

SUR LES δ SCUTI

- Les étoiles variables du type δ Scuti sont des étoiles pulsantes étroitement apparentées aux RR Lyr α et β , et plus généralement aux céphéides elles-mêmes. Leurs périodes sont très courtes, comprises entre 0,5 heure et 5 heures. Les amplitudes de variation sont très faibles, presque toujours inférieures à 0,1 magnitude, très souvent inférieure à 0,03 magnitude. L'allure de la courbe de lumière est très changeante d'un cycle au suivant. L'étoile possède en effet plusieurs périodicités qui ne sont pas dans des rapports simples, et leur superposition engendre des battements assez compliqués.
- L'opinion universellement admise est que l'étude des δ Scuti n'est pas accessible aux amateurs. Nous allons critiquer ce point de vue.
- Certes l'observation des δ Sct est déjà difficile pour les astronomes qui ont accès au gros matériel d'observatoire : grands télescopes, photomètres photoélectriques à plusieurs couleurs, spectrographes, ...
Par exemple, pour analyser l'allure du battement (période principale, période(s) secondaire(s), amplitudes respectives), il faut suivre le plus grand nombre possible de cycles, et ensuite faire l'analyse harmonique de la courbe de lumière (périodogramme). Or les astronomes "professionnels" sont limités par le temps. Ils disposent d'un grand télescope généralement pendant quelques nuits seulement, et leurs programmes d'observation sont toujours très chargés. L'observation des δ Sct, activité particulièrement ingrate, a été relativement délaissée. D'ailleurs l'observation précise pendant plusieurs heures d'affilée d'une étoile de 0,01 magnitude d'amplitude est à la limite des possibilités techniques de la photométrie photoélectrique. Il y a des problèmes délicats de stabilité des photomultiplicateurs et de l'électronique associée à l'échelle de l'heure, et aussi le problème des fluctuations rapides de la qualité du ciel (transparence, luminosité du fond du ciel, étallement des images, ...).
Un bon outil utilisé généralement dans l'étude des étoiles pulsantes est la mesure de la variation de la vitesse radiale par la spectrographie, c'est à dire la mesure de l'effet Doppler dans l'atmosphère de l'étoile. Malheureusement les δ Scuti, de faible amplitude lumineuse, ont également une vitesse radiale d'amplitude réduite : quelques kilomètres/seconde, c'est à dire très peu. Il faut donc faire des spectres à haute résolution, très étalés donc peu lumineux. Cela exige des temps de pose photographiques appréciables, même sur des étoiles brillantes et avec un grand télescope. Mais la vitesse radiale d'une étoile de période 1 heure change de minute en minute. Il faut donc des poses courtes ! La contradiction rend les mesures difficiles, d'autant plus que la courbe de vitesse radiale elle-même présente de forts battements. Il faut mettre en oeuvre des techniques spéciales (tube image, caméra électronique) avec lesquelles il est impossible de "stakhanoviser". D'ailleurs le temps de développement et d'étude de spectres de ce genre est long (passages au microphotomètre, repérage des raies de comparaison, mesures, corrections diverses, ...), a fortiori pour plusieurs dizaines de spectres et sur des dizaines d'étoiles...
Cette courte et incomplète revue des difficultés expérimentales aide à comprendre pourquoi l'étude des δ Scuti est encore aujourd'hui à un stade très primitif. On connaît à peine la période principale et l'amplitude moyenne, et encore moins le détail des battements. Les calculs théoriques de modèles devançant l'observation, mais ils sont limités par le manque de données. Un groupe de l'observatoire de Nice essaye depuis 1970 d'attaquer de front ces problèmes, aussi bien sur le plan de l'observation que sur le plan théorique. Mais il reste un travail énorme à faire.

UN EXEMPLE CONCRET : δ CVn = 4 CVn

C'est une étoile de magnitude moyenne 5,9, sous-géante de spectre F3 IV, et qui appartient au courant des Hyades (même mouvement propre).

Je dispose d'une bibliographie qui s'étend de 1950 à 1973. Il est donc possible que quelques résultats récents aient été omis dans la revue qui va suivre.

AVANT 1971 :

- 1- En 1966, JONES et HASLAM découvrent la variation de la vitesse radiale = 2 nuits d'observation espacées de 48 h (22 spectres); v varie de -9 à $+15$ km/s; précision sur v : ± 8 km/s!
Période déduite: $P = 0,1707$ jour (4 décimales !!!).
- 2- KUKARKIN reprend la valeur $P = 0,1707$ j dans son catalogue GCVS.
- 3- DANZIGER et DICKENS (1967): photométrie UBV, 3 nuits \rightarrow 2 max. distants de $5,045$ j;
L'amplitude est $\leq 0,16$ et variable.
- 4- LANDOLT (1966): photométrie UBV, 5 nuits \rightarrow 2 min. distants de $1,017$ j; l'amplitude en V est très changeante et $\leq 0,11$.
- 5- HUMPHREYS (1967): photométrie UBV, 9 nuits \rightarrow 3 max. distants respectivement de 9 j et 17 j;
les courbes de lumière ne donnent pas une période unique ($0,19$ j? , $0,1707$ j?); l'amplitude en V est $\leq 0,15$.
- 6- CRAMPTON et FERNIE (1967): conjugaison de la photométrie UBV et des mesures de vitesse radiale (2 télescopes); 5 nuits; \rightarrow modulation complexe des courbes de vitesse et de lumière:
aucune conclusion possible!

APRES 1971 :

- 7- VALTIER (à Nice) fait l'analyse harmonique de toutes les observations publiées antérieurement.
Une période $P = 0,139$ j semble s'imposer. L'amplitude moyenne serait de $0,14$.

Enfinement en 1974 - et peut être encore aujourd'hui? - la période de cette étoile n'est pas connue avec certitude: $0,139$ j ou $0,17$ j? , ou $0,19$ j??. L'allure des battements n'est pas élucidée. D'ailleurs il est possible que des fluctuations d'éclat aléatoires viennent se superposer à la courbe générale (étude de δ Del, δ Sct, DQ Cep, CC And et ρ Pup par LEUNG et WEHLAU (1967)).

Il existe aux déclinaisons supérieures à -15° cinq étoiles de type δ Scuti dont les amplitudes moyennes dépassent $0,10$ magnitude. Ce sont, d'après BAGLIN et al., Astronomy and Astrophysics, vol. 23, p. 221 (1973):

Etoile	A moyenne en V	Période en j	Mag. V moyenne
δ Sct	0,29	0,194	4,6
4 = AI CVr	0,14	0,139	5,9
1 = V 474 Mon	0,14	0,139	6,3
CC And	0,25	0,124	8,6
V 369 Sct	0,12	0,150	9,3

Je pense que ces étoiles peuvent effectivement être étudiées par des amateurs dont les σ individuels sont entre $0,05$ et $0,08$ magnitude. Les battements peuvent être mis en évidence. Une accumulation de mesures doit permettre de dégager nettement les périodicités contribuant aux battements, et il doit être possible de les mesurer avec précision.

Ces autres δ Sct ont des amplitudes comprises entre $0,10$ et $0,05$:

V 376 Per	0,08	0,095	5,8
14 Aur	0,08	0,087	5,1
DQ Cep	0,08	0,079	7,2
44 Tau	0,07 ⁽¹⁾	0,134	5,4
28 Aql	0,06	0,150	5,3
21 Mon	0,06	0,110	5,5
AZ CMi	0,06	0,094	6,3

38 Cnc (Amas Praesepe)	0,07	0,108	6,7	← d'après IBVS n° 908 (1974)
γ UMi	0,05	0,143	3,0	
ν UMa	0,05	0,132	3,8	
χ CrB	0,05	0,030	3,9	
δ Del	0,05	0,153	4,4	
τ Cyg (?)	0,05	0,143	3,7	← d'après GCVS Suppl. n° 2 (1974)

(*) : amplitude : 0,07 à 0,13 d'après IBVS n° 899 (1974)

NB : les δ Sct plus faibles que la magnitude 6,5, qui doivent être très nombreuses, restent toutes à découvrir, ou peu s'en faut.

Je pense que des essais pourraient être tentés sur plusieurs des 13 étoiles de la 2^e liste pour voir si on arrive à "faire sortir" la variation.

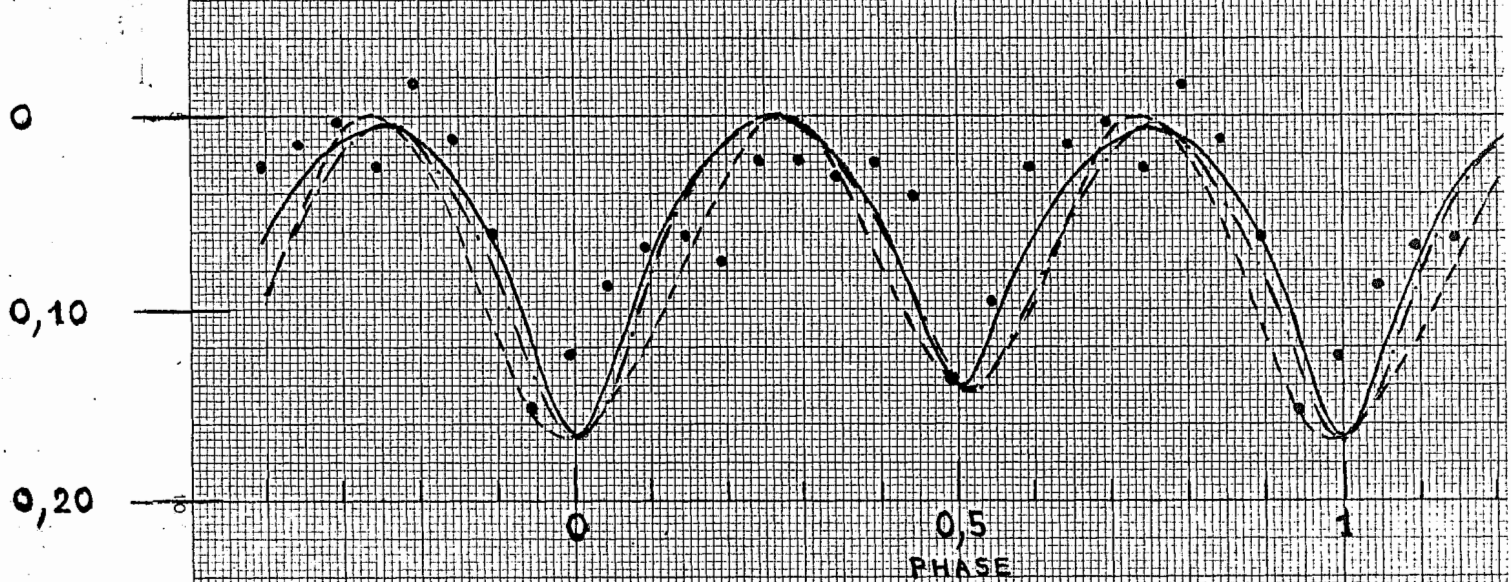
Même si la courbe de lumière était fortement affectée par des erreurs du même ordre que l'amplitude de variation, il devrait être possible de dégager les périodicités par analyse harmonique.

Il faudrait que les meilleurs observateurs ($\sigma < 0,10$) fassent des observations simultanées très nombreuses, afin d'abaisser le σ général au dessous de 0,05 magnitude, si possible au dessous de 0,03.

TEST

Afin de montrer que ce qui précède n'est pas utopique, voici la comparaison de mesures de ROLLAND (circulaire 94) avec des courbes photoélectriques trouvées dans la littérature.

L'étoile est la variable à éclipses 44 Boo dont l'amplitude en V est 0,17 magnitude, et la période 0,267 814 3 jours, donc comparable à certaines δ Sct sur le plan de l'amplitude et de la rapidité de variation.



Courbe en trait plein : due à BINNENDIJK, *Astronomical Journal*, 60, 355 (1955); filtre V (jaune)
 en trait mixte : KURPINSKA & VAN'T VEER, *Ast. A.*, 4, 253 (1970); filtre bleu (0,495 μ)
 en pointillé : ———— idem ———— filtre rouge (0,595 μ)

Voici les écarts-typé entre les points de Rolland et les courbes publiées :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Par rapport à la courbe de BINNENDIJK : } \sigma = 0,031 \text{ magnitude} \\ \text{Par rapport à la moyenne des deux courbes de KerV. : } \sigma = 0,038 \text{ magnitude} \end{array} \right\}$$

Ce résultat est obtenu avec 140 mesures et un seul observateur. Il nous paraît certain qu'un groupe de bons observateurs peut avoir un σ collectif de l'ordre de 0,02 magnitude sur cette étoile.