

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

V. UZ CVn, DM Cyg, VX Her, VZ Her, SZ Hya et RR Leo

Jacqueline Vandebroere

1. Introduction

Voici l'étude de l'évolution à long terme d'une cinquième série de RR Lyrae, faite à partir des maxima de la base de données du GEOS (Le Borgne et al., 2000 – 2005). La méthodologie est la même que celle des articles précédents (NC 1021, 1023, 1030 et 1034), 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. UZ CVn

- GCVS : RRab, mag. 11.3 à 12.0 (p), sp. A5 – F2, JJD 26427.3806 + 0.6977829 E.
Base de données : 175 maxima s'étendant sur 104 ans. Le graphique des O-C montre un saut de cycle flagrant.
- Comme nous avons déjà étudié cette étoile (Vandebroere et Berthold, 2001), il nous a suffi de compléter notre fichier avec les maxima les plus récents. Nous n'avons pas tenu compte de l'époque du GCVS et nous avons écarté un instant visuel trop imprécis et un autre, manifestement erroné.
- La nouvelle régression linéaire, faite avec 172 instants, donne le résultat suivant :

$$\text{JJD } 2415424.0044 (\pm 0.01) + 0.69778662 (\pm 0.0000007) E \quad (2)$$

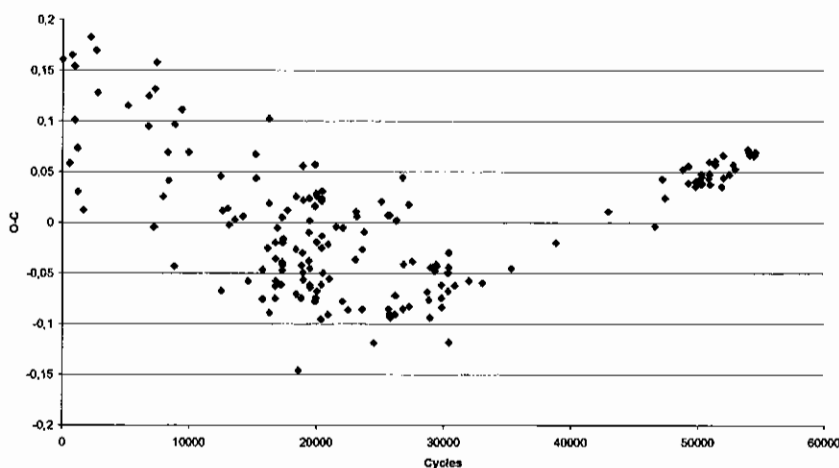


Fig. 1 : Courbe des O-C de UZ CVn avec l'éphéméride (2)

La nouvelle période de l'éphéméride (2) est légèrement plus longue que celle du GCVS et la différence est encore moindre avec celle que nous avons obtenue il y a quatre ans (Vandebroere et Berthold, 2001). Il faut noter que précédemment nous avons donné un poids différent aux maxima selon leur précision, ce que nous n'avons pas fait ici, ni dans aucune régression des groupes d'étoiles de notre étude actuelle, car nous considérons que les éléments obtenus doivent avant tout nous permettre une vision aussi claire que possible de l'évolution de la période via la courbe des O-C. Une véritable période moyenne devrait non seulement tenir compte de la précision des maxima, mais aussi de leur répartition dans le temps !

En 2001, le graphique des O-C de UZ CVn ne permettait pas de savoir si sa période croissait à un taux constant de $dP/dt = 6.28 \text{ j} \times 10^{-10} \text{ j/j}$ ou si un changement brusque de période s'était produit vers JJ 28000. Au vu de la fig. 1 et grâce aux nouveaux instants, il s'avère que c'est la deuxième possibilité qui a eu lieu.

- d) Conclusion : La période de UZ CVn ne croît pas à un taux constant, mais elle a augmenté brusquement vers JJ 28000.

3. DM Cyg

- a) GCVS : RRab, mag. 10.93 à 11.99 (V), sp. A9 – F6, JJH 42582.406 + 0.41986 E, pér. var., effet Blazhko de pér. 26.01 j.

Base de données : 225 maxima s'étendant sur 105 ans. Le graphique des O-C montre que la période augmente, mais il y a des maxima bizarres.

- b) Les cycles des 2 premiers instants ont dû être changés et 18 maxima ont dû être rejetés.
- c) La nouvelle régression linéaire, calculée avec 207 maxima, nous donne les éléments de la période suivants :

$$\text{JJH } 2442582.43023 (\pm 0.003) + 0.41985993 (\pm 0.0000001) \text{ E} \tag{2}$$

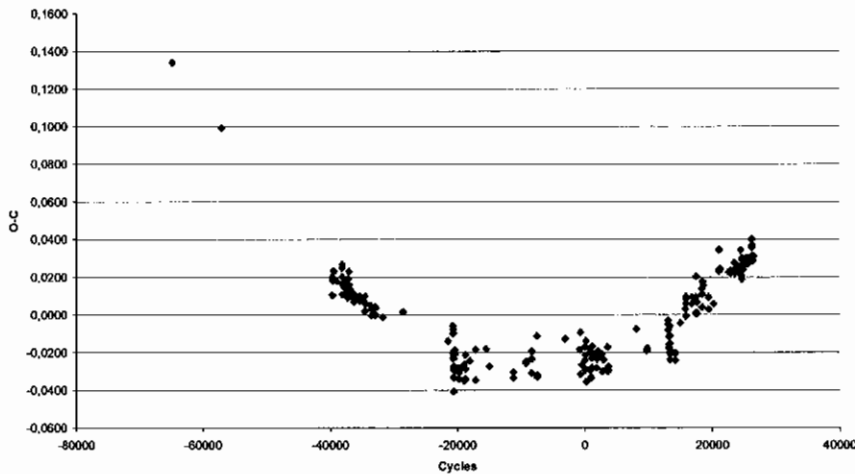


Fig. 2 : Courbe des O-C de DM Cyg avec l'éphéméride (2)

La courbe des O-C obtenue avec la nouvelle éphéméride (voir fig. 2) est clairement de forme parabolique, montrant non seulement que la période augmente, mais aussi qu'elle le fait à un taux constant.

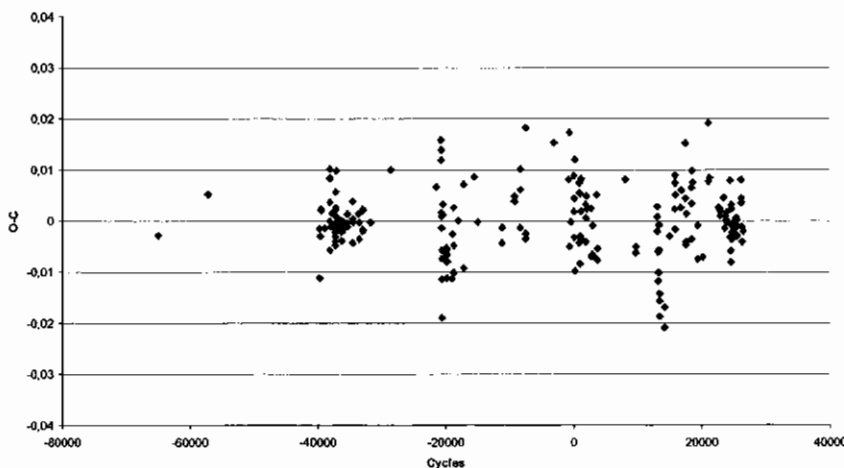


Fig. 3 : O-C résiduels de DM Cyg avec les nouveaux éléments (échelle dilatée d'un facteur 2.75 par rapport à la fig. 2)

d) Nous avons donc calculé un terme non linéaire qui correspond à cette croissance, soit : $0.5191966 \times 10^{-10} E^2 + 0.0870748 \times 10^{-5} E - 0.025973$. Après sa soustraction des O-C (2), les O-C résiduels (voir fig. 3) ne montrent plus de variation.

e) Au lieu de représenter la période de DM Cyg par plusieurs éphémérides successives comme dans le GCVS, et comme nous avons découvert que cette étoile croît à un taux constant, nous proposons l'éphéméride quadratique suivante :

$$JJH\ 2442582.4042 + 0.4198608\ E + 0.519 \times 10^{-10}\ E^2$$

et, depuis 105 ans, le taux de croissance constant est de :

$$dP/dt = 2 \times \frac{0.5191966 \times 10^{-10}}{0.41985993} = 2.47 \times 10^{-10}\ j/j$$

et la période a augmenté de 0.82 s.

4. VX Her

a) GCVS : RRab, mag. 9.89 à 11.21 (V), sp. A4 – F4, JJH 21750.4827 + 0.45537282 E, pér. var., terme non lin., membre possible d'un système binaire à éclipses.
 Base de données : 173 maxima s'étendant sur 89 ans. Il y a 2 sauts de cycles évidents sur le graphique des O-C et la période semble décroître.

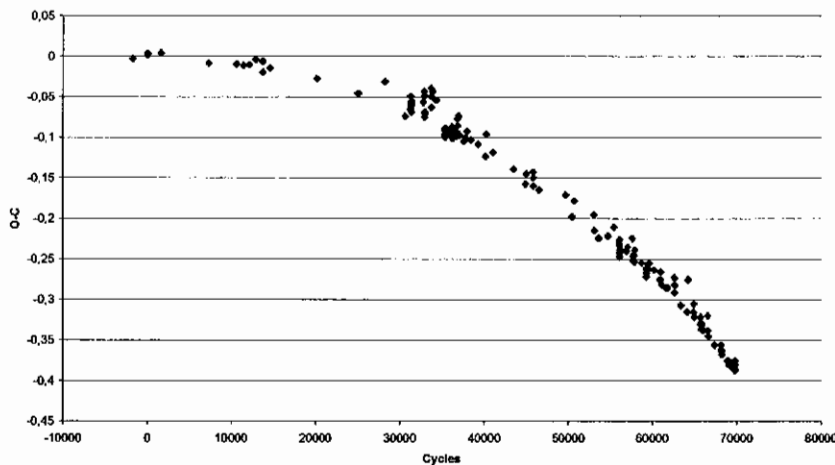


Fig. 4 : Courbe des O-C de VX Her avec l'éphéméride du GCVS

b) Il a fallu numéroter correctement les instants les plus anciens et toute une série de maxima récents. 20 maxima et l'époque du GCVS ont été écartés. Avec l'éphéméride du GCVS et la numérotation correcte des cycles, nous obtenons le graphique des O-C de la fig. 4 où il apparaît clairement que la période de VX Her décroît.

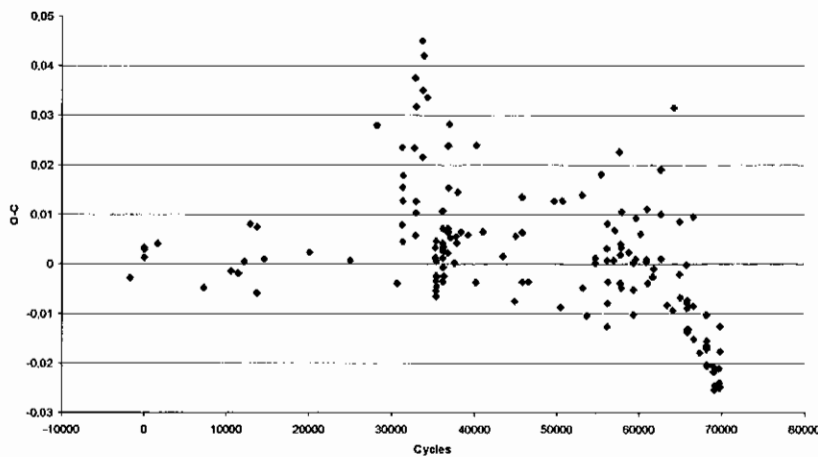


Fig. 5 : O-C résiduels de VX Her avec les éléments du GCVS

Le terme non linéaire mentionné dans le GCVS est de $-0.00745 j (E/10000)^2$. Après sa soustraction des O-C de la fig. 4, nous obtenons les O-C résiduels, dont la courbe apparaît sur la fig. 5. Nous pouvons constater que la correction non linéaire a été sous-estimée et qu'elle ne correspond pas parfaitement aux observations.

- c) Une nouvelle régression linéaire a été calculée avec les 152 maxima conservés. Elle donne les éléments de la période suivants :

$$JJH\ 2421750.5965 (\pm 0.006) + 0.45536643 (\pm 0.0000003) E \tag{2}$$

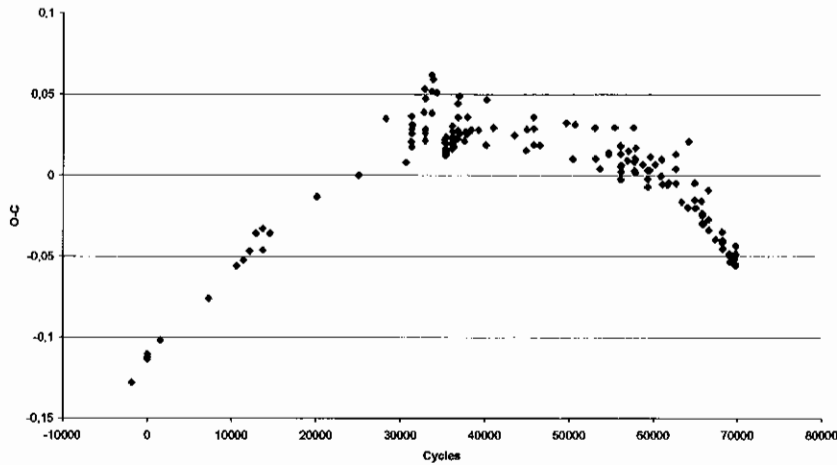


Fig. 6 : Courbe des O-C de VX Her avec l'éphéméride (2)

- d) L'allure de la courbe des O-C obtenue avec les nouveaux éléments (voir fig. 6) ne semble pas parfaitement parabolique, mais cela peut être dû au fait que les observations sont beaucoup moins nombreuses dans la première moitié du graphique. Nous avons calculé un terme non linéaire afin de voir si nous pouvions numériser la décroissance de la période. Nous avons obtenu : $-0.8847783 \times 10^{-10} E^2 + 0.724071 \times 10^{-5} E - 0.117817$ et après sa soustraction des O-C (2), les O-C résiduels (voir fig. 7) ne montrent plus de variation significative.

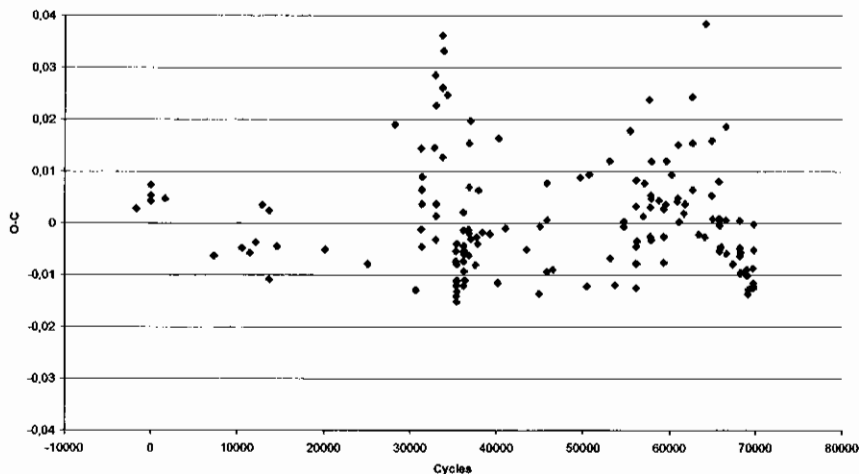


Fig. 7 : O-C résiduels de VX Her avec les nouveaux éléments (échelle dilatée d'un facteur 3 par rapport à la fig. 6)

- e) Conclusions : Nous avons pu confirmer que la période de VX Her décroissait à un taux constant depuis que cette étoile a été observée et en préciser le taux. L'éphéméride quadratique représentant les éléments de sa période est :

$$JJH\ 2421750.4787 + 0.45537367 E - 0.885 \times 10^{-10} E^2$$

et, depuis 89 ans, le taux de décroissance constant est de :

$$dP/dt = 2 \times \frac{-0.8847783 \times 10^{-10}}{0.45536643} = 3.89 \times 10^{-10} \text{ j/j}$$

et la période a diminué de 1.09 s.

5. VZ Her

- a) GCVS : RRab, mag. 10.72 à 12.04 (V), sp. A6 – F4, JHJ 36788.898 + 0.44032789 E, pér. var.
Base de données : 205 maxima s'étendant sur 106 ans. Sur la première moitié du graphique, les maxima sont très dispersés ; ils sont nettement plus précis ensuite et montrent bien que la période augmente.
- b) Les numéros de cycle de 4 maxima ont dû être rectifiés et 14 instants ont dû être écartés.
- c) Avec les 190 maxima conservés, nous avons fait une régression linéaire qui donne les éléments suivants :

$$\text{JHJ } 2436788.9521 (\pm 0.007) + 0.44032687 (\pm 0.0000003) E \tag{2}$$

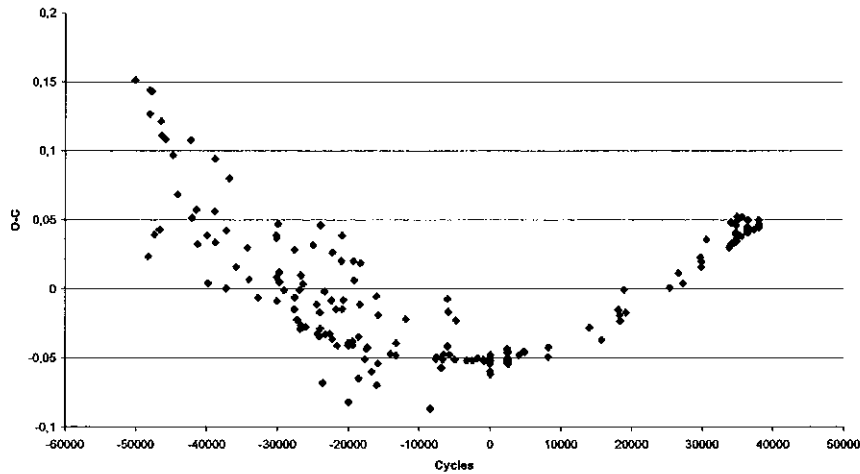


Fig. 8 : Courbe des O-C de VZ Her avec l'éphéméride (2)

- d) Comme la courbe obtenue avec les nouveaux éléments (voir fig. 8) est de forme parabolique, nous avons calculé un terme non linéaire qui correspond à la croissance de la période et obtenu : $0.6867241 \times 10^{-10} E^2 + 0.0148273 \times 10^{-5} E - 0.0501873$. Après sa soustraction des O-C (2), les O-C résiduels (voir fig. 9) ne montrent plus de variation significative.

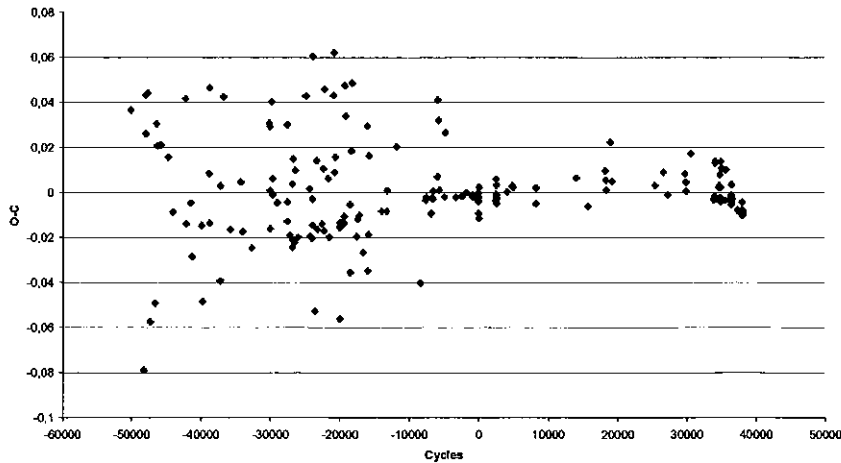


Fig. 9 : O-C résiduels de VZ Her avec les nouveaux éléments (échelle dilatée d'un facteur 1.67 par rapport à la fig. 8)

- e) Conclusions : Nous pouvons regretter la faible précision de la première moitié des maxima et souhaiter une nouvelle investigation des plaques photographiques disponibles. Nonobstant, nous avons découvert que les variations de période de VZ Her sont continues, à un taux constant depuis le début des observations. L'éphéméride quadratique de VZ Her est :

$$JJH\ 2436788.9019 + 0.44032702\ E + 0.687 \times 10^{-10} E^2$$

et, depuis 106 ans, le taux de croissance constant est de :

$$dP/dt = 2 \times \frac{0.6867241 \times 10^{-10}}{0.44032687} = 3.12 \times 10^{-10} \text{ j/j}$$

et la période a augmenté de 1.05 s.

6. SZ Hya

- a) GCVS : RRab, mag. 10.44 à 11.84 (V), sp. A7, JJH 40679.412 + 0.53724022, pér. var., effet Blazhko de pér. 25.8 j N, maxima de 10.44 à 11.03 mag.

Base de données : 112 maxima s'étendant sur 104 ans. Le premier tiers du graphique est plein d'erreurs de cycle.

- b) Il n'a guère été difficile d'attribuer des numéros de cycles cohérents aux maxima jusqu'au cycle 78. Ensuite nous sommes sans observation pendant 21 ans, mais les différentes éphémérides successives données dans le GCVS permettent d'éviter les erreurs. Seuls 2 maxima ont dû être rejetés ainsi que l'époque du GCVS.

- c) La nouvelle régression linéaire, faite avec 109 maxima donne les éléments suivants :

$$JJH\ 40679.6809 (\pm 0.16) + 0.53728949 (\pm 0.00001) E \tag{2}$$

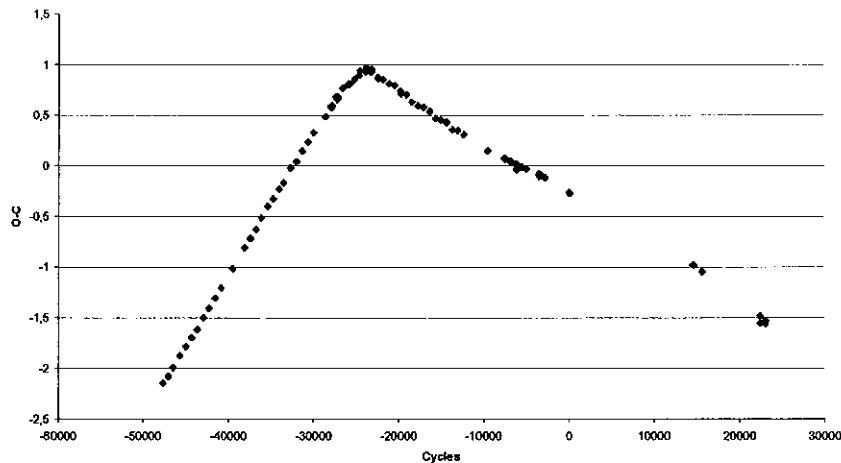


Fig. 10 : Courbe des O-C de SZ Hya avec l'éphéméride (2)

L'examen de la fig. 10 montre clairement que la période de SZ Hya a diminué assez fort et très brusquement vers JJ 28000 (cycle 23500) pour retrouver ensuite une belle stabilité.

- d) Conclusion : L'effet Blazhko n'a pas empêché SZ Hydra de montrer deux longues périodes de stabilité.

7. RR Leo

- a) GCVS : RRab, mag. 9.94 à 11.27 (V), sp. A7 – F5, JJH 43295.402 + 0.4523933, pér. var., éphéméride quadratique valable de 1898 à 1977.

Base de données : 298 maxima s'étendant sur 106 ans. Le graphique montre bien la croissance de la période malgré 2 séries de sauts de cycles.

- b) L'époque du GCVS et 13 maxima ont été rejetés tandis que 2 séries de cycles ont été rectifiés.

- c) Une régression linéaire, calculée avec 284 maxima donne les éléments de la période suivants :

$$JJH\ 2443295.4595 (\pm 0.01) + 0.45238797 (\pm 0.0000005) E \tag{2}$$

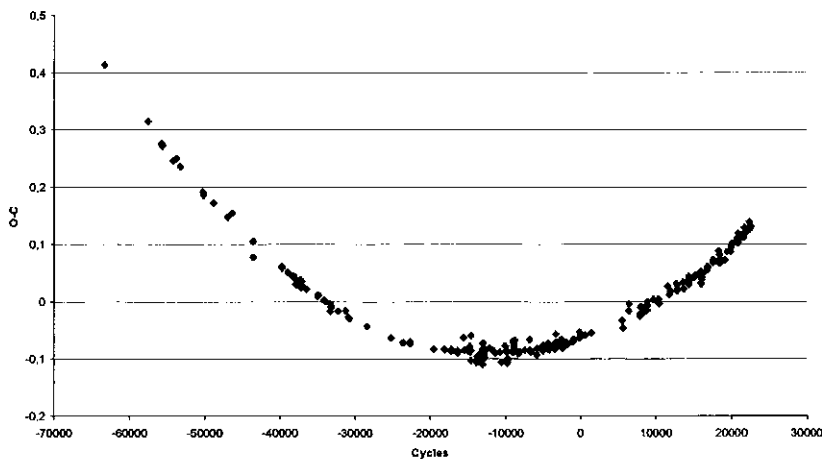


Fig. 11 : Courbe des O-C de RR Leo avec l'éphéméride (2)

La courbe de la fig. 11 est clairement d'allure parabolique.

- d) Nous avons donc calculé un terme non linéaire représentant la croissance de la période et obtenu : $1.8461764 \times 10^{-10} E^2 + 0.4265641 \times 10^{-5} E - 0.064726$. Après sa soustraction des O-C (2), les O-C résiduels sont représentés par la fig. 12.

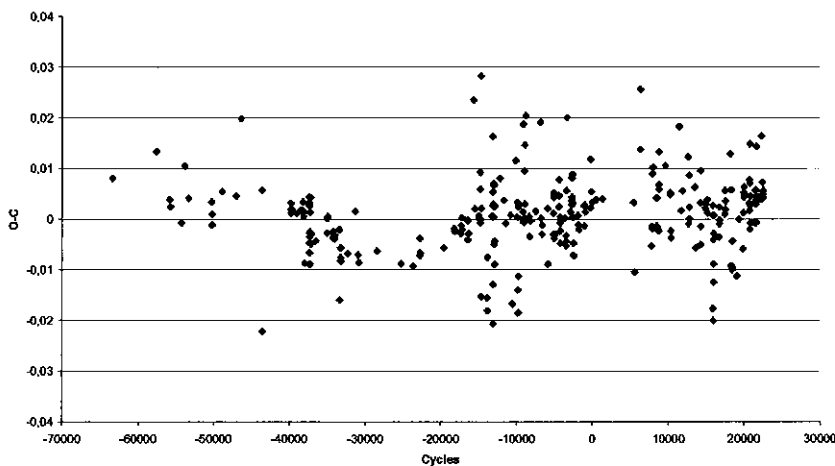


Fig. 12 : O-C résiduels de RR Leo avec les nouveaux éléments (échelle dilatée d'un facteur 8.75 par rapport à la fig. 11)

Si nous examinons attentivement la fig. 12, nous remarquons que les O-C ne sont jamais supérieurs à + ou - 0.03 j. Il n'y a donc aucun doute que le taux de croissance est constant. Toutefois, le graphique pourrait aussi être représenté par une sinusoïde de ± 0.015 j d'amplitude et d'environ 60000 cycles (74 ans) de période qui reflèterait l'existence d'un compagnon lié gravitationnellement. La précision des observations ne permet aucune certitude, mais c'est une possibilité qu'il serait intéressant de pouvoir tester avec d'autres mesures.

- e) Conclusions : La période de RR Leo croît à un taux constant depuis plus de 100 ans. L'éphéméride quadratique représentant ses éléments est :

$$JJH\ 2443295.3948 + 0.45239224\ E + 1.846 \times 10^{-10}\ E^2$$

et, depuis 106 ans, le taux de croissance constant est de :

$$dP/dt = 2 \times \frac{1.8461764 \times 10^{-10}}{0.45238797} = 8.16 \times 10^{-10}\ j/j$$

et la période a augmenté de 2.74 s.

Il est à noter que les résultats que l'on obtient avec l'éphéméride quadratique du GCVS (JJH 2430440.3385 + 0.45238172 E + $1.963 \times 10^{-10} E^2$) sont fort semblables. La possibilité que RR Leo soit un système binaire devrait être vérifiée ultérieurement.

8. Conclusions générales

Dans ce cinquième article sur l'évolution à long terme de RR Lyrae de la base de données du GEOS, nous avons d'abord cherché à compléter la série d'étoiles de période à taux de croissance constant. Ces étoiles sont au nombre de huit : BN Aqr, X Ari, SW Boo, RW Cnc, DM Cyg, VZ Her, RR Leo et AV Peg. Il en existe certainement encore dans la base de données, mais les maxima disponibles sont moins nombreux et (ou) moins précis. Parmi les autres étoiles étudiées, nous en avons trois de période à taux constant décroissant (SW And, VX Her et V 394 Her), douze avec un ou plusieurs changements brusques de période ; pour deux étoiles (EZ Lyr et RR Leo), la présence d'un compagnon lié gravitationnellement pourrait être détectée et deux étoiles (TZ Aur et TW Her) ont conservé une période constante.

Nous avons commencé à rassembler, avec l'aide de BNN, tous les renseignements utiles que nous pouvions trouver dans la littérature sur les huit étoiles à taux de croissance constant. Nous nous rendons compte de la nécessité d'étudier l'évolution de la période du plus grand nombre possible de RR Lyrae du champ de notre galaxie afin de disposer d'un aperçu général utilisable pour une recherche statistique. Nous continuerons donc notre série d'articles.

9. Bibliographie

- Kholopov P.N., 1985, General Catalogue of Variable Stars
- Le Borgne J.F., Paschke A., Vandenbroere J., Acerbi F., Martignoni M., 2000 – 2005, the GEOS RR Lyrae stars database, <http://dbRR.ast.obs-mip.fr>
- Vandenbroere J. et Berthold T., 2001, IBVS 5170
- Vandenbroere J., 2005, Notes Circulaires GEOS n° 1021, 1023, 1030 et 1034