

Le photographe chevronné : Souvent un astrophotographe qui s'ignore

Cédric Willemin, Simon Rowell & Michel Willemin

1. La photographie numérique

Depuis la fin des années 90 et surtout dès le début de notre nouveau millénaire, la photographie numérique a progressé significativement, tant au niveau des capteurs, que de l'optique et du traitement d'images.

La technologie des capteurs permet des sensibilités inimaginables autrefois avec des niveaux de bruits bien maîtrisés, même à température ambiante. Il est clair que les boîtiers de type reflexe modernes permettent des temps d'exposition de plusieurs dizaines de secondes sans pour autant que le bruit ne devienne trop visible, même à des sensibilités de ISO 1000, voire plus.

De même, les optiques actuelles des grandes marques d'appareils numériques offrent des rapports d'ouverture de plus en plus impressionnants, surtout pour les gammes amateurs avancés ou semi-professionnelles, à des prix relativement accessibles.

Une partie du traitement d'image est souvent déjà intégrée dans l'appareil avec des algorithmes de correction d'imperfections du capteur ou de l'optique.

Le matériel photographique disponible actuellement permet la prise d'excellentes photographies, même dans des conditions d'éclairage difficiles. Avec des capteurs, dits plein format (36 x 24mm), les optiques appropriées conduisent à une finesse d'image maîtrisée sur toute la surface photosensible.

2. Premières applications en astrophotographie

Un boîtier reflexe numérique à grand format ou simplement à format APS-C (25.1 x 16.7mm), muni d'un bon téléobjectif permet de réaliser de jolies photographies de notre satellite naturel (photo 1). Avec un doubleur de focale, pour autant que l'objectif de base soit de bonne qualité, encore plus de détails peuvent être obtenus.

Observer visuellement l'astre du jour ou le photographier sans filtre spécialement conçu sont interdits, sous risques de dommages oculaires irréversibles ou simplement matériels. Actuellement, un vaste choix de solutions commerciales, sûres et avantageuses existe. La solution la plus classique reste le filtre couvrant l'ouverture complète, placé devant l'objectif. Pour des diamètres typiques de téléobjectifs, les prix restent très abordables. Il convient uniquement de prêter attention à la fixation du filtre sur l'objectif, car la protection doit résister à un coup de vent ou un déplacement brusque. La protection oculaire fiable lors d'observations solaires est tout simplement indispensable et il reste toujours recommandé de se renseigner sur le sujet [1].

Une bonne solution de filtre solaire, avantageuse et performante d'un point de vue qualité optique est le dépôt

d'une fine couche de chrome sur un filtre UV de diamètre adapté. On choisit habituellement une épaisseur de couche conduisant à une atténuation lumineuse de cinq ordres de grandeur (densité 5). La couche de chrome peut être déposée par tout spécialiste des techniques d'évaporation sous vide, en prenant garde de démonter le filtre de son barillet au préalable.



Photo 1 : La Lune, le 23 avril 2015 19:23 UTC. Canon EOS 60D, EF 400mm f/5.6 L + Extender 2x. Exposition 1/320s, f/13, ISO 1600.

Sur la photo 2, on obtient une résolution très proche de la résolution théorique de l'objectif. Selon la diffraction de Fraunhofer pour une ouverture circulaire, le pouvoir séparateur est donné par $R = 1.22 \cdot \lambda / D$, où λ correspond à la longueur d'onde (typiquement $\sim 555\text{nm}$ pour de la lumière blanche) et D étant le diamètre de l'instrument. Le pouvoir séparateur ou résolution R est calculé en radians. Pour l'objectif utilisé lors de cette prise de vue, le diamètre est de 72mm. Au final, $R = 9.4 \cdot 10^{-6} \text{ rad} = 1.9''$. Le disque correspondant à la Terre possède un diamètre apparent de $17.5''$. Sur la photographie originale, la résolution avoisine les $2''$, soit extrêmement proche de la résolution théorique de l'instrument.

Bien que de grands diamètres d'objectif livrent une résolution théorique meilleure, il est souvent préférable de se restreindre à des diamètres d'optique relativement petits, car la sensibilité à la turbulence atmosphérique, souvent bien présente lors d'observation solaire, se voit nettement amoindrie. C'est la résolution effective, i.e. celle obtenue pratiquement, qui compte au final. La résolution théorique de l'instrument est toujours plus facile à atteindre avec des petits diamètres.

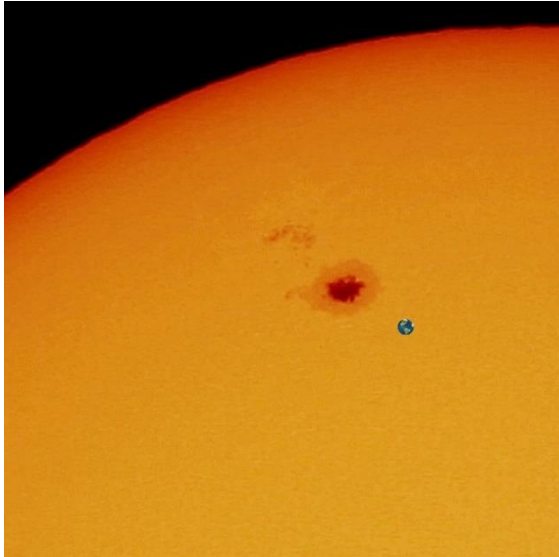


Photo 2 : Le Soleil, le 10 avril 2016 à 12:47 UTC. Canon EOS 100D, EF 400mm f/5.6 L + Extender 2x. Exposition 1/125s, f/20, ISO 100. A titre de comparatif dimensionnel, la Terre est dessinée à l'échelle et permet de se rendre compte de la taille de taches solaires. L'assombrissement du disque solaire vers le bord est aussi bien visible, preuve de la présence de l'atmosphère solaire.

3. Transformer son téléobjectif en lunette

Un téléobjectif est souvent conçu avec une optique perfectionnée optimisant la résolution et réduisant la distorsion et les aberrations pour un format de capteur important. Il n'est pas rare qu'un téléobjectif soit composé de plus de 10 lentilles, disposées en plusieurs groupes.



Photo 3 : Le téléobjectif Canon EF 400mm f/5.6 L est équipé d'un adaptateur EOS EF Canon vers le coulant de 1¼" (31.75mm). Cela permet l'installation d'oculaires pour une observation visuelle très agréable. Dans le cas présent, un oculaire orthoscopique de 18mm fournit un grossissement de $400/18=22$ fois.

Cette optique est souvent bien meilleure que la plupart des télescopes et lunettes astronomiques de diamètre équivalent. Pour un téléobjectif, il est impératif de maîtriser le piqué d'image, l'absence de distorsion, les aberrations chromatiques, le vignettage, la planéité de la surface focale, sans quoi, le verdict rendu sur capteur plein format (36 x 24mm) sera sans pitié. Au final, en cas de défaut,

l'objectif sera démolé par les multiples blogueurs sur les forums spécialisés.

Donc très souvent, le photographe amateur chevronné possède, sans forcément le savoir, une très bonne optique, comparable voire meilleure que les lunettes apochromatiques de diamètre similaire trouvés sur le marché. Souvent aussi, le téléobjectif est de prix inférieur, comme le Canon EF 400mm f/5.6 L, d'ancienne génération, introduit sur le marché en 1993, mais de qualité irréprochable et de technologie éprouvée. La masse du téléobjectif est aussi bien inférieure (1.25 kg contre 3 ou 4 kg pour les lunettes astronomiques similaires), rendant le système plus facilement transportable en cas d'excursion et moins sollicitant pour les trépieds et autres systèmes de fixation.

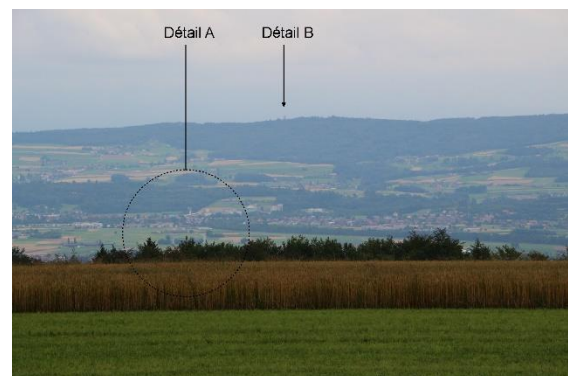


Photo 4 : Paysage de la région du Seeland avec Aarberg (BE), depuis le village de Prêles (BE). Canon EOS 100D, muni d'un téléobjectif classique de 135mm.



Photo 5 : Même scène, détail A, observé au travers du système téléobjectif Canon EF 400mm f/5.6 L, muni d'un oculaire orthoscopique de 18mm. Photographie prise via Smartphone. Le champ est défini par celui l'oculaire.

Certains commerçants et spécialistes en photo et astronomie, comme <http://www.foto-zumstein.ch/> ou <https://www.teleskop-express.de/shop/> proposent de

simples accessoires bien pratiques. Par exemple, sur la photo 3, un adaptateur convertit le dos de l'objectif Canon EF mâle en coulant de 1¼" (31.75mm) femelle. Cette bague de conversion ne coûte que quelques dizaines de CHF et rend tout objectif Canon EF compatible avec tous les oculaires de 1¼". Avec le téléobjectif de 400mm, un oculaire de 28mm fournira un grossissement de 14 fois avec une pupille de sortie de 5mm, ce qui est la combinaison idéale pour les chasseurs de comètes. Avec un oculaire de plus courte focale, comme un 5mm, le grossissement résolvant pourra être atteint ou même dépassé avec 80 fois. Cela constitue naturellement aussi une longue-vue de luxe. A noter aussi que la plupart des téléobjectifs sont directement équipés d'une bague pour fixation à un trépied photo, ce qui est très pratique.

Pour de l'imagerie photographique, le téléobjectif ne sera évidemment pas équipé d'oculaire. Par contre, pour se rendre compte de ce que l'observateur verra au travers d'un oculaire, un montage afocal est utilisé. Il s'agit de photographier au moyen d'un Smartphone ou d'un autre appareil l'image virtuelle visible dans l'oculaire. Sans grande précaution, le système perd sa stabilité et permet uniquement de démontrer la puissance de l'objectif transformé en lunette, comme illustré par les photos 5 et 6.



Photo 6 : Même scène, détail B, observé au travers du système téléobjectif Canon EF 400mm f/5.6 L, muni d'un oculaire orthoscopique de 18mm. Photographie prise via Smartphone avec zoom numérique activé. Distance de la tour : 17.2km.

Un montage afocal avec Smartphone non fixé mécaniquement ne permet pas de vérifier les limites effectives du système et de juger de la qualité optique réellement atteinte, qui plus est sur une image de paysage à longue distance. Une expérience plus représentative et plus scientifique consiste à mesurer l'image de diffraction de l'objectif. L'exercice nécessite une installation dans un espace fermé, i.e. hors de toute turbulence. Une source de lumière quasiment ponctuelle est utilisée, diamètre de 30µm positionnée à 8m de l'objectif. La longueur d'onde de la source est de 640nm.

Pour obtenir une image de diffraction bien visible, il est nécessaire de recourir à un fort grossissement. Dans le cas présent, un oculaire Televue Delos de 4.5mm est

monté sur le téléobjectif de 400mm. L'image de diffraction est capturée via un Canon EOS 100D équipé d'un objectif EF 40mm f/2.8, via montage afocal, fixé solidement.

On constate que l'image de diffraction obtenue sur la photo 7 est assez exceptionnelle et rare à observer avec des cercles aussi bien concentriques et non déformés (ellipses et/ou segmentation). L'image est légèrement plus intense sur le bas, mais l'origine de cette asymétrie n'a pas pu être identifiée et est vraisemblablement intrinsèque à l'objectif. Le positionnement des minima d'intensité sur la figure d'interférence est déterminé expérimentalement à $r_1 = 2.3''$, $r_2 = 4.4''$ et $r_3 = 6.7''$. Le calcul théorique basé sur la diffraction de Fraunhofer donne $r_1 = 1.22 \cdot \lambda/D$ pour le premier minimum et les suivants sont déterminés par les zéros de la fonction de Bessel du premier ordre. En conclusion, les valeurs théoriques suivantes se calculent pour cet instrument de 72mm de diamètre travaillant à la longueur d'onde de 640nm : $r_1 = 2.2''$, $r_2 = 4.1''$ et $r_3 = 6.0''$, correspondant très bien à l'expérimental.

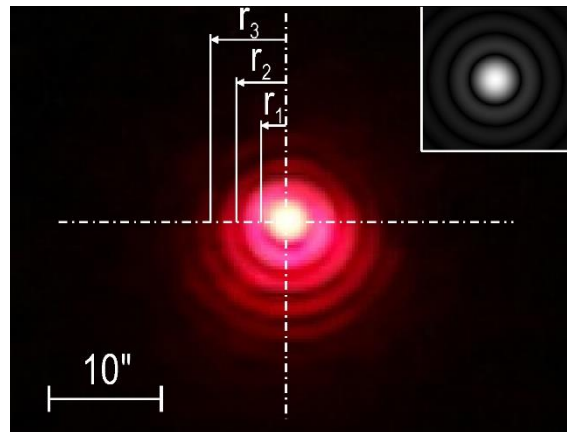


Photo 7 : Image de diffraction du téléobjectif Canon EF 400mm f/5.6 L. Les minima, positions d'interférences destructives, sont mesurés à $r_1 = 2.3''$, $r_2 = 4.4''$ et $r_3 = 6.7''$. Généralement, c'est $r_1 = 1.22 \cdot \lambda/D$, qui donne le pouvoir séparateur de l'instrument. L'insertion en haut à droite illustre une image de diffraction théorique.

En usage visuel avec un oculaire de qualité raisonnable, le téléobjectif offre une qualité d'image très raisonnable avec un champ apparent déterminé par l'oculaire. En mode photographique, les téléobjectifs offrent des résultats de piqué d'image optimisés même pour des capteurs plein format (36 x 24mm). Contrairement à l'utilisation de lunettes achromatiques ou apochromatiques, aucun correcteur de champ n'est requis dans ce cas pour saisir des images sur un capteur plan.

La conversion d'un téléobjectif en lunette astronomique ou en longue-vue permet de surprenants résultats, avec une qualité optique correspondant à un instrument astronomique à diamètre équivalent de haut de gamme tout en restant facilement transportable. Pour les excursions et les voyages, cette solution méconnue est idéale.

4. La photographie à long temps d'exposition

Les capteurs modernes, qu'ils soient de type CCD ou CMOS, permettent d'intégrer de la lumière durant des temps de plusieurs dizaines de secondes, voire minutes, sans que les défauts, comme les courants d'obscurité, ne dégradent trop l'image. Autrefois, pour réduire les effets non voulus, menant à un bruit sur l'image finale, les fabricants de caméras proposaient un refroidissement à l'aide d'éléments thermoélectriques de type Pelletier. Cette technique permettant de réduire le bruit d'un facteur approximativement deux tous les 7°C refroidis est encore utilisée à ce jour pour des équipements de pointe, plus destinés aux spécialistes et professionnels. Cependant, les appareils photographiques de type réflexe, sans aucun refroidissement, livrent déjà des résultats intéressants et exploitables dans bien des cas.

Cependant, en cas d'exposition prolongée, il peut devenir nécessaire de compenser le mouvement de rotation de la Terre, sans quoi les objets ne pourront être figés précisément. Les étoiles dessineront de petits traits de longueur proportionnelle à la durée d'exposition.



Photo 8 : Monture équatoriale légère et transportable de type iOptron SkyTracker™. Un viseur polaire avec réticule éclairé est bien pratique pour l'orientation précise sur l'axe de rotation terrestre, via l'Etoile Polaire. Le système est capable d'assurer un suivi suffisamment précis avec un réflexe numérique équipé d'un téléobjectif jusqu'à des focales de 300 ou même 400mm.

Pour compenser ou corriger le mouvement diurne, une monture appelée équatoriale est préconisée. Il en existe de multiples types avec des stabilités diverses, chacune présentant ses avantages et inconvénients. Une solution simple est présentée sur la photo 8. Cette petite monture, intégrant un viseur polaire pour une orientation fiable et rapide, se monte sur tout trépied photographique suffisamment stable. La solution est idéale pour la randonnée en montagne et les voyages. Le système est simplement alimenté par quatre piles alcalines de type AA. Des optiques de focales maximales de 400mm peuvent être entraînées. Au-delà, une monture équatoriale mécaniquement plus conséquente sera requise pour assurer un précis en lien avec le grandissement photographique.

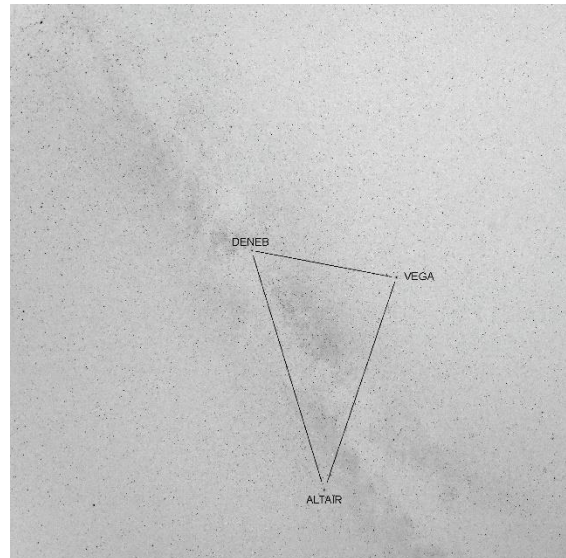


Photo 9 : Voie Lactée de la région du Grand Triangle d'Été, le 24 juillet 2014 à 21:05 UTC, avec suivi assuré la monture iOptron. Canon EOS 5D III, EF 14mm f/2.8 L. Exposition 10s, f/2.8, ISO 10000. (Image inversée N/B).

Sur la photo 9, un boîtier plein format muni d'un grand-angle a permis de capturer la Voie Lactée. L'image est inversée simplement pour mieux rendre les détails de notre Galaxie après impression. Les photos 10, 11 et 12 démontrent que certaines nébuleuses et galaxies sont à la portée des amateurs curieux ne possédant pas d'optique astronomique dédiée.

Contrairement aux idées reçues, bien des objets célestes du ciel profond sont relativement étendus et ne nécessitent aucunement de recourir à de longues focales pour obtenir des grandissements suffisants. A titre d'exemple, la galaxie d'Andromède M31 (photo 11) et la nébuleuse North America NGC7000 (photo 12) sont de diamètre apparent nettement supérieur à la Lune.

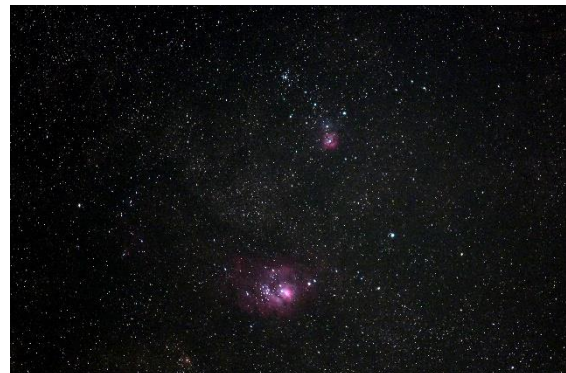


Photo 10 : Nébuleuses de la Lagune M8 et Trifide M20, le 5 juillet 2014 à 22:44 UTC, avec suivi assuré par la monture iOptron. Canon EOS 60Da, EF 70-200mm f/2.8 L. Exposition 20s, 200mm, f/2.8, ISO 1600. Cette région proche du centre de la Voie Lactée est particulièrement riche en diverses formations célestes.



Photo 11 : Galaxie d'Andromède M31 et compagnons M32 et NGC205, le 5 juillet 2014 à 23:03 UTC, avec suivi assuré par la monture iOptron. Canon EOS 60Da, EF 70-200mm f/2.8 L. Exposition 13s, 200mm, f/2.8, ISO 3200.

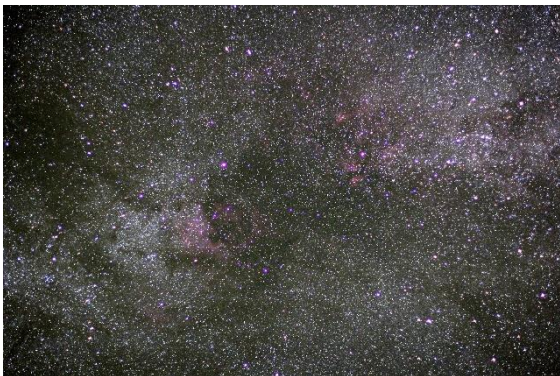


Photo 12 : Voie Lactée dans la région du Cygne avec la nébuleuse North America NGC7000, le 24 juillet 2014 à 22:31 UTC, avec suivi assuré par la monture iOptron. Canon EOS 60Da, EF 50mm f/1.4. Exposition 30s, f/1.8, ISO 1600.

Sans compensation du mouvement diurne, il est aussi possible d'obtenir des résultats à la fois intéressants et esthétiques. Un appareil monté sur un simple trépied permet de capturer des détails célestes grâce aux sensibilités offertes par les technologies modernes. Une sensibilité supérieure à ISO 1600 n'a plus rien d'exceptionnel de nos jours et permet déjà de limiter la durée de pose, afin de ne pas déceler le mouvement diurne. Ceci est démontré sur la photo 13, par exemple, où la sensibilité a été poussée à ISO 12800.

La contrainte principale pour réaliser des photographies à longs temps d'exposition est le niveau de pollution lumineuse. Les grands centres urbains sont naturellement proscrits, car la diffusion des lumières artificielles dans l'atmosphère va pénaliser le contraste. Élément positif : De plus en plus de communes, comme celle de Plateau de Diesse dans le Jura bernois, optent pour une extinction complète de l'éclairage public pour la seconde moitié de la nuit. Les économies d'énergie visées ne gênent naturellement aucun astronome amateur ou autre ami de la nature. Une alternative pour les observateurs situés proche de sources lumineuses perturbantes est de

s'éloigner des centres urbains pour rejoindre des vallées alpines comme présenté sur la photo 14, où la Voie Lactée apparaît de manière spectaculaire. A relever qu'il est plus facile d'obtenir une image sans suivi lorsque la Lune n'est pas visible, sa lumière et sa position pouvant être gênantes. Plusieurs applications pour Smartphone et de nombreuses sources de données publiques existent pour planifier une sortie photographique sans Lune et une pollution minimale [2,3].



Photo 13 : Constellations de la Grande Ourse et de la Petite Ourse depuis Prêles (BE). Une trace de météore est visible au-dessus du faite de la toiture. La Polaire est indiquée par le symbole N. Le 24 juillet 2014 à 22:03 UTC, sans suivi. Canon EOS 5D III, EF 17-40mm f/4 L. Exposition 10s, 17mm, f/4, ISO 12800.

Pour un système sans poursuite, le temps d'exposition maximal autorisé pour que les étoiles restent ponctuelles va dépendre de la surface du capteur S , du nombre de pixels ou photosites N , de la distance focale de l'instrument F et de la déclinaison de la région céleste photographiée. Pour simplifier et tenant compte que les zones considérées englobent souvent une région proche de l'équateur céleste, le cas le plus défavorable sera considéré. Un calcul simple si l'on tolère un mouvement équivalent à la taille d'un pixel donne :

$$t_{\max} = \frac{\sqrt{S/N}}{\omega \cdot F}$$

La constante ω correspond à la vitesse angulaire de rotation terrestre, soit $\omega = \frac{2\pi}{86400}$ rad/s.

A titre d'application numérique pour un boîtier réflexe de 20 mégapixels au plein format de 36 x 24mm, le temps d'exposition maximal acceptable sera de 0.2s, 0.45s, 1.8s et 6.4s pour des objectifs de focales respectives de 400mm, 200mm, 50mm et 14mm.

Des calculs plus détaillés peuvent être entrepris selon la déclinaison de la zone photographiée, la densité en photosites et la taille du capteur utilisé ainsi que la focale et l'ouverture de l'objectif [4]. Ceux-ci peuvent aussi prendre en compte la turbulence atmosphérique, l'effet de la diffraction et les spécificités des matrices photosensibles (ou « Color filter array » en anglais) des

différents capteurs [5] et des algorithmes de dématricage y relatifs [6].



Photo 14 : Voie Lactée, direction du centre galactique, prise depuis le Val d'Anniviers (VS). Le 22 juin 2014 à 00:15 UTC, sans suivi. Nikon D800, Nikor AF-S 24-70mm f/2.8. Exposition 8s, 24mm, f/2.8, ISO 2500.

8. Conclusion

Le but principal de cet article est de générer l'envie de se lancer en astrophotographie avec des moyens limités, transportables et essentiellement basés sur un équipement photographique d'amateur de bonne qualité. Au travers des différentes illustrations, de multiples objectifs et boîtiers ont été considérés. Tous ne sont clairement pas indispensables. Le but est principalement de montrer que plusieurs équipements différents peuvent conduire chacun à des résultats étonnants. Il est tout aussi clair que la marque du matériel ne constitue pas un choix unique et incontournable. Canon, Nikon et autres marques offrant des optiques interchangeables forment toutes des solutions bien exploitables. La technologie avance en parallèle pour tous les fabricants et l'astrophotographie de nos jours se voit grandement simplifiée par rapport au temps de l'argentique où il fallait encore hypersensibiliser les films à l'hydrogène ou à l'azote hydrogéné pour corriger l'écart à la loi de réciprocité, connu sous effet de Schwarzschild [7]. De très bons ouvrages sont disponibles sur le marché générant d'innombrables idées de photographies célestes. Vu l'évolution spectaculaire du matériel, il est conseillé de se focaliser sur les publications les plus récentes [8,9] pour se rendre compte de ce qui est réellement atteignable avec un équipement donné. Profitons donc des progrès technologiques en imagerie qui nous sont offerts au niveau matériel, mais également en termes de traitement d'images !

9. Références

- [1] Observation solaire – Qualité de protection oculaire – Michel Willemin & Raoul Behrend, ORION 302 1/2001, p.15, (2001).
- [2] Exsate Golden Hour (de Exsate Software), disponible sur Google Play Store et Apple App Store
- [3] <http://www.lightpollutionmap.info/>
- [4] La règle NPF décrite par Frédéric Michaud pour la Société Astronomique du Havre: <http://www.sahavre.fr/tutoriels/astrophoto/34-regle-npf-temps-de-pose-pour-eviter-le-file-d-etoiles>

- [5] Color filter array designs – John J. G. Savard, <http://www.quadibloc.com/other/cfaint.htm>
- [6] Comparison of color demosaicing methods – Olivier Losson, Ludovic Macaire et Yanqin Yang, Advances in Imaging and Electron Physics, Elsevier, 2010, 162, pp. 173-365 – HAL Id: hal-00683233, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00683233/document>
- [7] La photographie astronomique d'amateur – Pierre Bourge, Dunod, (1993).
- [8] Himmelsphänomene fotografieren – Roland Störmer, mitp Edition FotoHits, (2013).
- [9] Astro-Fotographie – Roland Störmer, mitp Edition ProfiFoto, (2013).

10. Coordonnées des auteurs

Cédric & Michel Willemin
Chemin des Alouettes 6
CH-2515 Prêles
E-mail : cedric@willemin.li
E-mail : michel@willemin.li
URL : <http://www.willemin.li/>

Simon Rowell
Chemin des Valangines 2
CH-2000 Neuchâtel
E-mail : roderick.rowell@gmail.com
URL : <http://www.simon-r.ch/>

Prêles et Neuchâtel, le 11 septembre 2016