
Guide d'utilisation
Caméra CCD SBIG ST2000XM

Pierre Guillard

19 février 2008



Responsables	Laboratoire	Contact
Véronique Ansan	IDES	ansan@geol.u-psud.fr
Sylvain Bouley	IDES	bouley@geol.u-psud.fr
François Costard	IDES	fcostard@geol.u-psud.fr
Hervé Dole	IAS	herve.dole@ias.u-psud.fr
Laure Dupeyrat	IDES	dupeyrat@geol.u-psud.fr
Pierre Guillard	IAS	pierre.guillard@ias.u-psud.fr
Antoine Gusdorf	IAS	antoine.gusdorf@ias.u-psud.fr
Mathieu Vincendon	IAS	mathieu.vincendon@ias.u-psud.fr
Tous		observation_coupole@ias.u-psud.fr

TAB. 1 – Encadrants et responsables de la coupole. Pour organiser une observation ou communiquer avec les responsables, utiliser l’adresse mail ”observation_coupole@ias.u-psud.fr”

Date	Contribution	Version	Auteurs
26/06/2007	Guide d’utilisation CCD	1.0	Pierre Guillard

TAB. 2 – Historique des versions et modifications du document.

Table des matières

1	Caractéristiques de la caméra CCD	1
1.1	Présentation et caractéristiques principales	1
1.2	Principe de fonctionnement : le transfert de charges	1
1.3	La roue à filtre	3
2	Raccordement de la caméra CCD	4
3	Acquisition des données	5
3.1	Focalisation de la CCD	5
3.2	Contrôle de la température de caméra CCD	5
3.3	Prendre une image ou une série d'images	6
3.4	Prendre un "flat field" (Plage de Lumière Uniforme –PLU–)	7
4	Autoguidage	8
4.1	Chercher une étoile guide	8
4.2	Configuration et calibration	8
4.3	Utilisation et prise de vue	9
5	Extinction des feux...	9
6	Entretien de la caméra CCD	10
6.1	Nettoyage	10
6.2	Problèmes de givre et régénération du dessicant	10
7	Préparez vos observations !	10

1 Caractéristiques de la caméra CCD

1.1 Présentation et caractéristiques principales

La caméra SBIG ST2000XM (Fig. 1) est une caméra CCD (Charge Coupled Device), dispositif qui sert principalement en astronomie, car elle permet d'accumuler la lumière pendant plusieurs minutes et ainsi de capter des objets peu lumineux. La caméra possède plusieurs avantages par rapport à un film photo conventionnel dont la linéarité de réponse, une très grande sensibilité, une large bande spectrale et la possibilité d'effectuer un traitement numérique des images.

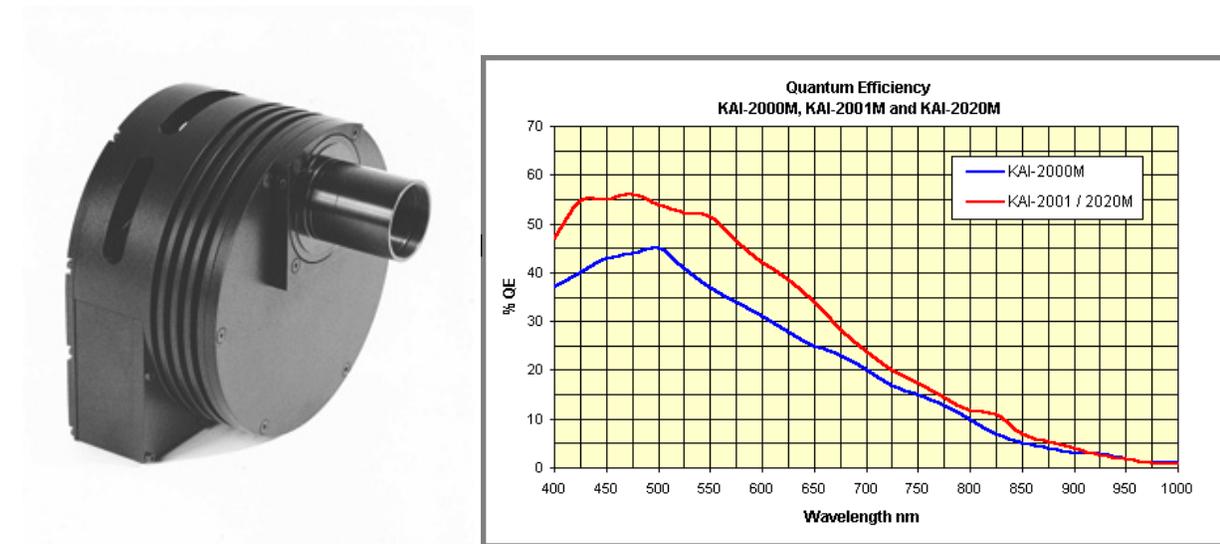


FIG. 1 – La Caméra SBIG ST2000XM et son rendement quantique. La SBIG ST2000XM est équipée du capteur principal CCD Kodak KAI 2020M.

Les principales caractéristiques techniques de la caméra sont regroupées dans le tableau 3.

Capteur CCD		Lecture	
Modèle	Kodak KAI-2020M (+ TI TC-237H)	Temps de Pose	0.001 à 3600 sec
Matrice	1600 × 1200 11.8 × 8.9 mm	Temps d' acquisition (pleine image)	~ 4.5 sec
Taille des pixels	7.4 μm × 7.4 μm	Bruit Lecture	< 8 e ⁻
Courant d'obscurité (Dark Current)	< 0.1 e ⁻ /pix/sec (0°C)	Gain	Unbinned : 0.6 e ⁻ /ADU Binned : 1.4 e ⁻ /ADU

TAB. 3 – Principales caractéristiques de la caméra SBIG ST2000XM

1.2 Principe de fonctionnement : le transfert de charges

Quand on parle de CCD on désigne en fait la technologie CCD (Charge Coupled Device). Cette acronyme signifie Dispositif à Transfert de Charges. En voici un bref descriptif :

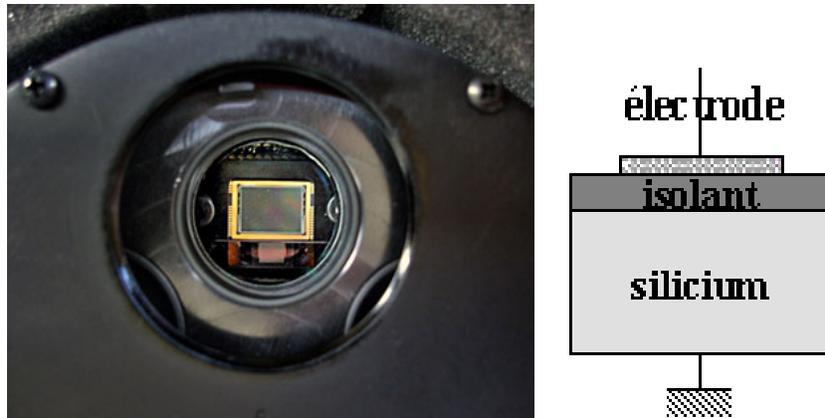


FIG. 2 – (gauche) : La CCD SBIG ST2000XM est équipée de 2 capteurs : un premier pour l’image principale (science), le KAI 2020M 1600×1200 et un deuxième, plus petit, pour l’autoguidage (voir § 4), le TC-237H 657×495 . La taille des pixels fait $7.4 \mu\text{m} \times 7.4 \mu\text{m}$ pour les 2 capteurs. (droite) : schéma d’un pixel (voir § 1.2).

Le capteur CCD A l’instar du film photographique qui se compose de ”grains”, cellules réagissant à la lumière, les éléments photosensibles de la CCD, les *pixels*, sont de petits composants électroniques composés d’une électrode, d’une couche en silice, et d’un matériau semiconducteur, souvent carrés ou rectangulaires, et disposés en matrice. La taille typique d’un pixel est d’environ $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$. Cette caméra possède 2 matrices de pixels (voir Fig. 2) : une principale pour l’image scientifique et une autre plus petite pour guider la caméra (voir § 4).

Prise de vue Pendant l’exposition, la couche supérieure de chaque pixel va transformer les photons en électrons, avec un certain rendement, appelé *rendement quantique* (voir Fig. 1). Ces électrons vont être capturés par un champ électrique appliqué entre deux couches de silicium situées sous le pixel, qui peut accumuler jusqu’à un million d’électrons environ. À la fin de l’exposition chaque pixel aura accumulé un nombre de charges électriques proportionnel à la quantité de lumière qu’il a reçu. Ces charges électriques accumulées dans chaque pixel de la matrice CCD constituent l’image reçue par le capteur CCD. L’ensemble du détecteur est refroidi à l’aide d’un module à *effet Peltier* pour diminuer le bruit électronique de l’instrument (voir § 3.2 pour le contrôle de la température de la CCD).

Lecture des données Ces informations doivent être lues. La méthode consiste à compter un à un les charges contenues dans le dernier pixel de la dernière ligne et convertir ce nombre de charges en tension de sortie. Etant donné que le compteur est fixe, il faut alors transférer ces charges, simplement en décalant (*shift register*) une à une les charges des pixels de la dernière ligne (le buffer) puis en décalant une à une les lignes. C’est le principe du *transfert de charges* : pour transférer ces dernières, on va décaler les tensions qui ”bloquent” les électrons sous les pixels.

Numérisation des données Le signal en sortie du dernier pixel est une tension, qui est amplifiée puis numérisée. La conversion analogique/numérique peut varier selon les marques de caméra, les valeurs disponibles se situant normalement entre 256 (8 bits) et 65 536 (16 bits) niveaux de gris. La SBIG ST2000XM est équipée d’un convertisseur analogique/numérique 16 bits. Ce signal numérisé va alors être transmis à l’ordinateur et enregistré.



FIG. 3 – Boîtier de la roue à filtre SBIG CFW-8 (gauche) et porte-filtres (droite)

1.3 La roue à filtre

La caméra CCD est équipée d'une roue à filtre optionnelle à 8 positions, commandée par le logiciel de contrôle de la caméra et d'acquisition de données CCDSoft. Pour sélectionner un filtre, voir § 3.3. Plusieurs types de filtres sont à votre disposition :

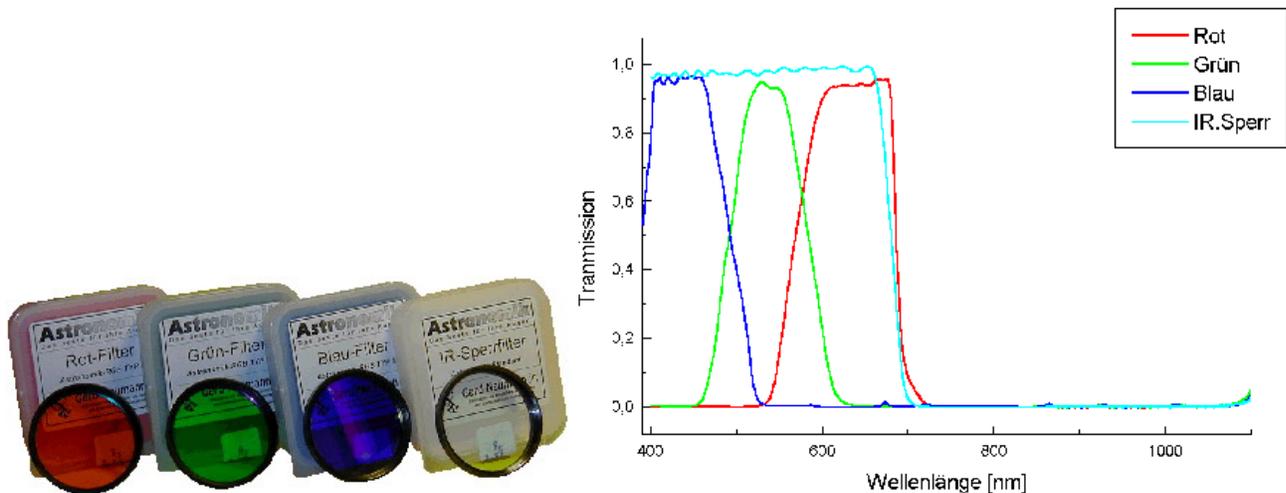


FIG. 4 – Filtres R, V, B, L(IR) et courbes de transmission.

Les filtres large bande R, V, B (ou R, G, B) Ces filtres ont des bandes passantes larges d'environ 100 nm (voir Fig. 4) et permettent de réaliser des images en couleur. Le capteur CCD étant noir et blanc, il est alors nécessaire d'effectuer 3 poses distinctes à l'aide de la roue à filtres en Rouge (R), Vert (G) et Bleu (B) de l'objet visé, puis de recombinaison ces images. La roue à filtre possède également un filtre clair (MC) qui laisse passer tout le rayonnement incident. Il est préférable de l'utiliser pour conserver la même mise au point.

Les filtres interférentiels Ces filtres sont utilisés pour sélectionner des raies d'émission particulières, dans une bande étroite de longueur d'onde. On peut alors s'affranchir de certains types de rayonnement

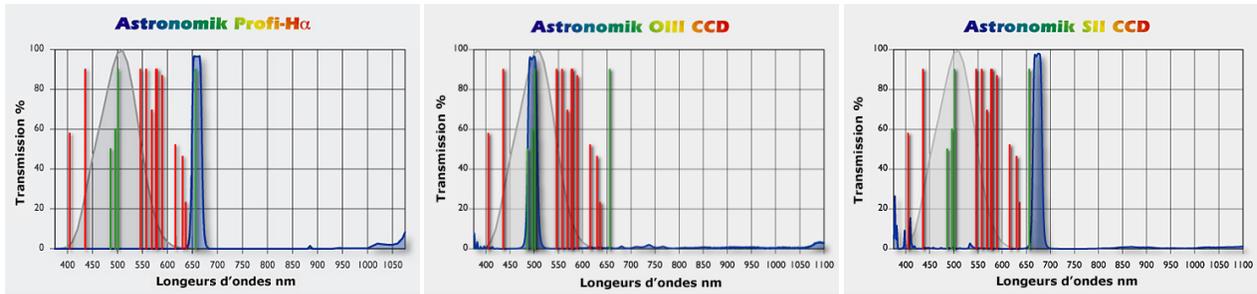


FIG. 5 – Courbes de transmission des 3 filtres interférentiels H α ($\lambda = 656$ nm), OIII ($\lambda = 501$ nm), et SII ($\lambda = 672$ nm). Les lignes rouges représentent les longueurs d’ondes de pollution lumineuse. Les lignes vertes figurent les longueurs d’ondes importantes issues des nébuleuses. La courbe grise représente la sensibilité nocturne de l’oeil humain. La ligne bleue représente la courbe de transmission du filtre.

(pollution lumineuse des lampes à mercure ou sodium par exemple) et faire “ressortir” les détails des nébuleuses et galaxies (rapport signal sur bruit amélioré). Mais surtout, ces filtres permettent une exploitation plus scientifique des images.

Nous disposons de 3 filtres interférentiels de marque Astronomik, de bande passante 13 nm, parafo-caux (même épaisseur, donc nul besoin de reprendre la mise au point), centrés sur les raies H α , OIII, et SII. Les courbes de transmission de ces filtres sont présentées à la Fig. 5.

2 Raccordement de la caméra CCD



FIG. 6 – La Caméra SBIG ST2000XM reliée au télescope et au PC (gauche) et configuration de la CCD : Etablissement de la liaison avec le PC (droite)

1. Après la mise en route du télescope (Voir “Guide d’utilisation-Coupole d’astrophysique”), enlever l’oculaire et le renvoi coudé, puis positionner la caméra CCD. Il est pratique d’aligner grossièrement la caméra avec les axes du télescope, le pointage sera plus aisé par la suite. Bien visser les 3 points de serrage pour éviter que la caméra ne tombe ou ne se déplace.
2. Relier le boîtier de la roue à filtre à la CCD (cable gris et prise noire). Visser cette prise sur son support, puis brancher le câble d’autoguidage (cable réseau gris) dessus. la CCD au réseau électrique

ainsi qu'au PC (cable USB). Le branchement de la CCD doit alors être identique à celui de la Fig. 6.

3. Lancer le logiciel SBIG CCDSoft. Pour établir la liaison entre la CCD et le PC, cliquez sur "Camera" puis "Setup". Dans l'onglet "Setup" de cette fenêtre "Camera Control", cliquez sur "Connect". Vérifiez que l'imageur et le capteur d'autoguidage sont bien reliés (Linked : *yes* et status : *ready*, voir Fig. 6).

3 Acquisition des données

3.1 Focalisation de la CCD

Il s'agit ici de positionner le capteur au foyer Schmidt-Cassegrain (SC) du télescope, afin d'obtenir d'une étoile l'image la plus ponctuelle possible. Dans l'onglet "Focus Tools", en binning 1×1 , sélectionner 1/4 du capteur (*Subframe On*, puis choix de la taille, c.f. Fig 7) cliquez sur "Take Image". Pendant la série d'images effectuées (on pourra prendre des poses de 1 sec environ), modifier le réglage du focus en temps réel à l'aide de la mollette située près de la sortie du télescope. On peut suivre l'optimisation du réglage à l'aide du graphe en défilement (voir Fig. 7).

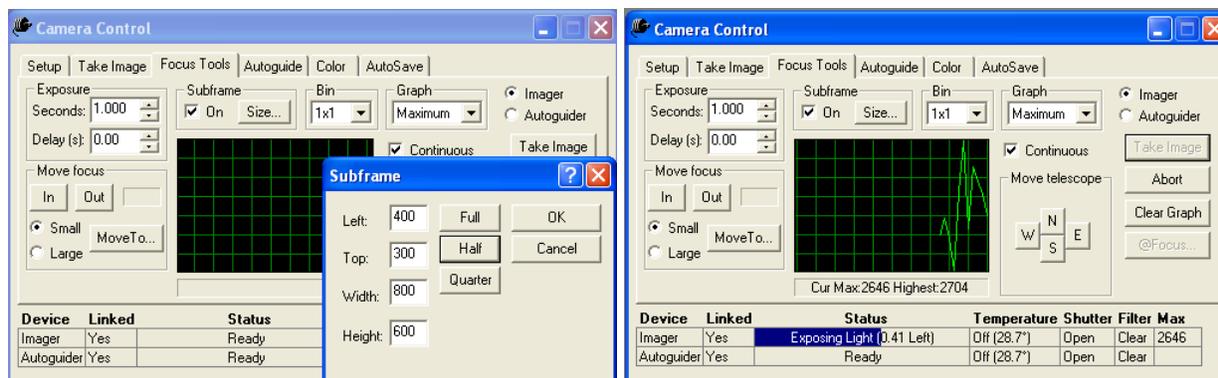


FIG. 7 – Focalisation de la CCD. Configuration (gauche) et prise de vues consécutives pour optimiser le réglage du focus (droite).

Pour optimiser le réglage, sélectionner une région autour de l'étoile et procéder de même. Si la région n'est pas automatiquement sélectionnée, retourner dans le menu "Size" et cliquer sur OK.

3.2 Contrôle de la température de caméra CCD

Règle importante : Afin de ne pas endommager la CCD et d'éviter que trop de givre ne se forme sur le capteur, il faut éviter des changements brusques de température. De plus, il est inutile de procéder tout de suite au refroidissement du capteur avant que les réglages préliminaires (focus, autoguidage, flats...) ne soient effectués. On ne lancera le refroidissement que lorsqu'on voudra prendre une image optimale.

Le menu de contrôle de la température est accessible dans l'onglet "Setup" de la fenêtre "Camera Control" (Fig. 8). Pour régler le point de fonctionnement souhaité (*temperature setpoint*), entrer la valeur de la température, cocher "On", "Fan On" et "Shutdown Temperature regulation when terminating software" et cliquez sur OK. Procéder comme cela en abaissant la température *progressivement*, par exemple de 10 en 10°C, jusque vers -25°C en hiver et 0°C en été. *La puissance de régulation* (indiquée en bas à droite de l'onglet "Setup") *ne doit pas excéder 80 % de la puissance maximale de refroidissement*.

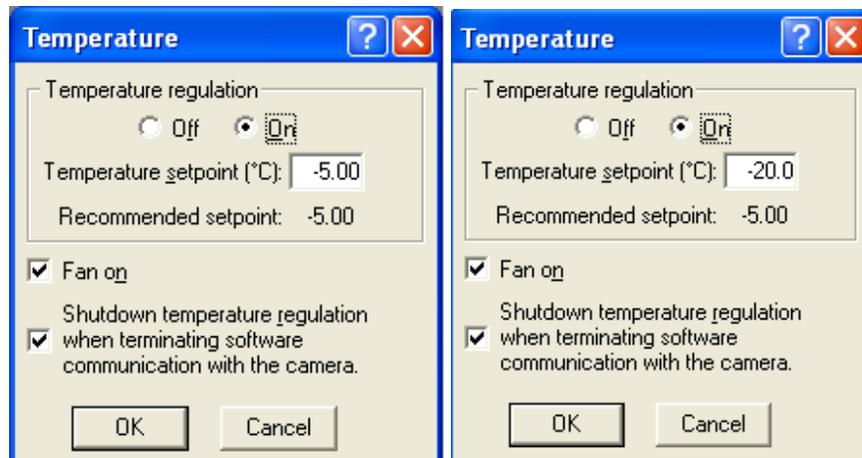


FIG. 8 – Contrôle de la température du capteur CCD. Faire baisser *progressivement* la température du capteur pour limiter la formation de givre. La puissance de régulation de doit pas excéder 80 %.

3.3 Prendre une image ou une série d'images



FIG. 9 – Choix du filtre (gauche) et acquisition d'une image (droite)

Choix du filtre La roue à filtre SBIG CFW-8 est pilotée par le logiciel CCDSoft. Le choix des filtres est accessible dans l'onglet "Take Image" de la fenêtre "Camera Control" (accessible par "Camera" puis "Setup"). Dans le menu déroulant "Filter", sélectionner le filtre souhaité. Une brève description des filtres a été faite au § 1.3. En particulier, pour sélectionner le filtre clair MC, choisissez l'option *clear*.

Sauvegarde des données Pour sauvegarder automatiquement vos données (important, surtout en mode autoguidage, voir § 4), cocher "autosave ON" dans l'onglet *autosave*. Créer un répertoire correspondant à la date de la nuit (au format "2007.06.36" par exemple) et le sélectionner pour sauver toutes les images prises dans la nuit dans ce répertoire. Vous pouvez choisir des options quant au format des fichiers et leur labélisation.

Dark Pour pouvoir retrancher le courant d'obscurité (*dark*) de la CCD lors du traitement des images, il est nécessaire de prendre, en début, milieu et fin de nuit, une image à obturateur fermé. L'encadré "Image" et ses 2 menus déroulants *Frame* et *Reduction* vous permettent de sélectionner l'option *au-*

todark, qui réalise alors, avant toute image, une mesure du courant d’obscurité. Noter que, lors de l’autoguidage, le dark doit être systématiquement retranché à l’image du capteur d’autoguidage (voir l’option “autodark” au § 4).

Choix de la taille de l’image (Subframe) Il est parfois pratique de réduire la taille de l’image prise, notamment pour accélérer le téléchargement des données lorsqu’on effectue des tests et des réglages. Pour cela, cochez la case “Subframe” et sélectionnez la taille voulue (*Size*).

Choix de l’échantillonnage (Binning) Le logiciel CCDSoft permet aussi de contrôler l’échantillonnage (ou *binning*) de l’image, i.e. le nombre de pixels utilisés pour une taille fixée d’image. Le *binning* consiste à “assembler” numériquement les pixels pour en former de plus gros. On gagne donc en sensibilité par pixel (surface collectrice plus grande) et en rapidité (temps de lecture et de téléchargement raccourci) mais on perd en résolution (nombre total de pixels diminué). 3 modes de *binning* sont proposés, correspondant au nombre de pixels artificiellement “assemblés” : 1×1 (échantillonnage maximal, image de 1024×1024 , pas de *binning*), 2×2 (4 pixels physiques = 1 pixel) ou 3×3 (9 pixels physiques = 1 pixel).

Le choix du mode de *binning* se fait par le menu déroulant “Bin” (onglet “Take Image”). Pour réaliser plus rapidement les premières images et les premiers tests (temps de pose suffisant, etc.), vous pouvez donc commencer par prendre votre galaxie préférée en mode 3×3 .

Le mode *binning* pourra aussi être utilisé pour augmenter la sensibilité et la rapidité lors de l’autoguidage, lorsque l’étoile guide est peu brillante par exemple (c.f. § 4).

Prise de vue et série d’images Finalement, lorsque les réglages préliminaires précédents sont effectués, aller dans l’onglet “Take Image”, régler le temps d’exposition, le type d’image (*frame*) et le nombre d’images souhaitées si l’on souhaite prendre une série d’images (*series*). Pour des images prises sans autoguidage, mettre le délai entre 2 poses à 0.

3.4 Prendre un “flat field” (Plage de Lumière Uniforme –PLU–)

Pour pouvoir exploiter les images et notamment s’affranchir de certains défauts du capteur CCD et de l’instrument (présence de poussières sur le capteur et/ou les filtres, gain non uniforme sur tout le capteur, etc.), il est fondamental, lors de toute observation, de prendre une série d’images, pour chaque filtre utilisé, d’un champ d’éclairement uniforme (PLU en français, ou *flat field*).

Plusieurs méthodes sont possibles :

- Lors du crépuscule ou à l’aube, lorsque que l’éclairement du ciel est relativement peu intense et uniforme, sélectionner l’option “flat” dans le menu déroulant *frame*, et prendre une série d’images pour chaque filtre (penser à la sauvegarde automatique des données). Cette méthode est fortement recommandée !
- On peut réaliser les flats en pointant le télescope sur le dôme de la coupole, que l’on aura au préalable éclairé de manière la plus homogène possible (*dome flats*). Cette méthode est déconseillée ici car la coupole n’est pas blanche et les possibilités d’éclairage uniforme sont limitées. On peut aussi placer un drap blanc éclairé devant le télescope.
- Choses importantes : Lors de la prise des flats, il faut veiller à avoir un niveau d’éclairement relativement élevé sur l’image (env. 30 000 coups). Pour cela, on pourra utiliser le mode *focus* pour trouver le temps de pose idéal (qui se situe en général entre 0.1 et 1 sec.) Pour cela, placer le curseur sur l’image, lire la valeur des pixels, et ajuster le temps de pose pour avoir des valeurs aux alentours de 30 000.

4 Autoguidage

4.1 Chercher une étoile guide

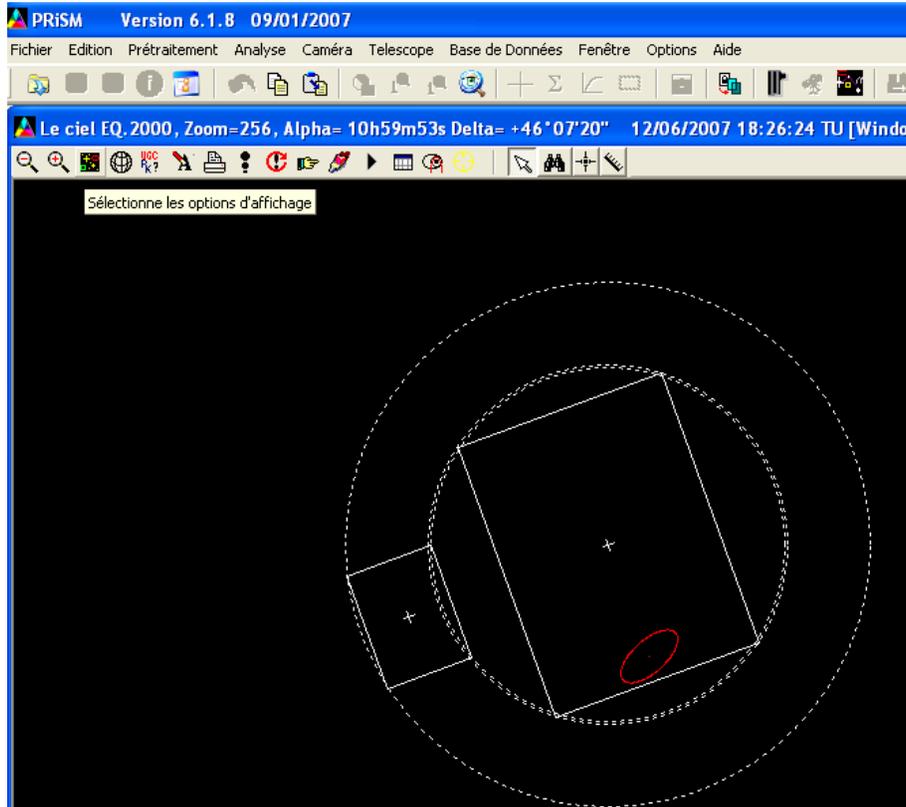


FIG. 10 – Visualisation du champ de vue des capteurs CCD de la caméra sur le ciel, à l’aide du logiciel PRISM 6. La zone couverte par les 2 capteurs (science et autoguidage) lors de la rotation de la caméra est matérialisée en pointillés.

Prism : option d’affichage (à côté de la loupe de zoom), CCD/Telescope, SBIG ST2000XM (voir Fig. 10)
 Catalogues d’étoiles
 Autre logiciel : Guide 8
 Focale Télescope 3800 mm / Réducteur de focale Meade 6.3

4.2 Configuration et calibration

La configuration de l’autoguidage est accessible dans l’onglet “Autoguide” de la fenêtre de contrôle de la CCD.

Etoile guide A l’aide de l’outil permettant de visualiser le champ des capteurs sur le ciel (§ 4.1, Fig. 10), repérer une étoile susceptible de se trouver dans le capteur d’autoguidage. À moins d’être chanceux, l’étoile guide doit d’abord être imagée dans le capteur principal (science), centrée horizontalement, puis être positionnée au bord supérieur, le capteur d’autoguidage se trouvant “au dessus” du capteur de science. Continuer alors de déplacer l’étoile “vers le haut” : l’étoile devrait apparaître dans capteur d’autoguidage.

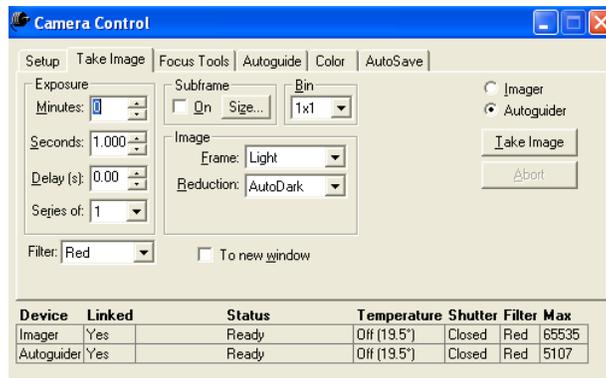


FIG. 11 – Configuration de l'autoguidage.

Temps de pose Prendre des temps de pose relativement longs car l'étoile guide doit être largement au dessus du bruit. Typiquement on pourra prendre de 0.5 à 25 sec.

Calibration Cliquer sur l'étoile dans le champ du capteur d'autoguidage. Le logiciel donne alors les coordonnées (X, Y) de l'étoile. Pour calibrer le déplacement de la monture, il faut donner la déclinaison approximative de l'étoile guide. Pour cela, à l'aide de PRISM, repérer la déclinaison de l'étoile et fournir sa valeur dans les paramètres de calibration.

Choisir de 5 à 12 sec pour le temps de déplacement lors de la calibration. En cas de problème, il est possible de faire la calibration sur le capteur de science. Choisir alors l'option *image* dans la configuration de l'autoguidage.

Quand le logiciel indique "Calibrate Successfully", repasser en temps de déplacement minimal pour avoir l'étoile dans le capteur et cliquer dessus. Lancer l'autoguidage.

4.3 Utilisation et prise de vue

Agressivité du suivi Si le guidage se fait mal (le capteur d'autoguidage perd l'étoile guide au bout de quelques secondes), modifier le réglage de l'agressivité (*agressiveness*), en baissant la valeur de 10 jusqu'à 6 par exemple. On peut aussi réduire le temps d'ajustement (*time*) à 0.2 sec au lieu de 1 sec. Le réglage du temps maximal de déplacement de l'étoile (*maximum move*) peut aussi améliorer le résultat. On pourra réduire ce temps typiquement à 0.3 sec.

Autodark et binning Autodark ON et binning 2×2 ou 3×3

Délai (delay) Régler le délai entre poses à 4 sec.

5 Extinction des feux...

1. Remonter progressivement la température du capteur. En hiver, passer typiquement de -25°C à 0°C , puis à la température ambiante de la pièce. En été, passer typiquement de 0°C à 15°C , puis à la température ambiante. Quitter CCDSoft, puis éteindre l'alimentation de la caméra.
2. Débrancher la prise de l'autoguidage, puis dévisser la prise reliée à la roue à filtre. Enfin, débrancher le câble USB et le câble d'alimentation.
3. Retirer la caméra, dévisser l'adaptateur 2", remettre le cache de la roue à filtre pour éviter que de la poussière ne se dépose sur le capteur, ranger la CCD dans son emballage plastique, puis dans sa

valise. Plier les câbles USB et alimentation et les ranger dans la valise. Penser à remettre également le tournevis et l'adaptateur 2" dans la valise.

4. Remettre le renvoi coudé et le cache en plastique. Eteindre le télescope comme indiqué sur sa documentation, puis le bacher.

6 Entretien de la caméra CCD

6.1 Nettoyage

Pour éviter que de la poussière ne se dépose sur les filtres et le capteur, il est absolument nécessaire de revisser le cache de l'ouverture de la CCD après chaque utilisation. Pour nettoyer la poussière et d'éventuelles traces de doigts sur les filtres, utiliser un papier photo. Pour enlever la poussière sur le capteur et les filtres, on peut aussi utiliser une poire en soufflant de l'air à l'intérieur du boîtier.

6.2 Problèmes de givre et régénération du dessicant

Du givre se forme naturellement sur le capteur CCD à cause du refroidissement de celui-ci. Un dessicant se trouve à l'intérieur du boîtier pour absorber l'humidité, mais lorsque celui-ci est saturé, il faut le régénérer. Lorsque cela se produit, les images sont complètement floues. Faire appel à un responsable de la coupole. Le dessicant sera placé dans le four du laboratoire d'astrochimie de l'IAS à basse température, pendant quelques heures.

7 Préparez vos observations !

Le télescope est un tube optique Celestron 14 de 35.56 cm de diamètre et 3.91 m de focale ($F/D=11$). La configuration optique est Schmidt-Cassegrain. Au foyer du C14, la taille angulaire du champ est 10.4×7.8 minutes d'arc carrées, avec 0.39 seconde d'arc par pixel ($7.4 \mu\text{m}$).

7.1 Préparer une liste d'objets à observer

7.2 Préparer des cartes de champ