

## **La photographie lunaire à haute résolution**

**Christian Viladrich**

### **Petite histoire récente de la photo lunaire amateur :**

J'ai commencé la photographie astronomique en même temps que l'astronomie, en 1974. A cette époque, j'étais en admiration devant les images planétaires et lunaires de Georges Viscardy. Elles étaient obtenues avec un Newton de 300 mm et semblaient complètement hors de portée du commun des mortels tant du fait de la qualité que du matériel utilisé. De mon côté, j'avais une lunette azimutale de 60 mm sur laquelle je fixais comme je pouvais un boîtier Nikomat. Puis plus tard, je suis passé au fameux C8 orange. La pellicule de choix était alors de Kodak Tri-X Pan.

Au début des années 80, Kodak a mis sur le marché une nouvelle pellicule révolutionnaire du fait de sa finesse de grain et de sa résolution, le SO 410, qui a ensuite évolué vers le SO 115, et qui finalement été renommé TP2415. Tout le monde était en admiration devant les images de Christian Arsidi et de Gérard Thérin.

Vers le milieu des années 90, la CCD qui jusque là paraissait un outil pour passionnés d'électronique et d'informatique a permis de franchir un nouveau bond en qualité entre les mains de Thierry Legault et Gerard Thérin. La CCD apportait un temps de pose 5 à 10 fois plus court que le vénérable TP2415. On passait de la seconde de pose au 1/10 s ce qui permettait de diminuer d'autant les effets de la turbulence.

Début des années 2000, un autre saut a été franchi avec les webcams qui ont permis de passer d'une cadence d'acquisition d'une image chaque 15 à 30 s (temps de lecture des caméras CCD d'alors) à des cadences de 10 à 20 images/s, augmentant la probabilité de gagner à la loterie de la turbulence d'un facteur 100 à 500. Rapidement, des logiciels ont été créés pour sélectionner automatiquement les meilleures images d'une série, les recentrer, les additionner et les traiter. Les progrès ont continué avec le "tuning" des webcams : installation de capteur noir et blanc (gain de 3 en sensibilité) et modification des drivers pour passer en mode RAW (i.e sans compression).

Puis un nouveau saut a été franchi vers 2005 avec l'arrivée d'une camera vidéo rapide à liaison USB2 directement utilisable pour l'astronomie : la Lumenera, (appelée ensuite Skynyx) et un peu plus tard la gamme des DMK. Il devenait alors possible de faire des acquisitions à grande vitesse (jusqu'à 60 image/s), sans perte de qualité d'image, et d'accéder à des capteurs de 1.6 M pixels voire plus.

Les images présentées ici témoignent de ces progrès réalisés sur les 30 dernières années. Les lignes suivantes indiquent les techniques mises en œuvre.

### **Le tube optique du C14 et son optimisation :**

Ne pouvant observer chez moi, je cherchais depuis longtemps un instrument lunaire / planétaire transportable dans les 300 mm de diamètre. Je m'étais fixé un poids maximal de 20 à 25 kg, correspondant à la limite de ma monture (Takahashi NJP), et aussi à celle de mes biceps...

L'option Cassegrain était tentante, mais pour 300 mm, les tubes optiques commencent à être lourds et longs, ce qui ne facilite pas la manipulation. Finalement, mon choix s'est fixé sur le C14 qui s'avère le compromis idéal dans mon cas (diamètre, qualité optique, poids,

encombrement, facilité de collimation, prix) moyennant quelques petites adaptations : l'installation d'un focuser motorisé et de ventilateurs de mise en température.

#### - Le Focuser Monlite 3"5/16 :

Du fait du shifting causé par le déplacement du miroir primaire pendant la mise au point, et de la stabilité très relative de la NJP supportant le C14 (et ses 30 kg de contrepoids), la mise au point à l'aide du système d'origine du C14 est relativement sportive.

J'ai donc installé rapidement un focuser (de type Crayford) Monlite 3"5/16 équipé d'un moteur pas à pas piloté par un boîtier Robofocus. Le pas est égal à 2 microns ce qui est largement suffisant. Le backlash de 30 microns est parfaitement corrigé par le logiciel du Robofocus. Les vibrations causées par le moteur pas à pas restent d'un niveau tout à fait acceptable.

La tolérance de mise au point à F/11 pour une aberration de défocus de  $\Lambda/8$  dans le vert est de plus ou moins 60 microns. En fait, quand les conditions sont bonnes, j'arrive à faire la mise au point avec une précision de plus ou moins 40 microns.

#### - Les ventilateurs :

Le deuxième problème évident du C14 est le temps nécessaire à la mise en température. Le volume d'air emprisonné par la lame de Schmidt est en effet autrement important que sur un C8. Le problème est renforcé par le fait que j'observe entre 900 m à 1500 m d'altitude alors que j'habite à 200 m. La différence de température atteint facilement 10 à 15°C entre l'endroit où je stocke l'instrument et l'endroit où j'observe. Il faut alors entre 3 et 5 h pour que le tube se mette en température ce qui interdit de travailler en première partie de nuit...

La solution m'a été fournie par la consultation du site web de Marc Jousset (ref[1]), qui détaille un certain nombre améliorations intéressantes qu'il a réalisé sur son C14, et en particulier l'installation de deux ventilateurs sur le barillet arrière. Cette manip est à la fois relativement rare parmi les utilisateurs, et assez répandues parmi ceux qui optimisent leur C14. J'ai choisi d'installer deux ventilateurs Noiseblocker (type S1) de 80 mm de diamètre achetés chez Sélectronic. L'avantage : pas de vibration (vitesse de rotation 1500 tr/mn, bruit 11 dB) et un rhéostat pour le réglage de la vitesse. Restait à faire les trous dans le barillet, ce qui signifie un démontage complet du tube. A mon grand soulagement, la société Médas à Vichy a bien voulu faire cette opération pour moi. Il y a donc maintenant sur le C14 un ventilateur qui aspire et un autre qui souffle, chacun étant équipé de son rhéostat et de son interrupteur (voir photo 1).

J'avais prévu initialement de monter une régulation de température pour piloter les ventilateurs de façon à maintenir la température du miroir à 1°C de celle de l'air (c'est en effet la tolérance pour ne pas avoir de dégradation de l'image). Mais pour le moment, je n'en ai pas ressenti le besoin.

#### - Autres optimisations possibles ... mais non effectuées :

Un certain nombre d'amateurs profitent du démontage du C14 pour revêtir l'intérieur du tube d'un revêtement Protostar (ref [2]) afin de diminuer les reflets. Je n'ai pas fait pour le moment cette opération car en photographie lunaire, le faisceau lumineux n'atteint pas les parois du tube optique. Les reflets et la diffusion sont plutôt à rechercher dans les tubes des Barlow ou dans la camera installée au foyer. L'autre risque, peut-être non avéré, est que le Protostar puisse fixer l'humidité ce qui pourrait avoir à la longue un effet ennuyeux sur le traitement des optiques.

Les amateurs qui utilisent le C14 pour réaliser des images du ciel profond bloquent aussi souvent le miroir primaire du C14 pour éviter que celui-ci ne se déplace pendant les poses, en particulier au passage au méridien (voir site web de Marc Jousset ref [1]). Le blocage du miroir devrait aussi assurer une meilleure stabilité de la collimation. Pour le moment, je n'ai pas fait cette modification car la collimation du C14 ne pose pas vraiment de problème pour la haute résolution.

Une dernière modification possible, plus rare, est l'échange du tube aluminium pour un tube carbone. Le gain concerne le poids (gain de 2 kg environ) et surtout une stabilité dimensionnelle beaucoup plus grande qu'avec l'aluminium. L'intérêt est donc surtout pour la photographie longue pose (en liaison avec le blocage du miroir primaire).

### **La camera video utilisée :**

Dans la suite des observateurs de planètes (Damian Peach en Grand Bretagne, Christophe Pellier en France, etc) mon choix s'est porté sur la camera Skynyx 2.0M, complété ensuite par la 2.1 M qui grâce avec son capteur de 1340 x 1024 pixels est bien adaptée à l'imagerie lunaire. Lumenera propose aussi un modèle avec un capteur plus grand, 1616x1232 pixels, la Skynyx 2.2M.

On notera que les cameras DMK semblent également très performantes.

La Skynyx 2.1 M permet une acquisition pleine trame jusqu'à 15 im/s (la vitesse d'acquisition maximale étant en fait limitée par la capacité du port USB2).

### **Le gain, le rapport S/N, et le nombre de bits ?**

Ce type de camera video présente trois types de réglages principaux :

- la vitesse d'acquisition (nombre d'images/seconde)
- le temps de pose,
- le gain.

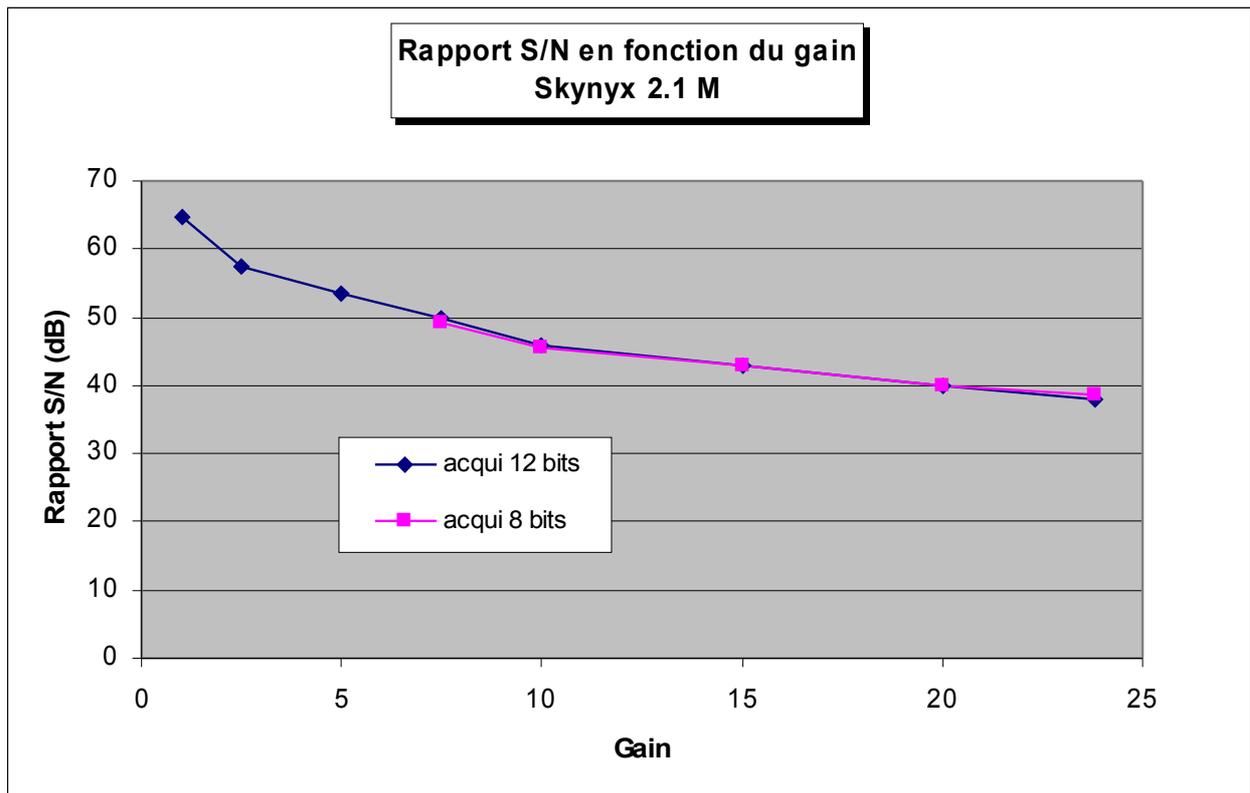
Pour corser le tout, on peut en outre choisir de faire l'acquisition en 8 bits (intensité des pixels codée de 0 à 255) ou en 12 bits (intensité codée de 0 à 4095).

La première question que je me suis posé est de savoir quelle était l'influence du gain sur le rapport signal sur bruit (S/N).

La 2.1 M est donnée pour un S/N de 65 dB. Si l'on se souvient que le rapport S/N exprimé en décibels est égal à  $20 \log (S/N)$ , alors un rapport S/N de 65 dB correspond à un rapport de S/N de  $10^{65/20}$  soit 1800, ce qui signifie que le bruit (essentiellement le bruit de lecture pour les acquisitions planétaire / lunaire) est 1800 fois plus faible que le signal.

Et le gain là dedans ? Les mesures que j'ai effectué ont montré que le temps de pose est directement inverse au gain. Autrement dit, le gain agit comme le réglage d'ISO sur un appareil photo. Bien évidemment, la sensibilité du capteur étant toujours la même, si le signal augmente (quand le gain augmente) pour un temps de pose donné alors le bruit doit augmenter aussi ... rien ne se perd rien ne se crée...

C'est effectivement ce que l'on constate : si on considère que le bruit est égal à l'écart type d'un offset obtenu dans le noir, on s'aperçoit effectivement que le bruit augmente linéairement avec le gain. Le rapport S/N diminue donc avec le gain, ce que montre la figure suivante :



Le tableau suivant donne aussi les valeurs de S/N en nombre de bits :

Gain	S/N	S/N en dB	S/N en nombre de bits
1	1735	64.8	10.8
2.5	758	57.6	9.6
5	476	53.6	8.9
7.5	315	50.0	8.3
10	195	45.8	7.6
15	138	42.8	7.1
20	100	40.0	6.6
23.8	80	38.1	6.3

En planétaire, j'utilise des valeurs de gains comprises entre 10 (Mars) et 15 (Jupiter et Saturne). Le rapport S/N est donc de 195, soit 45.8 dB, autrement dit de moins de 8 bits ( $2^8 - 1 = 255$ ). Il n'y a donc aucun intérêt avec ces valeurs de gains à faire des acquisitions en 12 bits, ce que confirme l'expérience.

Pour la lune, on a souvent affaire à des écarts de luminosité très importants. J'ai constaté qu'il était alors préférable d'utiliser des valeurs de gains inférieures à 10. Le rapport S/N passe alors au dessus de 255, soit au dessus de 8 bits. L'utilisation d'une acquisition 12 bits devient alors préférable ... du moins en théorie, la pratique ne montrant pas de différences évidentes.

Le problème, c'est qu'avec les acquisitions en 12 bits, la taille des fichiers est multipliée par 1.5. Il faut donc un disque dur plus gros, mais aussi ... plus rapide, car il y a 1.5 plus de données à écrire dans le même laps de temps.

Pour le solaire, les meilleurs résultats sont obtenus avec un gain compris entre 1 et 2, mais sans différence notable entre l'acquisition 8 bits ou 12bits (probablement du fait que le bruit dominant est celui de photons).

## **Le logiciel d'acquisition :**

Lucam Recorder (ref[3]), conçu par Heiko Wilkens, s'avère très bien adapté à l'imagerie planétaire/lunaire. On y trouve les fonctions de fenêtrage, histogramme, acquisition directe en RAM, intensité max, moyenne, médiane, etc. Les réglages (temps de pose, gain, etc) sont extrêmement fins (valeurs numériques au centième). La version 2 a été complétée en fonction des besoins exprimés par les utilisateurs. On ne voit pas trop maintenant quelle fonction serait à ajouter. Lucam Recorder pilote les Skynyx mais aussi les DMK.

Pour les Skynyx, le fichier de sortie peut être un fichier SER (équivalent de l'AVI mais supportant les formats 8 ou 12 bits), et il est aussi possible d'enregistrer chaque image d'une séquence en format fit. La meilleure option reste l'écriture en format SER car c'est elle qui permet d'obtenir la vitesse d'acquisition (nombre d'images par seconde) la plus rapide, le fichier produit étant plus petit.

Il est possible aussi de faire une acquisition directe en RAM de façon à augmenter encore plus la vitesse d'acquisition (l'écriture sur disque étant plus lente que l'écriture directe en RAM), mais bien évidemment la limite est fixée par la taille de la RAM (2 Go sur mon PC) qui est nettement insuffisante pour les acquisitions lunaires ou planétaires. En revanche, ce mode est intéressant pour les acquisitions solaires qui ne durent en général que 30 à 45 s (au-delà, on commence à voir des changements dans les détails de la photosphère).

## **Le PC et la taille des fichiers :**

L'inconvénient de ce type de camera rapide provient directement de ses avantages : du fait de la vitesse d'acquisition et du nombre de pixels de la matrice, les fichiers acquis deviennent rapidement très volumineux (6 à 8 Go pour une acquisition sur la lune avec la Skynyx 2.1M). Cela suppose de disposer d'un disque dur de grande capacité, ou d'utiliser un disque dur externe. 100 Go s'avère une bonne taille pour tenir une nuit. D'autre part, il faut que la vitesse d'écriture du disque dur soit suffisamment élevée pour suivre la vitesse d'acquisition de la caméra, ce qui est loin d'être évident. Sur mon PC portable équipé d'un disque dur interne 7200 tr/mn ATA100, je peux faire des acquisitions à 15 images/s en 8 bits, mais pas en 12 bits (je tombe alors à 10 images/s).

Pour pouvoir écrire en 12 bits à 15 im/s avec la Skynyx 2.1, il faudrait probablement deux disques durs internes montés en RAID 0 (mode stripping, l'écriture se fait alternativement sur les 2 disques durs montés en parallèle), il y a en effet quelques PC portables qui offrent maintenant cette possibilité. Il y a aussi les nouveaux disques flash SSD dont les performances à venir semblent très prometteuses (temps d'accès, vitesse d'écriture, consommation). J'ai pu faire quelques tests avec un disque dur externe monté en RAID 0 avec liaison IEEE 400 (plus rapide que la liaison USB2), mais je n'ai pas pu pour autant dépasser les 10 images/s en 12 bits, il faudrait peut-être passer à une liaison IEEE 800 ?

Au bilan, je fais l'essentiel de mes acquisitions lunaires en 8 bits de façon à privilégier la vitesse d'acquisition, je n'utilise l'acquisition en 12 bits que pour des zones très contrastées ... sans avoir d'ailleurs noté d'amélioration flagrante de la qualité par rapport au mode 8 bits.

## **La lune et la chasse aux reflets :**

Un des problèmes de la photographie lunaire, par rapport à la photographie planétaire, est l'apparition de reflets et/ou de lumière diffuse, particulièrement quand on travaille au

terminateur autour du premier ou du dernier quartier. Au foyer du C14, la lune fait 38 mm de diamètre, cela signifie que le pourtour avant en aluminium d'une Barlow en 1"1/4 va être illuminé par la lune, ce qui est une première source possible de reflets. Il faut éventuellement noircir l'avant du coulant de la Barlow pour limiter ce risque au maximum. Une autre option que j'emploie, est l'utilisation d'une Barlow de plus grand diamètre, la grande partie du faisceau lumineux incident passe alors par la lentille (et ne génère donc pas de reflet).

Mais après la Barlow, le faisceau est divergent. Il faut donc vérifier qu'il n'y a pas de reflets sur les parois en sortie de Barlow et coller le cas échéant de la Vénilla velours noir (ou du Protostar) à l'intérieur de la Barlow et des différents tubes allonges. Là aussi, on a intérêt à travailler en coulant 2" plutôt qu'en 1"1/4 afin d'éloigner les parois des tubes du faisceau lumineux, et d'éviter la formation de reflets à faibles angles d'incidence qui pourraient alors atteindre le capteur de la camera.

Et ... ce n'est pas fini. La face avant de la 2.1 M est très mal conçue. Il y a une plaque de plastique noire avec une ouverture rectangulaire pour le capteur. Mais cette plaque est extrêmement brillante, il faut absolument la recouvrir d'un revêtement noir (papier noir mat dans mon cas) en ne laissant juste que l'ouverture pour le capteur.

En revanche, il est inutile d'enlever le hublot qui protège le capteur. Il n'y a aucune différence au niveau des reflets (ou au niveau de la transmission dans l'UV pour la photographie du soleil en Ca K) ... et c'est plus difficile à nettoyer sans le hublot.

### **Attention au montage mécanique des bagues et des Barlow :**

Ces cinq dernières années ont vu le développement de la plus mauvaise "bonne idée" dans le domaine des oculaires et des porte oculaires : le système d'anneau de serrage et de coulant rainuré. Ça part effectivement d'une bonne idée à la base: l'anneau de serrage permet de ne pas marquer l'oculaire par des vis de serrage. Le coulant rainuré sur l'oculaire évite que celui-ci ne viennent à tomber si la vis se desserre légèrement. Le problème, c'est que les deux systèmes cohabitent très mal, et les oculaires / Barlow se mettent alors en travers. Comme le focuser Monlite a un anneau de serrage, j'ai dû refaire le coulant de plusieurs raccords pour avoir des coulants lisses et sans rainure. J'en ai aussi profité pour réduire le jeu entre le coulant et le porte-oculaire car ce jeu est systématiquement trop grand. Le but est d'avoir un contact franc et sur une bonne longueur entre les génératrices du coulant de la Barlow et du porte oculaire.

### **A quelle saison photographier la lune :**

Comme il ne se passe pas grand-chose sur la surface de la lune (au contraire des planètes et du soleil), autant ne faire des images que lorsque les conditions sont optimales. Cela veut dire lorsque la lune est la plus haute possible dans le ciel : soit l'automne pour le DQ et le printemps pour le PQ.

### **Les prévisions de seeing :**

Comme tous ceux qui n'ont pas la possibilité d'observer à domicile en ont fait l'expérience, il est rapidement démotivant de sortir le télescope dans l'attente d'un hypothétique trou de turbulence qui ne vient jamais. Il me faut 1 h pour aller sur le site d'observation, une heure pour être prêt à observer et autant pour démonter et revenir, et il y a chaque fois 100 kg de matériel à manipuler. Autrement dit, photographier le Dernier Quartier signifie passer toute la nuit dehors. Heureusement, depuis quelques années il existe pour l'Europe de l'Ouest un site de prévision de seeing ([www.meteoblue.com](http://www.meteoblue.com)). L'expérience pour ma région montre

effectivement que ce site donne des prévisions de la nébulosité très précise pour la nuit à venir, et que les prévisions de turbulence, même si elles ne sont pas fiables à 100%, sont tout de même une indication fort intéressante.

### **La mise en température du C14 :**

La présence des ventilateurs n'interdit pas de se mettre dans les meilleures conditions possibles. Je stocke donc le C14 dans un endroit le plus froid possible, et quand je peux, je le mets dehors pour qu'il se refroidisse avant de partir observer. En fait, le compagnon habituel du C14 est un thermomètre qui est fixé en permanence dessus et qui permet de suivre l'évolution de la température.

Arrivé sur le site d'observation, la première chose à faire est de sortir le tube optique et de mettre les ventilateurs en marche à vitesse max. Le télescope est alors posé au sol verticalement la lame vers le bas, ce qui est idéal car l'air chaud est en haut, ainsi que la partie chaude (le miroir). L'air froid envoyé dans le tube descend au fond du tube et repousse progressivement l'air chaud vers le haut du tube qui ressort aspiré par le ventilateur extracteur, tout en refroidissant au passage le miroir. Le but est de refroidir le miroir (source de chaleur, donc de turbulence interne) à une température proche de la température ambiante (idéalement à 1°C près). Je vérifie la température extérieure quand j'arrive sur le site pour mesurer l'écart par rapport à la température à l'intérieur du tube, et aussi pour voir si la température varie ensuite au cours de la nuit.

Lorsque le montage du télescope et des accessoires est terminé (en gros au bout d'une heure), j'arrête un ventilateur pour ne conserver à vitesse min que celui qui fonctionne en extraction. Côté lame de fermeture, il y a toujours une résistance chauffante (en général entre 50% et 100% de la puissance) et le pare buée.

Ensuite, c'est la collimation. Je la fait sur une étoile située à la position où se trouvera la lune 1h environ après le début prévu de l'acquisition. Sur le C14, la collimation varie avec l'inclinaison du télescope (il y a par exemple une différence notable entre une hauteur de 50° et 20°), et avec le basculement au méridien. L'origine du problème est probablement la fixation du miroir primaire. Un montage permettant de bloquer le miroir (comme décrit sur le site de Marc Jousset) permettrait probablement d'améliorer les choses, mais finalement, la collimation n'est pas un problème en planétaire car le comportement est assez prédictible. L'expérience montre que le transport en voiture affecte très peu la collimation du C14 (tube transporté verticalement lame en bas), et d'une nuit sur l'autre, pour le même objet situé au même endroit, la différence de collimation est en général assez minime, voire même nulle.

S'il s'agit de photographier le DQ, débute alors une grande période d'attente car il vaut mieux arriver le plus tôt possible sur le site. Il faut attendre ensuite que la lune arrive à la bonne hauteur et que la turbulence fasse preuve de bonne volonté. Je continue donc la surveillance de la turbulence externe et interne, de la température, du taux d'humidité (pour les risques de buée sur la lame) et bien sûr de la collimation, le télescope étant toujours pointé sur une étoile.

### **Un ennemi méconnu, la dispersion atmosphérique :**

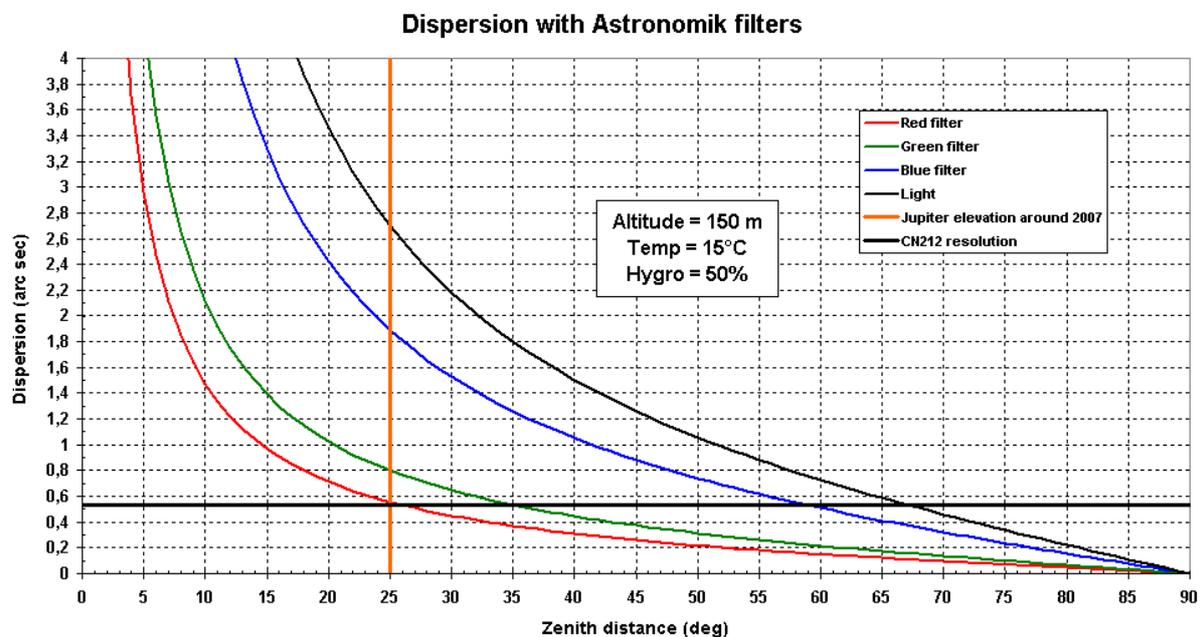
La turbulence a un effet d'autant plus faible que la couche d'air traversée est faible (donc que l'astre est haut). Mais avec un instrument de 300 mm ou plus, un autre phénomène entrent en jeu : la dispersion atmosphérique. L'atmosphère agit comme un prisme qui décompose la lumière selon la longueur d'onde, l'image bleu est plus haute dans le ciel que l'image verte, qui est elle-même plus haute que l'image rouge. C'est ce qui explique le phénomène de rayon vert

au coucher du soleil. La valeur de la dispersion est en général supérieure à la résolution d'un 350 mm.

Une méthode pour combattre cet effet est de le compenser avec un système correcteur de dispersion atmosphérique (composé de deux prismes d'angle variable créant une dispersion inverse à celle produite par l'atmosphère, voir site de JP Prost [2] et site [3])

J'utilise une autre solution, plus rudimentaire, qui consiste à travailler avec des filtres colorés de façon à réduire l'amplitude de la dispersion. Cependant, le calcul montre que même avec des filtres colorés la dispersion à l'intérieur de la bande passante du filtre peut être supérieure à la résolution du C14.

Les courbes ci-dessous, issues du site web de JP Prost (merci à lui !), montre par exemple que si l'on se fixe une limite de dispersion intrabande de 0.3 arcsec (comparable à la résolution du C14 de 0.34 arcsec), il faut travailler à plus de 40° de hauteur avec un filtre rouge, plus de 50° avec un filtre vert et ... plus de 70° avec un filtre bleu (ce qui explique d'ailleurs en partie la difficulté d'obtenir de bonne image planétaire dans le bleu).



### Turbulence et longueur d'onde :

La bonne nouvelle, c'est que la turbulence diminue elle aussi avec la longueur d'onde. Il est d'ailleurs assez intéressant d'observer à fort grossissement l'image d'une étoile derrière une roue à filtres en passant rapidement d'un filtre à l'autre. On s'aperçoit assez facilement (quand les conditions le permettent) que la tache d'Airy a un diamètre plus faible dans le bleu que dans le rouge (diamètre =  $1.22 \lambda/D$ , avec  $d$  en radian), et qu'au contraire la turbulence (agitation et distorsion) est plus importante dans le bleu que dans le rouge.

Au final, on a donc à choisir :

- la longueur d'onde: travailler dans le rouge (voire l'IR) réduira la turbulence ainsi que la dispersion, mais augmentera la diffraction de l'instrument ;
- la largeur de la bande passante utilisée : une bande passante plus large (filtre jaune au lieu de rouge) donnera un temps de pose plus court, donc de meilleures chances de "figer" la turbulence, mais avec une dispersion atmosphérique plus importante.

Finalement, pour mes conditions habituelles d'observation, le meilleur compromis s'avère l'utilisation du filtre rouge ou vert selon le niveau de turbulence et la hauteur de la lune. Sur quelques tests, j'ai pu constater que le filtre jaune (W15), malgré un temps de pose 2 fois plus court que le filtre rouge, donnait de moins bons résultats, mais cela dépend peut être des conditions.

### **Le rapport F/D**

Une fois arrivé à ce point, il ne reste plus beaucoup de choix pour le rapport F/D. Avec un gain réglé à 10 sur la Skynyx 2.1M (meilleur compromis) et un filtre R ou V, on se rend vite compte que le rapport F/D optimal pour le C14 est autour de F/20 (les pixels font 4.65 microns de côté), soit 0.14 arcsec/pixel. C'est très légèrement sur-échantillonné pour la plupart des nuits, mais cela laisse de la marge en cas de conditions exceptionnelles.

Ce rapport F/D pose un problème, car avec l'addition du focuser, sans parler de la roue à filtre (pas forcément indispensable, mais bien pratique), une Barlow X2 donnerait une focale résultante trop importante (autour de F/25). Il faut donc pouvoir utiliser une Barlow X1.5 à X1.6. J'utilise pour ma part l'extender QX1.6 de ma FSQ 106 (ancien modèle) qui semble fonctionner correctement dans ces conditions.

### **La monture :**

A F/20, la focale résultante du C14 est de 7 m environ, ce qui combiné avec la Skynyx 2.1M donne un champ très étroit (190 x 140 arcsec). Il s'avère alors vraiment pratique d'avoir une monture qui suive le mouvement de la lune en alpha et aussi en delta. C'est le cas sur ma Takahashi NJP dont la motorisation est assurée par un MCMT piloté par Prism, qui permet de prendre en compte la vitesse lunaire ainsi que la réfraction atmosphérique.

### **La mise au point :**

Voilà, tout est près, la surveillance à fort grossissement d'une étoile a permis de vérifier que la collimation est OK, la turbulence est OK, et la hauteur de la lune est OK, j'arrête le ventilateur extracteur et c'est parti pour l'acquisition.

La mise au point se fait à l'écran par encadrement successif de la bonne mise au point. Ce qui signifie que la mise au point est bonne quand on a le même degré de flou de part et d'autre du foyer supposé. En général je dégrossis en faisant des pas de 200 microns, puis de 100 microns, et quand la turbulence est bonne (c'est d'ailleurs un bon critère d'appréciation) j'arrive à trouver la bonne mise au point avec une précision de plus ou moins 40 microns. Le cas échéant, je n'hésite pas à affiner la mise au point pendant l'acquisition s'il y a un passage moins turbulent permettant d'être plus précis (c'est l'avantage d'avoir une mise au point motorisée).

En général, la mise au point est relativement stable au cours de la séance. Elle varie avec la température, d'où l'intérêt de continuer à jeter un œil sur le thermomètre, et surtout quand on se rapproche du méridien.

### **L'acquisition :**

La durée de mes acquisitions est toujours la même, 6000 images, soit 6 mn 40 s à 15 images/s. J'arrive ainsi à sélectionner entre 300 à 1000 images à additionner (soit entre 5 et 15% des images acquises). La camera est systématiquement orientée Nord-Sud pour faciliter les mosaïques éventuelles.

La collimation est vérifiée (et retouchée si nécessaire) toutes les une à deux heures. En fait, le point critique est surtout le basculement au méridien.

### **Le traitement des images :**

Etant donné le gros volume des fichiers obtenus (typiquement 100 Go en une nuit). L'automatisation du traitement est indispensable. Marc Delcroix m'a aidé à écrire un script permettant de réaliser dans Iris la séquence classique Trie / Recentrage / Addition pour tous les fichiers acquis en une nuit. Le traitement dure en général 2 ou 3 jours pendant lesquels le PC fonctionne tout seul. Ensuite, il faut passer à la correction de distorsion (DISTOR2 dans Iris). L'utilisateur doit indiquer manuellement à l'aide de la souris les points de l'image qui vont servir au recentrage local. En général, je choisis un nombre de points égal au nombre maximal possibles (300 points), et je lance la commande DISTOR2 avec un polynôme de degré 3 (je n'ai pas constaté d'amélioration avec un degré supérieur).

Un autre script fait ensuite les additions normalisées pour 250, 300, 400, 500, 600, 800 et 1000 des meilleures images. Il suffit donc de comparer pour voir quelle est l'addition qui donne le meilleur résultat.

Le traitement est très simple, je n'agis que sur le niveau d'ondelette numéro 1 (le plus fin) que je pousse au max (25). J'exporte le résultat en TIF 16 bits dans Photoshop où j'harmonise si nécessaire les niveaux de gris.

### **Les résultats obtenus et les perspectives d'amélioration :**

Au final la méthode et les techniques utilisées n'ont rien de révolutionnaire, il s'agit comme toujours en astrophotographie de prendre les problèmes un par un et de mettre en œuvre les solutions adéquates.

A titre d'exemple, selon Charles A. Wood, spécialiste de la géologie lunaire, auteur de la chronique mensuelle "Exploring the Moon" de Sky and Telescope et webmaster de "Lunar Picture of the Day", les images d'Hadley et de Stofler feraient parties des meilleures obtenues depuis la terre. Cependant, au bout de 18 mois d'observation avec le C14, je pense que l'on peut encore faire nettement mieux avec ce diamètre.

Si on regarde les 30 dernières années, les deux évolutions majeures furent :

- l'amélioration du capteur, d'abord argentique (Tri-X, TP2415) puis digital, avec un gain en sensibilité, rapport S/N et surtout vitesse d'acquisition impressionnant ;
- l'informatique qui de façon complémentaire a permis le tri automatique des images pour ne composer que les meilleures.

Le matériel d'observation s'est aussi amélioré (notamment la qualité optique et la qualité des montures) mais de façon moins spectaculaire. Les limites du matériel et les possibilités de "tuning" pour contourner ces limites commencent à être maintenant bien connues grâce aux nombreux échanges d'information sur Internet. L'amateur n'hésite plus à prendre le tournevis ou la perceuse pour améliorer son instrument. On peut émettre le vœu que les constructeurs finiront par prendre en compte ces améliorations (notamment l'ajout de ventilateurs pour accélérer la mise en température).

Pour le futur, le premier élément d'amélioration important sera la suppression du goulot d'étranglement constitué par la liaison USB2, une fois qu'elle aura été remplacée par une liaison plus rapide (USB3, e-SATA ou autre) avec à la clé la possibilité d'augmenter la vitesse d'acquisition, donc une plus grande chance de tomber sur les trous de turbulence.

On peut s'attendre aussi à ce que le prix des capteurs continue à décroître dans l'avenir ce qui permettra d'accéder à des capteurs vidéo largement supérieurs à 2 Mpixels, avec des pixels suffisamment grands pour préserver une bonne dynamique. En revanche, il est assez peu

probable que la sensibilité des capteurs augmente énormément, le rendement quantique des capteurs actuels étant déjà autour de 30 à 50% dans le vert.

Enfin, il y a probablement encore des progrès à faire du côté des logiciels de traitement d'images, notamment pour automatiser davantage la correction de la distorsion due à la turbulence, et aussi pour sélectionner automatiquement les meilleures sous-images d'une série d'images pour assembler l'image composite.

#### **Références :**

[1] : site de Marc Jousset : <http://www.astrosurf.com/jousset/>

[2] : site protostar : <http://www.fpi-protostar.com/flock.htm>

[3] : site Lucam Recorder :

<http://www.astrofactum.de/Astrofactum/LucamRecorder/index.htm>

[4] : site de JP Prost :

<http://astrosurf.com/prostjp/Technique/Dispersion/Dispersion.html>

[5] correcteur de dispersion : <http://www.astro-electronic.de/wedge.htm>

[4] : site de Christian Viladrich : <http://astrosurf.com/viladrich/>

[5] : site de Lunar Picture of the Day : <http://lpod.wikispaces.com/>

#### **Légende photos matériel :**

Photo 1 : les deux ventilateurs installés sur le C14 avec leur boîtier de commande.

Photo 2 : montage au foyer C14 (Focuser Monlite + Barlow + roue à filtres + Skynyx)

Photo 3 : le C14 en conditions d'observation

#### **Photos lune :**

Clavius le 22 août :

<http://astrosurf.com/viladrich/astro/moon/closeup/clavius-C14-F19-22August2008.jpg>

Clavius le 24 août :

<http://astrosurf.com/viladrich/astro/moon/closeup/clavius-C14F19-24August2008.jpg>

Copernic le 26 juillet :

<http://astrosurf.com/viladrich/astro/moon/closeup/copernic-C14-F20.jpg>

Hadley le 22 août :

<http://astrosurf.com/viladrich/astro/moon/closeup/hadley-C14F19-22August2008.jpg>

Eudoxe 22 août :

<http://astrosurf.com/viladrich/astro/moon/closeup/eudox-alps-C14F19-22August2008.jpg>

Moretus 22 août :

<http://astrosurf.com/viladrich/astro/moon/closeup/moretus-C14F19-22August2008.jpg>

Stofler 22 août :

<http://astrosurf.com/viladrich/astro/moon/closeup/stofler-C14F19-22august2008.jpg>