

Faire des images de la Lune

Jean-Michel Vienney, vienney_j_m@orange.fr

Comment photographier la Lune ? Et quels renseignements peut-on tirer d'une image ? Voici quelques pistes exploitables avec des élèves.

Les choix techniques

Objectifs et capteurs

Nous nous intéressons ici exclusivement aux photographies que l'on peut faire avec un appareil photo de type reflex¹. Première solution, on utilise un téléobjectif de grande focale. Deuxième solution, on fixe le boîtier seul, sans objectif, au foyer d'un instrument, lunette ou télescope, sans oculaire, à l'aide d'une bague dite « T2 » ; l'instrument remplace alors le téléobjectif. Il est aussi possible d'intercaler un doubleur (ou multiplicateur) de focale entre le boîtier et la bague T2.

Le choix de la focale de l'objectif (ou de l'instrument) dépendra du projet, selon qu'on cherche à obtenir une image de la Lune entière, ou à montrer des détails les plus petits possibles à sa surface. Le diamètre angulaire de la Lune étant de l'ordre de $0,5^\circ$ (il varie en fait entre $0,49^\circ$ et $0,56^\circ$) on obtient au foyer d'un objectif de 1 m de focale une image dont le diamètre sera au plus de 9,75 mm. Elle tient donc aisément sur le capteur de la plupart des appareils reflex numériques au format APS-C (variable selon les marques, de l'ordre de 22 mm \times 15 mm). Avec un téléobjectif ou une lunette de 600 mm de focale on pourra à la fois voir le disque entier et distinguer de très nombreux détails. Au delà de 1,5 m de focale, l'image de la Lune sera bien sûr beaucoup plus détaillée, mais le disque sera plus grand que le capteur.

Si on cherche à obtenir des images de très petits détails à la surface de la Lune, il faudra disposer d'un instrument de focale beaucoup plus grande et, pour s'affranchir de la turbulence atmosphérique dont les effets deviennent alors très visibles, il sera plus avantageux d'utiliser une caméra rapide reliée à un ordinateur, pour réaliser des séquences vidéo. Des logiciels permettent d'extraire de ces dernières

¹ On peut aussi photographier la Lune avec un appareil non reflex ou même un smartphone fixé derrière l'oculaire d'un instrument mais les résultats seront moins bons. Voir par exemple le n° 116 des Cahiers Clairaut p. 27 de 2006 (clea-astro.eu onglet archives des Cahiers Clairaut).

les images les plus contrastées, supposées les moins affectées par la turbulence, puis d'« empiler » les images sélectionnées pour améliorer le rapport « signal/bruit ». Nous ne développerons pas plus ici cette technique, aussi utilisée pour l'imagerie planétaire : elle a été décrite dans le numéro 130 des Cahiers Clairaut² et de nombreux tutoriels sont disponibles sur la toile pour s'y initier.

Soigner la mise au point

Opération cruciale et toujours délicate, la mise au point est grandement facilitée depuis que les appareils disposent du mode « live view » il suffit d'agrandir l'image sur l'écran de contrôle et d'utiliser le bord du disque si on veut procéder manuellement.

Si on utilise un téléobjectif, la mise au point automatique peut aussi donner de bons résultats sous réserve de bien choisir parmi les différents modes proposés. Il est en revanche préférable de désactiver le stabilisateur d'image.

Pour obtenir une bonne qualité d'image, il est aussi important de choisir une nuit avec peu de turbulence atmosphérique et sans vent.

Sensibilité et temps de pose

Le plus souvent, l'ouverture numérique (f/D) est fixée par l'instrument. Il ne reste donc qu'à choisir la sensibilité (en ISO) et le temps de pose afin d'exploiter au mieux la dynamique du capteur, tout en faisant attention à ne pas le saturer. Le choix de la bonne sensibilité résulte d'un compromis : une sensibilité plus élevée se traduisant par une image plus « bruitée ». Selon les appareils le meilleur choix se situe entre 200 et 400 ISO.

Par ailleurs la luminosité de la Lune est telle que le temps de pose sera pratiquement toujours de l'ordre d'une fraction de seconde : typiquement de l'ordre de 1/500 s pour la Pleine Lune avec un téléobjectif de 600 mm ouvert à f/8 mais il peut varier dans de fortes proportions selon la hauteur et la phase de la Lune.

² http://clea-astro.eu/archives/cahiers-clairaut/CLEA_CahiersClairaut_130_05.pdf

Heureusement, les appareils actuels permettent de multiplier les essais et de déterminer facilement et rapidement le temps de pose correct, d'autant plus que beaucoup d'appareils permettent d'afficher les zones saturées de l'image, et l'histogramme (voir encadré page 5).



Fig.1. La Lune gibbeuse photographiée avec un téléobjectif de 600 mm ouvert à 8 (1/1000 s à 400 ISO).



Fig.2. Extrait d'une photographie réalisée avec un boîtier reflex avec doubleur de focale fixé sur une lunette de 100 mm de diamètre et 900 mm de focale, ce qui donne l'équivalent d'un téléobjectif de 1,8 m (400 ISO, 1/160 s).

On peut voir ici les cratères Tycho (en haut, avec son piton central), Logomontanus (le plus grand, en dessous à droite)... La formule du 1^{er} encadré p. 5 donne 0,49»/pixel.

Le suivi est-il indispensable ?

Le temps de pose étant en général très court (sauf dans certains cas comme pour photographier la lumière cendrée par exemple), le déplacement de l'image de la Lune au cours de la pose restera inférieur à un pixel³. Il n'est donc pas indispensable de disposer d'une monture équatoriale motorisée. En revanche un pied bien stable est absolument recommandé et

³ Par exemple, le déplacement maximal sera de 1 pixel pour une pose de 1/50 s avec une focale de 3 m et un capteur APS-C de 6 Mpixels.

on veillera à éviter au maximum toutes les sources de vibrations en utilisant un déclencheur souple ou le retardateur et même pour les appareils reflex en relevant le miroir avant la pose (c'est d'ailleurs le cas si on part du mode « live-view »).

Les formats d'enregistrement

La valeur de l'intensité lumineuse enregistrée par chaque pixel est représentée par un nombre entier. Selon les appareils, ce nombre peut prendre 256 (codage sur 8 bits) à 65 536 (codage sur 16 bits) valeurs discrètes (des codages sur 12 ou 14 bits sont aussi courants). Chacune de ces valeurs sera ensuite associée à un niveau de luminosité sur l'écran de visualisation et les logiciels de traitement permettent de dilater plus ou moins certaines plages pour mieux mettre en évidence les détails et améliorer le contraste et la lisibilité de l'image. Plus la profondeur de numérisation sera élevée, plus il sera possible de faire apparaître a posteriori des détails dans les régions sombres ou des nuances dans les tons moyens de l'image. Or, dans la plupart des cas la profondeur de numérisation en JPEG est de 8 bits (soit 24 bits par pixel pour une image en couleurs qui est constituée des 3 plans). On a donc tout intérêt, malgré le volume beaucoup plus important des fichiers produits, à enregistrer les images au format RAW qui conserve la totalité de l'information enregistrée par chaque photosite. Il sera toujours possible ensuite convertir les images traitées au format compressé JPEG, le retour en arrière étant en revanche impossible.

Quelques pistes d'exploitation

Disque ou sphère ?

Une question qui peut paraître à première vue naïve, mais à laquelle l'étude de l'image en utilisant un logiciel d'analyse comme AstroImageJ⁴ permet d'apporter des réponses précises et argumentées.

Pour commencer on peut préciser la forme et les dimensions du disque lunaire en ajustant manuellement un cercle. L'ajustement se fait sans difficulté et le menu « Mesures » du logiciel nous permet directement d'en obtenir le diamètre. Avec le croissant de la figure 3, on obtient $R=1226$ pixels. Connaissant l'échantillonnage $\varepsilon = 1,44''/\text{pixel}$ (voir encadré page 5), on obtient directement le diamètre angulaire :

$$\alpha_L = 1765'' = 29' 44''.$$

On peut comparer cette valeur avec celle donnée par Stellarium pour la même date : $\alpha_{LS} = 29' 33''$.

⁴ <https://www.astro.louisville.edu/software/astroimagej/>

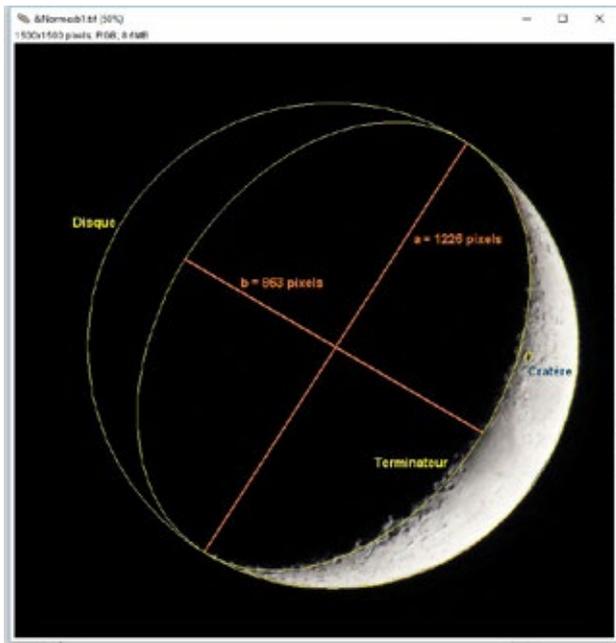


Fig.3. Exploitation de l'image d'un croissant de Lune avec AstroImageJ.

Intéressons-nous maintenant au terminateur (la limite jour-nuit sur la Lune) : avec le même logiciel on peut vérifier que sa forme est bien une ellipse ce qui constitue un bon argument pour une Lune sphérique. En effet, sur une sphère, la limite de la partie éclairée est un grand cercle qui, vu depuis la Terre, apparaît en perspective comme une ellipse. Difficile de l'expliquer autrement...

Le logiciel permet de mesurer ses axes :

$$a = 1\,226 \text{ pixels et } b = 863 \text{ pixels.}$$

On peut en tirer la valeur de l'angle Soleil - Terre - Lune ou élongation (figure 4) : $\cos \theta = b/a = 0,705$ soit $\theta = 45^\circ 10'$ (Stellarium donne $\theta_L = 45^\circ 47'$).

En faisant l'hypothèse d'un mouvement uniforme de période $T = 29,53$ jours on peut même retrouver un

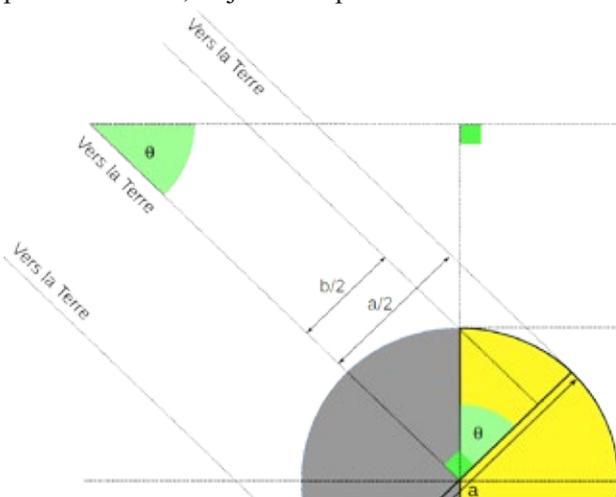


Fig.4. Détermination de l'élongation à partir du rapport des axes de l'ellipse.

âge approximatif de la Lune de 3,7 jours (3,8 selon Stellarium).

En procédant de la même manière sur une série de photos obtenues au cours d'une même lunaison, on peut alors suivre l'évolution du diamètre apparent donc de la distance Terre-Lune, retrouver approximativement les dates de passage à l'apogée et au périgée, et même tenter de montrer que le mouvement de la Lune n'est pas uniforme en évaluant son avance ou son retard par rapport au mouvement moyen déduit de sa période synodique.

Mesurer les cratères et les reliefs

Un autre argument en faveur d'une Lune sphérique vient de l'observation de ses cratères : on constate qu'ils sont pratiquement circulaires vers le centre du disque, et qu'ils apparaissent de plus en plus elliptiques quand on se rapproche du bord.

L'échantillonnage ayant été déterminé, il est relativement aisé d'ajuster une ellipse, la taille réelle du cratère supposé circulaire étant alors celle du grand-axe (figure 5).

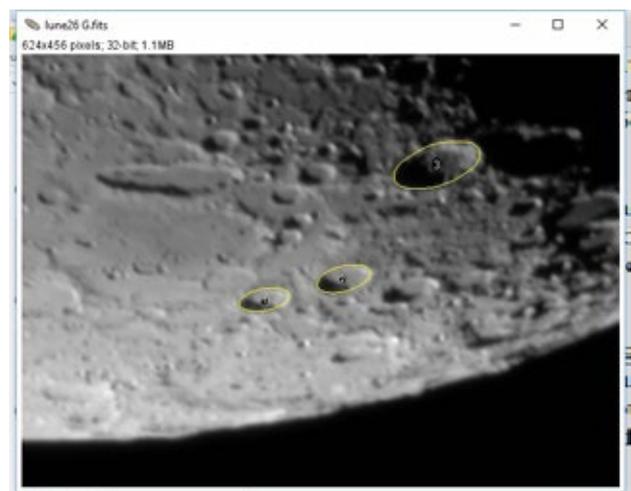


Fig.5. Image du pôle Sud de la Lune obtenue avec une caméra ToUCam au foyer d'un télescope de 1,8 m de focale et 20 cm de diamètre.

Taille d'un pixel : $5,6 \mu\text{m}$.

Échantillonnage : $3,11 \times 10^{-6} \text{ rad/pixel}$

Échelle déduite de la distance Terre-Lune (391 000 km) et de l'échantillonnage : $1,22 \text{ km/pixel}$.

Grand-axe des ellipses donné par AstroImageJ (en pixels) :

$$a_1 = 52,7 \text{ pixels soit } 64 \text{ km ;}$$

$$a_2 = 58,2 \text{ pixels soit } 71 \text{ km ;}$$

$$a_3 = 94,9 \text{ pixels soit } 116 \text{ km.}$$

Il s'agit des cratères Zucchius, Bettinus et Scheiner dont les diamètres donnés par l'atlas virtuel de la Lune sont 65 km, 71 km et 111 km.

On peut aussi tenter la mesure de la hauteur des reliefs à partir des ombres en suivant les méthodes proposées par Pierre Le Fur dans le numéro 139^s ou les exercices du HS10 Maths et Astronomie (voir

5 http://clea-astro.eu/archives/cahiers-clairaut/CLEA_CahiersClairaut_139_08.pdf

Histogramme

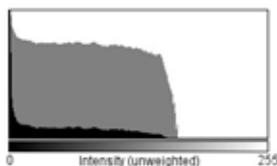
L'histogramme est un graphique sur lequel on représente le nombre de pixels (en ordonnée, échelle linéaire en noir, logarithmique en gris) correspondant à chaque intervalle d'intensité (échelle de gris en abscisse). Pour une image correctement exposée, aucun pixel ne devrait atteindre la valeur maximale (saturation) tout en utilisant au maximum la plage de la dynamique.

Les trois images ci-dessous ont été prises le 22 novembre 2017 vers 19 h 30 avec un EOS 70D et un objectif de 600 mm ouvert à f/8 avec une même sensibilité (400 ISO) et des temps de pose différents.

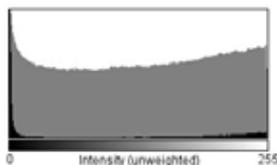
La première est « sous exposée » : une grande partie de la dynamique n'est pas exploitée, la seconde est à la limite de la surexposition, la troisième est très nettement surexposée.

On peut remarquer au passage que le rapport de luminosité est tel qu'avec une échelle linéaire de 256 niveaux il est impossible de faire sortir la lumière cendrée sans saturer le croissant.

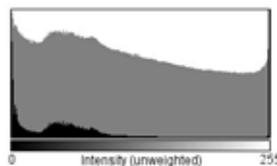
1/250 s



1/25 s



1/2 s



aussi sur l'orientation des ombres l'article de Pierre Causeret dans le numéro 140⁶ de notre revue).

Déterminer l'albédo et la nature du sol

Contrairement à l'idée souvent énoncée, la photographie de la Pleine Lune peut aussi être très intéressante. Il est en effet possible de déterminer, à partir d'une image au format RAW les albédos relatifs de diverses régions de la Lune (mers, cratères, éjectas...) ou encore comme l'a fait un groupe d'élèves dans un travail présenté aux Olympiades de Physique en 2012⁷. Mais nous devrions revenir sur ces mesures d'albédo dans un prochain article. ■

Échantillonnage

L'échantillonnage ϵ , souvent exprimé en secondes d'arc par pixel correspond à la taille angulaire de la région du ciel vue par un photosite (pixel) du capteur. C'est aussi l'angle sous lequel le côté de ce photosite est vu depuis le centre optique de l'objectif. Les dimensions du capteur (et a fortiori des pixels) étant petites devant la focale de l'objectif, on peut se limiter à un photosite situé sur l'axe optique et confondre son côté a et l'arc de cercle qu'il sous-tend.

En radian par pixel sa valeur est alors donnée par la relation

$$\epsilon_{rad} = \frac{a}{f}$$

En secondes d'arc par pixel :

$$\epsilon'' = \frac{a}{f} \times \frac{180 \times 3600}{\pi} \approx 2 \times 10^5 \times \frac{a}{f}$$

Par exemple pour l'image de la figure 1, obtenue avec un APN EOS 70D dont les pixels mesurent (selon la notice) $4,11 \mu\text{m}$ et un téléobjectif de 600 mm de focale, l'échantillonnage vaut en principe

$$\epsilon = 1,41''/\text{pixel}.$$

En fait le plus souvent, on ne connaît précisément ni la valeur du côté du pixel ni celle de la focale de l'objectif (données du constructeur). Il est donc pertinent de déterminer plus précisément l'échantillonnage, par exemple à partir de la réduction astrométrique d'une image du ciel. Dans le cas d'espèce, on a ainsi vérifié qu'il est plutôt voisin de $1,44''/\text{pixel}$, valeur utilisée pour les calculs de l'article et qui correspondrait à une focale de 590 mm.



6 http://clea-astro.eu/archives/cahiers-clairaut/CLEA_CahiersClairaut_140_07.pdf

7 https://odpf.org/images/archives_docs/19eme/memoires/groupeQ/memoire.pdf