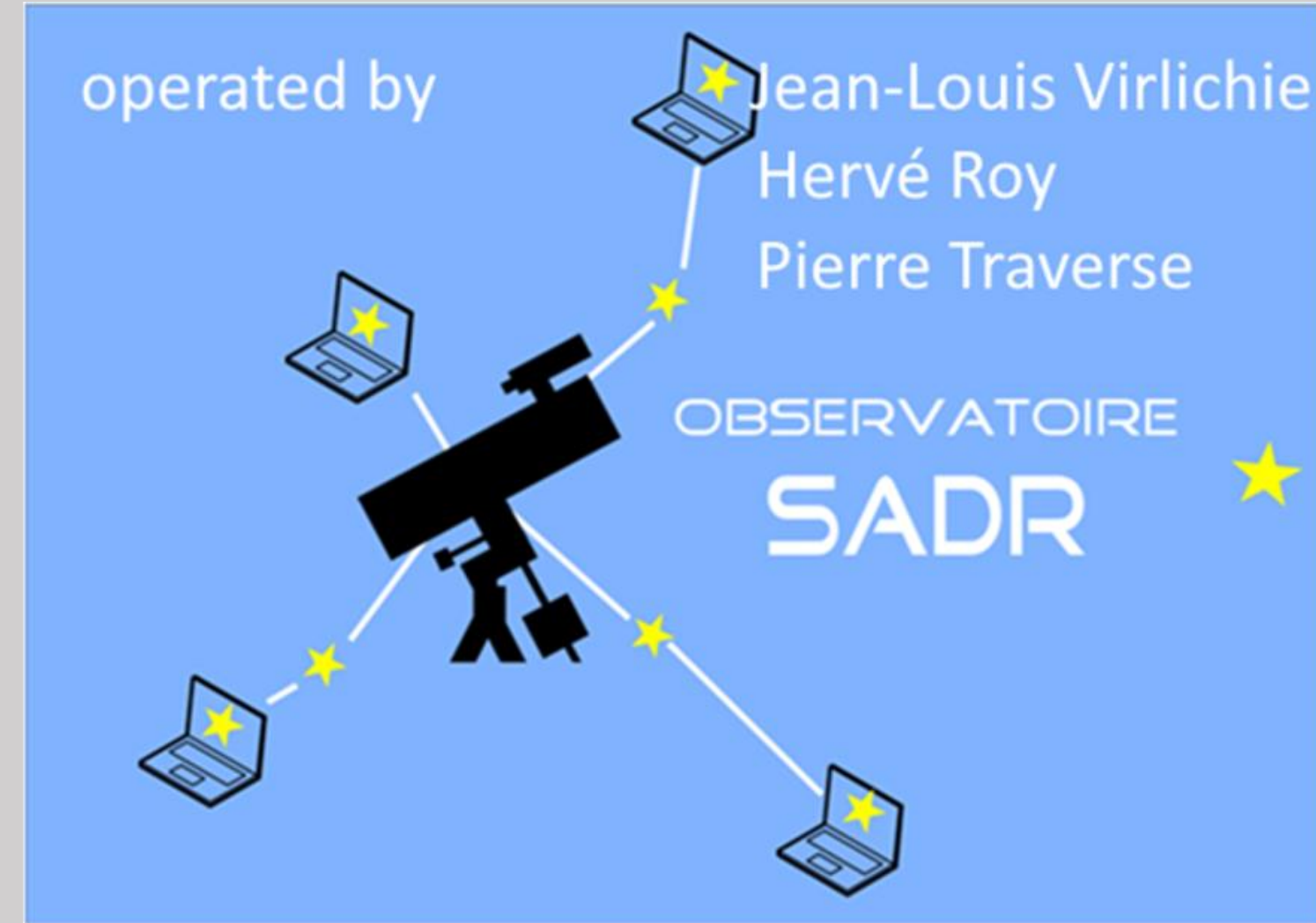


**GEOS** Groupe Européen d'Observation Stellaire

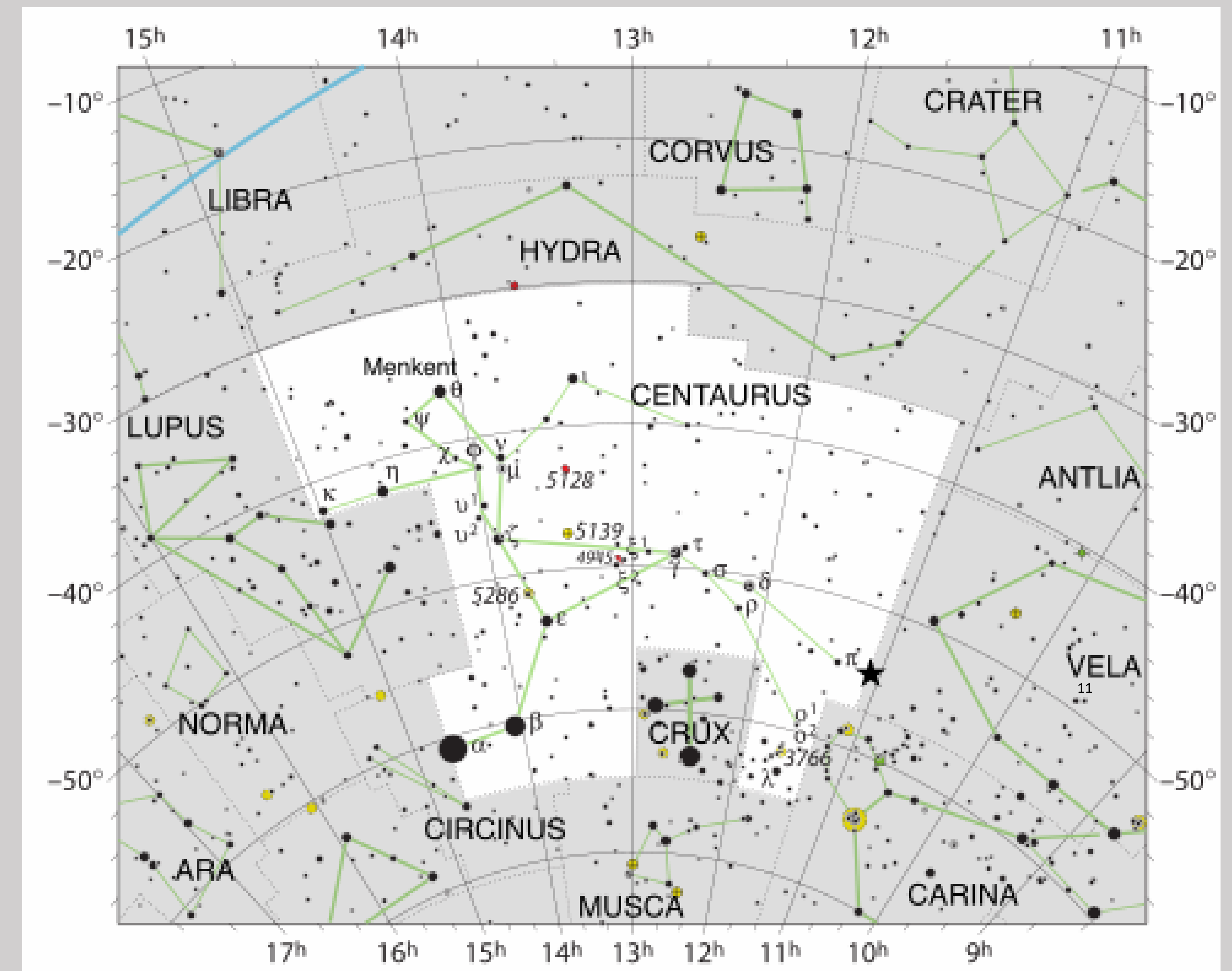
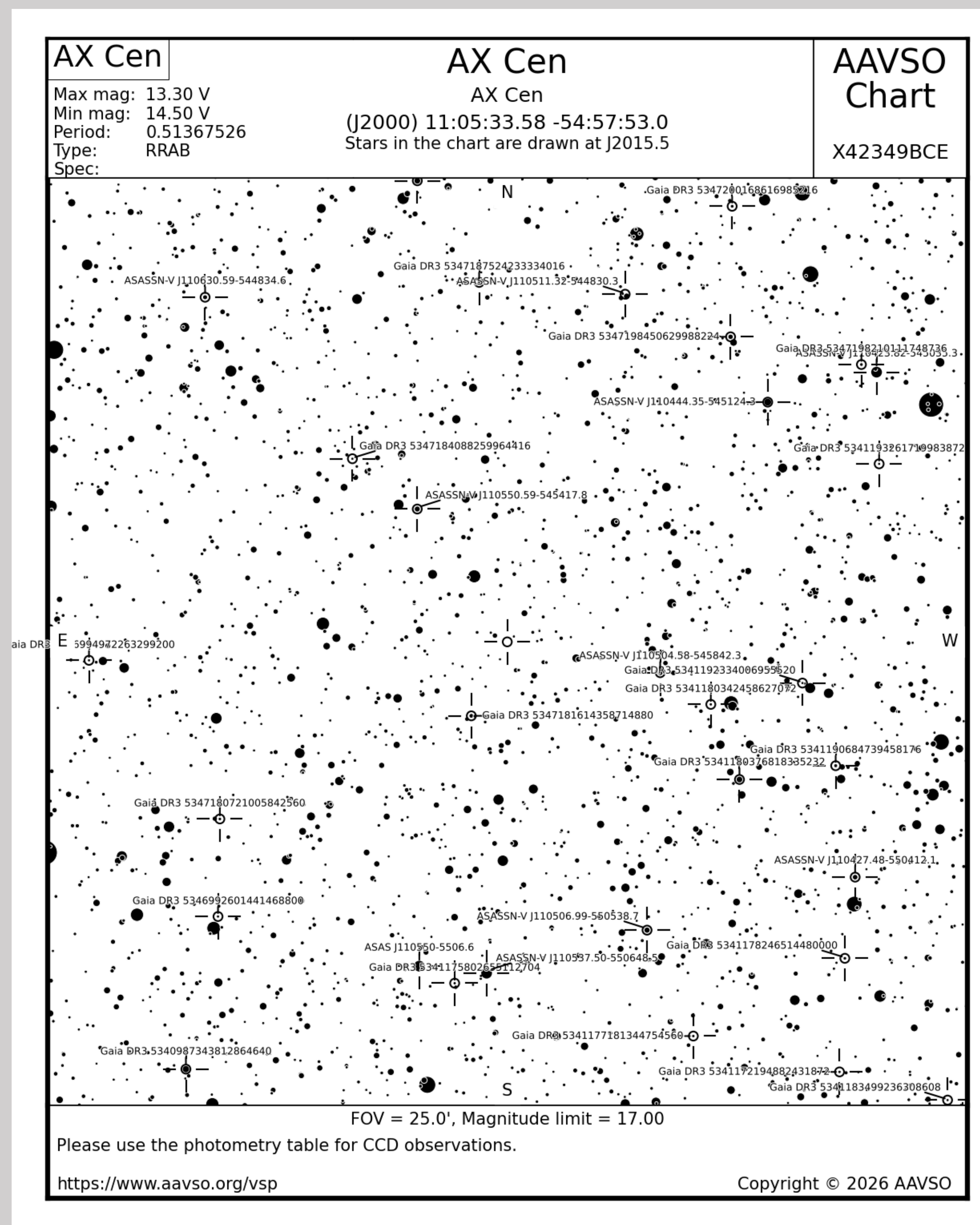
GEOS RR Lyr SURVEY

GEOS RR Lyr Database

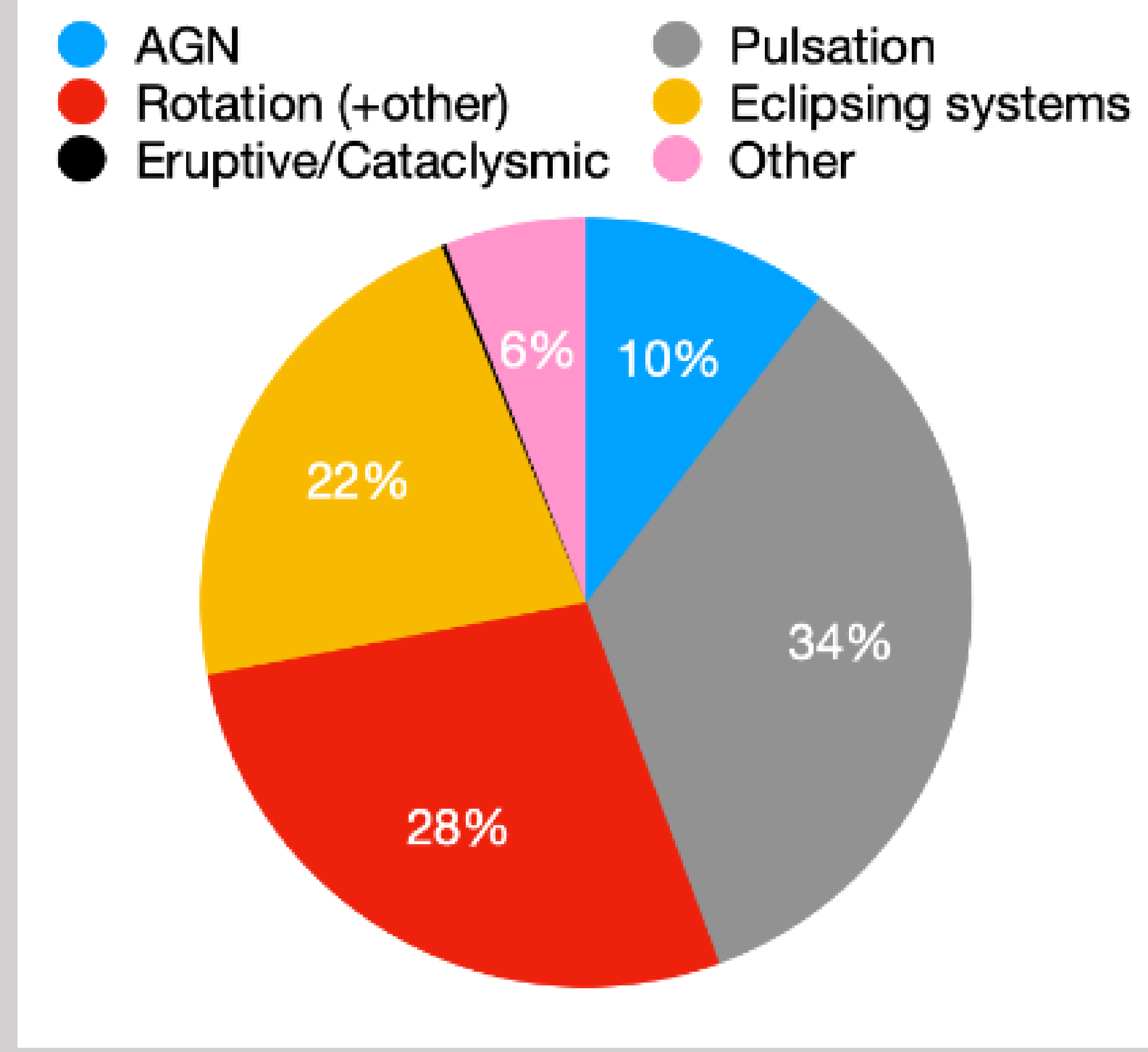
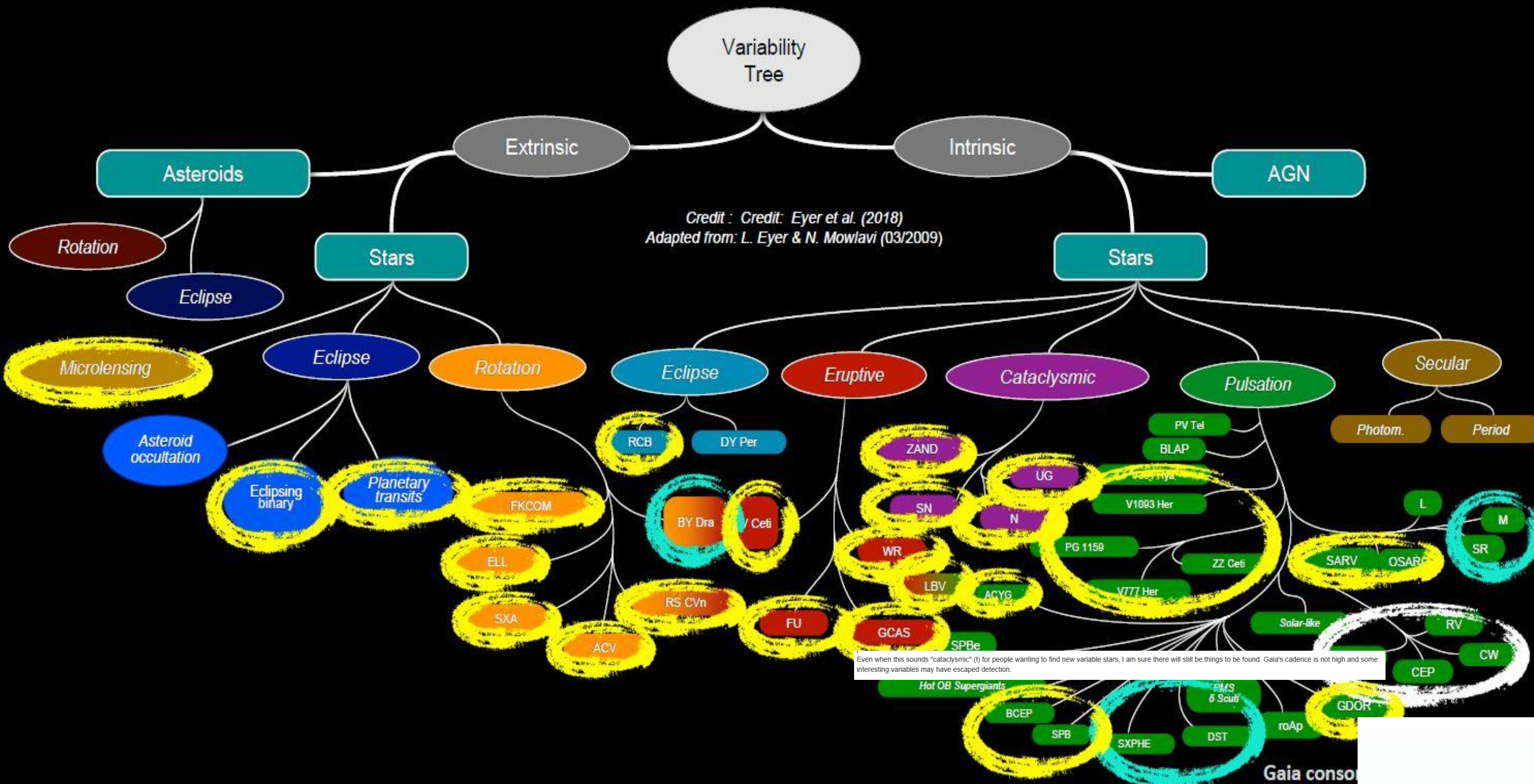


# AX Cen une étoile variable à fort effet Blazhko

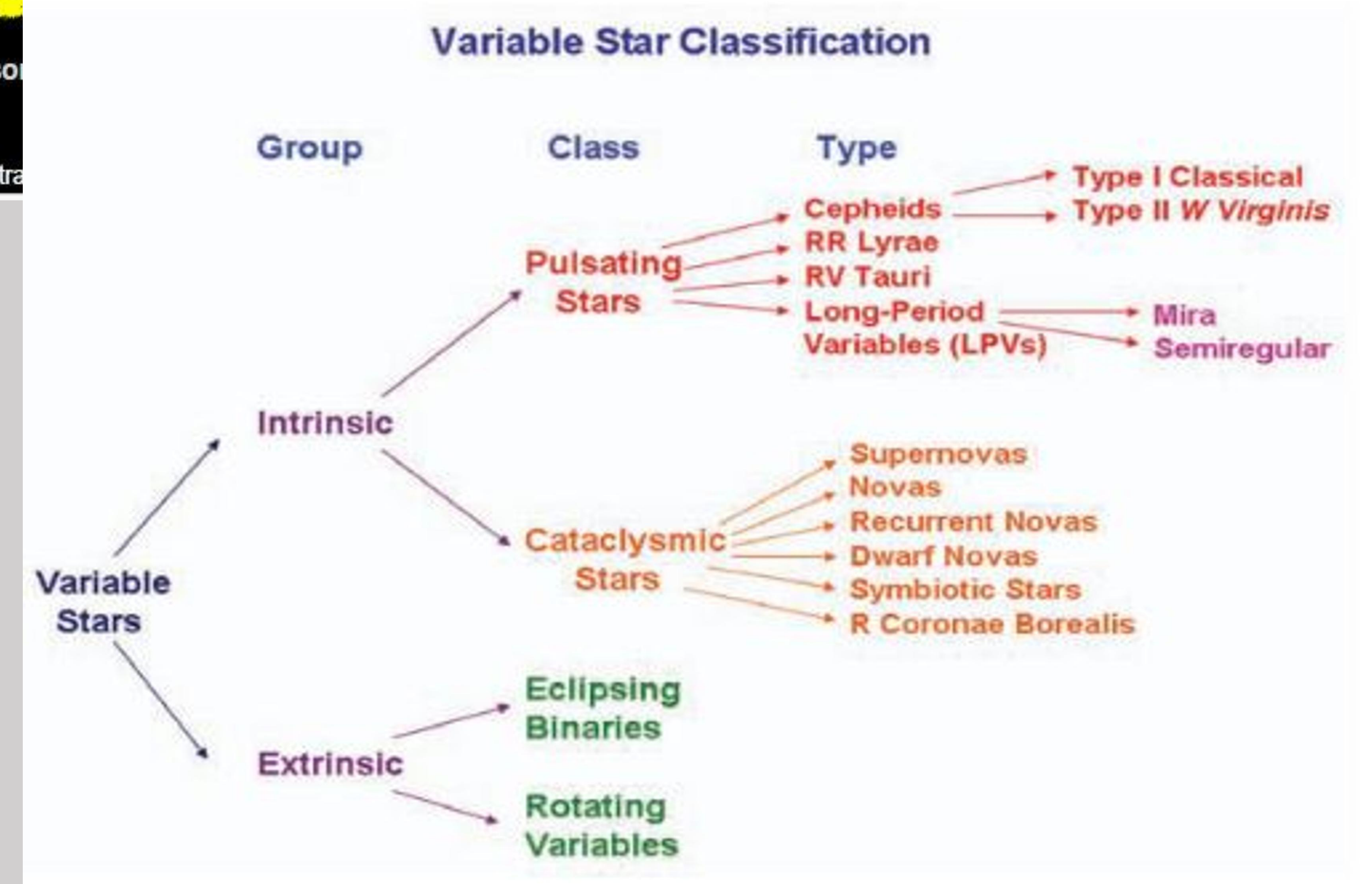
## Méthodes et résultats



# L'arbre de variabilité



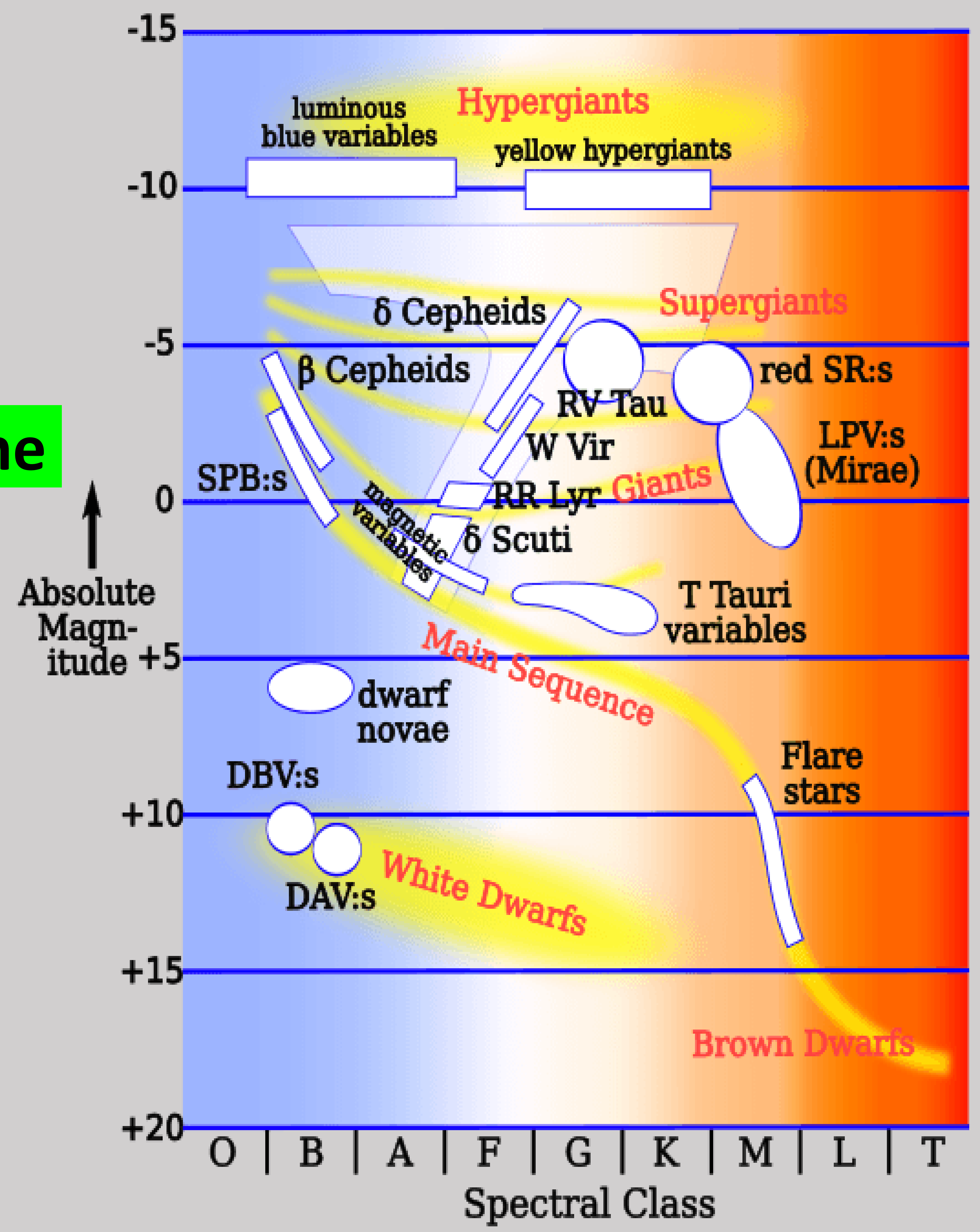
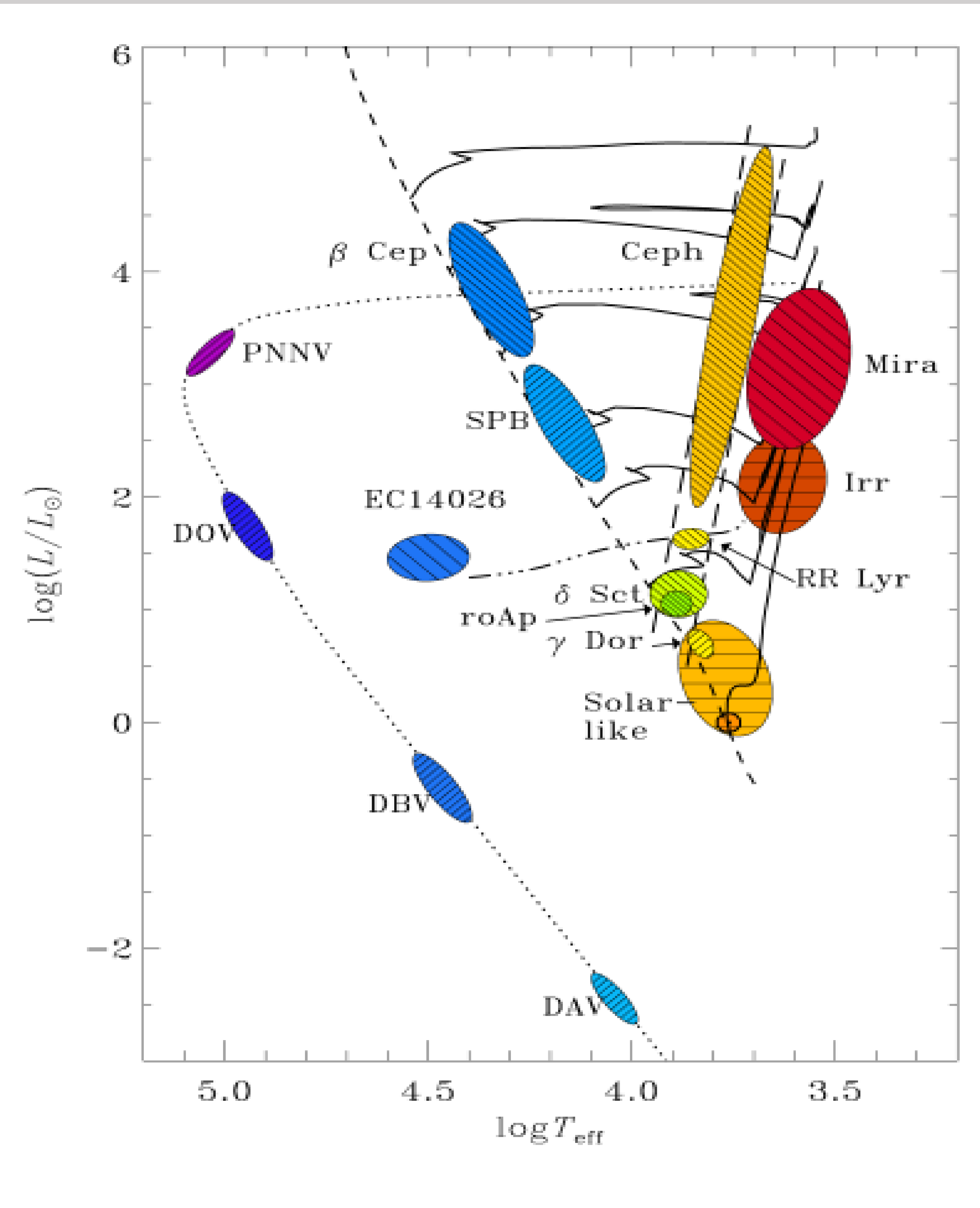
Even when this sounds "cataclysmic" (!) for people wanting to find new variable stars, I am sure there will still be things to be found. Gaia's cadence is not high and some interesting variables may have escaped detection.



Les variables de GAIA; DR3 juin 2022, 34 mois de données epoch 2016  
 DR4 fin 2026 (x50 fois le volume de DR3) epoch 2018, 5.5 ans d'observation  
 10.5 millions d'objets variables classées en 24 types  
 Dont 2.1 millions Eclipsing Binary, 15 mille cepheides et 272 mille RR Lyrae variables pulsantes dont 70 000 nouvelles  
 Catalogue AAVSO: 10.2 millions d'étoiles variables vs 2.1 millions en 2022

Even when this sounds "cataclysmic" (!) for people wanting to find new variable stars, I am sure there will still be things to be found. Gaia's cadence is not high and some interesting variables may have escaped detection.

- Les variables étoiles pulsantes
- Dans le diagramme H-R



Axe horizontal,  $T_{\text{eff}}$  ou indice de couleur ou classe spectrale  
 axe vertical luminosité (magnitude absolue ou  $\log L/L_{\text{soleil}}$ )

## Etoile variable du type RR Lyrae RRab; les vieilles étoiles varient également

Les questions que l'on se pose....et les réponses proposées

Pour une étoile à la variation de magnitude périodique on verra 2 méthodes principales de détermination de la période; par les O-C et par l'analyse de Fourier

A partir de la période on trace la courbe de lumière repliée sur la période de pulsation; forme spécifique aux RRab  
Magnitude, amplitude environ 1 magnitude, en fonction de la phase 0 à 1

Caractéristiques

montée rapide (env 10% du cycle)

bump hump irrégularités avant la montée et lors de la descente

éphémérides pour un endroit particulier de la courbe par exemple le sommet  
TO date du départ, N num du cycle, P entre 0.4 et 1 jour.

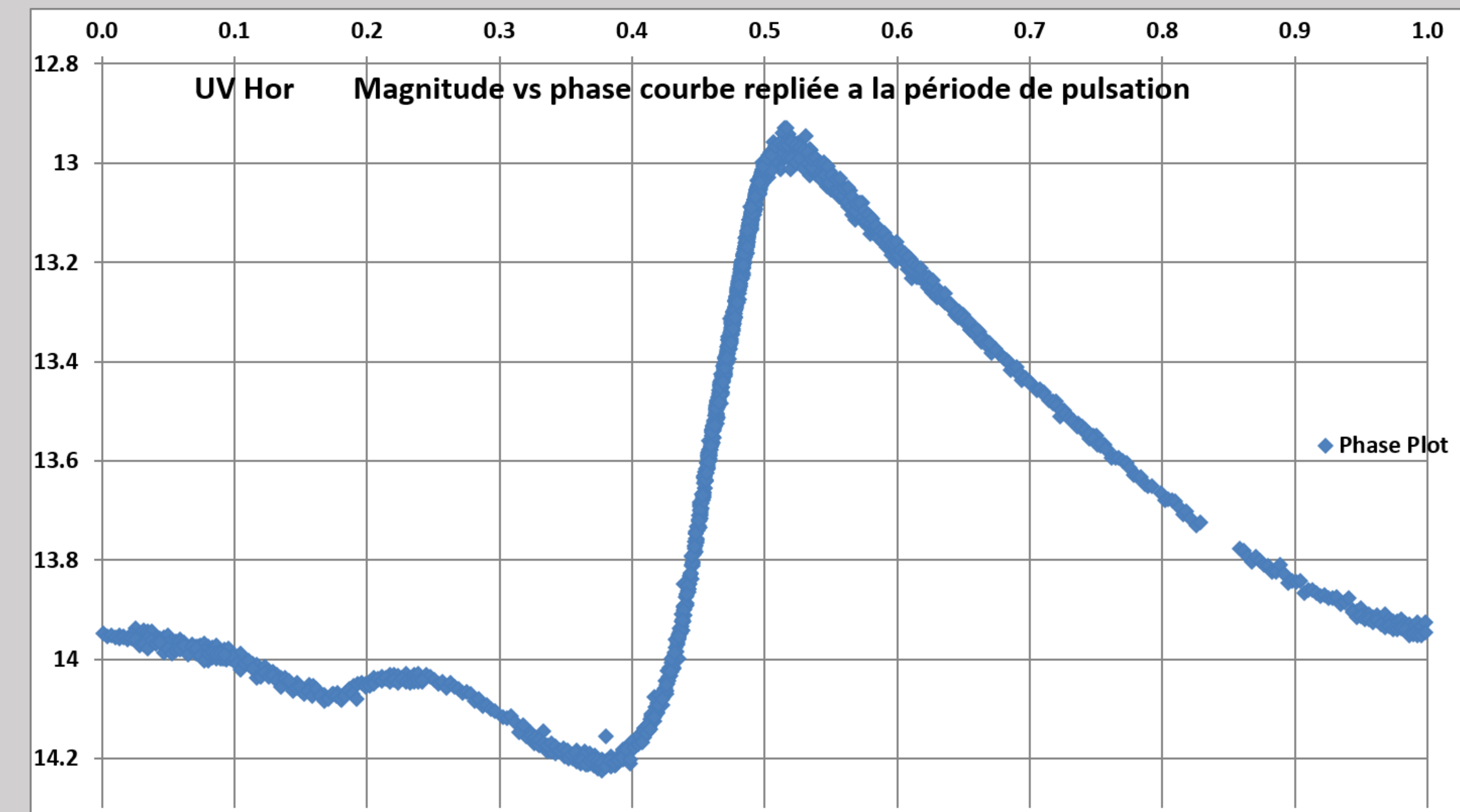
$$T = T_0 + N * P$$

remarque: une observation à partir de la Terre engendre des biais (alias dans le spectre). On observe les cycles de même parité (P Voisin de 12h) puis au bout d'un certain nombre de jours (alternance) on observe les cycles d'une autre parité. Biais du jour, de l'année, de l'alternance etc.

Voir [https://rr-lyr.irap.omp.eu/documents/GEOS\\_circulars/NC1370.pdf](https://rr-lyr.irap.omp.eu/documents/GEOS_circulars/NC1370.pdf)

Ici UV Hor une variable RR ab très stable  
Image des observations repliées sur la période; on repasse sur le même « trait »

magnitude observée vs phase de pulsation



# Etoile variable type RR Lyrae; AX Cen. Observée depuis 1926 (Hertzsprung)

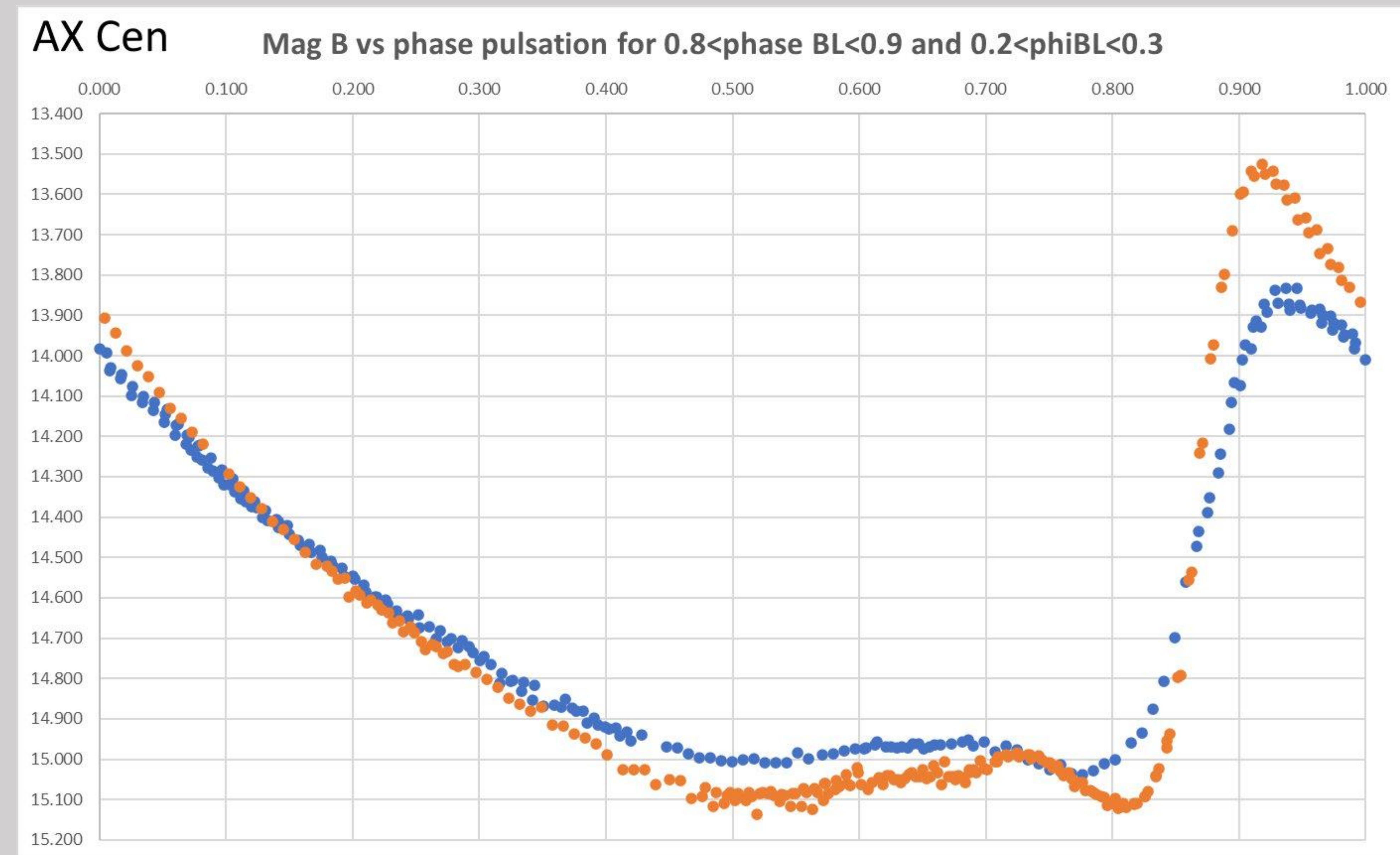
Ici une étoile peu stable

Diagramme de lumière des observations repliées sur la période de pulsation, magnitude (axe V) vs phase de pulsation (axe H)

on ne repasse pas sur la même courbe

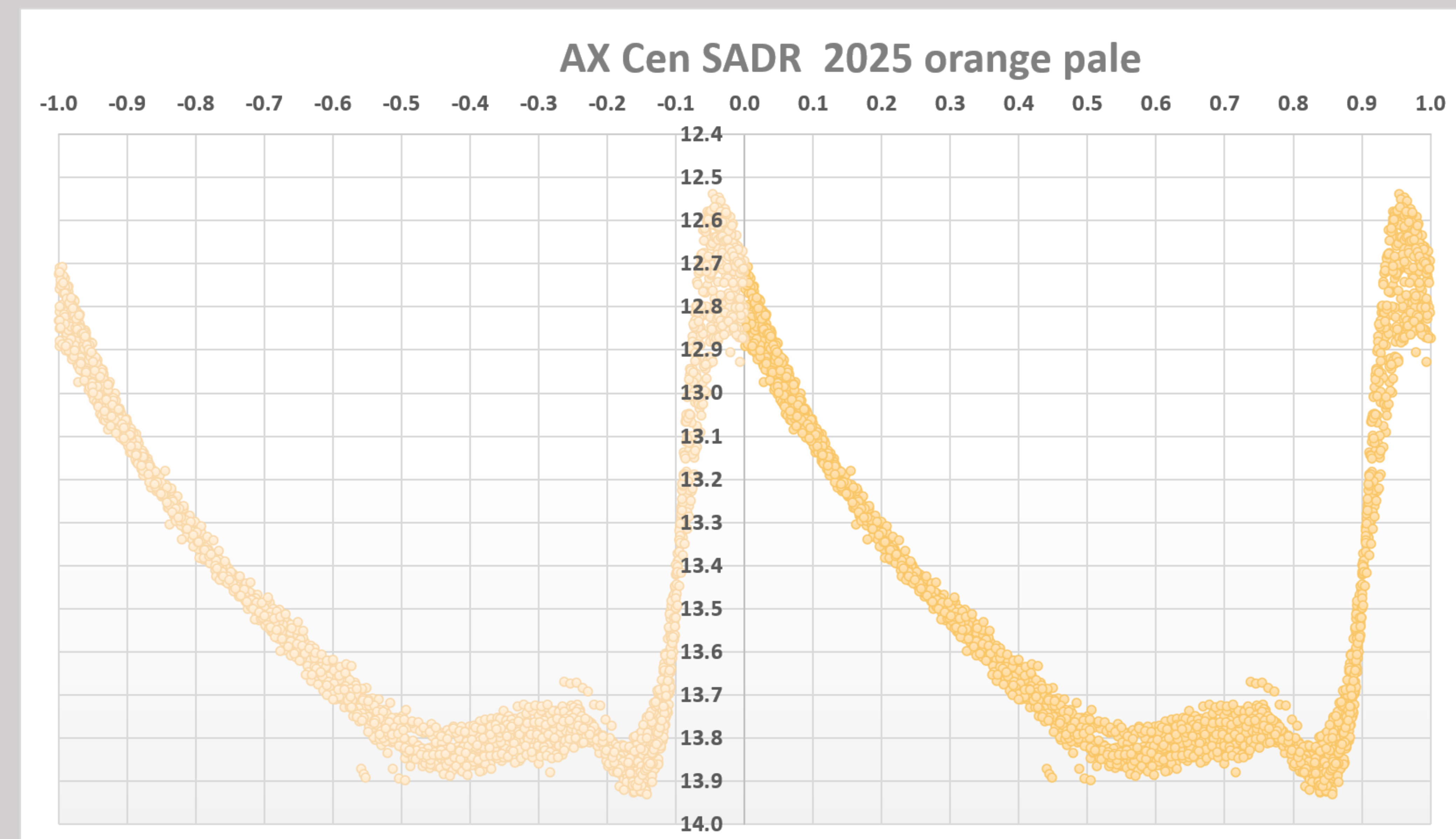
Le maximum est décalé en amplitude et en phase; si périodique

**c'est l'effet Blazhko**



Ici courbe de lumière pour l'année 2025 de AX Cen (env x2500 obs); on remarque

- « l'épaisseur du trait » de la courbe de magnitude vs phase (-1 à +1)
- l'amplitude de la variation des maximums
- la variation de la phase des maximums, le rebond avant le minimum



## AX Cen étoile variable RR ab

Ici courbe de lumière magnitude vs phase de la période de pulsation; à gauche années 2021

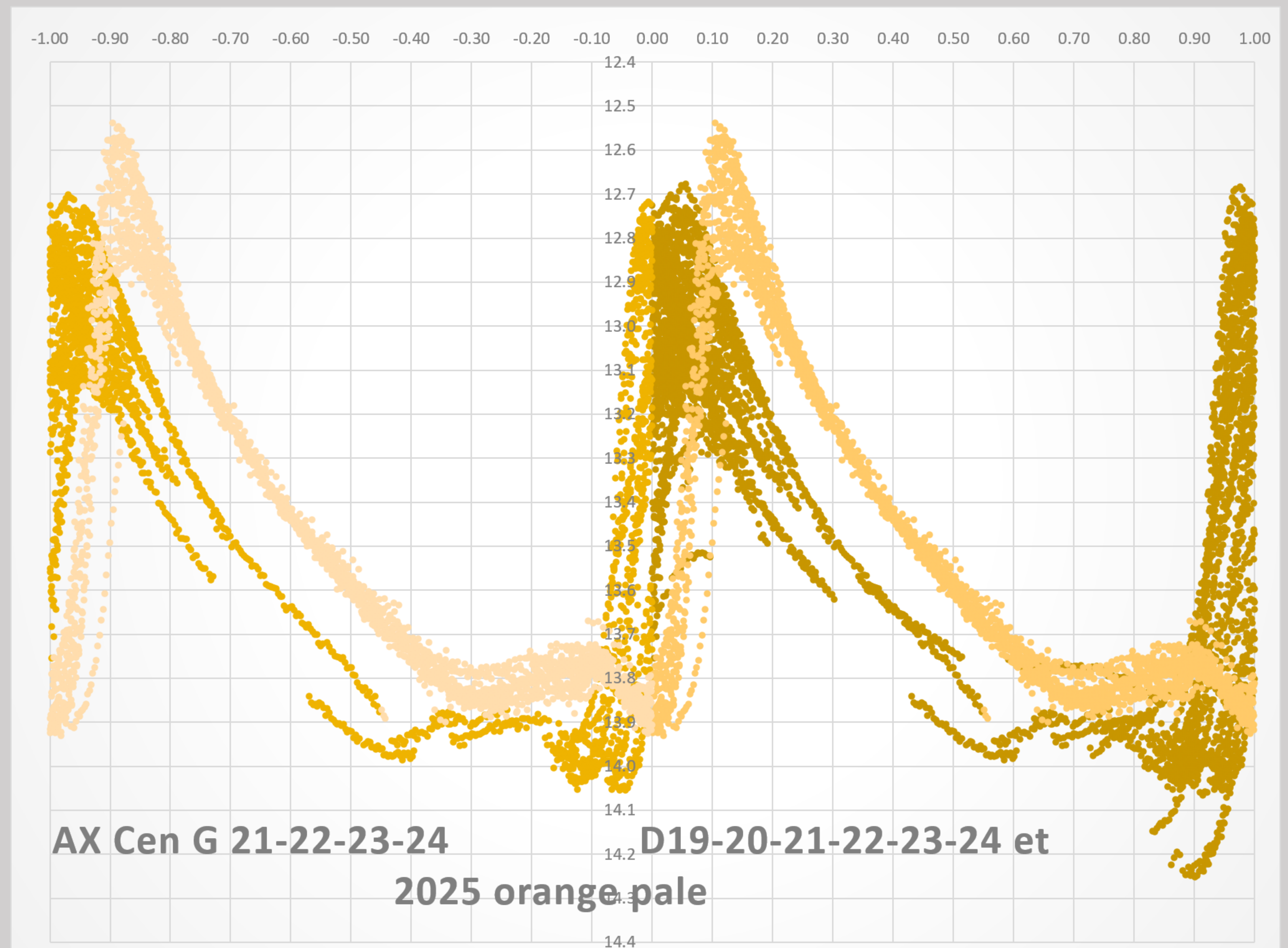
22 23 24 25

à droite 2019 20 21 22 23 24 et 2025

modulation en amplitude évident a détecter

épaisseur du trait du au changement de période et/ou modulation de phase

- Si on admet avec J. Jurcsik que la modulation de phase est un effet du changement de période alors la période est en perpétuelle évolution pour AX Cen



### An extensive photometric study of the Blazhko RR Lyrae star MW Lyr – II. Changes in the physical parameters★

J. Jurcsik,<sup>1†</sup> Á. Sódor,<sup>1</sup> B. Szeidl,<sup>1</sup> Z. Kolláth,<sup>1</sup> H. A. Smith,<sup>2</sup> Zs. Hurta,<sup>1,3</sup>

#### ABSTRACT

The analysis of the multicolour photometric observations of MW Lyr, a large modulation amplitude Blazhko variable, shows for the first time how the mean global physical parameters vary during the Blazhko cycle. About 1–2 per cent changes in the mean radius, luminosity and surface effective temperature are detected. The mean radius and temperature changes are in good accordance with pulsation model results, which show that these parameters do indeed vary within this order of magnitude if the amplitude of the pulsation changes significantly. We interpret the phase modulation of the pulsation to be a consequence of period changes.

# Étoiles RR Lyrae: traitement des observations

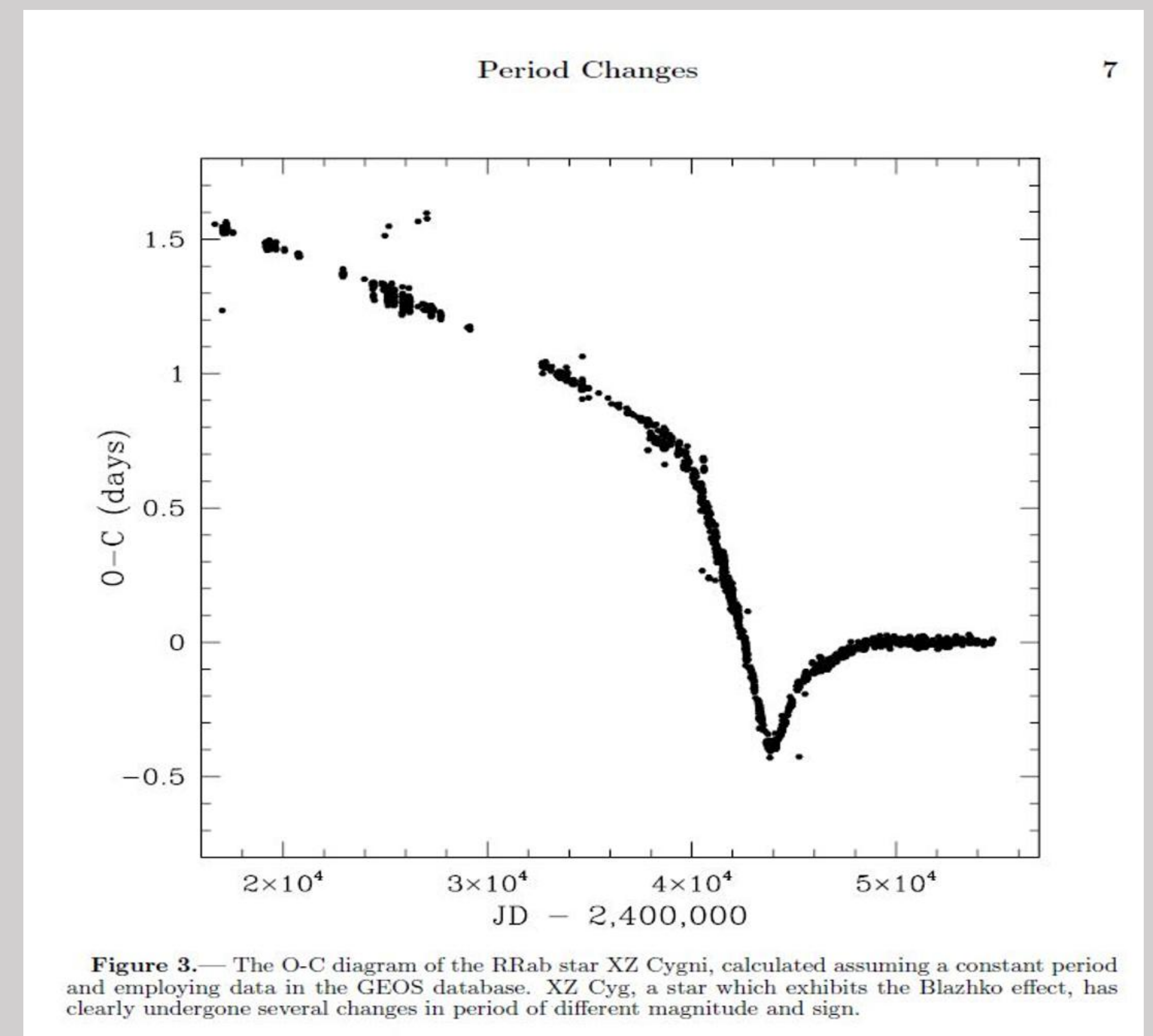
## 2 méthodes principales

-1-les Observés moins Calculés O-C (voir le site du GEOS). On enregistre les variations du maximum en temps (HJD) et en magnitude par rapport à l'éphéméride (  $T_{\max} = T_0 + N * P$  et  $O-C = T_{\text{obs}} - T_{\max} \text{ prévu}$  )

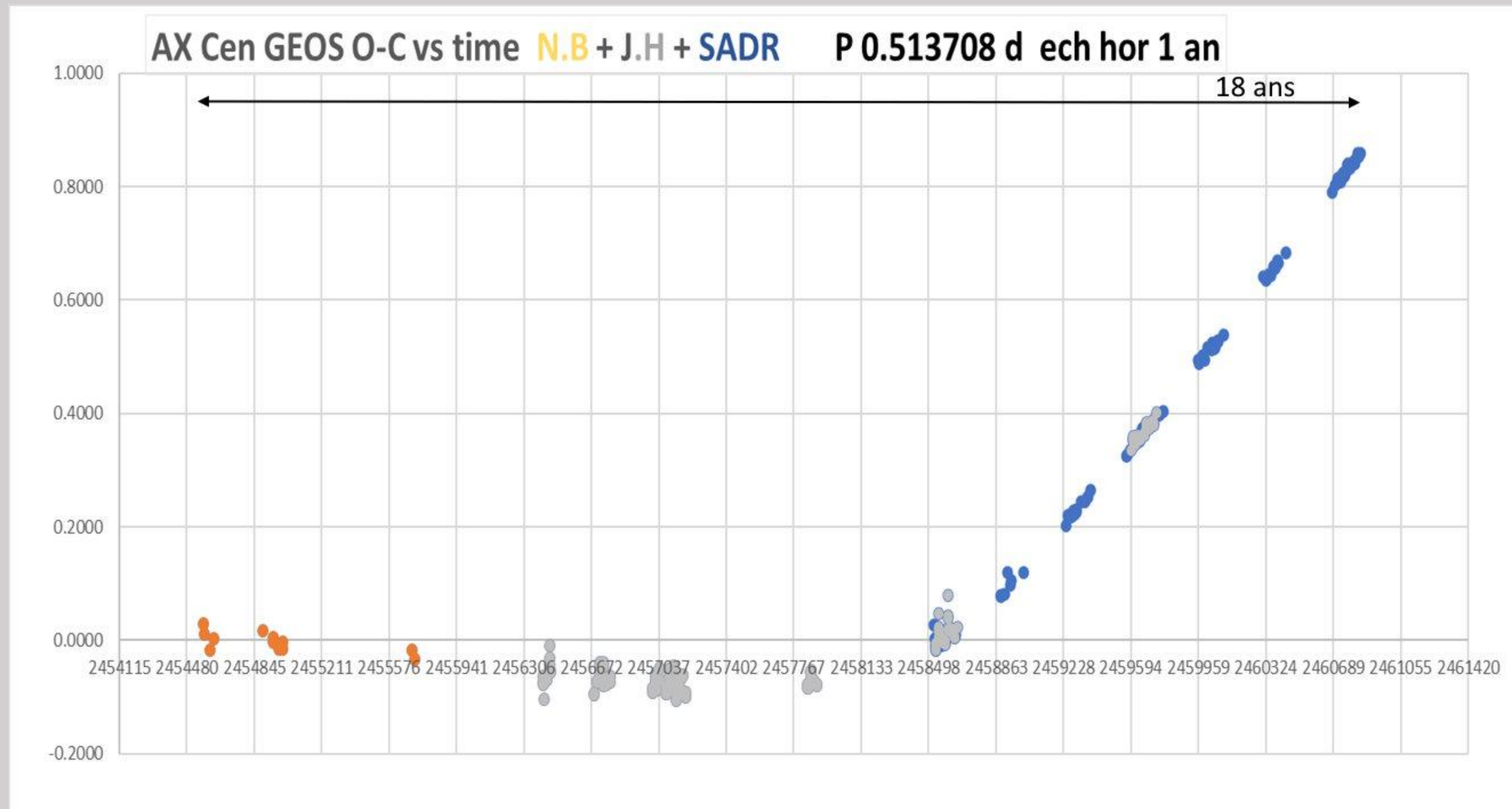
-2-les outils des séries temporelles périodiques; analyse spectrale de Fourier et décomposition en séries de Fourier

### -1-Schéma des O-C de XZ Cyg remarquable

- Axe H JD (étendue 30000 j) axe V O-C(étendue 2j)
- Ce schéma montre des parties droites;
- Première partie, la période ne varie pas durant cette durée des O-C, mais la meilleure période est à trouver avec la pente de la droite. La pente est négative alors il faut diminuer la période et la droite des O-C deviendra a pente nulle
- Le changement de pente « abrupt » ou lent indique un changement de période



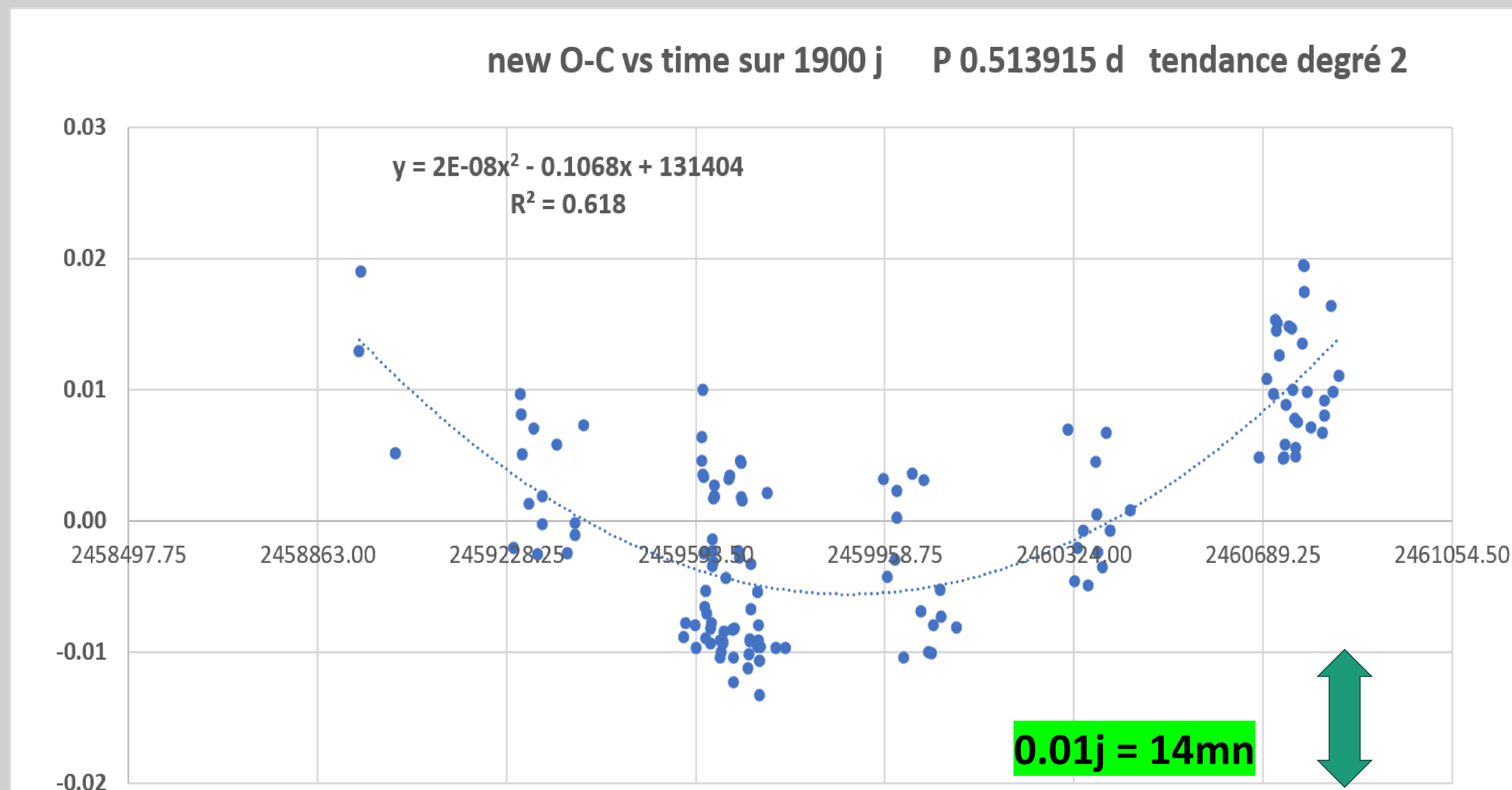
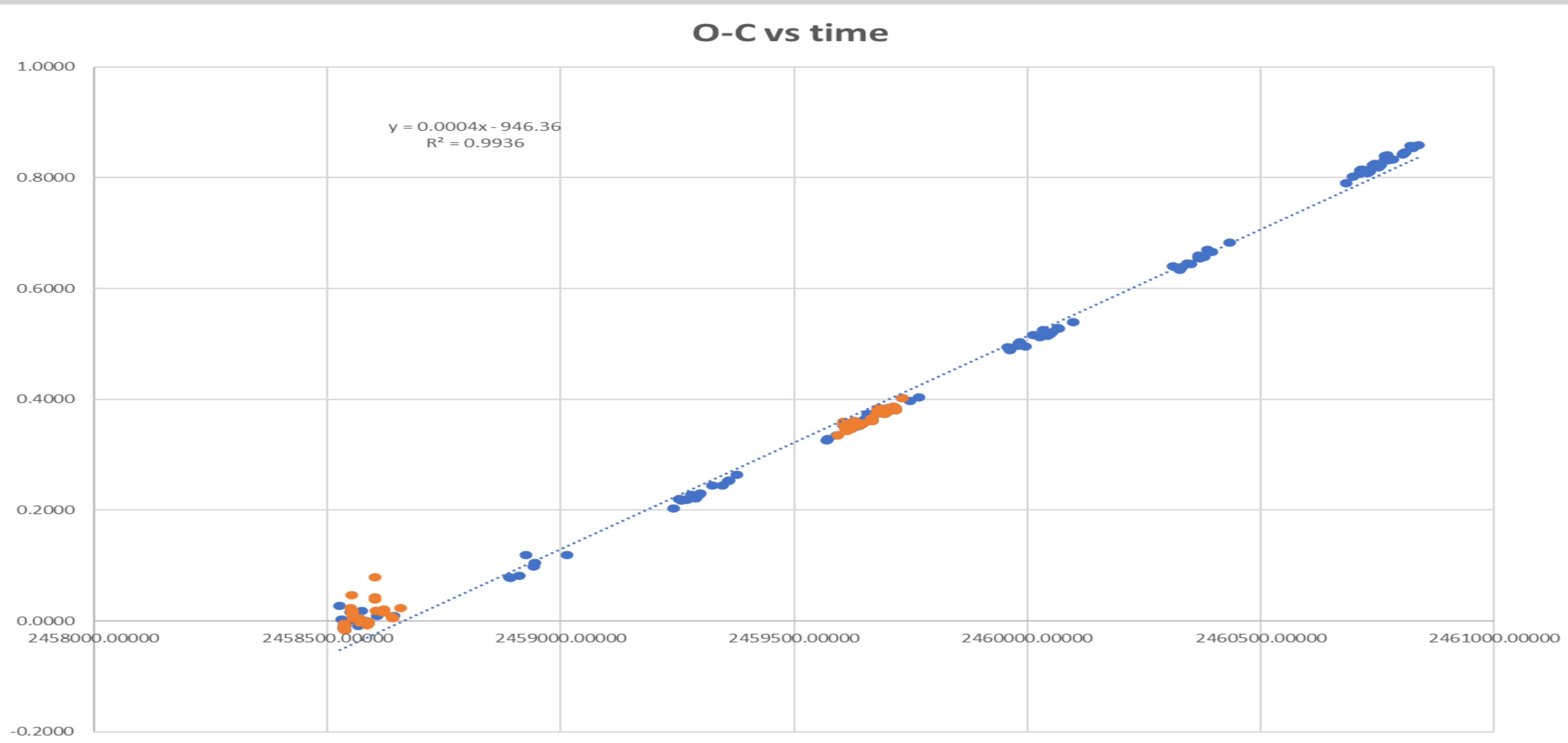
# AX Cen: évolution des O-C sur 18 ans



- X286 Time of Maximum dans la base GEOS
- Table des O-C observed time vs calculated time en j
- On peut, en première intention, (CdM 2026), définir une droite puis une autre droite de pente différente

# AX Cen: évolution des O-C sur la seconde période

- Période publiée pour la première époque: 0.5137j
- Ensuite la courbe des O-C augmente régulièrement, donc la valeur de la période a changé, il faut l'augmenter de la valeur de la pente



O-C vs N. La période passe à 0.51392 j

Meilleur modèle du second ordre, donc la période augmente régulièrement

Dispersion des O-C supérieure à l'incertitude sur le temps des Max donc autre effet

que dit GAIA DR3?

AX Cen	PF	e_PF
#Name: I/358/vrrlyr	d	d
#Title: RR Lyrae stars (vari_rrlyrae)	0.513722	7.10E-06

# AX Cen: valeur de la période

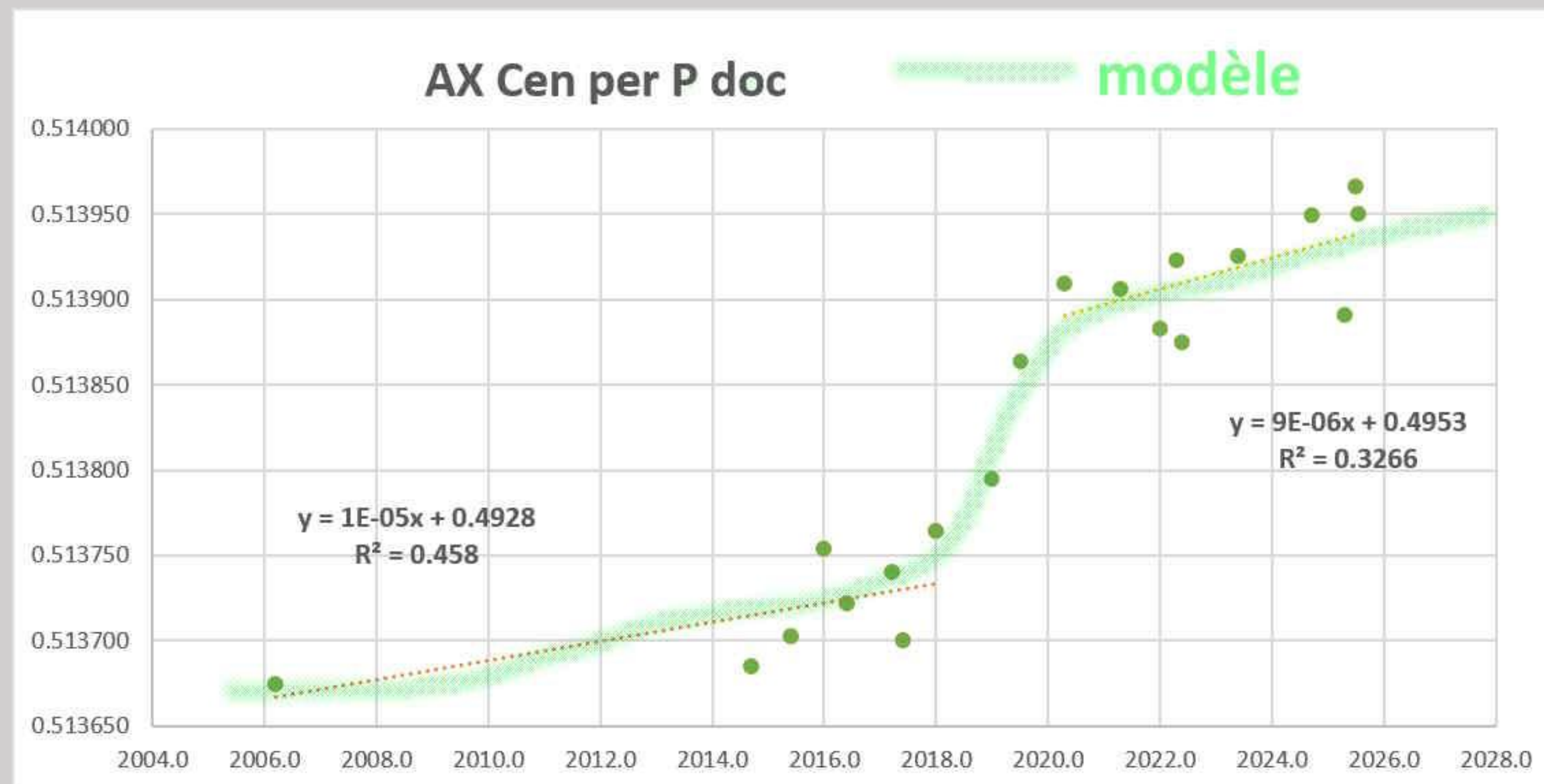
AX Cen	debut	fin	durée j	epoch	date	nb obs	P pulsation	incertitude	incer ppm
survey and frequency domain	HJD	HJD	durée ans				P d		
OMC					2006.2		0.513675		2
Hambsh					2014.0	20295	0.513687		27
Hambsh					2015.3		0.513705		18
GAIA DR2				2455198	2015.4		0.513703		0
GCVS					2016.0		0.513754		
GAIA DR3					2016.4		0.513722		7
OGLE IV					2018.0		0.513764		6
GEOS					2019.0		0.513708		
SADR data					2019.5		0.513864		
SADR data	2458525	2460121	1595 j		2022.0	4042	0.513883	0.000018	18
SADR data					2022.3		0.513923		
Hambsh				2460800	2025.3		0.513891		
SADR data					2025.5		0.514000		
SADR data JLV					2025.55		0.513950		

« tension » sur la valeur de la période de pulsation de AX Cen entre GAIA DR2 et DR3

AX Cen. Proposition pour l'évolution de la période de 0.5137j à 0.5139j

Soit +0.0002j

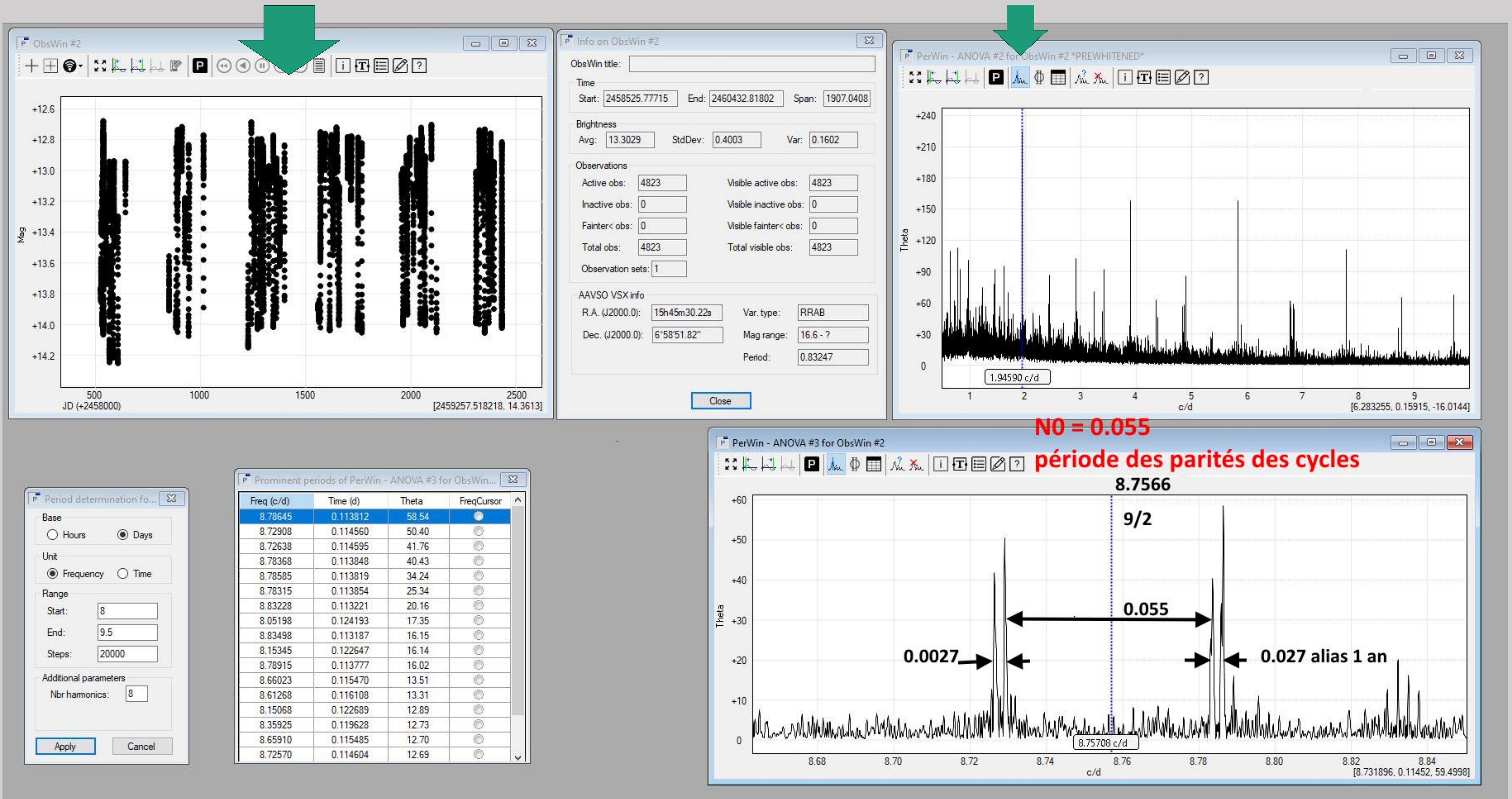
$\Delta P/P = 0.04\%$



# Détermination de la période de pulsation par l'analyse de Fourier des séries temporelles non continues; $P = 0.513590$ j ou $f$ pulsation = $1.9459$ c/d

Observations (x4823) sur 5 ans 2020-2025

valeur de la période

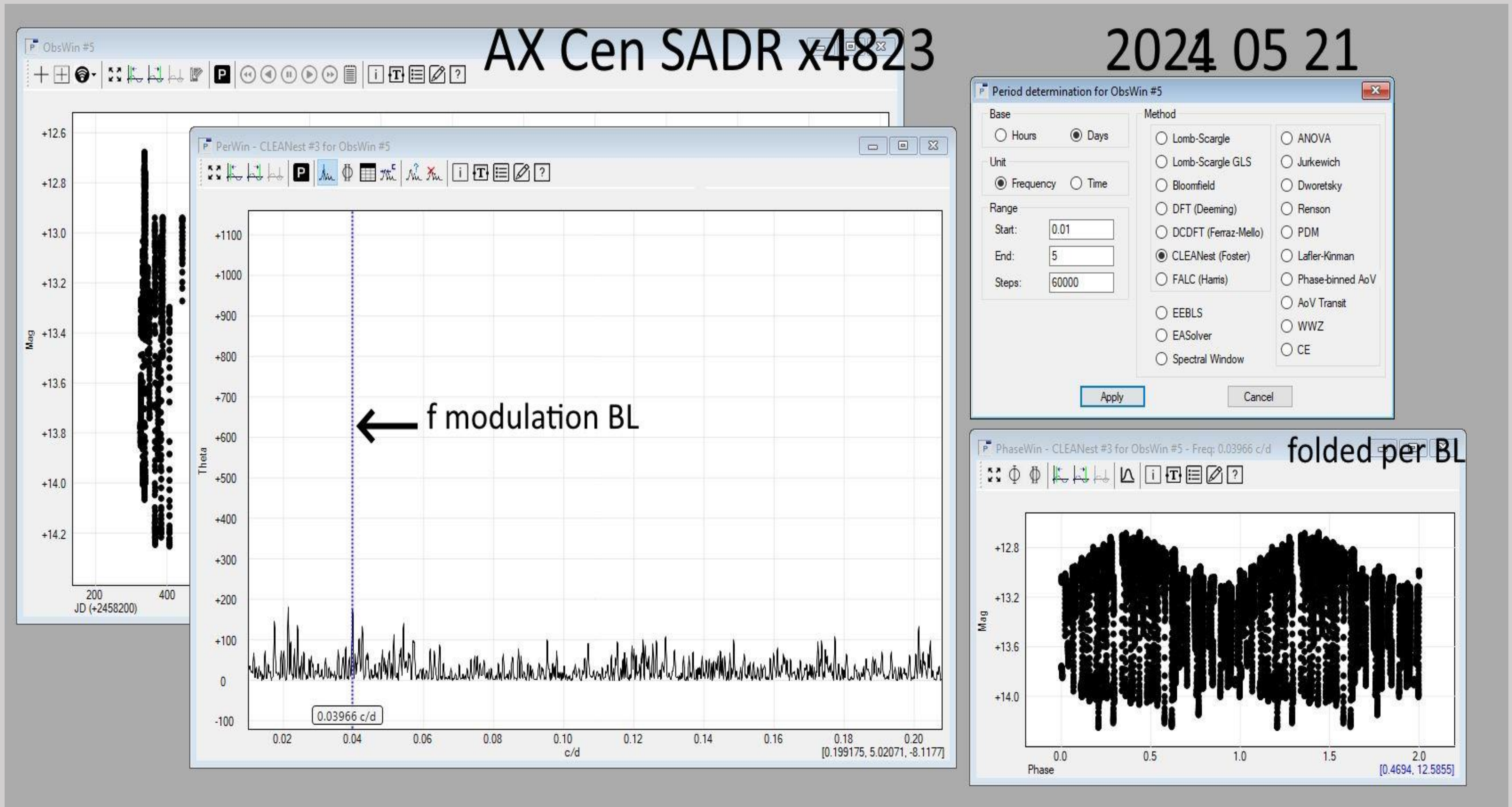


Le lancinant problème des alias (artefact). Ici demi période, 1 jour, 1 an, alternance etc...voir [http://rr-lyr.irap.omp.eu/documents/GEOS\\_circulars/NC1370.pdf](http://rr-lyr.irap.omp.eu/documents/GEOS_circulars/NC1370.pdf)

# AX Cen : effet Blazhko

Valeur de la période de modulation dans le spectre des observations, ici utilisation du programme Peranso qui propose l'algorithme CLEANest. Préférables Lomb-Scargle ou DCDFT

$P_{BL} = 25.2 \text{ j}$  ou  $f_{\text{modulation}} = 0.03967 \text{ c/d}$

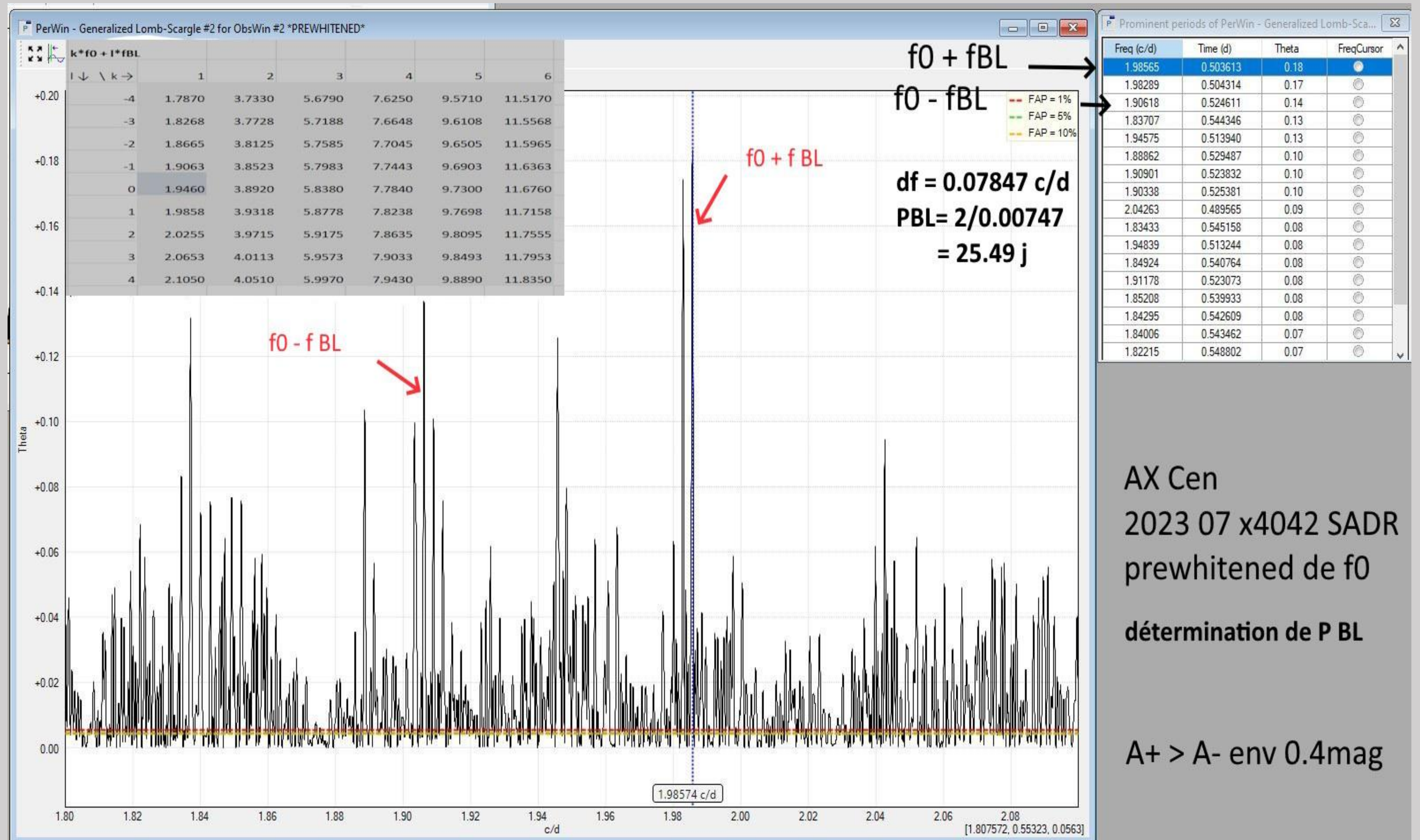


Ici directement la valeur de la fréquence: 0.03967 c/d

# Valeur de la période de modulation dans le spectre des observations, Observation du triplet $f_0 - f_{BL}$ , $f_0$ et $f_0 + f_{BL}$

$P_{BL} = 25.5 \text{ j}$

Algorithme: Generalised Lomb Scargle



## AX Cen V animation:

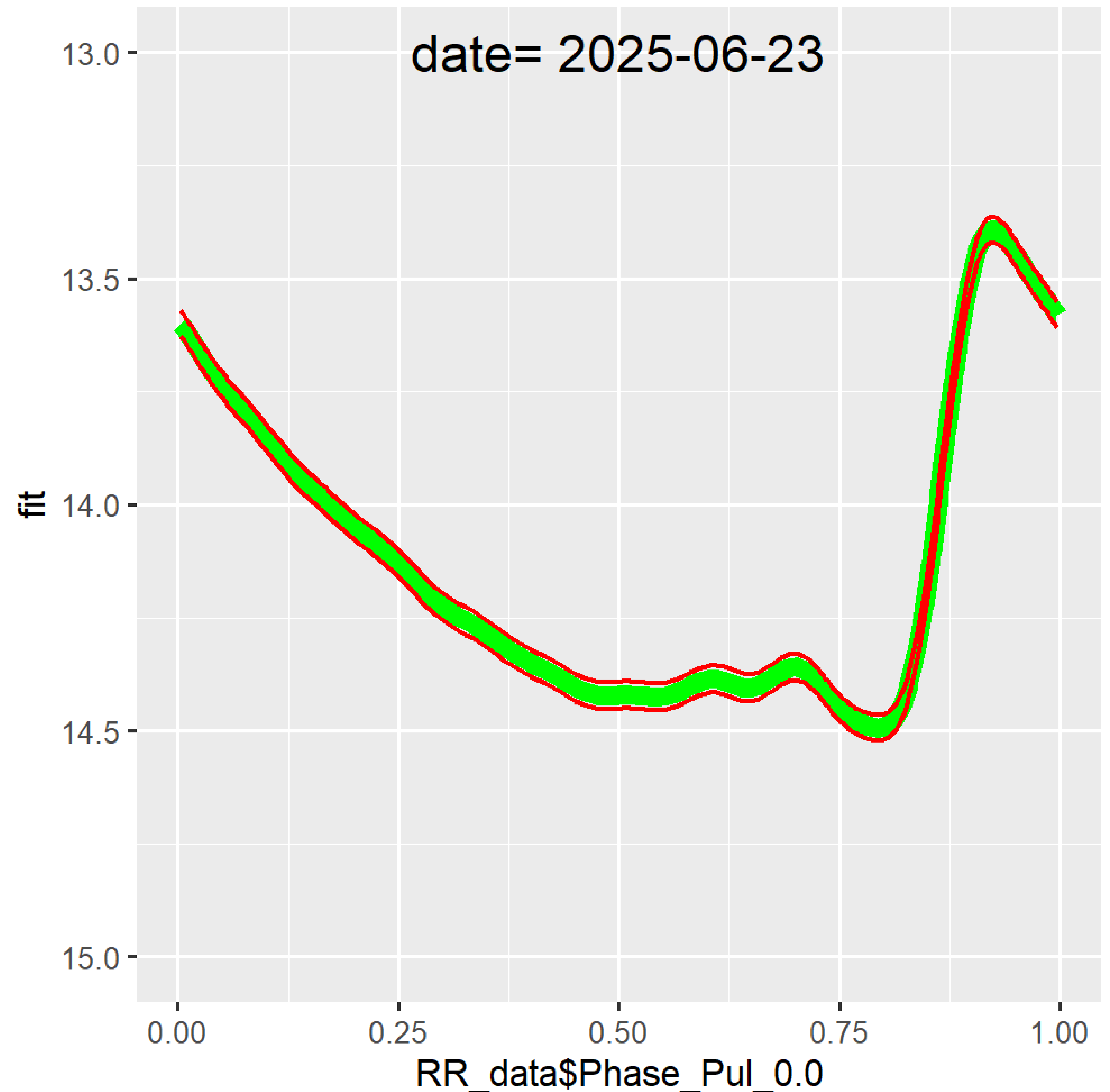
-Modèle par décomposition en série de Fourier (courbe= somme de fonction sinus)

$$s(t) = a_0 + \sum_{n \geq 1} (a_n \cos(2\pi n \lambda t) + b_n \sin(2\pi n \lambda t))$$

lumière repliée sur la fondamentale en fonction de la phase, pour x10 bin, de la phase de la fréquence de modulation

-On visualise la modulation d'amplitude ainsi que de la phase en particulier pour le maximum de lumière.

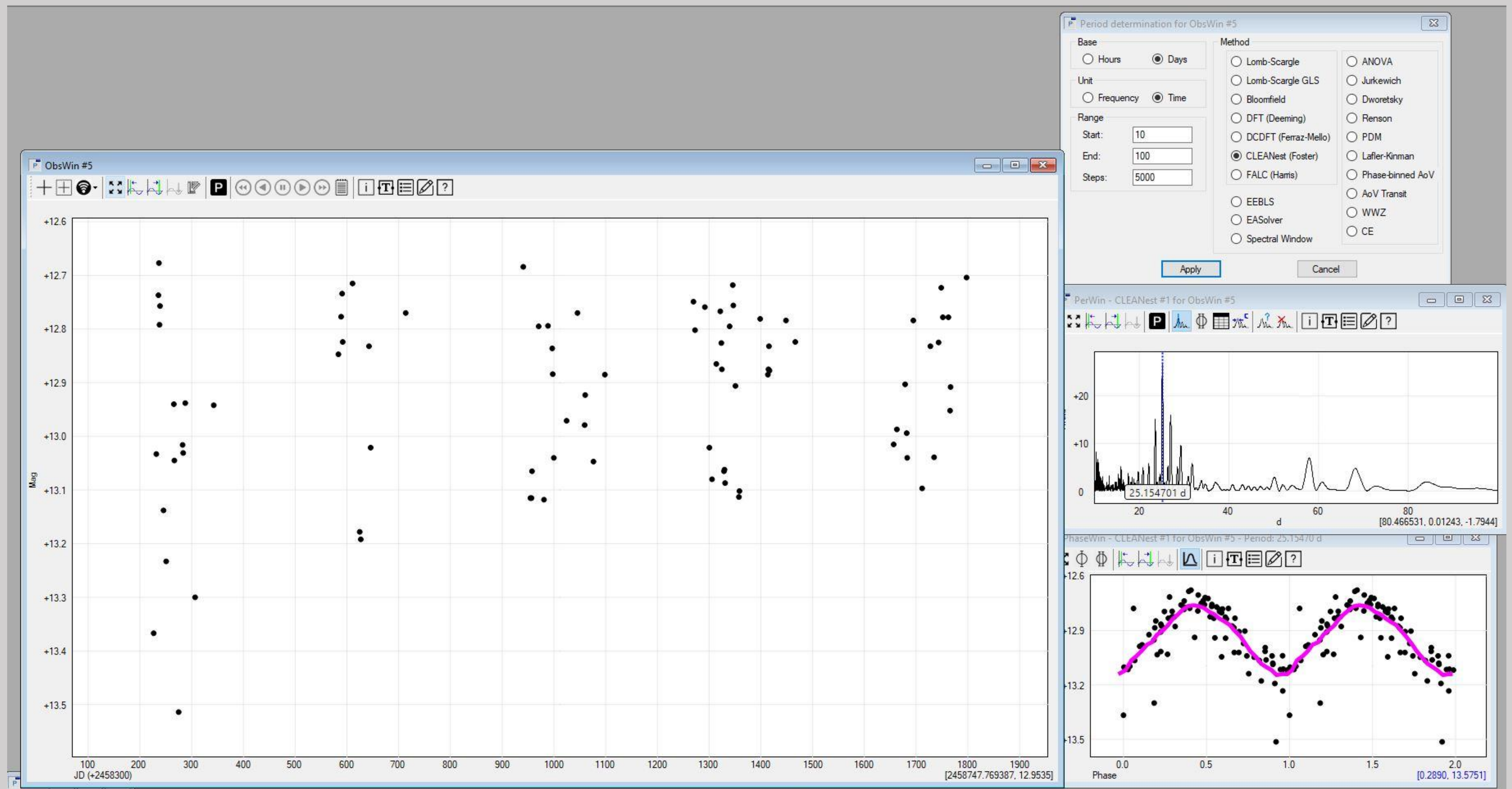
-On obtient deux méthodes de recherche de la période BL; variation de la mag des max et variation de phase(time of max)



# Autres méthodes pour trouver la période de modulation: analyse de Fourier des magnitudes des maximums ou de la « phase » (O-C)

Ici avec les magnitudes maximums

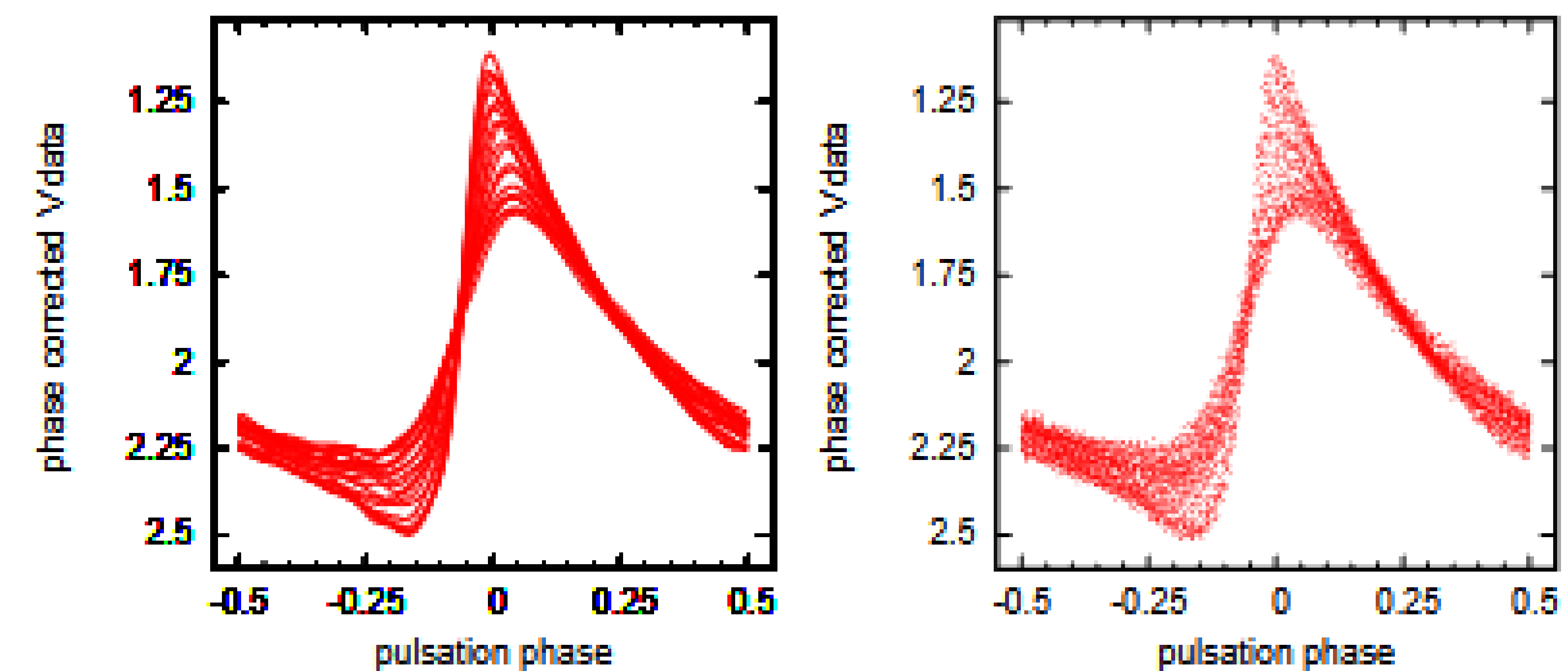
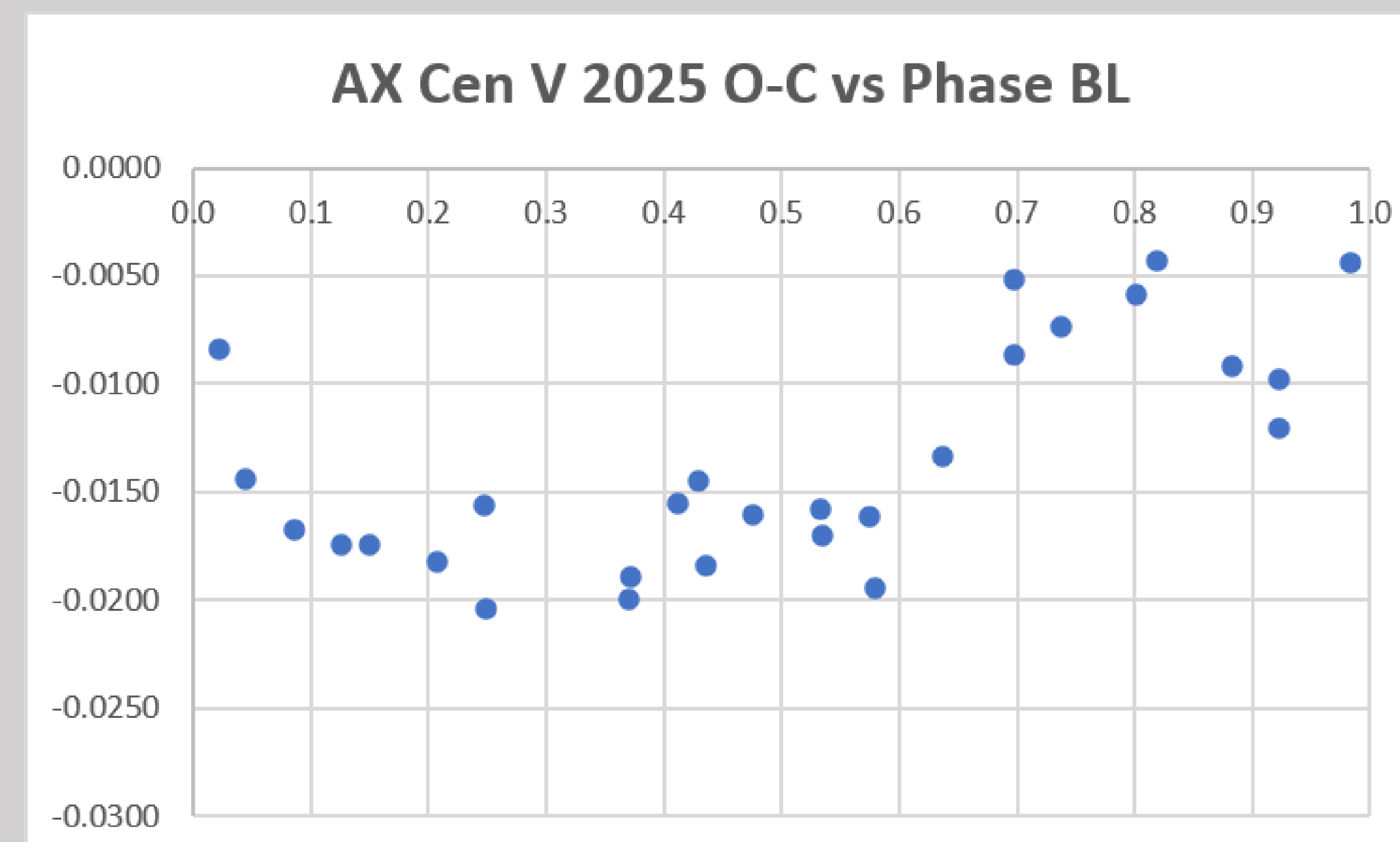
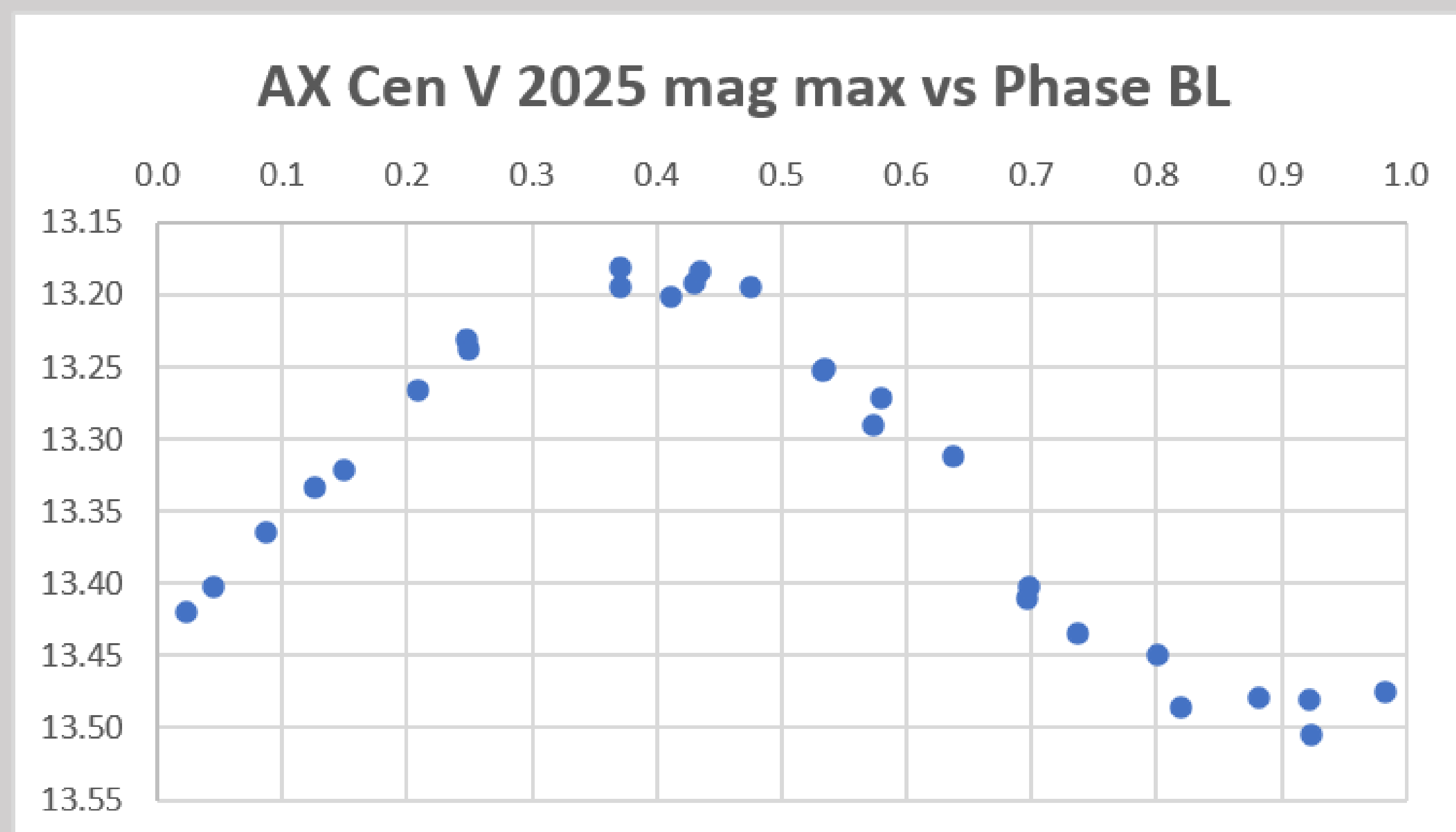
Donc 4 méthodes pour trouver cette période de modulation (P Blazhko)



# Recherche de la période de pulsation: améliorations

-1- la plus précise; mettre en phase (time transformed) pour supprimer la gigue due à l'effet Blazhko

-2- valable sur un temps d'observation le plus court possible (instantaneous period); variation de la période de pulsation (avg 0.5139) pendant la période Blazhko



**Figure 13.** *Left panel:* Fitted curves of the V light curve of MW Lyr in 20 bins of the Blazhko cycle. Each light curve is phase shifted with the  $\Phi(f_0)$  phase value. *Right panel:* Time transformed V light curve of MW Lyrae. The time transformation was defined from a second order harmonic fit to the  $\Phi(f_0)$  phases in different phases of the modulation.

MW Lyr J. Jurcsik 2008

-1- l'idée est de supprimer la gigue (modulation de phase) due a l'effet Blazhko et ainsi sommer un plus grand nombre d'observations facilitant le calcul de la période

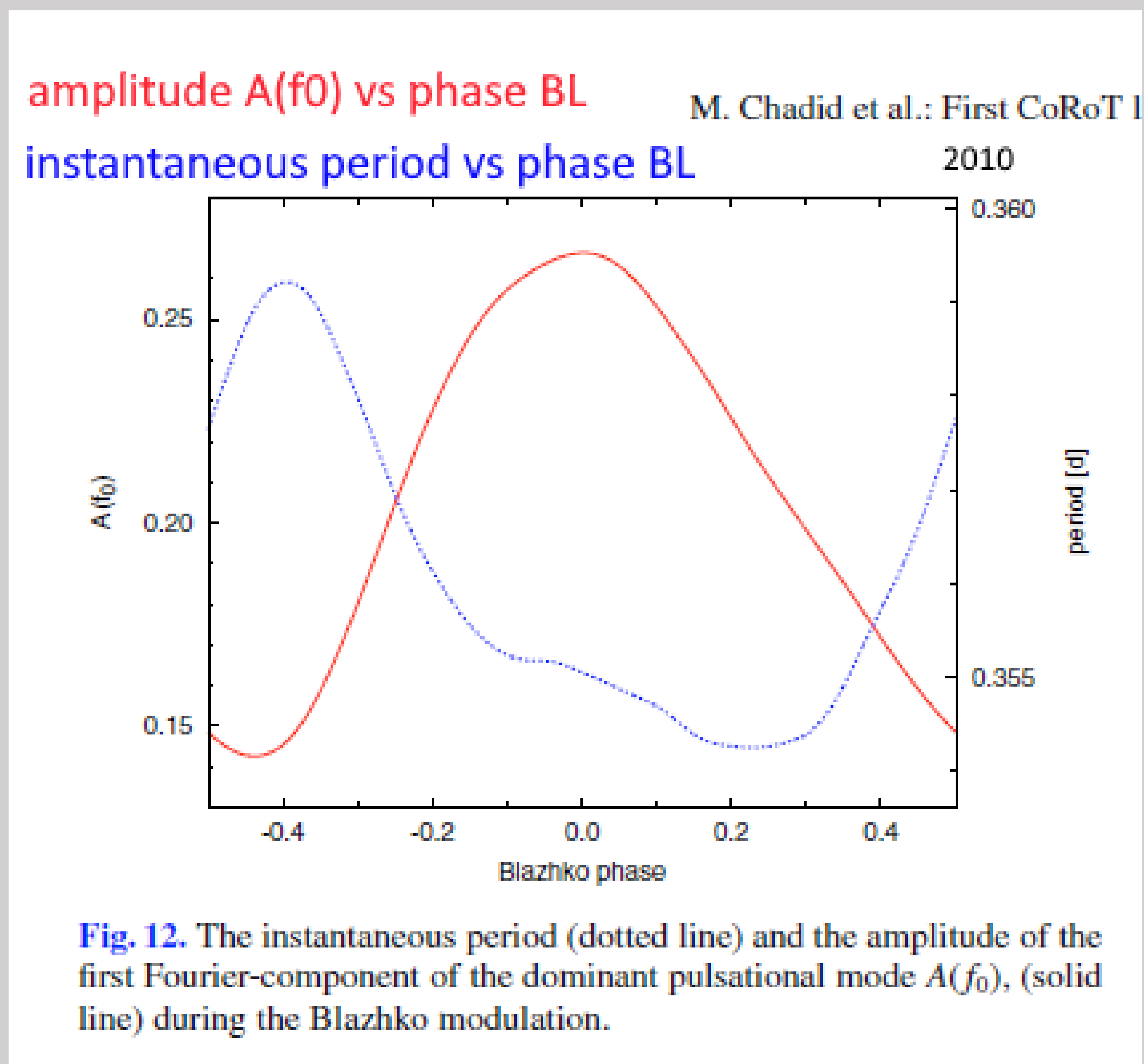
## Recherche de la période de pulsation: améliorations

-1- la plus précise; mettre en phase (time transformed) pour supprimer la gigue due à l'effet Blazhko

-2- valable sur un temps d'observation le plus court possible (instantaneous period); variation de la période de pulsation (avg 0.5139) pendant la période Blazhko

Référence: J. Jurcsik 2008 An extensive photometric study of the Blazhko RR Lyrae star MW Lyr  
P BL 16.5j      0.395 j < P pulsation < 0.401 j       $\Delta P/P = 0.015$  ou 1.5%

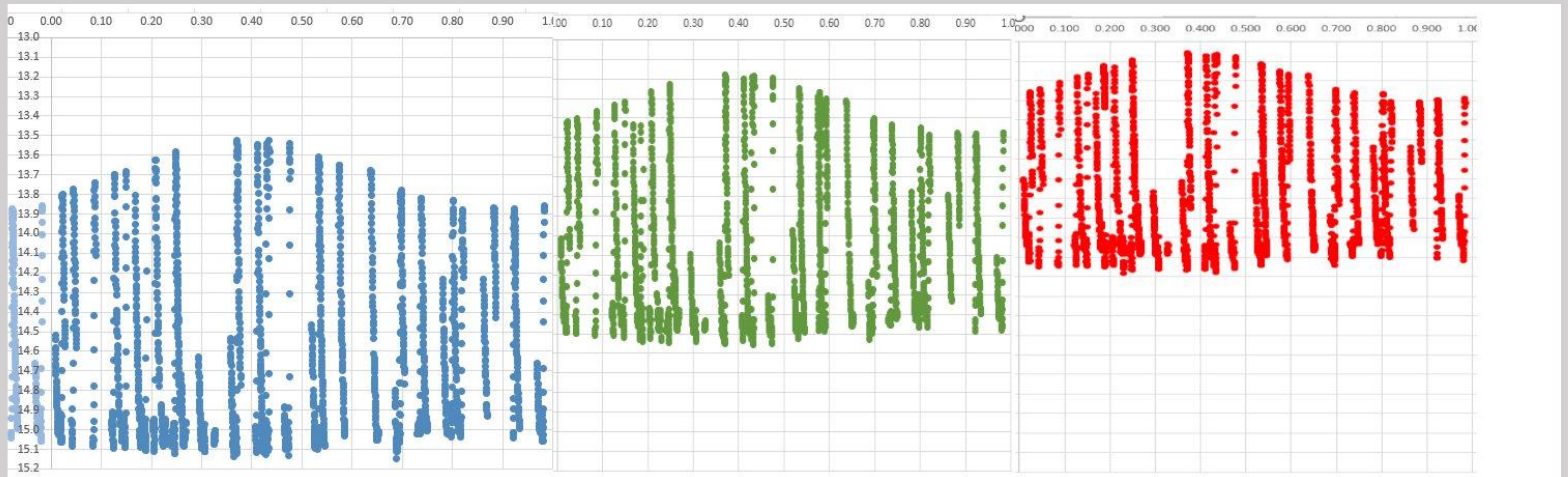
Chadid  
RR Lyrae  
de Corot  
0.354j < P  
< 0.359j



detect the small variation of the  $\gamma$ -velocity during the 41-d cycle (Fig. 10) reported by Preston et al. (1965). We find that RR Lyr exhibits a pulsation period variation  $\Delta P/P$  of 0.01 over the Blazhko cycle and the period changes are anticorrelated with the Blazhko modulation (Fig. 10). The amplitude of the RV is largest ( $\psi = 0.00$ ) when the pulsation period is shortest, and it is smallest ( $\psi = 0.50$ ) when the period is longest. The rise time is correlated with the period variation whereas the variations of the primary acceleration and radius variation are anticorrelated with the period changes. The rise time varies by a factor of 2 from Blazhko maximum to Blazhko minimum, while the radius variation and the acceleration show variations by factors of 0.80 and 0.65, respectively. Figs 11 and 12

Chadid 2013

# AX Cen en B, V et R replié sur la période Blazhko . Année 2005



- Permet de placer l'étoile dans le diagramme H-R magnitude vs indice de couleur

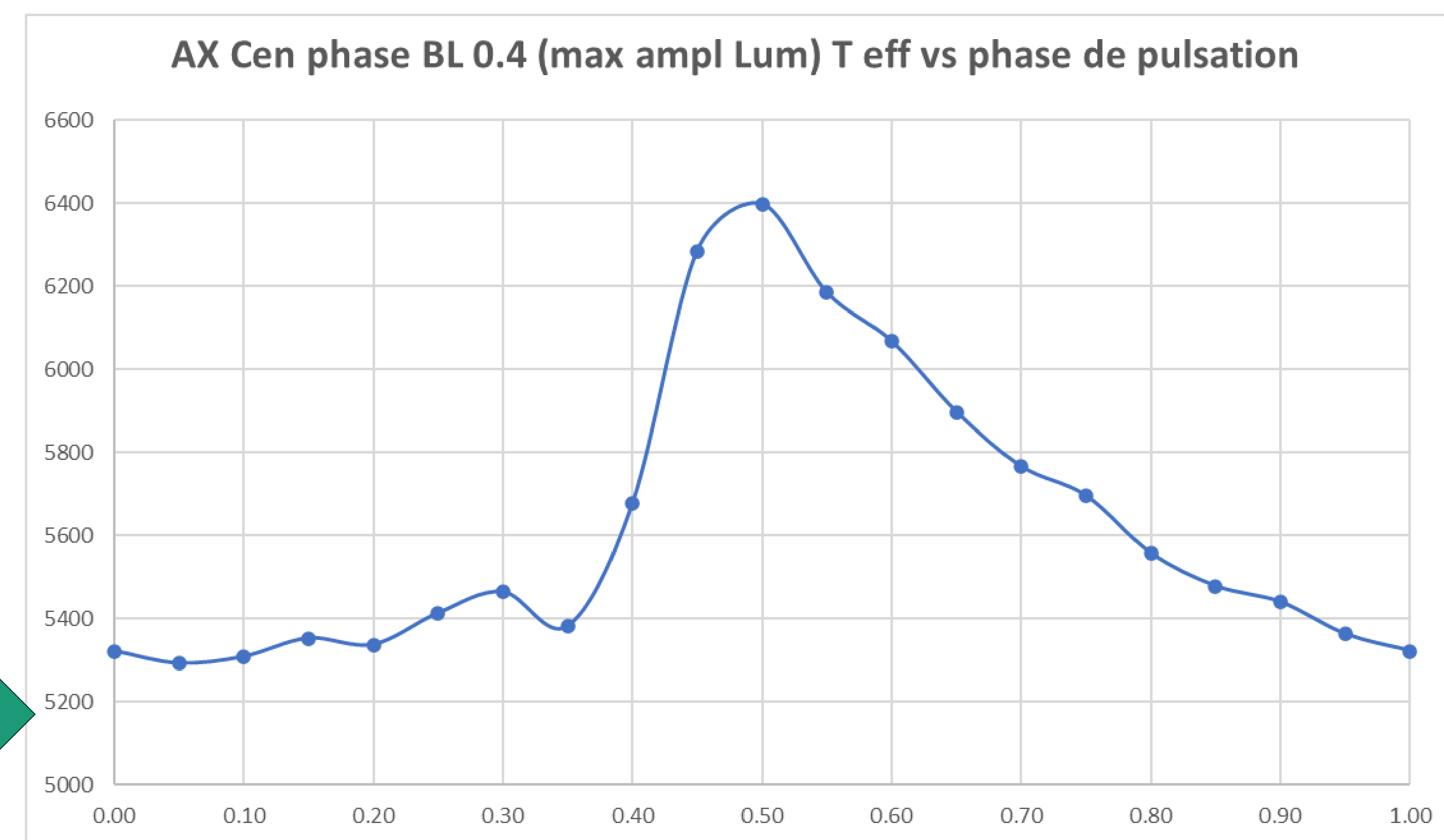
# AX Cen: paramètres astrophysiques.

Relations empiriques entre amplitude et phase de la décomposition de Fourier en somme trigonométriques (ordre 10 ou 11) établies et calibrées par les professionnels

Metallicité Fe/H

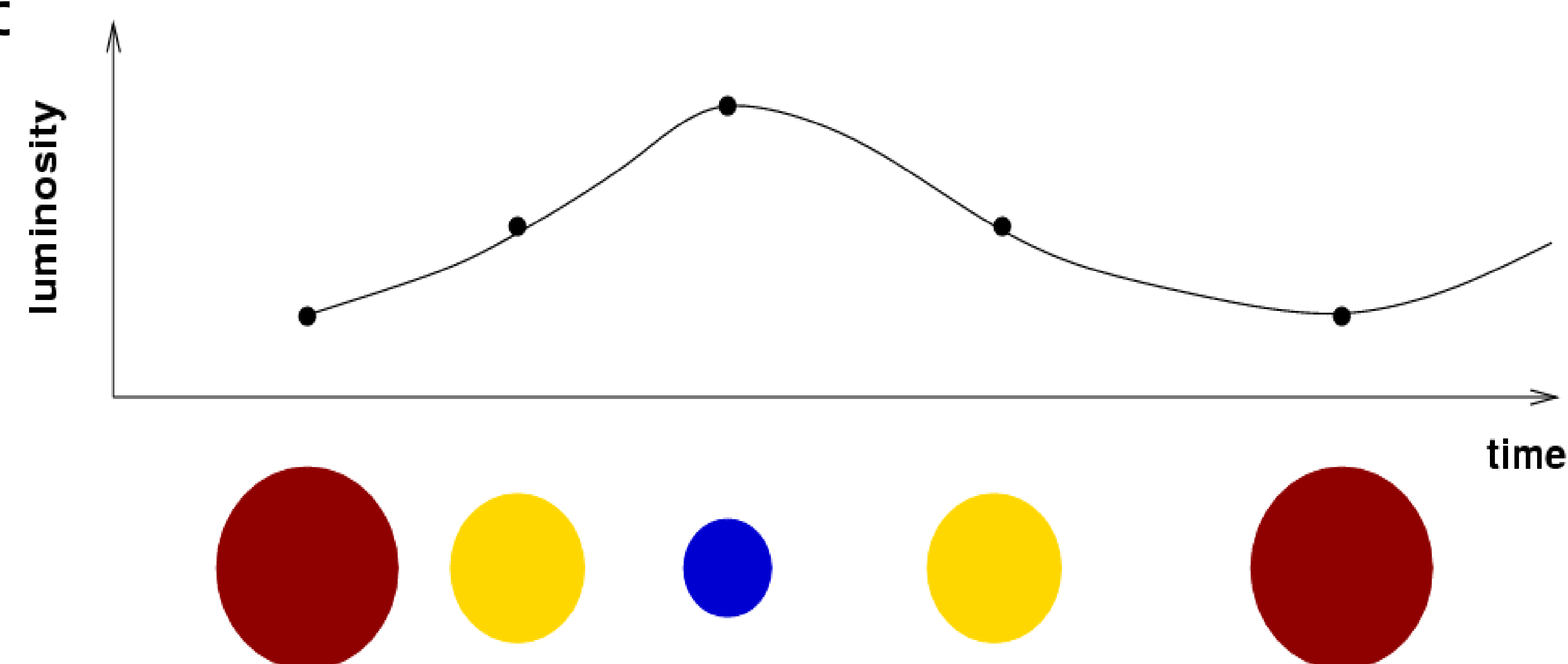
Log g

T eff ici Teff au cours de pulsation



Luminosité Mv 0.7 soit x45 fois celle du Soleil /  $\text{Log}(L/L_{\text{sun}}) = 1.65$

Masse x 0.68 celle du Soleil



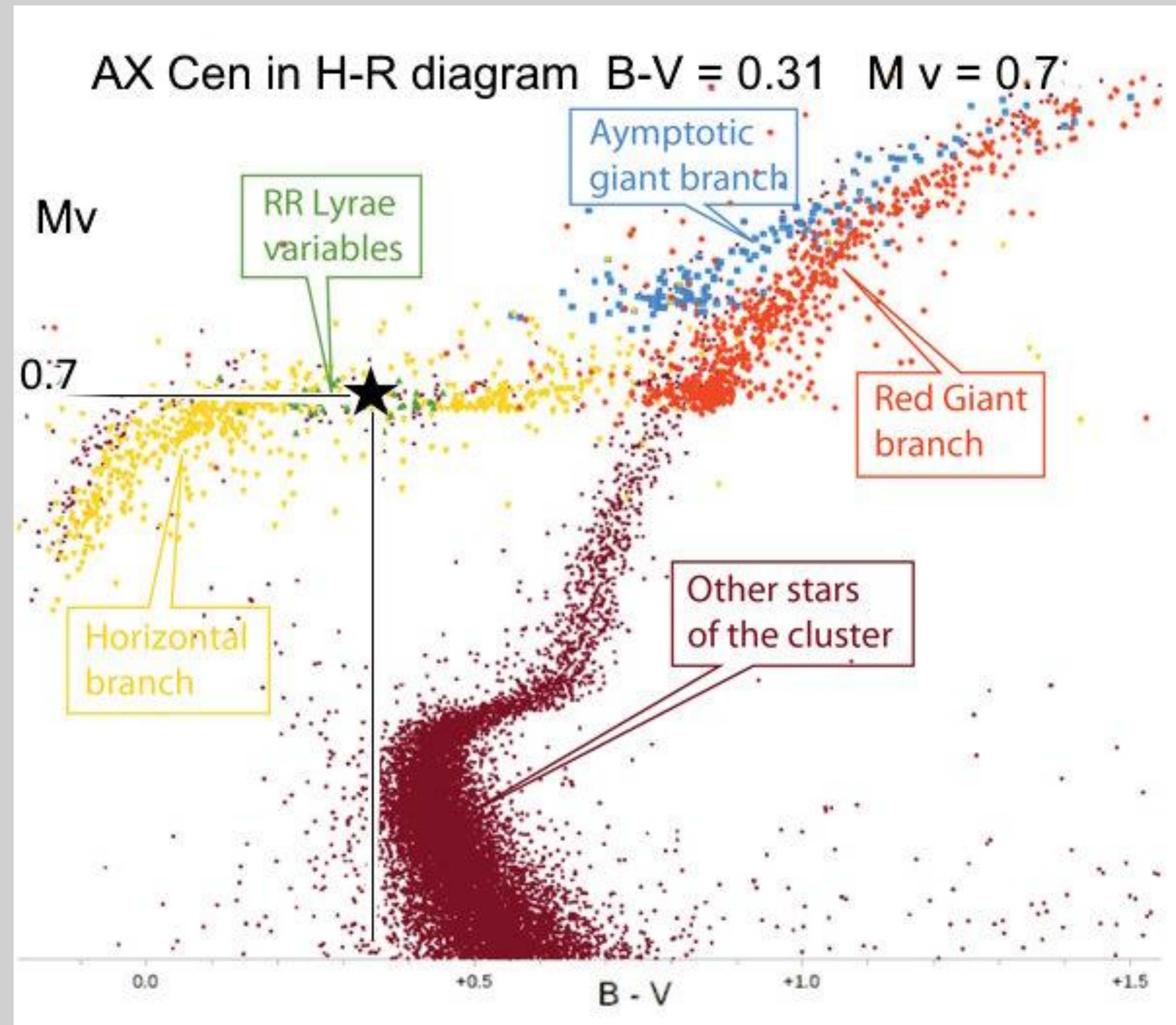
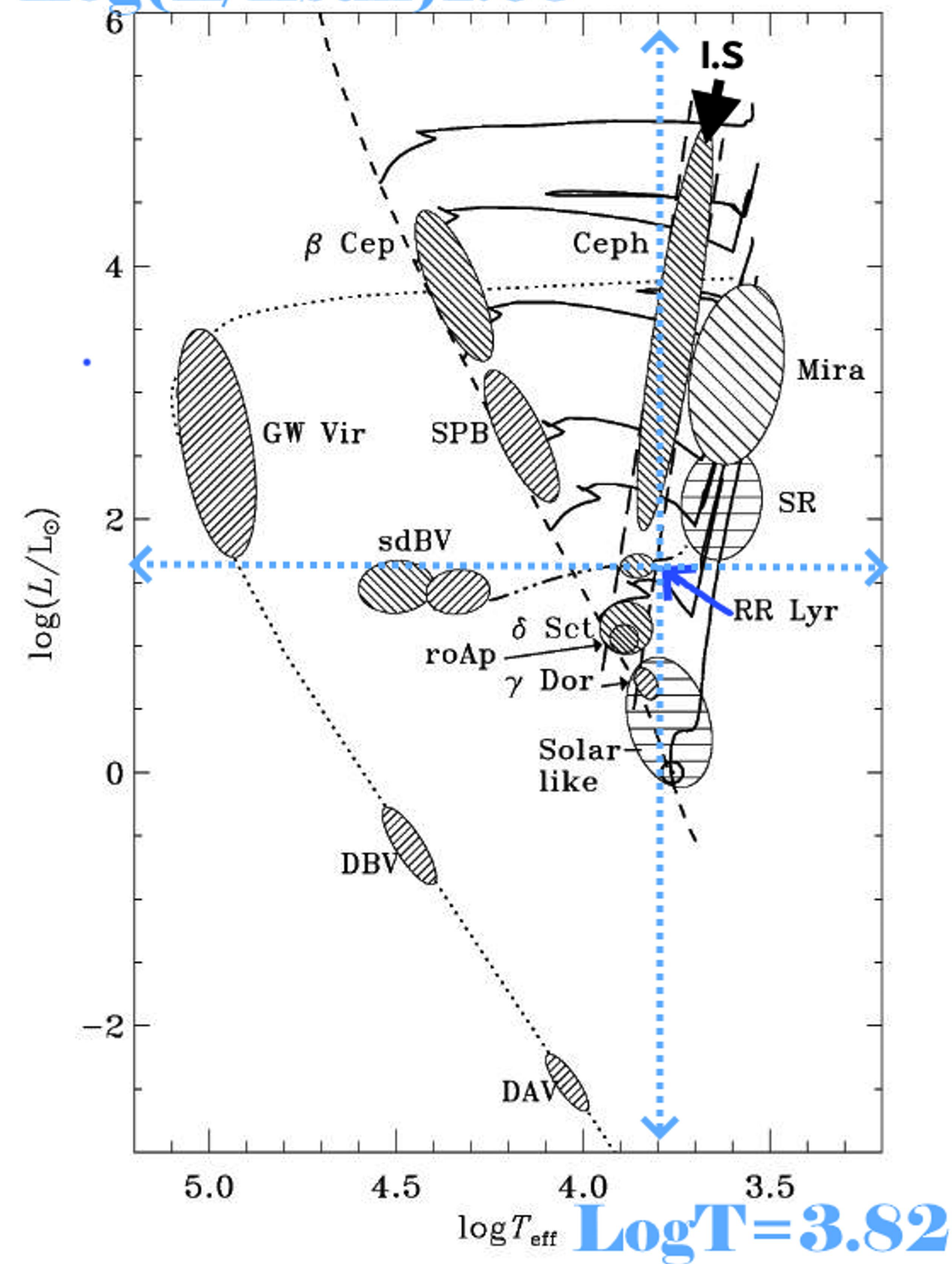
T eff	Kovacs W 2001 degK	$\log T_{\text{eff}} = 3.8840 - 0.3219 \cdot (B-V) + 0.0167 \cdot \log g + 0.0070 \cdot \text{Fe}/\text{H}$	6619 °K LogT = 3.82
abs mag	Prudil(+GAIA DR3) 2024	$M_v = -0.582 \cdot \text{Log } P + 0.224 \cdot \text{Fe}/\text{H} + 0890$	0.672
abs mag	Chadid 2022	$M_v = 0.18 \cdot \text{Fe}/\text{H} + 1.05$	0.735

Axe h: indice B-V / axe V Magnitude absolue (luminosité) Mv

### AX Cen dans le diagramme H-R

AX Cen

Log(L/Lsun) 1.65



Axe H log de Teff axe V log de la luminosité par rapport au Soleil

- Progrès récents: par les professionnels à l'aide des données de missions spatiales, Kepler et Corot. Découvertes de nouvelles propriétés (period doubling, half interger frequency, variations milli mag alors le pourcentage des BL augmente!!)

Les amateurs peuvent utiliser TESS.

Il y tant de choses a faire.....

- avec l'exploitation des « survey » en cours ou a venir

- l'amélioration de l'interpretation des fréquences des spectres

- l'exploitation des données, voir a droite

**Merci:** si cela vous tente

- observation avec l'association SADR

- proposition de collaboration

[pierre.traverse@orange.fr](mailto:pierre.traverse@orange.fr)



## Amélioration des résultats

