

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

VIII. CM Boo, AH Cam, TV CrB, VV Peg, BH Peg, AR Per, AN Ser, AR Ser et SS Tau

Jacqueline Vandenbroere

1. Introduction

Voici l'étude de l'évolution à long terme d'une huitième 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, 1042 et 1046), 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. CM Boo

- GCVS : RRab, mag. 11.6 à 12.4 (p), JJH 2435901.540 + 0.60908 E.
Base de données : 85 maxima s'étendant sur 52 ans. Le graphique des O-C montre que, du moins au cours des dernières années, la période a tendance à diminuer.
- Nous avons écarté les 7 maxima les moins précis.
- La nouvelle régression linéaire, effectuée avec 78 maxima répartis sur seulement 48 ans (le 1^{er} maximum n'a pu être conservé), nous donne les éléments de la période qui suivent :

$$\text{JJH } 2435901.571 (\pm 0.006) + 0.60907709 (\pm 0.0000006) \text{ E} \quad (2)$$

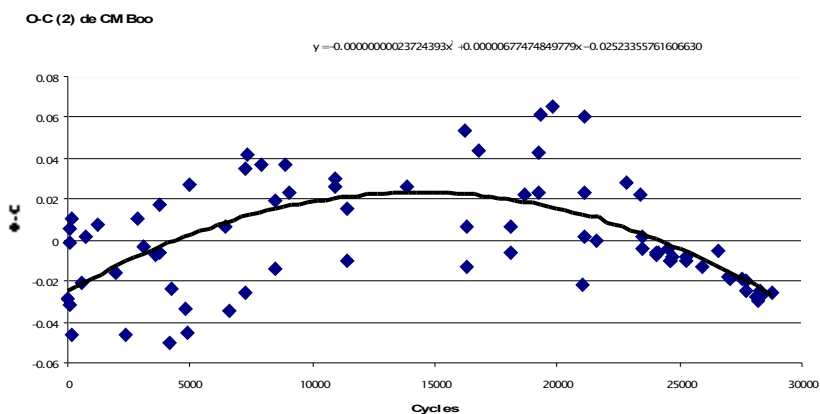


Fig. 1 : Courbe des O-C de CM Boo avec l'éphéméride (2)

Nous voyons sur la fig. 1 deux groupes de maxima de précision très différente. Les premiers instants sont photographiques, tandis que les derniers sont CCD, avec seulement quelques observations visuelles dans les deux groupes. Quoi qu'il en soit, la période de CM Boo semble bien avoir diminué régulièrement depuis le début des données.

- Comme l'allure des O-C peut être représentée par une parabole, nous avons calculé un terme non linéaire correspondant à une décroissance à taux constant. Nous avons obtenu : $-2.3724393 \times 10^{-10} \text{ E}^2 + 0.6774748 \times 10^{-5} \text{ E} - 0.0252336 \text{ j}$. Après sa soustraction des O-C (2), les O-C résiduels (voir fig. 2) ne montrent plus de variation, mais la précision des instants photographiques n'est évidemment pas améliorée.
- Conclusion : la période de CM Boo décroît à un taux constant et l'éphéméride quadratique représentant les éléments de cette période est :

$$\text{JJH } 2435901.546 + 0.60908386 \text{ E} - 2.372 \times 10^{-10} \text{ E}^2$$

et, depuis 48 ans, le taux de décroissance constant a été de :

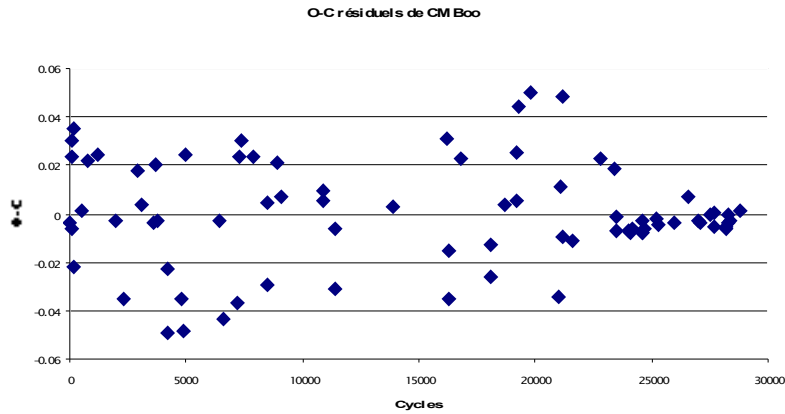


Fig. 2 : O-C résiduels de CM Boo avec les nouveaux éléments

$$dP/dt = 2 \times \frac{-2.3724393 \times 10^{-10}}{0.60907709} = -7.79 \times 10^{-10} \text{ j/j}$$

et la période a décrû de 1.18 s. Ceci est déjà une diminution assez rapide. Il faudrait essayer de savoir si elle se produisait déjà au cours des 50 années précédant les données de la base. La présence d'Arcturus à un peu moins d'un degré de la variable est peut-être gênante sur certaines plaques photographiques !

3. AH Cam

a) GCVS : RRab, mag. 11.31 à 12.33 (V), sp. B9, étoile double, pér. var., mag. max., var., JJH 2438729.458 + 0.3687346 E.

Base de données : 89 maxima s'étendant sur 54 ans. Le graphique des O-C montre que la période actuelle est nettement plus courte.

b) Nous avons éliminé 8 instants, dont l'époque du GCVS qui n'est pas un maximum observé et nous avons déterminé 7 maxima supplémentaires à partir des mesures de Smith et al. (1991).

c) La régression linéaire, calculée avec 88 maxima, nous donne la nouvelle éphéméride suivante :

$$\text{JJH } 2438729.4207 (\pm 0.01) + 0.36872815 (\pm 0.0000006) \text{ E} \tag{2}$$

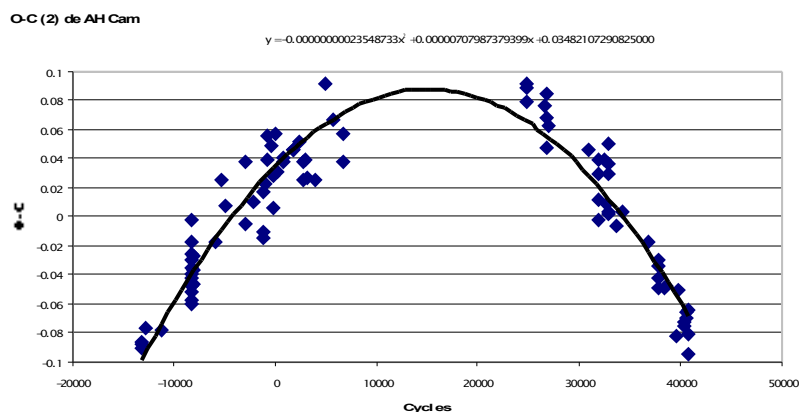


Fig. 3 : Courbe des O-C de AH Cam avec l'éphéméride (2)

Nous constatons sur la fig. 3 que les O-C (2) de AH Cam suivent une courbe parabolique et que, nonobstant le manque d'observation entre les cycles 7000 (JJ 41300) et 24900 (JJ 47800), nous pouvons considérer que la période a décrû à un taux constant depuis le début des observations disponibles.

d) Nous avons donc calculé un terme non linéaire correspondant à la décroissance et nous avons obtenu : $-2.3548733 \times 10^{-10} \text{ E}^2 + 0.7079874 \times 10^{-5} \text{ E} + 0.0348211 \text{ j}$. Après sa soustraction des O-C (2), les O-C résiduels (voir fig. 4) ne montrent plus de variation et si la dispersion des maxima est relativement grande, ceci résulte principalement de l'effet Blazhko (voir Smith et al., 1994).

e) Conclusion : nous avons découvert, car à notre connaissance aucune publication n'avait été faite à ce propos, que la période de AH Cam diminue à un taux constant. L'éphéméride quadratique représentant les éléments de sa période sont :

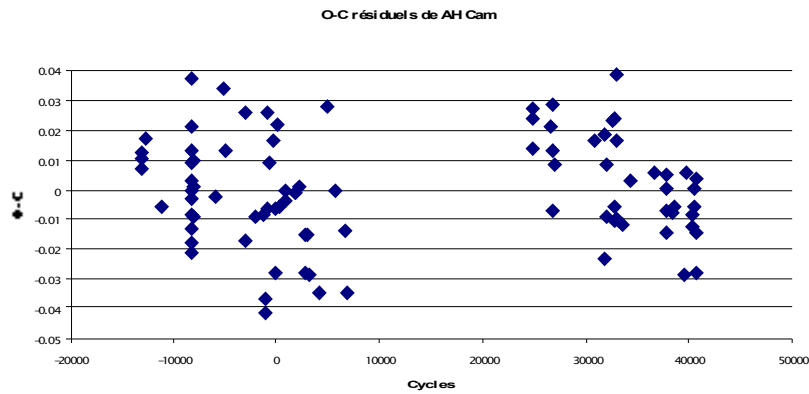


Fig. 4 : O-C résiduels de AH Cam avec les nouveaux éléments

$$JJH\ 2438729.4555 + 0.36873523\ E - 2.3549 \times 10^{-10}\ E^2$$

et, depuis 54 ans, le taux de décroissance constant est de :

$$dP/dt = 2 \times \frac{-2.3548733 \times 10^{-10}}{0.36872815} = -1.277 \times 10^{-9}\ j/j$$

et la période de AH Cam a diminué de 2.19 s. AH Cam est une RRab particulièrement intéressante. Avec un spectre B9, elle se trouve à la limite bleue de la bande l'instabilité des RR Lyrae ce qui pourrait expliquer le fort taux de décroissance de sa période. Il serait particulièrement utile de rechercher des maxima plus anciens de cette étoile afin de pouvoir étendre la connaissance de l'évolution de sa période.

4. TV CrB

- a) GCVS : RRab, mag. 10.6 à 12.2 (p), sp. A8, JJH 2431618.537 + 0.5846145 E.
Base de données : 117 maxima s'étendant sur 103 ans. Le graphique des O-C montre que la période a augmenté.
- b) Nous avons éliminé 2 instants : l'époque du GCVS qui n'est pas un maximum observé et une autre donnée trop imprécise.
- c) La régression linéaire, calculée avec 115 maxima, donne les nouveaux éléments de la période qui suivent :
JJH 2431618,5979 (± 0.008) + 0.58461191 (± 0.0000005) E (2)

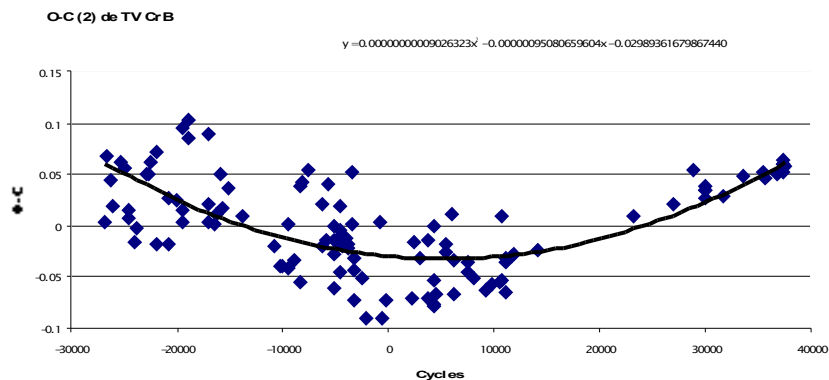


Fig. 5 : Courbe des O-C de TV CrB avec l'éphéméride (2)

Nous constatons sur la fig. 5 une grande dispersion des instants avant le cycle 20000. Ceci est dû aux longues poses photographiques utilisées et ne se retrouve plus sur la dernière partie du graphique basée sur des observations CCD et visuelles plus précises. Nous pouvons, soit considérer que la période de TV CrB a augmenté brutalement vers le cycle 4500, soit supposer qu'elle a crû de façon monotone.

- d) Comme la courbe des O-C de TV CrB peut très bien être représentée par une parabole, nous avons calculé un terme non linéaire correspondant à une croissance à taux constant. Nous avons obtenu : $0.9026323 \times 10^{-10}\ E^2 - 0.0950807 \times 10^{-5}\ E - 0.0298936\ j$. Après sa soustraction des O-C (2), les O-C résiduels (voir fig. 6) ne montrent plus de variation supérieure à la précision des instants.

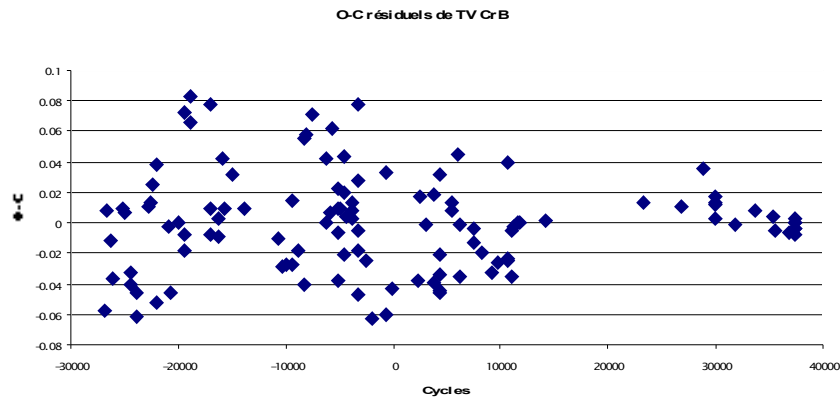


Fig. 6 : O-C résiduels de TV CrB avec les nouveaux éléments

e) Conclusion : il est très probable que la période de TV CrB croisse à un taux constant. L'éphéméride quadratique représentant les éléments de sa période sont :

$$JJH\ 2431618.568 + 0.58461096\ E + 0.9026 \times 10^{-10}\ E^2$$

et, depuis 103 ans, le taux de croissance constant est :

$$dP/dt = 2 \times \frac{0.9026323 \times 10^{-10}}{0.58461191} = 3.088 \times 10^{-10}\ j/j$$

et la période a augmenté de 1 s. Ceci est tout à fait dans la norme de ce que font les autres RRab du champ de notre galaxie qui ont une période croissant à un taux constant depuis une centaine d'années.

5. VV Peg

- a) GCVS : RRab, mag. 11.13 à 12.31 (V), sp. A9 – F4, pér. var., JJH 2439389,474 + 0.4883871 E. Base de données : 124 maxima s'étendant sur 93 ans. Le graphique des O-C montre un saut de cycle et un changement de période.
- b) Nous avons numéroté convenablement les maxima les plus anciens et nous avons écarté 5 instants, dont les 2 premiers, ce qui réduit l'espace de temps couvert par les observations à 92 ans.
- c) La nouvelle régression linéaire, calculée avec 119 maxima, nous donne les éléments de la période de VV Peg. qui suivent :

$$JJH\ 2439389.5068 (\pm 0.008) + 0.48838291 (\pm 0.0000004)\ E \tag{2}$$

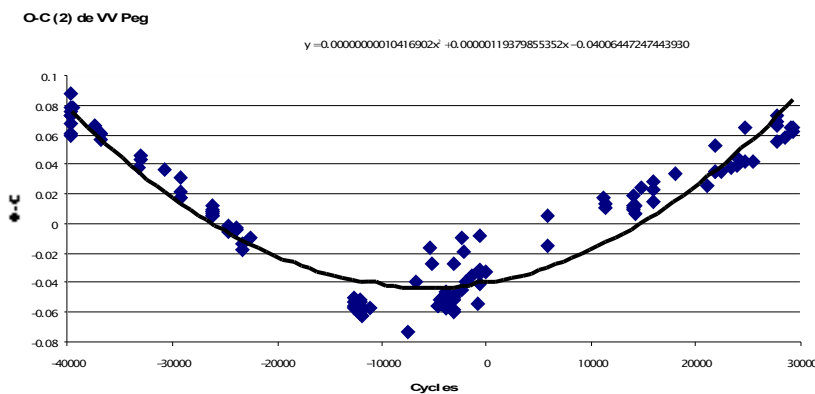


Fig. 7 : Courbe des O-C de VV Peg avec l'éphéméride (2)

Le graphique des O-C de la fig. 7 montre que la période de VV Peg pourrait avoir augmenté brutalement vers le cycle -10000 (JJ 34500). Toutefois, la parabole passant au mieux par les points montre que l'hypothèse d'une croissance à taux constant ne peut être écartée.

- d) Afin de tester la possibilité d'une croissance à taux constant, nous avons calculé un terme non linéaire qui y correspondrait et nous avons obtenu : $1.0416902 \times 10^{-10}\ E^2 + 0.1193799 \times 10^{-5}\ E - 0.0400645\ j$. Après sa soustraction des O-C (2), les O-C résiduels sont visualisables fig. 8. Nous y constatons que la dispersion des maxima n'est pas supérieure à ce que nous obtenons avec certaines autres observations photographiques

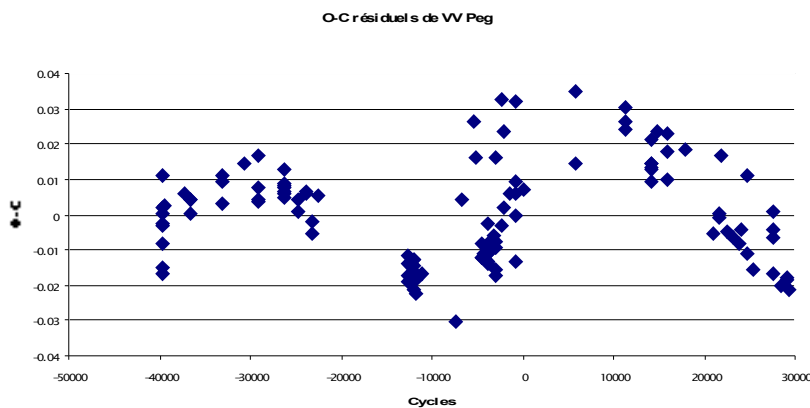


Fig. 8 : O-C résiduels de VV Peg avec les nouveaux éléments (échelle dilatée d'un facteur 2.25 par rapport à la fig. 7

ou visuelles. Notre expérience avec les maxima obtenus pour d'autres étoiles par les observateurs des instants aux $O-C > +$ ou $- 0.025$ j. nous confirme qu'il ne s'agit pas de données très précises. Par contre, les derniers maxima ont une grande précision et ils ont des O-C résiduels qui deviennent anormalement grands.

- e) Conclusion : il est certain que la période de VV Peg a augmenté et cela s'est probablement produit de façon brutale. Il est aussi possible qu'elle croisse à un taux constant modulé par une autre perturbation, comme la présence d'une compagne liée gravitationnellement. Quoi qu'il en soit, l'éphéméride quadratique que nous avons calculée n'est pas une mauvaise approximation pour le laps de temps considéré ; elle est de :

$$JJH\ 2439389.4667 + 0.48838410 + 1.0417 \times 10^{-10} E^2$$

et, au cours des derniers 92 ans, le taux de croissance moyen a été approximativement de :

$$dP/dt = 2 \times \frac{1.0416902 \times 10^{-10}}{0.48838291} = 4.266 \times 10^{-10} \text{ j/j}$$

et la période a augmenté d'environ 1.24 s.

6. BH Peg

- a) GCVS : RRab, mag. 9.99 à 10.79 (V), sp. A8 – F6, pér. var., effet Blazhko, JJH 2439365.280 + 0.640993 E. Base de données : 130 maxima s'étendant, si l'on excepte le premier instant visuel isolé, sur 74 ans. Le graphique les O-C montre que la période diminue.
- b) Nous avons écarté 10 maxima, dont le premier séparé d'un nombre de cycles impossible à déterminer.
- c) La nouvelle régression linéaire, faite avec 120 maxima, nous donne les éléments de la période qui suivent :

$$JJH\ 2439365.2286 (\pm 0.01) + 0.64099305 (\pm 0.0000007) E \tag{2}$$

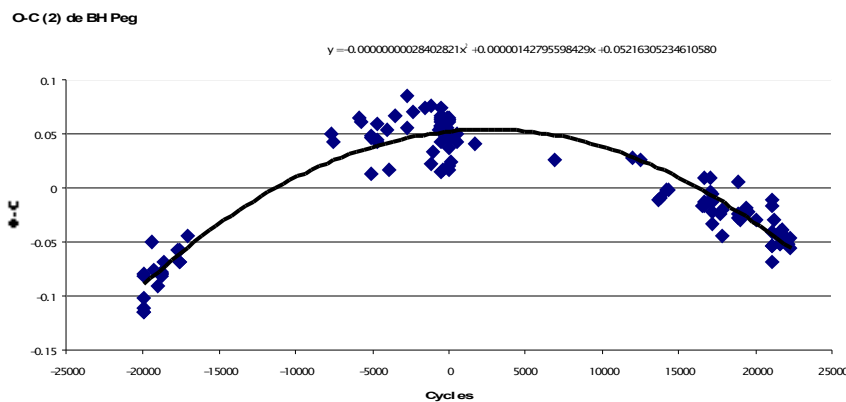


Fig. 9 : Courbe des O-C de BH Peg avec l'éphéméride (2)

Nous voyons très bien sur la fig. 9 que les O-C de BH Peg suivent une courbe parabolique nonobstant des décalages dus à l'effet Blazhko.

- d) Nous avons donc calculé un terme non linéaire correspondant à la décroissance à taux constant. Nous avons obtenu : $- 2.8402821 \times 10^{-10} E^2 + 0.1427956 \times 10^{-5} E + 0.0521631 j$. Après sa soustraction des O-C (2), les O-C résiduels (voir fig. 10) ne montrent plus que des variations dus à l'effet Blazhko et à l'imprécision des observations.

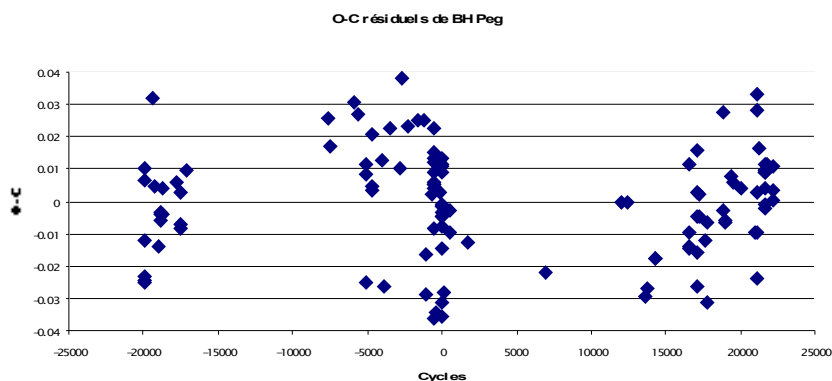


Fig. 10 : O-C résiduels de BH Peg avec les nouveaux éléments (échelle dilatée d'un facteur 3 par rapport à la fig. 7)

- e) Conclusion : la période de BH Peg décroît à un taux constant malgré l'existence d'un fort effet Blazhko et l'éphéméride quadratique qui représente ses éléments est :

$$JJH\ 2439365.2808 + 0.64099448\ E - 2.8403 \times 10^{-10}\ E^2$$

et, depuis 74 ans, le taux de décroissance a été de :

$$dP/dt = 2 \times \frac{- 2.8402821 \times 10^{-10}}{0.64099305} = 8.862 \times 10^{-10}\ j/j$$

et la période a décréu de 2.07 s. Ceci ne semble pas avoir été publié précédemment et montre encore une fois que l'effet Blazhko n'empêche pas la période de base d'une R Rab d'évoluer très régulièrement durant de longs laps de temps.

7. AR Per

- a) GCVS : RRab, mag. 9.92 à 10.83 (V), sp. A8 – F6, pér. var., terme non linéaire, JJH 2427236.9179 + 0.42554892 E.

Base de données : 136 maxima s'étendant sur 105 ans. Le graphique des O-C montre bien que la période augmente.

- b) Nous n'avons dû éliminer que 6 instants.

- c) La nouvelle régression linéaire, calculée avec 130 maxima, nous donne les éléments de la période qui suivent :

$$JJH\ 2427236.9179 (\pm 0.002) + 0.42554964 (\pm 0.0000006)\ E \tag{2}$$

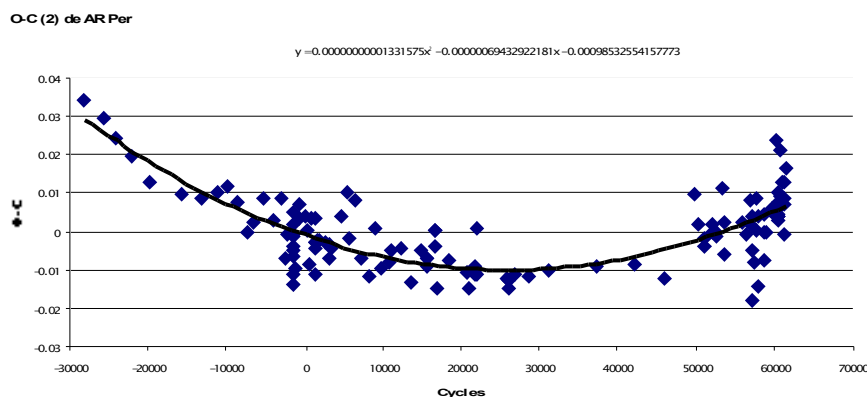


Fig. 11 : Courbe des O-C de AR Per avec l'éphéméride (2)

Nous voyons bien sur le graphique de la fig. 11 que la courbe des O-C de AR Per peut être représentée par une parabole. Il est à noter que les O-C sont compris entre -0.02 j. et $+0.04$ j., ce qui signifie que les maxima sont plus précis que ceux dont nous disposons habituellement.

- d) Nous avons calculé un nouveau terme non linéaire correspondant à la croissance à taux constant de la période et nous avons obtenu : $0.1331573 \times 10^{-10} E^2 - 0.0694329 \times 10^{-5} E - 0.0009853$ j. Cette valeur est un peu plus grande que celle mentionnée dans le GCVS, soit $+1.18$ j. $\times 10^{-11} E^2$. Après la soustraction du nouveau terme non linéaire des O-C (2), les O-C résiduels ne montrent plus de variation supérieure à la précision des observations (voir fig. 12). Nous aurions pu éliminer les 4 maxima les plus dispersés, mais il s'agit de résultats d'observations visuelles qui dénotent uniquement du fait de la qualité des autres instants et qui, bien réparties dans le haut et le bas du graphique, ne changent les résultats que de façon négligeable.

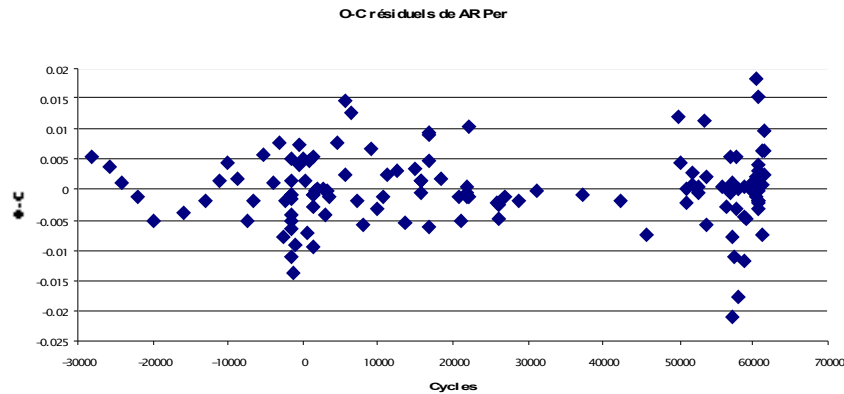


Fig. 12 : O-C résiduels de AR Per avec les nouveaux éléments

- e) Conclusion : la période de AR Per croît à un taux constant légèrement plus grand que celui mentionné dans le GCVS. L'éphéméride quadratique qui représente ses nouveaux éléments est : $JJH 2427236.9169 + 0.42554895 E + 0.1332 \times 10^{-10} E^2$ et, depuis 105 ans, le taux de croissance est de :

$$dP/dt = 2 \times \frac{0.1331573 \times 10^{-10}}{0.42554964} = 0.626 \times 10^{-10} \text{ j/j}$$

et la période a augmenté de 0.21 s. Un taux de croissance aussi faible ne peut, hélas, être calculé que pour des étoiles pour lesquelles nous disposons de maxima précis sur toute une centaine d'années. C'est le cas de AR Per.

8. AN Ser

- a) GCVS : RRab, mag. 10.40 à 11.44 (V), sp. A7 – F5, pér. var. ?, effet Blazhko contredit, $JJH 2414708.9500 + 0.52207162 E$.

Base de données : 103 maxima s'étendant sur 106 ans. Le graphique montre des instants groupés et fort dispersés.

- b) Nous avons rejeté les 6 instants s'écartant le plus de la série et nous en avons ajouté un, déterminé à partir des mesures de Peña (1990).

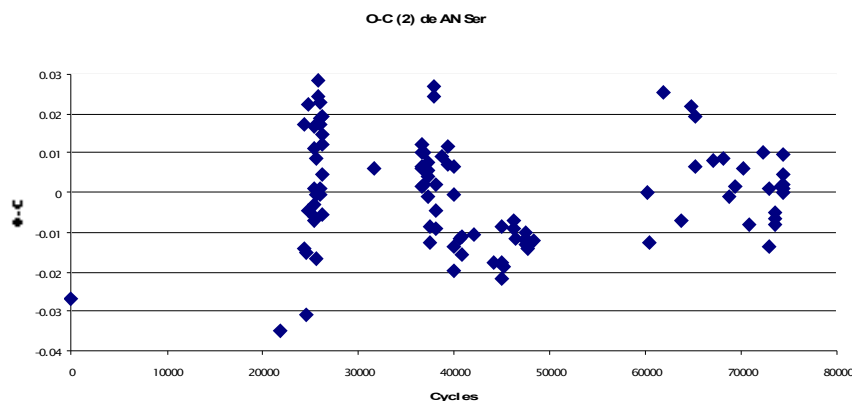


Fig. 13 : Courbe des O-C de AN Ser avec l'éphéméride (2)

- c) La nouvelle régression linéaire, faite avec 98 maxima, nous donne les éléments de la période qui suivent :

$$\text{JJH } 2414708.9769 (\pm 0.003) + 0.52207127 (\pm 0.0000002) \text{ E} \quad (2)$$
 Le graphique des O-C (2) de la fig. 13 ne montre pas de changement de période, du moins pas après le cycle 20000 où sont situées toutes les observations sauf une. La dispersion des maxima par un effet Blazhko semble à rejeter, car J. H. Peña et al. (1990) ont mesuré AN Ser photoélectriquement et simultanément en μvby et n'ont détecté qu'un petit sursaut à la phase 0.6 dans toutes les couleurs sans modification des courbes de lumière. Nous supposons donc que la précision des maxima est faible, mais nous ne pouvons exclure toute variation rapide sans autres maxima précis.
- d) Conclusion : la période de AN Ser semble constante depuis une centaine d'années, mais un suivi régulier de cette RR Lyrae est souhaitable pour pouvoir cerner les détails de son évolution.

9. AR Ser

- a) GCVS : RRab, mag. 11.43 à 12.33 (V), sp. F3, pér. var., effet Blazhko complexe, JJH 2442918.394 + 0.5751416 E.
 Base de données : 133 maxima s'étendant sur 97 ans. Le graphique des O-C montre de nombreux changements brusques de période.
- b) Nous ne pouvons être entièrement certains du nombre de cycles séparant les premiers maxima ; de plus, nous avons dû écarter 2 instants, car nous ne pouvions deviner si leur O-C étaient très positifs ou très négatifs tandis que 5 autres maxima ont été rejetés, car ils ne concordaient pas avec les instants proches.
- c) Nous avons fait une nouvelle régression linéaire avec les 126 maxima conservés et nous avons obtenu :

$$\text{JJH } 2442918.4306 (\pm 0.01) + 0.57514081 (\pm 0.000001) \text{ E} \quad (2)$$

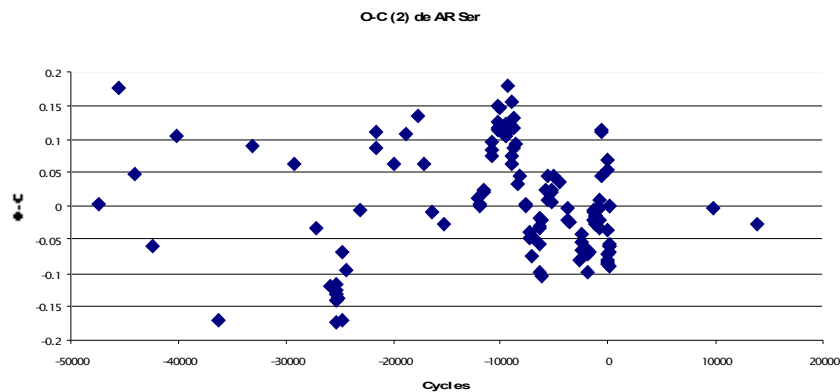


Fig. 14 : Courbe des O-C de AR Ser avec l'éphéméride (2)

La période que nous avons trouvée est seulement un petit peu plus courte que celle du GCVS et la courbe des O-C est peu différente du graphique de la base de données. Pour comprendre la signification des O-C, il faut savoir que les premiers maxima sont des moyennes photographiques sur environ 3 ans. Ensuite, il s'agit d'observations visuelles ou photographiques de plus en plus rapprochées. Nous percevons, grâce aux nombreux maxima situés entre les cycles -12000 et 0 , que la période de AR Ser change très fréquemment et très brusquement. A long terme toutefois, il semble que la période moyenne n'ait que peu ou pas changé du tout.

- d) Conclusion : Avec un fort effet Blazhko complexe, la période principale de AR Ser change brutalement de façon irrégulière tout en conservant probablement une période moyenne assez constante. De tels changements font qu'il est indispensable d'observer très régulièrement des maxima de cette RRab.

10. SS Tau

- a) GCVS : RRab, mag. 11.92 à 13.02 (V), pér. var., JJH 2439033.953 + 0.369901 E.
 Base de données : 102 maxima s'étendant sur 102 ans. Le graphique des O-C basé sur l'éphéméride du GCVS montre que la période est bien plus longue.
- b) Nous n'avons dû rejeter que 2 instants et nous avons pu numéroter les maxima sans grand risque d'erreur bien qu'il ait fallu extrapoler entre les cycles 0 et 26000 .
- c) La nouvelle régression linéaire, faite avec 100 maxima, donne les éléments de la période qui suivent :

$$\text{JJH } 2439034.0201 (\pm 0.007) + 0.36991960 (\pm 0.0000002) \text{ E} \quad (2)$$

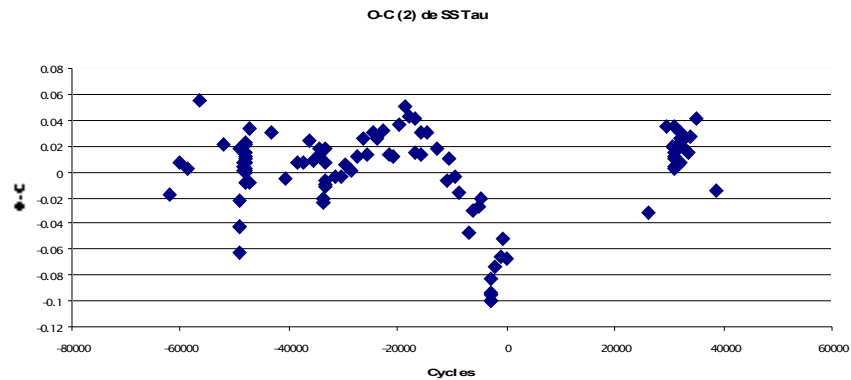


Fig. 15 : Courbe des O-C de SS Tau avec l'éphéméride (2)

Il est à noter que la nouvelle période est à peine plus longue que celle que Tsevevich avait obtenue en 1969. Les O-C de la fig. 15 montrent au moins une diminution soudaine de la période de SS Tau qui est retournée ensuite à sa valeur initiale tandis que d'autres petites variations sont aussi possibles. Mais sur 102 ans, la période moyenne semble avoir peu changé.

- d) Conclusion : SS Tau est encore une R Rab, dont la période change parfois brusquement pour conserver à long terme une valeur assez constante.

11. Conclusions générales

Avec ce huitième 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 2 étoiles, TV CrB et AR Per, ainsi que l'augmentation moyenne de VV Peg. Nous avons aussi calculé le taux de décroissance constant de 3 étoiles, CM Boo, AH Cam et BH Peg. Nous avons montré les changements de période brutaux de AR Ser et de SS Tau et conclu que la période de AN Ser était restée assez constante depuis un siècle. Les taux constants de 4 de ces étoiles ne semblent pas avoir été publiés précédemment.

Il nous reste encore plusieurs RR Lyrae à étudier, dont RR Lyr elle-même.

12. Bibliographie

- Kholopov P.N., 1985, General Catalogue of Variable Stars
- Le Borgne J.F., Paschke A., Vandebroere J., Acerbi R., Martignoni M., 2000 – 2006, the GEOS RR Lyrae stars database, <http://dbRR.ast.obs-mip.fr>
- Peña J.H., Díaz L.M. et Peniche R., 1990, Rev. Mexicana Astron. Astrof. 20, 139 – 151
- Tsevevich V.R., 1969, RR Lyrae Stars
- Vandebroere J., 2005 – 2006, Notes Circulaires GEOS n° 1021, 1023, 1030, 1034, 1036 et 1042