

Imagerie à haute résolution du système solaire

Daniel Borcard

Introduction

La haute résolution... qui ne rêve pas de l'atteindre, d'obtenir des images de la lune, du soleil et des planètes regorgeant de détails fins?

Atteindre la haute résolution, c'est obtenir les plus fins détails que l'instrument est capable de livrer. Cette notion dépend donc de l'instrument et de la caméra, elle n'est pas absolue.

Les formules ci-dessous expliquent comment trouver la bonne combinaison télescope-barlow en fonction de la taille des pixels de votre caméra pour atteindre la haute résolution.

Ces formules sont utiles mais pas suffisantes: il faut aussi que votre optique soit bien **collimatée** et que le ciel coopère par une turbulence minimale. Et à propos de collimation: l'expérience m'a montré qu'avec un Schmidt-Cassegrain, pour espérer atteindre la haute résolution, il faut *collimater l'optique avant chaque séance, et cela même si l'instrument est monté de façon permanente!*

Quelques notions de base, quelques formules...

La **résolution optique** d'un télescope ou d'un réfracteur, c'est le plus petit angle apparent entre deux points que cet instrument permet de distinguer l'un de l'autre. La résolution optique est exprimée en **secondes d'arc**. Une seconde d'arc est la 3600^{ième} partie d'un degré. La résolution se calcule comme:

$$R = 120/D \quad \text{où } D = \text{diamètre de l'instrument en mm} \quad (\text{équ. 1})$$

Par exemple, un télescope de 8 pouces (203 mm) de diamètre permet une résolution optique égale à

$$R = 120/203 = 0,59 \text{ seconde d'arc}$$

Imager en **haute résolution**, cela veut dire obtenir une image sur laquelle on peut distinguer deux points l'un de l'autre lorsqu'ils sont séparés par un angle correspondant à la résolution du télescope. Par exemple, si deux cratères lunaires sont distants de 0,59 seconde d'arc et que le télescope a un diamètre de 203 mm, une image prise à travers ce télescope méritera le qualificatif "haute résolution" si les deux cratères y sont séparés. Si les deux cratères apparaissent comme un cratère allongé ou une tache indistincte, alors le plein potentiel du système optique n'a pas été exploité.

Le but à atteindre consiste à obtenir une **résolution photographique** égale à la résolution optique. Pour cela, il faut, pour une caméra numérique, que deux détails dont l'angle apparent est celui qui correspond à la résolution optique du télescope tombent sur deux pixels différents. Cela nous amène à la notion d'**échantillonnage**.

L'**échantillonnage** est la quantité de ciel couverte par **un pixel** de la caméra. Il se mesure en **secondes d'arc par pixel**. L'information (nombre de photons, "grains" de lumière) qui tombe sur un pixel est mesurée et traduite en un nombre d'électrons. Ce nombre d'électrons est codé avec plus ou moins de précision (nombre de bits par pixel). L'échantillonnage se calcule comme suit:

$$E = \frac{206 \times pix}{F} \quad \text{où } pix \text{ est la largeur d'un pixel en microns et } F \text{ est la focale du télescope en mm...} (\text{équ. 2})$$

Par exemple, un télescope de 2030 mm de focale (comme un C8 à F/D=10) et une caméra ayant des pixels de 3,75 microns (comme l'ASI224MC) donnent un échantillonnage égal à

$$E = \frac{206 \times 3,75}{2030} = 0,38 \text{ seconde d'arc par pixel.}$$

Des détails tombant sur un seul pixel ne sont pas résolus (séparés) sur l'image. Par conséquent, dans notre exemple, des détails distants de 0,38 seconde d'arc ne sont pas résolus sur l'image.

Pour atteindre la haute résolution, il faut que deux détails dont la distance angulaire correspond à la résolution du télescope tombent (en moyenne) sur deux pixels différents. Il s'ensuit que l'échantillonnage doit être au moins égal à la moitié de la résolution de l'instrument:

$$E = \frac{R}{2} = \frac{120}{2 \times D} = \frac{60}{D} \quad \text{équ. 3}$$

Cependant, l'équation 3 suppose que les deux détails à résoudre tombent sur deux pixels placés côte à côte. Or, rien ne garantit cette disposition pour l'ensemble des détails (au contraire). On peut donc pousser le raisonnement un peu plus loin: les détails à résoudre doivent tomber sur *deux pixels placés en diagonale*. Autrement dit, deux détails dont la distance est celle de la résolution du télescope doivent être projetés sur le capteur à une distance correspondant à $2 \times$ la taille du pixel $\times \sqrt{2}$. L'échantillonnage doit donc être:

$$E = \frac{R}{2 \times \sqrt{2}} = \frac{120}{2 \times \sqrt{2} \times D} = \frac{60}{\sqrt{2} \times D} \quad \text{équ. 4}$$

Par exemple, pour obtenir la haute résolution avec un Celestron 8 pouces, il faut atteindre un échantillonnage égal à

$$E = \frac{60}{\sqrt{2} \times 203} = 0.21 \text{ seconde d'arc par pixel.}$$

Cette valeur permet d'obtenir une **résolution photographique** égale à la résolution optique R , soit $0.21 \times 2 \times \sqrt{2} = 0.59$ seconde d'arc.

Enfin, pour les amateurs d'algèbre, on peut combiner les équations 1, 2 et 3 et montrer ainsi qu'on peut calculer directement le rapport F/D permettant la haute résolution sur la base de la taille du pixel uniquement, en posant:

$$R = \frac{120}{D} \quad E = \frac{206 \times pix}{F} = \frac{60}{\sqrt{2} \times D}$$

Donc, en isolant F/D:

$$\frac{F}{D} = \frac{\sqrt{2} \times 206 \times pix}{60} = 4,86 \times pix \approx 5 \times pix \quad \text{équ. 5}$$

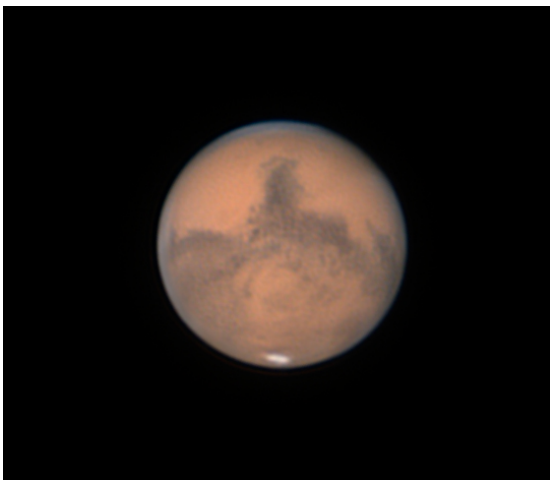
Ce rapport est valable quel que soit le diamètre de votre instrument.¹

¹ Une autre façon de voir la chose donne presque le même résultat: on veut disposer de trois pixels en ligne pour assurer la résolution maximale; autrement dit, échantillonnage égal au tiers de la résolution de l'instrument. E est alors égal à $40/D$. Le rapport F/D à atteindre est donc égal à $(206 \times pix) / 40 = 5,15 \times pix \approx 5 \times pix$.

Exemple: pour atteindre la haute résolution avec une caméra dont les pixels ont 3,75 microns de côté, il faut un rapport $F/D = 5 \times 3,75 = 18,75$. Si vous avez un télescope ouvert à $F/D=10$ (comme la plupart des SCT), une barlow 2× suffira pour atteindre la haute résolution (si la qualité de l'optique, la collimation et turbulence le permettent).

Cela dit, pourquoi ne pas grossir encore plus pour avoir une image plus grosse sur le capteur? On est souvent tenté de grossir au maximum dans l'espoir d'imager plus de détails, ou simplement pour avoir à l'écran une image plus grosse. C'est en général une illusion... en effet, sauf cas exceptionnels (*seeing* parfait, optique quasi parfaite), qui permettent une image plus douce lorsqu'on travaille un peu plus loin de la limite, le suréchantillonnage (grossissement amenant un échantillonnage plus fin que le pouvoir résolvant de l'instrument) est non seulement inutile, mais néfaste. Pourquoi? Pour deux raisons. La première est que l'instrument est déjà au bout de sa capacité. Un grossissement plus important ne révèle donc pas plus de détails. Et deuxièmement, *parce que chaque grossissement supplémentaire assombrit l'image*, et qu'il faut donc poser plus longtemps ou augmenter le gain de la caméra. Une pause plus longue fait courir plus de risques de donner une image floue à cause de la turbulence. Donc, non seulement on ne peut pas résoudre plus de détails parce qu'on est déjà à la limite de ce que le télescope peut résoudre, mais en plus on en perd à cause des pauses trop longues! Ainsi, passer de $F/D=10$ à $F/D=20$ (avec une barlow 2×) commande de poser 4 fois plus longtemps. Et si $F/D=20$ vous permet la haute résolution, passer à $F/D=30$ (p.ex. avec une barlow 3× au lieu de la barlow 2×) vous obligera à plus que doubler votre temps de pause sans contrepartie. Ou encore, si vous voulez maintenir le temps de pose, vous devrez augmenter le gain de la caméra, ce qui produira des images plus granuleuses... qui, même combinées par dizaines de milliers, ne révéleront pas plus de détails que ce que votre optique permet. Donc, chaque fois que l'envie vous prendra de grossir encore plus, souvenez-vous que vous gaspillerez de la lumière, et que la caméra, qui ne peut pas violer les lois de l'optique, ne vous révélera pas des détails que le télescope est incapable de résoudre!

Rappelons que ces règles sont valables pour l'imagerie du système solaire seulement. Les images du ciel profond, qui requièrent la plupart du temps des temps de pose de plusieurs minutes, ne peuvent atteindre de telles résolutions car la turbulence noie inévitablement les détails. Dans ce dernier cas, un échantillonnage permettant de résoudre des détails correspondant à la turbulence *moyenne* du site est amplement suffisant. Par exemple, si votre site présente une turbulence moyenne de 3 secondes d'arc (comme souvent au Québec), un échantillonnage d'1 seconde d'arc par pixel suffira amplement.



Mars, 9 octobre 2020. Newton 254 mm F/4, Astro-Physics 1200 GTO, PowerMate 5x, ASI224MC, Astronomik IR-cut. © Daniel Borcard