

# Etoiles variables et photométrie

## 1) Généralités :

- a) Qu'est ce qu'une étoile variable ?
- b) Combien et pourquoi les étudier ?
- c) Nomination des étoiles variables
- d) Classification des étoiles variables

## 2) Les Pulsantes :

- a) Généralités
- b) Les RR Lyrae
- c) Les céphéides
- d) Les variables à longues période (Mira)
- e) Les RV tauri
- f) d'autres types de variables pulsantes ou cataclysmiques

## 3) Les binaires à éclipses :

- a) Généralités
- b) Les EA(algol persée)
- c) Type EB  $\beta$  Lyrae
- d)Types EW

## 4) Photométrie :

- a) Les méthodes / matériel /précision
- b)Exemple d'une séance de photométrie

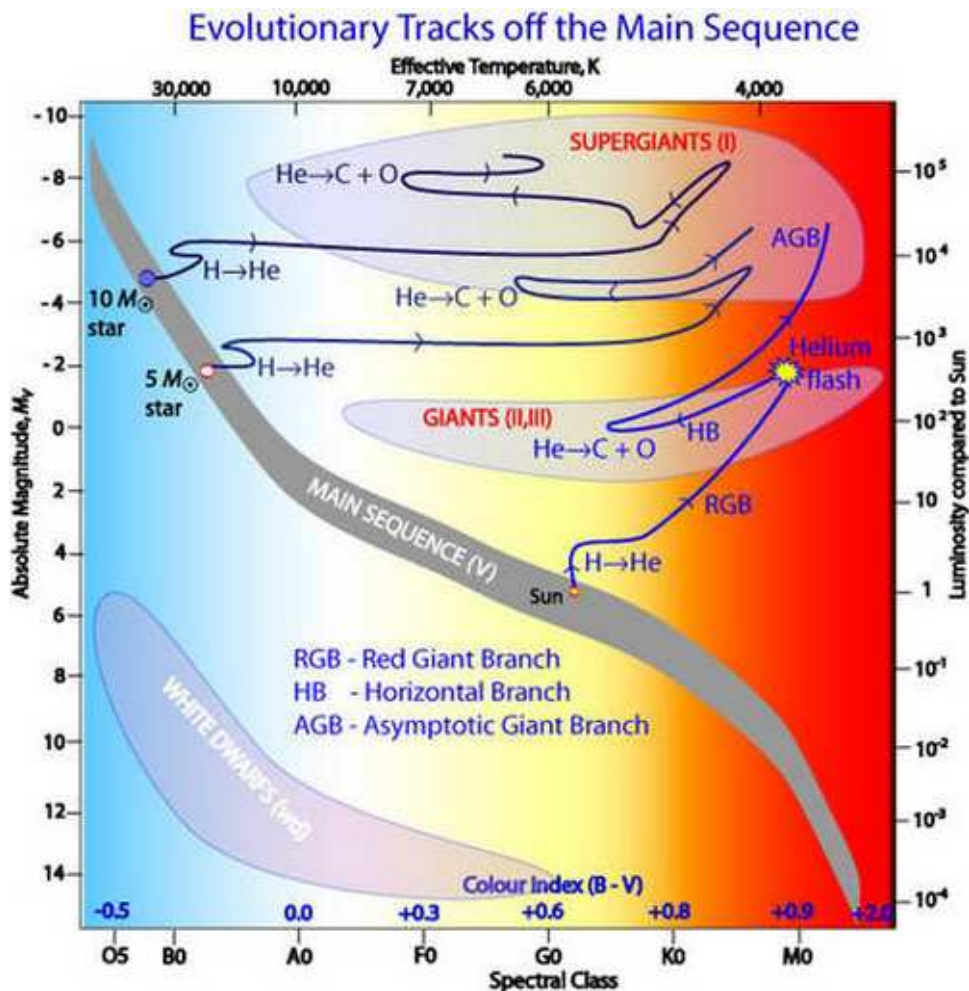
## a) Qu'est ce qu'une étoile variable :

- Historiquement c'est une étoile dont l'éclat varie , mais avec les techniques modernes (spectroscopie) , cette condition s'est avérée trop restrictive ,on considère donc comme étoile variable , toute étoile dont les propriétés physiques varient :luminosité, type spectral, vitesse .....)
- N'est pas pris en considération l'évolution stellaire.
- Les temps de variation sont donc du centième de s à quelques décennies

## b) Combien et pourquoi les étudier :

- C'est une faible proportion d'astres , mais un sujet d'étude important (400 variables connues au début du siècle , environ 30 000 aujourd'hui) .
- La faible proportion d'astre s'explique par le fait que le temps passé dans la vie d'une étoile à être variable est peu important par rapport au temps passé à être stable.

Evolution d'une étoile dans le diagramme HR :



- Estimation des distances dans l'univers par les relations périodes / luminosité de certains types d'étoiles variables.
- Indications sur les structures internes et théorie d'évolution des étoiles.

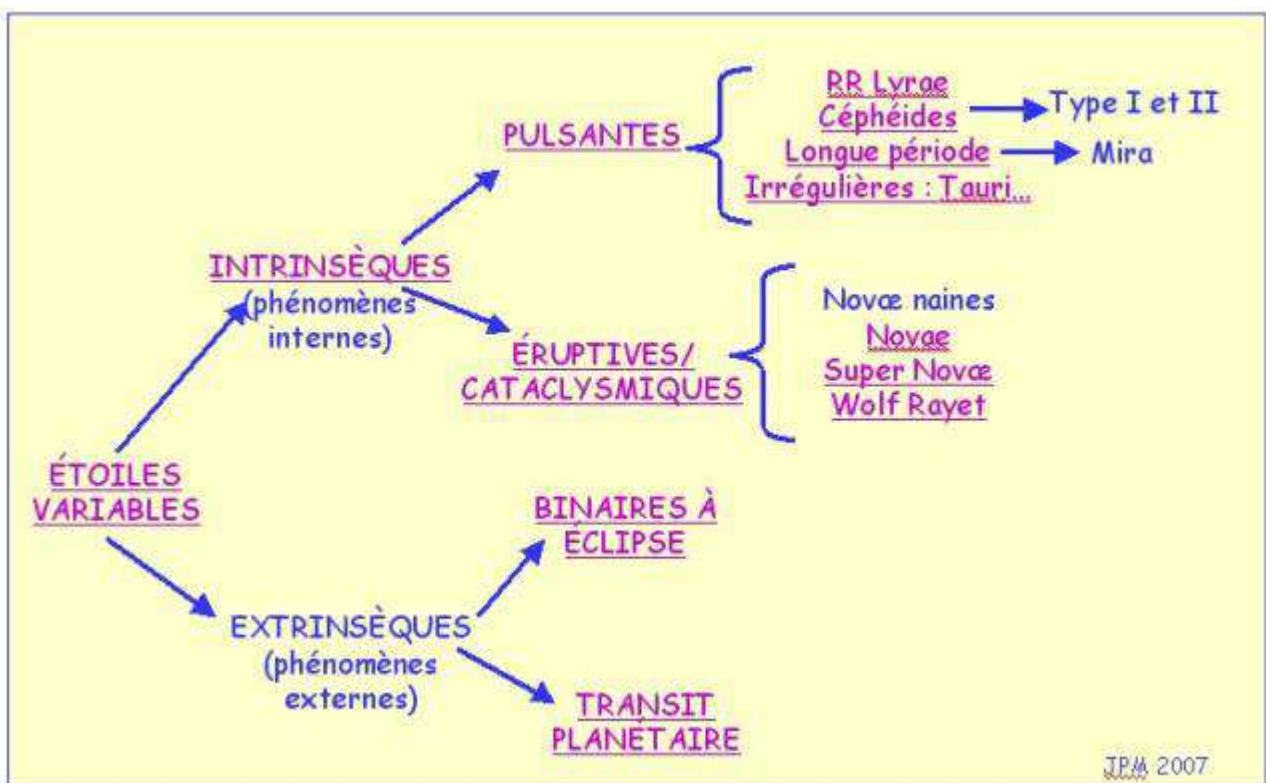
- Possibilité de collaboration Pro / Amateurs par le nombre important de mesures possible par les amateurs.

### c) Nomination des étoiles variables :

- désignation spécifique des variables par l'attribution d'une ou deux lettres latines , suivi du nom de la constellation, et ceci par ordre de découverte en commençant par la lettre R.
- On utilisera R, S, T .....Z, RR, RS, .....RZ , SS.....SZ.....ZZ, AA ....AZ , BB.....BZ , QQ .....QZ la lettre J n'est pas utilisée.
- Cette classification permet de nommer les 334 premières variables d'une constellation , ensuite on poursuit par V335 , V336.....
- Les variables nommées par une lettre grecques ne prennent pas d'autres désignations.
- Certaines variables sont répertoriées dans des catalogues spécifiques HV.....

### d) Classification des étoiles variables :

Il existe 2 grandes classes d'étoiles variables , les variables intrinsèques , c'est-à-dire dont le processus de variation est directement lié à l'étoile elle-même , et les variables extrinsèques , c'est-à-dire dont le processus de variation dépend d'un élément extérieur à l'étoile (compagnon ou planète).



Classement par ordre d'abondance des variables pulsantes :

- Les RR Lyrae.

- Les Mira
- Les céphéides.

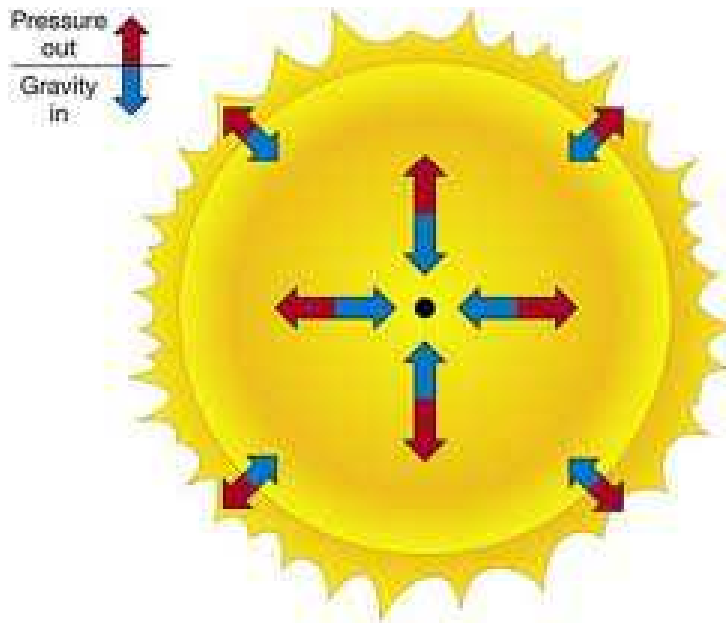
## 2) Les variables pulsantes:

### a) (généralités) :

Une étoile est soumise à deux forces qui s'opposent :

- La pression de radiation (fusion de l'hydrogène en hélium) qui tend à dilater l'étoile.
- La gravitation qui tend à comprimer l'étoile.

*Fig.1 :*



La plupart des étoiles trouvent un équilibre entre ces deux forces.

Dans le cas d'une étoile variable pulsante il existe un déséquilibre entre ces deux forces, et à tour de rôle l'une d'elle est prédominante par rapport à l'autre, entraînant une variation du diamètre et luminosité de l'étoile.

#### *1ere phase :*

L'étoile se dilate, la température et la densité diminuent, l'étoile devient moins brillante mais avec un décalage temporel .

2eme phase :

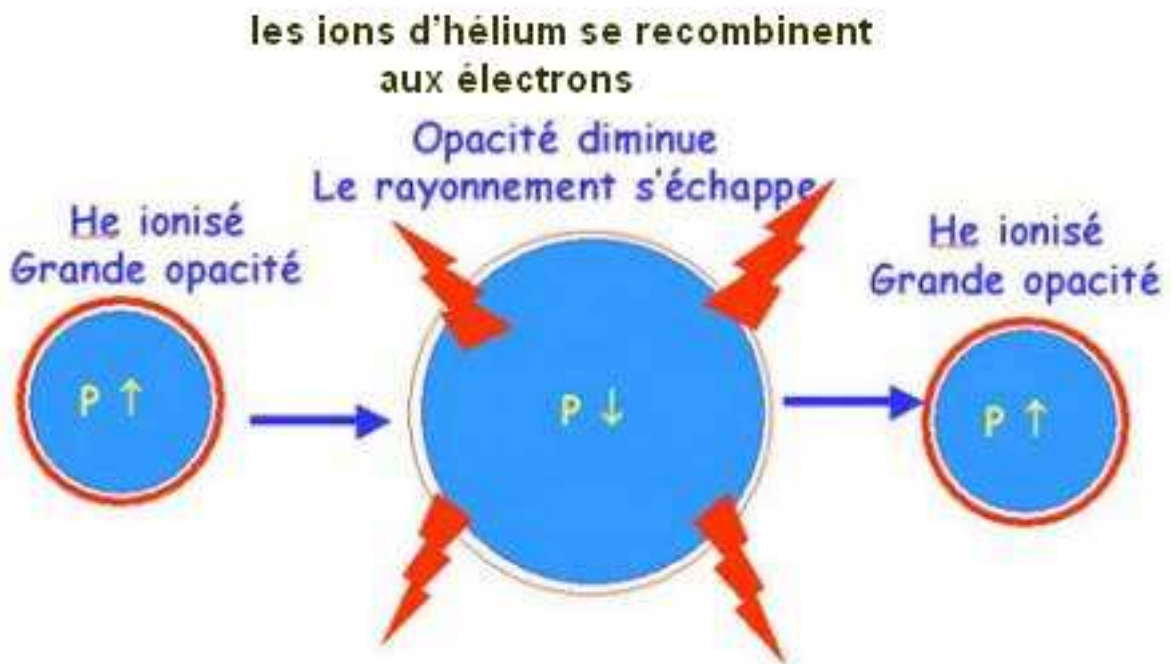
L'étoile se contracte, la température et la densité augmentent, l'étoile devient plus brillante avec un décalage temporel.

Ce sont des étoiles en phase de combustion centrale d'hélium, le mécanisme d'oscillation est entretenu par la présence d'hélium ionisé dans les couches externes de l'étoile, une légère compression provoque une ionisation de l'hélium en surface, l'ionisation de l'hélium est très opaque au rayonnement, et agit comme un écran qui poussé par la pression de radiation tend à faire gonfler l'étoile.

L'enveloppe enfle et se refroidit, les ions d'hélium se recombinent aux électrons, la couche externe redevient perméable aux photons, l'étoile se comprime, entraînant une nouvelle ionisation.

Un nouveau cycle commence.

Fig.2 :



Ceci est un peu analogue au couvercle de la marmite en ébullition :

- 1ere phase : l'eau boue, la pression augmente dans la marmite , le couvercle empêche les gaz de s'évacuer ,jusqu'à un point critique où le couvercle s'entrouvre.
- 2eme phase : la pression « s'évacue » , le couvercle se referme et la pression peut remonter de nouveau.



On remarque que le pic de luminosité n'est pas en phase avec le diamètre de l'étoile. La variation du rayon est faible, environ 1.15 x le rayon minimum.

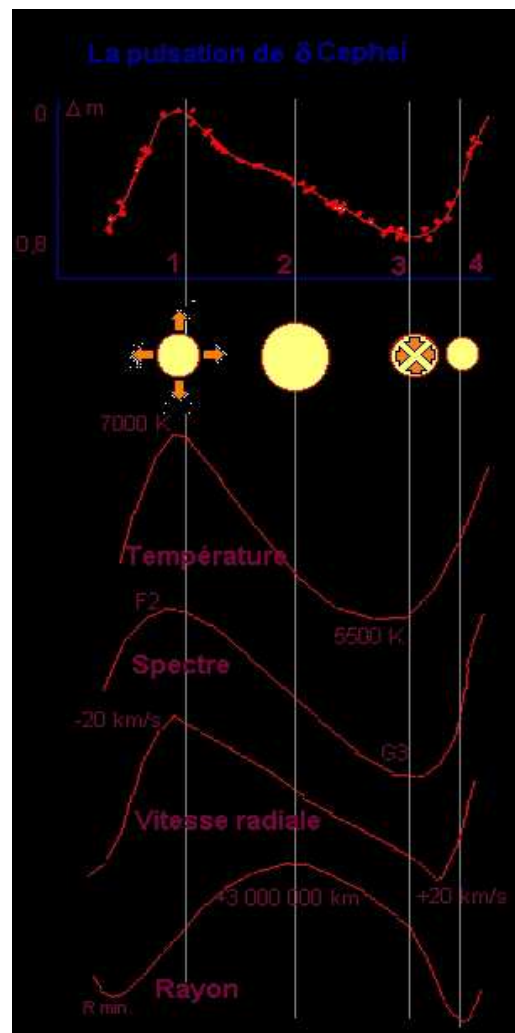
La naissance du phénomène de variation provient d'un déséquilibre particulier au moment d'un changement de « carburant nucléaire » souvent entre l'Hélium et la Carbone. Ce déséquilibre n'est possible que pour les étoiles de 4 à 10 masses solaires, au-delà, les réactions nucléaires se poursuivent, créant d'autres éléments sans provoquer un déséquilibre.

L'instant où ce déséquilibre apparaît, dépend de la composition du nuage dans lequel l'étoile s'est formée. Ce qui explique que cet état peut être atteint top ou tard dans la vie de l'étoile, ou même jamais.

Pour le soleil, sa masse est trop faible pour atteindre un tel déséquilibre.

### *Courbe caractéristique d'une céphéide :*

*Fig.3 :*



## b) Les RR Lyrae :

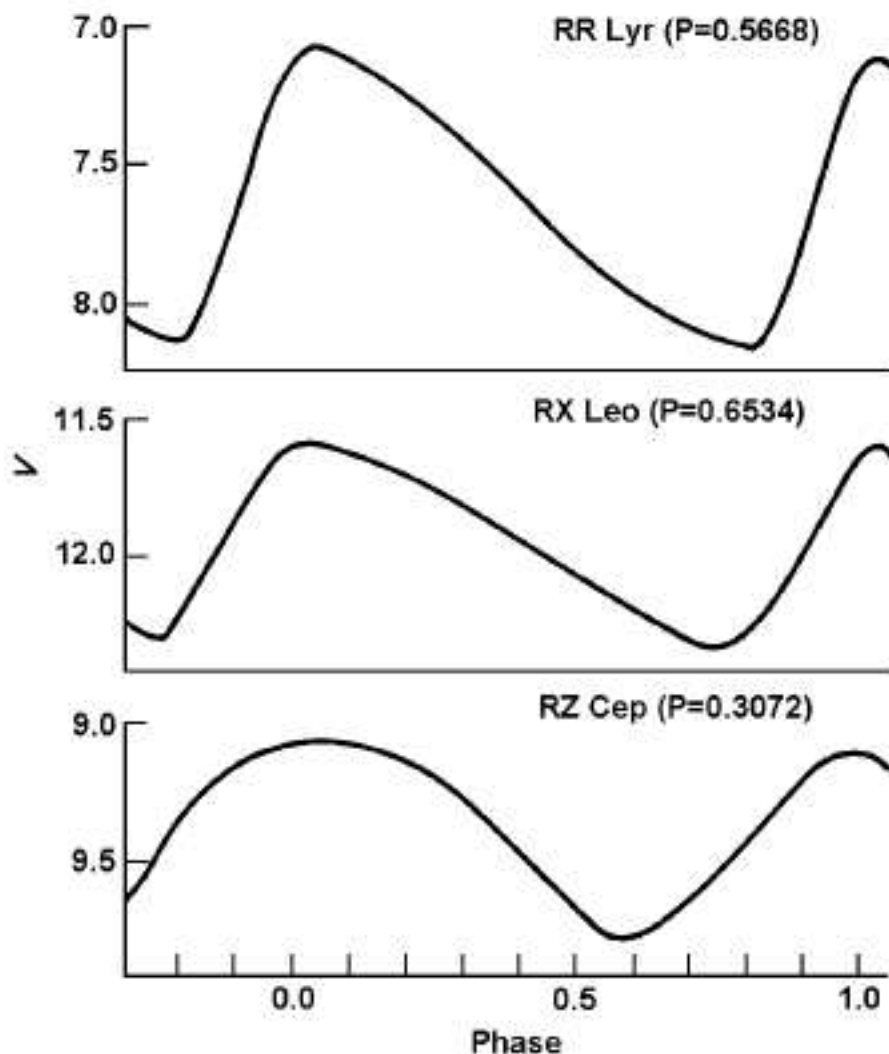
Elles sont relativement nombreuses, ce sont des géantes types spectral A à F.

- Leur périodes sont comprises entre 0.2 et 1.2 jours.
- Leurs amplitudes varient de 0.2 à 2 magnitudes V.
- Leur type spectral varie au cours du cycle.
- Leur masse est voisine de  $0.5 \text{ } \odot$  pour un rayon de  $5 \text{ } \odot$
- Leur magnitude absolue  $M$  est comprise entre 0.5 et 0.9 , ce qui en fait de bon indicateurs de distance .
- Leur période est stable , et peut présenter un effet Blazhko.
- Ce sont des étoiles de population II, abondantes dans les amas globulaires , dans le noyau galactique et dans le halo.

On distingue actuellement 2 classes de RR Lyrae , les RRab (regroupant les a et les b) et les RRc , elles sont différenciées par leur courbes de lumières :

- Les RRab présentent une courbe de lumière asymétrique avec une montée rapide vers le maximum et une descente en « pente douce »
- Les RRc présentent une courbe de lumière presque sinusoïdale.

Fig.4 :



Les RRab ont une période de pulsation centrée autour de 0.55 jours pour une variation de 0.5 à 2 magnitudes.

Les RRC ont une période de 0.3 jours pour une période de 0.5 magnitudes.

Les RRab sont plus nombreuses que les RRC.

### c) Les Céphéides :

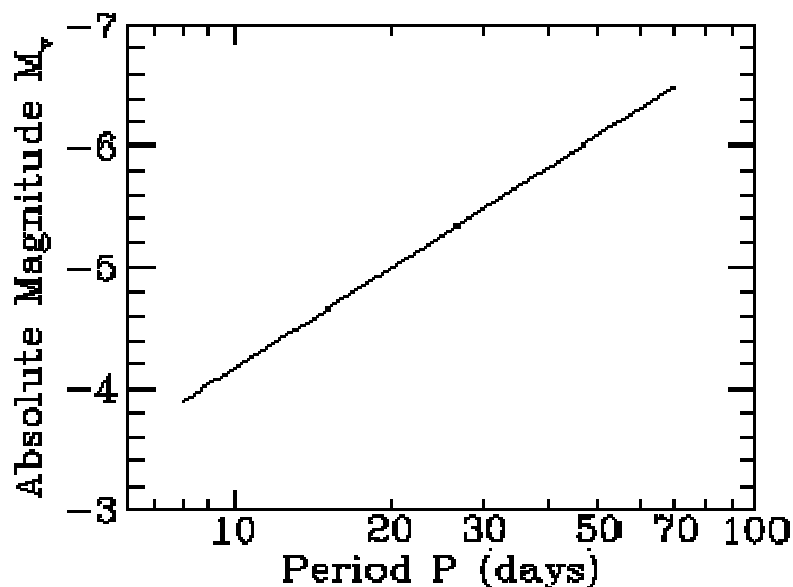
On distingue 2 types de céphéides :

- Les  $\delta$  cephéé >>céphéides classiques >> étoiles de population I >> riches en hélium
- Les w virginis >>>> étoiles de population II >>> pauvres en hélium

Les  $\delta$  cephéé (DCEP):

- Ce sont des étoiles super géantes.
- Leur magnitude est comprise entre  $M = -2$  et  $M = -6$
- Période comprise entre 2 et 50 jours
- Variation de magnitude , entre 0.2 et 2 M.
- Type spectral varie de F5 à G2 au cours de la pulsation.
- La relation période luminosité est bien connue, ce qui en fait de bon indicateurs de distance , étant donné leur luminosité importante, elles sont visibles de loin. (henrietta S Leavitt 1868- 1921 fit la découverte de cette relation en observant les céphéides des nuages de Magellan)
- La luminosité augmente avec la période.
- On en connaît quelques centaines.
- Leur masse est comprise entre 3 et 16  $M_{\odot}$  pour un rayon entre 15 et 200  $R_{\odot}$
- On les trouve dans les bras spiraux , et dans les galaxies proches.

Fig.5 :





Les w virginus (CW):

- Ce sont les équivalents de population II des céphéides classiques.
- On les trouve dans les amas globulaires et dans la composante sphérique de la galaxie ou dans la vieille population du disque.
- Leur période est comprise entre 1 et 35 jours.
- Amplitude entre 0.3 et 1.2 M.

#### d) Les Variables longues périodes mira (M) :

- Ce sont des géantes à longue période de type spectral M , S ou C.
- Périodicité bien marquée de 90 à 1000 jours.
- Amplitude entre 2.5 et 11 M , typiquement 5 M soit un facteur 100.
- Elles sont de faible  $t^{\circ}$  et émettent beaucoup dans l'infra rouge , la variation visuelle ne reflète donc pas la totalité de la variation de l'étoile.
- Le mécanisme de variation est à différencier des autres variables pulsantes , en effet les variations sont bien plus importantes pour une variation de diamètre sensiblement identique. Plusieurs théories sont à l'étude , les grandes variations de M , s'expliqueraient en partie par des ondes de choc qui désorganisent des molécules et qui modifient la transparence des couches extérieures , au refroidissement les poussières se recombinaient bloquant de nouveau la lumière visible. D'autres hypothèses font intervenir un compagnon (naine blanche) qui serait très difficile à déceler et qui interagirait avec l'atmosphère de la géante rouge.
- Elles obéissent à une relation période –luminosité mais inversée par rapport aux céphéides, la luminosité augmente lorsque la période diminue. L'exploitation de cette relation est difficile.

#### e) Les Variables RV Tauri(RV) :

- Peu nombreuses on en connaît une centaine.
- Super géantes de type spectral F , G ou K.
- Amplitude de variation de 3 à 4 M.
- Les variations ne sont pas régulières en amplitude et en période
- La période est comprise entre 30 et 150 jours.

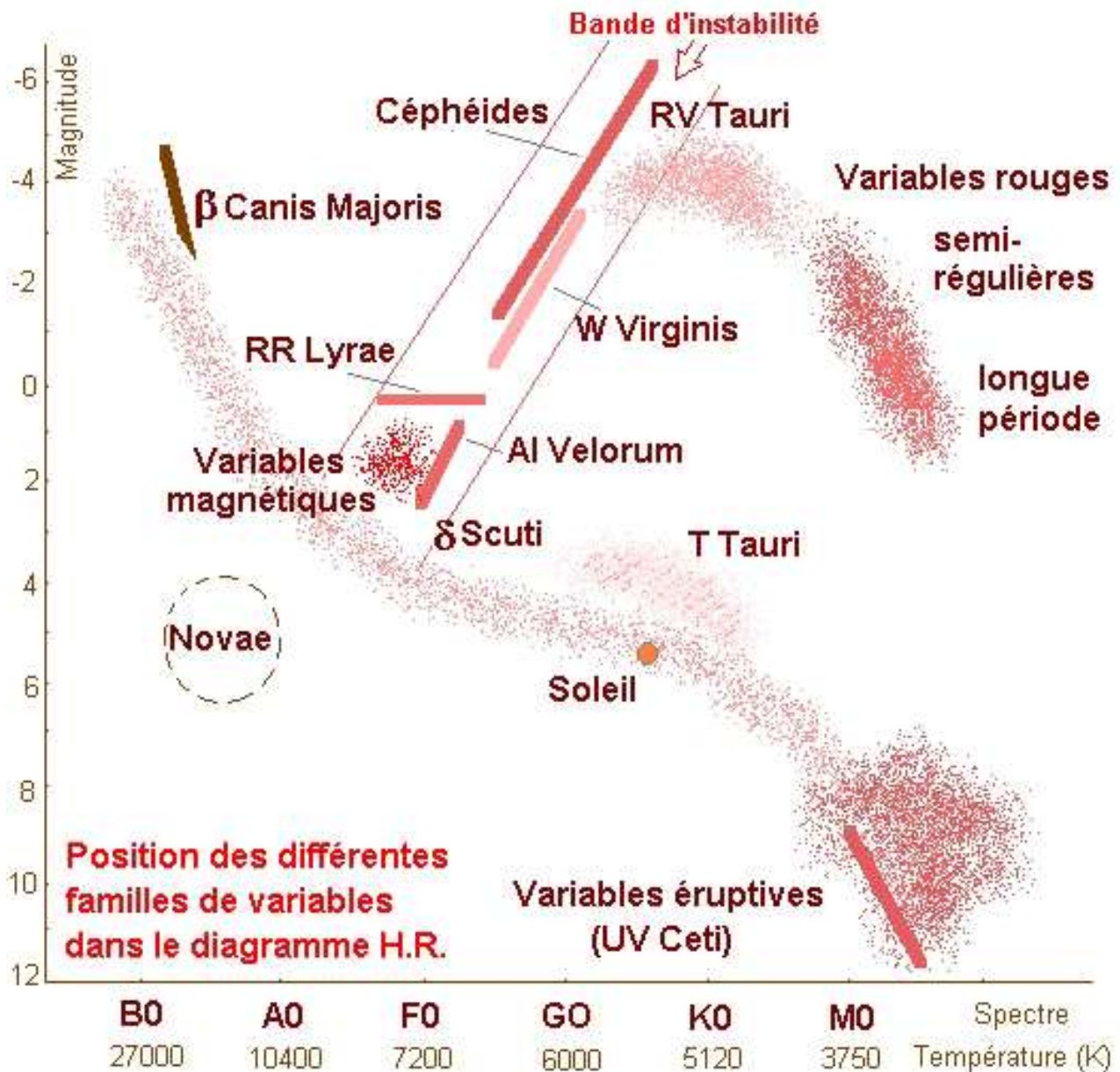
#### f) D'autres types de variables :

- Les semi régulières (SR) et irrégulières (L) >>> géantes ou super géantes.
- Les  $\delta$  sct (DSCT) et sx PHE (SXPHE) .Période 0.05 à 0.5 j , amplitude < 0.8M
- Les  $\beta$  cepheé. Période de 0.1 à 0.5 jour , amplitude 0.01 à 0.3 M.
- Etoiles B à raie variable >>> Be >> raie spectrale à profil variable.
- Variables compactes >> 10eme de magnitude.
- Oscillations solaires >>> amplitudes très faibles sur plusieurs fréquences.

- Luminous blue variables Wolf rayer , nova , super nova, variables de type @2 variable magnétiques .....

Les étoiles variables dans le diagramme HR :

Fig.6 :



Il est clairement visible que pour les RR lyrae , la magnitude M est identique pour toutes les RR lyrae et ne change pas avec le type spectral , par contre pour les céphéïdes on voit que la luminosité augmente lorsque la température diminue et ce de façon .

### 3) Les binaires à éclipse :

#### a) Généralités :

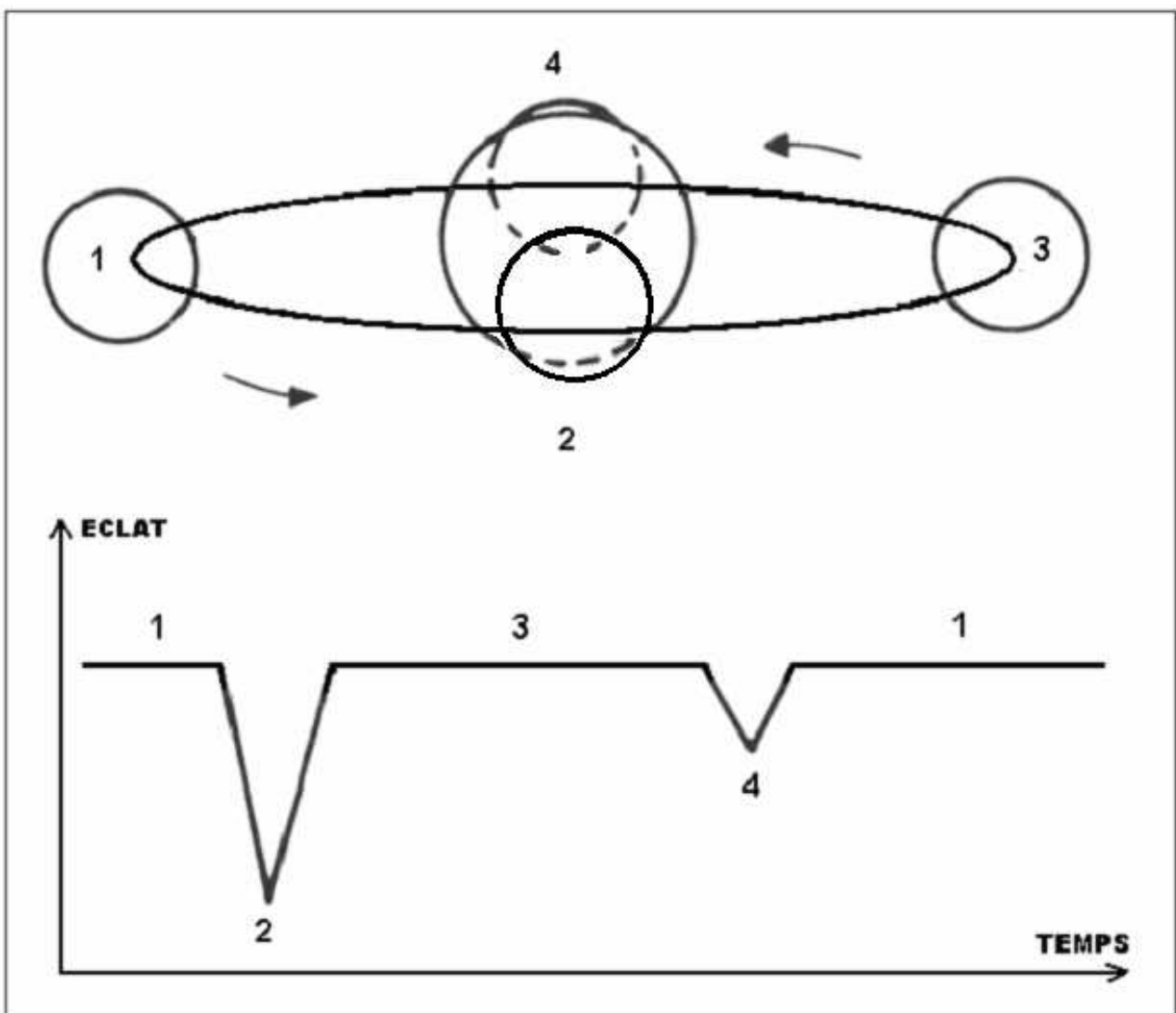
Ce sont des étoiles qui font partie des étoiles doubles ou multiples , comme la majorité des étoiles existantes .

Les étoiles doubles sont classées en 2 catégories

- Les doubles visuelles qui sont séparables par des moyens optiques.
- Les binaires spectroscopiques qui sont très rapprochées et donc inséparables visuellement, mais pour lesquelles l'étude des spectre permet de dire qu'il s'agit de binaires.

Les binaires à éclipse présentent la particularité d'avoir leur plan orbital situé dans la ligne de visée de la terre , elle présentent donc régulièrement des éclipses dont les caractéristiques sont fonction de la luminosité et de la taille des deux composantes.

Fig.7 :  
shéma d'une éclipse :

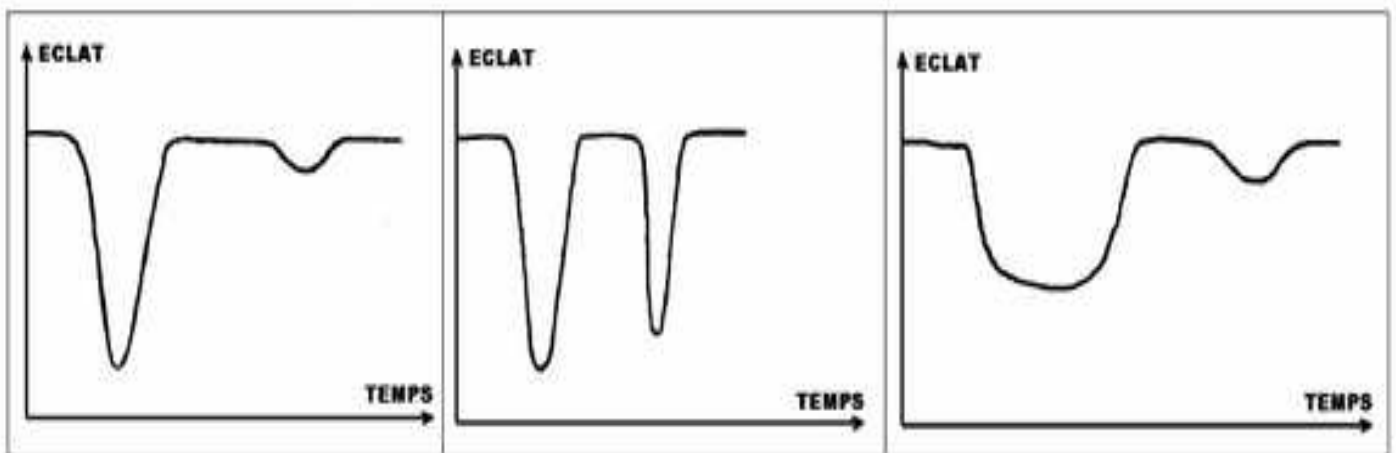
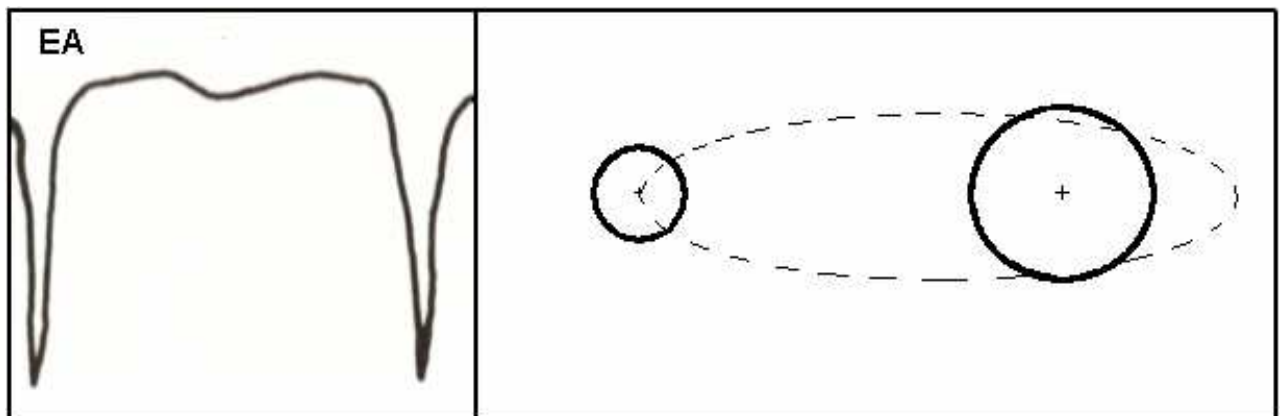


Analyse du schéma :

- En 1 , les deux éclats s'ajoutent c'est le maximum.
- En 2 , la petite étoile moins brillante passe devant la grosse , c'est la minimum principal
- En 3 , identique que 1 c'est le maximum.
- En 4 ,le petite étoile moins brillante passe derrière la grosse c'est le minimum secondaire.

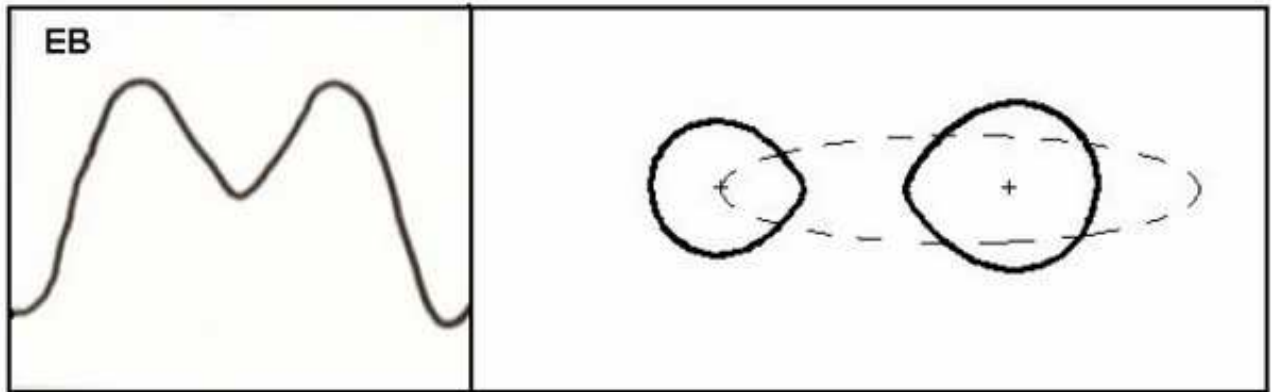
Plusieurs types d'étoiles binaires à éclipses :

a) Type EA algol dans Persée :



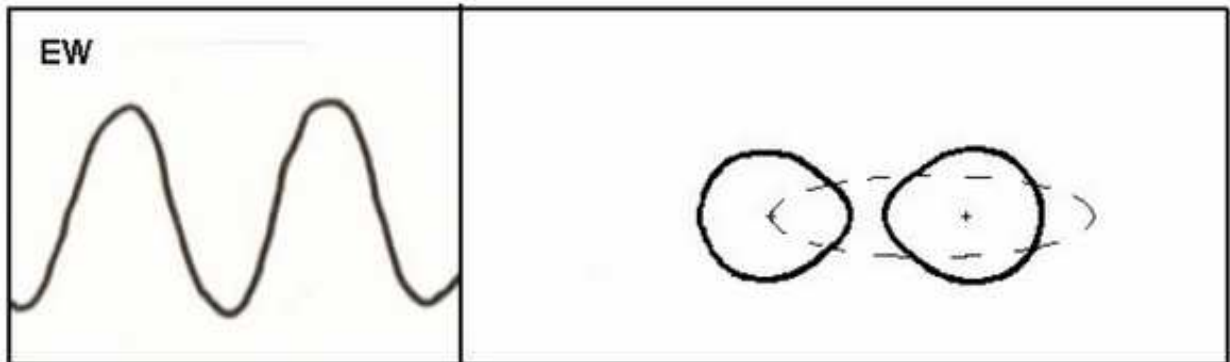
En fonction des éclats et des diamètres des 2 composantes les courbes sont différentes.  
Les périodes sont comprises entre 0.5 et 10 jours.

b) Type EB  $\beta$  Lyrae :



La distance entre les étoiles est petite, les étoiles sont déformées et on a une forme ovoïde. Les courbes sont arrondies, les périodes comprises entre 0.5 et 4 jours .

3) Type EW W Uma :



La distance est encore plus petite , l'attraction provoque des déformations et même des contacts. Le minimum principal est pratiquement identique au secondaire. Les périodes sont comprises entre 0.3 et 0.4 jours.

### paramètres mesurables par photométrie pour les binaires :

- Détermination de la période.
- Détermination du rapport des rayons des composantes.
- Détermination des masses si on connaît leur distance (binaire non spectroscopique).

# *2eme partie photométrie :*

## *a)Les méthodes/matériel /précision :*

### *Visuelle argelander :*

- Méthode visuelle basée sur la différence estimée entre des étoiles de comparaison et la variable.
- Peut être utilisée à l'œil nu ou avec un instrument.
- Précision peut être de 0.4 à 0.2 M maxi.
- Peut être sujet à interprétation.
- Il est souhaitable de prendre si possible des étoiles de même couleurs.

### *Photométrie avec un APN ou caméra CCD :*

Le principe est le suivant , nous ne parlons pas ici de photométrie absolue qui est très difficile à mettre en œuvre ,car elle dépend de beaucoup de paramètres :

- Chaîne optique de la mesure ,caractéristiques du capteur CCD
- Réponse des filtres , transparence de l'atmosphère .....

Il s'agit de photométrie relative , le principe est de capter le flux d'une étoile avec un APN ou capteur CCD ,de convertir les photons reçus en signal électrique , et de comparer ce flux avec une étoile de référence , ou mieux avec plusieurs étoiles de référence , réputées non variables .

Ensuite en application de la loi de Pogson , on peut recalculer la magnitude.

$$M = -2.5 \log E/E^{\circ}$$

### *Quel matériel pour les acquisitions :*

Un APN peut convenir pour faire ces mesures, des amateurs ont réussi à détecter des transits planétaires avec un APN.

Une caméra CCD noir et blanc sera beaucoup plus sensible qu'un APN , ce qui induira des temps d'acquisitions beaucoup plus faibles.

Si une caméra CCD anti – blooming est utilisée il conviendra de vérifier que l'on reste bien dans la zone de réponse linéaire de la caméra .

Pour des acquisitions sur de longues durées 3 ou 4 heures :

- Une optique lunette , un SC à F 10.
- Un APN ou CCD.
- Une monture équatoriale.

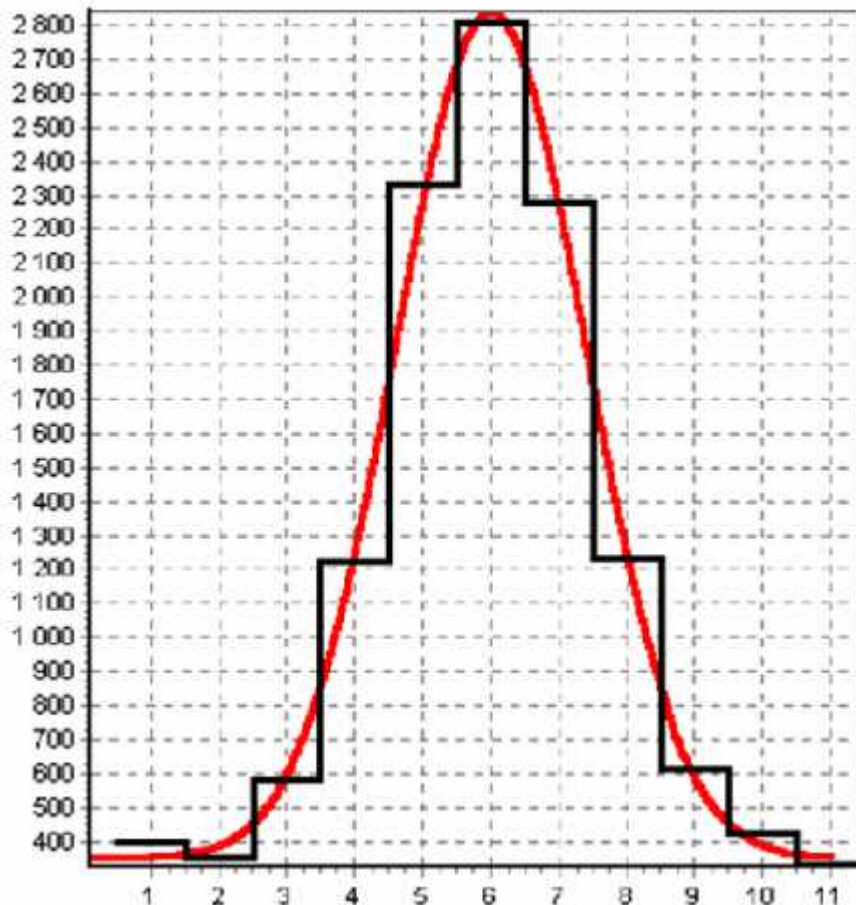
- Un auto guidage pour ne pas perdre l'étoile sur la durée des poses.
- Les filtres ne sont pas indispensables
- Des cartes de champ de variable.

### Quelle précision:

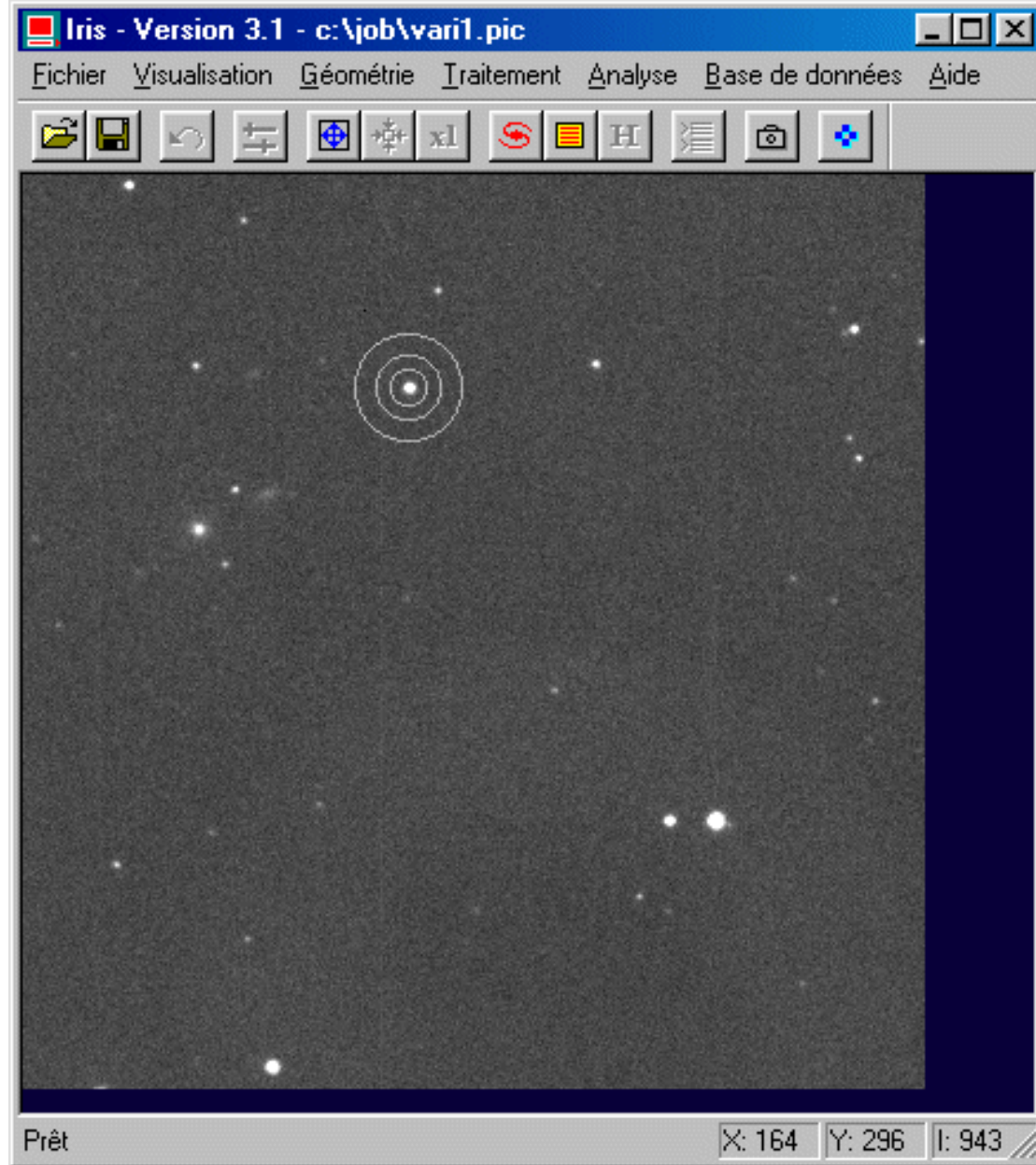
Si les images techniques , darks , flats , offsets sont soignées , on peut espérer atteindre la variation de  $m = 0.02$  , ce qui est grandement suffisant pour réaliser des courbes de variables et détecter certains transit planétaires.

### Principe de la photométrie d'ouverture:

Modélisation d'une étoile :



L'image numérique est modélisée pour obtenir une courbe, le principe de la photométrie d'ouverture est de le flux de l'étoile + le fond de ciel , et de comparer avec d'autres mesures sur des étoiles non variable.



Exemple avec IRIS , dans le premier cercle , on mesure le flux de l'étoile , entre le deuxième et le troisième , on mesure le fond de ciel ces mesures seront ensuite comparées avec d'autres étoiles , les fonds de ciel pourront être uniformisés pour supprimer les problèmes de passages nuageux gradients etc.....

### b) Exemple d'une séance de mesure photométrique:

#### recherche de la cible :RW cnc :

C'est une RR Lyrae.

L'AAVSO distribue d'excellentes cartes de champ paramétrables :



AAVSO | American Association of Variable Star Observers

Home Contact Us FAQ Donate Amazon



**Our Mission**  
What We Do  
Get Involved  
Ready to Join?

**General Public**  
Info for those new to the AAVSO plus materials for educators and students.

[Learn more](#)

**Observers**  
Tools and information to support your observing program.

[Learn More](#)

**Researchers**  
Data access, campaign assistance, and research support.

[Learn More](#)

**Light Curve of the Week**



Z Tau

- >> What is a light curve?
- >> About this star
- >> Observe this star

[More Light Curves](#)

**Carolyn Hurless Online Institute for Continuing Education**

CHOICE is a new collection of informal, online short courses about variable star topics.

[Read more...](#)



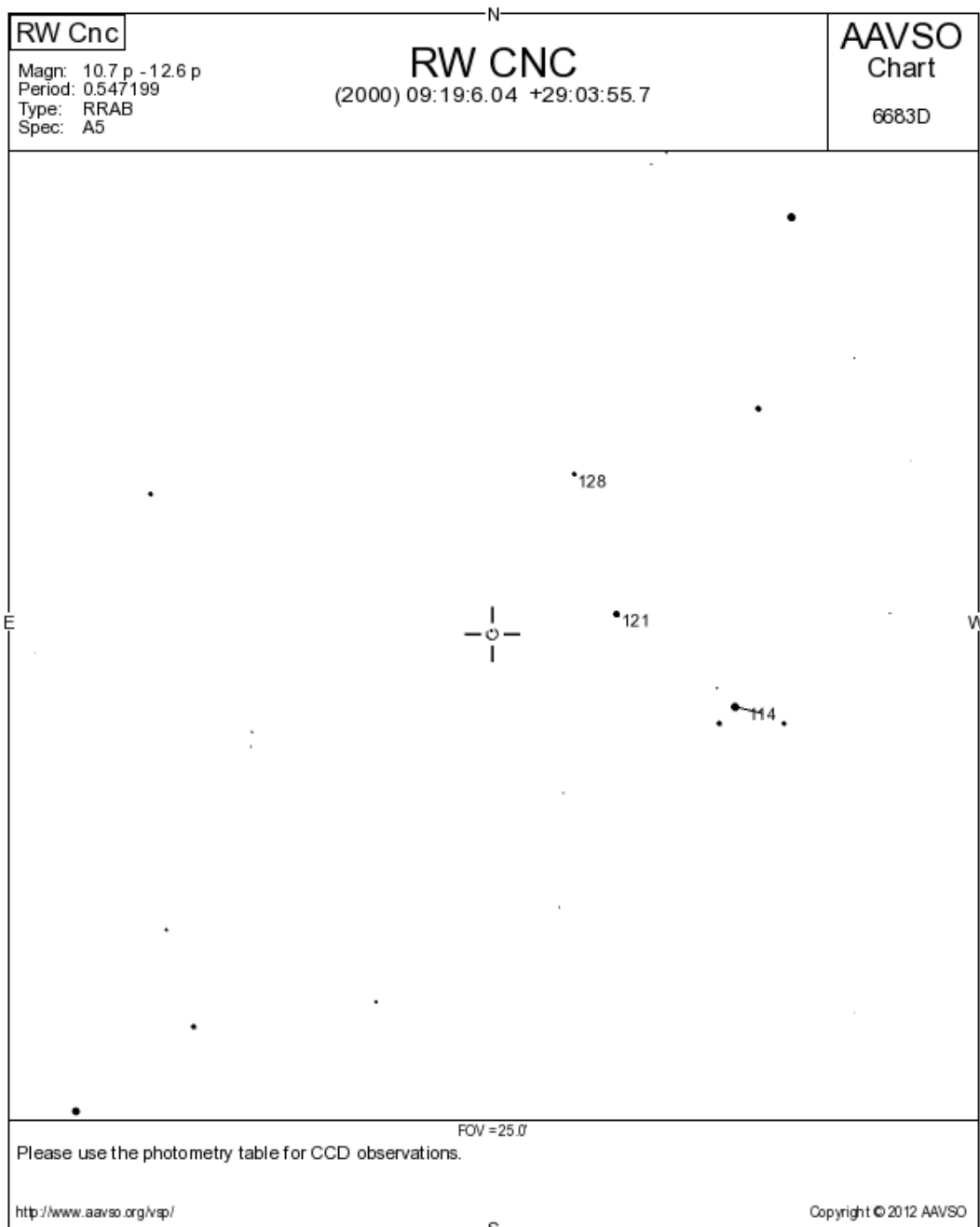
**Star Finder**

Type star name then click action.

- >> Plot a light curve
- >> Check recent observations
- >> Create a finder chart
- >> Search VSX

[Learn More](#)

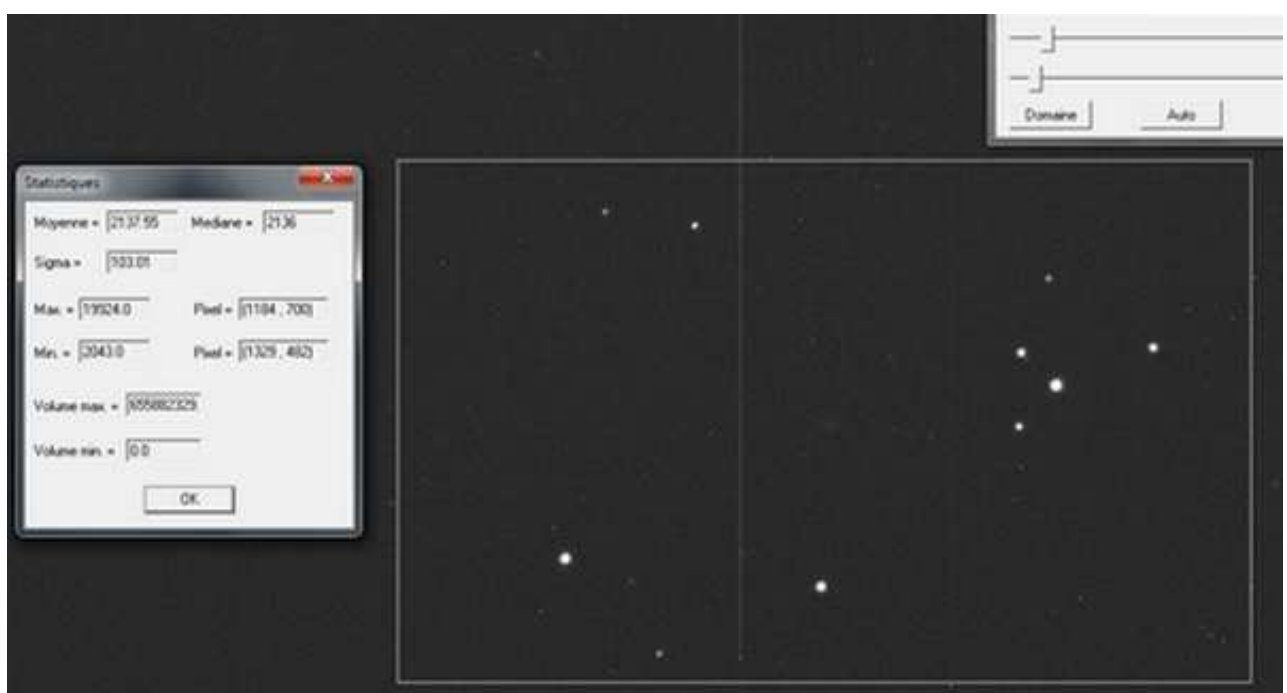
On obtient une belle carte de champ avec quelques magnitudes établies :  
La carte est orientable à volonté , le champ est réglable en fonction de la focale de votre instrument.



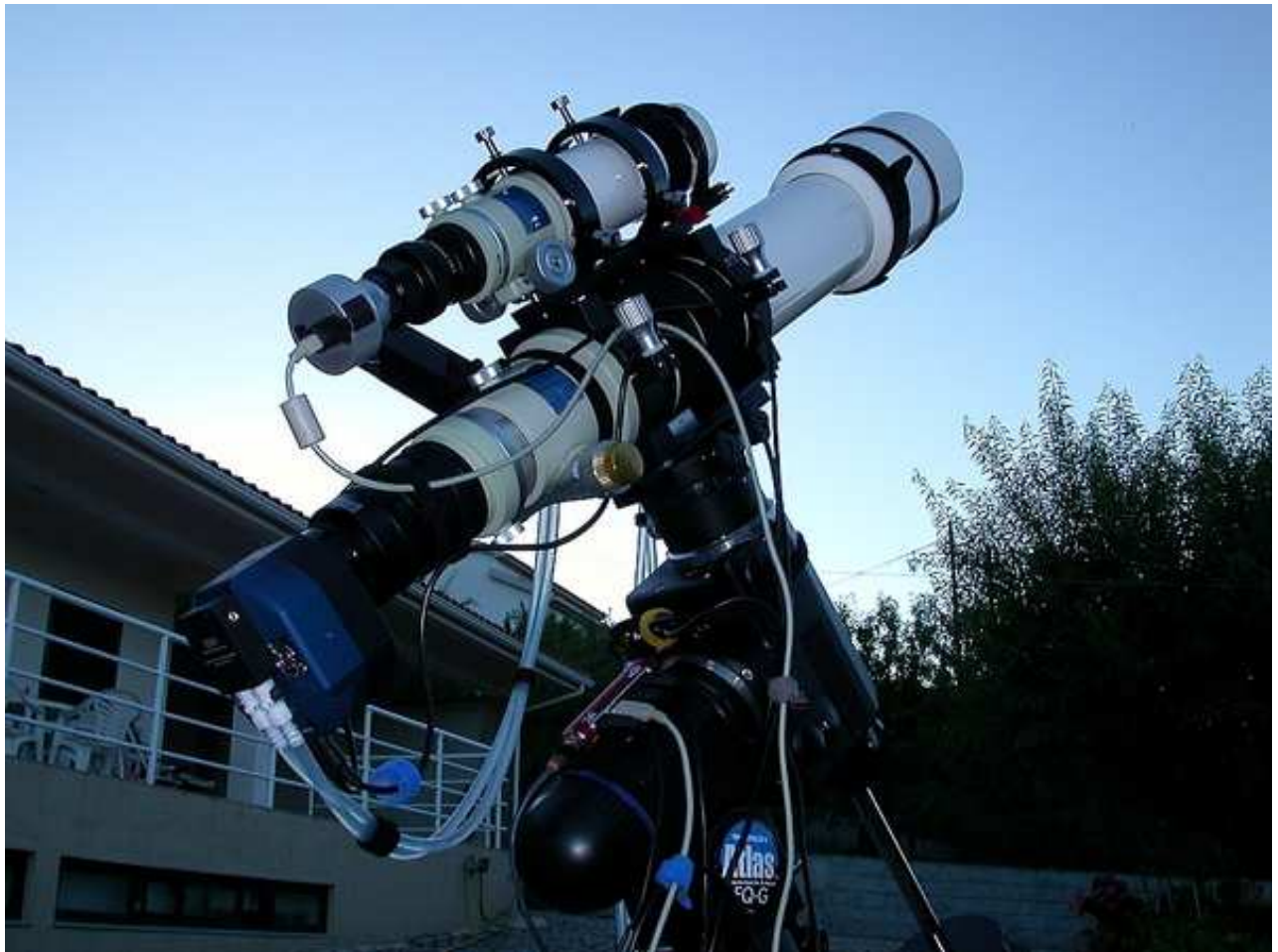
Avec cette belle carte il faut maintenant pointer l'étoile en question avec le télescope et faire une acquisition (ici de 15 secondes) :



il faut vérifier que les étoiles ne sont pas saturées et suffisamment lumineuses , il peut être avantageux de défocaliser légèrement les images pour étaler le flux des étoiles :

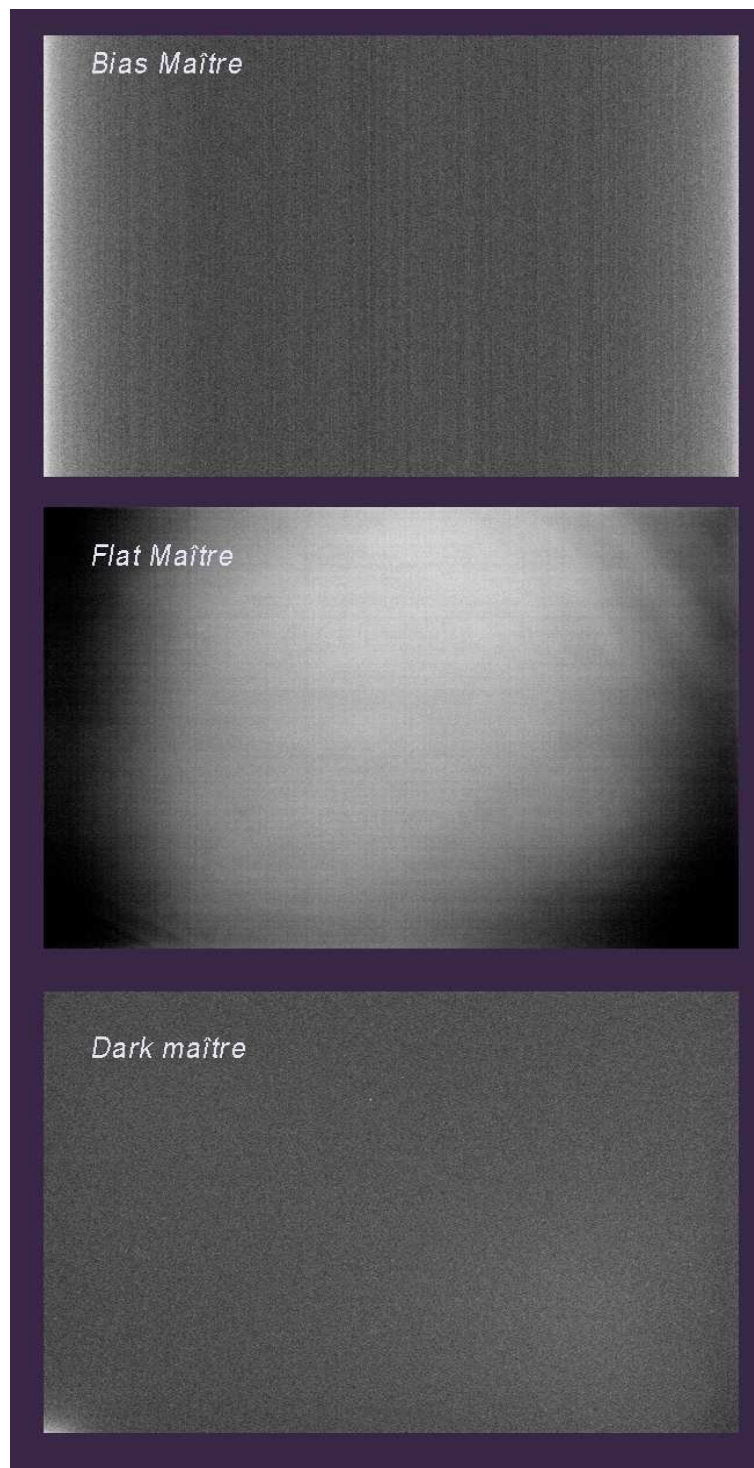


On peut maintenant mettre en route l'autoguidage et lancer les acquisitions à intervalles réguliers , par exemple 15 s de poses toutes les 1 mn 45 secondes , pour avoir un cycle de 2 mn.



Nous voilà maintenant avec notre série de poses réalisées toutes les 2 minutes qu'il faut analyser.

Les pré traitements de l'image sont bien connus des astrophotographes , darks , flats , offsets , ensuite registration des images, ils sont indispensables.



L'image ne devra bien évidemment subir de traitement particuliers autres que les pré – traitements sous peine de perdre tous crédits scientifiques.

Il reste à analyser l'image avec un logiciel approprié : IRIS , PRISM etc....ou faire une recherche de variable inconnue avec MUNIWIN.

Voici le résultat pour 128 poses de 15 secondes toutes les 2 minutes , on voit très bien les deux « changements de sens » des magnitudes et le passage au maximum :

