi minime a besoin de nouvelles années d'observation pour pouvoir être confirmé. Il est toutefois conforme aux prédictions des modèles d'évolution des RR Lyrae.

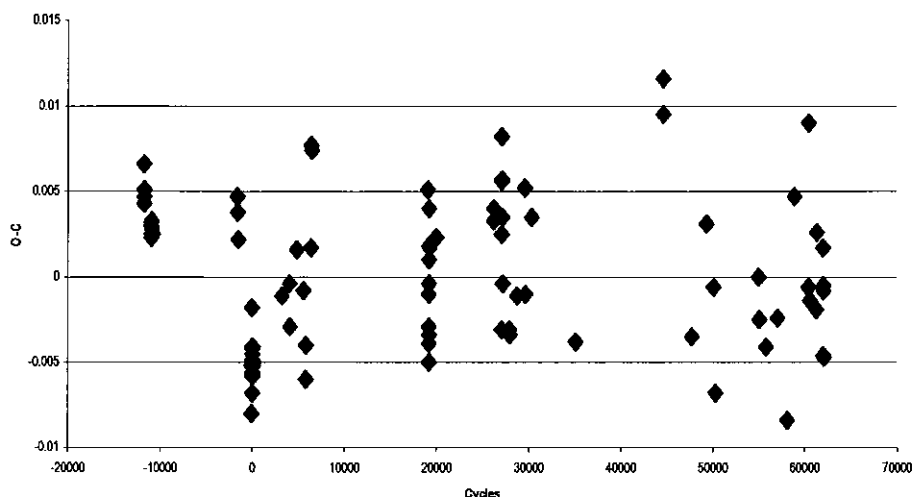


Fig. 2 : O-C résiduels de SW Aqr avec les nouveaux éléments

3. SX Aqr

- a) GCVS : R Rab, mag 11.05 à 12.19 (V), sp. A4 – F6, pér. var. ?, JJH 2439796,326 + 0.5357142 E
Base de données : 93 maxima s'étendant sur 93 ans. Le graphique des O-C montre que la période a diminué.
- b) Nous avons dû rejeter 5 maxima, 2 totalement discordants et les plus imprécis des instants photographiques. Ceci réduit le laps de temps couvert à 92 ans.
- c) Une régression linéaire avec les 88 maxima conservés nous donne les éléments qui suivent :

$$\text{JJH } 2439796.2983 (\pm 0.005) + 0.53571281 (\pm 0.0000002) E \tag{2}$$

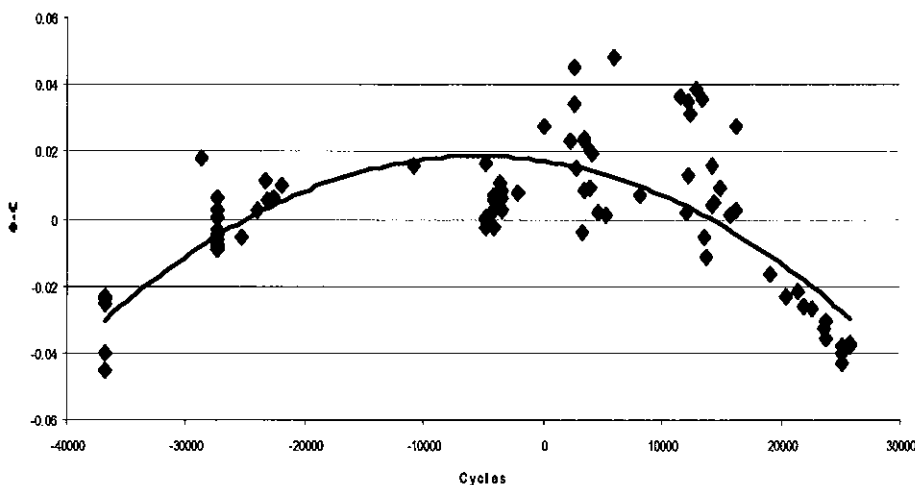


Fig. 3 : Courbe des O-C de SX Aqr avec l'éphéméride (2)

Le graphique de la fig. 3 montre une grande dispersion des instants du cycle 2000 à 16000. Hormis 2 maxima visuels, il s'agit d'instant déterminés à partir de longues poses photographiques qui ont tendance à donner des O-C trop positifs à cause de l'asymétrie de la courbe de lumière de SX Aqr (M-m = 16 % p). Sans données plus précises, nous ne pouvons éliminer plus de maxima.

- d) Néanmoins, l'allure de la courbe des O-C est clairement parabolique, montrant que la période de SX Aqr a diminué à un taux constant. Nous avons donc calculé un terme non linéaire représentant la décroissance et nous avons obtenu : $- 0.4964308 \times 10^{-10} E^2 - 0.0540625 \times 10^{-5} E + 0.0173248 j$. Après leur soustraction des O-C (2), les O-C résiduels qui apparaissent à la fig. 4 montrent que le terme non linéaire pourrait bien être un peu plus grand.
- e) Conclusion : SX Aqr décroît à un taux constant et l'éphéméride quadratique qui représente les éléments de sa période est :

$$\text{JJH } 2439796.3156 + 0.53571227 E - 0.496 \times 10^{-10} E^2$$

et, depuis 92 ans, le taux de décroissance constant a été d'au moins :

$$\frac{dP}{dt} = 2 \times \frac{-0.4964308 \times 10^{-10}}{0.53571281} = -1.853 \times 10^{-10} \text{ j/j}$$

et la période a au moins décréu de 0.54 s.

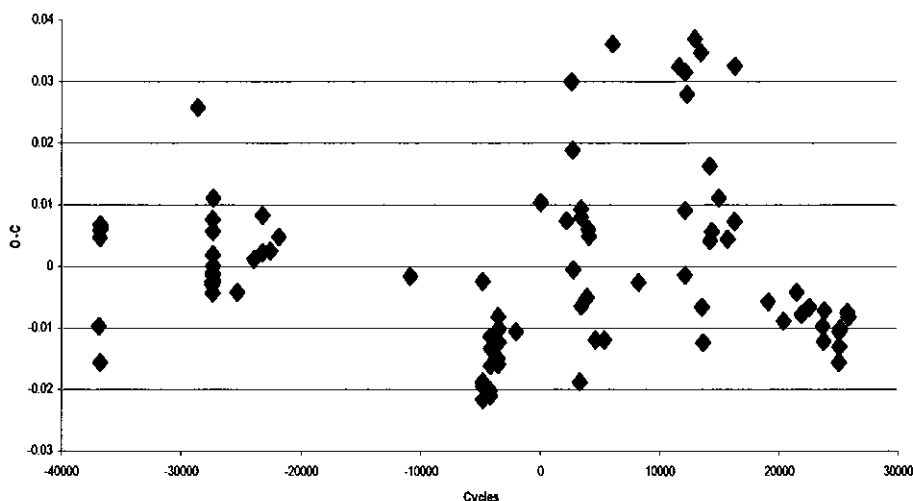


Fig. 4 : O-C résiduels de SX Aqr avec les nouveaux éléments

4. TW Boo

- a) GCVS : RRab, mag. 10.63 à 11.68 (V), sp. F0 – F8, pér. var., JJH 2426891.268 + 0.53227315 E
Base de données : 93 maxima s'étendant sur 93 ans. Le graphique les O-C montre que la période a tendance à diminuer légèrement.
- b) Nous avons éliminé 11 instants erronés ou trop peu précis, dont le plus ancien, ce qui ramène la période couverte par les observations utilisées à un peu plus de 91 ans.
- c) La régression linéaire effectuée avec 82 maxima nous donne l'éphéméride suivante :
JJH 2426891.2762 (± 0.004) + 0.53227234 (± 0.0000002) E (2)

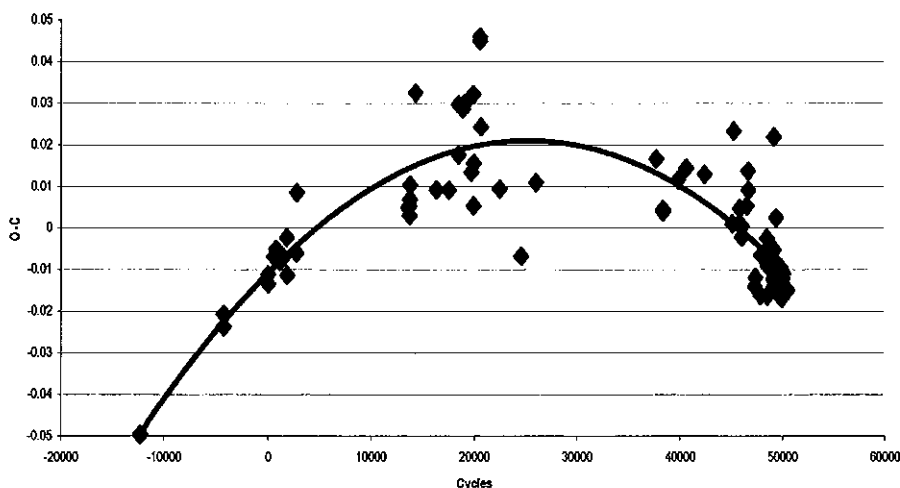


Fig. 5 : Courbe des O-C de TW Boo avec l'éphéméride (2)

Sur le graphique de la fig. 5, la courbe des O-C nous montre que la période de TW Boo a eu tendance à diminuer et que cette diminution pourrait être représentée par une parabole et être donc à taux constant dans son ensemble.

- d) Nous avons donc calculé un terme non linéaire représentant l'évolution générale de la période, soit :
 $-0.5012544 \times 10^{-10} E^2 + 0.2524766 \times 10^{-5} E - 0.01077 \text{ j}$. Après leur soustraction des O-C (2), les O-C résiduels (voir fig. 6) ne montrent plus de variation. Il est toutefois à noter que la dispersion résiduelle des O-C n'est pas uniquement due à l'imprécision des maxima. En effet, la dernière série d'instantants ont tous été obtenus à partir de mesures CCD et leur précision est d'au moins 0.01 j. Or, leur dispersion est de près de 0.04 j. alors que la courbe de lumière de TW Boo, composée avec les mesures du satellite Hipparcos, ne montre pas d'effet Blazhko.

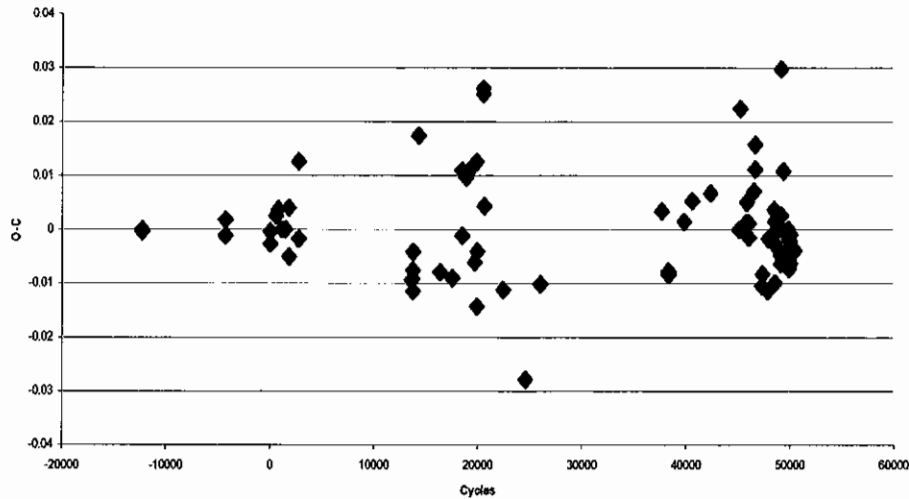


Fig. 6 : O-C résiduels de TW Boo avec les nouveaux éléments

e) Conclusion : l'éphéméride quadratique qui représente l'évolution de la période de TW Boo est :

$$JJH\ 2426891.2654 + 0.53227486\ E - 0.501 \times 10^{-10}\ E^2$$

et, depuis 91 ans, le taux constant de croissance est dans l'ensemble de :

$$dP/dt = 2 \times \frac{-0.5012544 \times 10^{-10}}{0.53227234} = -1.88 \times 10^{-10}\ j/j$$

et la période a décréu de 0.54 s. Il sera très intéressant de voir si cette décroissance va continuer au même rythme dans les prochaines années. D'autre part, l'étude des changements de période à court terme ne serait pas inutile.

5. UU Boo

a) GCVS : RRab, mag. 11.50 à 12.81 (V), sp. A, pér. var., JJH 2436084.410 + 0.4569205 E.

Base de données : 86 maxima s'étendant sur 98 ans. Le graphique des O-C montre un saut de cycle et un accroissement flagrant de la période.

b) Nous n'avons dû éliminer que 2 instants photographiques moins précis que ceux de l'ensemble de la série. Nous avons fait une régression linéaire avec 84 maxima, ce qui nous donne :

$$JJH\ 2436084.5302 (\pm 0.02) + 0.4569190 (\pm 0.000001)\ E \tag{2}$$

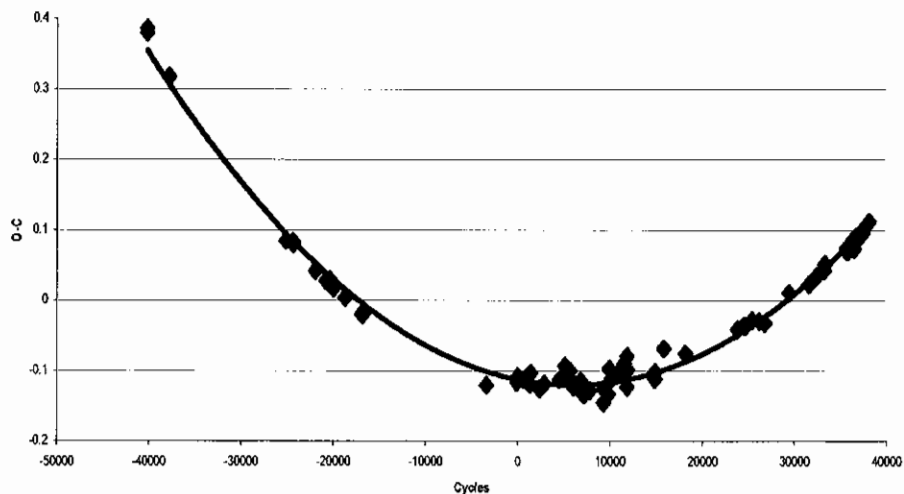


Fig. 7 : Courbe des O-C de UU Boo avec l'éphéméride (2)

Sur la fig. 7, nous voyons que la courbe des O-C est de forme parabolique et que les 3 groupes de maxima se rattachent très bien, permettant l'extrapolation lorsqu'il n'y a pas d'observation.

d) Nous avons donc calculé un terme non linéaire représentant la croissance à taux constant de la période de UU Boo et nous avons obtenu : $2.234343 \times 10^{-10}\ E^2 - 0.2641303 \times 10^{-5}\ E - 0.1126402\ j$. Après leur soustraction des O-C (2), les O-C résiduels (voir fig. 8) n'ont plus de dispersion supérieure à la précision des instants. Il serait souhaitable de disposer de plus de maxima anciens afin de mieux couvrir tout le laps de temps considéré.

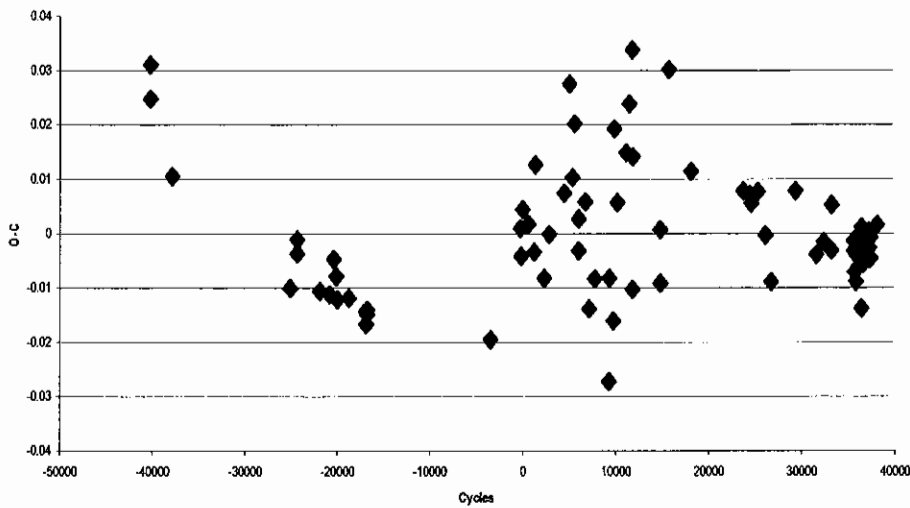


Fig. 8 : O-C résiduels de UU Boo avec les nouveaux éléments

e) Conclusion : l'éphéméride quadratique qui représente l'évolution de la période de UU Boo est :

$$JJH\ 2436084.4176 + 0.45691636\ E + 2.234 \times 10^{-10}\ E^2$$

et, depuis 98 ans, le taux constant de croissance est de :

$$dP/dt = 2 \times \frac{2.2343432 \times 10^{-10}}{0.456919} = 9.78 \times 10^{-10}\ j/j$$

et la période a augmenté de 3.02 s. Ceci est déjà une croissance assez rapide.

6. XZ Cyg

a) GCVS : RRab, mag. 8.9 à 10.16 (V), sp. A5 – F5, pér. var., fort effet Blazhko var. (56 – 58 j.), JJH 2444124.440 + 0.46670 E.

Base de données : 1727 maxima s'étendant sur 101 ans. Le graphique de O-C montre de nombreux sauts de cycles.

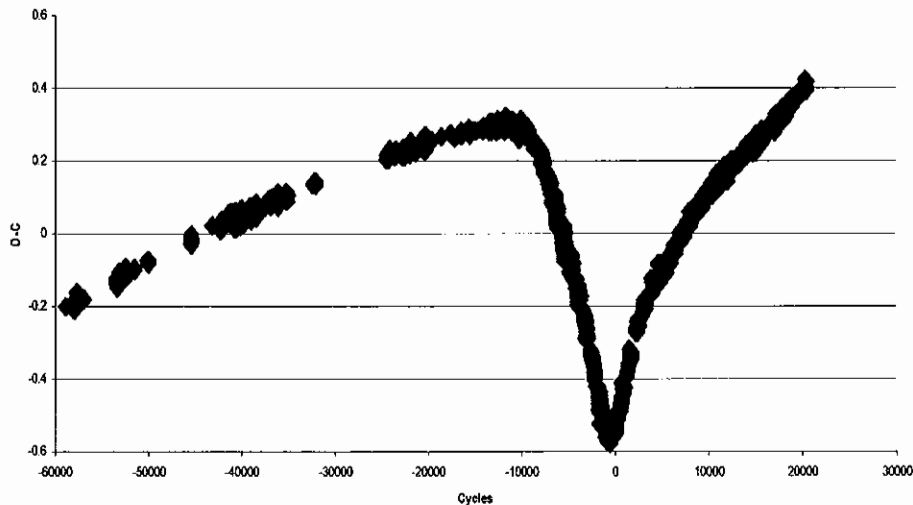


Fig. 9 : Courbe des O-C de XZ Cyg avec l'éphéméride (2)

b) La période du GCVS étant beaucoup trop longue, la numérotation correcte des maxima nous a pris un certain temps, mais n'a pas posé de problème. Par contre, les nombreux instants photoélectriques de Wenske étaient systématiquement décalés par rapport aux autres observations. Nous avons calculé la déviation moyenne de ses mesures et nous y avons ajouté 0.04 j., considérant que l'observateur avait, comme pour AV Peg, publié des instants où la magnitude de la variable égalait celle d'une étoile de comparaison. Nous avons ensuite éliminé 109 maxima s'écartant vraiment trop de la série.

c) Nous avons fait une régression linéaire avec les 1618 maxima conservés et obtenu les nouveaux éléments qui suivent :

$$JJH\ 2444124.978 (\pm 0.01) + 0.46657216 (\pm 0.0000006)\ E \tag{2}$$

Ils nous permettent d'obtenir le graphique des O-C de la fig. 9. Nous en déduisons que la période de XZ Cyg est tout d'abord, entre les cycles -60000 et -11000 (64 ans), restée stable tout en diminuant très légèrement, pour décroître ensuite très brusquement et rester constante pendant 13 ans et après retourner très vite à une

période encore plus longue que celle du début des observations, mais qui a progressivement un peu diminué. L'effet Blazhko est bien perceptible sur la courbe des O-C.

- d) Conclusion : il y a probablement eu un réajustement des modes de pulsation de XZ Cyg pendant 13 ans ce qui empêche de percevoir le sens exact de l'évolution de sa période dans son ensemble.

7. DX Del

- a) GCVS : R Rab, mag. 9.52 à 10.26 (V), sp. A9 – F6, J J H 2439367.340 + 0.47261673 E.
Base de données : 228 maxima s'étendant sur 76 ans. Le graphique des O-C montre qu'il y a plusieurs observations suspectes et que la période semble légèrement plus longue.
- b) 18 instants ont été répertoriés 2 fois et 25 maxima ont dû être éliminés, car erronés ou trop imprécis.
- c) Nous avons calculé, avec les 185 maxima conservés, les nouveaux éléments linéaires de la période de DX Del et nous avons obtenu :

$$J J H 2439367.3453 (\pm 0.002) + 0.47261802 (\pm 0.0000001) E \tag{2}$$

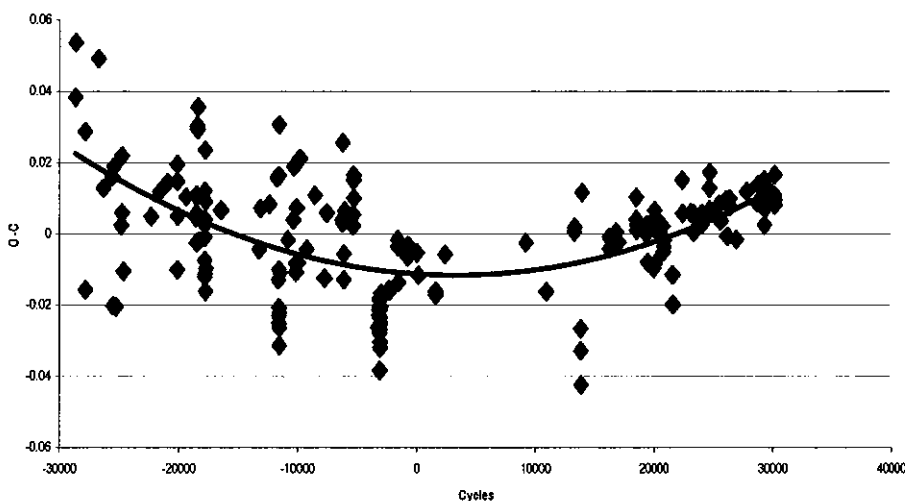


Fig. 10 : Courbe des O-C de DX Del avec l'éphéméride (2)

Sur la fig. 10, nous voyons que les instants disponibles sont assez dispersés. C'est dû à la faible précision des longues poses photographiques ou aux observations visuelles qui composent toute la première partie. Nous pouvons toutefois reconnaître l'allure parabolique de la courbe des O-C. Les 5 mesures photoélectriques que nous possédons de part et d'autre du cycle zéro sont toutes très proches de la parabole obtenue ce qui conforte notre impression.

- d) Nous avons calculé un terme non linéaire pour quantifier le taux constant de croissance de DX Del, soit : $0.3345685 \times 10^{-10} E^2 - 0.0217359 \times 10^{-5} E - 0.0112482 j$. Après leur soustraction des O-C (2), les O-C résiduels (voir fig. 11) ne montrent plus de variation, mais les instants photographiques et visuels restent naturellement fort dispersés.

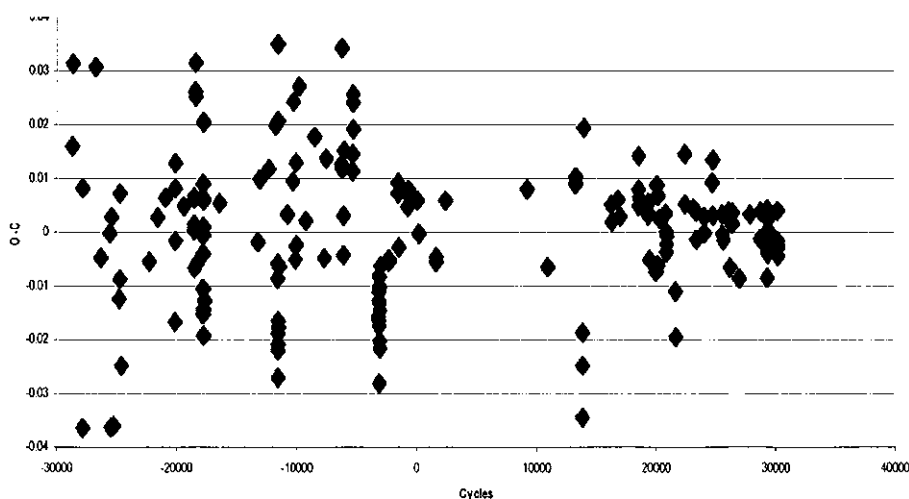


Fig. 11 : O-C résiduels de DX Del avec les nouveaux éléments

- e) Conclusion : DX Del croît à un taux constant. L'éphéméride quadratique qui représente les éléments de sa période est :

$$JJH\ 2439367.3341 + 0.4726178\ E + 0.335 \times 10^{-10}\ E^2$$

et, depuis 76 ans, le taux de croissance constant est de :

$$dP/dt = 2 \times \frac{0.3345685 \times 10^{-10}}{0.47261802} = 1.42 \times 10^{-10}\ j/j$$

et la période a augmenté de 0.34 s. Ceci est un taux de croissance tout à fait dans la norme de ce que nous avons déjà pu découvrir parmi les RRab du champ de notre galaxie, sans être exceptionnellement élevé.

8. BK Dra

- a) GCVS : RRab, mag. 10.59 à 11.87 (V), sp. A8, pér. var., JJH 2425523.305 + 0.5920815 E.
Base de données : 258 maxima s'étendant sur 106 ans. Le graphique des O-C montre que, comme mentionné dans le GCVS, la période de BK Dra a changé au moins une fois.
- b) Nous avons éliminé 7 instants vraiment erronés ou trop peu précis. Nous aurions peut-être pu être plus sévères.
- c) La nouvelle régression linéaire, faite avec 251 maxima, nous donne les éléments suivants :

$$JJH\ 2425523.338 (\pm 0.004) + 0.59207794 (\pm 0.0000002)\ E \quad (2)$$

La période est un peu plus courte que celle du GCVS.

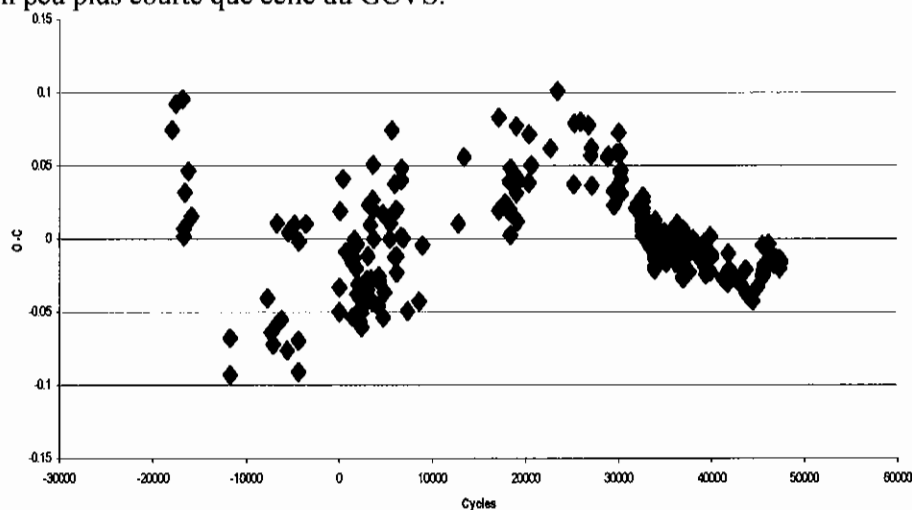


Fig. 12 : Courbe des O-C de BK Dra avec l'éphéméride (2)

Sur la fig. 12, nous pouvons constater une diminution brusque de la période de BK Dra vers le cycle 22000 (JJ 38500) et probablement aussi, avant cela, une augmentation tout aussi brutale vers le cycle -7500 (JJ21000). Dans le GCVS, l'éphéméride change vers JJ 16500 ; Jean-François Le Borgne montre dans la NC 351 qu'une nouvelle variation est intervenue vers JJ 42000, tandis que J. Vandenbroere (NC 648) trouve la période de BK Dra stable entre 1981 (JJ 44800) et 1990 (JJ 48000).

- d) Conclusion : de ce qui précède, nous retiendrons que la période de BK Dra s'est modifiée plusieurs fois. Il est peut-être possible de trouver d'autres anciens instants de maxima dans la littérature et il sera utile de continuer à observer des maxima précis dans l'avenir afin d'obtenir une meilleure vue d'ensemble de l'évolution de cette RRab.

9. SS Psc

- a) GCVS : RRC, mag. 10.73 à 11.21 (V), sp. A7 – F2, effet Blazhko, JJH 2419130.305 + 0.28779276 E.
Base de données : 87 maxima s'étendant sur 93 ans. Le graphique des O-C montre que certains maxima sont très dispersés et il semble que la période ait diminué.
- b) Nous avons éliminé 12 instants. D'après les notes du GCVS, l'effet Blazhko induit des variations des maxima allant jusqu'à -0.04 j. et +0.04j. Toutefois, au vu du compositage de la courbe de lumière de SS Psc avec les mesures du satellite Hipparcos également disponible dans la base de données, l'amplitude de ces variations semble un peu surestimée. Nous n'avons quand même rejeté que les instants dépassant les 0.08 j. de dispersion sur quelques saisons d'observation.
- c) La régression linéaire faite avec les 75 maxima conservés nous donne les éléments qui suivent :

$$JJH\ 2419130.3387 (\pm 0.006) + 0.28779208 (\pm 0.0000002)\ E \quad (2)$$

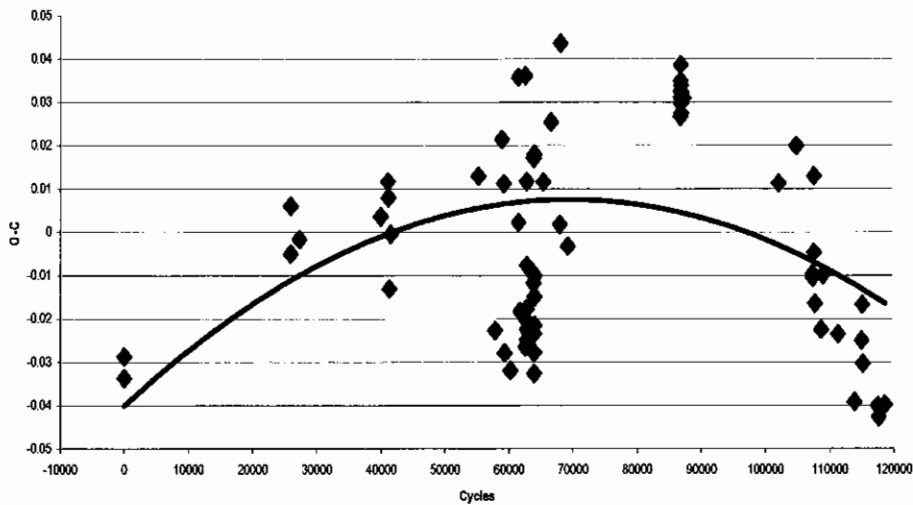


Fig. 13 : Courbe des O-C de SS Psc avec l'éphéméride (2)

Sur le graphique de la fig. 13, nous avons aussi dessiné la courbe de tendance d'ordre 2 qui nous montre que la période de SS Psc a décrû depuis qu'elle est observée. Toutefois, la parabole ne passe pas bien par tous les groupes de points, soit à cause de l'imprécision des instants, soit à cause de la mauvaise répartition des groupes d'observation sur la période Blazhko, soit encore parce que la décroissance de la période ne s'est pas toujours faite au même taux.

- d) Conclusion : SS Psc est une RRc très intéressante. Un suivi régulier avec des mesures précises permettrait de mieux déterminer l'évolution de sa période à long terme et de mieux cerner les particularités de l'effet Blazhko.

10. Conclusions générales

Avec ce septième article sur l'évolution à long terme de RR Lyrae de la base de données du GEOS, nous avons calculé le taux de croissance constant de deux étoiles, UU Boo et DX Del, ainsi que celui, plus faible, de SW Aqr qui devra être confirmé. Nous avons fait de même pour le taux constant de décroissance de SX Aqr et de TW Boo et nous avons montré que la période de SS Psc diminuait depuis qu'on l'observait, mais probablement pas toujours au même rythme. Enfin, nous avons analysé les changements de période beaucoup plus brutaux et irréguliers de XZ Cyg et BK Dra.

A notre connaissance, les taux constants d'évolution des étoiles étudiées dans cet article n'avaient encore jamais été publiés.

Nous sommes étonnés de ne pas rencontrer plus de RR Lyrae, dont la période est stable ou varie de façon irrégulière en une centaine d'années. Nous continuerons notre travail afin d'obtenir un aperçu le plus complet possible de l'évolution à long terme des RR Lyrae du champ de notre galaxie.

11. Bibliographie

- Kholopov P.N., 1985, General Catalogue of Variable Stars
- Le Borgne J.F., Paschke A., Vandenbroere J., Acerbi R., Martignoni M., 2000 – 2006, the GEOS RR Lyrae stars database, <http://dbRR.ast.obs-mip.fr>
- Le Borgne J.F., 1983, Note Circulaire GEOS n° 351
- Vandenbroere J., 2005 – 2006, Notes Circulaires GEOS n° 1021, 1023, 1030, 1034, 1036, et 1042
- Vandenbroere J., 1991, Note Circulaire GEOS n° 648