

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

X. SW CVn, BN CVn, EZ Cep, TV Lib, TU UMa, SZ Gem, V 524 Her, ST Leo, WW Leo, TT Lyn, RR Lyr, AQ Lyr, CN Lyr, IO Lyr, CG Peg, DH Peg, DZ Peg et UX Tri

1. Introduction

Voici l'étude de l'évolution à long terme d'une dixième 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 pour SW CVn, BN CVn, EZ Cep, TV Lib et TU UMa, soit pour chacune de ces étoiles :

- 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.
- L'étude des autres étoiles est expliquée plus brièvement.

2. SW CVn

- GCVS : RRab, mag. 12.03 à 13.44 (V), sp. AO, pér. var., JJJH 2439555.945 + 0.4416567 E.
Base de données : 19 maxima répartis sur 95 ans. Le graphique des O-C est de forme parabolique à condition de rectifier le numéro de cycle du premier instant.
- Nous n'avons écarté que l'époque du GCVS qui n'est pas un instant observé.
- Avec les 18 maxima conservés, nous avons calculé une nouvelle régression linéaire qui donne les éléments de la période qui suivent :

$$\text{JJH } 2439556.1245 (\pm 0.05) + 0.44165760 (\pm 0.000002) \text{ E} \quad (2)$$

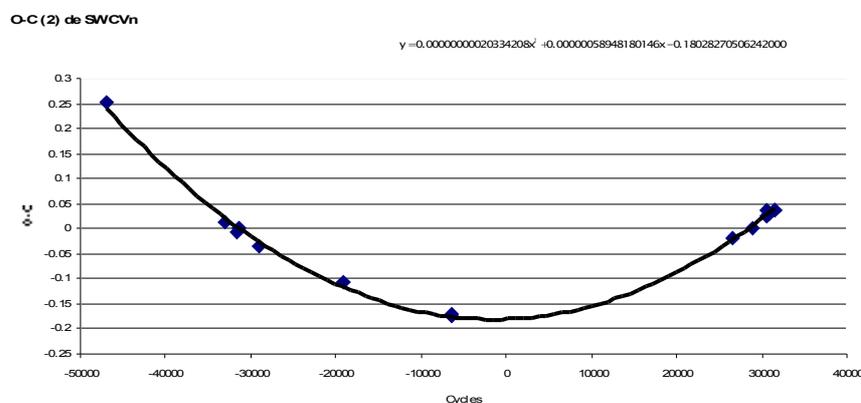


Fig 1 : Courbe des O-C (2) de SW CVn

Nous voyons que les O-C de la fig. 1 sont bien tous situés le long d'une parabole.

- Nous avons donc calculé un terme non linéaire représentant la croissance à taux constant de la période de SW CVn et nous avons obtenu : $2.0334208 \times 10^{-10} E^2 + 0.0589482 \times 10^{-5} E - 0.1802827 j$. Après sa soustraction des O-C (2), les O-C résiduels (voir fig. 2) sont exceptionnellement petits.
- Conclusion : la période de SW CVn croît à un taux constant et l'éphéméride quadratique représentant les éléments de sa période est :

$$\text{JJH } 2439555.9442 + 0.44165819 E + 2.0334 \times 10^{-10} E^2$$

et, depuis 95 ans, le taux de croissance constant a été de :

$$\frac{dP}{dt} = 2 \times \frac{2.0334208 \times 10^{-10}}{0.4416576} = 9.208 \times 10^{-10} \text{ j/j}$$

et la période a augmenté de 2.76 s, ce qui est déjà une croissance rapide.

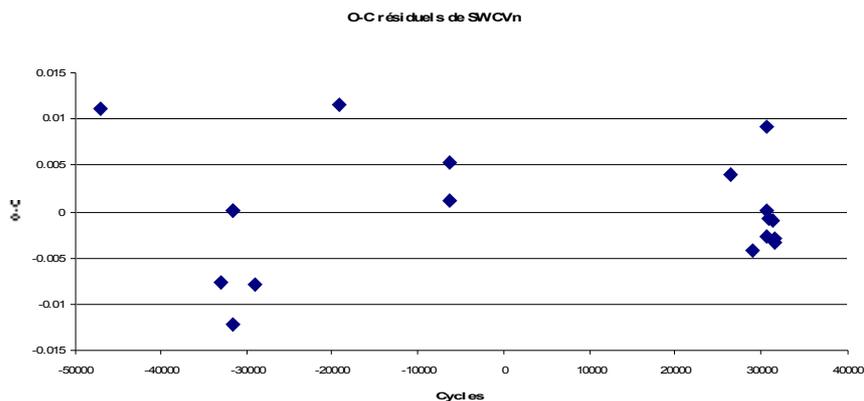


Fig. 2 : O-C résiduels de SW CVn avec les nouveaux éléments

3. BN CVn

- a) GCVS : RR ;, mag. 11.5 à 12 (V), JJH 2446641.535 + 0.563636 E.
Base de données : 54 maxima s'étendant sur 42 ans. Le graphique des O-C, basé sur une éphéméride très légèrement différente, montre que la période augmente, du moins depuis une dizaine d'années.
- b) La régression linéaire, effectuée avec les 54 maxima disponibles, nous donne les éléments qui suivent :

$$\text{JJH } 2446641.5476 (\pm 0.005) + 0.56363736 (\pm 0.0000005) E \tag{2}$$

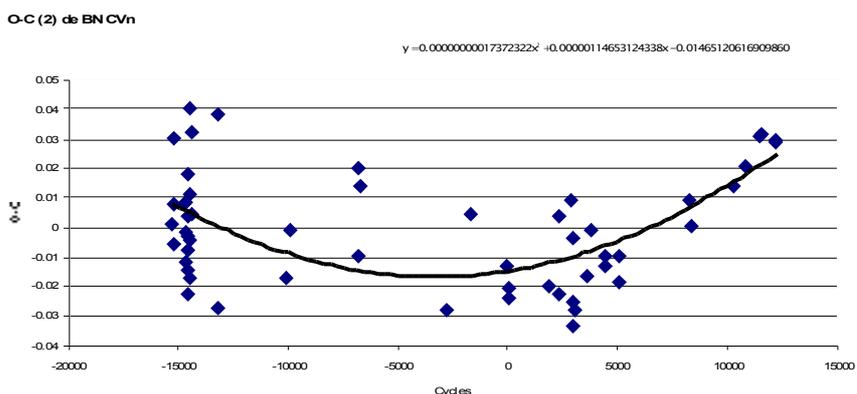


Fig. 3 : Courbe des O-C (2) de BN CVn

Malgré la faible précision de la plupart des maxima, nous voyons sur la fig. 3 que les O-C sont mieux représentés par une parabole que par une droite.

- c) Afin de tester la possibilité d'une croissance à taux constant de la période de BN CVn, nous avons calculé un terme non linéaire exprimant cette augmentation et nous avons obtenu : $1.7372322 \times 10^{-10} E^2 + 0.1146531 \times 10^{-5} E - 0.0146512 j$. Après sa soustraction des O-C (2), les O-C résiduels (voir fig. 4) ne montrent plus de variation, mais la dispersion des maxima est à peine diminuée.

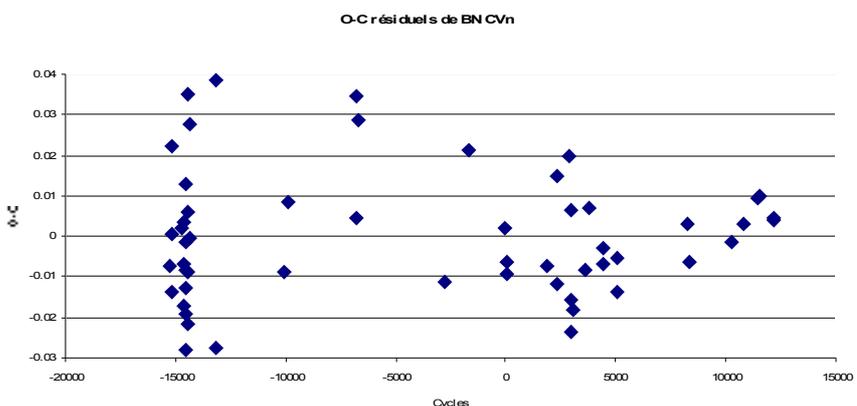


Fig. 4 : O-C résiduels de BN CVn avec les nouveaux éléments

- d) Conclusion : comme les quelques maxima CCD précis de BN CVn ont des O-C résiduels très petits, nous pensons que sa période croît à un taux constant, que l'éphéméride quadratique représentant approximativement ses éléments est :

$$JJH\ 2446641.5329 + 0.56363851\ E + 1.7372 \times 10^{-10}\ E^2$$

et que, depuis 42 ans, le taux de croissance constant a été d'environ :

$$dP/dt = 2 \times \frac{1.7372322 \times 10^{-10}}{0.56363736} = 6.1644 \times 10^{-10}\ j/j$$

et que la période a augmenté de 0.82 s. Ceci est dans la moyenne des taux de croissance que nous avons trouvés, mais le résultat devra être précisé dans les années à venir.

4. EZ Cep

- a) GCVS : RRc (mais les mesures du satellite Hipparcos prouvent qu'il s'agit en fait d'une RRab), mag. 11.6 à 12.2 (p) (HIP 12.19 à 13.55), pér. var., JJH 2426631.370 + 0.378999 E.
 Base de données : 90 maxima s'étendant sur 104 ans. La précision des instants n'est pas grande et quelques uns sont erronés.
- b) Nous avons rejeté 7 maxima.
- c) La régression linéaire, effectuée avec les 83 maxima conservés, nous donnent les éléments qui suivent :

$$JJH\ 2426631.3866 (\pm 0.008) + 0.37899901 (\pm 0.0000003)\ E \tag{2}$$

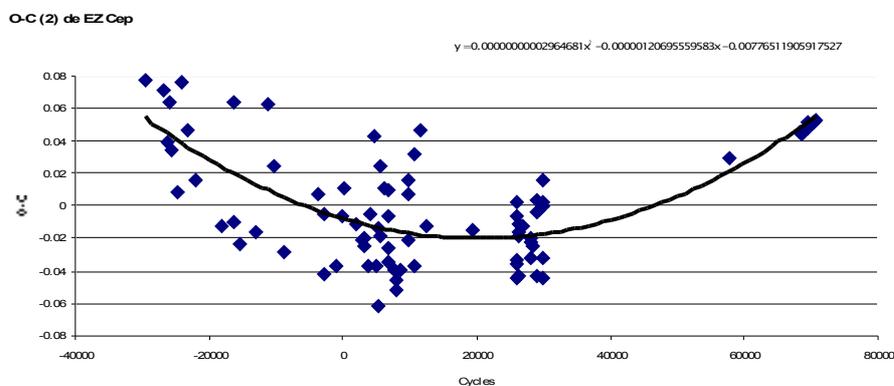


Fig. 5 : Courbe des O-C (2) de EZ Cep

Nonobstant la faible précision du premier groupe de maxima, nous voyons sur la fig. 5 que les O-C suivent une courbe parabolique.

- d) Nous avons donc calculé un terme non linéaire représentant la croissance à taux constant de la période de EZ Cep et nous avons obtenu : $0.2964681 \times 10^{-10}\ E^2 - 0.1206956 \times 10^{-5}\ E - 0.0077651\ j$. Après sa soustraction des O-C (2), les O-C résiduels (voir fig. 6) ne montrent plus de variation et la précision de plus en plus grande des 3 groupes de maxima est nettement perceptible.

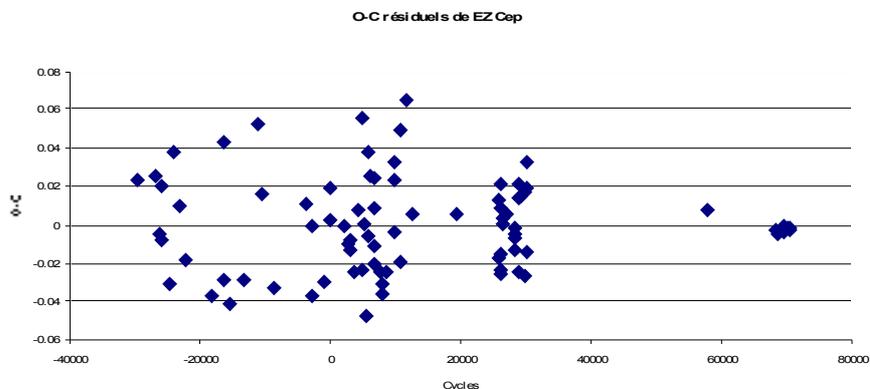


Fig. 6 : O-C résiduels de EZ Cep avec les nouveaux éléments

- e) Conclusion : la période de EZ Cep croît à un taux constant et l'éphéméride quadratique représentant les éléments de sa période est :

$$JJH\ 2426631.3788 + 0.37899780\ E + 0.2965 \times 10^{-10}\ E^2$$

et, depuis 104 ans, le taux de croissance constant a été de :

$$dP/dt = \frac{0.2964681 \times 10^{-10}}{0.37899901} = 1.564 \times 10^{-10} \text{ j/j}$$

et la période a augmenté de 0.51 s.

5. TV Lib

- a) GCVS : RRab, mag. 11.23 à 12.51 (V), sp. A5 – F5, JJH 2420017.3015 + 0.269624031 E
Base de données : 84 maxima s'étendant sur 110 ans. Sur le graphique des O-C, on devine que la période a tendance à diminuer.
- b) Nous avons éliminé 4 maxima.
- c) La nouvelle régression linéaire, effectuée avec 80 instants, nous donne les éléments qui suivent :
JJH 2420017.3034 (± 0.002) + 0.26962405 (± 0.00000007) E (2)

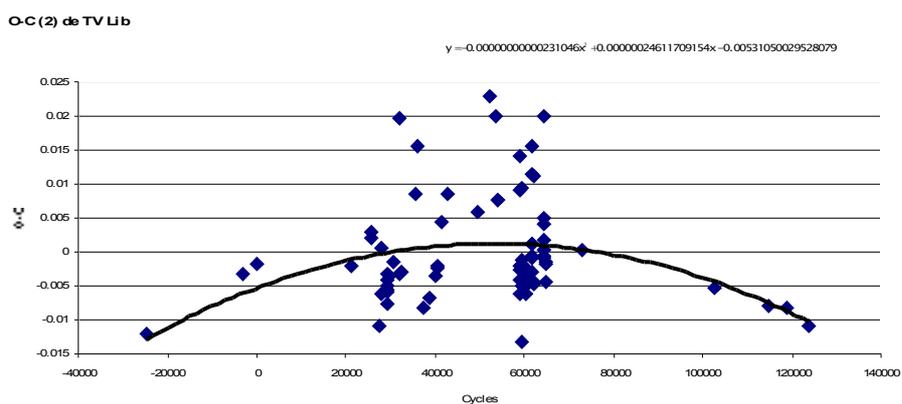


Fig. 7 : Courbe des O-C (2) de TV Lib

Sur la fig. 7, nous remarquons que les O-C sont peu dispersés (<0.04 j.). Les premiers et les derniers maxima nous suggèrent que la période pourrait décroître et, en effet, les 2 instants CCD très précis (l'antépénultième et l'avant-dernier) se trouvent presque sur la parabole obtenue avec l'ensemble des données.

- d) Nous avons donc calculé un terme non linéaire pouvant représenter le taux constant de décroissance de la période et nous avons obtenu : $- 0.0231046 \times 10^{-10} E^2 + 0.0246117 \times 10^{-5} E - 0.0053105 \text{ j}$. Après sa soustraction des O-C (2), les O-C résiduels (voir fig. 8) se retrouvent très proches de la ligne du zéro et nous ne voyons pas de variation supérieure à la précision des instants.

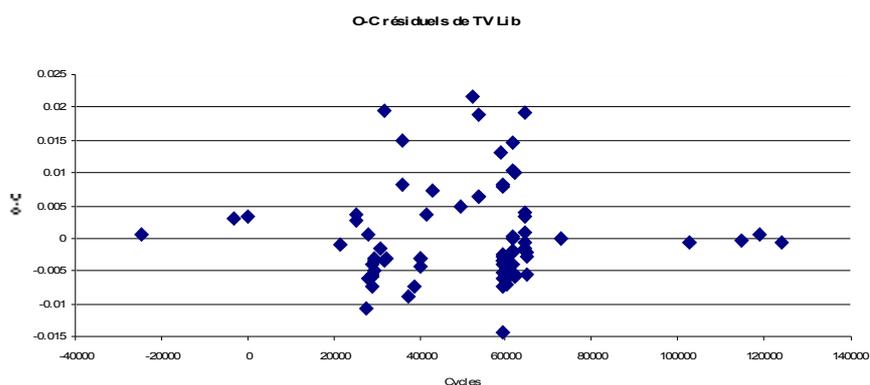


Fig. 8 : O-C résiduels de TV Lib avec les nouveaux éléments

- e) Conclusion : il se peut que la période de TV Lib n'ait pas changé, mais nous pouvons aussi avoir détecté qu'elle décroissait à un taux constant et qu'alors l'éphéméride quadratique représentant les éléments de sa période serait :

$$\text{JJH } 2420017.2981 + 0.26962430 E - 0.0231 \times 10^{-10} E^2$$

et, depuis 110 ans, le taux de décroissance serait de :

$$dP/dt = 2 \times \frac{-0.0231046 \times 10^{-10}}{0.26962405} = 1.714 \times 10^{-11} \text{ j/j}$$

et la période aurait décrû de 0.06 s. Il ne faut quand même pas rêver : il faudra beaucoup plus de maxima très précis et que la période de TV Lib continue à diminuer de façon monotone, pour pouvoir confirmer un taux de décroissance aussi faible.

6. TU UMa

- a) GCVS : RRab, mag. 9.26 à 10.24 (V), sp. A8 – F8, pér. var., JH 2442831.4947 + 0.5576587 E.
Base de données : 161 maxima s'étendant sur 91 ans. Sur le graphique des O-C, il y a quelques instants suspects et on voit que la période a tendance à diminuer.
- b) Nous avons rejeté 12 maxima.
- c) La nouvelle régression linéaire, effectuée avec les 149 maxima conservés, nous donne l'éphéméride suivante :

$$\text{JH } 2442831.4809 (\pm 0.002) + 0.55765768 (\pm 0.0000001) E \quad (2)$$

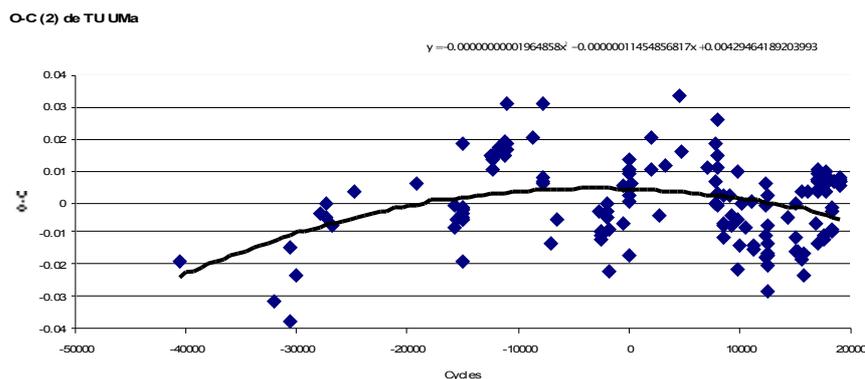


Fig. 9 : Courbe des O-C (2) de TU UMa

Sur la fig. 9, nous constatons que les O-C sont assez dispersés. Essayons de savoir s'il s'agit de variations réelles à courts termes ou si c'est seulement le résultat de l'imprécision des observations. Considérant les maxima CCD précis, nous constatons des différences de 0.015 mag. sur quelques mois. Hélas, ils sont mélangés à des observations visuelles bien plus dispersées et donc peu précises. Quoiqu'il en soit, il semble que dans son ensemble les O-C aient tendance à mieux suivre une courbe parabolique qu'une droite.

- d) Nous avons donc testé la possibilité d'une décroissance et calculé un terme non linéaire représentant son taux. Nous avons obtenu : $- 0.1964858 \times 10^{-10} E^2 - 0.0114549 \times 10^{-5} E + 0.0042946 j$. Après sa soustraction des O-C (2), les O-C résiduels (voir fig. 10) ne montrent plus de variation. Toutefois, les observations CCD ne sont pas bien réparties de part et d'autre de la ligne du zéro et sont généralement positifs. Pour obtenir un résultat fiable, il nous faudrait disposer de plus de données précises. Toutefois, les observations CCD ne sont pas bien réparties de part et d'autre de la ligne du zéro et sont généralement positifs. Pour obtenir un résultat fiable, il nous faudrait disposer de plus de données précises.

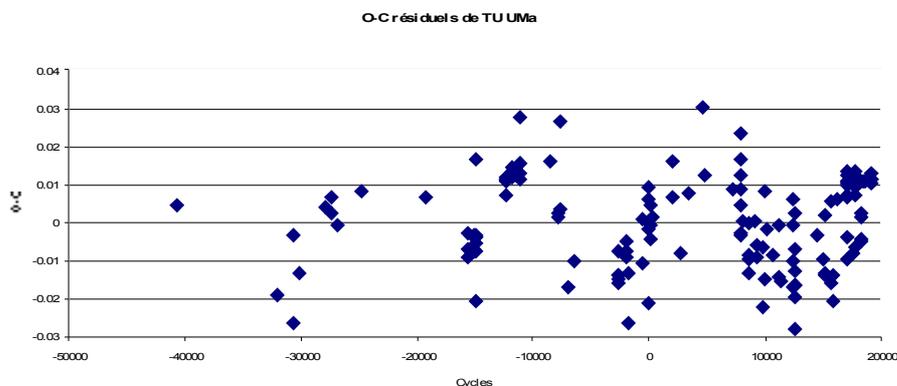


Fig. 10 : O-C résiduels de TU UMa avec l'éphéméride quadratique

- e) Conclusion : la période de TU UMa n'a presque pas évolué depuis 91 ans, mais elle subit de petites fluctuations à courts termes. Une éphéméride quadratique représentant un faible taux constant de décroissance serait de l'ordre de :

$$\text{JH } 2442831.4852 + 0.55765756 E - 0.1965 \times 10^{-10} E^2$$

et, depuis 91 ans, le taux de décroissance pourrait avoir été d'environ :

$$dP/dt = 2 \times \frac{-0.1964858 \times 10^{-10}}{0.55765768} = 7.047 \times 10^{-11} \text{ j/j}$$

et la période aurait alors diminué de 0.2 s. Il n'est pas difficile de comprendre que des changements aussi minimes nécessitent un plus grand nombre de données très précises pour être fiables.

8. SZ Gem, V 524 Her, ST Leo, WW Leo, TT Lyn, RR Lyr, AQ Lyr, CN Lyr, IO Lyr, CG Peg, DH Peg, DZ Peg et UX Tri

Voici un résumé des résultats obtenus sur 12 RR Lyrae, dont la période n'a pas varié ou l'a fait de façon irrégulière. A une exception près, nous n'avons pas montré les graphiques des O-C de ces étoiles pour ne pas alourdir le fichier, mais nous pouvons les procurer à ceux qui nous en feront la demande.

- a) SZ Gem : GCVS : RRab, mag. 10.98 à 12.25 (V), sp. A0, JJH 2427194.027 + 0.5011365 E.
 Base de données : 67 maxima s'étendant sur 83 ans. Nous avons conservé 63 instants pour faire une nouvelle régression linéaire qui donne l'éphéméride suivante :

$$\text{JJH } 2427194.0412 (\pm 0.003) + 0.50113550 (\pm 0.0000001) \text{ E} \quad (2)$$
 Les maxima ne sont pas très bien répartis dans le temps et les O-C (2) vont de - 0.021 à +0.027 j.
 Des fluctuations à courts termes sont possibles, mais dans son ensemble la période de SZ Gem est restée à peu près stable.
- b) V 524 Her : GCVS : RRab, mag. 14.6 à 16.2 (p), JJH 2430938.500 + 0.933 E, pér. 2 fois plus courte possible.
 La base de données donne aussi l'éphéméride rectifiée de Hacke et Richert (1988), soit JJH 2426099.557 + 0.48186664 E. Avec les 122 maxima s'étendant sur 56 ans qui s'y trouvent, nous obtenons des éléments à peine différents que Hacke et Richert, n'ayant que 3 maxima provenant d'une autre source que la leur, soit :

$$\text{JJH } 2426099.5710 (\pm 0.006) + 0.48186664 (\pm 0.0000004) \text{ E} \quad (2)$$
 La courbe des O-C (2) ne montre aucun changement de période : les maxima sont bien répartis dans le temps, mais ils sont peu précis (+ ou - 0.06 j.). Les observations s'arrêtent à JJ 46552 (1986). Il est dommage que personne ne continue à observer cette étoile faible.
- c) ST Leo : GCVS : RRab, mag. 10.74 à 12.02 (V), sp. A6 - F8, JJH 2427923.118 + 0.4779843 E.
 Base de données : 95 maxima s'étendant sur 79 ans.
 Avec 92 instants conservés, nous avons obtenu l'éphéméride suivante :

$$\text{JJH } 2427923.1198 (\pm 0.001) + 0.47798405 (\pm 0.00000007) \text{ E} \quad (2)$$
 Tous les O-C sont petits et montrent que la période de ST Leo est restée constante pendant 79 ans.
- d) WW Leo : GCVS : RRab, mag. 12.08 à 12.87 (V), JJH 2434882.394 + 0.60284527 E.
 Base de données : 39 maxima s'étendant sur 71 ans.
 L'époque du GCVS rejetée, nous avons fait une nouvelle régression linéaire avec 38 instants.
 Elle donne l'éphéméride suivante :

$$\text{JJH } 2434882.3974 (\pm 0.007) + 0.60284596 (\pm 0.0000005) \text{ E} \quad (2)$$
 Le graphique des O-C (2) montre que la période de WW Leo est restée stable pendant 71 ans.
- e) TT Lyn : GCVS : RRab, mag. 9.42 à 10.21 (V), sp. F0 - F8 ?, JJH 2436651.356 + 0.597434355 E.
 Base de données : 44 maxima s'étendant sur 77 ans.
 Avec 37 instants assez mal répartis sur 63 ans, nous avons fait une régression linéaire qui nous donne l'éphéméride suivante :

$$\text{JJH } 2436651.3824 (\pm 0.009) + 0.59743245 (\pm 0.0000008) \text{ E} \quad (2)$$
 Le graphique des O-C (2) ne montre pas de changement de période. Les premiers maxima visuels et photographiques sont groupés et fort dispersés (écart de 0.11 j.), mais les derniers instants photoélectriques et CCD ne montrent pas de fluctuation et sont tous très proches de zéro.
- f) RR Lyr : Nous avons dans la base de données 978 maxima s'étendant sur 105 ans. Comme RR Lyr est l'étoile de sa catégorie la plus connue et la plus étudiée, nous n'aborderons pas ici l'évolution de sa période.
- g) AQ Lyr : GCVS : RRab, mag. 12.3 à 13.51 (V), pér. var., effet Blazhko ?, JJH 2435695.098 + 0.3571424 E.
 Base de données : 189 maxima s'étendant sur 102 ans.
 Avec les 184 instants conservés, la nouvelle régression linéaire que nous avons effectuée donne l'éphéméride suivante :

$$\text{JJH } 2435695.018 (\pm 0.007) + 0.35716212 (\pm 0.0000005) \text{ E} \quad (2)$$

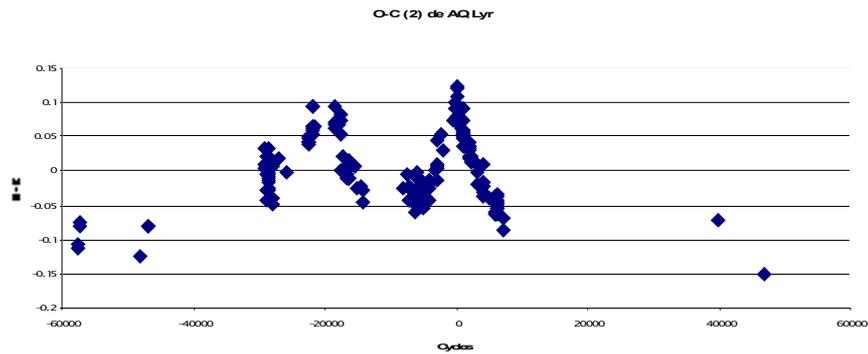


Fig. 11 : Courbe des O-C (2) de AQ Lyr

Ce qui frappe sur la fig. 11, ce sont les grands changements brusques qui ont eu lieu lorsque AQ Lyr a été observée intensément. Quant à l'évolution à long terme de la période, nous ne pouvons savoir si elle a gardé une même valeur moyenne ou si elle a tendance à diminuer, car nous n'avons qu'une seule mesure précise, la dernière. Il faudrait donc observer régulièrement cette RRab et en obtenir des maxima précis.

- h) CN Lyr : GCVS : RRab, mag. 11.07 à 11.76 (V), sp. F0 – F5, JJH 2444486.3338 + 0.41138232 E.
 Base de données : 59 maxima s'étendant sur 104 ans.
 La nouvelle régression linéaire, que nous avons faite avec les 55 instants conservés, donne les éléments de la période qui suivent :

$$\text{JJH } 2444486.3395 (\pm 0.003) + 0.41138273 (\pm 0.0000001) \text{ E} \quad (2)$$
 Les O-C (2), bien répartis dans le temps, montrent que la période de CN Lyr n'a pas changé depuis 104 ans. Les dernières mesures CCD précises ont une dispersion de 0.025 j. qui pourrait refléter un effet Blazhko.
- i) IO Lyr : GCVS : RRab, mag. 11.27 à 12.24 (V), sp. F1 – F6, JJH 2439618.9315 + 0.57712278 E.
 Base de données : 84 maxima s'étendant sur 96 ans.
 La nouvelle régression linéaire, effectuée avec les 79 instants conservés, nous donne l'éphéméride :

$$\text{JJH } 2439618.9217 (\pm 0.003) + 0.57712226 (\pm 0.0000002) \text{ E} \quad (2)$$
 Les O-C (2), médiocrement répartis dans le temps, ne montrent aucun changement de période et les derniers maxima CCD ont tous des O-C très petits.
- j) CG Peg : GCVS : RRab, mag. 10.64 à 11.58 (V), sp. A7 – F6, pér. var. ?, JJH 2439102.396 + 0.4671382 E.
 Base de données : 90 maxima s'étendant sur 49 ans.
 La nouvelle régression linéaire, effectuée avec les 87 instants conservés, nous donne l'éphéméride :

$$\text{JJH } 2439102.3843 (\pm 0.003) + 0.46713733 (\pm 0.0000002) \text{ E} \quad (2)$$
 Les O-C (2) sont répartis en deux groupes séparés de 14 ans. Les derniers maxima du premier groupe ont des O-C de plus en plus négatifs, allant jusqu'à -0.05 j. Un changement de période de courte durée est donc possible, mais dans son ensemble la période de CG Peg est restée approximativement à la même valeur depuis 49 ans.
- k) DH Peg : GCVS : RRc, mag. 9.15 à 9.80 (V), sp. A5.0 – F0.5, pér. var., JJH 2444463.571 + 0.2555104 E.
 Base de données : 149 maxima bien répartis sur 56 ans.
 Avec les 130 instants conservés, nous avons effectué une nouvelle régression linéaire qui donne l'éphéméride suivante :

$$\text{JJH } 2444463.5783 (\pm 0.004) + 0.25551067 (\pm 0.0000002) \text{ E} \quad (2)$$
 Le graphique des O-C (2) ne montre pas de changement de période depuis 56 ans et les O-C, parfois assez dispersés, semblent refléter la précision des données.
- l) DZ Peg : GCVS : RRab, mag. 11.31 à 12.43 (V), sp. A8, pér. var., JJH 2433891.308 + 0.6073441 E.
 Base de données : 55 maxima s'étendant sur 95 ans.
 La nouvelle régression linéaire, que nous avons effectuée avec 53 instants, donne l'éphéméride :

$$\text{JJH } 2433891.3036 (\pm 0.009) + 0.60734880 (\pm 0.0000007) \text{ E} \quad (2)$$
 Les instants ne sont pas très bien répartis dans le temps et, sur le graphique des O-C (2), il y a des maxima groupés et assez dispersés. Comme les derniers instants CCD précis ont aussi une dispersion de > 0.02 j., nous pensons à un effet Blazhko. Il y a aussi les deux premières mesures isolées qui ont des O-C de +0.07 et +0.08 j. Nous avons donc besoin de plus de maxima précis pour être sûrs que la période principale de DZ Peg ne change que très peu.

m) UX Tri : GCVS : RRab, mag. 10.5 à 11.5 (p), JJH 2450753.483 + 0.466917 E.

Base de données : 97 maxima s'étendant sur 48 ans.

Avec les 93 instants conservés, nous avons effectué une régression linéaire qui donne l'éphéméride :
JJH 2450753.4764 (± 0.007) + 0.46692153 (± 0.0000005) E (2)

Le graphique des O-C (2) montre principalement deux groupes d'observations avec une très grande dispersion des O-C. Comme dans le dernier groupe tous les maxima ont été déterminés avec précision à partir de mesures CCD, nous pouvons être certains que les variations de 0.08 j. sur de très courtes périodes sont réelles et découlent, entre autres, d'un très fort effet Blazhko. Entre les deux groupes de données, nous avons 3 maxima fortement négatifs. Nous pensons que ces instants sont erronés et qu'en fait la période de base de UX Tri n'a pas évolué depuis 48 ans.

n) Conclusions : SZ Gem, V 524 Her, ST Leo, WW Leo, TT Lyn, CN Lyr, IO Lyr, DH Peg et UX Tri sont des RRab, dont la période principale n'a pas changé au cours du laps de temps couvert par leurs observations, du moins dans la limite des variations perceptibles avec les maxima disponibles.

La période de AQ Lyr semble avoir subi des changements brusques spectaculaires tout en restant assez stable à long terme ou en ayant tendance à diminuer. Celle de CG Peg a peut-être subi une variation de courte durée tout en restant constante à plus long terme.

L'évolution de la période de DZ Peg est plus problématique. Nous avons besoin de nouvelles observations pour être sûrs qu'elle ne change pas ou très peu.

9. Conclusions générales

Afin d'obtenir une vue d'ensemble de l'évolution de la période des RR Lyrae du champ de notre galaxie, il est important d'étudier le plus grand nombre d'étoiles possible et donc toutes celles se trouvant dans la base de données du GEOS avec suffisamment de maxima répartis sur une cinquantaine d'années au moins. Pour ce faire, nous avons encore une ou deux séries de données à exploiter et il restera ensuite à interpréter les résultats obtenus.

10. Bibliographie

- Hacke G. et Rchert M., 1988, MVS 11, 5, 97
- 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>