

# L'astrophotographie

Charles Hurtubise et Laetitia Gariépy

## Abstract

One of the keys to scientific discoveries is to always push beyond the realm of possibility. Bringing photography to a whole new level, astrophotography is essential to the evolution of astronomy. The objective of this experiment is to verify certain ideas concerning this specific type of photography, in trying to improve the quality of the photographs obtained. One method often used in astrophotography to help counter the negative impacts of the Earth's movements, and the atmospheric turbulence on the photographs, is called stacking. The first hypothesis is that superposing a set of photographs of short exposure brings a more optimal final result than taking a single frame of long exposure. The second hypothesis states that it is possible to find an optimal number of frames and an optimal exposure time, both specific to each celestial object, to obtain the best possible quality. To determine whether these hypotheses are supported, a few celestial bodies are photographed using various settings. A CCD camera is used combined with a 10-inch telescope in order to take different shots at various times of exposure. The frames are then stacked on SharpCap 3.1, a specialized software, and then Photoshop is used for the image processing. To pull out results from the images, a survey is completed by 31 people of the CECC. On the form provided for the survey, the participants are required to choose or place their favorite photographs in order, and explain on which criteria they based their answers. Based on the results of this survey, both hypotheses are confirmed.

## Mots clés

Astrophotographie, espace, télescope, physique, informatique

## Introduction

Les progrès plutôt récents en matière de photographie ont permis de démocratiser les appareils photo, ce qui fait qu'aujourd'hui, ces objets font partie de notre quotidien. En effet, tous peuvent avoir accès à des caméras de bonne qualité à un coût relativement faible, permettant de produire de belles photos à la simple pression d'un bouton. Il n'en demeure pas moins que certains types d'images requièrent du matériel et

des procédés moins accessibles afin d'être le plus possible représentatives de la réalité. L'astrophotographie fait partie de ces champs d'application de l'imagerie électronique nécessitant des traitements plus complexes que la seule capture de lumière.

En astrophotographie, une méthode utilisée pour accroître la qualité des images est la superposition de plusieurs prises de vue d'une même région du ciel. Ainsi, en prenant des

images de moins longues durées, on diminue les effets des mouvements de la terre et de l'atmosphère, qui seront détaillés plus loin. Une première hypothèse est donc que la superposition de plusieurs images de courte exposition permet d'obtenir de meilleures photographies qu'une seule image de longue exposition [Internet 4]. Par exemple, la superposition de 10 images de 10 secondes devrait donner un résultat supérieur à celui d'une image dont le temps d'exposition serait de 100 secondes, même si les temps totaux sont équivalents. Une seconde hypothèse est que pour la photographie d'un type de corps célestes donné, il y a un nombre de poses et un temps d'exposition qui rendent la qualité de l'image optimale [Internet 4].

#### Photographie numérique

La luminosité d'une photographie est influencée par trois facteurs principaux du capteur : l'ouverture de l'objectif, le temps d'exposition et le gain (ISO). Pour la photographie du ciel, l'ouverture ne peut être modifiée puisque la taille de la fenêtre du télescope est constante. Le temps d'exposition, lui, correspond à l'intervalle de temps pendant laquelle le capteur absorbe la lumière pour une prise de vue. Plus ce temps est élevé, plus il y a de photons, c'est-à-dire de lumière, qui sont accumulés sur l'image. Ainsi, augmenter le temps d'exposition augmente la luminosité d'une image. D'un autre côté, si l'objet photographié et l'instrument photographique sont en mouvement l'un par rapport à l'autre, une traînée lumineuse floue apparaît sur la photographie. Finalement, le

gain, souvent appelé ISO (International Organization for Standardization) est la sensibilité du capteur. Plus le gain est élevé, plus la lumière est enregistrée efficacement, mais cela diminue la résolution et augmente le niveau de bruit (grain/pixellisation) présent dans l'image. [Internet 1] L'augmentation du gain signifie en fait l'augmentation de l'amplitude du signal de l'onde lumineuse lorsqu'elle traverse le capteur, ce qui augmente la sensibilité. [Internet 2] [Internet 3]

Afin de déterminer qu'une image est supérieure en terme de qualité, il faut regarder plusieurs critères : la netteté, la luminosité, la quantité de détails et le bruit. Une bonne photo doit donc présenter des objets bien délimités, sans contour flou, être ni trop sombre, ni trop claire, montrer un maximum de détails et avoir le moins de bruit possible.

#### Lunettes et télescopes

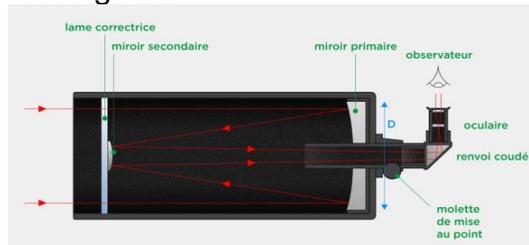
Bien que l'observation du ciel remonte à des temps immémoriaux, les technologies dans ce domaine ont commencé à évoluer plus rapidement à partir de la Renaissance. En effet, c'est à cette époque que Galilée adapte la lunette astronomique, un système composé uniquement de lentilles et qui permet de faire paraître plus grands les objets distants, à l'observation du ciel. [Internet 5]

Aujourd'hui, la technologie la plus utilisée est le télescope en lieu et place de la lunette. Les télescopes sont plus précis puisqu'ils utilisent des miroirs plutôt que des lentilles. En effet, dans une lentille, la position du foyer, soit le point de convergence

des rayons, est différente pour chaque couleur en raison de leurs longueurs d'onde différentes. Dans les miroirs, tous les rayons sont réfléchis de la même façon, peu importe leur longueur d'onde, ce qui fait que toutes les couleurs ont leur foyer situé au même endroit, donc les images sont plus précises. Un autre avantage des miroirs est qu'ils sont bien plus légers que les lentilles pour des diamètres larges. [Morissette]

Le télescope utilisé pour cette expérience est de type Schmidt-Cassegrain. (Figure 1) Ce télescope comporte un miroir secondaire convexe, un miroir primaire concave et une lame correctrice qui protège ces derniers. [Morissette]

Figure 1 : Télescope Schmidt-Cassegrain.



Source : <https://www.stelvision.com/astro/telescop-pes-lunettes-astronomiques-comprendre-choisir/> (site consulté le 6 mai 2018)

### Guidage

L'un des principes fondamentaux pour obtenir une image nette en photographie est que l'appareil photo et l'objet doivent être immobiles l'un par rapport à l'autre. Or, la Terre est en constant mouvement dans l'espace. D'abord, elle tourne sur elle-même (rotation), ce qui provoque l'alternance du jour et de la nuit, en plus d'effectuer sur une période d'une année une révolution autour du Soleil. Cela dit, la planète effectue aussi d'autres mouvements secondaires. En effet, elle est en précession, ce qui

veut dire qu'à l'échelle de quelques milliers d'années, l'orientation de son axe de rotation se modifie. [Internet 6] Aussi, elle effectue un mouvement appelé nutation, qui est un balancement de la planète autour de sa position moyenne (l'axe de précession). Ce mouvement sinusoïdal est dû à l'attraction de la Lune. [Internet 7]

Or, pour l'astrophotographie, il est absolument nécessaire de pallier à ces mouvements de la Terre par rapport à l'objet observé. En effet, en ne considérant que la rotation de la Terre, il ne faut que 3,6 centièmes de secondes pour observer un déplacement du ciel avec un télescope de 10 pouces selon le critère de Rayleigh. [Annexe 1] (notons que cette valeur théorique est influencée par le grossissement du télescope) Puisqu'il faut un temps d'exposition bien plus élevée que 3,6 centièmes de secondes pour arriver à distinguer des objets sur une photographie du ciel, un système de guidage doit être utilisé avec les télescopes. Un tel système, composé d'une monture équatoriale dotée d'un moteur intégré à la base du télescope, permet à ce dernier de tourner lentement dans la direction opposée à la rotation de la Terre pour que les objets du ciel semblent fixes. La monture équatoriale est une monture qui est calibrée en mettant la base du télescope à niveau puis en dirigeant celle-ci sur l'étoile Polaire, puisque cette dernière se retrouve alignée au-dessus du pôle Nord de l'axe de rotation de la Terre. Cependant, cette solution ne compense pas pour les autres mouvements de la planète, qui ont

par ailleurs un effet significatif seulement pour des grossissements très importants et des durées d'exposition plus longues, généralement inaccessibles à l'astronomie amateur.

#### Conditions météorologiques

Une autre difficulté de l'astrophotographie réside dans les conditions atmosphériques particulières requises pour procéder à l'observation du ciel. D'abord, évidemment, il faut une absence de nuages et un ciel nocturne bien dégagé, loin de la pollution lumineuse des villes. Aussi, une nouvelle lune est le moment idéal pour l'observation du ciel, car la lumière de notre satellite contribue à éclairer le ciel, faisant en sorte que les objets célestes moins lumineux sont difficilement visibles. Les autres facteurs à prendre en compte sont la scintillation des étoiles (seeing) et de la transparence du ciel. La scintillation est due à la turbulence de l'atmosphère, c'est-à-dire les déplacements des masses d'air, qui lorsqu'ils sont importants, font apparaître les étoiles plus grosses, plus floues et moins ponctuelles. [Internet 8] D'autre part, c'est l'humidité qui influence le plus l'opacité du ciel, la nuit étant plus noire et les étoiles étant mieux visibles par temps sec. [Internet 9]

L'atmosphère est donc d'une grande influence pour observer les étoiles. En plus de ces phénomènes, elle provoque aussi de la réfraction, chacune de ses couches ayant une température, donc une densité et un indice de réfraction différents. Les rayons de lumière provenant des

étoiles sont donc déviés par l'atmosphère avant d'atteindre la surface de la planète, ce qui fait que les objets célestes lointains n'apparaissent pas à leur position véritable, et ils sont légèrement aplatis. [Internet 10] Ce phénomène ne pose cependant pas de problèmes importants pour les astronomes amateurs. [Morissette]

#### Objets célestes

Les objets célestes étudiés lors de cette expérience se séparent en deux types différents : les nébuleuses et les galaxies. Elles sont classées dans le catalogue de Messier, qui attribue la lettre M suivie d'un nombre à chacune.

Les nébuleuses sont des amas de gaz et de poussières dans l'espace, constituées majoritairement d'hydrogène, mais aussi d'hélium, d'oxygène, d'eau, etc. Elles se divisent en trois catégories : lumineuses, obscures et planétaires. Une nébuleuse lumineuse peut être soit en émission ou en réflexion. Lorsque les étoiles qui se retrouvent dans l'objet céleste sont assez chaudes et massives, elles excitent les gaz, qui émettent alors leur propre rayonnement. C'est ce qu'on appelle « en émission ». Si les gaz ne sont pas suffisamment excités par les étoiles, la lumière de celles-ci sera simplement réfléchi par les particules de poussières. Il s'agit alors d'une nébuleuse « en réflexion ». Pour ce qui est des nébuleuses obscures, elles se caractérisent par leur forte densité qui empêche la lumière d'une nébuleuse lumineuse située derrière de les traverser. Les nébuleuses

planétaires, quant à elles, sont des nuages de gaz excités et émis par une étoile en fin de vie. [Morissette] La nébuleuse d'Orion (M42), qui sera observée pour ce projet, est une nébuleuse lumineuse en émission et en réflexion, donc qui émet sa propre lumière et qui réfléchit celle des corps lumineux environnants. Elle fait partie de la Voie lactée et se trouve à environ 1 340 années-lumière de notre planète. [Stellarium]

Les galaxies sont des regroupements de corps célestes, que ce soit des étoiles, des planètes, des gaz, des poussières, etc. Celles-ci ont un noyau très lumineux, qui est souvent formé en son centre d'un trou noir supermassif. Il existe différents types de galaxies : elliptiques, lenticulaires, spirales et irrégulières. Les galaxies elliptiques ont une forme sphérique et contiennent très peu de gaz et de poussières, ce qui les différencie des galaxies spirales, qui elles contiennent énormément de gaz et de poussières et sont délimitées par ce qu'on appelle des bras, qui donnent la forme d'un disque. Une galaxie lenticulaire est en quelque sorte l'intermédiaire entre les deux galaxies précédentes et une galaxie irrégulière a une forme plus ou moins bien définie et contient plus de gaz et de poussières que n'importe quelle autre galaxie. [Morissette] Les quatre galaxies observées pour ce projet, soit la galaxie Whirlpool (M51), la galaxie du Sombrero (M104) et les deux galaxies M65 et M66 du Triplet du Lion, sont toutes des galaxies spirales.

## **Matériel et méthodes**

Cette expérience ne peut pas être réalisée à n'importe quel moment puisque pour photographier les corps célestes, il faut s'assurer de choisir une nuit où les conditions correspondent à celles énoncées plus tôt, c'est-à-dire une lune dans ses premières phases, une scintillation faible et une transparence élevée.

Pour sélectionner les objets du ciel à observer il faut utiliser un catalogue d'objets célestes, tels le catalogue de Messier ou encore le catalogue NGC. On se sert ensuite d'un cherche étoile ou d'une application telle Stellarium pour localiser les objets choisis dans le ciel. Le télescope est ensuite aligné sur la région du ciel à observer à l'aide d'un viseur laser Telrad, en se repérant à l'aide des constellations. Cependant, avant d'aligner le télescope, on vise une étoile lumineuse et on s'en sert pour faire la mise au point, en s'assurant que l'étoile apparaît ponctuelle et non pas en forme de beigne.

La caméra principalement utilisée pour cette expérimentation est un capteur CCD (charge-coupled device). Ce capteur est monté directement sur un télescope Schmidt-Cassegrain de 10 pouces à l'aide d'un embout conçu à cet effet. Le capteur est branché à un ordinateur portable exécutant un programme spécialisé de capture d'image comme SharpCap 3.1 afin de procéder à la prise des photos et de visualiser les images en direct sur l'écran. Les paramètres désirés pour chaque prise de vue sont sélectionnés à l'aide de ce logiciel. Lors des photographies, il est

préférable de ne pas bouger dans l'observatoire pour éviter les vibrations.

Une fois que la capture des photos est terminée, il faut maintenant compiler les images de courte exposition. Pour ce faire, l'utilisation d'un logiciel spécialisé, tel DeepSkyStacker, est requise. Une problématique rencontrée avec ce logiciel est qu'il est parfois impossible de compiler les images en raison d'une mauvaise détection des étoiles. Il est alors préférable d'utiliser un autre logiciel, comme Photoshop, pour enligner et compiler les images manuellement. Après le rendu des compilations, les images obtenues doivent être traitées avec Photoshop en modifiant le contraste, la saturation et la courbe pour faire apparaître clairement toutes les informations contenues dans les fichiers des compilations. Afin de bien comparer les résultats selon les différents paramètres (nombre de poses et temps d'exposition), il est nécessaire d'appliquer les mêmes traitements à toutes les images, même si le résultat pourrait être meilleur en faisant d'autres traitements.

### Sondage

Un sondage a été réalisé auprès de 31 répondants du CECC, soit des étudiants et des membres du personnel. Celui-ci est composé de six questions à choix de réponses. Le but de ce sondage est de confirmer ou infirmer les deux hypothèses en se basant sur l'avis de plusieurs personnes pour que ce soit le plus objectif possible. Les questions 1, 2 et 6 servent à vérifier si une compilation

de plusieurs images du même objet permet d'obtenir de meilleurs résultats qu'une image de longue exposition en comparant une longue exposition d'un corps céleste avec une ou plusieurs compilations d'images. Les questions 3 à 6 permettent quant à elles de déterminer les paramètres optimaux afin d'obtenir les meilleures images selon les critères précédemment établis en comparant des compilations d'un nombre d'images et d'un temps d'exposition différents, mais ayant un temps d'exposition totale identique. Les images sont présentées sur un ordinateur avec le logiciel PowerPoint et les répondants inscrivent leurs réponses sur un questionnaire fourni préalablement. La présentation des images est faite sur ordinateur afin de comparer les moindres différences entre chacune plus facilement. Le questionnaire et les choix du sondage sont présentés dans l'annexe 4.

## **Résultats**

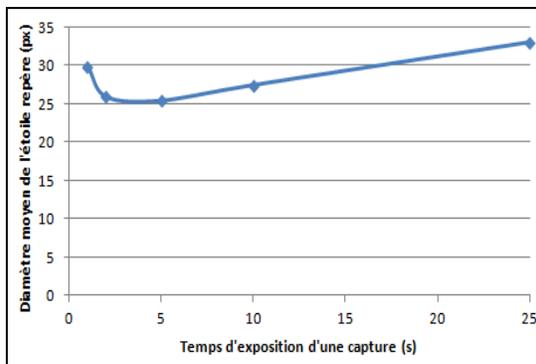
### Sondage

Les réponses de la première question soulignent que 93,5% des répondants trouvent que la photo B est la meilleure. Pour la question 2, c'est aussi 93,5% des répondants, soit 29 des 31 personnes interrogées, qui ont choisi la photo B. Pour la question 3, c'est 80,6% des sondés qui ont sélectionné l'image B. À la question 4, 83,9% des répondants ont choisi l'image A. Pour la question 5, le classement établi est B-C-A-E-D, B étant la meilleure photo et D, la pire. Pour la question 6, l'ordre est A-C-D-B, A étant la meilleure photo et B, la pire. (Annexe 4)

### Mesure des étoiles

Pour chaque compilation pertinente pour l'expérimentation, le diamètre d'une étoile a été mesuré. Cette étoile repère était la même pour chacune des photos d'un même objet. La hauteur et la largeur de la région surexposée (blanche) de l'étoile ont été mesurées, puis la moyenne de ces deux mesures a été effectuée afin de déterminer le diamètre moyen de l'étoile. Cette mesure permet de comparer la netteté de chaque image. Plus le diamètre de l'étoile repère est petit, plus l'image est nette.

Un graphique a été tracé avec les valeurs de diamètre moyen et de temps d'exposition des captures pour chacune des compilations d'Orion prises à un gain de 300 et ayant subi le même traitement. (Voir graphique 1)



GRAPHIQUE 1. Diamètre moyen d'une étoile repère en fonction du temps d'exposition d'une capture de la nébuleuse d'Orion.

L'ensemble des données des compilations utilisées lors de l'expérimentation est détaillé dans le tableau 1 de l'annexe 3.

### Discussion

D'abord, grâce au sondage, il est possible de confirmer la première

hypothèse en analysant les réponses aux questions 1, 2 et 6. Aux questions 1 et 2, l'image B, qui est une compilation, est celle qui est préférée à l'image A. Or, l'image A est une image unique de longue exposition pour chacune de ces deux questions. Pour ce qui est de la question 6, l'image B est classée dernière, et il s'agit de la seule image de longue exposition présentée à cette question, les trois autres choix étant des compilations d'images de courte durée. Les gens justifiaient leur choix en se basant principalement sur les critères de netteté et de bruit, comme quoi les images de longues expositions étaient floues (traînée lumineuse) et étaient très pixellisées. Ainsi, les compilations d'images produisent bel et bien de meilleurs résultats qu'une image seule de longue exposition, ce qui confirme la première hypothèse.

Pour la question 3, une majorité de gens sélectionnent l'image B comme étant la meilleure. Les critères évoqués sont surtout la couleur du fond, qui est plus sombre sur cette image, et le bruit, qui semble moins présent. Cependant, cette image est une compilation de 5 photographies de 20 secondes, alors que l'image A est une superposition de 10 images de 10 secondes d'exposition. Ainsi, les étoiles dans l'image B sont moins nettes et moins ponctuelles que dans l'image A en raison du temps plus élevé. Il est donc possible de remarquer que les répondants accordent ici plus d'importance à la couleur de l'image qui n'est en fait pas influencée par le temps d'exposition des photos, mais bien le traitement dans Photoshop. Selon le critère de la

netteté et de la ponctualité des étoiles, l'image A est meilleure, mais en raison du traitement d'image qui rend la B plus sombre et donc plus représentative du ciel, la A a été classée moins bonne.

Pour la question 4, l'image A est la meilleure selon les répondants, en raison de son fond plus sombre, de son niveau de détail plus élevé, et du bruit moins présent. Or, cette image est une compilation de 15 photographies de 15 secondes, pour un temps total de 225 secondes. L'image B, elle, est une compilation de 4 photographies de 15 secondes, pour un temps total de 60 secondes. Il est donc clair qu'un temps total plus élevé permet d'obtenir de meilleures images. Ainsi, pour la seconde hypothèse, le nombre de poses optimal tend vers l'infini, car plus le nombre de poses est élevé, meilleure est l'image.

La question 5 permet d'estimer un temps de pose optimal pour photographier Orion, conformément à ce qui était affirmé dans la seconde hypothèse. L'image B est classée favorite, et le temps d'exposition des photos qui la composent est de 10 secondes. C'est en effet à ce temps que le plus de détails apparaissent, et que la netteté semble optimale d'après les sondages. Cependant, en observant le diamètre moyen de l'étoile guide et en analysant le graphique, on observe que la taille minimale des étoiles, donc le niveau de netteté optimal, est atteint pour une compilation de plusieurs images de 5 secondes d'exposition. L'image C atteint le deuxième rang du sondage. Ainsi, le temps idéal doit

être situé entre 5 et 10 secondes, pour avoir le maximum de netteté tout en conservant l'ensemble des détails de la photo.

Les réponses de la question 6 permettent aussi d'estimer un temps optimal pour les deux galaxies du triplet du Lion qui ont été photographiées. Ce temps se situe autour de 10 secondes, puisque la meilleure image selon le sondage est la A, qui comporte des prises de vue de ce temps d'exposition.

Pour la deuxième hypothèse, il est alors possible de tirer deux conclusions : le temps de pose optimal se situe entre 5 et 15 secondes, dépendant de l'objet, et le nombre de poses optimal est infini. En effet, le fait de compiler plus de photographies permet d'ajouter plus de photons et donc d'obtenir plus de détails.

Ensuite, à l'aide du graphique 1, il est possible d'affirmer qu'il y a une corrélation entre le diamètre moyen de l'étoile repère et le temps d'exposition d'une capture. Pour les captures de 5, 10 et 25 secondes, il est pratiquement possible de dessiner une droite. Cela signifie que plus le temps d'exposition est long, plus le diamètre moyen des étoiles est grand, donc l'image est floue et les objets sont non ponctuels. Par contre, il est possible d'observer que les premiers points ne forment pas une droite avec les autres. En effet, bien que les temps d'exposition sont inférieurs à 5 secondes, les étoiles mesurées ont un diamètre supérieur à celles de 5 secondes. Puisque le temps d'exposition est très court, il est difficile d'enregistrer assez de

détails pour bien délimiter les objets. Ainsi, au moment de la compilation, il est impossible d'aligner parfaitement les points sombres représentant les étoiles les uns sur les autres, faisant qu'un décalage entre les images rend le résultat non parfaitement ponctuel.

Les résultats du sondage sont validés mathématiquement. Deux différents tests ont été effectués : un test d'hypothèse pour chacune des quatre premières questions et un test du khi carré pour les deux dernières questions. [Voir Annexe 2]

### **Conclusion**

Plusieurs constatations ont été faites lors de l'expérimentation. D'abord, le guidage du télescope n'est pas parfait, alors cela complique la prise de photos et limite le temps d'exposition maximal des photographies. Aussi, la quantité élevée d'objets photographiés a fait en sorte que le nombre de compilations de chaque objet n'était pas suffisant pour déterminer avec précision le temps d'exposition optimal. D'ailleurs, même si le nombre de photos avait été plus élevé, il demeure que les résultats obtenus sont spécifiques à cette combinaison de télescope, capteur CCD et système de guidage. Aussi, les logiciels employés sont un autre facteur qui peut faire varier les images obtenues. Entre autres, les modifications apportées avec Photoshop, bien que nécessaires, provoquent des différences dans les couleurs et les rendus finaux, ce qui vient influencer les résultats. Aussi, DeepSkyStacker ne fonctionnant pas correctement avec les images trop sous-exposées, la plupart des

compilations ont été réalisées avec Photoshop, qui n'est pourtant pas un logiciel spécialisé dans ce domaine.

### **Suggestions et perspectives d'avenir**

Se défaire des contraintes de l'atmosphère est hors de portée pour les astronomes amateurs, mais il existe une solution employée par les chercheurs appelée optique adaptative. Cela consiste en l'envoi d'un signal qui permet de déterminer en direct les turbulences atmosphériques. Ces données sont utilisées pour déformer le miroir afin de corriger les décalages spatiaux des photons occasionnés par la traversée de l'atmosphère, contrant ainsi la déformation des images. [Bédard] Un guidage parfait du télescope est tout aussi difficile à atteindre, et une méthode pour se prémunir de ces deux problèmes du même coup est d'envoyer le télescope en dehors de l'atmosphère et loin de la rotation de la Terre, c'est-à-dire, dans l'espace. Le télescope spatial Hubble y est d'ailleurs en ce moment même, et il sera bientôt rejoint par un autre télescope encore plus perfectionné appelé James Webb. [Bédard]

Ces solutions étant inaccessibles pour des étudiants du niveau du Cégep, une façon plus évidente d'améliorer les photographies serait d'utiliser des images *dark* et *flat*. Celles-ci servent à réduire les imperfections des images dues aux défauts du capteur CCD (pixels chauds) et aux saletés présentes sur les composantes du télescope. Elles doivent être soustraites aux compilations pour diminuer le bruit et

ainsi clarifier les images. Bien qu'elle augmenterait la qualité des images, cette modification n'influencerait probablement pas la vérification des présentes hypothèses.

Aussi, en faisant plus de compilations, il aurait été possible d'établir une fonction à optimiser pour chaque objet afin de calculer avec précision le temps d'exposition idéal des images.

Finalement, l'utilisation d'un logiciel plus performant pour la compilation des photographies permettrait d'obtenir des rendus plus efficaces et des images plus précises. Il pourrait être intéressant de contacter d'autres astronomes amateurs afin de savoir comment utiliser ces logiciels à leur plein potentiel.

### **Remerciements**

Nous tenons spécialement à remercier Pierre Bureau pour le partage de ses nombreuses connaissances en astronomie et en photographie et sa présence lors de nos sorties. Merci également à Jean-Norbert Fournier et Jean Bédard de nous avoir suggéré l'astrophotographie et nous avoir ensuite encouragés dans cette voie. Nous tenons aussi à remercier Mark Curley pour la correction de l'abstract. Finalement, merci à Steve Gamache de nous avoir guidés tout au long de la session.

## Références

[Internet 1]

[https://www.reddit.com/r/videography/comments/20zkbq/what\\_is\\_the\\_difference\\_between\\_gain\\_and\\_iso/](https://www.reddit.com/r/videography/comments/20zkbq/what_is_the_difference_between_gain_and_iso/) (page consultée le 13 mars 2018)

[Internet 2] <http://www.idigitalphoto.com/dictionary/gain> (page consultée le 13 mars 2018)

[Internet 3] <http://www.digitizationguidelines.gov/term.php?term=gainimage> (page consultée le 13 mars 2018)

[Internet 4] <http://photo.stereo.free.fr/photographie/photographie-ciel-de-nuit.php> (page consulté le 15 février 2018)

[Internet 5] <https://www.astronomes.com/lhistoire-de-lastronomie/galilee/> (page consultée le 6 mai 2018)

[Internet 6] <https://astro-rennes.com/initiation/precession.php> (page consultée le 10 avril 2018)

[Internet 7] <https://educalingo.com/fr/dic-fr/nutation> (page consultée le 10 avril 2018)

[Internet 8] [https://meteo.gc.ca/astro/seeing\\_f.html](https://meteo.gc.ca/astro/seeing_f.html) (page consulté le 20 février 2018)

[Internet 9] [https://meteo.gc.ca/astro/index\\_f.html](https://meteo.gc.ca/astro/index_f.html) (page consulté le 20 février 2018)

[Internet 10] <https://sites.google.com/site/miragesetrefraction/2---refraction-astronomique> (page consulté le 15 février 2018)

[Stellarium] <http://stellarium.org/fr/> (Logiciel téléchargé le 26 février 2018)

[Morissette] Morissette, G., (2003), *Astronomie premier contact* (3e édition), Québec, Les éditions du Griffon d'argile.

[Bédard] Bédard, J., astrophysicien, *l'astronomie* (Série d'entrevues), CEC à Chibougamau, Hiver 2018

Bureau, P., astronome amateur, *l'astrophotographie* (Série d'entrevues), Chibougamau, Hiver 2018

## Annexe 1

### CRITÈRE DE RAYLEIGH

L'angle limite de résolution est donné par la formule :

$$\theta_{\text{lim}} = 1,22 \frac{\lambda}{D}$$

où

$\lambda$  : Longueur d'onde de la lumière observée

D : Diamètre de l'ouverture

Les longueurs d'onde observées sont dans la partie visible du spectre électromagnétique. Or, la longueur d'onde centrale de ce segment est le vert, soit autour de 550 nm ou  $550 \times 10^{-9}$  m.

Ici, le diamètre du télescope est de 10 pouces donc 0,254 m.

$$\theta_{\text{lim}} = 1,22 \frac{550 \times 10^{-9}}{0,254} = 2,642 \times 10^{-6} \text{ rad}$$

La vitesse de rotation de la Terre est d'un tour par jour, donc  $360^\circ$  par 24 heures, c'est-à-dire :

$$\frac{360^\circ}{3600s \times 24h} = 0,00416 \text{ degré/seconde} = 7,27 \times 10^{-5} \text{ rad/seconde}$$

Donc il faut :

$$\frac{2,642 \times 10^{-6}}{7,27 \times 10^{-5}} = 0,03633 \text{ seconde}$$

c'est-à-dire 3,6 centièmes de secondes pour dépasser l'angle limite, et donc observer théoriquement un déplacement du ciel.

En pratique, ce temps est plus élevé, et est influencé par le grossissement. Plus le grossissement est grand, plus le temps est court.

## Annexe 2

### TEST D'HYPOTHÈSE

Tableau 2 : Test d'hypothèse à 5% d'erreur pour des variables qualitatives.

Question	Image	Pourcentage de l'échantillon	Intervalle de confiance (%)	
			Minimum	Maximum
1	B	93,5	84,9	102,2
2	B	93,5	84,9	102,2
3	B	80,6	66,7	94,6
4	A	83,9	70,9	96,8

### TEST DU KHI<sup>2</sup>

Tableau 3 : Données expérimentales pour la question 5.

Image \ Question	A	B	C	D	E	Total
1	4	10	12	1	5	32
2	7	13	4	2	4	30
3	14	6	8	3	2	33
4	4	1	7	8	11	31
5	2	1	0	17	9	29
Total	31	31	31	31	31	155

Tableau 3 : Données théoriques pour la question 5.

Image \ Question	A	B	C	D	E	Total
1	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	32
2	6	6	6	6	6	30
3	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	33
4	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	31
5	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	29
Total	31	31	31	31	31	155

$$\text{Khi}^2 = \chi^2 = \sum \frac{(O-T)^2}{T}$$

où O : Effectif observé et T : Effectif théorique

$$\chi^2 = 83,9781$$

Or la valeur minimale requise de  $\text{Khi}^2$  est 26,2962 pour 16 degrés de liberté à 5% d'erreur. Il est donc possible d'affirmer qu'il existe une corrélation.

Tableau 4 : Données expérimentales pour la question 6.

Image Question	A	B	C	D	Total
1	30	0	1	1	32
2	0	0	22	9	31
3	1	5	7	18	31
4	0	26	1	3	30
Total	31	31	31	31	124

Tableau 4 : Données théoriques pour la question 6.

Image Question	A	B	C	D	Total
1	31,258	31,258	31,258	31,258	32
2	31,250	31,250	31,250	31,250	31
3	31,250	31,250	31,250	31,250	31
4	31,242	31,242	31,242	31,242	30
Total	31	31	31	31	124

$$\text{Khi}^2 = \chi^2 = \sum \frac{(O-T)^2}{T}$$

où O : Effectif observé et T : Effectif théorique

$$\chi^2 = 333,662$$

Or la valeur minimale requise de  $\text{Khi}^2$  est 16,919 pour 9 degrés de liberté à 5% d'erreur. Il est donc possible d'affirmer qu'il existe une forte corrélation.

### Annexe 3

Tableau 1 : Renseignements sur les compilations.

Objet	Numéro du fichier	Traitement	Hauteur de l'étoile repère(px)	Longueur de l'étoile repère (px)	Rayon moyen (px)	Nombre d'images compilées	Temps d'exposition	Temps total	Gain	Position dans le sondage
M51 Whirlpool	2	DeepSkyStacker et Photoshop	26	21	24	15	15	225	400	Q4 : A
M51 Whirlpool	20	Photoshop	37	39	38	1	60	60	500	Q2 : A
M51 Whirlpool	21	Photoshop	28	22	25	4	15	60	500	Q2 : B Q4 : B
M51 Whirlpool	22	Photoshop	27	21	24	10	6	60	500	-
M42 Orion	6	Photoshop	29	37	33	4	25	100	300	Q5 : A
M42 Orion	7	Photoshop	25	30	28	10	10	100	300	Q5 : B
M42 Orion	8	Photoshop	23	28	26	20	5	100	300	Q5 : C
M42 Orion	9	Photoshop	24	28	26	50	2	100	300	Q5 : D
M42 Orion	10	Photoshop	33	27	30	100	1	100	300	-
M42 Orion	11	Photoshop	34	28	31	100	1	100	300	Q5 : E
M65 et M66 Lion	23	Photoshop	37	38	38	10	10	100	500	Q6 : A
M65 et M66 Lion	24	Photoshop	52	48	50	5	20	100	500	Q6 : C
M65 et M66 Lion	25	Photoshop	60	107	84	1	100	100	500	Q6 : B
M65 et M66 Lion	26	Photoshop	42	42	42	20	5	100	500	-
M65 et M66 Lion	26_2	Photoshop	34	31	33	20	5	100	500	Q6 : D
M104 Sombrero	27	DeepSkyStacker et Photoshop	15	16	16	10	10	100	500	Q1 : B
M104 Sombrero	28	Photoshop	23	20	22	10	10	100	500	Q3 : A
M104 Sombrero	29	Photoshop	27	24	26	5	20	100	500	Q3 : B
M104 Sombrero	30	Photoshop	41	81	61	1	100	100	500	Q1 : A

Q : Numéro de la question  
La lettre qui suit est le choix représenté par l'image

Annexe 4

\*À noter que les images présentées dans cette annexe sont compressées, il ne s'agit pas des images originales qui ont été utilisées pour le sondage.

QUESTION 1

A



B



QUESTION 2

A



B

QUESTION 3

A



B



QUESTION 4

A



B



QUESTION 5



QUESTION 6



## **Sondage sur l'astrophotographie**

\*Afin de déterminer les images qui vous semblent les meilleures, basez-vous sur la netteté, la quantité de détails, le bruit (pixellisation du fond) et la luminosité.

**Question 1 :** Quelle image de la galaxie du Sombrero vous semble la meilleure? Dites sur quel critère vous vous êtes basés.

- A                                       Les deux images semblent identiques  
 B

Critère : \_\_\_\_\_

**Question 2 :** Quelle image de la galaxie Whirlpool vous semble la meilleure? Dites sur quel critère vous vous êtes basés.

- A                                       Les deux images semblent identiques  
 B

Critère : \_\_\_\_\_

**Question 3 :** Quelle image de la galaxie du Sombrero vous semble la meilleure? Dites sur quel critère vous vous êtes basés.

- A                                       Les deux images semblent identiques  
 B

Critère : \_\_\_\_\_

**Question 4 :** Quelle image de la galaxie Whirlpool vous semble la meilleure? Dites sur quel critère vous vous êtes basés.

- A                                       Les deux images semblent identiques  
 B

Critère : \_\_\_\_\_

**Question 5 :** Veuillez attribuer les chiffres de 1 à 5 aux images de la nébuleuse d'Orion, 1 étant la meilleure image et 5 étant la moins bonne. Si deux images vous semblent identiques, attribuez-leur le même numéro. Dites sur quel critère vous vous êtes basés.

A :                      B :                      C :                      D :                      E :

Critère : \_\_\_\_\_

**Question 6 :** Veuillez attribuer les chiffres de 1 à 4 aux images de M65 et M66, 1 étant la meilleure image et 4 étant la moins bonne. Si deux images vous semblent identiques, attribuez-leur le même numéro. Dites sur quel critère vous vous êtes basés.

A :                      B :                      C :                      D :

Critère : \_\_\_\_\_

*Merci de votre participation!*  
*Charles et Laetitia*