

# Détection de **Charon** au télescope de 62 cm

Jean DIJON, Bernard BALUSSEAU

## RÉSUMÉ

Malgré des conditions de turbulence peu favorables, Charon a été détecté autour de Pluton le 30 septembre 2021 avec le télescope Cassegrain de 62 cm de l'Observatoire de Saint-Véran. Un modèle photométrique simple basé sur des fonctions de Moffat nous a permis de confirmer cette détection et de déterminer les paramètres du couple proches de ceux prédits.

**MOTS CLÉS :** Pluton, Charon, Moffat.

## Les conditions d'observation

Depuis 1988, Pluton est passé dans l'hémisphère céleste sud. La planète naine affichera sa déclinaison la plus australe en 2030 et 2031 avec une déclinaison proche de  $-24^\circ$ , dans la constellation du Capricorne. Lors de notre mission au cours de la semaine 39 de 2021 (fin septembre), la déclinaison de Pluton était de  $-23^\circ 55'$ . Depuis l'Observatoire de Saint-Véran, la lointaine planète naine culminait à  $22^\circ$  en début de nuit. Malgré ces conditions délicates, nous avons tenté de détecter Charon, le satellite principal de Pluton, au foyer du télescope de 62 cm (T62), géré par l'association d'AstroQueyras<sup>1</sup> (figure 1). Cet instrument de configuration Cassegrain présente une distance focale de 9,2 m (F/D 15).

Pour réaliser cette observation il a été tenu compte des deux difficultés suivantes :

- le faible éclairage relatif de Charon dont la magnitude est supérieure de deux unités à celle de Pluton ;
- la séparation entre Pluton et Charon qui est au mieux de 0,7 à 0,8".

Par ailleurs, à  $22^\circ$  de hauteur, le seeing est deux fois moins bon et le paramètre de Fried  $r_0$  deux fois plus faible que la valeur donnée par le seeing monitor de l'observatoire au zénith (figure 2) illustrant la relation analytique de  $r_0$  :

$$r_0 \approx \lambda^{6/5} (\cos(Z))^{3/5} \quad (1)$$

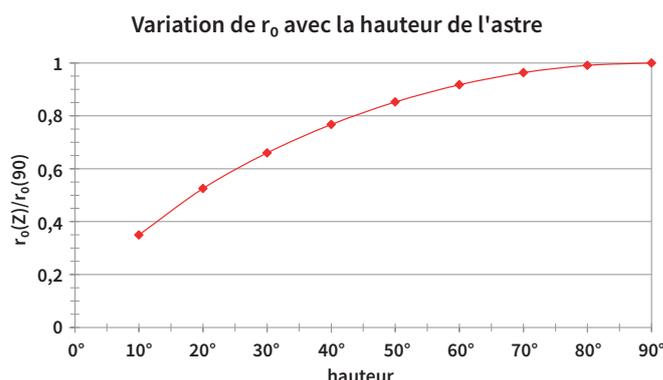
où  $Z$  est l'angle d'incidence sur l'atmosphère et  $\lambda$  la longueur d'onde.

Le 30 septembre 2021, nous avons réalisé des vidéos au foyer du T62 avec une caméra ZWO ASI290MM dotée de pixels d'une taille de  $2,9 \mu\text{m}$ . Un essai préalable nous a montré qu'il fallait travailler en binning  $2 \times 2$  pour minimi-

## ABSTRACT

*In spite of poor seeing conditions, Charon has been detected around Pluto on September 30, 2021 with the 62 cm Cassegrain telescope of Saint-Véran Observatory. A simple photometric model based on Moffat functions allows us to determine the parameters of the couple with values close to what is expected.*

**KEYWORDS :** Pluto, Charon, Moffat.



**Figure 2 · Évolution du paramètre de Fried  $r_0$  en fonction de la hauteur de l'astre.  $Z$  est l'angle d'incidence ou angle par rapport au zénith.**

ser le temps de pose, ce qui donne un échantillonnage de  $0,129''$  d'arc par pixel.

Après le pointage de Pluton, nous avons réglé soigneusement le correcteur de dispersion atmosphérique (ADC) au moyen d'une caméra ASI224, puis nous avons remplacé la caméra couleur par la caméra monochrome sans utiliser de filtre. Les prises de vues ont été réalisées avec des pauses de 1 et 0,8 seconde. Ces temps d'intégration, relativement longs, rendent la technique de lucky imaging (pose de 100 ms ou moins) peu efficace. En effet la constante de temps de la turbulence atmosphérique est de l'ordre de 10 à 100 ms suivant la vitesse des vents.

Deux films, de vidéo numérique, d'une durée de 600 secondes ont été réalisés. Le seeing monitor en début de nuit donnait une turbulence de l'ordre de  $1''$  (soit  $2''$  à la hauteur de Pluton). La question est donc de démontrer, si avec une turbulence aussi forte, nous avons bien détecté la présence de Charon.



Figure 1 - Télescope Cassegrain de 62 cm de Saint-Véran. Patrick Delay.

## Résultats

Les images empilées avec le logiciel AutoStakkert 3<sup>2</sup>, en ne retenant que 10% des meilleures images, ne sont pas spectaculaires (figure 3). Pluton, l'objet le plus brillant, est entouré de trois étoiles. On note que les étoiles sont légèrement ovalisées (13 % en moyenne dans la direction nord-ouest/sud-est). Cette ovalisation est probablement due à un astigmatisme résiduel du télescope. Charon est heureusement dans la direction nord-est, donc perpen-

diculaire à cet allongement. Sur l'image obtenue (figure 3), Pluton semble avoir une légère excroissance dans la direction de Charon prévue par les éphémérides<sup>3</sup>.

Pour nous convaincre de la réalité de la présence de Charon, nous avons effectué deux séries de coupes photométriques. Chaque série comporte un profil de l'étoile de référence (la plus brillante à l'ouest) et une de Pluton comme indiqué sur la figure 4.

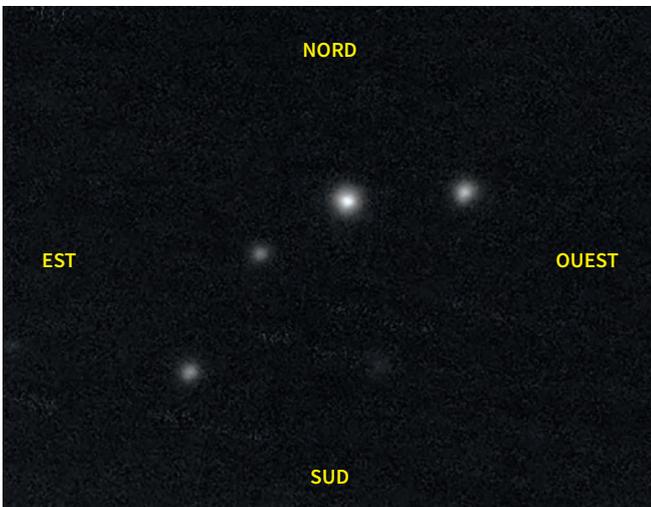


Figure 3 - Image de Pluton le 30 septembre 2021 à 18 h 53 min UT. Pluton est l'objet le plus brillant de l'image.

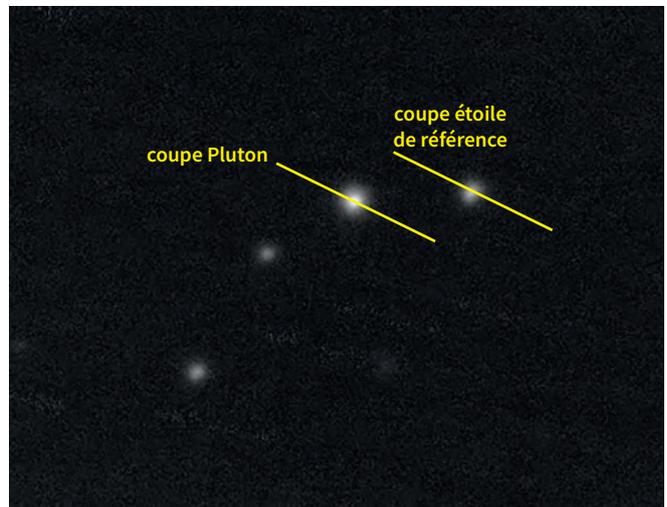


Figure 4 - Coupes réalisées de l'étoile de référence et de Pluton dans la direction présumée de Charon.

La direction de la première coupe, illustrée sur la figure 5, est celle de la direction de Charon donnée par les éphémérides.

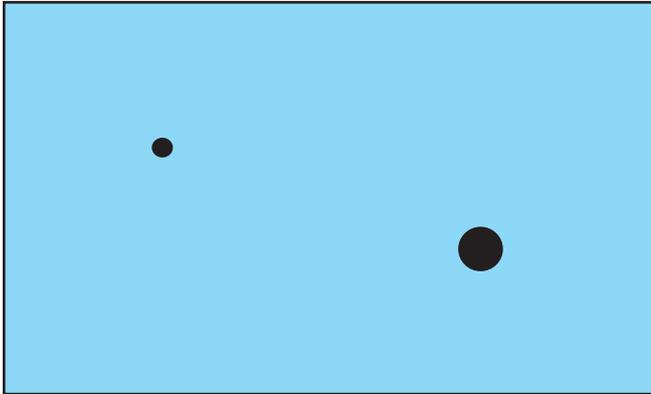


Figure 5 · Position de Charon d'après les éphémérides<sup>3</sup> le 30 septembre à 18 h 30 min UT.

Les coupes photométriques des objets ont été effectuées avec le logiciel Prism v10<sup>4</sup> puis les données ont été importées dans Excel pour être modélisées.

La PSF (point spread function) ou fonction d'étalement de tache pour un point source, est ajustée sur l'étoile de référence. Le couple Pluton-Charon est alors modélisé avec la somme de deux PSF ayant les paramètres de largeur obtenus avec l'étoile de référence. La différence de magnitude entre la planète et son satellite est, dans un premier temps, fixée à 1,7 magnitude (valeur donnée par les éphémérides, magnitude de Pluton 14,5 et celle de Charon 16,2).

### Modélisation du profil photométrique de l'étoile de référence

Nous avons utilisé une fonction de Moffat<sup>5</sup> pour ajuster la PSF de l'image. Cette fonction (2) ajuste mieux les ailes du profil photométrique qui n'est pas gaussien et ne correspond pas à la tache d'Airy (figure de diffraction) du fait de la turbulence. Cette fonction est définie par les paramètres  $\alpha$  et  $\beta$  qui construisent la forme du profil :

$$PSF = I_0 \frac{\beta - 1}{\pi \alpha^2} \left(1 + \left(\frac{r}{\alpha}\right)^2\right)^{-\beta} \quad (2)$$

où  $I_0$  est proportionnel à l'amplitude du maximum et  $r$  est la différence d'abscisses entre un point du profil et le maximum.

L'ajustement du profil de la fonction de Moffat est en bon accord avec la mesure comme on peut le constater sur la figure 6.

L'ajustement du profil est effectué de la façon suivante : après avoir importé dans Excel le fichier texte des données créé par Prism, les équations du modèle sont ajustées grâce à l'outil solveur. La distance définie par la somme des carrés des écarts entre les données et le modèle est minimisée en fonction du jeu de paramètres ajustables.

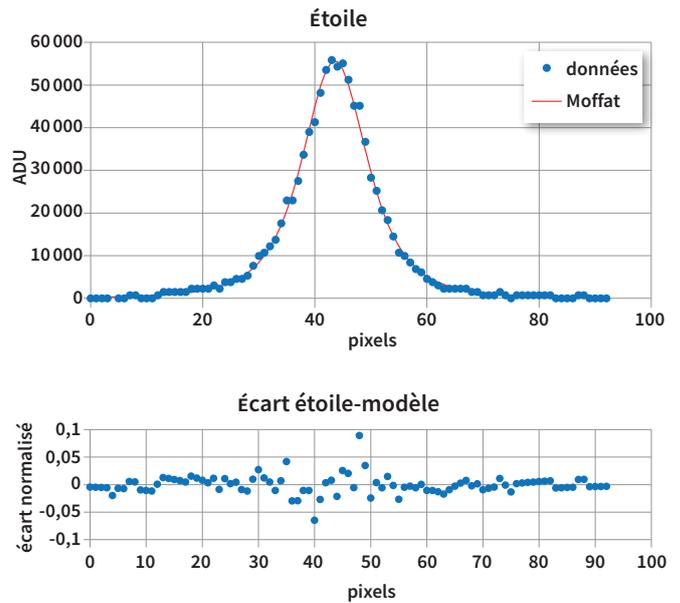


Figure 6 · Ajustement du profil photométrique de l'étoile de référence (en haut) et écart par rapport au modèle (en bas).

Les paramètres du modèle de l'étoile obtenus à partir du tableur Excel sont les suivants :

$I_0$	$2,15 \times 10^7$
$\beta$	1,816 088 44
$\alpha$	10,013 241 8
$X_{max}$	43,55

où  $X_{max}$  est la position du maximum de la courbe (en pixels).

La largeur de l'étoile à mi-hauteur (FWHM, Full Width Half Maximum) est de 1,9", proche de celle attendue à partir du seeing mesuré au zénith (1") compte tenu de la hauteur de l'objet.

### Modélisation du profil photométrique du couple Pluton-Charon

Le modèle calculé du couple Pluton-Charon est le suivant :  $\alpha = 10$  et  $\beta = 1,82$  issu de la PSF de l'étoile. Le paramètre Coef dans l'équation (3) provient de la différence de magnitude entre les deux objets.

$$I = \frac{I_{plu}(\beta - 1)}{\pi \alpha^2} \left[ \left(1 + \frac{(x - x_{plu})^2}{\alpha^2}\right)^{-\beta} + \frac{1}{Coef} \left(1 + \frac{(x - x_{cha})^2}{\alpha^2}\right)^{-\beta} \right] \quad (3)$$

En théorie, comme il y a 1,7 magnitude d'écart entre Pluton et Charon, Coef est égal à 4,78 :

$$Coef = 10^{\left(\frac{1,7}{2,5}\right)} = 4,78 \quad (4)$$

En fait, nous avons également décidé d'ajuster ce coefficient, car la différence de magnitude apparente au moment de l'observation peut être différente.

Les paramètres ajustables dans l'équation (3) sont donc

Iplu, les positions xplu et xcha des deux objets et Coef.

La distance d entre les deux objets est (xplu - xcha) en pixels et l'écart de magnitude est :

$$D_m = 2,5 \log_{10}(\text{Coef}) \quad (5)$$

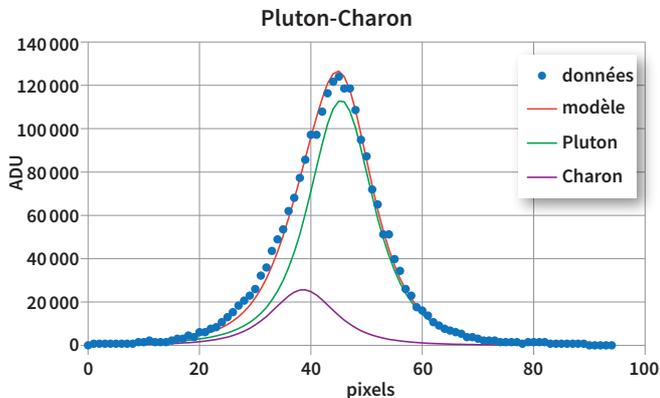


Figure 7 · Ajustement du profil photométrique du couple Pluton-Charon.

On remarque que le profil expérimental obtenu par la coupe sur la pile d'images illustré sur la figure 7 est dissymétrique contrairement à celui de l'étoile de référence. L'ajustement du modèle fournit les paramètres suivants :

Iplu	43 650 000
Icha	9 920 454,55
xplu	45,4
xcha	38,6
d	6,8
$\beta$	1,816 088 44
$\alpha$	10,013 241 8
Coef	4,4

L'écart entre les deux objets est de 6,8 pixels. L'échantillonnage E de la caméra ASI290 en mode binning 2x2 est de :

$$E = \frac{2 \times 2,9 \times 10^{-3}}{9275} \frac{180 \times 3600}{\pi} = 0,129''/\text{pixel}$$

L'écartement Pluton-Charon obtenu avec l'exploitation du profil est de  $6,8 \times 0,129 = 0,87''$ .

Suivant les contraintes que l'on impose à l'ajustement des profils et de leurs positions observés, cette distance peut évoluer jusqu'à 1".

Cette valeur est relativement proche de l'écartement théorique calculé de 0,7" attendu entre Pluton et Charon. Nous avons donc un écart O-C (Observé moins Calculé) très faible.

La différence de magnitude entre les deux objets donnée par le modèle est de 1,6 (légèrement plus faible que la valeur moyenne de 1,7 donnée par les éphémérides). Cet écart peut s'expliquer par le fait que les magnitudes sont prédites pour le visible, tandis que notre observation est faite dans la large bande spectrale d'un capteur dont la sensi-

bilité s'étend de la bande V (visible centrée sur 550 nm) à la bande I (infrarouge centrée aux alentours de 800 nm).

Pour nous convaincre de la réalité de cette détection, nous avons réalisé une deuxième série de coupes photométriques dans la direction de l'allongement des étoiles (figure 8) où Charon n'est pas censé se trouver.

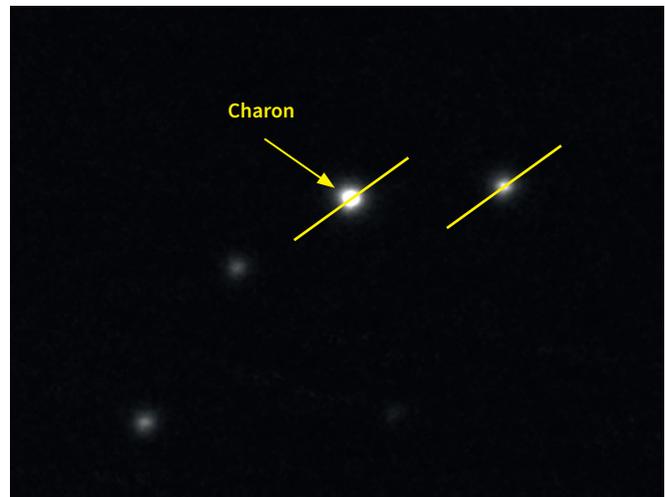


Figure 8 · Coupes photométriques réalisées dans la direction de l'allongement des étoiles.

Les profils obtenus dans cette direction sont symétriques (figures 9 et 10).

Les paramètres de l'ajustement de l'étoile de référence dans le sens de l'allongement sont les suivants :

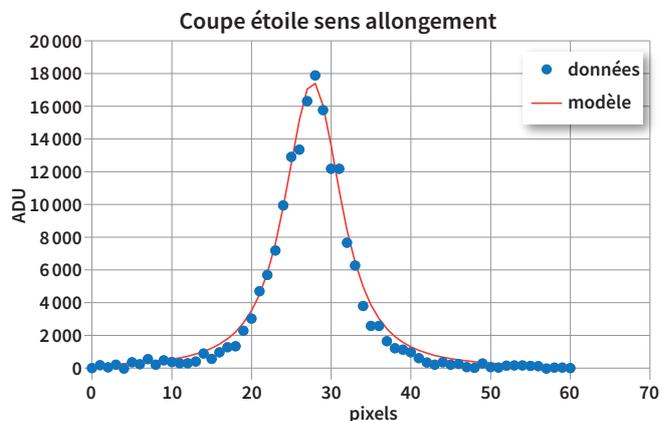


Figure 9 · Coupe photométrique de l'image de l'étoile de référence suivant la direction de l'allongement de l'image.

$I_0$	$7,95 \times 10^6$
$\beta$	1,347 544 43
$\alpha$	5,074 566 58
$X_{\max}$	27,689 273 5

Les paramètres de l'ajustement de Pluton-Charon obtenus en conservant les paramètres de la PSF de l'étoile de référence sont les suivants :

$I_0$	$4,04 \times 10^4$ <b><math>9,0 \times 10^6</math></b>
$\beta$	1,347 544 428
$\alpha$	5,074 566 576
$X_{\max}$	36,922 548 44

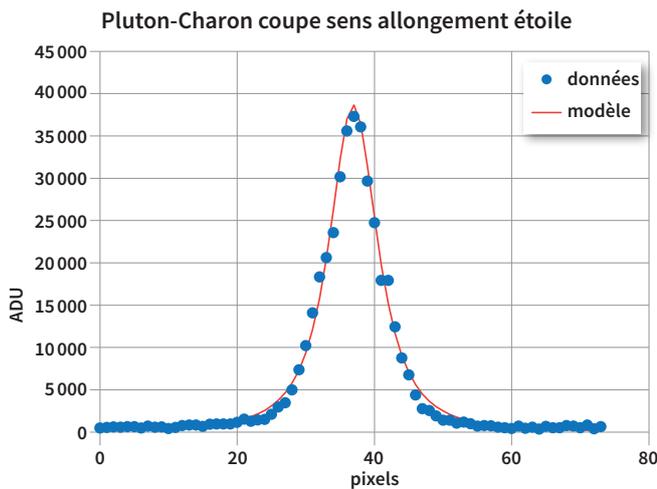


Figure 10 · Coupe photométrique de l'image du couple Pluton-Charon suivant la direction de l'allongement de l'image.

L'ajustement est correct comme on peut le voir sur la figure 10 et ne nécessite pas d'utiliser l'équation (3) ce qui confirme bien que Charon se situe dans la direction de la première série de coupes.

La déconvolution de l'image avec le logiciel PixInsight<sup>6</sup> fait apparaître Charon de façon un peu plus convaincante comme l'illustre la figure 11.

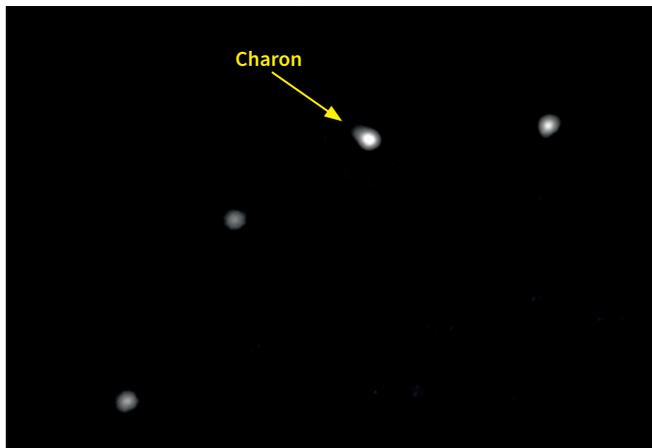


Figure 11 · Déconvolution de l'image.

## Conclusions

En conclusion, malgré un seeing assez peu favorable (2") et en l'absence d'une séparation claire, la détection de Charon autour de Pluton est positive.

Le modèle photométrique fournit une position de Charon en accord avec les valeurs attendues à savoir :

	Valeurs de référence	Valeurs obtenues
Distance Pluton-Charon	0,7"	0,87 ± 0,15"
Différence de magnitude entre Pluton et Charon	1,7	1,6
Direction du couple Charon-Pluton	nord-est	nord-est

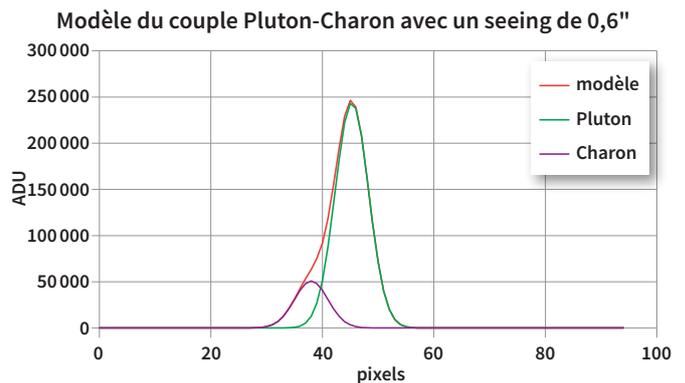


Figure 12 · Simulation du profil photométrique du couple Pluton-Charon lorsque le seeing est de 0,6".

Pour obtenir des résultats plus convaincants, il faudrait un seeing de 0,6" pour dédoubler les deux objets comme le montre la simulation de la figure 12. Il faudra attendre plusieurs dizaines d'années pour que Pluton retrouve une hauteur plus raisonnable dans le ciel de la France métropolitaine. Une alternative consiste à faire une mission dans un observatoire situé dans l'hémisphère sud où Pluton est susceptible de passer à proximité du zénith. Cette détection avec de bonnes conditions est sans doute possible avec un télescope de plus faible diamètre. L'utilisation d'un filtre rouge, voire infrarouge, pourrait contribuer à la détection de Charon en diminuant les effets néfastes de la turbulence.

Enfin, notons que cette technique d'acquisition d'images et de dépouillement peut s'avérer utile pour détecter des couples serrés au-delà des limites de résolution du télescope et des effets de la turbulence. ●

## Remerciements

Nous tenons à remercier Bruno Dauchet, tous les membres de la mission S39 (2021) et toute l'équipe de l'association AstroQueyras qui ont contribué au succès de cette mission, dans les phases de préparation, de réalisation et de dépouillement.

## Notes

- 1 AstroQueyras : <https://astroqueyras.com>
- 2 Autostakkert : <https://www.autostakkert.com>
- 3 Éphémérides 2021 de l'IMCCE, éphémérides de Pluton Charon
- 4 Prism : [www.alcor-system.com](http://www.alcor-system.com), <https://www.prism-astro.com>
- 5 A.F.J Moffat. A theoretical investigation of focal stellar images in the photographic emulsion and application to photographic photometry. *Astronomy & Astrophysics* vol. 3 (1969), pp. 455-461.
- 6 <https://pixinsight.com>

Les liens sont publiés sur [lastronomie.fr/ot](http://lastronomie.fr/ot)