

## **A): Précautions**

- manipuler avec « douceur » les matériels
- ne pas essayer de faire descendre la température du CCD en dessous de  
-30deg
- ne pas tenter de démonter la lampe : forts risques de brûlure
- de manière générale, si une manip vous paraît douteuse, mieux vaut  
demander aux encadrants

*Ce T.P. a été monté par H. Le Coroller et C. Adami*

# Caractérisation de CCD et Observation au T80

## Caractérisation de caméras SBIGs

### I - Bruit de Lecture

*I.1 Expliquer ce qu'est un bias (offset) pour un CCD*

*I.2 Expliquer ce qu'est le bruit de lecture d'une caméra CCD ?*

*I.3 Mesurer le bruit de lecture en ADU à partir de deux Bias (offsets). Expliquer quelles hypothèses vous avez dû effectuer.*

*I.4 Montrer que ce bruit de lecture n'est pas dépendant de la température du CCD en refaisant le calcul de la question I.3 à deux autres températures (ex : 5 et -10 °C).*

**Aide : Prenez plusieurs mesures (ex: 10 paires de Bias) à chaque température afin de calculer une barre d'erreur. Faire le calcul avec des paires de bias indépendants (i.e. une seule mesure de bruit de lecture avec 2 bias)**

### II - Bruit Thermique

*II.1 Faire une série de Bias (exemple : 50 bias) puis calculer le bias médian*

*II.2 Régler la température du CCD à 10-15°C et réaliser une série de Dark de 300s ; Corriger chaque « dark » du Bias médian ; prendre la médiane puis tracer l'histogramme des valeurs des pixels du CCD. Refaire la Même chose à -10°C. Comparer et expliquer la différence entre ces deux histogrammes (à -10°C et +10°C).*

*II.3 Tracer la courbe du Dark d'un pixel (en ADU) avec le CCD à 10 °C en fonction du temps de pose. Interpréter cette courbe.*

**Aide : Choisir un pixel relativement chaud (qui atteint une valeur élevée en 300s de temps de pose. Ex : 25 000 ADU) mais qui ne sature pas (<< 32 768 ADU ou 65 536 ADU en fonction du CCD). Prendre plusieurs images (ex: 10 darks) pour chaque exposition (Ex : pour 30 s, 1 min, 2 min, 3 min, 5 min). Utiliser l'archives de darks pour gagner du temps (demander aux encadrants). Pour chaque temps de pose, faire une petite statistique en calculant la valeur moyenne et l'écart-type du pixel.**

**II.4** Refaire la question II.3 sur le même pixel mais avec le CCD à  $-10^{\circ}\text{C}$ . Tracer les deux courbes (à  $+10^{\circ}\text{C}$  et  $-10^{\circ}\text{C}$ ) sur le même graphique et interpréter le résultat. Pourquoi un CCD doit-il être refroidi ?

**Aide:** Mettre les barres d'erreurs. Comparer la moyenne et l'écart-type des valeurs du pixel à  $-10$  deg et  $+10$  deg, pour chaque temps de pose.

### III- Linéarité du CCD

**Aide :** Dans ce chapitre, le CCD doit être refroidi au maximum (Ex :  $-15^{\circ}\text{C}$ )

**III.1** Prendre 10 Flats à différentes luminosités, et les corriger du Bias médian. Bien prendre 10 Flats à faible flux, plusieurs series de 10 flats à des luminosités intermédiaires et 10 Flats proches de la saturation du CCD (utile pour les questions suivantes).

**Aide :** Noter le flux mesuré avec la sonde pour chaque flat réalisé (en « nA »). Prendre tous les flats avec le même temps d'exposition (ex : 5 secondes). Pour chaque « éclaircissement » faire 10 flats (statistique). Vérifier avant de commencer si le temps d'exposition choisi (ex : 5 s) permet d'explorer toute la dynamique du CCD: le CCD doit être à la limite de la saturation avec le flux de la source proche du maximum, et il doit aussi être possible de contrôler le flux pour avoir des toutes petites valeurs d'intensité sur le CCD (i.e. proche de 0 ADU).

**III.2** Dans la région où les Flats (corrigeés du bias) sont plats, sélectionner un carré d'au moins 1000 pixels (pour une bonne statistique) et calculer l'intensité moyenne et l'écart type. Faire cette mesure (dans ce même carré) pour chaque flat à différentes intensités.

**Aide:** Demander de l'aide aux enseignants pour vérifier la zone où les Flat sont plats avec imageJ

**III.3** Tracer une courbe de l'intensité du Flat (mesuré dans les carrés de la question précédente) en fonction du flux d'éclaircissement (mesuré avec la sonde). Estimer à partir de quel niveau d'intensité en ADU le CCD n'est plus linéaire.

## IV- Calcul du Gain du CCD

**IV.1** Dans la région où les Flats sont plats, sélectionner un carré d'au moins 1000 pixels (pour une bonne statistique) et calculer l'intensité moyenne et l'écart-type. Faire cette mesure (dans ce même carré) pour chaque flat corrigé du bias (à différentes intensités). Utiliser les mesures de la question III

**IV.2** Tracer l'écart-type du flat en fonction de l'intensité moyenne (en échelle log-log ou linéaire).

**Aide :** Ici, utiliser des flats non saturés (travailler dans la zone linéaire du CCD)

**IV.3** Le bruit peut s'écrire comme une somme quadratique du bruit de lecture ( $\sigma_0$ ) + du bruit de photon :

$$\sigma(I) = \sqrt{\sigma_0^2 + \frac{\langle I \rangle}{\text{Gain}}}$$

Faire un ajustement de moindre carré de cette fonction sur les points de la question IV.2 et en déduire le bruit de lecture et le gain

**IV.4** Comparer le bruit de lecture, et le gain calculé dans ce TP avec les données du constructeur de la caméra

## v - Calcul du rendement quantique d'un CCD

**V.1** Mettre en place la photodiode (Thorlabs) calibrée à la sortie de la SPHERE intégrante. Pour une dizaine de longueur d'onde, de 500 nm à plus de 800 nm, mesurer le flux (et son erreur) avec la photodiode (sur le boîtier Thorlabs). A chaque mesure, vous devez sélectionner la même longueur d'onde pour la photodiode (dans le boîtier Thorlabs) et sur le monochromateur.

**Aide :** Mettre la source (petite vis sur boîtier bleu ou noir) au maximum d'intensité pendant toute l'expérience (pour questions V.1 et V.2).

**Sur le boîtier Thorlab:** rester en Rng Auto, et à chaque mesure bien mettre la longueur d'onde du monochromateur (très important pour avoir une mesure sur le boîtier Thorlabs directement corrigée de la réponse de la photodiode).

on utilisera la relation  $E = \frac{hc}{\lambda}$  pour passer de la puissance mesurée en microWatt à un nombre de photons par seconde.

**V.2** Remplacer la photodiode par le CCD (SBIG), puis enregistrer une dizaine d'images à chaque longueur d'onde (faire des poses de 1 seconde pour travailler dans la zone linéaire du CCD).

**Aide :** Bien noter le temps de pose utilisé (ex : 1 s). Mettre toutes les infos utiles dans le nom des images enregistrées.

Ex : flux\_sbig\_1060nm\_moins15deg\_1s\_1

**Remarque :** sur des poses d'1s avec une précision d'ouverture de l'obturateur de 1/10s, on ne peut pas être plus précis que 10%.

**V.3** Calcul du rendement quantique de la SBIG:

**V.3.1** Corriger du bias median toutes les images enregistrées à la question précédente (V.2).

**V.3.2** Avec ImageJ, ou **de préférence** le langage de programmation de votre choix (ex: Python), intégrer le flux dans un cercle centré sur chaque image du CCD et de la taille de la photodiode.

**Infos utiles :**

**Diamètre utile photodiode = 9.5 mm**

**Gain SBIG STF-8300M = 0.37 e- / ADU**

**Taille pixels SBIG STF-8300M = 5.4 microns X 5.4 microns**

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$h = 6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$c = 299\ 792\ 458 \text{ m/s}$$

**V.4** Comparer la courbe de rendement quantique obtenue aux données constructeurs. Qu'en pensez-vous ?

**V.5** S'agit-il d'un CCD aminci (ou éclairé par l'arrière)

## **VI- Caméra au T80**

**V.1** *Traiter des images astronomiques prises au T80 (correction de bias, dark, flat, etc.). Expliquer les différentes étapes de la réduction.*