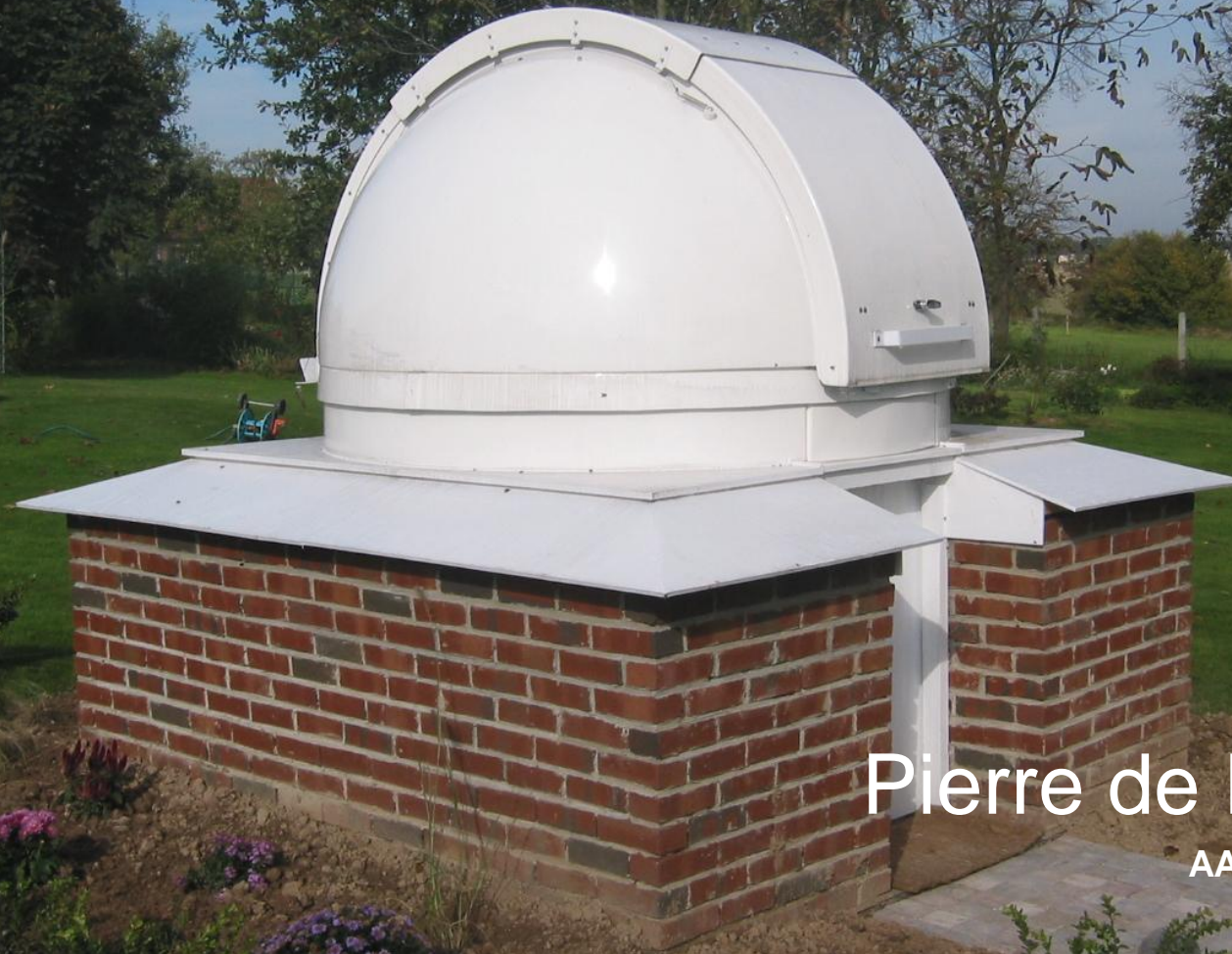


Introduction à la Photométrie Stellaire



Pierre de Ponthière

AAVSO member (DPP)

CBA Lesve

www.dppobservatory.net

2012/05/11

Structure de l'exposé

Théorie

- Magnitude (rappel)
- Calculs
 - Valeur du flux de photons
 - Valeur du fond du ciel et du bruit
- Photométrie différentielle
- Incertitudes sur la mesure

Structure de l'exposé Pratique

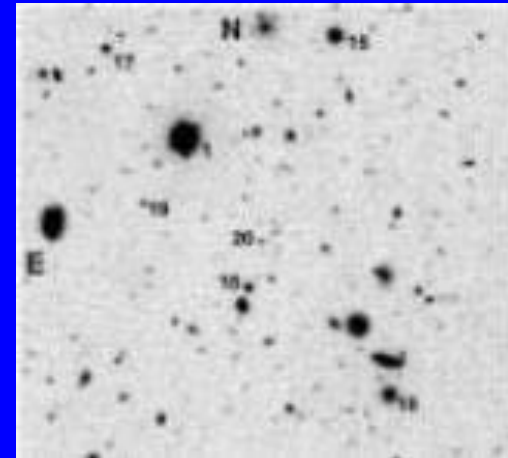
- Paramètres à maîtriser
 - Seeing
 - Echantillonnage spatial
 - Cercles de mesures
- Prise de vue
 - Filtres
 - Traitement : bias, darks, flats
- Logiciels
- Choix des étoiles de comparaison
- Un exemple de campagne

Photographie – Photométrie?

Expectations



Not this



This

From : The AAVSO CCD Observing Manual
Images courtesy A. Henden (USNO)

Magnitudes

Soleil	-26.7
Lune	- 12.6
Vega	0.0 (0.03)
Limite de Hubble	31.5

Etoile mag 1 est 100 plus brillante que mag 6

Etoile mag 1 est 2.512 plus brillante que mag 2
2.512 = Racine cinquième de 100

$$F_2/F_1 = 2.512^{(m_2-m_1)}$$

$$m_2 - m_1 = - 2.5 \text{ Log}_{10} (F_2/F_1)$$

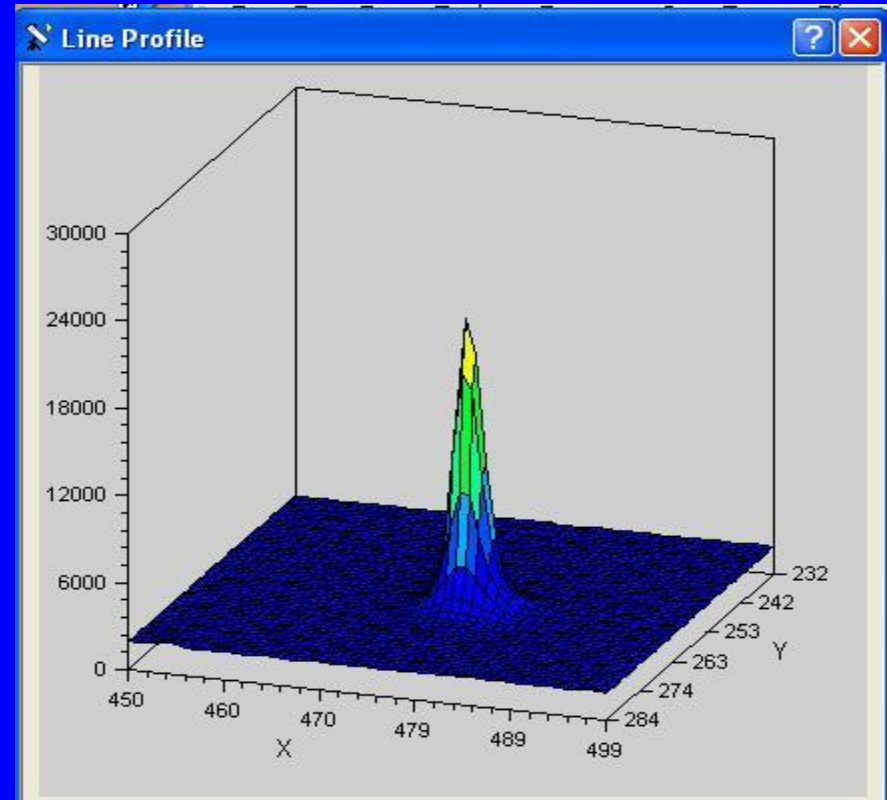
en effet :

$$\text{Log}_{2.512} F = \text{Log}_{10} F / \text{Log}_{10} 2.512 = 2.5 \text{ Log}_{10} F$$

$$\text{Log}_{10} 100^{1/5} = 2.5$$

Mesure du Flux

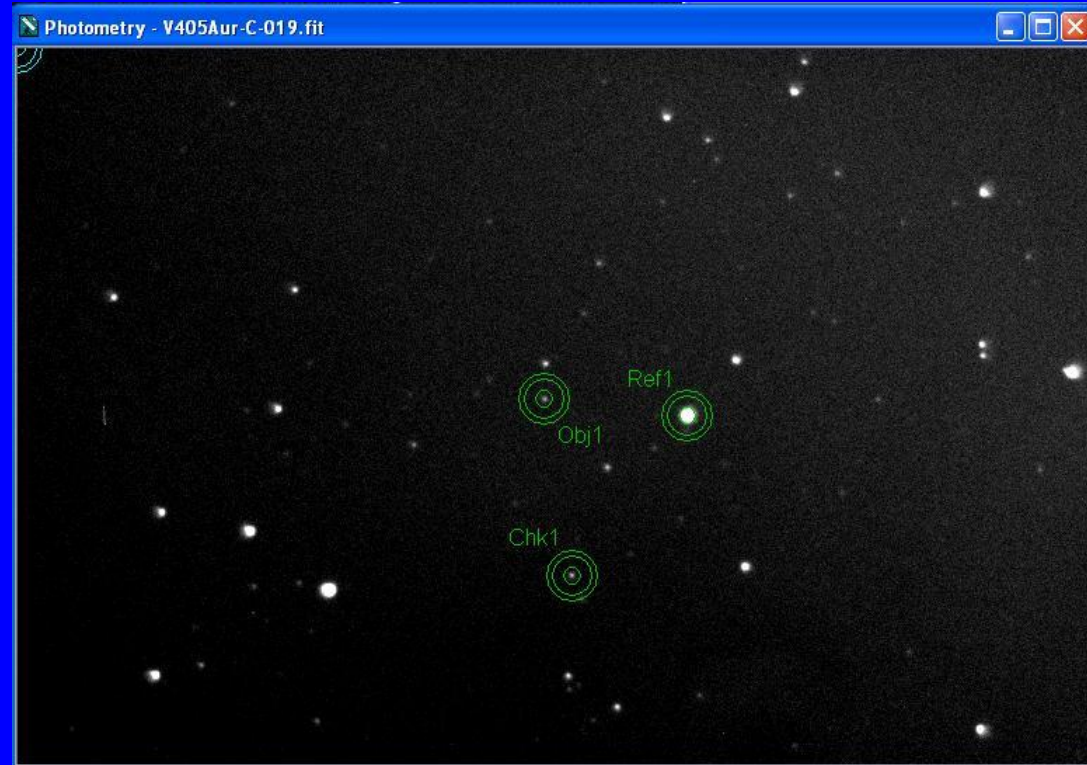
- Valeur du Pixel (ADU) proportionnel au Flux de photons
- Somme des ADU de l'étoile
 - étoile
 - fond du ciel + pédestal



- $F = (\text{ADU étoile}) - (\text{ADU fond}) = \text{volume du cône}$
- Variation du fond + Variation de l'étoile
 - => Bruit de la mesure
 - => incertitude (erreur) sur la mesure

Aperture Gap Annulus

- Aperture encercle l'étoile
- Annulus mesure le fond
- Gap zone mixte non-mesurée
- $B = \text{Moyenne en ADU du fond}$
- $F = \Sigma (\text{ADU étoile} - B)$



Photométrie différentielle

- F_{Obj} = Flux de la Variable
- F_{Ref} = Flux de l'étoile de comparaison
- M_{ref} est obtenue par catalogue
- $m_{\text{obj}} = M_{\text{ref}} - 2.5 \text{ Log}_{10} (F_{\text{obj}}/F_{\text{ref}})$
- Quid de légers nuages
- $F_{\text{obj}}/F_{\text{ref}}$ reste constant
si nuage uniforme sur cliché
Variable et Comparaison **sur le même cliché**
- Passage de légers nuages et/ou augmentation Airmass
 - la mesure est correcte
 - l'incertitude de la mesure croît .

Incertitudes sur la mesure

- **Photons de l'étoile** (Distribution de Poisson)
 - sur un laps de temps on reçoit un nombre entier de photons.
 - si on répète la mesure => pas tjs la même valeur
 - en moyenne on obtiendra la même valeur
 - avec une mesure de 1000 photons,
l'incertitude est de $\sqrt{1000} = 32$ (voir cours de statistiques)
 - en répétant la mesure,
dans 68% des cas la mesure sera entre 968 et 1032
- Pour des étoiles brillantes ce sera la seule source d'incertitude.

Incertitudes sur la mesure

- **Photons de l'étoile** (Distribution de Poisson)

 - avec une mesure de $S = 1000$ photons,
l'incertitude est $N = \sqrt{1000} = 32$

- $SNR = S/N = (S / \sqrt{S}) = \sqrt{S}$ (avec S exprimé en photons)
- Des logiciels calculent le SNR
- Erreur sur la magnitude =
 $\sigma(m) = 1.0857 / SNR$
- $SNR = 100 \rightarrow \sigma(m) = 0.010$ mag
valeur typique pour étoile de magnitude 12.7 avec
télescope 20cm, sans filtre, 30 sec de pose
- Avec 60 sec $SNR = 141$ $\sigma(m) = 0.008$ mag

Incertitudes sur la mesure

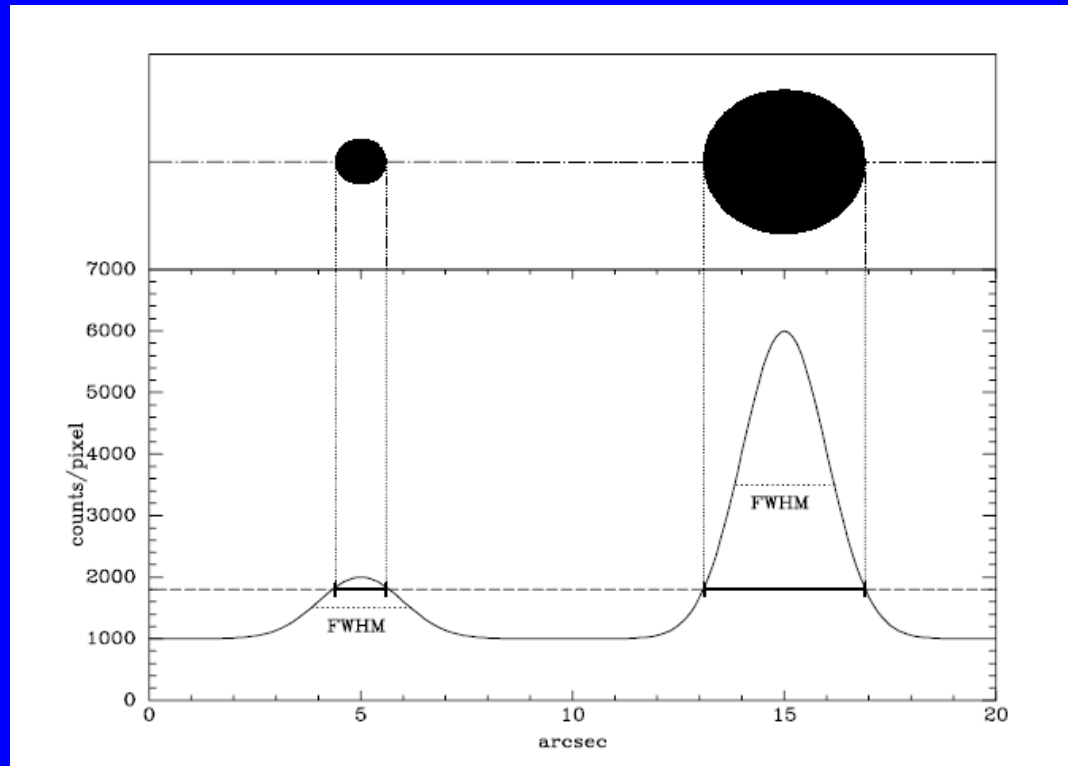
- **Plusieurs autres sources**
 - Bruit de lecture (read noise)
 - Bruit du fond du ciel
 - etc..
- Analyse complète : voir article de M. Newberry
- Tous les logiciels ne calculent pas le SNR complet
- **Légers nuages et/ou Airmass**
 - Extinction = absorption , atténuation
 - réduction des photons reçus, distribution Poisson
 - $S/N = \sqrt{S}$ diminue et $\sigma(m) = 1.0857 / \sqrt{S}$ augmente
 - n'est plus la cause principale cause et $\sigma(m)$ total sera encore plus important.

Seeing

- Étalement spatial de l'étoile
 - Airy : grande ouverture -> petit étalement
 - turbulence du ciel
- Se mesure en pixels et s'exprime en secondes d'arc
- Toutes les étoiles d'un cliché doivent avoir le même étalement

Seeing

- Même étalement?
 - Pourquoi des grosses et petites
 - FWHM Full Width Half Maximum



En Belgique
4 à 2.8 arcsec

Logiciel
calcule
le seeing

Echantillonnage spatial

- Taille des pixels en arcsec = θ_p ; en micron = w_p
- $\theta_p = 206.265 * w_p / \text{focale}(\text{mm})$
 $206.265 = (180 / \text{PI}) \times 60 \times 60 / 1000$
- Règle Taille des pixels
 - 2 à 3 pixels par FWHM
 - sur-échantillonnage oversampling (>3) :
read noise augmente
 - sous-échantillonnage undersampling (<2) :
erreur photométrique augmente
- Seeing 3 arcsec $\Rightarrow \theta_p = 1$ à 1.5

Echantillonnage spatial

- Taille des pixels en arcsec = θ_p ; en micron = w_p
- $\theta_p = 206.265 * w_p / \text{ focale}(\text{mm})$
- Seeing 3 arcsec $\Rightarrow \theta_p = 1$ à 1.5

Exemple

$$\theta_p = 206.265 * 9 / 1276 = 1.45''$$

$d = 200 \text{ mm}$; $f/d = 10$; réducteur de focale

- Moyens d'ajustement

- focale du télescope
- réducteur de focale
- choix de la caméra
- binning (2x2 , 3x3)

Taille image

$$\theta_p * 765 = 18.5'$$

$$\theta_p * 510 = 12.4'$$

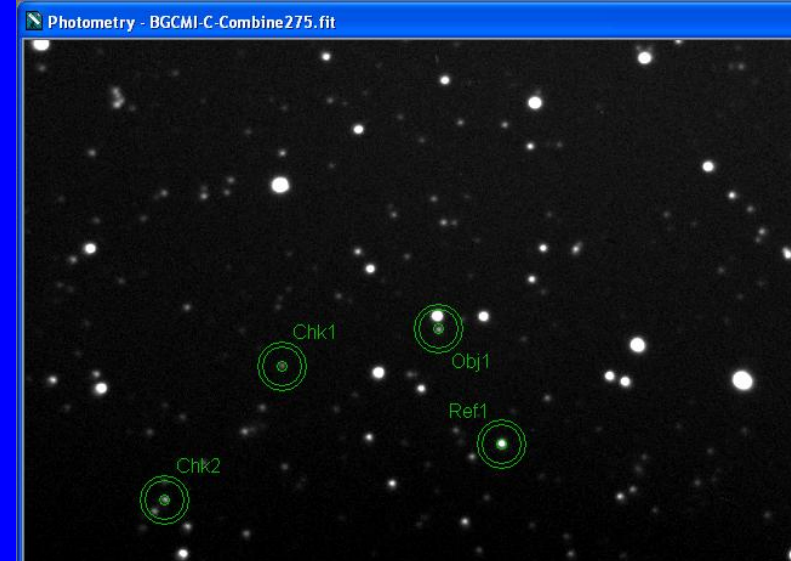
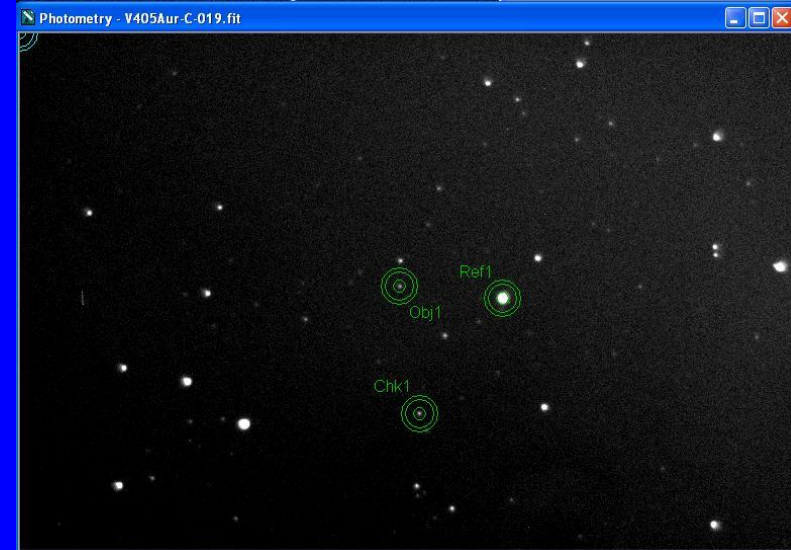
doit contenir les étoiles
de comparaison

Temps d'exposition

- $S/N = (S / \sqrt{S}) = \sqrt{S}$
- S/N augmente avec temps d'exposition
 - problème éventuel de suivi
 - temps d'exposition réduit la résolution temporelle
- Empilement (Stacking) équivalent
si \sqrt{S} est la seule cause du S/N : étoiles brillantes

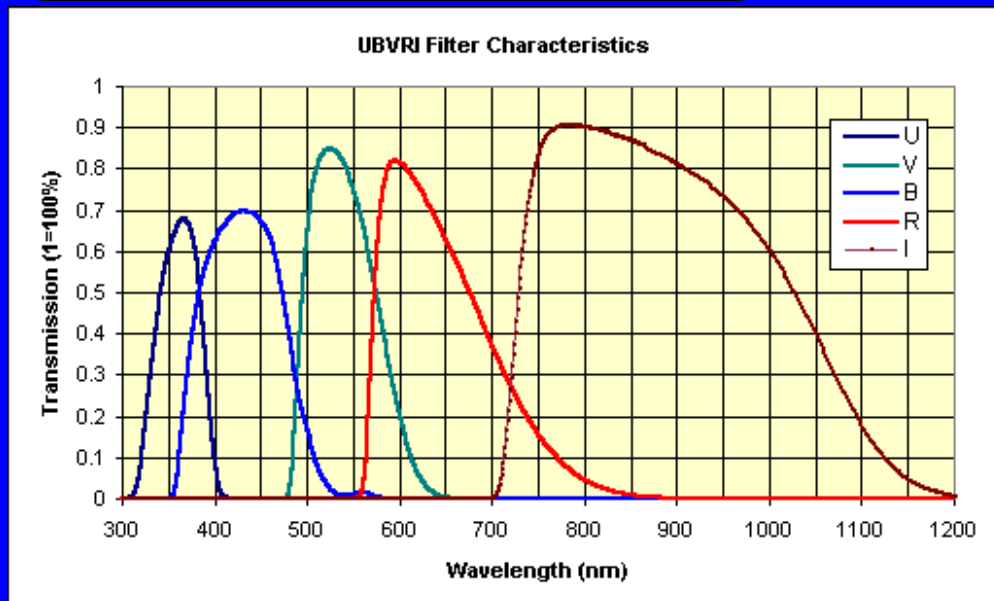
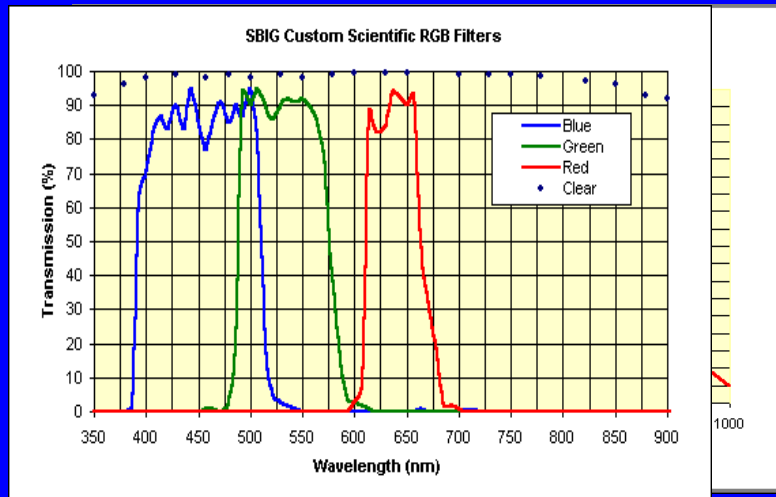
Règle pour le rayon des cercles photométriques

- $R1 = 1.5$ à 2 FWHM pour bonne précision
- Pour améliorer le SNR on peut descendre à 0.4
- Surface de l'anneau devrait être supérieure au cercle central
- L'anneau ne doit pas inclure d'étoiles.
- Sauf si le logiciel est capable de ne pas les prendre en compte.



Filtres

- Réponse spectrale des caméras



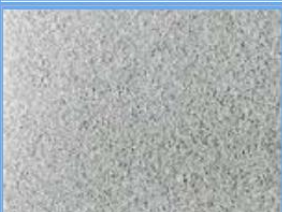

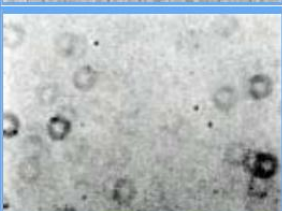



Filtres

- Un filtre réduit le nombre de photons
 - atténuation dans la bande 10 à 15%
 - tous les photons hors bande sont stoppés
- Magnitude limite est donc réduite
- Selon le programme on utilise ou pas de filtre

Traitement des images

- Darks / Bias
 - mesure du bruit thermique / Hot pixels
 - température même que pour images
 - durée même que pour images (si pas de bias)
 - au moins une dizaine
- Flats
 - donuts
 - vignetage
 - pour chaque filtre
 - à refaire si démontage de filtre / caméra

	Frame	Data	Measured magnitude of RX Andromedae
Bias			10.0 +/- .4 Vmag
Dark			10.2 +/- .1 Vmag
Flat			10.25 +/- .05 Vmag

Logiciels

- MaximDL (<http://www.cyanogen.com/>)
- AIP4Win (<http://www.willbell.com/aip/index.htm>)
- Mira (http://www.mirametrics.com/mira_ap.htm)
- MPO Canopus
(<http://www.minorplanetobserver.com/MPOSoftware/MPOCanopus.htm>)
- Iris
- Prism (<http://www.prism-astro.com/fr/>)
Contrôlent la caméra et fonctions de traitement d'images et de photométrie
- LesvePhotometry (www.dppobservatory.net)

Etoiles de comparaison

- Il est préférable de choisir des étoiles de comparaison qui ont la même couleur.
- Couleur (B-V) càd $\text{Mag}_B - \text{Mag}_V$
- Les catalogues sont imprécis et non cohérents
<http://webviz.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>
- AAVSO a fait et fait des efforts pour créer des tables de photométrie correctes.
- AAVSO Variable Star Plotter :
cartes selon vos paramètres, orientation, champ stellaire couvert, etc...
<http://www.aavso.org/observing/charts/vsp/>
- Utilisez le VSP du AAVSO lorsqu'elles sont disponibles.
- On peut demander de calibrer un champ.

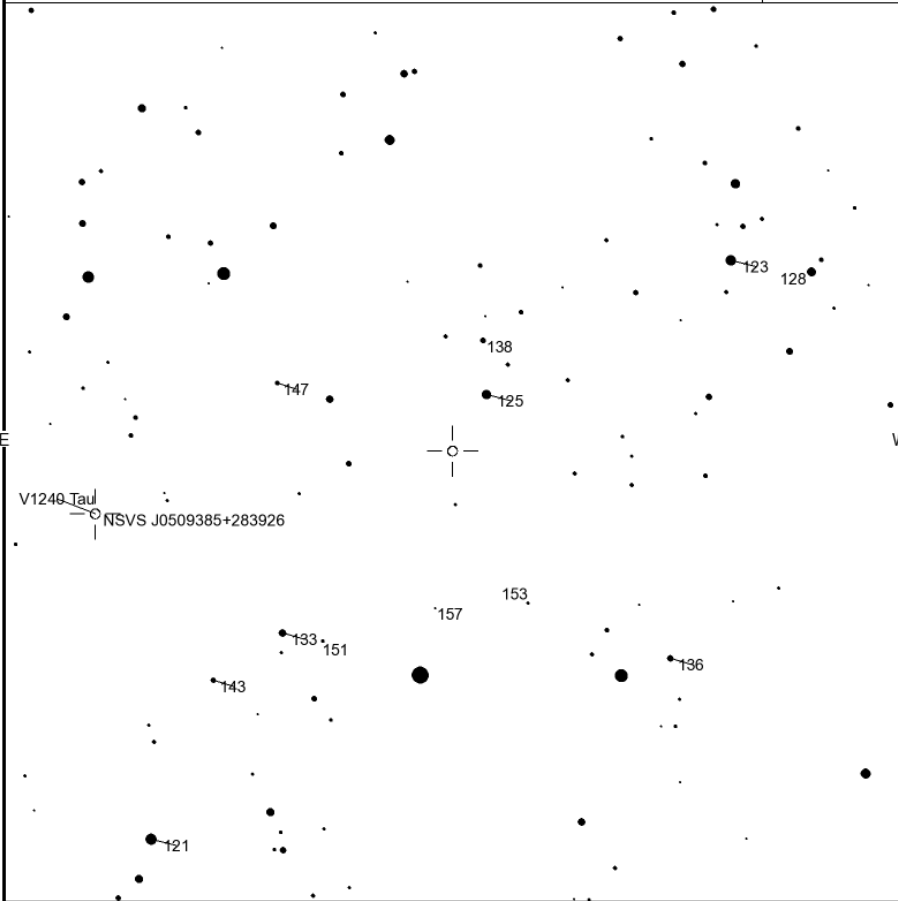
Etoiles de comparaison

NU Aur

Magn: 13.2 - 14.9 p
 Period: 0.53941672
 Type: RRAB
 Spec:

NU Aur
 (2000) 05:09:2.27 +28:40:52.7

AAVSO
 Chart
 1932bo



FOV = 20.0'

Please use the photometry table for CCD observations.

Field Photometry For NU Aur From the AAVSO Variable Star Database

Data includes all comparison stars within 0.166666666666667° of RA: 5:09:02.27 (77.25946) & Decl.: 28:40:52.72 (28.68131).

AUID	RA.	Dec.	Label	U	B	V	Re
000-BJS-301	5:09:32.79 [77.38663d]	28:32:13.7 [28.53714d]	121	-	12.956 (0.027) ¹⁸	12.068 (0.018) ¹⁸	11.550 (0.023) ¹⁸
000-BJS-302	5:08:34.00 [77.14167d]	28:45:07.6 [28.75211d]	123	-	13.322 (0.025) ¹⁸	12.326 (0.016) ¹⁸	11.745 (0.021) ¹⁸
000-BJS-303	5:08:58.82 [77.24509d]	28:42:08 [28.70222d]	125	-	13.321 (0.029) ¹⁸	12.526 (0.015) ¹⁸	12.040 (0.019) ¹⁸
000-BJS-304	5:08:25.81 [77.10754d]	28:44:51.1 [28.74753d]	128	-	13.643 (0.023) ¹⁸	12.752 (0.014) ¹⁸	12.213 (0.019) ¹⁸
000-BJS-305	5:09:19.52 [77.33134d]	28:36:49.6 [28.61378d]	133	-	14.120 (0.026) ¹⁸	13.279 (0.015) ¹⁸	12.786 (0.020) ¹⁸
000-BJS-306	5:08:40.17 [77.16737d]	28:36:15.9 [28.60442d]	136	-	14.503 (0.030) ¹⁸	13.647 (0.018) ¹⁸	13.125 (0.023) ¹⁸
000-BJS-307	5:08:59.17 [77.24654d]	28:43:20.3 [28.72231d]	138	-	14.457 (0.028) ¹⁸	13.767 (0.018) ¹⁸	13.365 (0.023) ¹⁸
000-BJS-308	5:09:26.51 [77.36046d]	28:35:46.5 [28.59625d]	143	-	15.308 (0.034) ¹⁸	14.273 (0.020) ¹⁸	13.675 (0.025) ¹⁸
000-BJS-309	5:09:20.03 [77.33346d]	28:42:23.5 [28.70653d]	147	-	15.665 (0.051) ¹⁸	14.731 (0.018) ¹⁸	14.169 (0.023) ¹⁸
000-BJS-310	5:09:15.42 [77.31425d]	28:36:39 [28.61083d]	151	-	16.106 (0.045) ¹⁸	15.085 (0.021) ¹⁸	14.474 (0.031) ¹⁸
000-BJS-311	5:08:54.63 [77.22762d]	28:37:29.8 [28.62494d]	153	-	16.227 (0.049) ¹⁸	15.349 (0.022) ¹⁸	14.828 (0.033) ¹⁸
000-BJS-312	5:09:04.01 [77.26671d]	28:37:23 [28.62306d]	157	-	16.726 (0.074) ¹⁸	15.728 (0.031) ¹⁸	15.122 (0.043) ¹⁸
000-BJS-313	5:09:05.80 [77.27417d]	28:40:20.8 [28.67245d]	161	-	16.909 (0.067) ¹⁸	16.068 (0.039) ¹⁸	15.572 (0.057) ¹⁸
000-BJS-314	5:09:17.79 [77.32413d]	28:37:49.7 [28.63047d]	163	-	17.393 (0.092) ¹⁸	16.333 (0.039) ¹⁸	15.671 (0.105) ¹⁸
000-BJS-315	5:09:22.45 [77.34354d]	28:37:39.9 [28.62775d]	166	-	17.665 (0.133) ¹⁸	16.620 (0.055) ¹⁸	15.996 (0.093) ¹⁸
000-BJS-316	5:09:15.53 [77.31470d]	28:41:21.9 [28.68942d]	169	-	17.990 (0.196) ¹⁸	16.919 (0.069) ¹⁸	16.267 (0.101) ¹⁸

Report this sequence as: **1932bq** in the *chart* field of your observation report.

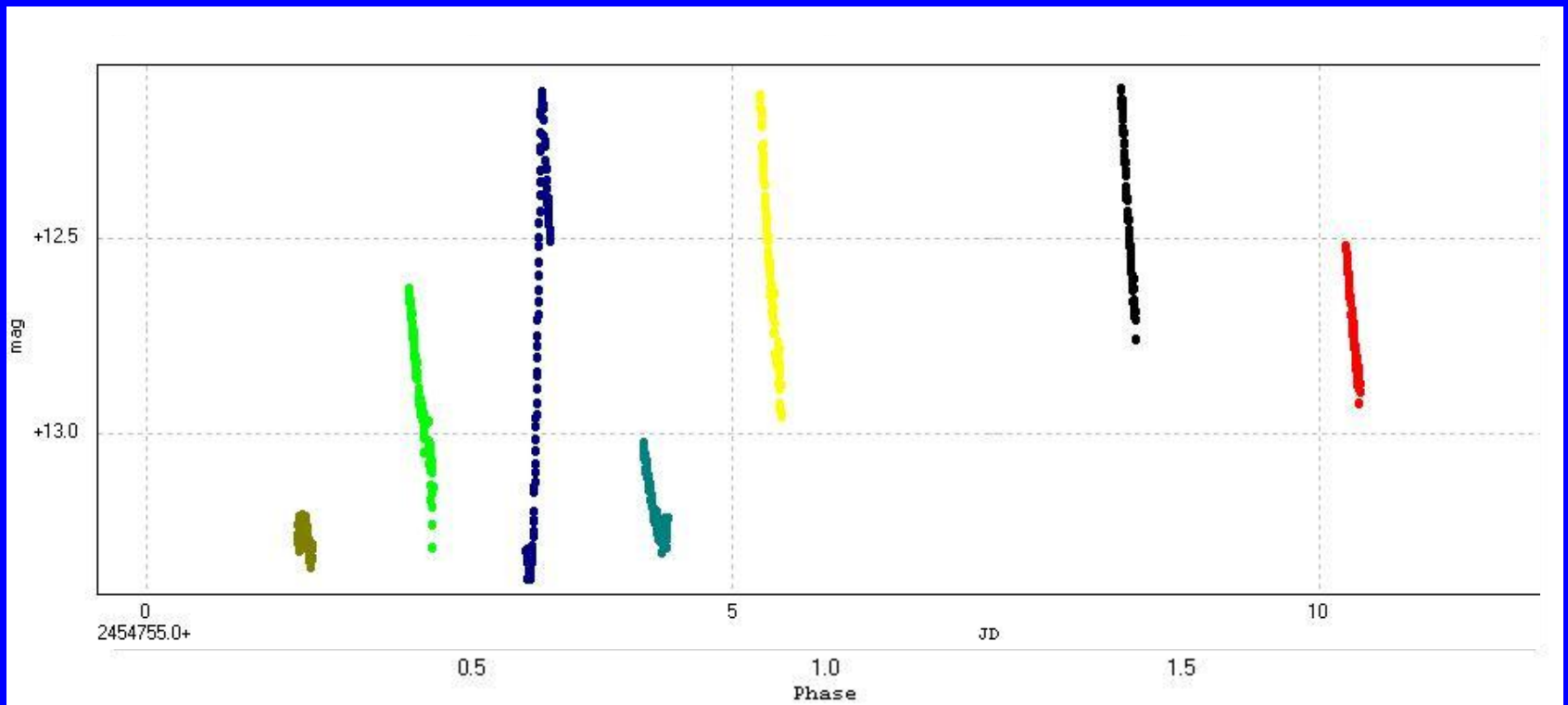
JD : Jours Juliens

- JD = Julian Day = Jour Julien 2 456 059 = 2012/05/11
- Numérotation des jours depuis
le lundi 1er Janvier 4713 BC à 12h UT
- Pas de Jours Juliens locaux – tjs Greenwich
- Echappe aux caprices du calendrier (y.c. réforme du Pape Grégoire en Octobre 1582)
- Change à 12h UT
- Internet fournit des calculateurs
<http://aa.usno.navy.mil/data/docs/JulianDate.php>
- Calcul en double précision (64bits, equiv 15 décimales)
→ 1msec de précision

Un exemple de campagne

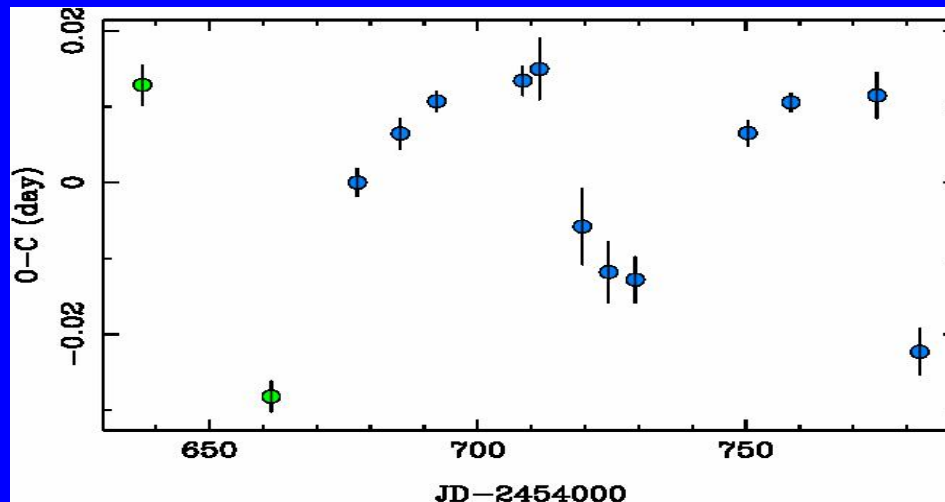
59 nuits d'observations

- CX Lyr (type RR Lyr ab) avec effet Blazhko
HJD = 2454677.5688 + 0.616703 E



Un exemple de campagne

- CX Lyr (type RR Lyr ab) avec effet Blazhko
(O - C) = (Observé – Calculé) des maximas
HJD = 2454677.5688 + 0.616703 E
Période Blazhko d'environ 62 jours



Résultat de la campagne de 59 nuits

- détermination de la période de Blazhko
- un article publié

Littérature

- An Introduction to Astronomical Photometry Using CCDs
by W. Romanishin University of Oklahoma
Livre de 175 pages reprenant un cours universitaire de niveau accessible sans trop de mathématiques, agréable à lire. Disponible gratuitement sur Internet.
<http://observatory.ou.edu/wrccd22oct06.pdf>
- The AAVSO CCD Observing Manual
http://www.aavso.org/observing/programs/ccd/manual/CCD_Manual_2010.pdf
- A Practical Guide to Lightcurve Photometry and Analysis
by Brian D. Warner - Springer 2006 Disponible chez Amazon.com
Traite le problème complexe de la photométrie d'astéroïdes.
- Signal to noise considerations for sky-subtracted CCD data
Michael Newberry <http://adsabs.harvard.edu/abs/1991PASP..103..122N>
Article scientifique et plus difficile à aborder. A mon point de vue une référence.
- Astronomical Photometry: Text and Handbook for Advanced Amateur and Professional Astronomer
by Arne Henden and K. Kaitchuck - William-Bell
La bible!! Nouvelle édition en 2012?

THE END