

# Photométrie & effets atmosphériques

---

[raoul.behrend@unige.ch](mailto:raoul.behrend@unige.ch)

# Objectifs

---

- Comprendre les principaux effets atmosphériques sur la photométrie
- Adopter une méthodologie pour pouvoir en tenir compte. Existe-t-il une stratégie optimale ?
- Quelques conseils... sur la partie instrumentale

# Photométrie

---

- Méthode de mesure de l'éclat des objets célestes
- Se passe généralement au sol et dans des conditions variables
- Usage "hors atmosphère" pour faire de la science

# Ordres de grandeur

---

- Etoiles variables
  - 1 mag, 0,1 mag, 0,01 mag
- Astéroïdes
  - 0,05 mag, 0,01 mag
- Transits exoplanétaires
  - 0,01 à 0,001 mag

# Chaînage

---

- De hors atmosphère, les photons traversent
  - ▶ Atmosphère (gaz, aérosols, poussières)
  - ▶ Télescope (lentilles, miroirs, vignettage)
  - ▶ Filtres (poussières)
  - ▶ Caméra (hublot, poussière, givre, obturateur)
- avant d'être traduits en électrons
  - ▶ bruits et signaux thermiques, rémanance
  - ▶ rendement variable en position et longueur d'onde
- numérisés
  - ▶ électronique non-linéaire
  - ▶ gain et bruits sont souvent mal connus
- avant d'être mesurés
  - ▶ méthodes plus ou moins bien adaptées

# Principaux effets atmosphériques

---

- Absorption
- Diffusion
- Polarisation
- Réfraction
- Agitation
- Scintillation
  
- Dépendance plus ou moins forte
  - de la fréquence
  - de la quantité d'air traversé

# Magnitude

---

- Magnitude et grandeur: calée sur les échelles physiologiques - logarithmiques !
- $m = -2,5 \text{ Log } f/f_0$ 
  - $f_0$  initialement définie par Véga

# Effets atmosphériques

---

Extinction - monochromatique

- $m = -2,5 \text{ Log}(f/f_0)$
- Suppression d'une certaine *proportion* des photons et donc des électrons comptabilisés
- $m = -2,5 \text{ Log}(a f/f_0) = -2,5 \text{ Log}(f/f_0) + \alpha$



# Effets atmosphériques

---

## Extinction - bande

- $m = -2,5 \text{ Log}(f/f_0) + \alpha$
- Suppression d'une *proportion* différente des photons en fonction de leur fréquence. Il y a donc un effet de couleur.
- $m = -2,5 \text{ Log}(f/f_0) + \alpha + \beta c(f', f_0') + \dots$
- Au premier ordre correctif, après exposition :
  - ▶  $m = -2,5 \text{ Log } i + A + B c$
  - ▶ A et B varient durant la nuit
  - ▶ Effet de B c: plusieurs cmag !

# Calibration $m = -2,5 \text{ Log } i + A + B c$

---

- Catalogues:  $m$  et parfois B-R. Gaia: G-R
- Couleur:
  - ▶ Sans : déduire  $A$  des  $(m, i)$  connus
  - ▶ Avec : déduire  $A$  et  $B$  des  $(m, c, i)$  connus
  - ▶ Toujours rejeter les objets “anormaux”
- Solutions: nombreuses mais pas équivalentes ! Car incertitudes prises en compte ou pas.
  - ▶ Peu de logiciels font une solution complète
  - ▶ Catalogues: incluent des erreurs systématiques

# Pour les matheux...

---

et les développeurs de logiciels

- $(m_1 + 2,5 \text{ Log } i_1) = (1 \text{ } c_1)$
- $(m_2 + 2,5 \text{ Log } i_2) = (1 \text{ } c_2) \text{ (A)}$
- $(m_3 + 2,5 \text{ Log } i_3) = (1 \text{ } c_3) \text{ (B)}$
- $(m_4 + 2,5 \text{ Log } i_4) = (1 \text{ } c_4)$
  
- Solution de “ $y = M x$ ” :  $x = (M^t M)^{-1} M^t y$
- Possibilité aisée de mettre des incertitudes
- $m = -2,5 \text{ Log } i + A + B c$

# Méthode de travail pour CdR

---

## Acquisition

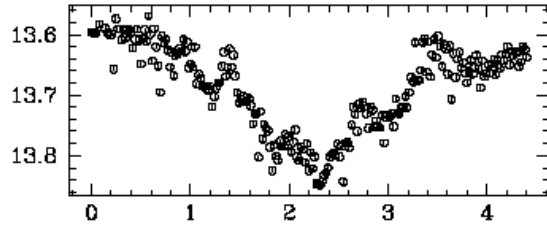
- Habituellement: tout faire en R ou en O, mais avec quelques images faites en V pour avoir une estimation de c
- Parfois, cycler (B) V R (I) - objets dissociés
- Les images en I sont souvent “frangées” et difficiles à réduire proprement
- Réduction
  - ▶ Connaître ses bruits et gain
  - ▶ Pas de recentrage à perte
  - ▶ Traitement “minimaliste” : redphot

# Traitement

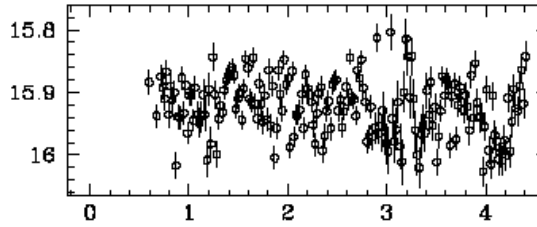
---

- Cibles et références pas toujours mesurable
  - Avions, satellites, “cosmiques”, colonnes mortes, dérive du suivi, saturation, etc.
- Les erreurs systématiques montrent leurs effets ! Par ex. :
  - bandes instrumentales différentes
  - Indice de couleurs pas cohérents
- Solution de choix : construction d'un catalogue local (m et c ou simplement m) à partir d'un petit jeu des meilleures observations

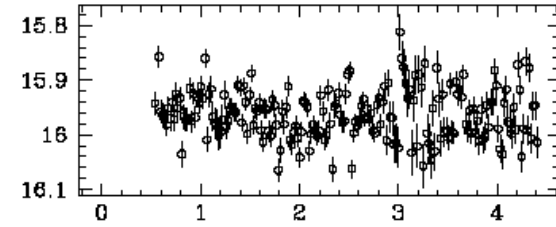
1 RAP 0001=(1139)\_ATAMI IC=1.0000



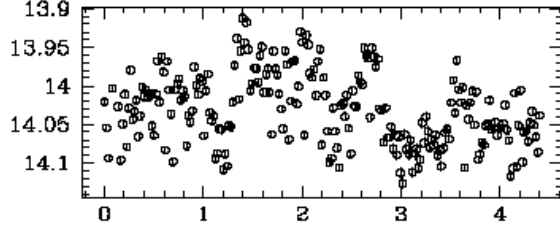
2 RPH 0416=A1600350467 IC=1.1000



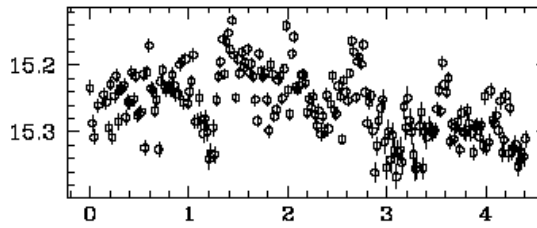
3 RPH 0417=A1600350494 IC=1.3000



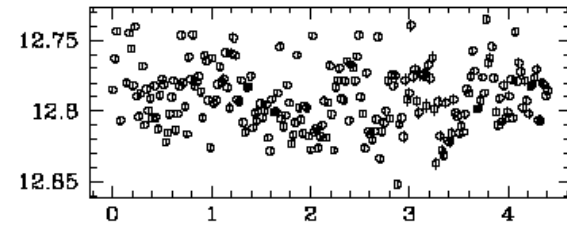
4 RPH 0418=A1600350617 IC=0.7000



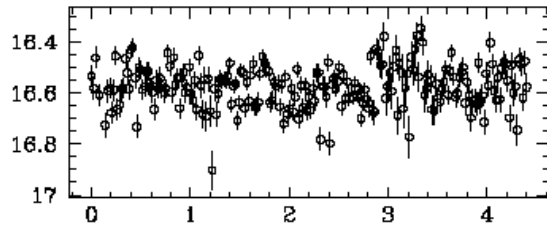
5 RPH 0419=A1600350721 IC=0.7000



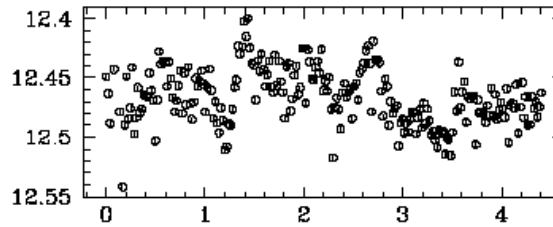
6 RPH 0420=A1600350788 IC=1.8000



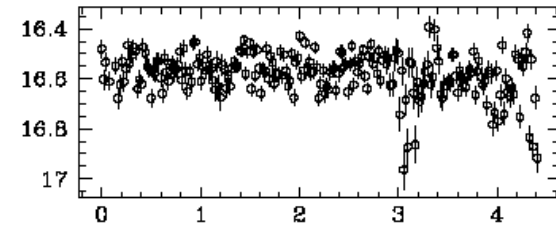
7 RPH 0421=A1600350861 IC=1.6000



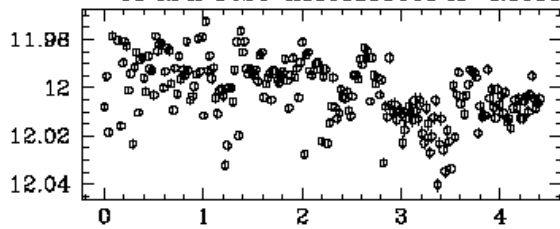
8 RPH 0422=A1600351049 IC=1.1000



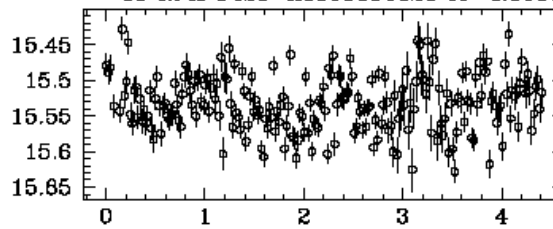
9 RPH 0423=A1600351230 IC=1.0000



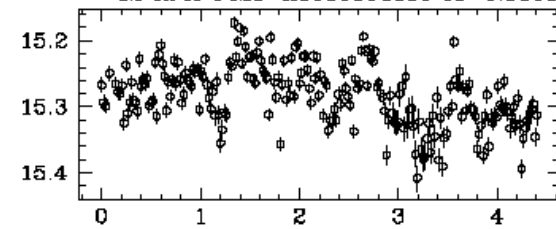
10 RPH 0424=A1600351444 IC=1.3000



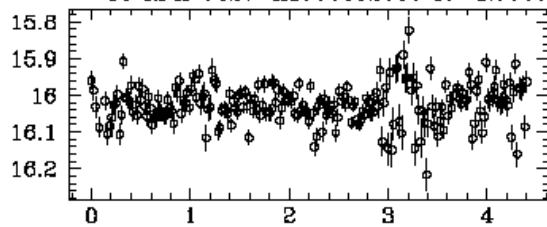
11 RPH 0425=A1600351623 IC=1.6000



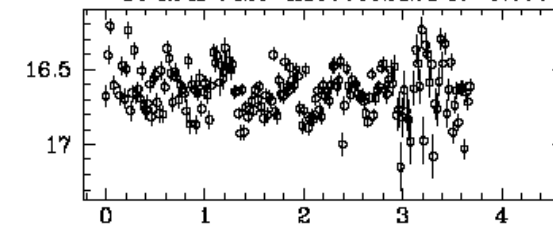
12 RPH 0426=A1600351659 IC=0.8000



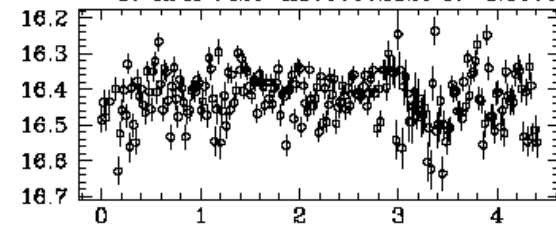
13 RPH 0427=A1600352056 IC=1.8000



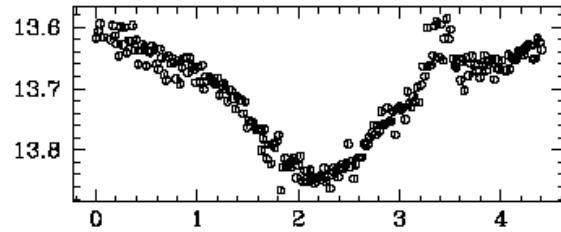
14 RPH 0428=A1600352124 IC=3.0000



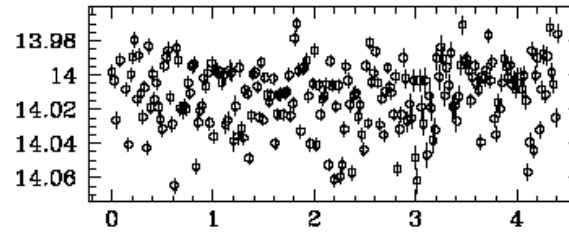
15 RPH 0429=A1600352125 IC=1.1000



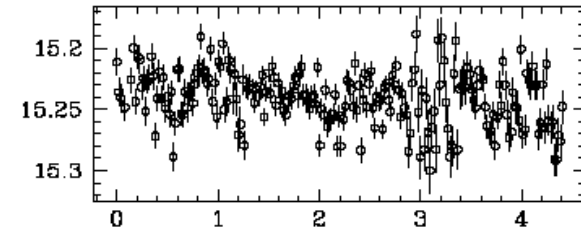
1 RAP 0001=(1199)\_ATAMI IC=1.0000



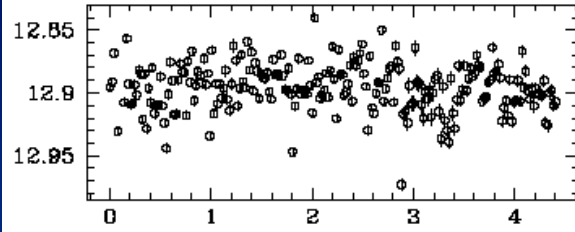
2 RPH 0403=A1600350617 IC=0.7000



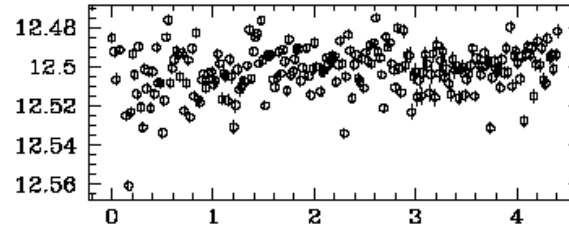
3 RPH 0404=A1600350721 IC=0.7000



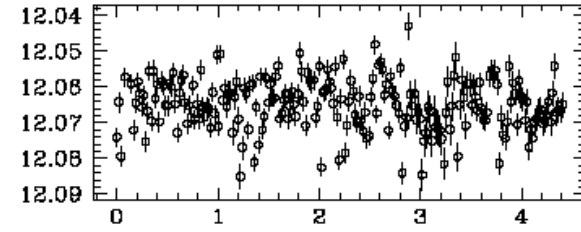
4 RPH 0405=A1600350788 IC=1.6000



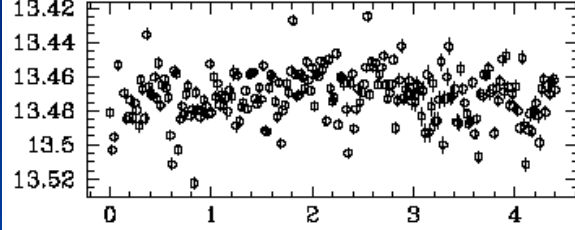
5 RPH 0406=A1600351049 IC=1.1000



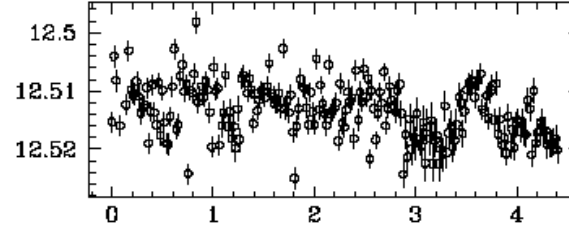
6 RPH 0407=A1600351444 IC=1.3000



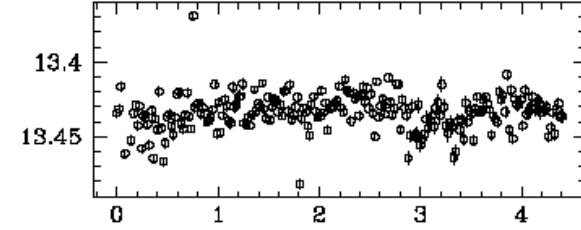
7 RPH 0410=A1600352904 IC=0.8000



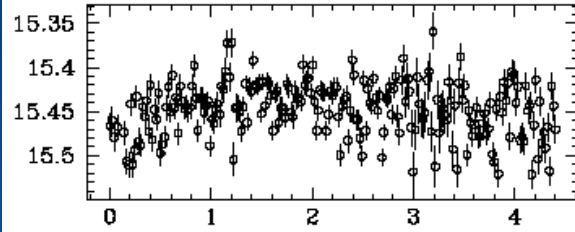
8 RPH 0413=A1600353429 IC=0.5000



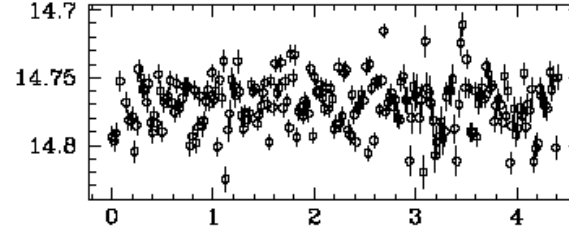
9 RPH 0414=A1600353452 IC=0.8000



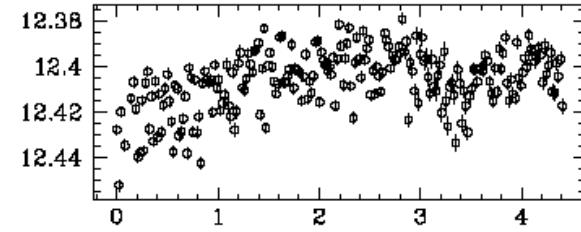
10 RPH 0415=A1600353790 IC=1.1000



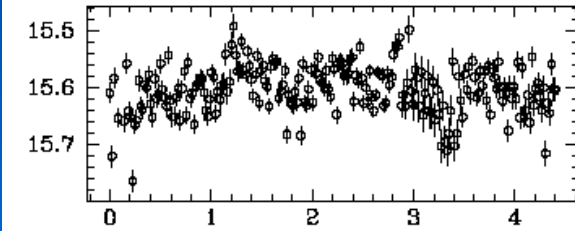
11 RPH 0417=A1600353924 IC=0.6000



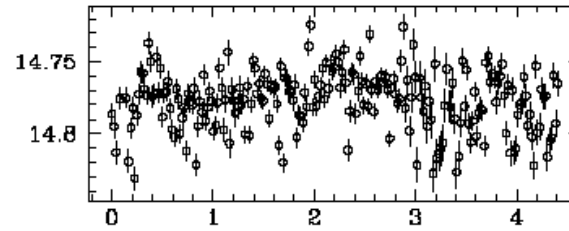
12 RPH 0418=A1600354711 IC=1.0000



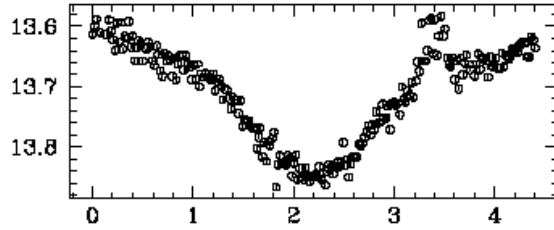
13 RPH 0419=A1600355482 IC=1.9000



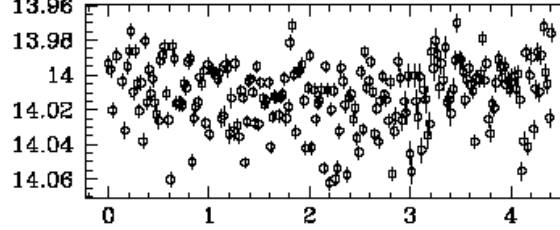
14 RPH 0421=A1600355586 IC=0.7000



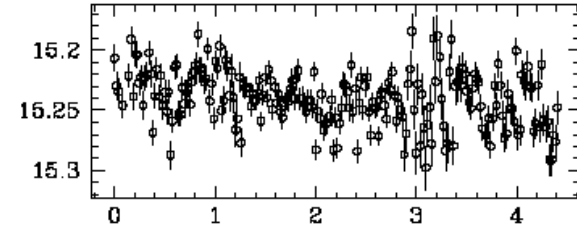
1 RAP 0001=(1139) ATAMI IC=1.0000



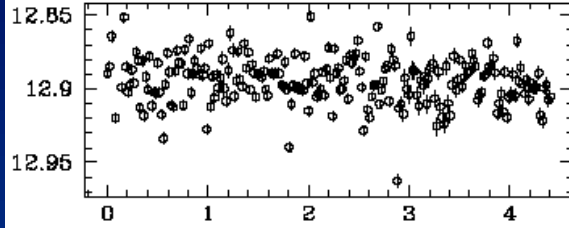
2 RPH 0403=A1600350617 IC=0.7000



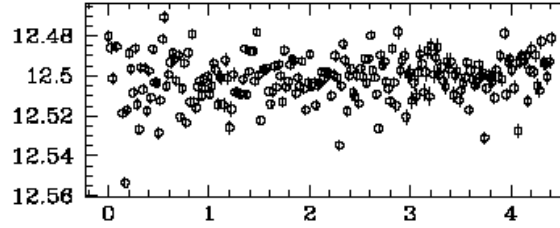
3 RPH 0404=A1600350721 IC=0.7000



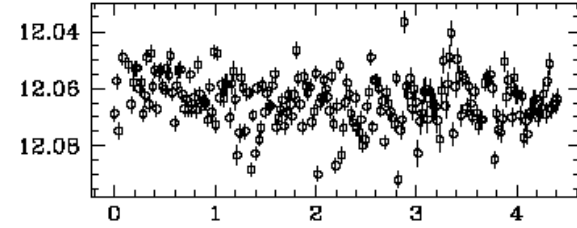
4 RPH 0405=A1600350788 IC=1.6000



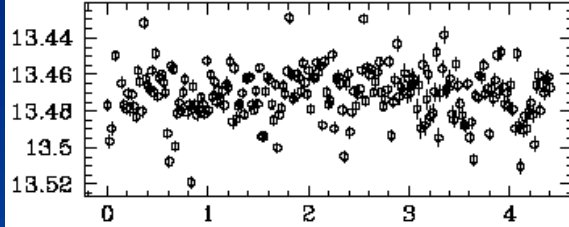
5 RPH 0406=A1600351049 IC=1.1000



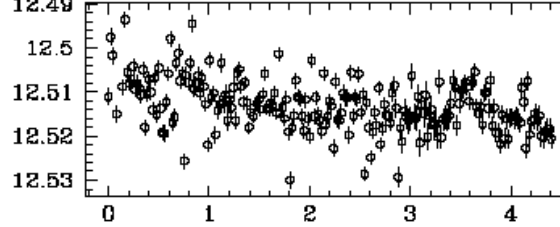
6 RPH 0407=A1600351444 IC=1.3000



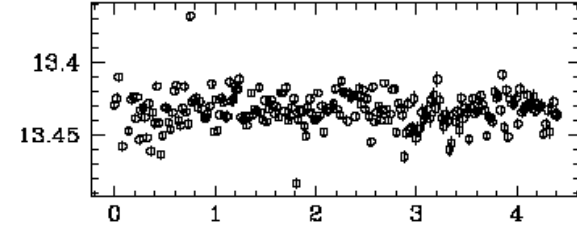
7 RPH 0410=A1600352904 IC=0.8000



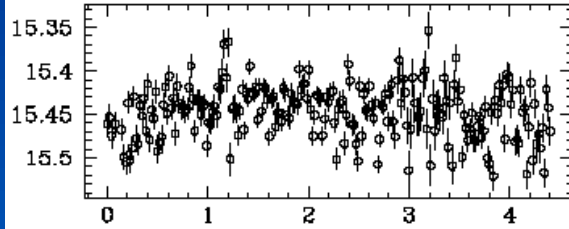
8 RPH 0413=A1600353429 IC=0.5000



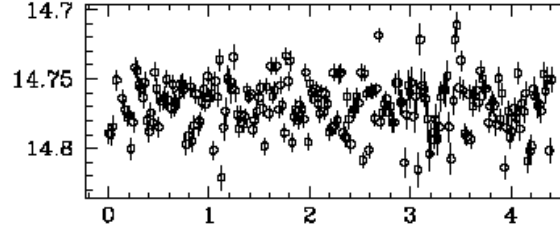
9 RPH 0414=A1600353452 IC=0.8000



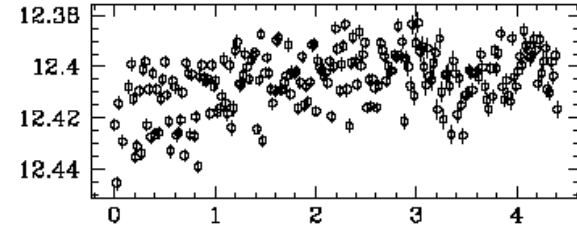
10 RPH 0415=A1600353790 IC=1.1000



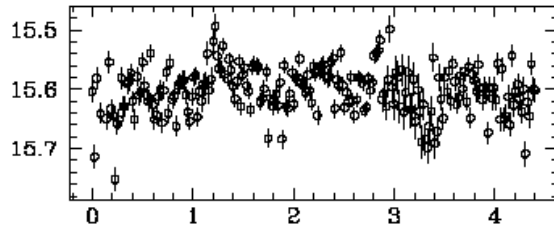
11 RPH 0417=A1600353924 IC=0.6000



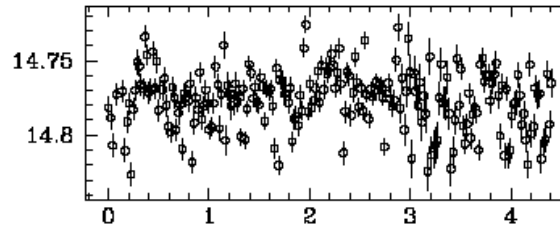
12 RPH 0418=A1600354711 IC=1.0000



13 RPH 0419=A1600355482 IC=1.9000



14 RPH 0421=A1600355586 IC=0.7000





# Scintillation

---

- Lié à l'agitation, la quantité d'air traversé, la stabilité de l'atmosphère
- "Typiquement" avec un 20cm: 0,01 mag en 60s

# Effet d'obturateur

---

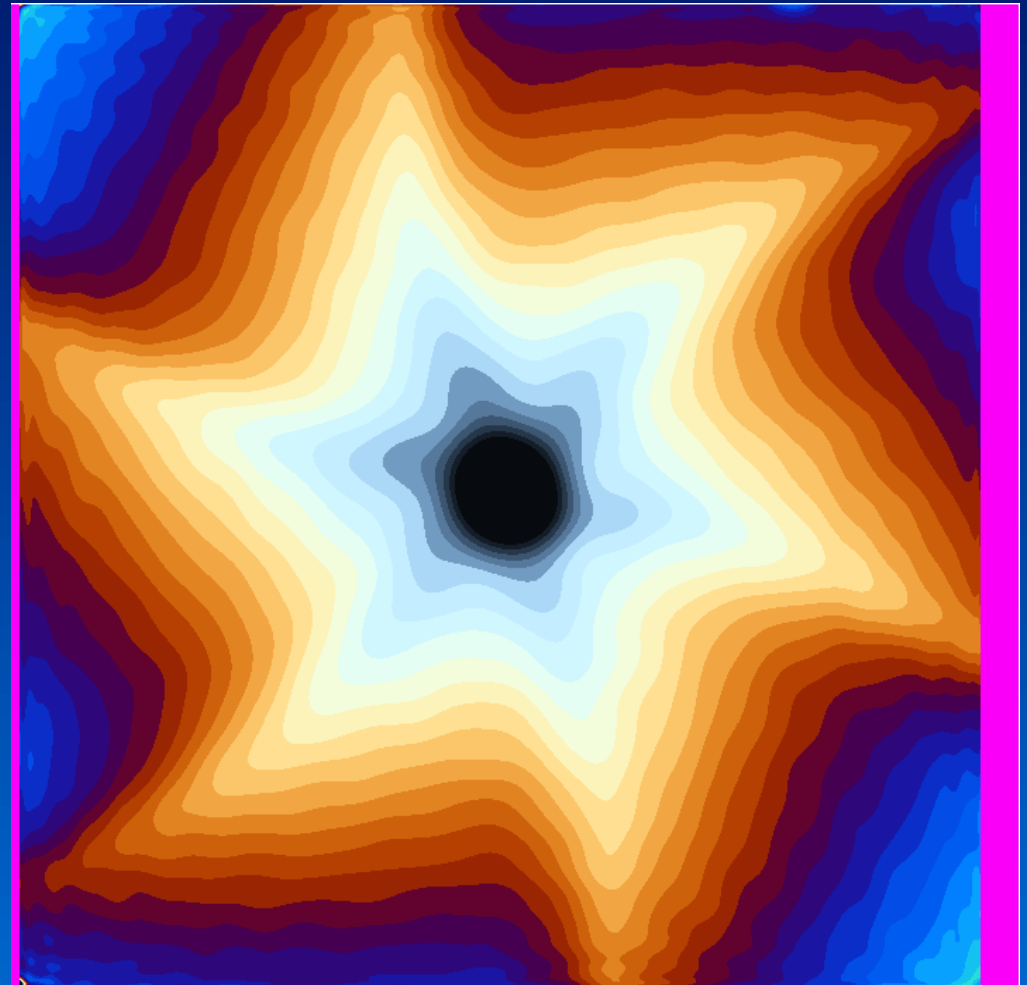
Principalement obturateur à iris

- Problème : le temps de pose effectif est variable sur l'image
- Problème si dérive de l'image ou si changement de temps de pose
- Technique : établir la carte du temps de travail de l'obturateur

# Obturbateur à iris

---

- $T_o = 0,05s$  au bord
- $T_o = 0,10s$  au centre
- Attention au puits central dû au recouvrement des lamelles: c'est là que l'obturbateur est le plus instable 📌



# Gain et bruit de lecture

---

Ici :  $[g] = e/NL$

- $n_e = g n_{NL}$

- $\sigma_e = g \sigma_{NL} = n_e^{1/2}$

- $g = n_{NL} / \sigma_{nl}^2$

- Procédé : traitement complet des zéros, noirs et plats (disons 11 de chaque)

- $g = n_{NL,plats} / (\sigma_{NL,plats}^2 - \sigma_{NL,noirs}^2)$

# A propos de la caméra

---

- Caméra 16 binons
- Gain de 0,3 e/NL
- Bruits de lecture de 10 e
- Bon ou pas ?

# A propos de la caméra

---

- Caméra 16 binons
- Gain de 0,3 e/NL
- Bruits de lecture de 10 e
- Bon ou pas ?
- $\log_2 65536 - \log_2(10/0,3) = 11$  binons

# Les petits plus

---

- Ne pas dépasser la moitié de la dynamique
- Largeur caractéristique: 3-4 pixels à mi-hauteur
- Régulation en température plutôt qu'en puissance
- Refroidir assez tôt (10 à 60 min)
- Prévoir les effets thermiques sur la focalisation

# Les petits plus

---

- Pécé à l'heure
- 1x1
- Entêtes bien remplies - et boîte noir papier
- Sauvegarder *toutes* les images individuelles
  - Dans le format d'acquisition
  - Faire attention aux retournement
- Zéros, noirs et plats si possible dans la foulée. 2x les plats si retournement



# Les petits plus

---

- Optimiser le séquençement
  - ▶ RRR...RVVVR...RRR
  - ▶ OOO...OVRVRVRO...OOO
  - ▶ Profiter du passage au méridien, du retournement
  - ▶ Couleurs sondables avec un autre instrument, un autre jour - sauf si mobile
- Se méfier de tout (y compris de réglages en cours de route)

# Les petits plus

---

- Choix d'un bloc cohérent pour déterminer les couleurs
- Où mettre la balances erreurs fortuites/systematiques ?
- Visualiser (courbe, indicateurs, dessin animé) cible et références
- Arbres, cimier/volets...

# Les petits plus

---

- Ajustement préférable à l'ouverture
  - ▶ si super-qualité
- Voir aussi la soustraction optimale d'images (SN, AG...) et mesures par ajustement contraint

# Redphot

---

# Marche à suivre

---

- Régler filtre et lampe pour atteindre 3/4 de la saturation en 10 secondes, coupole fermée
- Laisser se stabiliser la lampe (5 minutes)
  - ▶ Profiter de faire des zéros  $M_z$  et des noirs  $M_n$
- Faire une série de poses  
MCCLCLMLCLCCM avec  $t_l=10s$ ,  $t_m=3s$ ,  
 $t_c=1s$  pour  $T_o \approx 0,5s$
- Faire l'analyse
- Recommencer, si besoin, avec  $t_c \approx 3 T_o$   
moyen

# Les opérations...

Logiciels spécialisés

- A résoudre pour  $T_o$ :
  - ▶  $K_l = L - Z - N t_l = P S_l (t_l - T_o)$  et
  - ▶  $K_c = C - Z - N t_c = P S_c (t_c - T_o)$
- Si  $S$  **constant** ( $S_l = S_c$ ):  $T_o = (K_l t_c - K_c t_l) / (K_l - K_c)$
- $P$  vaut  $(M_p - Z - N t_p) / (t_p - T_o)$  après normalisation à 1
- Prétraitement des images à obturateur ouvert:  $S_x = (M_x - Z - N t_x) / P / (1 - T_o / t_x) / t_x$

# Les opérations...

---

Pour utiliser les logiciels communs...

- $P' = P (1 - T_o/t_x)$  s'utilise avec la méthode classique:  $M_x = Z + N t_x + o P' S_x t_x$
- Attention:  $P'$  n'est pas  $M_p$ , même à un facteur près
- L'«image»  $1 - T_o/t_x$  est le «plat d'obturateur». Il y en a une par temps de pose nominal  $t_x$
- Obturateur ouvert:  $S_x = (M_x - Z - N t_x) / P' / t_x$

# Remarques

---

- Plusieurs images avec temps d'intégration variable: résoudre par moindres carrés 😊😊😊
- Diminution du bruit résiduel:
  - ▶ par lissage local
  - ▶ par «projection» sur une base de fonctions (p.ex. polynômes de Legendre)
- $T_0$  devrait être indépendant du filtre et stable, mais peut dépendre de l'élévation et de l'orientation



# Remarques

---

- Mettre  $T_o$  à 0 dans les colonnes et lignes hors-cadre (pré- et sur-lecture)
- Toujours contrôler le prétraitement en l'appliquant aussi aux images  $M_p$ ,  $M_l$ ,  $M_c$ ,  $M_m$ ; et aussi à  $M_z$  et  $M_n$  (cas spéciaux)
- Plats-coupole:
  - ▶ déterminer simultanément  $T_o$  et  $P$  (donc aussi  $P'$ )
  - ▶ faciles, répétables, pratiques, rapides, précis, peu contraignants (météo, heure), permettent le traitement des couleurs (choix de l'éclairage)
  - ▶ **pourquoi** faire autrement, rarement et difficilement ?