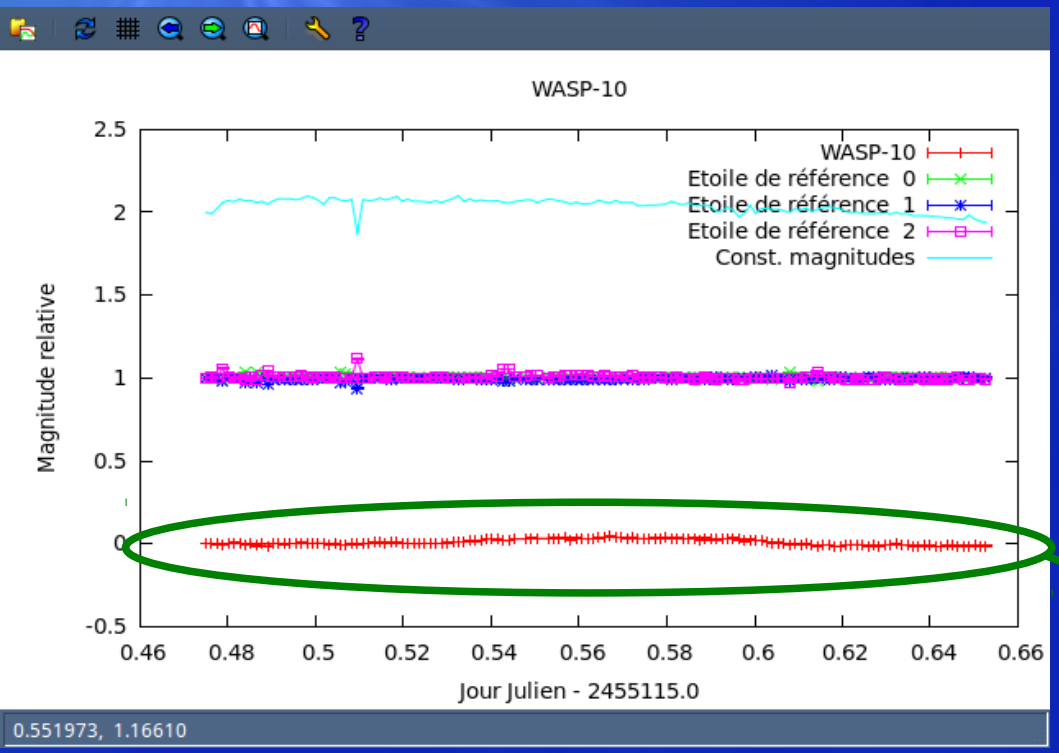
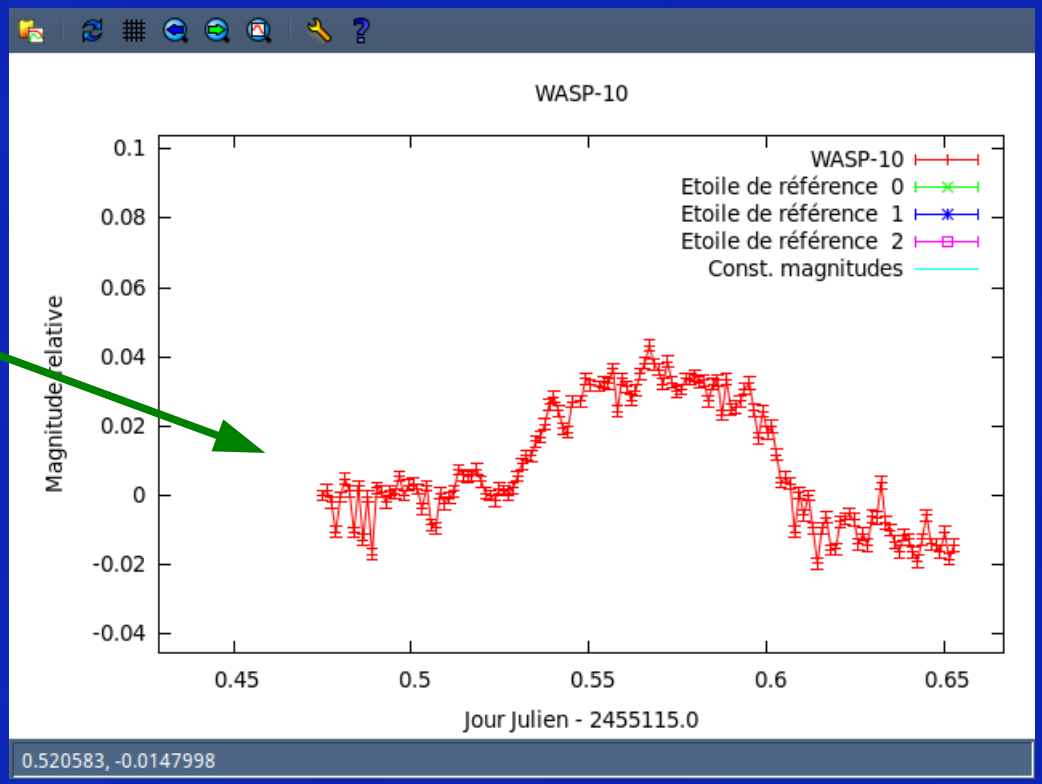
Photométrie avec Calaphot





Jacques Michelet

La Villette 2010-11-13

Photométrie avec Calaphot

- Photométrie
  - Buts
  - Méthodes
- L'outil Calaphot
- Conseils généraux
- Questions / Réponses

La photométrie : pour quoi faire ?

- Astéroïdes :
  - Périodes de rotation d'astéroïdes.
  - Détection d'astéroïdes binaires.
  - Mesures de forme.
- Etoiles variables :
  - Classification.
  - Astéro-sismologie.
- Exo-planètes :
  - Recherche.
  - Mesures (taille, paramètres de l'orbite).

Les méthodes principales

- Photométrie ”absolue”.
  - Méthode complète et complexe.
  - Nécessite un ciel ”photométrique”.
  - Implique le calcul des coefficients d'extinction et le rattachement à un système BVRI normalisé.
- Photométrie différentielle.
  - Nécessite un bon catalogue photométrique.
- Photométrie par soustraction temporelle.
  - Complexe à implémenter.

Principe de base de la photométrie différentielle

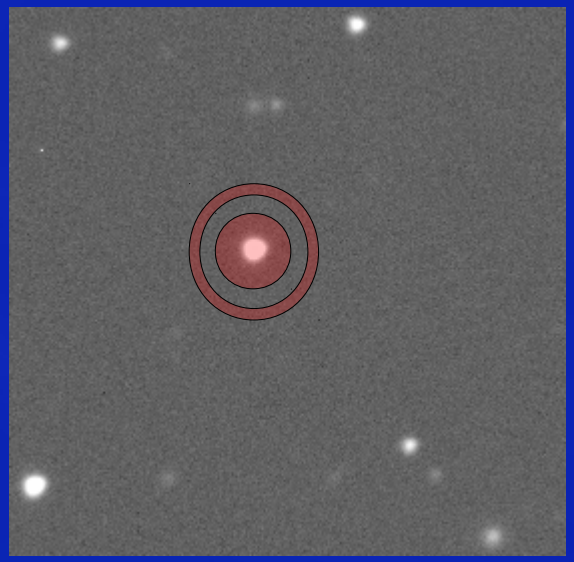
- On compare le flux de l'astre étudié à celui d'une étoile de référence (non variable)
- Formule de Pogson

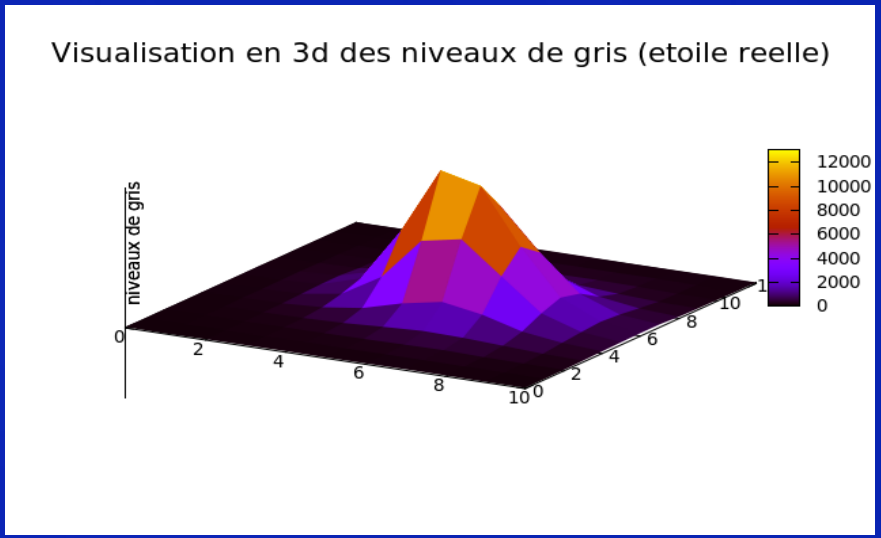
$$M_{astre} = M_{ref} - 2{,}5 . \log\left(\frac{F_{astre}}{F_{ref}}\right)$$

- Utilisation d'une super-étoile de référence : une étoile virtuelle dont le flux est la somme des flux des étoiles de référence.

La mesure du flux par ouverture

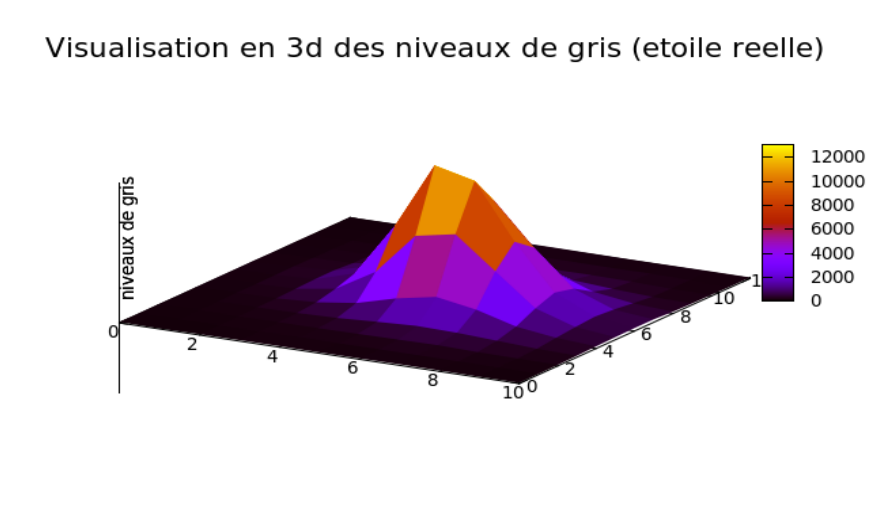
- On considère une ouverture (disque) autour de l'astre à mesurer, et un anneau centré sur cet astre
- On mesure le flux dans l'ouverture, et le niveau du fond de ciel dans l'anneau.
- Flux = somme de tous les niveaux de gris dans l'ouverture.
- Flux = volume sous la surface.

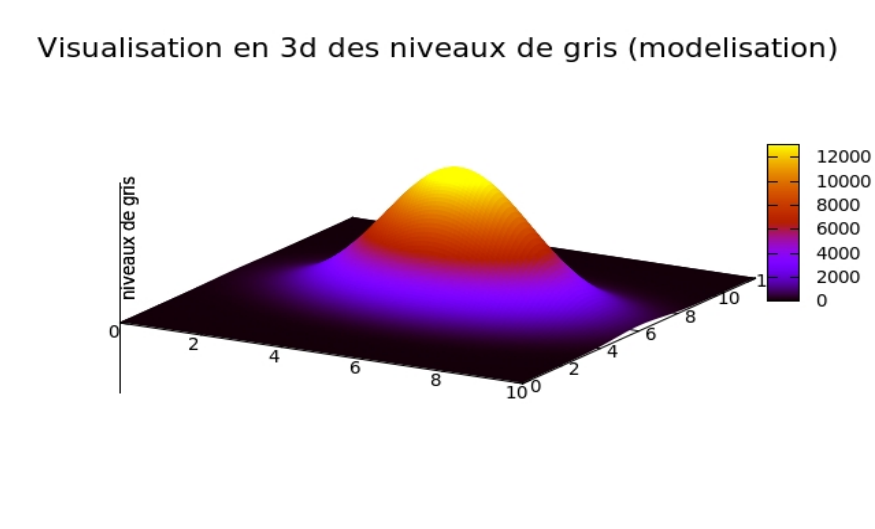




La mesure du flux par modélisation

- Tous les astres de l'image sont modélisés par une surface simple.
- Le flux est représenté par le volume sous cette surface.
- Dans les conditions d'observation des amateurs, la gaussienne est la surface la plus appropriée.





Audela

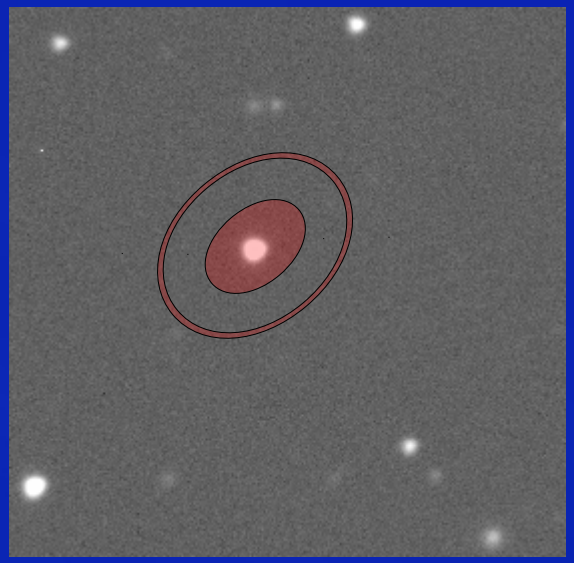
- Logiciel d'acquisition et de traitement d'image
  - Caméras QSI, Starlight, SBIG, Audine (et dérivés) ,...
  - Montures LX200 (et dérivés), Ouranos, Temma, ...
- Développé en mode collaboratif par un noyau d'amateurs et de professionnels.
- Logiciel libre (code source disponible sous license GNU).
- Aisément modifiable pour ses propres besoins (scripts TCL).

Calaphot : un des outils de Audela

- Outil d'analyse de **photométrie différentielle** uniquement :
  - Mesures par ouverture ou modélisation.
  - Sortie des résultats numériques au format Canopus ou CdR (compatible avec courbrot, logiciel d'analyse de Raoul Behrend)
  - Sortie graphique au format Gnuplot.
- Intégré à l'interface graphique de Audela
- Documentation utilisateur et technique (détails des calculs).

Les modes principaux

- Au choix :
  - Ouverture elliptique
    - S'adapte automatiquement aux largeurs à mi-hauteur (FWHM).
    - Les axes de l'ellipse ne sont pas nécessairement alignés sur ceux de l'image.
  - Modélisation par une surface gaussienne quelconque.
  - Utilisation de **Sextractor** (logiciel d'extraction d'étoile de E. Bertin)



L'algorithme (très !) simplifié

- Saisie des paramètres.
- Pour toutes les images :
  - Calcul du décalage par rapport à la 1ère pour identifier les astres.
  - Pour chacun des astres :
    - Mesure du flux.
    - Elimination de l'image si le rapport S/B est trop faible.
    - Calcul de la magnitude.
- Elimination automatique des mesures trop aberrantes.
- Affichage des résultats.

Les images

- Prétraitées (thermique et PLU)
- Pas nécessairement recalées, mais doivent toutes contenir les étoiles de référence et l'objet étudié !
- Si possible, sans artefact (avions, satellites, reflets, bordures de champs...) qui nuisent au recalage des images

Sélection des références (1/2)

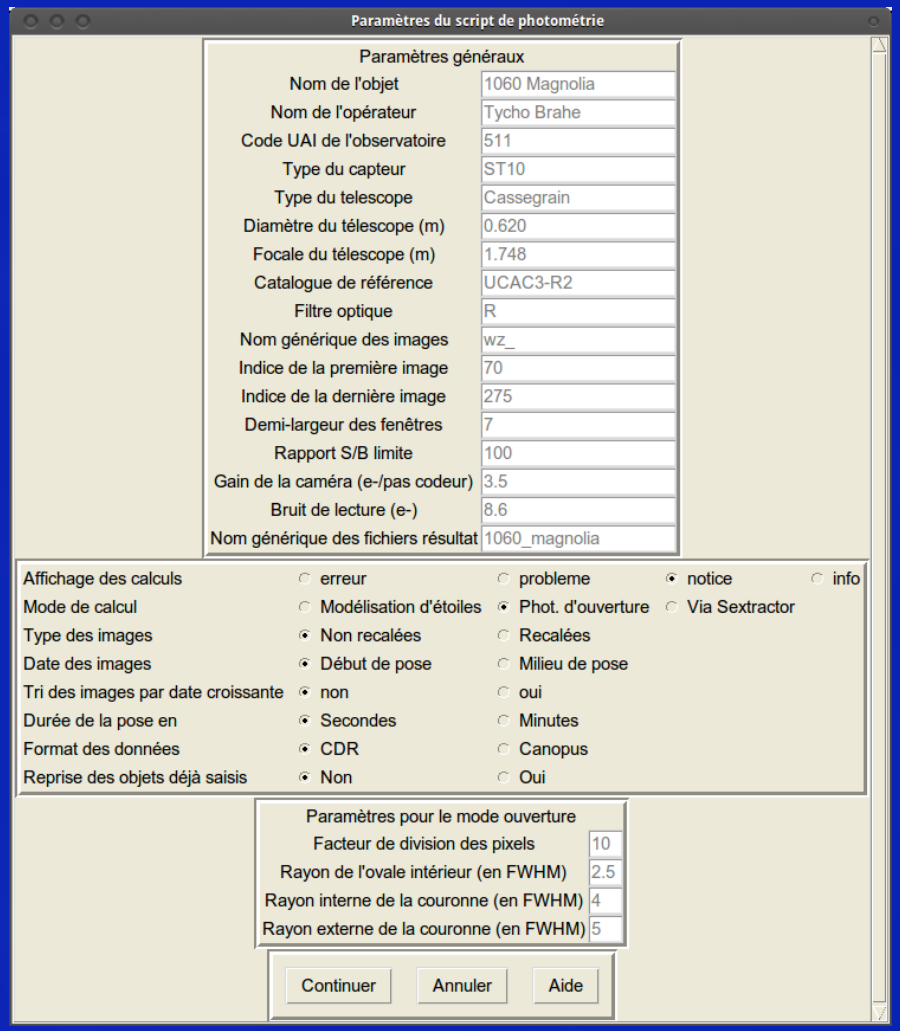
Sélection des références (2/2)

- Plusieurs étoiles (typ. de 3 à 5) : permet de détecter rapidement une fausse référence.
- Les choisir avec des indices de couleurs les plus proches possibles et voisin de celui de l'astre étudié.
- Prendre les plus brillantes (pour augmenter le rapport S/B). Attention à ce qu'elles soient encore dans la zone linéaire du capteur.

$$Err_M = \frac{1.09}{\frac{S}{B}}$$

Saisie des paramètres (1/2)

- Les noms, focale et taille ne sont qu'informatifs.
- La demi-largeur des fenêtres (en pixels) sert à la recherche des astres sur les images.
- Le rapport S/B limite permet d'éliminer les mauvaises images.
- Le gain et le bruit de lecture de la caméra servent à calculer les incertitudes.



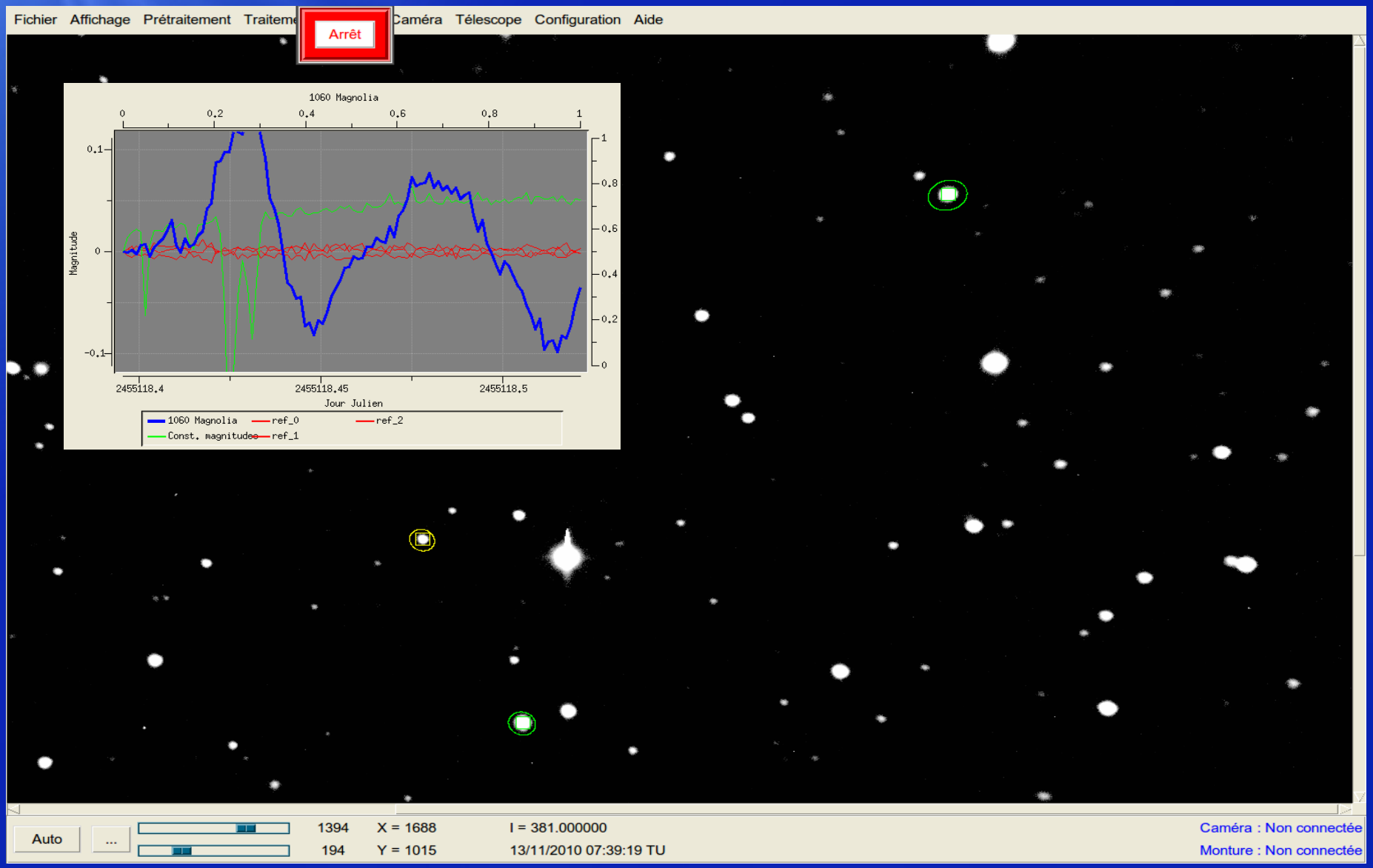
Saisie des paramètres (2/2)

- Mode ouverture :
  - Facteur de division des pixels : sur-échantillonage pour améliorer la précision
  - Choix du fwhm : ni trop petit (peu de flux), ni trop grand (on intègre du bruit)
- Mode Sextractor :
  - Valeur maximale des pixels (au-delà de laquelle il y a saturation).

Étoiles de référence

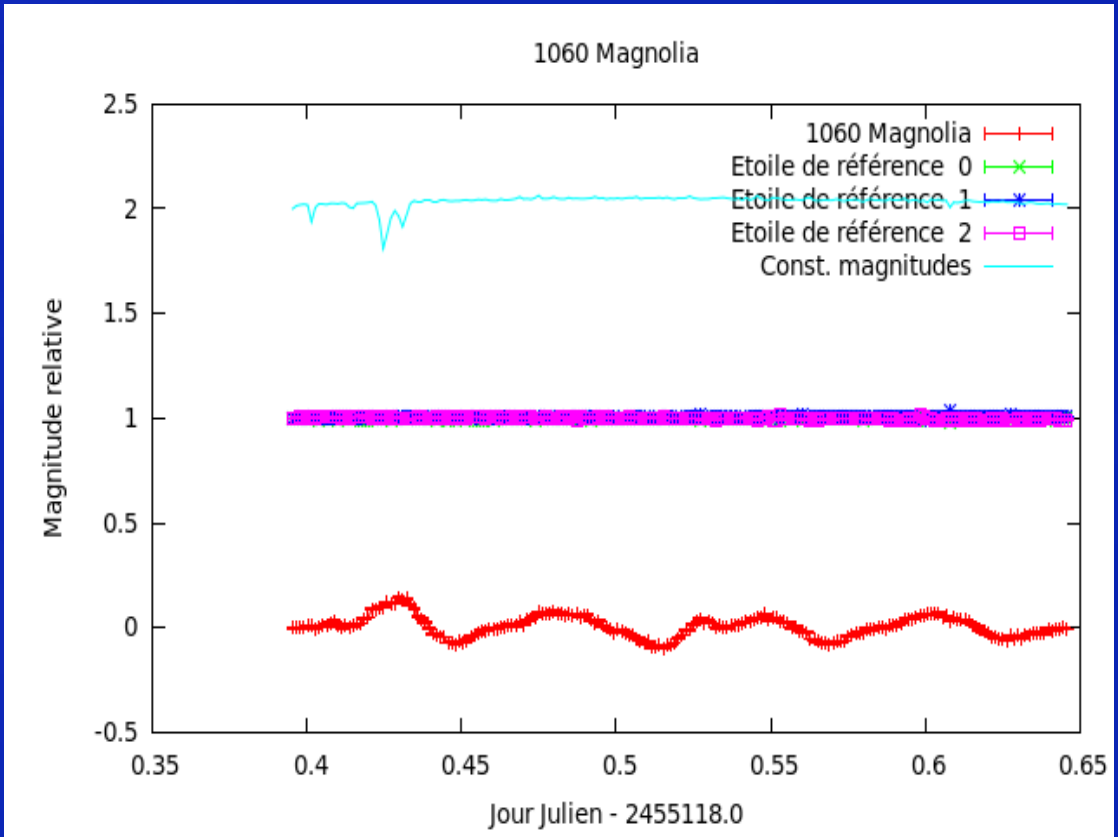
- Pour toutes les étoiles de reférence
  - On entoure cette étoile.
  - On indique sa magnitude tirée d'un catalogue <u>photométrique</u>

Phase de calcul



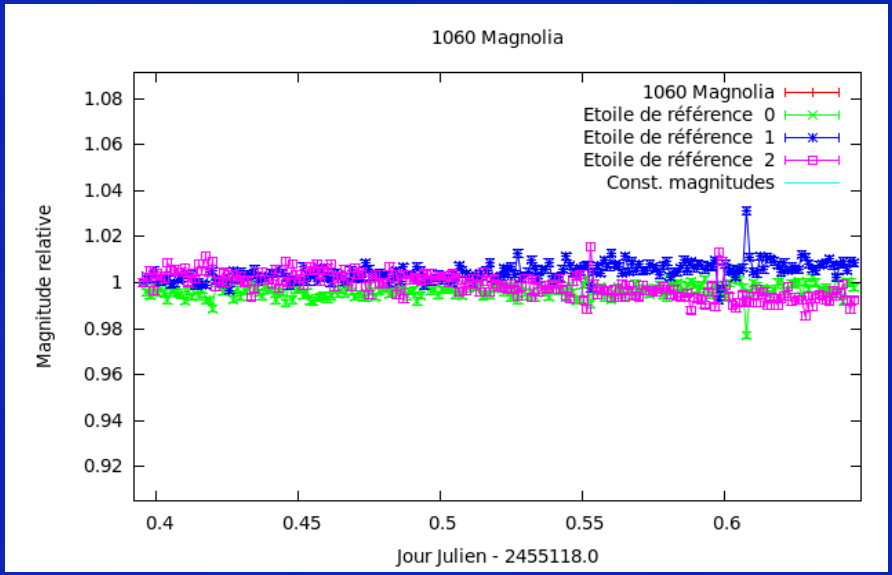
Résultat : courbe de lumière

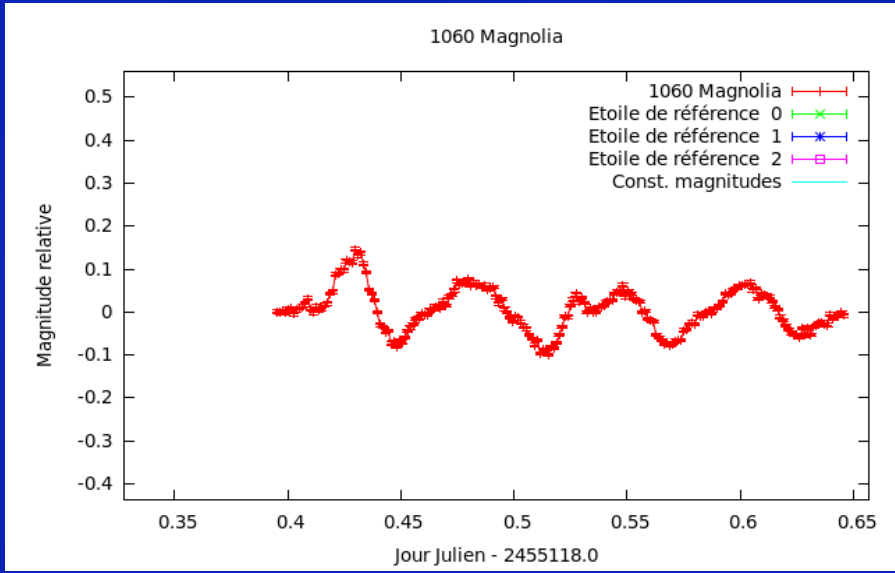
- 3 courbes en valeurs relatives
  - La constante des magnitudes
  - Les références
  - Astre observé



Zoom sur les courbes

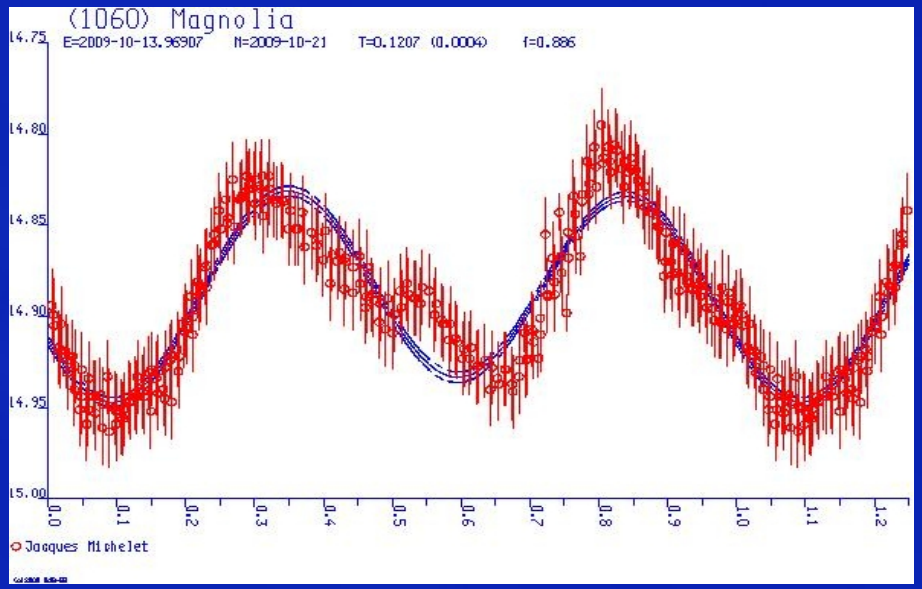
- Il faut analyser, voire critiquer sa mesure
  - Les références en sont-elles vraiment?
  - La mesure est-elle cohérente ?

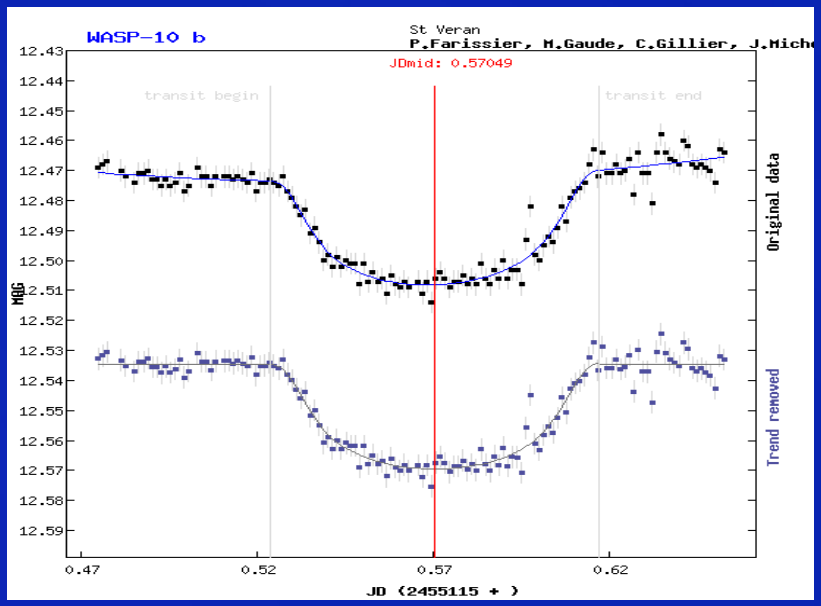




Que faire de ces données

- Site CdR/CdL (astéroïdes, variables)
- Site ETD (Exoplanet Transit Database)





Conseils pour l'acquisition (1/2)

- Eviter les champs de hauteur trop faibles (< 30°) pour éviter les trop grandes masses d'air (bleu plus absorbé que le rouge).
- Utiliser un capteur linéaire ”avec éblouissement”. Si on a un capteur anti-éblouissement, faire une mesure de la plage de linéarité.

Conseils pour l'acquisition (1/2)

- Temps de pose > 60s (scintillation).
- Faut-il défocaliser ?
  - Oui si sous-échantillonné.
  - Oui si saturation.
  - Non dans les autres cas.
- S'initier par des étoiles à grande variation (δ Scuti). Puis des astéroïdes, puis les exo-planètes.

Quelques liens

- La doc. complète de Calaphot
  - http://astrosurf.com/michelet/calaphot/html/modules.html
- Audela
  - http://www.audela.org/
- Le site des CdR/CdL
  - http://obswww.unige.ch/%7Ebehrend/page_cou.html
- Le site ETD
  - http://var2.astro.cz/ETD/

Questions / réponses

Merci de votre attention