



Un observatoire CCD à l'école

Guide pour les élèves, les enseignants et les parents d'élèves.
Version : 4.1



Hands-On Universe, Europe
Bringing frontline interactive
astronomy to classroom

Titre original en polonais : ***Szkolne obserwatorium CCD***
Site Web officiel pour cette monographie <http://www.cft.edu.pl/astro/>
Logo dessiné par Armella Leung, www.armella.fr.to
Varsovie 2003-2005

Auteurs

- Anna Trętowska
Département de Mathématiques et Sciences Naturelles, Université Cardinal Wyszyński
- Łukasz Nowotko
Département de Mathématiques et Sciences Naturelles, Université Cardinal Wyszyński
- Tomasz Sowiński (e-mail: tomsow@cft.edu.pl)
Centre de Physique Théorique de l'Académie des Sciences de Pologne
- Weronika Śliwa (e-mail: sliwa@camk.edu.pl)
Centre Astronomique Nicolas Copernic de l'Académie des Sciences de Pologne
- Grzegorz Wrochna
Institut d'Études Nucléaires Andrzej Sottan
- Piotr Fita
Département de Physique Expérimentale de l'Université de Varsovie
Club Astronomique Almurkantar

Traduction et adaptation en Français :

- Philippe et Claude Cance
Lycée Nicolas Appert d'Orvault et Eu-Hou France

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission Européenne dans le cadre du projet MINERVA (SOCRATES).

Cette publication n'engage que ses auteurs et la Commission n'est pas responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qui y sont contenues.

Table des Matières

1. Pourquoi observer ?
2. L'observatoire CCD - De quoi allons nous avoir besoin ?
 1. Comment choisir sa webcam ?
 2. Adaptation à la caméra
 3. Objectif de la caméra
 4. Télescope amateur
3. Le Télescope - Fonctionnement et paramètres.
4. Notre observatoire
5. Quelques formules
6. Ordinateurs et Logiciels
7. Préparatifs pour l'observation
8. Enregistrement d'images
9. Iris - traitement de données
 1. Préparation du "Dark"
 2. Pré-traitement
 3. Traitement graphique
10. Exemple de résultats
11. Compagnies sur Internet
12. Logiciels utiles
13. Bibliographie et webographie

APPENDICE : IRIS (v3.81) - Quelques commandes utiles

1. Pourquoi observer ?

Les observations astronomiques sont un des moyens parmi les plus simples et les meilleur marché pour découvrir et admirer les lois de la nature. Au contraire de beaucoup d'autres branches de la physique, l'astronomie est un domaine où des observations scientifiquement valables peuvent être réalisées par des amateurs. Les débutants se concentreront sur l'admiration de leurs propres photographies des planètes, comètes et étoiles, des observateurs plus aguerris rechercheront davantage l'étude des étoiles variables, la découverte de nouvelles comètes ou la poursuite systématique des astéroïdes. Toutes ces observations auront plus d'intérêt si nous faisons en sorte de les enregistrer.

Le moyen le plus simple pour les enregistrer est de prendre des photographies. Cette méthode, toutefois, n'est pas sans inconvénients. Dans les conditions où se trouve un amateur, il n'est pas possible de prendre beaucoup de photographies en peu de temps - ceci demande le plus souvent de longs temps de pose pour parvenir à une bonne qualité. Aussi les traitements ultérieurs et les comparaisons sont plutôt difficiles. Les propriétés des films photographiques font qu'il est facile de sous-exposer ou de surexposer les images, et puis dans une certain domaine d'éclairement, la densité optique du négatif n'est pas proportionnelle à l'éclairement reçu. Beaucoup de ces inconvénients peuvent être évités en utilisant une Webcam à capteur CCD pour enregistrer les images. Les pages suivantes expliquent comment choisir une telle caméra, décrivent sa structure et ses propriétés, et donnent aussi des exemples de logiciels d'aide au traitement de l'information enregistrée.

2. L'Observatoire CCD - De quoi allons nous avoir besoin ?

Afin de réaliser nos observations nous allons avoir besoin : d'une caméra avec un capteur CCD, d'un objectif photographique ou d'un télescope, et d'un ordinateur avec des logiciels appropriés. Examinons ces éléments.

2.1. Webcam à capteur CCD - Comment elle travaille.

Afin d'être capables de juger convenablement des avantages et des inconvénients d'un modèle particulier de Webcam il faut avoir quelques connaissances de base sur la structure des CCD.

L'élément principal d'un CCD (Charge Coupled Device) consiste en un panneau rectangulaire d'éléments photosensibles qui constituent une matrice. Le nombre de ces éléments - c'est à dire le nombre de pixels sur le panneau - détermine la résolution du système. La taille des matrices des webcams d'amateur varient depuis 320 x 240 pixels jusqu'à 640 x 480 pixels.

Avant l'exposition, c'est à dire la prise de vue, chaque pixel du CCD est électriquement chargé, positivement. Les photons qui le frappent diminuent progressivement sa charge initiale. La perte de charge est proportionnelle au nombre de photons qui tombent sur un pixel donné. Lorsque l'exposition est terminée les charges restantes sur un pixel individuel sont transmises à un amplificateur et ensuite à convertisseur analogique numérique. La représentation numérique d'une image ainsi produite peut être conservée sous forme électronique et, ultérieurement, être traitée par informatique.

La sensibilité d'un élément CCD est comparable à celle de l'oeil humain, mais le CCD enregistre aussi des longueurs d'onde du proche infrarouge. La dimension des pixels est typiquement de 5 à 25 μm de large.

Lorsque la lumière parvient à la plaque du CCD, l'intensité lumineuse est mesurée par chacun des éléments photosensibles ; on obtient donc une information sur la luminosité de l'image enregistrée.

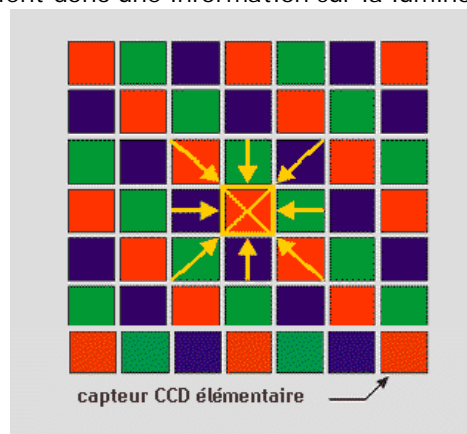


Fig. 1. Le capteur de la Webcam est couvert par un filtre afin de fournir l'information sur la couleur de la lumière.

Ce filtre transmet la lumière à chaque pixel dans l'une des trois couleurs : rouge (R), vert (G), bleu (B).

Pendant le traitement de l'image, l'intensité lumineuse dans ces trois colorations est mesurée. La couleur véritable d'un pixel est obtenue par interpolation sur les pixels voisins. Les composantes de la couleur pour chaque pixel sont calculées à partir des composantes des éléments voisins. Voici un exemple montrant comment fonctionne une webcam CCD.



Fig. 2. Images enregistrée et traitée

2.1. Comment choisir sa webcam

Les caméras CCD professionnelles sont fort chères - leur prix est rarement au-dessous de 1300€. Cependant, des observations valables peuvent être faites avec de petites caméras pour Internet: les webcams. Les webcams standards coûtent habituellement autour de 75 € et après de légères modifications, elles peuvent être employées pour des observations très intéressantes.

Quels sont critères à prendre en compte dans le choix d'un modèle particulier ? Le paramètre le plus important dans un webcam est le type du capteur utilisé .

Il existe deux types de capteurs, nous devons choisir entre les webcams équipées de capteur CCD ou de capteur CMOS, le premier type de capteur est certainement meilleur (en terme de sensibilité, il est plus sensible). Si possible, il vaut mieux choisir une Webcam avec une résolution de 640 x 480 pixels, bien que déjà 320 x 240 pixels soient suffisants pour faire des observations tout à fait intéressantes. La possibilité d'utiliser un temps d'exposition très long (jusqu'à une demi minute) est un avantage énorme des webcams. Quoique la plupart des webcams disponibles sur le marché ne répondent pas à cette spécification, il est possible d'en modifier certaines pour qu'elles permettent des temps d'exposition plus longs que ceux prédéfinis par le constructeur. Pour plus d'informations sur les distributeurs et sur les sociétés qui peuvent effectuer ces modifications, les lecteurs consulteront le paragraphe 10 de ce document.

La partie suivante de ce document décrira comment travailler avec les webcams et en particulier avec la ToUcam PRO II de Philips (PCVC 840K) ou la Vesta (PCVC 675K). Ces webcams Philips sont équipées d'un capteur CCD dont la diagonale mesure $\frac{1}{4}$ " (soit un quart de pouce ou 4,8 mm utiles) et leur résolution, ou taille de l'image est 640x480 pixels (la taille d'un pixel est donc de 5.6 μ m - micromètre). Le temps d'exposition maximum, prééglé par le fabricant, est égal à 1/5 seconde; cependant, ces webcams peuvent être modifiées pour utiliser des temps d'exposition aussi longs qu'on le désire, on parle alors de longue pose. Cette adaptation consiste à installer à l'intérieur de la webcam, un petit système électronique qui assure la commande du temps d'exposition, il est relié lui-même par un câble supplémentaire au port imprimante (le port parallèle centronics) de l'ordinateur.

Les ToUcam PRO II de Philips, qui supportent la longue pose, peuvent être fournies à l'intérieur du projet Eu-Hou (l'Univers à Portée de Mains - Europe, adresse du site Web international : <http://www.eu-hou.net>, le site Web polonais : <http://www.cft.edu.pl/astro/>).

2.2. l'adaptation de la Webcam :

Bien que les webcams soient déjà équipées d'un objectif, cet objectif est pratiquement inutilisable ici - en dehors de l'observations des météorites - à cause principalement de sa petite ouverture et de sa courte focale (quelques mm).

Le grand champ de vision de cet objectif, d'environ 40x30 degrés, permet de prendre des photos de vastes régions du ciel tout au long de la nuit avec des temps d'exposition d'environ 10 à 20 secondes. Le film résultant peut alors être analysé ultérieurement. On peut aussi, au fur et à mesure que l'image se modifie, et par une procédure de reconnaissance automatique, n'enregistrer que les images montrant des changements intéressants.

Cependant, pour d'autres projets, un objectif différent sera nécessaire.

Une solution est d'adapter un objectif photographique (de 30 à 35 mm de distance focale, qui donnera une largeur du champ d'observation de quelques degrés) à la webcam, ou bien de placer le capteur CCD au foyer d'un petit télescope. Chacune de ces deux solutions possède ses avantages.

L'ensemble acheté avec la caméra doit donc inclure un adaptateur pour nous permettre d'associer la caméra au système de focalisation (Il faut s'en assurer lors de la commande. Il est aussi possible d'acheter l'adaptateur séparément, par exemple sur : <http://www.strokrak.pl>).

2.3 Objectif photographique.

Remplacer l'objectif original, de très courte focale, de la webcam, par un objectif photographique d'un appareil reflex de 35mm peut donner de très bons résultats pour un coût modéré. Le capteur CCD étant beaucoup plus petit que la pellicule photo, le champ de vision de la webcam associée à un objectif photographique est beaucoup plus petit que le champ de vision d'un appareil photographique équipé du même objectif. Afin d'effectuer des comparaisons numériques, on introduit la notion de distance focale équivalente. Elle est autant de fois plus grande que la distance focale réelle de l'objectif, que la diagonale du capteur CCD est plus petite que celle d'une pellicule de 35mm. Pour les webcams Philips avec un capteur de type 1/4'' dont le capteur photosensible a une diagonale de 4,8mm, le facteur de proportionnalité est de 9. Cela signifie qu'une webcam équipée d'un objectif standard de 50mm de distance focale a le même champ de vision qu'un appareil photo avec un grand téléobjectif de 450mm de focale. Grâce à cela, nous pouvons utiliser les objectifs les plus communs, de distances focales comprises entre 35 et 200 mm, afin de prendre les mêmes photos qu'avec un appareil photographique muni d'un téléobjectif de focales comprises entre 300 et 1800 mm !

Les objectifs conçus pour les appareils reflex ont de nombreux types de fixations mais pour les besoins de l'astrophotographie, les plus efficaces sont ceux avec un filetage M42x1. [1]
Les objectifs ayant ce type de fixation sont par exemple, ceux conçus pour les appareils analogiques Zenit et Praktica. [2]

Grâce à ce filetage, les objectifs peuvent être facilement fixés à une webcam par l'intermédiaire d'un simple adaptateur, et leur grande disponibilité et accessibilité (en terme de prix) sont de sérieux avantages.

Les objectifs russes (Mir, Wolna, Zenitar, Helios, Jupiter) sont particulièrement populaires et bon marché, même si les objectifs allemands (Sonnar, Pentacon, Practica) sont de meilleure qualité. [2]

Les distances focales typiques des objectifs avec la fixation M42x1 sont 35 mm, 50-58 mm, 135 mm et 200 mm aussi bien que 300mm, 500 mm et 1000 mm. Les objectifs de 28 mm, 85 mm, 100 mm et 180 mm sont moins courants. Les objectifs de distances focales allant jusqu'à 500 mm sont construits uniquement à partir de lentilles; ceux de 500 mm peuvent être construits aussi bien à partir de lentilles que d'un miroir et les objectifs de distance focale de 1000 mm sont des systèmes à miroir (similaire au télescope astronomique de type Maksutov-Cassegrain).

Les objectifs de distance focale en dessous de 200 mm sont les plus communément associés aux webcams en astrophotographie. La fiche ci-dessous donne les champs de vision de ces objectifs et leurs applications typiques.

<i>Focale</i>	<i>Champ de vision</i>	<i>Application</i>
35 mm	4,6° × 6,3°	Observation d'étoiles variables, photographie de champs d'étoiles dans la Voie Lactée. Observation d'étoiles variables, photographie de champs d'étoiles dans la Voie Lactée.
50 mm	3,2° × 4,4°	
135 mm	1,2° × 1,6°	Photographie de grands amas ouverts (Les Pléiades, M44-Praesepe l'amas de la Crèche), de grandes galaxies (M31, M33)
200 mm	0,8° × 1,1°	Photographie de petits amas globulaires, de petits amas ouverts, de galaxies, de la Lune et du Soleil.

Les objectifs de distance focale supérieure ou égale à 500 mm sont pratiquement des télescopes et leur utilisation avec une webcam nécessite un effort important : le très petit champ de vision de tels objectifs rend nécessaire leur fixation sur une monture équatoriale avec contrôle de mouvements lents afin de trouver l'objet à photographier et de le maintenir dans le champ de vision pendant quelques secondes. Ils restent cependant pratiques pour photographier la Lune ou le Soleil.

Les objectifs avec un filetage M42x1 se trouvent dans les boutiques de photographie ou mieux encore sur le site internet Allegro (<http://www.allegro.pl>) qui propose un large choix pour des prix raisonnables. [3]
Lors de l'achat d'un objectif, faites bien attention à sa luminosité et à ses qualités optiques.

Le premier des paramètres précédents, la luminosité, est toujours précisé dans la spécification de l'objectif ; par exemple un objectif marqué 135/2,8 (ou 2,8/135) a une distance focale de f=135 mm et un nombre d'ouverture f/D= 2,8, D étant le diamètre utile de l'objectif . Ça signifie que l'ouverture (le diamètre effectif de l'objectif) est 2,8 fois plus petite que la distance focale. Comme en astrophotographie on cherche toujours à avoir le plus de lumière possible sur le capteur, plus son

diamètre est grand (ou plus le nombre d'ouverture du diaphragme est petit) et mieux c'est. Malheureusement, plus un objectif est lumineux plus il est cher.

Les objectifs d'appareils photo de focales plus longues sont aussi plus sombres (c'est la règle), car leur diamètre doit être plus grand afin de conserver une grande luminosité lorsque la distance focale est plus grande, ce qui les rend plus chers à produire. Les objectifs suivants sont un bon compromis prix/luminosité: 35/2, 50/1,8, 135/2,8, 200/4. Il n'est pas recommandé d'utiliser des objectifs 50/2,8 et 135/3,5 car leurs homologues plus lumineux ont des prix voisins.

La qualité optique d'un objectif, par contre, n'est pas donnée dans ses spécifications et il vous faudra vous fier à votre intuition lorsque vous en choisirez un. Cependant, s'il vous est possible d'obtenir plus d'informations, vous pouvez faire attention au pouvoir de résolution au milieu du champ qui est donné en nombre de lignes visibles séparément sur une largeur de 1mm. Ce nombre varie usuellement entre 30 et 50 lignes par millimètre. Le pouvoir de résolution d'une lentille influe de façon significative sur la résolution des images enregistrées par la webcam car, avec une résolution de 30 lignes/mm, on peut s'attendre à ce que l'image d'une étoile, théoriquement ponctuelle, ait un diamètre d'environ 30 μ m, ce qui équivaut à 5 pixels pour les webcams Philips. Ca signifie que la résolution de l'image obtenue est quelque fois plus faible que celle autorisée par la webcam seule!

Du point de vue de la luminosité et de la qualité optique, il n'est pas recommandé d'utiliser des objectifs zoom, car ils sont plus sombres et ont une résolution moindre que celle des objectifs à focale fixe. Par ailleurs, les objectifs zoom sont plus coûteux et l'astrophotographie ne nécessite jamais de changement progressif de focale.

Les modèles récents d'objectifs pour boîtiers Praktica et Zenit ont un diaphragme automatique, c'est-à-dire qu'il ne se ferme qu'après avoir poussé un bouton situé à l'arrière de l'objectif. Pour un appareil photo cela permet de mettre au point l'image à ouverture maximale, peu importe celle qui sera utilisée pour la prise de vue. Lorsqu'on adapte un tel objectif à une webcam, cela signifie que cet objectif aura toujours son ouverture maximale. Cela n'est pas un problème lorsque l'on veut photographier des objets faibles, car il faut alors utiliser toute la luminosité de l'objectif de toutes façons. En revanche, si l'on veut photographier la Lune, on peut vouloir réduire l'ouverture, d'autant que l'on augmente de cette manière la résolution de l'objectif. Dans ce cas, on peut bloquer le bouton (par exemple en le collant avec une goutte de colle epoxy), mais une bien meilleure solution reste d'acheter un objectif avec un commutateur permettant de changer l'ouverture indépendamment du bouton arrière. Malheureusement, ces commutateurs (marqués A-M, pour 'Auto-Manuel') ne peuvent être trouvés que pour des focales de 135mm et plus. Il est recommandé d'acheter si possible un objectif avec un tel commutateur.

Si vous achetez un objectif uniquement pour l'astrophotographie, recherchez éventuellement un objectif sans diaphragme automatique, pour anciens modèles d'appareils photo. L'usage de tels objectifs est plus aisé. L'objectif est couplé à la caméra par un adaptateur : un côté de l'adaptateur est fixé à la webcam à la place de l'objectif original et le nouvel objectif est raccordé de l'autre côté à l'adaptateur. Ce genre d'adaptateur est disponible par exemple chez Astrorak (<http://www.astrokrak.pl>) [2]. Il y a 2 types d'adaptateurs : le plus ancien, et le plus simple, est juste un tube fileté aux deux extrémités, de sorte que la webcam munie de l'objectif photo est fixée à la monture par une vis dont le filetage se trouve dans le boîtier de la webcam. Ca signifie aussi que tout le poids de l'objectif repose sur le filetage fragile de la caméra et sur son tout aussi fragile boîtier, raccourcissant en conséquence la durée de vie de la webcam et rendant impossible l'usage d'objectifs lourds.

Une version récente de l'adaptateur est réalisée en duralumin, plus solide, et possède un trou fileté permettant de fixer directement l'adaptateur sur la monture. Dans cette version, le poids de l'objectif est transmis à la monture par un élément métallique robuste, de sorte que même l'utilisation d'objectifs très lourds, de focale 200mm par exemple, n'est plus un problème.

Ce type d'adaptateurs peut, seul, être utilisé avec les webcams Philips ToUcam, qui ne comportent pas de filetage pour monture.



Webcam Philips ToUcam PRO II avec objectif Domiplan 2,8/50 fixée à l'aide d'un adaptateur nouvelle version. La poignée de la monture est placée vers l'avant, sinon il serait difficile d'observer des objets situés très au dessus de l'horizon.



Webcam Philips ToUcam PRO II avec téléobjectif Helios 2,8/135.

En astrophotographie, en association avec une webcam on peut utiliser des téléconvertisseurs. Ce sont des éléments fixés entre la webcam et l'objectif photo qui rallongent la distance focale effective, habituellement d'un facteur 2. [4] Ils permettent de prendre des images d'un plus petit champ de vision lorsque l'on n'a pas d'objectif de distance focale suffisamment grande à disposition.

Malheureusement, l'utilisation d'un télé convertisseur engendre des pertes non négligeables : la luminosité de l'objectif est divisée par deux et son pouvoir de résolution est détérioré, aussi vaut il mieux éviter des les utiliser au maximum. Il vaut bien mieux acheter un objectif supplémentaire de grande distance focale, dont le prix sera similaire à celui d'un télé convertisseur.

Le moyen le plus simple de photographier le ciel avec un ensemble webcam et objectif photographique est de placer l'ensemble sur une monture et de prendre les photos avec une caméra immobile (caméra statique). L'avantage de cette méthode réside dans sa simplicité, mais de cette manière on ne peut prendre de photos qu'avec un temps d'exposition limité. Si le temps d'exposition est trop long, les étoiles (et tous autres objets dans le ciel) seront enregistrées comme des traînées, reflétant le déplacement de ces objets à travers le ciel.

Le temps d'exposition maximum admissible dépend de la distance focale de l'objectif (plus elle sera grande, et ce temps d'exposition sera court) et de la déclinaison de la région du ciel à photographier (plus elle sera grande, plus le temps d'exposition admissible sera grand).

On peut trouver cette valeur, pourvu que la déformation de l'image, acceptable pour une étoile, admette une élongation maximale de, par exemple, 1,5 fois son diamètre.

Voici une formule mettant donnant le temps d'exposition t (en secondes) en fonction de la longueur L (en millimètres) de la trace de l'étoile avec une déclinaison δ , photographiée avec un objectif de distance focale f (en millimètres) :

$$t = 13713 \times \frac{L}{f \times \cos \delta}$$

Trouvons le temps d'exposition maximum, pourvu que nous ayons un bon objectif et que nous voulions avoir des traces circulaires même pour les plus faibles étoiles. Sans surexposition, une image d'étoile dans ces conditions n'apparaît pas sur plus de 3 pixels de webcam, donc on peut supposer que son mouvement sur le capteur CCD n'excèdera pas $10 \mu\text{m}$ (2 pixels). Posant $L=10 \mu\text{m}$ dans la formule, on établit les valeurs suivantes pour le maximum de temps de pose (en secondes) pour différentes déclinaisons et distances focales :

$\delta \setminus f$	35 mm	50 mm	135 mm	200 mm
0°	4	3	1	1
30°	5	3	1	1
60°	9	6	2	1,5
70°	13	9	3	2
80°	25	17	6	4

En utilisant cette formule on peut aussi trouver le temps de pose maximum pour d'autres situations, par exemple pour des objectifs de différentes distances focales ou pour des étoiles très lumineuses dont l'image sur la photo est énormément surexposée. Dans cette dernière situation; l'image de l'étoile est bien plus grande que les 3 pixels présumés et son mouvement peut s'avérer plus important sans provoquer de distorsion visible.

Bien que le temps de pose soit sérieusement limité lors de l'utilisation d'une caméra statique, on peut se risquer à photographier des objets faibles en prenant plusieurs images, chacune avec un temps d'exposition assez court pour que l'image apparaisse presque comme un point. Ensuite, par superposition et addition, on obtient une image dont le temps d'exposition effectif équivaut au temps d'exposition total de l'ensemble des photographies. Cela augmente considérablement le champ stellaire de l'image résultante, comparativement à une exposition simple. Cependant, il n'est pas possible de photographier des objets infiniment faibles par sommation d'un plus grand nombre d'images puisqu'un objet trop faible photographié avec un temps d'exposition court ne dépassera pas le seuil de sensibilité de la webcam, ce qui le rend absent des images même si elles sont nombreuses.

Pour photographier les objets nébuleux faibles, il est nécessaire de suivre le mouvement apparent du ciel avec la webcam. Il n'est pas indispensable de suivre parfaitement ce mouvement car la méthode d'addition de plusieurs images de courtes poses permet de photographier des nébuleuses faibles même si des temps d'exposition en dessus d'une minute sont sources d'erreurs. La manière la plus facile d'obtenir un mécanisme de suivi pour ensemble webcam + objectif est de le fixer à un télescope (par exemple parallèlement au tube) sur une monture équatoriale possédant déjà un mécanisme de suivi automatique.

Le télescope est alors utilisé uniquement en tant que monture et son optique permet de contrôler et d'éventuellement corriger le suivi. Il est aussi possible d'utiliser un télescope sur monture équatoriale sans moteurs électriques. Le télescope est alors dirigé manuellement avec les molettes de mouvements lents afin de conserver une étoile (pas forcément dans la zone que l'on souhaite photographier) au centre du champ de vision du télescope. Cependant pour que cette méthode soit efficace, la monture doit être très stable sinon les vibrations du contact de la main avec les molettes de mouvements lents seront transmises à la webcam, ce qui ruinera l'effet de suivi souhaité.

Les télescopes sur montures azimutales avec mécanisme de suivi contrôlé par ordinateur sont de plus en plus répandus. Ils permettent de conserver un objet particulier au centre du champ de vision mais avec de tels télescopes, l'image tourne autour de son centre ! C'est pourquoi ce type de télescopes, bien que parfait pour l'observation, n'est pas adapté en tant que monture avec suivi automatique pour l'astrophotographie.

Il est vrai que l'on peut additionner les images prises à l'aide d'un tel dispositif (en compensant l'effet de rotation par un algorithme approprié), mais le traitement de ces images est plus compliqué que celui des photographies prises à partir d'une monture équatoriale.

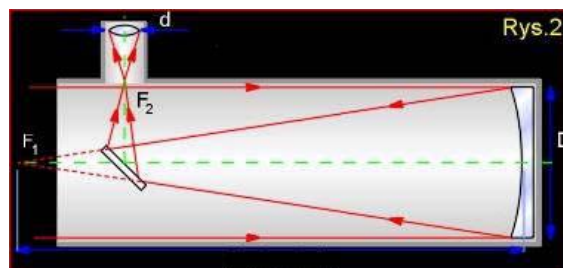
Certains de ces télescopes peuvent être configurés pour fonctionner en mode équatorial (par exemple ceux de la série Meade ETX), il faut donc les prendre en considération. Si, de plus, ce genre de télescope a la possibilité de viser automatiquement un objet sélectionné à partir d'un catalogue d'objets stellaires, alors il devient une excellente monture pour l'ensemble webcam et objectif photographique. En effet, on se débarrasse ainsi du problème de la fastidieuse recherche avec la webcam, pourvu, naturellement, qu'on la monte dans l'axe du tube afin d'avoir superposition des centres de leur champs de vision.

On peut alors utiliser le mécanisme de recherche et de suivi contrôlé par l'ordinateur afin de viser l'objet voulu. On peut de plus vérifier avec le télescope que l'objet souhaité est bien dans le champ de vision si celui-ci est trop faible pour être directement visible en exposition simple, sans traitement informatique.

2.4 Télescope amateur

Lorsque la webcam est fixée à un télescope amateur de focale d'environ 1000-2000mm et de diamètre de 10 à 25 cm, on a la possibilité de prendre en photo les cratères de météorites sur la lune, les planètes et (après application d'un filtre approprié) des taches solaires. Si l'on veut observer le ciel profond et photographier les objets de Messier, la caméra doit être adaptée pour supporter les longues poses. On aura aussi besoin d'un télescope de distance focale $f=300-500$ mm et de diamètre d'ouverture de 5 à 10cm. Il sera aussi nécessaire d'avoir un mécanisme de suivi automatique pour le télescope afin de suivre constamment l'objet observé pendant les prises de vues. Un télescope ordinaire, souvent disponible dans les écoles, parfois oublié et/ou rarement utilisé, peut être astucieusement remis au goût du jour grâce à une webcam car il peut être facilement adapté à l'observation par une telle caméra CCD. Le type le plus commun de télescope est le télescope de type Newton. Si vous n'en avez jamais utilisé jusqu'ici, alors examinons-le d'un peu plus près.

3. Le Télescope - Fonctionnement et paramètres.



Le télescope de type Newton a été le premier télescope à réflexion à être inventé, il est donc caractérisé par un système optique très simple. La lumière réfléchiée par le miroir primaire est redirigée par un miroir plan secondaire vers le côté du tube optique, au foyer, où se situe un oculaire ou tout autre récepteur de lumière. Habituellement on utilise un miroir parabolique comme miroir primaire ce qui assure une bonne qualité d'image (sans distorsions). Généralement, les télescopes de ce type sont caractérisés par un rapport focal élevé (le rapport entre la distance focale du miroir et son diamètre), ce qui les rend parfaitement appropriés pour l'observation des plus faibles objets.

Le gros tube qui constitue la partie principale du télescope est appelé tube optique, cependant, la

partie la plus importante du télescope est le miroir principal ou miroir primaire, qui est le collecteur de lumière. Ce sont la taille et la forme de ce miroir parabolique qui sont décisives pour la résolution du télescope et sa capacité à percevoir les objets faibles. Un second élément important du télescope est son miroir secondaire qui redirige la lumière provenant du miroir principal vers le foyer. Au foyer, qui est habituellement placé sur le côté du tube optique, on place un oculaire. Cela permet de contrôler la netteté de l'image. C'est aussi là que l'on va installer la webcam. Le diamètre le plus commun pour un oculaire est 1,25 pouces (plus le diamètre est grand, plus le champ de vision est grand). Avec un tel diamètre il est très facile d'installer la webcam; si l'oculaire est d'un autre diamètre (cas rare), il faudra en tenir compte lors de la commande de l'adaptateur. L'oculaire associé au collecteur de lumière est un système de lentilles à travers lequel passe le faisceau de lumière, concentrée par les miroirs. C'est grâce à cet oculaire que l'image peut être vue nette et grossie. Il est possible de fixer une lentille de Barlow entre le collecteur de lumière et l'oculaire, ce qui multiplie la distance focale du télescope (x2,x3,x4,...). De cette façon on augmente le grossissement, malheureusement c'est au détriment de la luminosité.

Grâce à sa structure simple, le télescope de Newton est le type de télescope le plus souvent construit par les amateurs. Comme dans tout télescope par réflexion, le miroir secondaire est placé sur le trajet de la lumière incidente, il en occulte donc une partie, ce qui ne gêne pas trop car la zone occultée ne représente généralement qu'un faible pourcentage de la surface du miroir principal. La taille de ce type de télescopes dépend naturellement du diamètre du miroir principal et de sa distance focale, la longueur du tube optique étant proche de cette dernière.

Le champ de vision d'un télescope est plutôt réduit et habituellement, avec de la chance, on ne voit dans l'oculaire que l'objet visé. Mais alors comment le trouver dans le ciel ? C'est là que le "chercheur" devient utile. Un "chercheur" est une petite lunette permettant de gagner du temps lors de l'orientation du télescope vers l'objet souhaité. Il peut être calibré à la lumière du jour. Trouver dans le ciel l'astre que l'on veut observer nécessite de toutes façons du temps et des efforts, même avec un "chercheur". (Les débutants peuvent s'entraîner à trouver la Lune.) Partant de là, avant de commencer les observations, il est conseillé d'acheter une carte du ciel avec la région du ciel qui vous intéresse puis d'établir une stratégie : la "route" des objets célestes que vous allez observer et/ou utiliser comme repères. Il est toujours astucieux de commencer par des objets faciles à trouver puis d'augmenter progressivement la difficulté. Le problème suivant est la mise au point [de l'image] du télescope. Si, une fois l'ensemble réglé et correctement dirigé, on ne voit toujours pas l'objet visé, c'est généralement un problème de mise au point. Le moyen le plus simple de le résoudre est de commencer par régler la mise au point de sorte que les objets terrestres alentour soient visibles (les arbres à l'horizon, une cheminée ou une antenne sur un bâtiment éloigné), puis de revenir sur l'objet souhaité afin d'effectuer les derniers réglages.

Le tube optique est fixé sur une monture. Une monture peut être azimutale (avec déplacements horizontaux et verticaux) ou bien (c'est mieux) équatoriale, ce qui permet de suivre la dérive dans le ciel des objets en guidant le télescope selon un seul axe. Une monture azimutale peut être plus ou moins transformée en monture équatoriale en inclinant la monture jusqu'à ce que son axe vertical soit incliné par rapport à l'horizon d'un angle égal à la latitude du lieu d'observation, φ (par exemple en plaçant un coin faisant un angle de $90^\circ - \varphi$, sous la monture). Une fois le télescope fixé à la monture et orienté correctement, on peut le diriger avec les contrôles de mouvement lent. Pour les observations longues (par exemple avec une webcam adaptée à la longue pose), un système automatique de suivi du mouvement apparent du ciel sera nécessaire, mais pour les observations de courte durée le contrôle manuel est amplement suffisant. Parfois, pour une meilleure qualité des observations avec une webcam, il est même conseillé de laisser dériver l'objet à travers le champ de vision.

4. Notre observatoire

La description qui suit concerne un exemple d'ensemble Télescope de type Newton avec webcam Philips. Leurs paramètres sont donnés ci-dessous :

Webcam (Capteur CCD) :

taille 3.87 x 2.82 mm

résolution 640 x 480 pixels

taille d'un pixel 5.6 micromètres x 5.6 micromètres

Télescope :

Diamètre de la lentille principale 76 mm

Grossissement max. 350x

Focale 700 mm

Chercheur 5x24 mm

Oculaire 4 mm, 12.5 mm, 20 mm

Barlow 2x, 3x

Exemples de grossissements théoriques de l'oculaire 35x 70x 175x

5. Quelques formules

Familiarisons-nous un peu avec les paramètres du télescope et de la webcam ainsi qu'avec les formules communes aux deux. Cette discussion sera utile pour une planification efficace des observations avec un matériel donné.

La résolution angulaire d'un télescope définit la distance angulaire minimale de deux objets célestes proches pour qu'ils soient vus distincts. Ce paramètre dépend du diamètre D , de la lentille, et de la longueur d'onde de la lumière utilisée, λ selon la relation :

$$\rho = 1.22 \lambda / D \text{ [rad]}$$

Pour convertir ρ en secondes d'arc à partir des radians, il faut multiplier le résultat par le nombre de secondes par radian, c'est-à-dire 206 205. Bien que selon la formule plus le diamètre est grand meilleure est la résolution, en pratique, la résolution des observations terrestres n'est jamais supérieure à 1 seconde d'arc (et usuellement bien plus petite), à cause des distorsions introduites par l'atmosphère. Un grand diamètre n'assurera donc pas une amélioration sensible de la résolution, cependant une grande surface collectrice de lumière permettra d'observer des objets moins lumineux.

Le grossissement angulaire, G , ne dépend strictement que des distances focales de l'objectif et de l'oculaire ; plus la focale de l'objectif sera grande et plus celle de l'oculaire sera petite (c'est-à-dire plus leur rapport sera grand), et plus le grossissement sera important :

$$G = f_{ob} / f_{oc}$$

Avec : G - le grossissement du télescope, f_{ob} - focale de l'objectif, f_{oc} - focale de l'oculaire

[5]

Un autre paramètre important pour un télescope est son rapport focal, qui décrit la luminosité d'un objet visible à travers celui-ci. Le rapport focal est défini par le rapport du diamètre d'une lentille sur sa distance focale :

$$A = D / f_{ob}$$

[6]

Plus A est grand, plus les objets de faible luminosité seront visibles.

Un paramètre très important est la taille du champ de vision :

$$\Theta = 2 \arctg (d_{det} / 2 f_{ob}) \text{ [rad]}$$

où d_{det} correspond à la dimension linéaire du capteur CCD - dans le cas de la webcam Vesta Pro, le champ visuel de la caméra associée à un objectif photographique ($f=50$ mm) est de 4,4 x 3,2 degrés, et le champ visuel d'une webcam associée à un télescope ($f=2000$ mm) n'est que de 6,6 x 4,8 minutes d'arc. Comme on peut le voir, les instruments de courte focale doivent être utilisés pour l'observation d'objets

de grande taille angulaire. Sinon, pour avoir une bonne image, il serait nécessaire d'assembler une mosaïque d'un très grand nombre de photographies. Dans le cas de l'observation d'objets dont on veut le plus de détails possibles, un autre critère est important : celui qui donne la distance focale optimale du télescope pour un diamètre donné, égal à la taille d_{pix} d'un pixel de la matrice CCD. Pour une longueur d'onde d'observation λ donnée, on a :

$$f_{\text{ob}} \approx (D \cdot d_{\text{pix}}) / (0.51 \lambda)$$

Ainsi, pour l'observation de Saturne ($\lambda_{\text{max}} \approx 550 \text{ nm}$) avec un télescope de 76 mm diamètre (comme celui décrit plus haut) et une webcam Vesta Pro, la focale idéale pour le télescope serait de 1517 mm. Comme la focale réelle du télescope est de 700 mm, une Barlow sera nécessaire afin de la doubler.

6. Informatique et Logiciel

Bien évidemment, il faut plus qu'une webcam et un télescope pour enregistrer une image. Un ordinateur et des logiciels adaptés sont nécessaires. Le mieux est d'avoir un ordinateur portable. L'ordinateur lui-même n'a pas à être particulièrement performant, un modèle ancien suffit. Cependant un port USB est nécessaire pour la webcam (si l'ordinateur n'en a pas directement alors il faut trouver une carte interface USB à lui rajouter). Si la webcam a été adaptée pour les longues poses alors un port imprimante sera aussi indispensable. Il ne faut pas oublier de s'en assurer, d'autant que de nombreux modèles récents n'en ont plus. [7]

Le choix est vaste parmi des logiciels disponibles, la plupart étant des freewares. En général il faut un logiciel pour gérer la caméra et un autre pour traiter les données. Une carte du ciel numérique est aussi bien utile, comme par exemple Cartes du ciel (<http://www.stargazing.net/astropc/>), Skymap (<http://www.skymap.com/>), ou Starry Night (<http://www.starrynight.com>). Ces logiciels sont téléchargeables sur Internet.

Nous recommandons K3CCD TOOLS pour contrôler la caméra, il est disponible sur Internet : <http://www.pk3.org/Astro/software.htm>. Une autre solution est d'utiliser le programme Astrovideo (<http://ip.pt/coaa/astrovideo.htm>), disponible en shareware (il faut l'acheter au bout de 21 jours). Voir aussi note [8]

Un logiciel de traitement d'images qui mérite toute notre attention est Iris, disponible sur <http://www.astrosurf.com/buil/us/iris/iris.htm>.

On peut aussi se servir d'un logiciel plus simple comme Astrostack (<http://www.astrostack.com>), même s'il possède moins de fonctions.

Voir aussi note [9]

Le défi suivant est l'installation de la webcam CCD et des logiciels nécessaires. Avec MS Windows XP, les pilotes pour Vesta et ToUcam sont automatiquement chargés. Les versions plus anciennes de MS Windows requièrent le chargement des pilotes depuis un CD.

7. Préparatifs pour l'observation

Avant de commencer les observations du ciel, il faut considérer où et quels objets on veut observer. Il est important de choisir un lieu assez sombre pour effectuer les observations. Concrètement, cela signifie qu'il faut s'éloigner le plus possible de la ville. Cependant, si l'on ne peut échapper à la périphérie de la ville, il convient de choisir un endroit où la lumière ne créera pas trop de parasites à nos images (le plus sombre sera le mieux). Sur le lieu d'observation, il convient de s'assurer d'une source d'électricité, même si l'on utilise un ordinateur portable sur ses propres batteries, car par une nuit froide, une batterie devant fournir de l'énergie pour un ordinateur en fonctionnement permanent plus une webcam ne sera probablement pas suffisante pour plus d'une heure d'observations. Un autre point important à prendre en considération concerne les objets visibles dans le ciel à un jour donné, car la Terre et les planètes tournent autour du Soleil ainsi que sur leur axe. Ainsi certains objets seront difficiles à observer et il convient de vérifier précisément quels objets seront visibles et quand. C'est à ce stade que les logiciels de cartographie du ciel précités deviennent intéressants.

Il vaut mieux commencer les observations par l'apprentissage de la reconnaissance de l'hémisphère où l'on se trouve. Dans l'hémisphère Nord, le meilleur repère est l'Etoile Polaire, qui est située presque exactement au pôle nord du ciel. Comment la trouver ? Le meilleur moyen est de trouver la constellation de la Grande Ourse (ou grande casserole) qui nous amènera naturellement à l'Etoile Polaire. La Grande

Ourse est une constellation visible dans le ciel tout au long de l'année dans nos contrées. Si l'on prolonge le côté de la casserole opposé à la poignée, de 5 fois sa longueur, on tombe sur l'Etoile Polaire.

Toutes les planètes, et la Lune de notre ciel, sont proches de l'écliptique et, grosso modo, se déplacent le long de celle-ci. La Lune, le corps le plus brillant dans le ciel après le Soleil, ne s'écarte pas de l'écliptique de plus de 5 degrés au nord ou au sud. Il lui faut autant de temps pour tourner autour de la Terre que pour effectuer une rotation autour de son axe, c'est pourquoi on ne peut voir qu'une seule face de la Lune depuis la Terre. Selon l'angle par lequel arrive la lumière sur cette surface, on peut observer le phénomène des phases de la Lune. Ces phases sont très utiles pendant les observations de notre satellite naturel. La meilleure phase pour l'observation est le premier quartier puisque pendant cette phase les cratères et les montagnes projettent une ombre à la frontière entre les côtés sombre et éclairé. Cette frontière s'appelle le Terminator. Pendant le premier quartier, on voit le terminator directement par le dessus et les ombres sont les plus longues.

A part la Terre, huit autres planètes gravitent autour du Soleil. Cinq d'entre elles sont visibles à l'oeil nu. La lumière des planètes vient en fait d'une réflexion de la lumière du Soleil à leur surface, c'est une différence importante avec les étoiles qui produisent leur propre lumière. On peut reconnaître les planètes dans le ciel par le fait qu'elles ne scintillent pas. Leur éclat est constant et régulier. Pour observer les planètes il faut vérifier au préalable lesquelles sont visibles pour un mois donné. Les planètes sont très brillantes et se trouvent toujours proches de l'écliptique, ce qui signifie qu'on les trouvera toujours dans l'une des douze constellations du zodiaque au travers desquelles passe l'écliptique. Les planètes peuvent se trouver dans diverses configurations par rapport au Soleil et à la Terre, ce qui a des conséquences sur leur luminosité. Mercure et Vénus, les planètes intérieures, sont toujours au voisinage immédiat (angulairement) du Soleil, et il est donc possible de les observer juste avant le lever, à l'est, ou après le coucher du Soleil à l'ouest, dans le ciel. Les planètes extérieures sont celles dont l'orbite est plus grande que celle de la Terre, par exemple Mars, Jupiter, ... Si l'une de ces planètes est juste à l'opposé du Soleil, on parle d'opposition. Dans ce cas, elle reste dans le ciel pendant toute la nuit. Lorsque deux ou plusieurs planètes sont proches dans le ciel, on parle de conjonction. Les conjonctions de planètes avec la Lune sont donc possibles. On voit donc qu'avec un peu de bonne volonté on peut choisir un objet à observer et commencer à agir. Mais comment faire ?

On peut commencer les observations en montant correctement la monture du télescope, de sorte que l'un de ses axes (appelé l'axe d'ascension droite) vise l'Etoile Polaire (Polaris). Dans les meilleurs télescopes, un viseur polaire permet ce réglage. Il est fixé parallèlement à l'axe d'ascension droite et l'Etoile Polaire doit être au centre de son champ de vision [10]. Les télescopes sans viseur polaire devront être installés de façon plus intuitive, en regardant le long de l'axe pour placer Polaris dans le prolongement de l'axe d'ascension droite. Il est important de configurer la monture avec précision car avec une configuration idéale, on peut compenser la dérive du ciel avec une seule correction sur les contrôles de mouvements lents. Malheureusement, il faut accepter que la mise en station ne puisse pas être idéale à moins d'utiliser un télescope sous coupole et complètement immobile car la procédure de mise en station a duré une ou deux nuits !. Donc, avec les contrôles de mouvements lents, il faudra aussi corriger la position selon l'autre axe (appelé axe de déclinaison), mais meilleure sera la mise en station et moindres seront les corrections nécessaires.

Sans télescope, si l'on ne dispose que d'une webcam et d'un objectif sur une monture photographique, alors il n'est pas nécessaire d'effectuer la procédure ci-dessus. Cependant il faut toujours s'assurer que le pied est stable et à proximité de l'ordinateur afin de pouvoir déplacer la webcam sans avoir à se déplacer soi-même.

Avant de commencer les photographies, il est recommandé de regarder les objets souhaités à l'aide d'une lunette ou de jumelles. Il sera plus aisé de trouver l'objet avec une lunette équipée d'une webcam pour en prendre l'image. Si l'on dispose de jumelles, il est opportun de s'en servir, car grâce à leur grand champ de vision et habituellement leur bonne luminosité, trouver les objets nébuleux est plus facile. Si l'on sait à quoi ressemblent les objets recherchés et leur situation précise par rapport aux étoiles, on les trouvera plus facilement avec une lunette.

A ce stade, on peut utiliser un "chercheur", un équipement nécessaire pour tout instrument d'observation sérieux. Le chercheur a un petit grossissement et un relativement grand champ de vision ce qui rend facile le pointage sur l'objet désiré. Il est usuellement installé en parallèle, sur un support double avec des boutons de réglage qui permettent d'ajuster le parallélisme des axes optiques du chercheur et de l'instrument, c'est-à-dire qu'il permet de s'assurer que le même objet est au centre du champ de vision à la fois du chercheur et de l'instrument principal. Cet alignement du chercheur peut être calibré de jour en visant de grands objets lointains. Une fois correctement réglé, le chercheur sera extrêmement utile.

Une fois pointé sur l'objet souhaité, l'instrument doit être immobilisé. Pour ce faire, il faut visser tous les boutons afin d'éviter tout mouvement accidentel. Il ne reste plus alors que les contrôles de mouvements lents. Leur objet est de modifier l'orientation du télescope avec une grande précision et l'un

d'entre eux (dans l'axe d'ascension droite) est utilisé pour suivre le mouvement (apparent) du ciel. Evidemment, cela ne concerne que les instruments sans système de suivi automatique.

Une fois le télescope correctement installé (et les observations directes terminées), il faut lui fixer la webcam à l'aide de l'adaptateur approprié. Pour cela on peut utiliser un adaptateur dont une extrémité est fixée à la place de l'objectif original de la webcam et dont l'autre extrémité est un tube de même diamètre que le diamètre standard des oculaires (1,25"). Ce tube peut alors être placé dans le collecteur à la place de l'oculaire. Pour certains télescopes, comme les vieux télescopes Uniwersal, il faut procéder différemment du fait que le diamètre de leurs oculaires est différent. Dans les vieux télescopes Uniwersal, il est possible de démonter une partie du collecteur ce qui permet d'accéder au filetage M42x1, à savoir le même que celui des objectifs photographiques. Dès lors on reprend le même protocole avec ces télescopes qu'avec les objectifs photographiques, on utilise un adaptateur fixé d'un côté à la webcam et possédant de l'autre le filetage M42x1, ce qui correspond aux 2 matériels cités plus haut (objectifs et télescopes).

La dernière étape des préparatifs est de brancher la caméra à l'ordinateur ; si l'on ne cherche pas à effectuer de longues poses, c'est-à-dire si l'on cherche à photographier seulement la Lune, le Soleil ou éventuellement les planètes lumineuses, alors se connecter au port USB est suffisant. Pour utiliser au maximum les fonctionnalités adaptées de la webcam, il faut brancher le câble additionnel au port parallèle.

Avant de prendre des photographies du ciel, il reste encore à effectuer la mise au point, c'est-à-dire à ajuster la distance entre la webcam et le miroir du télescope de telle sorte que le capteur CCD soit placé exactement dans le plan focal du miroir. Pour ce faire, il faut allumer l'ordinateur et lancer le programme d'enregistrement (et pré visualisation) des images à partir de la webcam.

8. Enregistrement d'images

L'enregistrement des images peut se faire de façon optimale avec le programme "K3CCD Tools" (que nous avons déjà évoqué) qui fonctionne bien avec les webcams Philips modifiées longue pose.

Ce logiciel possède de nombreuses fonctionnalités et le mieux est d'apprendre par l'expérience (et par la méthode des essais et des erreurs) en modifiant les paramètres et visualisant l'effet sur les images obtenues. Nous allons discuter ci-dessous de quelques options de base du logiciel sur la base de sa version 1.1.7.541 (il vaut mieux toujours avoir la dernière version, les mises à jour pouvant se faire à partir d'internet). Cette version du logiciel est libre mais l'auteur force l'utilisateur à télécharger régulièrement une nouvelle clé d'utilisation à partir de son site web à quelques semaines d'intervalle.

Si cette boîte de dialogue apparaît au lancement du programme :

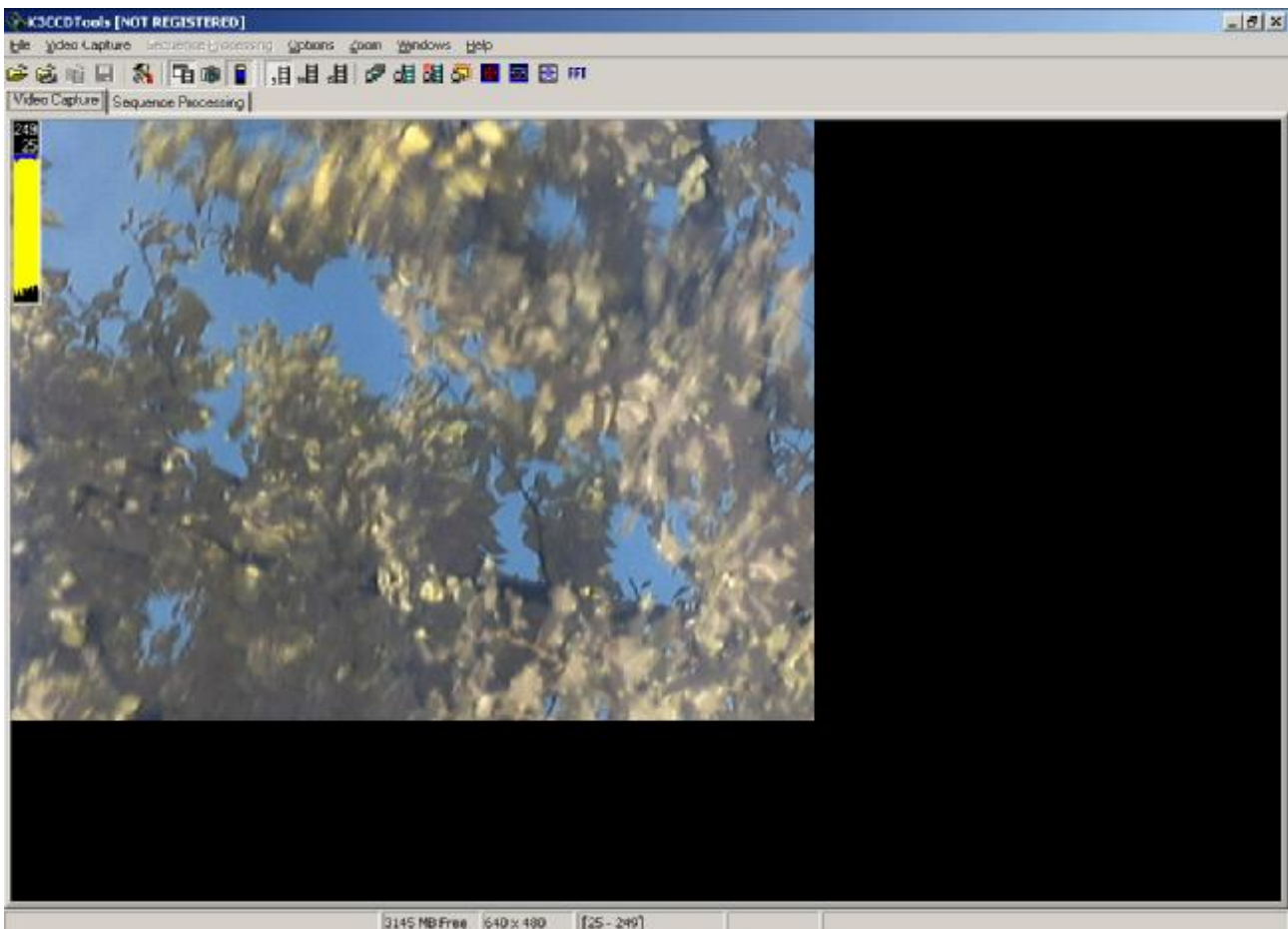


Alors il faut télécharger une nouvelle clé sur : <http://www.pk3.org/3CCDTools/freekey.htm>.

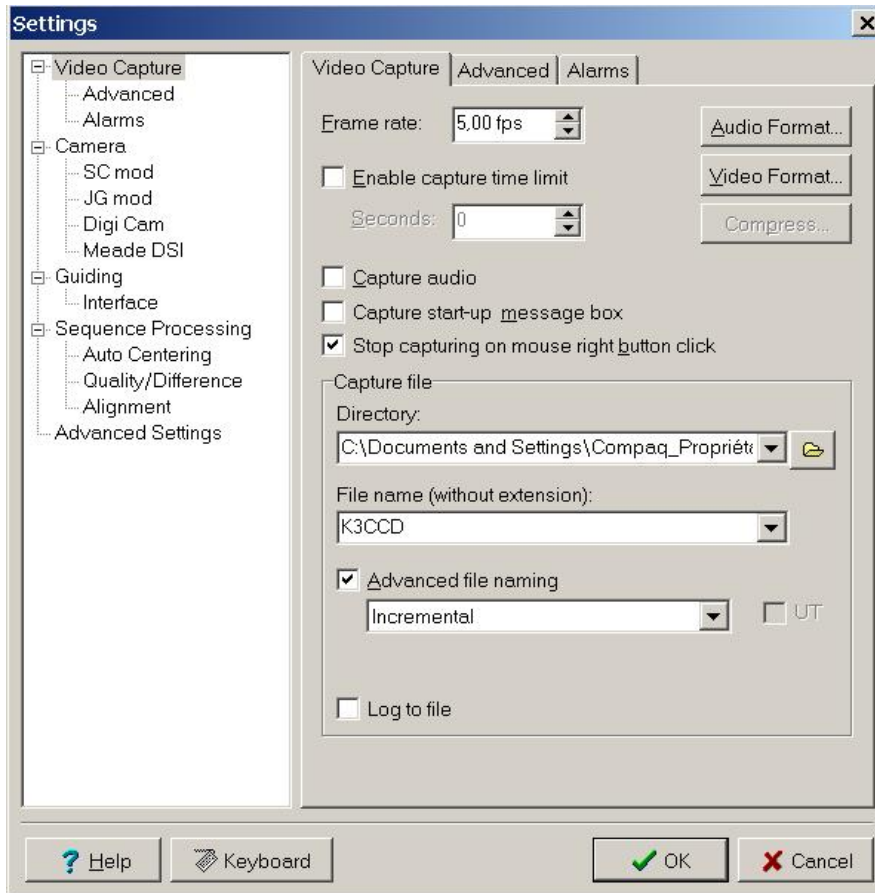
Pour ce faire, sélectionner tous les chiffres de la boîte blanche du site et copiez la dans le presse-papier (combinaison Ctrl+C), puis cliquez sur le bouton "Enter Key" qui nous amène à la boîte de dialogue suivante :



Cliquer sur "Paste key from Clipboard" (Collez la clé à partir du presse-papier) puis valider (Bouton "OK"). On peut à nouveau utiliser le programme pour quelques semaines. Cette étape terminée, la fenêtre principale du programme apparaît (ne pas oublier de connecter la webcam auparavant !):

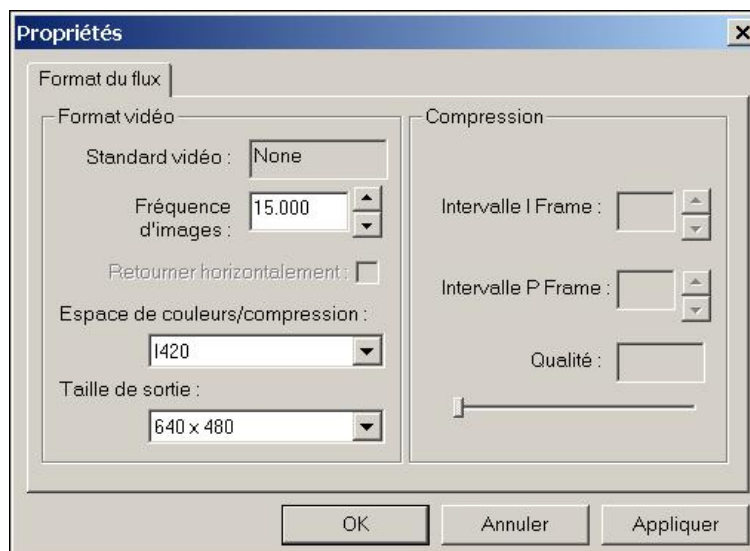


Avant de commencer les observations, il faut configurer les options principales du programme en sélectionnant l'occurrence "Settings" (Paramètres de configuration) du menu "Options" (Options). Dans la boîte de dialogue suivante :

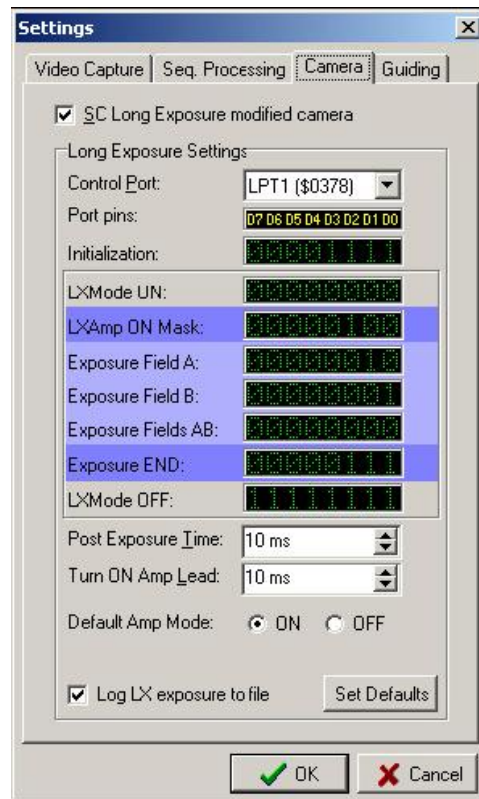



on doit mettre le taux de rafraîchissement ("Frame rate") à 5,00 fps. On peut aussi modifier le répertoire de travail ("Directory"), c'est-à-dire l'emplacement où les images seront stockées, ainsi que le nom générique des fichiers qui seront sauvés ("File name").

Un bouton très important de ce panneau en ce qui nous concerne est le bouton "Vidéo Format" qui ouvre la boîte de dialogue :

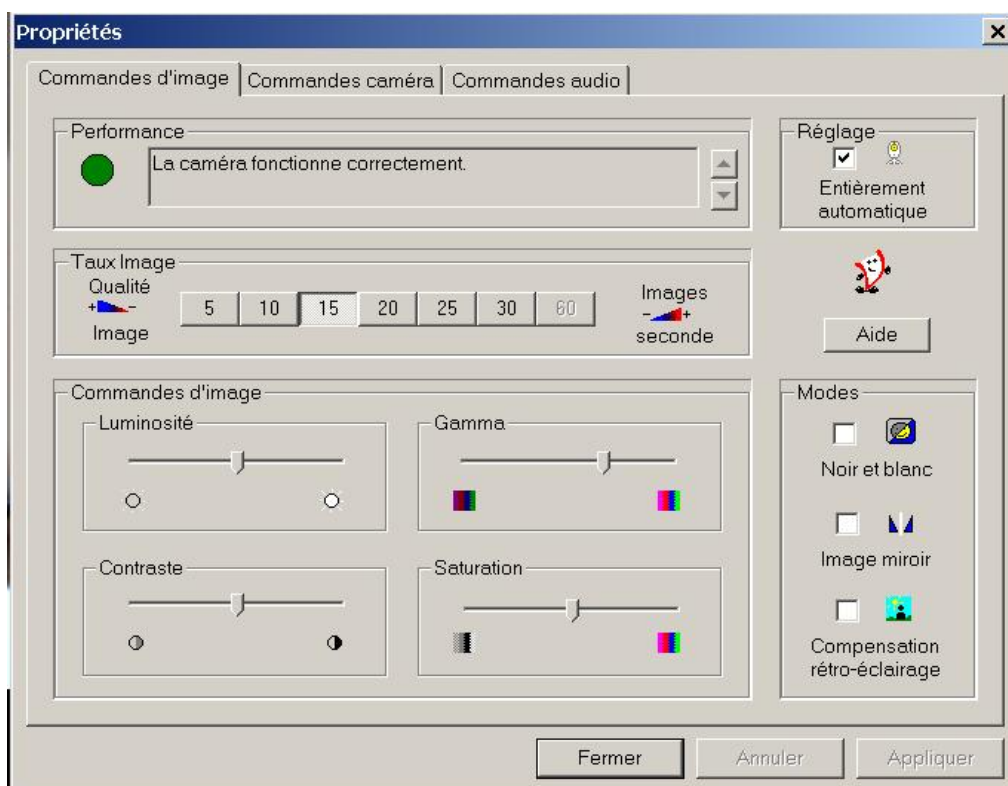


On peut alors définir la résolution des images à enregistrer, la résolution recommandée étant 640x480 pixels. Les onglets restants du menu "Settings" (à savoir "Seq. Processing", "Camera" et "Guiding") ne nous intéressent pas pour le moment car la configuration par défaut convient à notre utilisation. Lorsque l'on utilise une webcam adaptée aux longues poses, il faut s'assurer que l'option "SC Long Exposure modified camera" est bien cochée dans l'onglet "Camera" :



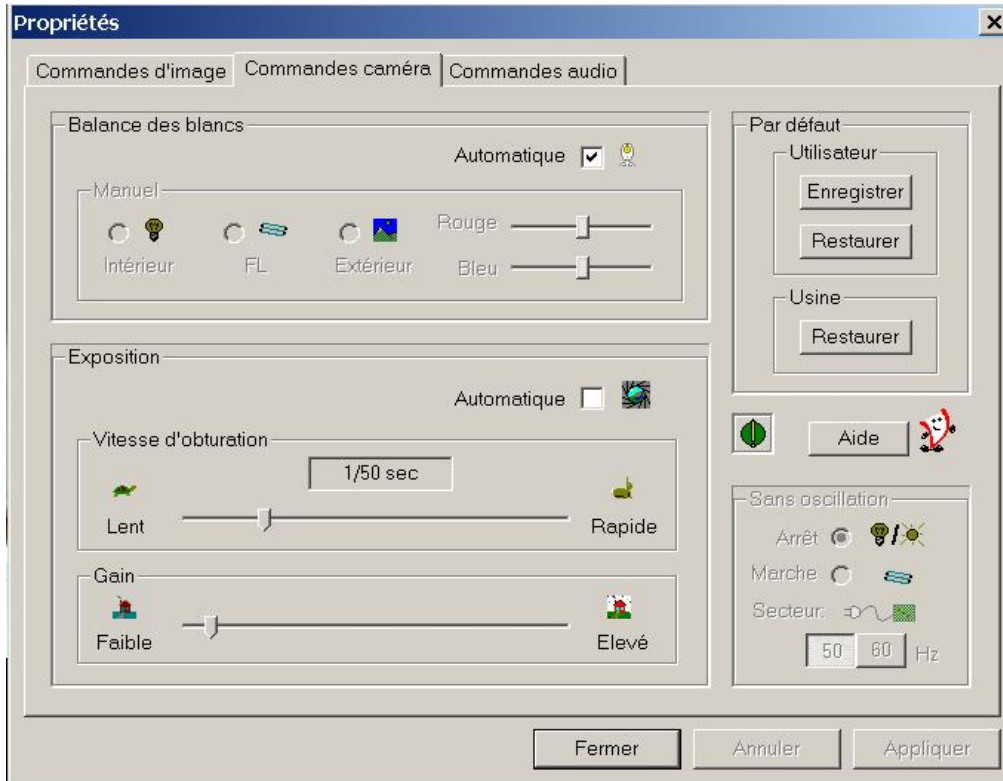
A ce stade il faut définir les paramètres de travail de la webcam. Pour cela il faut trouver l'option "Video Source" dans le menu "Video Capture" ou bien à partir du bouton . Cliquer dessus ouvre une boîte de dialogue dont l'apparence dépend du type de webcam utilisée.

Pour la Philips ToUcam cela donne :



Il est important d'enregistrer le nombre d'images par secondes ("Taux d'images") à 5 et de désélectionner toutes les autres. Les curseurs "Brightness" (Luminosité), "Contrast" (Contraste), "Gamma" (Correction Gamma), et "Saturation" (Saturation) peuvent être laissés tels quels. Une fois ceci fait, il faut aller sur


l'onglet "Commande Camera " qui ressemble à ceci pour la Philips ToUcam :



Cette boîte de dialogue est très importante pour notre utilisation car elles nous permettent d'ajuster les paramètres de travail de la webcam pour l'objet à photographier. Pour commencer, il faut désactiver la configuration par défaut en décochant les boîtes "entièrement automatique " des zones "Réglage" de la commande d'image et "auto" de la Balance des blancs dans l'onglet de commande de la caméra (cf exemple de la ToUcam). Il faut choisir une des configurations pour la Balance des blancs bien qu'aucune d'entre elles ne soit la meilleure pour l'astrophotographie. Il semble que les couleurs soient moins affectées par le choix de "FL" mais expérimenter les autres possibilités est une bonne chose. On sélectionne aussi l'option "Arrêt" de la zone "Sans oscillation" (Sans scintillement).

Déconnectez également l'exposition automatique. Il reste alors deux curseurs importants : " Vitesse d'obturation " et "Gain". Le premier sert lorsque l'on n'utilise pas de longs temps d'exposition, par exemple pour photographier la Lune. Déplacer le curseur changera la durée pendant laquelle la webcam enregistrera la lumière donc en d'autres termes, ce curseur permet d'augmenter ou de réduire la quantité de lumière enregistrée. Plus l'obturation sera rapide (curseur vers "Rapide"), plus l'image sera sombre. Il faut faire attention car déplacer le curseur trop loin sur la droite aura pour effet la disparition de l'image : une image noire apparaît. Ce curseur est sans effet lorsqu'on utilise une webcam adaptée aux longues poses. La meilleure solution revient donc à déplacer le curseur loin vers la gauche.

L'autre curseur ("Gain") définit l'amplification du système électronique transformant la lumière en signal électrique. Plus l'amplification est importante (curseur vers la droite), plus la webcam est sensible et plus l'image est brillante, mais aussi plus le bruit est important. La position optimale du curseur dépend de l'objet observé. Prendre des images d'objets brillants (Lune, planètes, étoiles, ou amas d'étoiles), permet de travailler avec une amplification pas trop importante (curseur positionné entre 0 et mi-course) car cela permet de réduire le bruit tout en conservant une luminosité suffisante de l'image. En revanche, pour photographier des objets de faible intensité lumineuse (des galaxies, des nébuleuses), conserver une faible amplification c'est prendre le risque de ne pas enregistrer l'objet du tout. Il faut donc augmenter l'amplification en gardant alors à l'esprit qu'il est nécessaire d'enregistrer plus d'images pour compenser l'augmentation du bruit.


Une fois les paramètres correctement définis, on peut fermer la boîte de dialogue et retourner à la fenêtre principale de K3CCD Tools. Il faut maintenant s'occuper de la mise au point. Si l'image issue de la webcam n'est pas visible à l'écran, cliquer le sur bouton de prévisualisation . Si le bouton est enclenché et qu'aucune image n'est visible, placer une torche en face du télescope ou de l'objectif : peut-être que l'image est trop sombre pour être visible ! Il est très difficile d'effectuer la mise au point à partir d'images du ciel car celles-ci sont très sombres et que si la mise au point n'est pas parfaite (et aux tous débuts c'est le cas), alors il on n'a aucune chance de voir un objet céleste (à part la lune peut-être). C'est

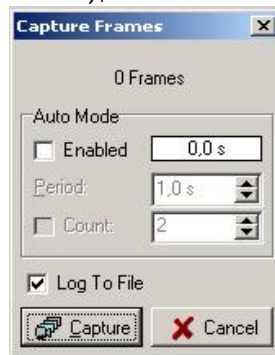
une explication courante aux échecs des premières tentatives de photographie du ciel à l'aide d'une webcam.

On peut se fixer comme règle de commencer le réglage de mise au point à partir d'un point très lumineux (un lampadaire par exemple) assez éloigné (au moins 100 mètres, le plus loin possible étant le mieux), bien que pour les observations on recherche préférentiellement un site à l'abri des lumières. Pendant cette opération on ne se sert pas de la longue pose, donc on utilise le curseur de vitesse d'obturation ("Shutter speed"). Ne pas oublier que l'image ne doit pas être trop brillante, voire saturée, à cause d'une configuration inappropriée. Lorsque l'image du lampadaire est nette, on peut viser un objet brillant dans le ciel, la Lune, une planète, une étoile très brillante, et affiner définitivement la mise au point. Il est important/pratique d'utiliser un objet très lumineux dans le ciel pour effectuer cette opération car alors on n'utilise toujours pas la longue pose ce qui permet de visualiser rapidement les modifications de mise au point (et pas après un délai d'une seconde). Cependant après chaque manipulation sur la mise au point il vaut mieux attendre un peu que la monture se stabilise et que l'image cesse de bouger.

Lorsque l'image est nette, on peut commencer à prendre les photographies. Il y a quatre façons d'enregistrer des images :


1. Capture d'une seule image

Lorsque l'on clique sur  (capture single frame), une boîte de dialogue apparaît :



où une image est enregistrée à chaque clic sur le bouton "Capture". Lorsque l'on clique sur "Close" (Fermer) un film constitué des images enregistrées est sauvé sur le disque dur. Il est aussi possible de passer en mode automatique en cochant la boîte "Enabled" (Activé) et en définissant l'intervalle de temps entre deux captures successives (champ "Period", pour Période).

2. Capture d'une séquence vidéo (enregistrement d'un film)

En cliquant sur , le programme commence à enregistrer un film à la vitesse (par exemple 5 images par seconde) définie dans l'onglet "Contrôles d'image de la fenêtre "Video Source" (Source vidéo). Un clic droit sur la souris arrête l'enregistrement.

3. Timer de capture vidéo (enregistrement de films avec intervalle de temps prédéfini)


En cliquant sur , une fenêtre apparaît :






Fenêtre sur laquelle on peut définir la durée ("Duration") d'un film, l'intervalle ("Period") entre deux sous séquences, et éventuellement combien de séquences doivent être enregistrées ("Repeat Count" après avoir sélectionné l'option). Si "Repeat Count" n'est pas activé, les films seront enregistrés jusqu'à l'appui sur le bouton "Stop" (Arrêter) ou "Close" (Fermer). Les films sont enregistrés à la vitesse définie

précédemment dans l'onglet "Image controls" (Contrôles d'image) dans la fenêtre "Video Source" (Source vidéo).

4. Longue pose

En cliquant sur , une fenêtre apparaît, sur laquelle on peut contrôler le fonctionnement de la webcam en mode longues poses :



On peut y définir le temps de pose ("Exposure Time"), à partir de 0,5 s avec un pas de 0,5 s, ou bien indiquer au programme le nombre d'images à prendre via le champ "Repeat Count" ou bien de prendre des images avec un intervalle de temps défini dans le champ "Repeat Period" (sinon les images seront prises les unes après les autres). Le bouton  montre la prévisualisation ("Preview") des images capturées, le bouton  initie l'enregistrement ("Record") d'un film et des images simples peuvent être acquises grâce au bouton Pose Simple  ("Single Exposure").

Cette fenêtre sera souvent utilisée lors des photographies d'étoiles et d'objets nébuleux. Il faut simplement se rappeler de la nécessité de brancher le câble additionnel au port imprimante de l'ordinateur et, pour les vieux modèles Philips Vesta, de bien positionner l'interrupteur du boîtier de la webcam.

Et pour finir, la tâche la plus importante : trouver l'objet et le placer au centre du champ de vision de la webcam. Si la webcam est fixée sur un télescope, on peut utiliser un chercheur (et pour cela il fallait donc le régler correctement auparavant, voir plus haut). Lors de l'utilisation d'un ensemble webcam et objectif photographique on ne dispose pas de chercheur et il faut alors orienter la webcam en essayant de placer du mieux possible l'objet voulu dans le prolongement de l'axe de l'objectif. Il peut s'avérer judicieux de s'entraîner à cette méthode en journée ou en soirée en visant les lumières de la ville. Pour s'assurer que l'objet est bien dans le champ de vision de la webcam on peut comparer les images à une carte du ciel, si possible numérique.

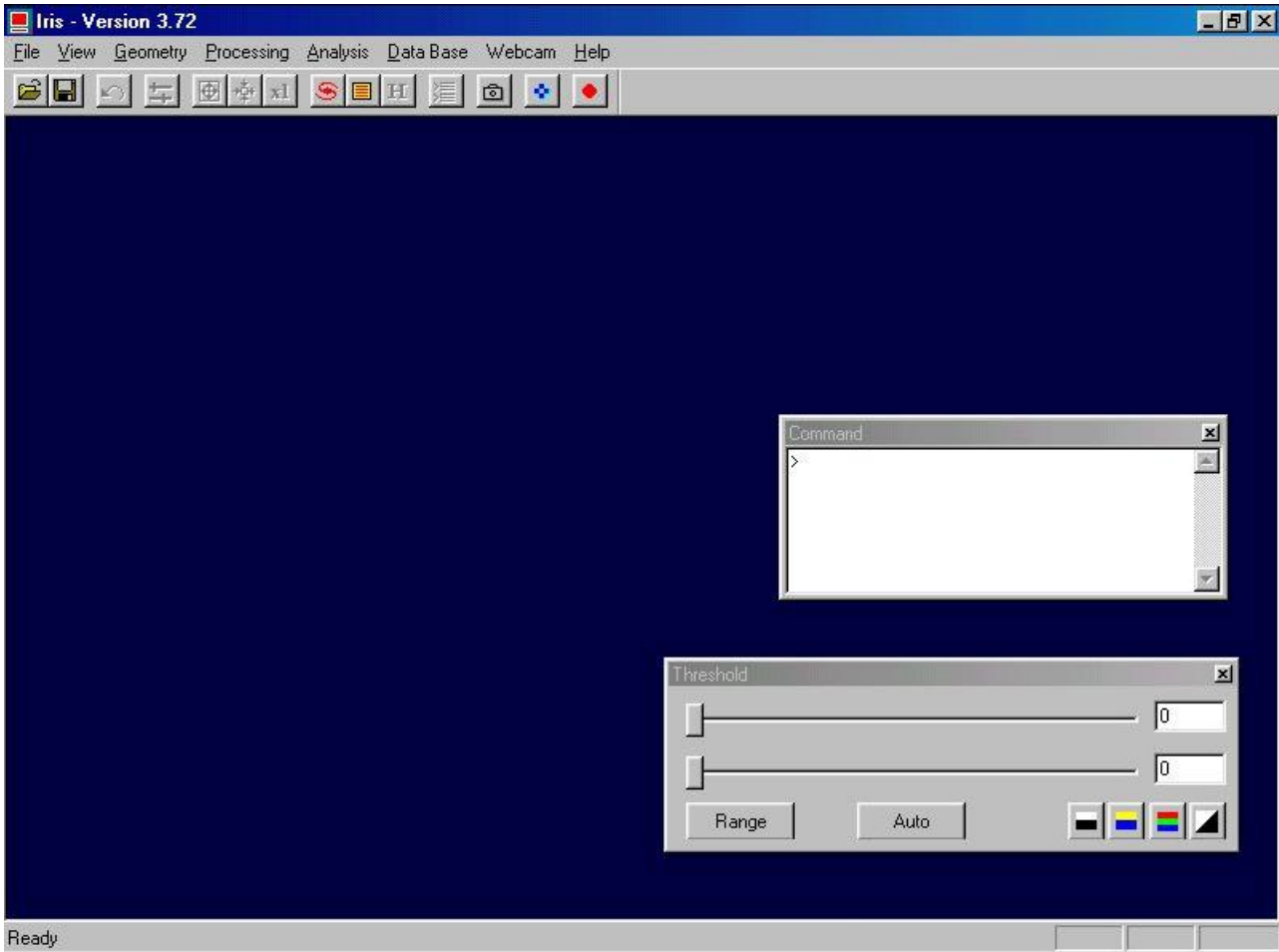
Pour photographier des objets nébuleux il peut être astucieux d'augmenter l'amplification (curseur de "Gain") pendant la durée de la visée afin de voir les plus faibles objets en une seule pose. Une fois l'instrument correctement orienté, on peut rabaisser l'amplification pour réduire le bruit. Lors de l'acquisition, on enregistre toujours un grand nombre d'images, que l'on utilise la longue pose ou pas. C'est une loi fondamentale lorsque l'on travaille avec une webcam car l'addition de nombreuses images réduit considérablement le bruit dans l'image finale et, par dessus tout, cela nous permet de photographier des objets si ténus qu'ils sont presque invisibles sur un cliché unique.

Avant ou après l'enregistrement d'un film de l'objet souhaité, il est intéressant de préparer une image sombre (le "dark") avec le cache sur l'objectif, enregistrement d'une image par la caméra lorsqu' aucune lumière ne lui parvient. Cette image doit être sauvegardée avec exactement les mêmes paramètres que les autres images. On peut aussi enregistrer un grand nombre de ces "darks" (le nombre peut dépendre du temps d'exposition d'un cliché, de sorte que cette opération ne prenne pas trop de temps). Par la suite, la soustraction de la moyenne de ces "darks" aux photographies permet d'éliminer une partie du bruit inhérent à la température relativement élevée d'une webcam sans système de refroidissement. Sur une image non corrigée de la sorte, le bruit est visible en tant que pixels "chauds", points brillants ne représentant pas d'étoile.

Pendant/Après que l'on enregistre les images du ciel et les "darks", on a encore beaucoup à faire : sommer les expositions simples, moyenner les "darks", les soustraire aux images et d'autres opérations encore visant à extraire l'information autant que possible des données enregistrées. Heureusement, cette partie du travail peut se faire confortablement installé à son bureau.

9. Iris - traitement de données

Une fois enregistrées, les séries de photos doivent être traitées numériquement. Grâce à ces traitements, l'image résultante sera incomparablement meilleure que les acquisitions individuelles. Il existe de nombreux programmes pour réduire le bruit, sommer les clichés et corriger les couleurs. Nous allons étudier ici le logiciel Iris, dont voici la fenêtre principale :



On peut sauver le fichier aussi bien en tant que clichés individuels qu'en tant que séquence vidéo au format avi. Pour en savoir plus sur pourquoi et comment le traitement d'images peut améliorer la qualité des images, nous recommandons la lecture de l'excellent article "CCD image enhancement techniques for high noise devices" (http://ccd.astronet.pl/en/papers/ccd_tech.pdf) de Grzegorz Wrochna.

La première chose à faire est de convertir le fichier avi. Voici la procédure :

Entrer le répertoire de travail ("Working path directory") dans le menu Fichier ("File"), dans la section Configuration ("Settings"), et choisir le type de fichier FIT ("File type = FIT") si ce n'est déjà fait. Pour convertir le fichier il faut choisir la conversion AVI dans le menu Fichier ("File") et entrer le nom du fichier AVI à convertir : name.avi ; dans la même boîte de dialogue, préciser le type d'images exportées ("Exported image type") : Couleur ("Colour") ou Noir et Blanc ("Black & White"). Dans le premier cas (Couleur), il faut fournir les noms de fichiers génériques pour la décomposition en Rouge (Red), Vert (Green), Bleu (Blue) (par exemple pour des photos de Jupiter cela peut donner jr, jb et jg). Pour les images en Noir et Blanc il faut fournir le nom de la bande panchromatique du fichier de sortie (par exemple ; i), le délai d'affichage (0,00 secondes) et pour finir il faut activer l'option "retirer les doublons" ("remove duplicated images"). Ceci fait cliquer sur "Convert" (Convertir). Une fenêtre de sortie apparaît alors dans laquelle s'affiche le nombre de bons clichés, par exemple 99. Dans le répertoire de travail se trouveront alors 99 fichiers nommés par exemple i1.fit, ..., i99.fit.

9.1. Préparation du "Dark"

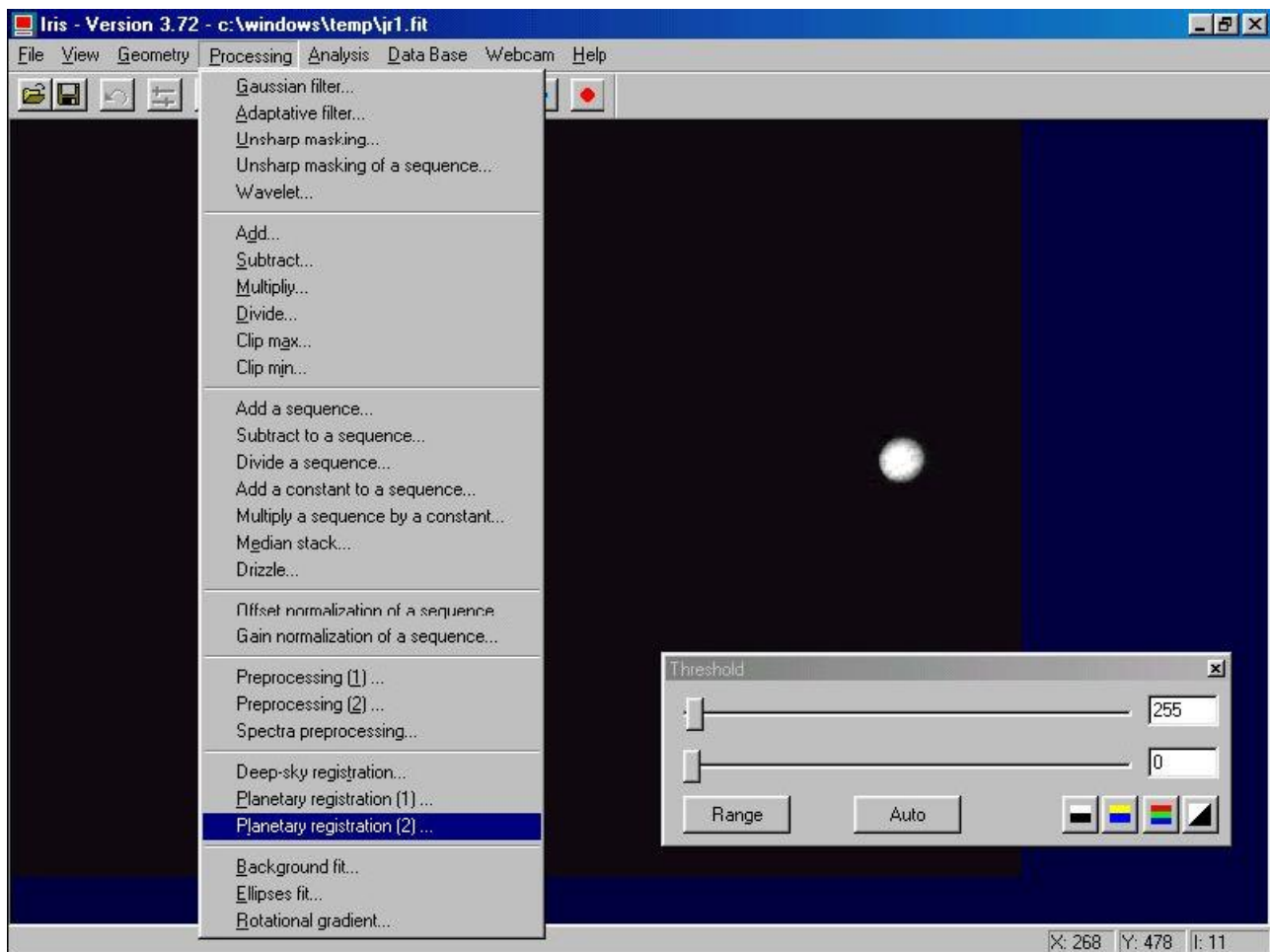
Enregistrer une séquence d'environ 100 clichés avec l'objectif couvert et les sauver en un fichier sous le nom de "dark.avi". Le convertir au format FIT selon la procédure décrite plus haut. Dans la fenêtre de commande ("Command window"), taper : *smedian2 i 99; save dark*.

La commande *smedian2* additionne 99 images, calculant leur médiane. La médiane élimine les valeurs extrêmes ce qui élimine les effets de radiations cosmiques entre autres. La commande enregistre le résultat dans le répertoire de travail au format FIT, par exemple sous le nom "dark.fit".

9.2. Pré-traitement

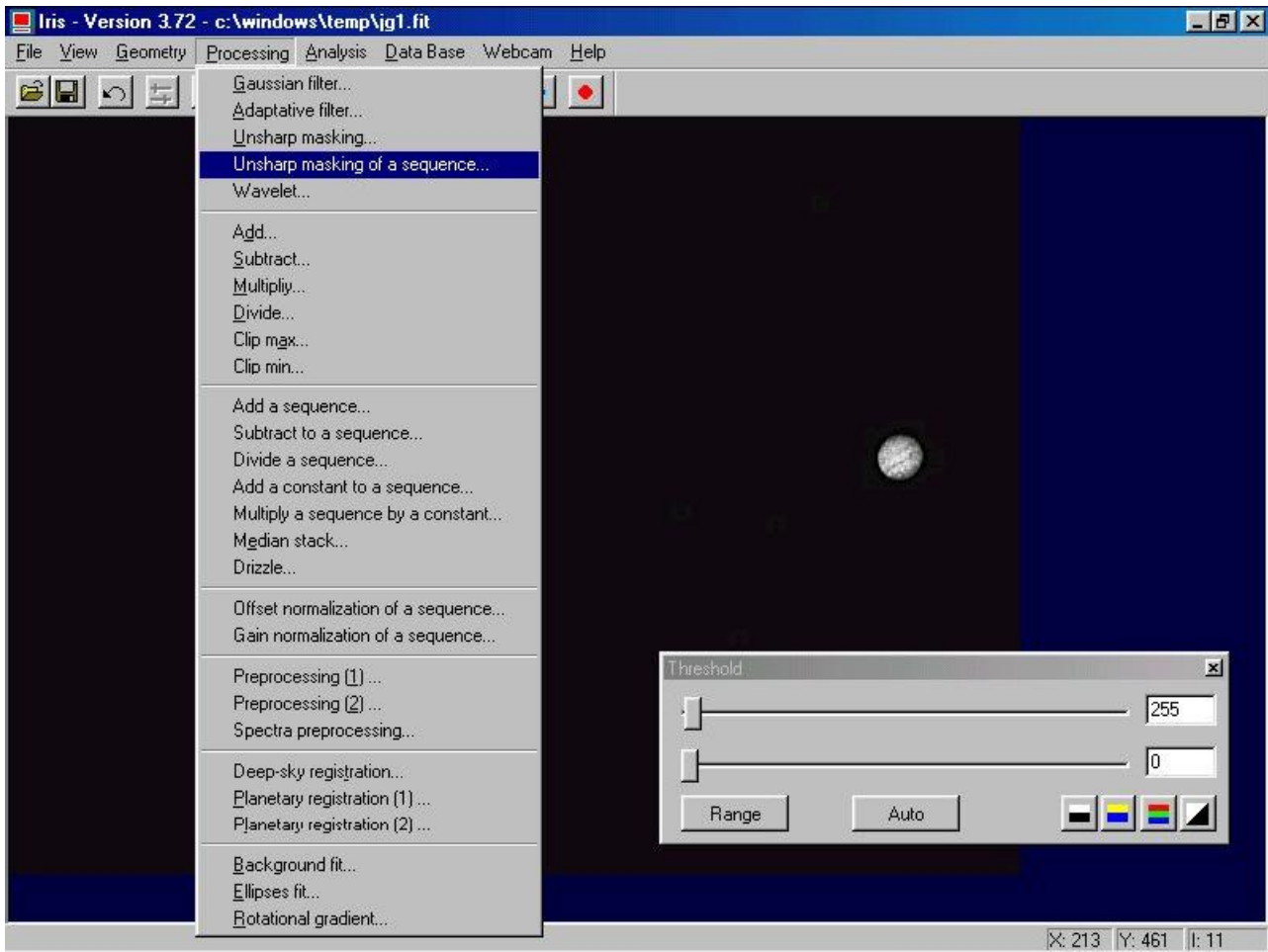
Enregistrer une séquence de 100 clichés par exemple, d'un objet intéressant, sous le nom de fichier *stars.avi*. Le convertir au format FIT selon la procédure décrite plus haut. Dans la fenêtre de commande taper : *sub2 and dark s 0 99*. La commande *sub2* va soustraire l'image *dark.fit* à chaque cliché et en sauver le résultat en tant que *s*.fit*. A la fin de l'opération, la dernière image restera à l'écran : *s99.fit*. Ajouter la première image *s1.fit* grâce à la commande *add s1*. Si l'on a pris les photographies avec un objectif immobile (ou bien que l'axe de la monture n'a pas été orienté correctement), alors il n'y a pas de recouvrement entre la première et dernière images. Choisir une étoile brillante et l'entourer d'un rectangle qui sera contenu dans les deux images puis entrer : *register s r 99*. La commande *register* déplace les clichés *s** de sorte que l'image de l'étoile soit au même endroit pour chaque image résultat *r**. Additionner les images résultantes : *add_norm r 99* et sauvegarder le résultat sur le disque en tant que *stars.fit* : *save stars*. On peut couper les bords qui n'ont pas été uniformément exposés à cause du recadrage des clichés avant sommation : *window 5 10 590 470 save stars2*. Les nombres représentent les coordonnées *x1, y1, x2, y2* des coins bas gauche et haut droit.

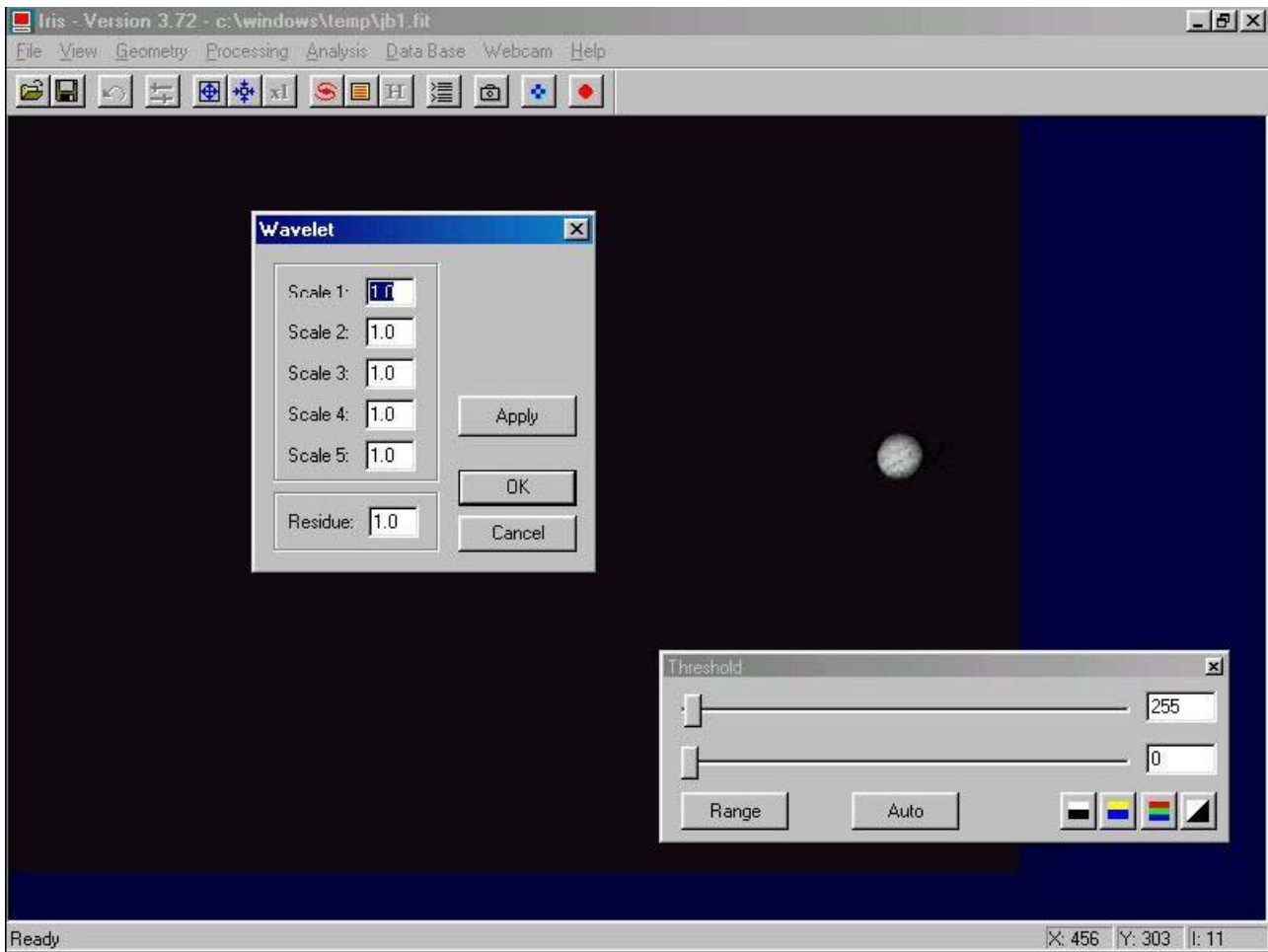
9.3. Traitement graphique



Utiliser le curseur dans la fenêtre de Seuillage ("Threshold window") pour définir le seuil bas afin de couper la majeure partie du bruit, et le seuil haut pour obtenir le contraste désiré. Il est possible d'essayer les filtres disponibles dans les menus "View" (Vue) et "Processing" (Traitement). Sauver le résultat au format bmp : *savebmp stars*.

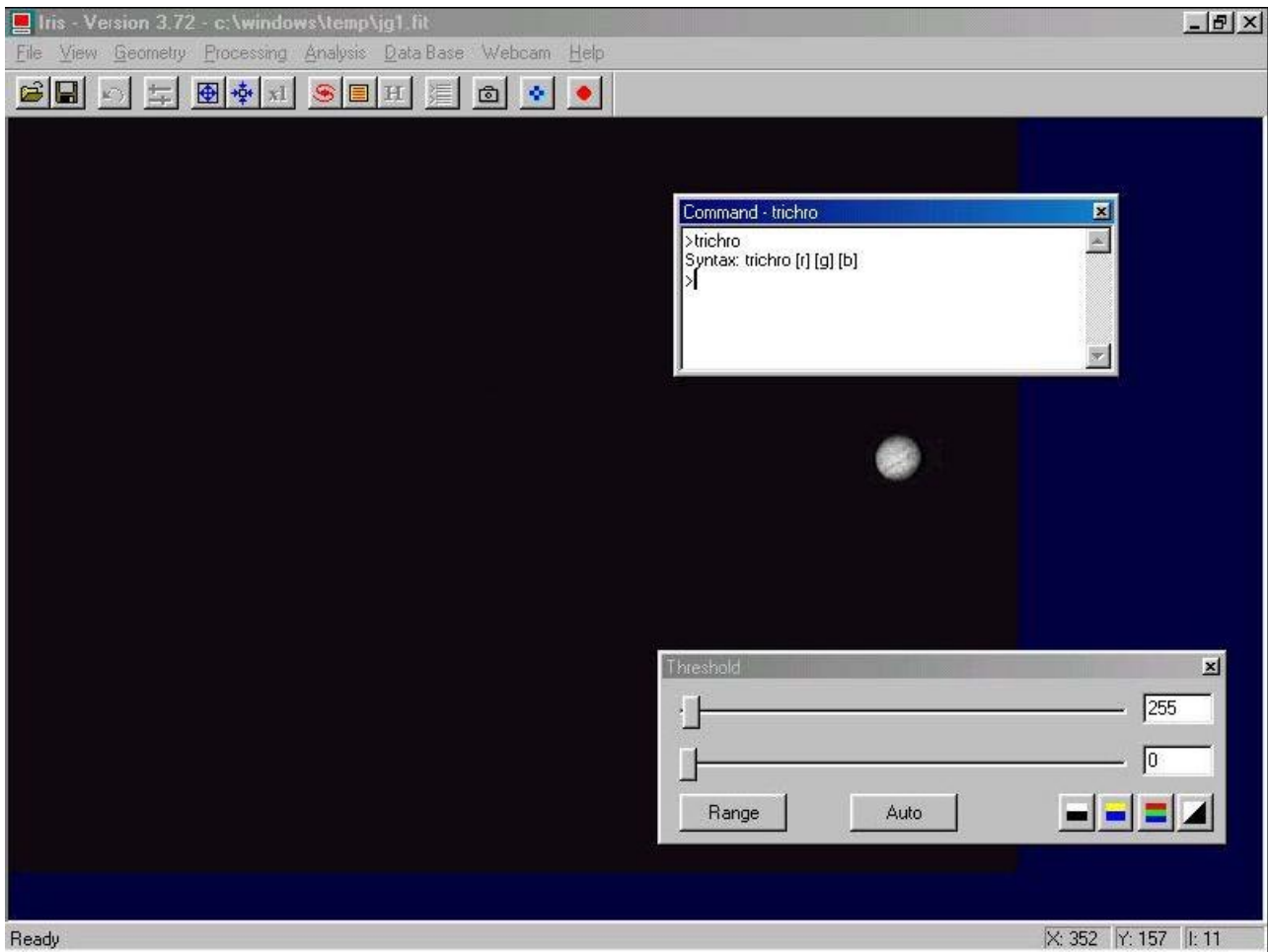
Si le résultat ne vous convient pas, il peut éventuellement être amélioré par l'utilisation de la fonction "unsharp masking of a sequence" qui augmente la qualité de l'image.





Si l'on veut augmenter encore la qualité de l'image, on peut utiliser les filtres disponibles sur la barre d'outils. Il est recommandé d'utiliser certains d'entre eux (par exemple le filtre Gaussien "Gaussian filter") et de comparer les résultats. "Wavelet" (Ondelettes) est une fonction très puissante qui extrait de l'image l'information sur les détails d'une échelle présélectionnée de l'image.

Lorsque toutes les possibilités pour l'amélioration de la qualité ont été utilisées, on peut réunir les canaux après l'addition des clichés dans chaque canal. Taper pour cela : `trichro [red][green][blue]`



10. Exemples de résultats

Jupiter

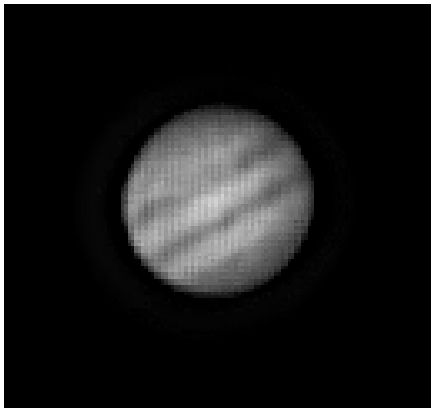


Image prise le 16 :04 :2003 vers
21 :00 h

Saturne

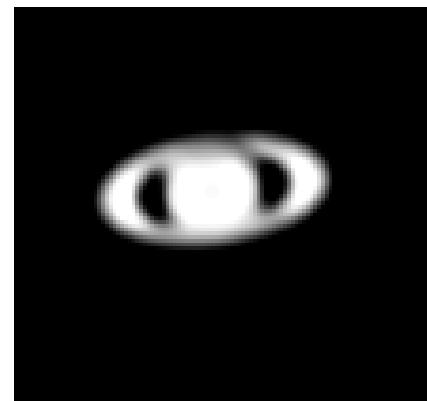
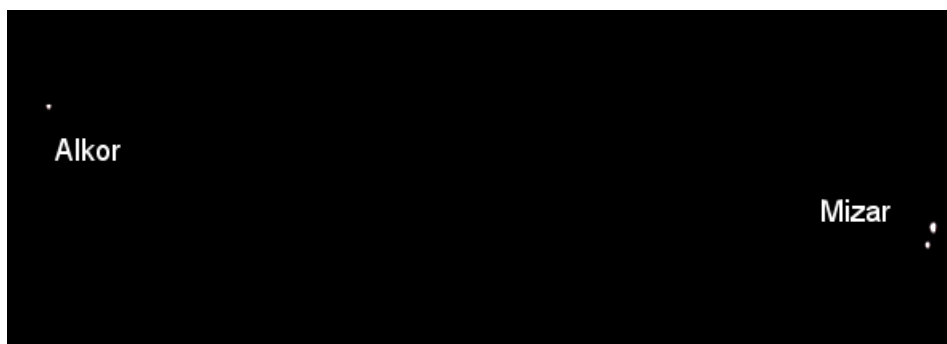


Image prise le même jour vers
21 :30 h

Alcor et Mizar



Coma Berenices (La chevelure de Berenices)



La qualité des images peut encore être améliorée en utilisant des logiciels graphiques. Deux programmes intéressants sont PaintShop Pro (disponible sur <http://www.jasc.com/>) et Gimp (disponible sur <http://www.gimp.org/>).

La photographie ci-dessus de Jupiter, préparée à partir du même film que les images des pages précédentes, montre ce qui peut être obtenu avec une image. Ce qui dépend uniquement de nous et de notre sens artistique.

Ceux qui ont commencé leurs "aventures numériques" en photographiant les objets les plus spectaculaires ne doivent pas s'arrêter après quelques douzaines d'images brillamment réussies. Les chercheurs avancés peuvent traquer les astéroïdes, ceux qui veulent véritablement participer à la recherche scientifique peuvent s'informer sur les programmes de surveillance des étoiles variables.

L'observation des courbes de luminosité même des étoiles les plus connues intéressent les astronomes professionnels. Il ne faut pas non plus exclure la possibilité de découvrir une nouvelle nova ou le halo entourant un sursaut gamma.

Il y a une quantité étonnante de phénomènes fascinants à la portée des webcams !

11. Companies sur Internet

Astrokrak - bagues d'adaptation pour webcams
<http://www.astrokrak.pl/>

DeltaOptical - instruments optiques, télescopes, accessoires
<http://www.astronomia.net.pl/>

12. Logiciels utiles

- K3CCD TOOLS
<http://www.pk3.org/Astro/software.htm>
- AstroVideo
<http://www.ip.pt/coaa/astrovideo.htm>
- Iris
<http://www.astrosurf.com/buil/us/iris/iris.htm>
- Astro Snap
<http://astrosnap.free.fr/>
- Cartes du Ciel
<http://www.stargazing.net/astropc/>
- Starry Night
<http://www.starrynight.com/>
- Sky Map
<http://www.skymap.com/>
- Autres logiciels pour l'astronomie - par exemple AstroCD
<http://astrocd.astronomia.pl/>

13. Bibliographie et webographie

- <http://sus.univ.szczecin.pl/~ecliptic/vesta3.htm>
un site très utile décrivant les mesures de variabilité d'étoiles à l'aide d'une webcam Vesta
- <http://ccd.astronet.pl/>
une description détaillée de l'installation et utilisation d'une caméra
- <http://www.astronomia.net.pl/>
- Comment faire de l'astronomie à l'école ?
<http://www.cft.edu.pl/astro/>

APPENDICE : IRIS (v3.81) - Quelques commandes utiles

Précisions

- image courante = image actuellement affichée
- T_ - commande trichromatique fonctionnant simultanément sur un ensemble de 3 fichiers : R.fit G.fit B.fit contenant les composantes rouge, verte et bleue de l'image.
- Les noms particuliers en italique (par ex. saturn.fit) peuvent être modifiés

Lecture et écriture sur le disque

- LOAD [file] - charge et affiche l'image à partir du fichier file.fit
- SAVE [file] - enregistre l'image courante dans le fichier file.fit
- SAVEBMP [file] - enregistre l'image courante au format bitmap (en tant que fichier .bmp)
- T_COPY [in_R] [in_G] [in_B] [out_R] [out_G] [out_B] [N] - recopie [N] fichiers in_R{i}.fit vers out_R{i}.fit

Affichage

- STAT - informations statistiques sur l'image courante
- VISU [t2] [t1] - affiche l'image courante en fixant les seuils à t1 et t2
- TRICHRO [R] [G] [B] - Affiche une image en couleurs de composantes R.fit G.fit B.fit
- BLINK [file1] [file2] [ms] - affiche successivement file1.fit et file2.fit toutes les [ms] millisecondes
- BLINK [file1] [file2] [file3] [ms] - comme ci-dessus pour 3 fichiers
- BLINKOFF - arrête le blink

Somme d'images

- ADD [file] - ajoute file.fit à l'image courante
- ADD_NORM [file] [N] - ajoute N fichiers file{i}.fit et les normalise pour éliminer la sursaturation
- SMEDIAN2 [file] [N] - calcule la médiane de N fichiers file{i}.fit
- COMPOSIT [file] [sigma] [iter] [satur] [N] ajoute N fichiers file{i}.fit, éliminant les valeurs différent de la déviation standard sigma ; iter est le nombre d'itérations, satur = 1 élimine la saturation
- T_ADD [R] [G] [B] [N], T_ADD [R] [G] [B] [N], T_SMEDIAN [R] [G] [B] [N], T_COMPOSIT [R] [G] [B] [sigma] [iter] [satur] [N] - versions trichromes des fonctions ci-dessus

Soustraction et multiplication

- MULT [c] - multiplie l'image courante par le nombre réel c
- MULT2 [file] [N] - multiplie N fichiers file{i}.fit par le nombre réel c
- T_MULT [cR] [cG] [cB] [N] - Pour $i=1\dots N$, $r{i}.fit = r{i}.fit * c$, etc
- SUB [file] [c] - soustraie file.fit de l'image courante et ajoute le nombre réel c
- SUB2 [in] [file] [out] [c] [N] - Pour $i=1\dots N$, $out{i}.fit = in{i}.fit - file.fit + c$

- T_SUB [R] [G] [B] [N] - Pour $i = 1 \dots N$ $r\{i\}.fit = r\{i\}.fit - R.fit$, etc.
- Ajout de couches
- REGISTER [in] [out] [N] - déplace les images $in\{i\}.fit$ en correspondance avec les images situées dans le rectangle dessiné à la souris ; Le résultat se trouve dans $out\{i\}.fit$
 - PREREGISTER [in] [out] [N] - une version précédente de REGISTER
 - RREGISTER [in] [out] [N] - déplace et effectue une rotation des images selon deux étoiles choisies via le menu Analysis / Select objects
 - COREGISTER2 [in] [out] [N] - déplace, effectue une rotation et normalise les images
 - COREGISTER [in1] [in2] - déplace, effectue une rotation et normalise $in2.fit$ à ajouter à $in1.fit$
 - PREGISTER [in] [out] [box] [N] - une version "planétaire" de REGISTER, fonctionne sur un carré de côté = 128, 256 or 512; on choisit le centre en dessinant un petit rectangle à la souris
 - PREGISTER2 [in] [out] [box] [N] - comme ci-dessus mais adapte l'image $i + 1$ à l'image i au lieu de la première
 - CREGISTER [in] [out] [threshold] [N] - déplace et ajuste un cercle au contour avec la valeur de seuil. A choisir dans le menu View/ Slice et dessiner un segment contenant le diamètre.
 - FILE_TRANS [in] [out] [threshold] [N] - déplace en accord avec le fichier SHIFT.LST, créée par les commandes précédentes (cela peut être modifié manuellement)
 - T_REGISTER [N], T_PREREGISTER [N], T_PREGISTER [N], T_CREGISTER [threshold] [N] - version trichromatique des fonctions ci-dessus, fonctionne sur les fichiers $r\{i\}.fit$ et ainsi de suite
- Choix des images
- BESTOF [file] [N] - crée une liste SELECT.LST et numérote les images à partir de la plus précise
 - SELECT [in] [out] - réécrit les fichiers $in\{i\}.fit$ dans $out\{i\}.fit$ dans l'ordre défini par SELECT.LST
 - T_SELECT - version trichromatique de SELECT, fonctionne sur les fichiers $r\{i\}.fit$ et ainsi de suite
- Couper un fragment
- WIN - coupe un rectangle dont les coins sont indiqués à la souris
 - WINDOW [X1] [X2] [Y1] [Y2] - coupe un fragment de l'image courante
 - WINDOW2 [in] [out] [X1] [X2] [Y1] [Y2] - coupe des fragments des images $in\{i\}.fit$
 - WINDOW3 [box] - coupe un carré de côté = 128, 256 or 512, dont on choisit le centre en dessinant un petit rectangle à la souris
 - WINDOW4 [in] [out] [X1] [X2] [Y1] [Y2] - même chose que précédemment pour la série d'images $in\{i\}.fit$
- Commandes complexes
- COMPUTE_TRICHO1 [MASTER] [R] [G] [B] [box] [M] [N] - une composition de PREGISTER, BESTOF (en accord avec MASTER, il est convenable de prendre MASTER=G), SELECT (M from N images) et TRICHO. Le résultat est @r.fit, @g.fit, @b.fit
 - COMPUTE_TRICHO1 [MASTER] [R] [G] [B] [threshold] [M] [N] - même chose que précédemment avec CREGISTER

Notes des traducteurs :

1. M42x1 , M pour métrique , 42 mm de diamètre, *pas* de 1 mm
2. Des adaptateurs pour d'autres marques répandues Nikon, Canon, Minolta ...sont disponibles auprès de <http://www.mecastronic.com/> , par exemple.
3. On peut également réaliser de bons achats sur ebay : www.ebay.fr ...
4. Connus sous le nom de doubleurs de focale, il existe aussi des tripleurs de focale. Ce sont les équivalents, en photographie, des lentilles de Barlow.
5. Il s'agit là du grossissement du système donnant une image définitive supposée à l'infini.
6. Par analogie avec l'objectif photographique on utilise aussi le nombre d'ouverture $N=f/D$ (voir plus haut) , on a évidemment $N=1/A$
7. Il existe dans le commerce des convertisseurs USB/parallèle , des descriptions d'adaptations de webcam, avec commande de la longue pose depuis un port série -ou même depuis un port USB ont été publiées sur Internet.
8. Un autre logiciel simple et intéressant est QCfocus, (qui permet de travailler en mode RAW) <http://www.astrosurf.com/astroqc/qcam/instqcf.exe>

9. Un logiciel simple et gratuit : Registax V3 : <http://registax.astronomy.net/>
10. Presque ...l'étoile polaire est à 45' environ du pôle nord céleste, utiliser l'utilitaire Polarisfinder pour régler finement la mise en station . Disponible auprès de : <http://www.optique-unterlinden.com/pratique/polarisfinder1.4-fr.htm>