

Traitement semi-automatique des images de l'éclipse totale du 8 avril 2024

Christian Viladrich

<http://astrosurf.com/viladrich/>

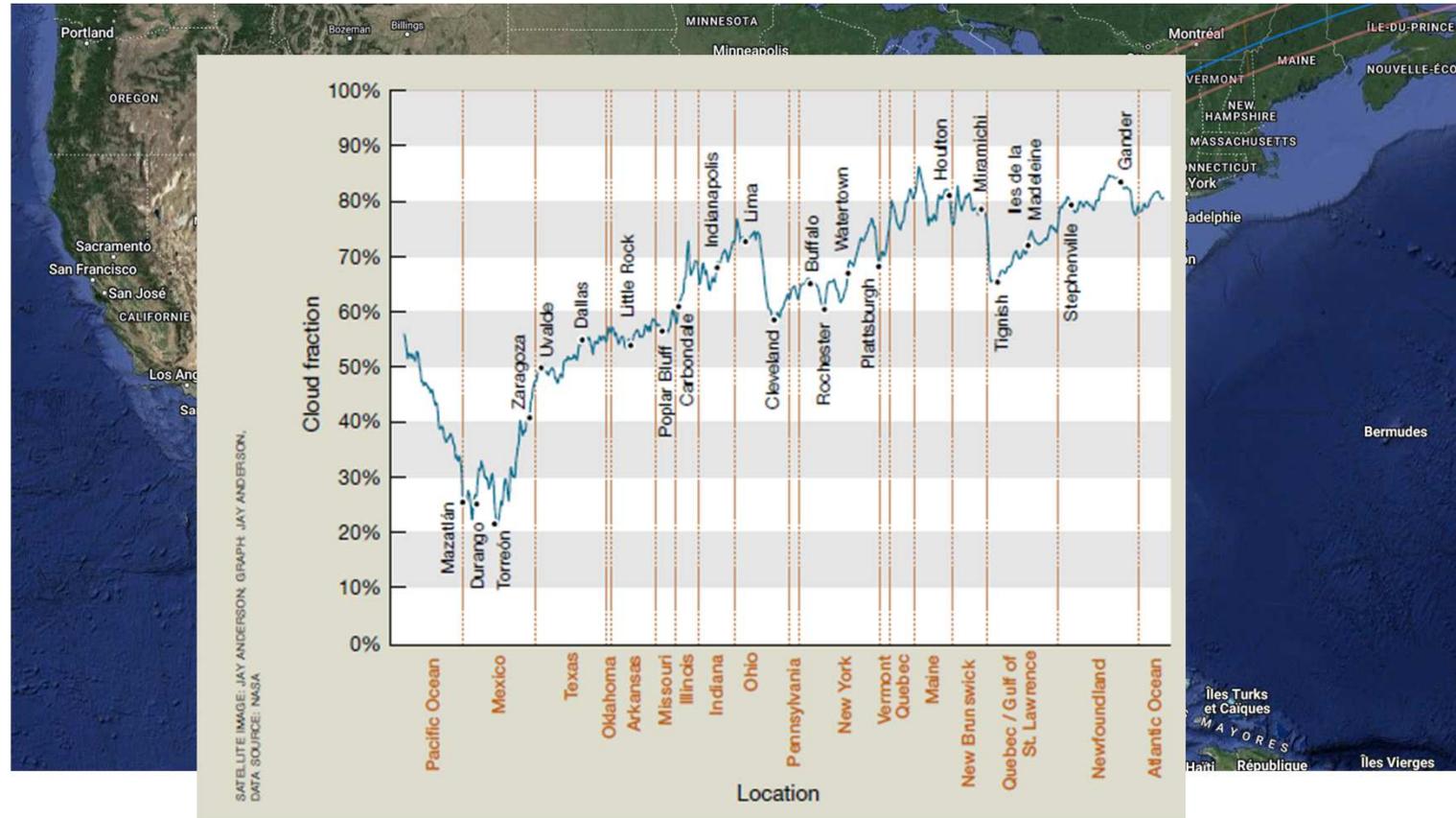
<http://www.astronomiesolaire.com/>

Sommaire

- L'éclipse du 8 avril 2024.
- Préparation et choix techniques (lunette, APN, monture, etc.).
- Dynamique de la couronne solaire et difficultés propres au traitement des TSE
- Traitement et résultats
 - Recentrage des images.
 - Stack HDR.
 - Correction du gradient radial et augmentation du contraste local.
 - Résultats
- Résultats remarquables obtenues lors des éclipses totales 2023 et 2024

L'éclipse du 8 avril 2024

- Maximum solaire (couronne symétrique).
- Plan A : Mazatlan/Mexique
 - 4 mn 20 s
 - Soleil 70° au-dessus de l'horizon.
 - couverture nuageuse moy = 25%
- Mais arrivée de cirrus ...
- Passage au plan B :
 - 4 mn 13 s à Cacalotan.

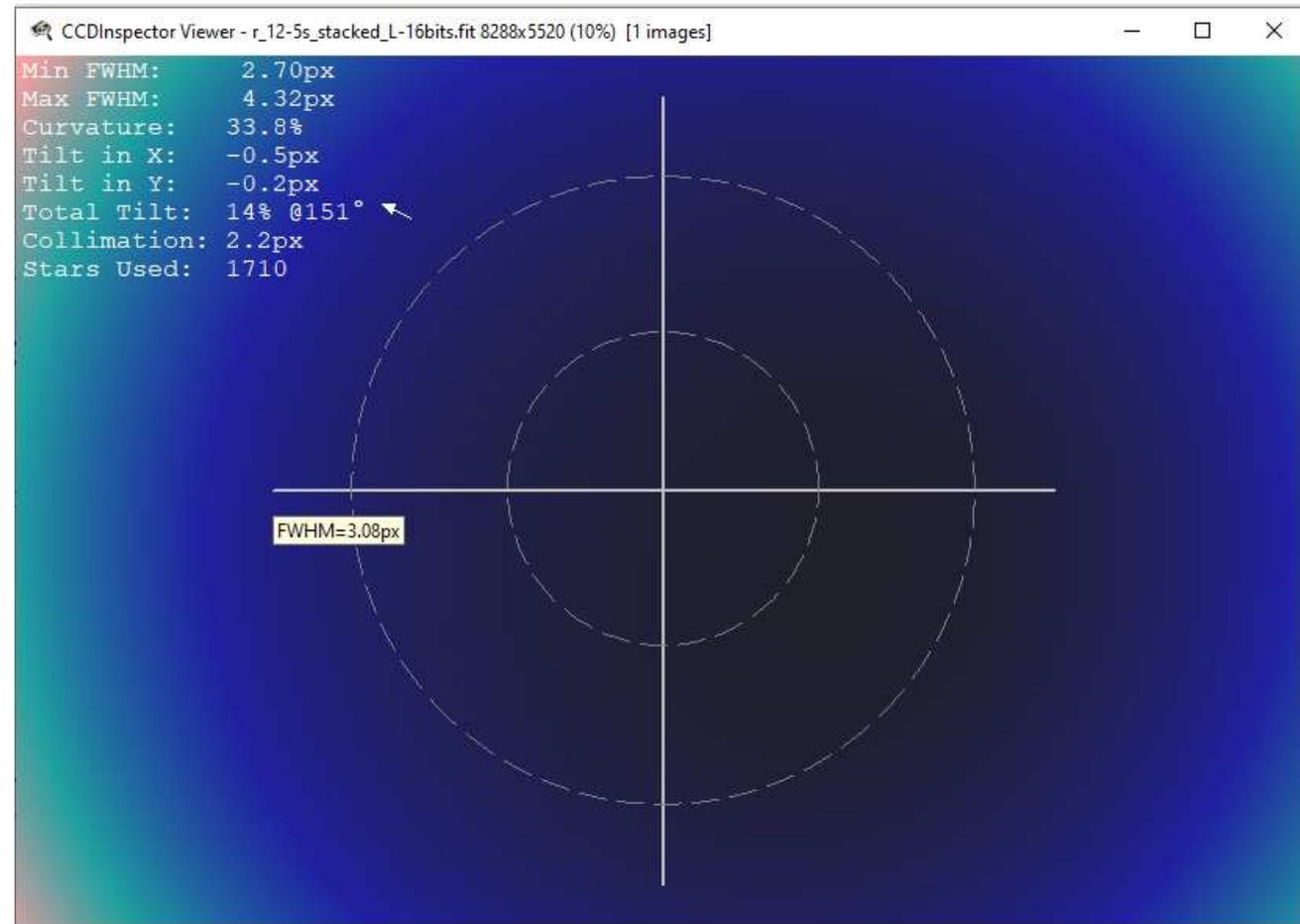
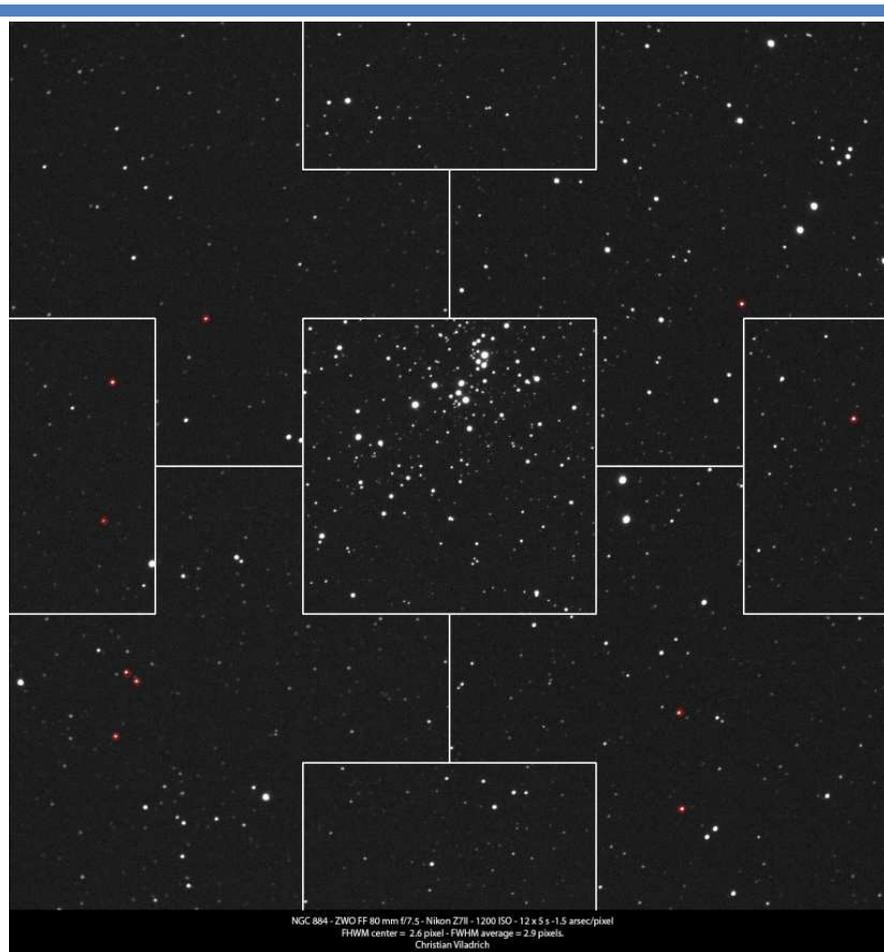


Lunette ZWO 80/600

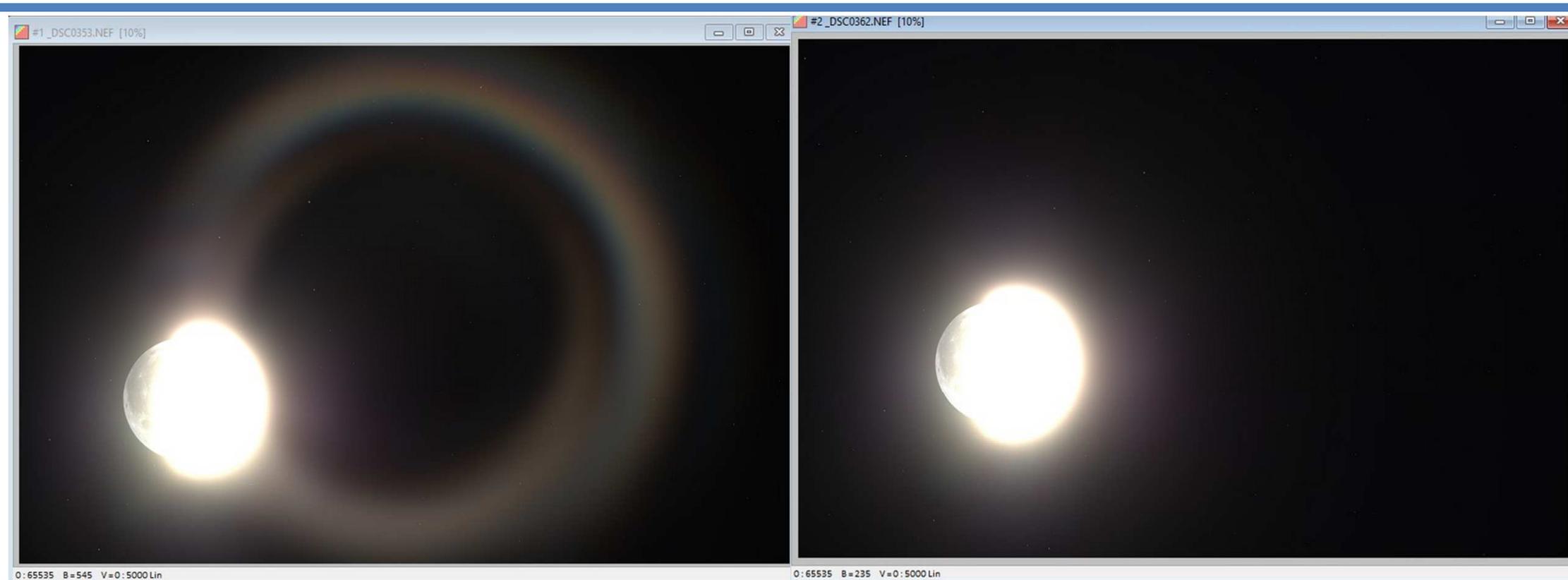
- Configuration limitée par poids max en avion ☹️
- Lunette ZWO FF80/600
 - Couverture de champ (quadruplet) : $2.3^\circ \times 3.4^\circ$,
 - Rotateur de champ (alignement est-ouest : facilite traitement),
 - Mise au point démultipliée,
 - Chercheur coudé pour faciliter pointage.
- Nikon Z7 II
 - mode RAW 14 bits, 13.8 bits de dynamique mesurée,
 - obturateur électronique (pas de bougé),
 - bracketing auto : 9EV de 1/250s à 1 s (cycle 3 s),
 - télécommande sans fil : 65 cycles de 3 s + 1 s (pas de PC),
 - Viseur électronique, mais map sur écran (Soleil à 70° de hauteur),
 - 1.5 arsec/pixel.
- Monture harmonique iOptron HAE29 EC
 - Pas de contrepoids. Trépied carbone. Codeur optique en RA.



ZWO 80/600 : couverture de champ



ZWO 80/600 : gestion des reflets



Pleine ouverture 😞

Avec diaphragme de 75 mm 😊

Mise au point et dilation thermique

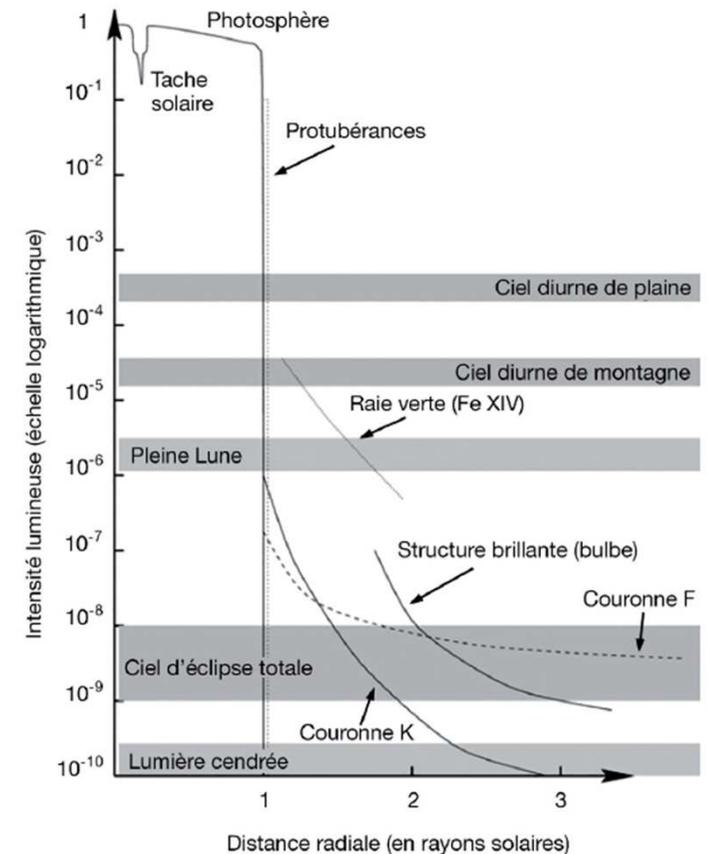
- Latitude de map à $F/8 = \pm 0.07$ mm.
- Focuser démultiplié :
 - Un tour = 3 mm (= 60 dents)
 - Une dent = 0.05 mm
- Repérage map par « vernier ».
- Dérive de map de $1/8$ tr = 0.38 mm au cours de l'éclipse.

- FWHM éclipse = 2.6 pixels = 3.9 arsec (idem FWHM mesurée la nuit).



Dynamique de la couronne solaire

- Dynamique couronne solaire de l'ordre de 10 000
 - Luminosité basse couronne = Pleine Lune/ protu brillante.
 - Luminosité à 6 R = lumière cendrée.
- Solution :
 - capteur à grande dynamique (13.8 bits = 14 000).
 - Bracketing avec large plage de temps de pose :
 - 1/250 s pour les protubérances (idem Pleine Lune)
 - 1 s pour la couronne lointaine (idem Lumière cendrée)



Dynamique de la couronne solaire

- Au total : 65 cycles de 9 images = 585 images.
- Trop d'images pour un traitement manuel : comment faire pour automatiser le traitement au maximum ?



Les trois étapes du traitement

- 1) Recentrage des images sur la couronne solaire (et pas la Lune ou les étoiles).
- 2) Addition des images pour obtenir une image HDR (avec toute la dynamique).
- 3) Réduction du gradient radial de luminosité et mise en évidence des détails, à la fois dans les zones très lumineuses (protu) et très faibles (lumière cendrée).

Travail alimenté par :

- Echanges sur Cloudy Night Forums (François Ayello, Colin Legg, Jonathan Hill, Valentin Volchkov) : <https://www.cloudynights.com/topic/888126-solar-eclipse-image-processing-achf-fnrgf/>
Vers de l'open source ?
- Thèse Hana Druckmüllerova : Application of adaptive filters in processing of solar corona images.
- SunPy / Sunkit-image : *free and open-source solar data-analysis software based on Python environment.*
<https://docs.sunpy.org/projects/sunkit-image/en/stable/>

Recentrage des images sur le Soleil

Déplacement Soleil / Lune = 3.8 pixels en 20 s

1^{er} tentative : recentrage automatique par mesure position centre disque lunaire, puis correction déplacement Lune/Soleil.

- Détection du limbe lunaire (filtre de Sobel).
- Détection centre cercle : transformée de Hough.
- OK sur cas test (éclipse 2006)
- Mais pas bon en 2024 du fait du passage des nuages ☹️

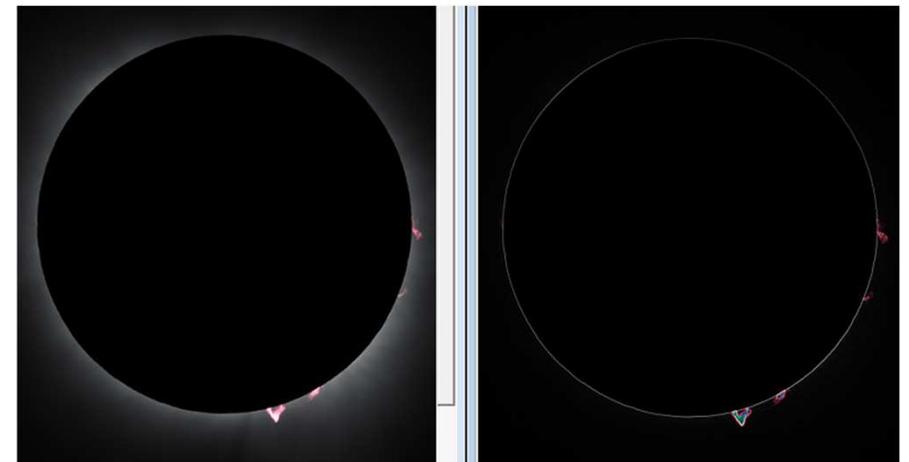
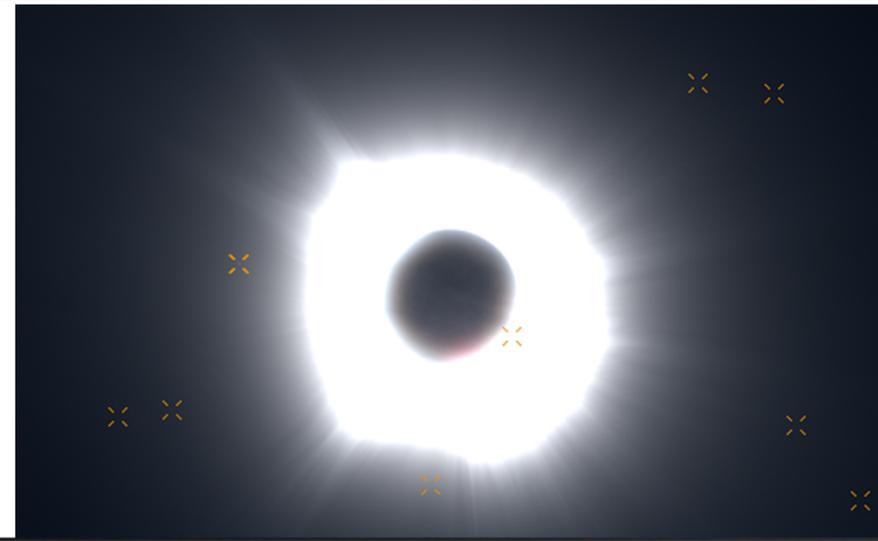


Image initiale

Détection contour

Recentrage des images sur le Soleil

- Approche retenue : mesure position étoile(s)
 - Plate solving : OK, mais seulement pour pose de 1 s sans nuages 😞
 - AstroArt (semi-auto) : poses 1/250 s à 1s. Etoile $m = 5.2$
- Puis translation des images en fonction dérive étoile/Soleil calculée à partir des éphémérides (code en Julia).



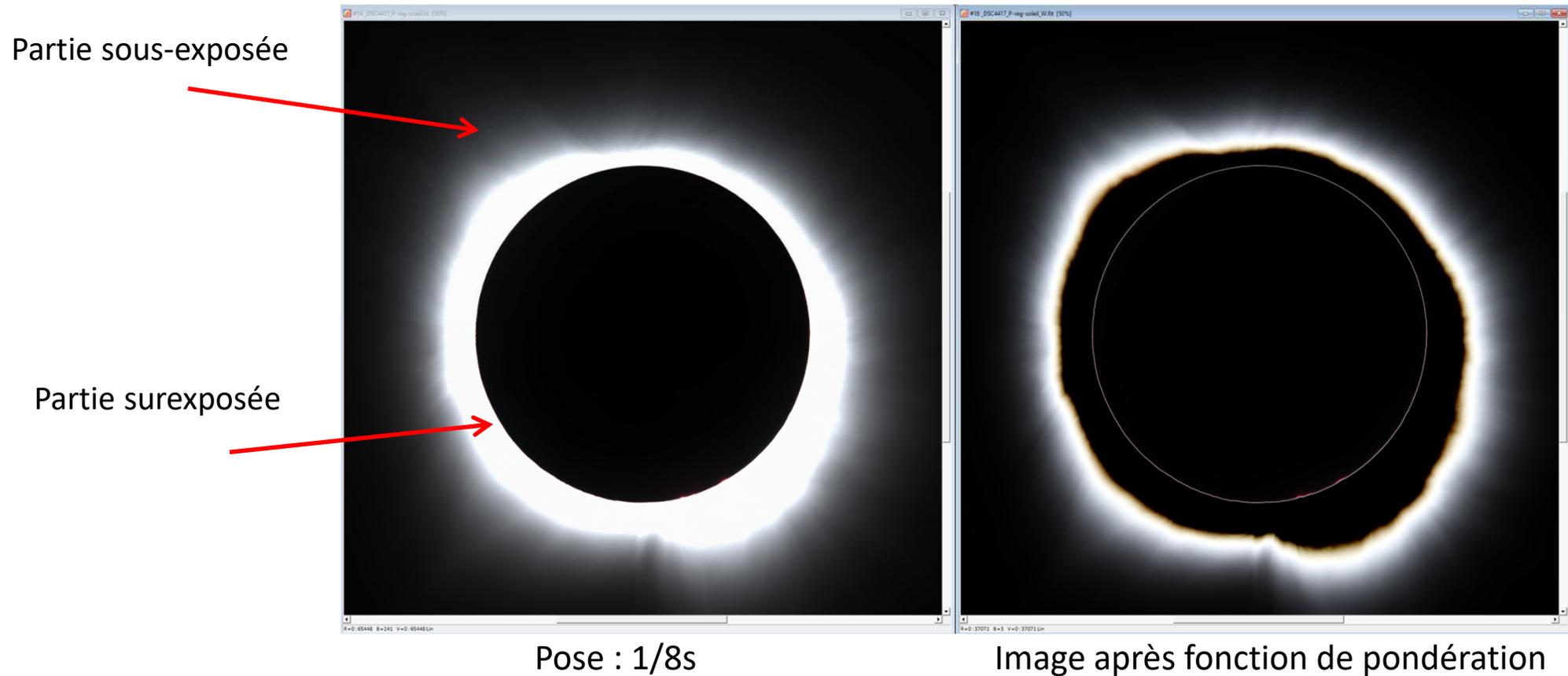
Stars #6_DSC4309_PH-reg-soleil.fit [1/10]

N#	Xc	Yc	ADU	A	P	R.A.°	DEC.°	R.A.	DEC	Mag.	O-C pos	O-C mag	Fwhm X	Fwhm Y	S/N
1	2145.03	3033.31	12990										2.78	2.75	145.0
2	3622.16	2210.68	8333										2.80	6.89	11.5
3	4659.31	2049.85	6831										2.20	2.12	9.5
4	4767.91	2265.42	6171										2.68	2.28	8.5
5	4617.08	1991.23	5928										2.31	2.52	8.2

Addition HDR des images

- Principe :
 - additionner les images recentrées,
 - en prenant en compte les différences de temps de pose, autrement dit renormaliser les images comme si elles étaient toutes prises avec le même temps de pose de 1 s. Par exemple, une image posée $1/250$ s est multipliée par un facteur 250.
- Pas si simple que cela :
 - N'ajouter que les « bonnes parties de chaque image », autrement dit ne pas prendre en compte les parties surexposées ou sous-exposées.
 - Et aussi corriger les non linéarités du capteur (même en mode RAW ...).

Application d'une fonction de pondération avant addition des images



Fonction de pondération

- Pondération du poids de chaque pixel de chaque image en fonction de son degré de saturation (poids nul pour les pixels sous-exposés ou sur-exposés).
- Test de plusieurs fonctions. Au final, utilisation d'une sinusoïde « décalée ».
- Bonne surprise : pas besoin de linéariser la courbe réponse du capteur du Nikon Z7II.
- Code développé en Julia.

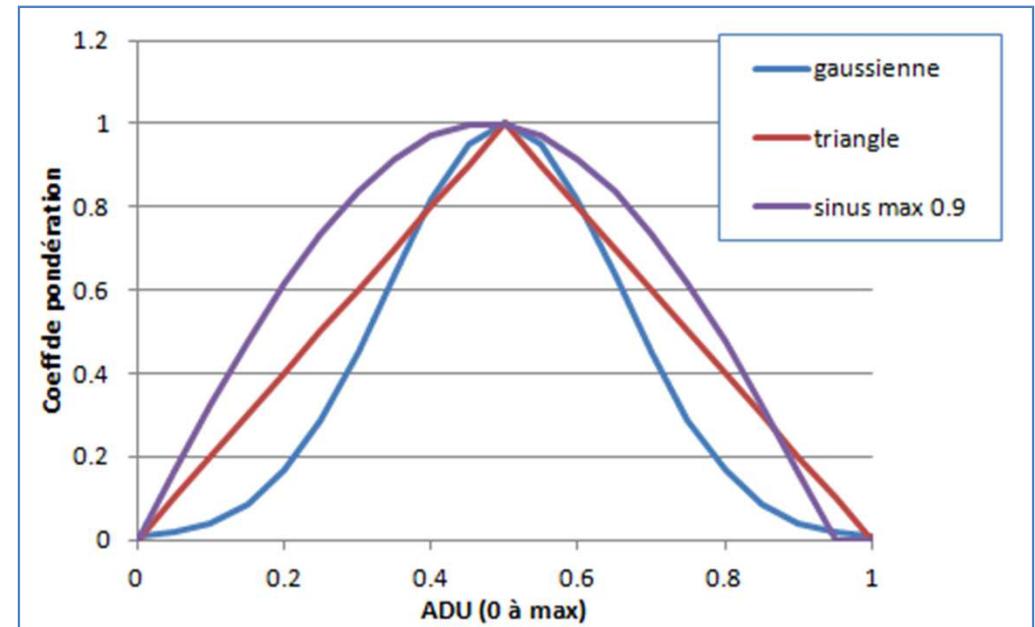
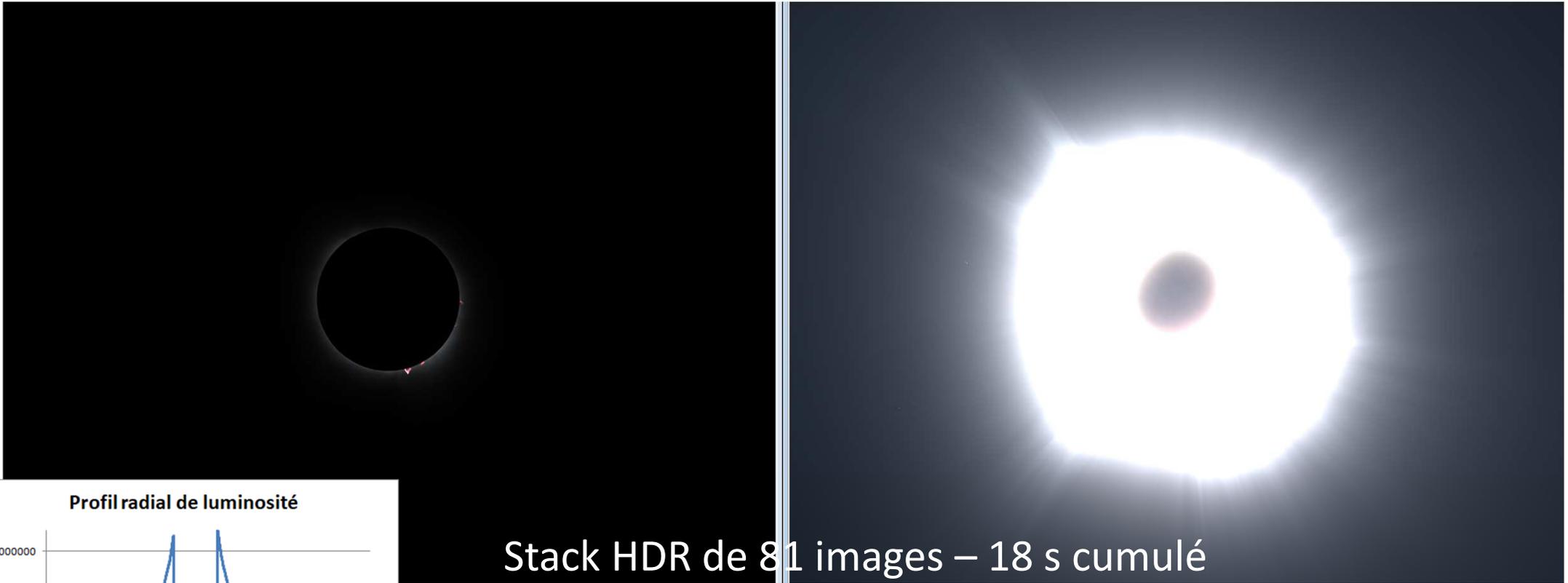
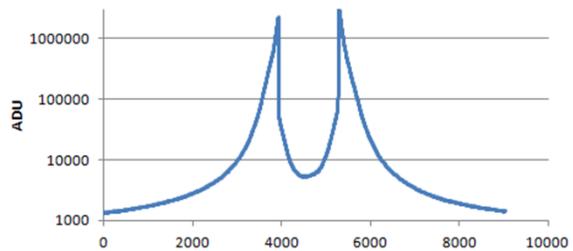


Image HDR sur 32 bits



Stack HDR de 81 images – 18 s cumulé

Profil radial de luminosité



Quel traitement pour mettre en évidence les détails ?



Image HDR

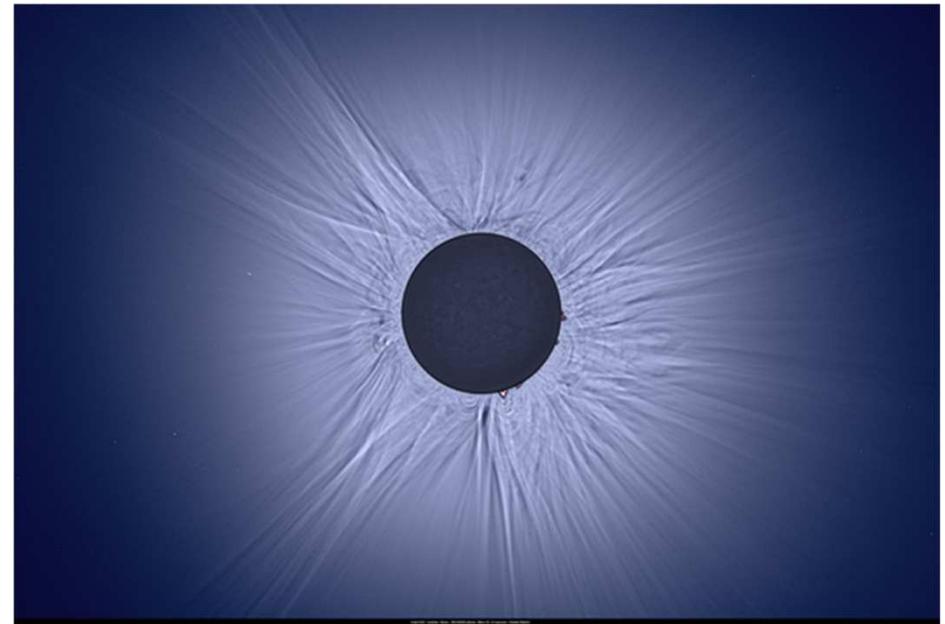
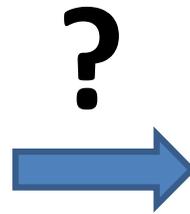


Image « traitée »

Visualisation des détails dans image HDR

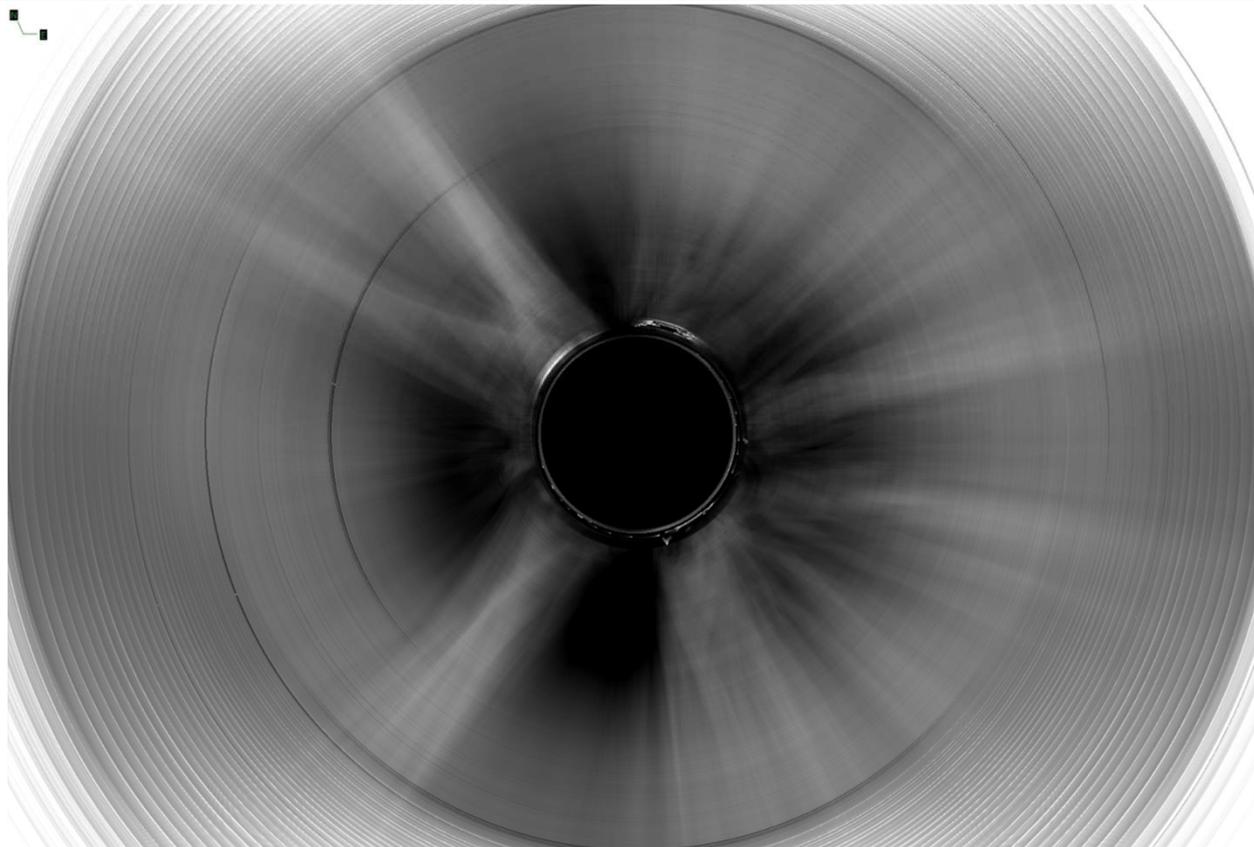
- Principe :
 - réduire le gradient radial de luminosité,
 - tout en renforçant le contraste des détails.
- Plusieurs approches possibles, plus ou moins performantes, plus ou moins automatisées, avec plus ou moins d'artéfacts : masque Photoshop, tone mapping, gradient rotationnel, filtre radial symétrique ou non, modélisation profil couronne, etc..
- Première piste explorée : FNRGF (Fourier Normalizing Radial Gradient Filter) développé par H. Druckmüllerova :
 - Code redéveloppé en Python et dispo dans bibliothèque SunPy/Sunkit-image 😊

FNRGF par M.Druckmüller



RCE 2024

FNRGF par SunPy/Sunkit-image

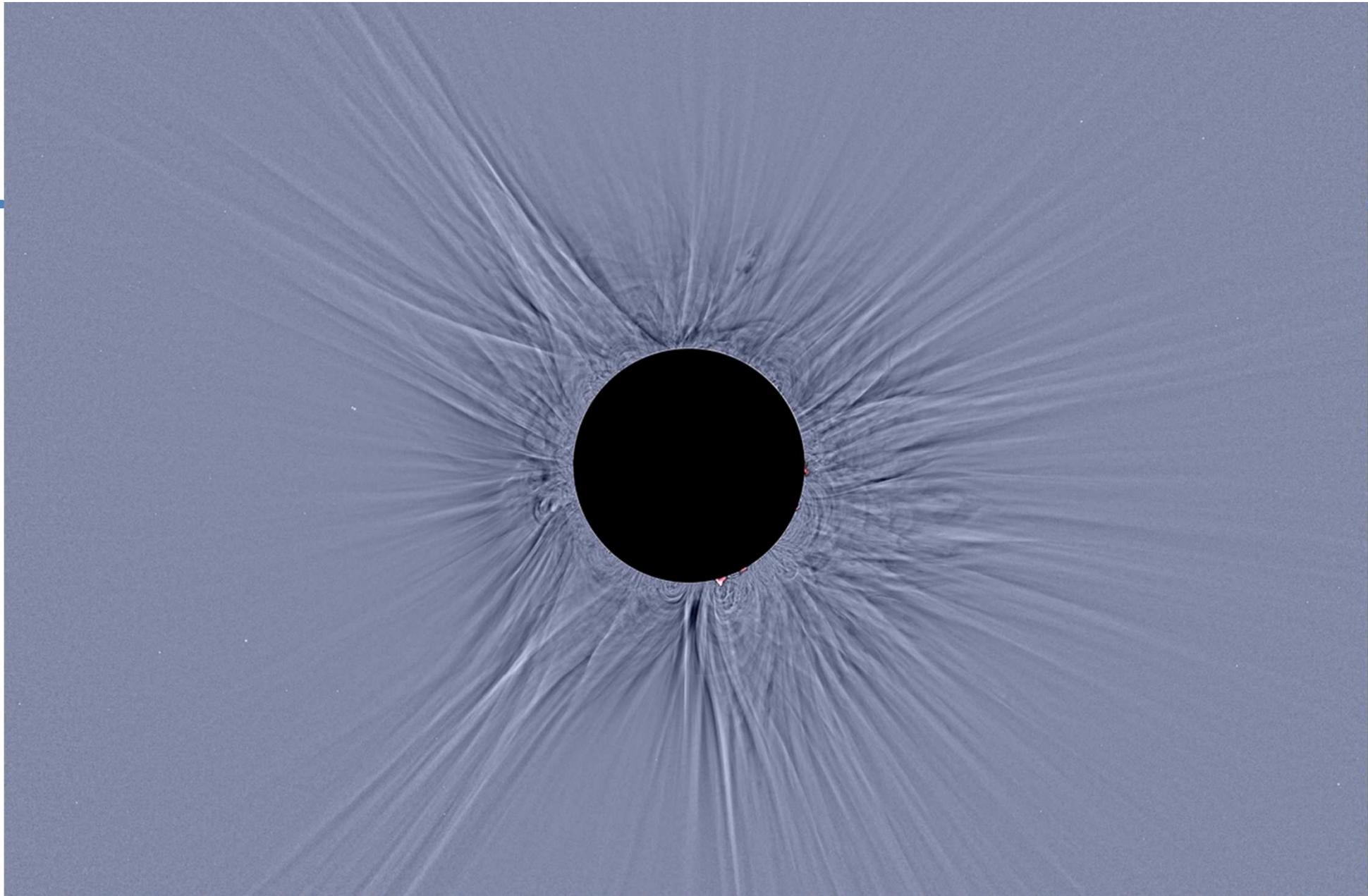


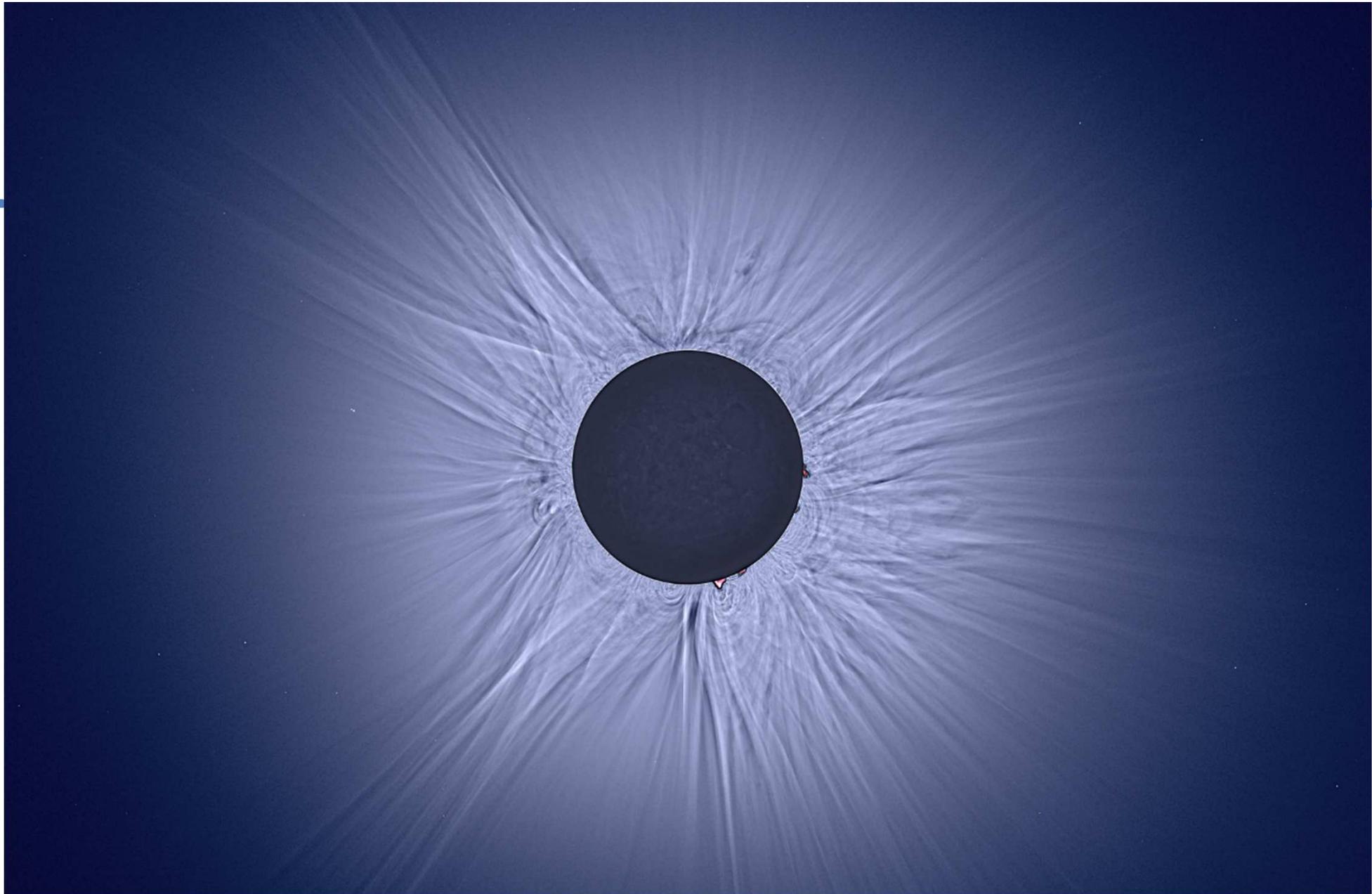
Méthode appliquée

- Plus rustique (mais marche relativement bien...) :
 - Utilisation masque radial gaussien, avec sigma variant selon distance au centre du Soleil :

$$\text{Image_visu} = \text{Image_HDR} / [\text{gaussian}(\text{image_HDR}, \text{sigma}(r)) + \text{constante}]$$

- Constante = paramètre de réglage.
- Code développé en Julia.
- NB :
 - Calcul du masque sur l'image HDR starless, sinon artéfact beurre noir autour des étoiles.
 - Images pré-traitées (offset/flat/pixels chauds).
 - Binning 1x1 , images couleurs.

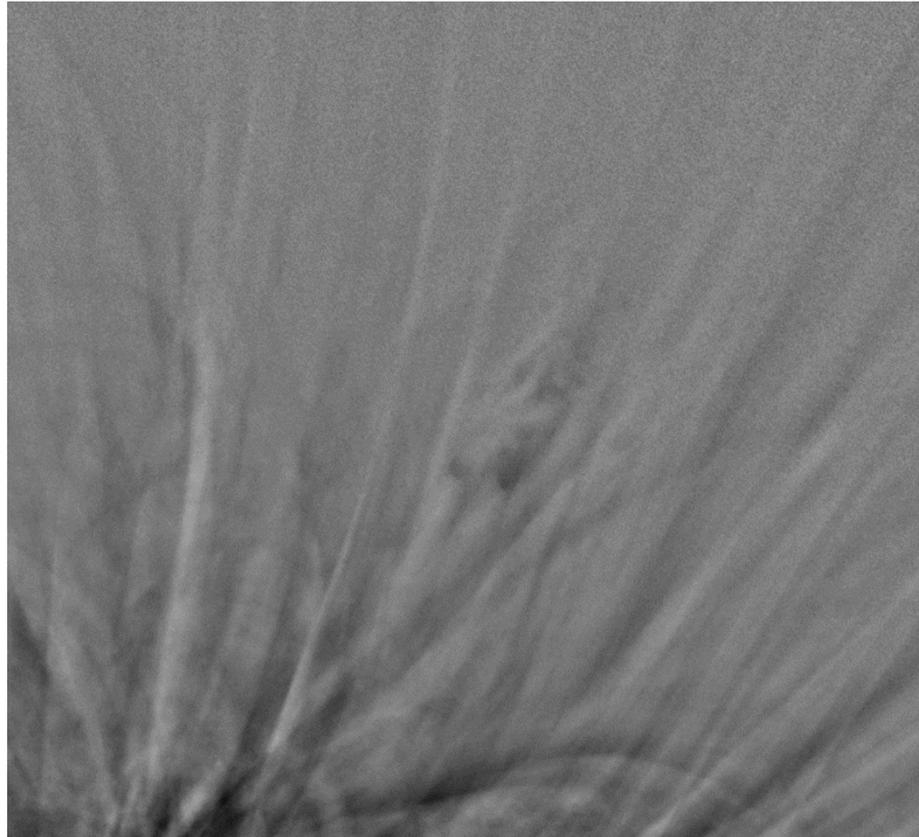




Résultats

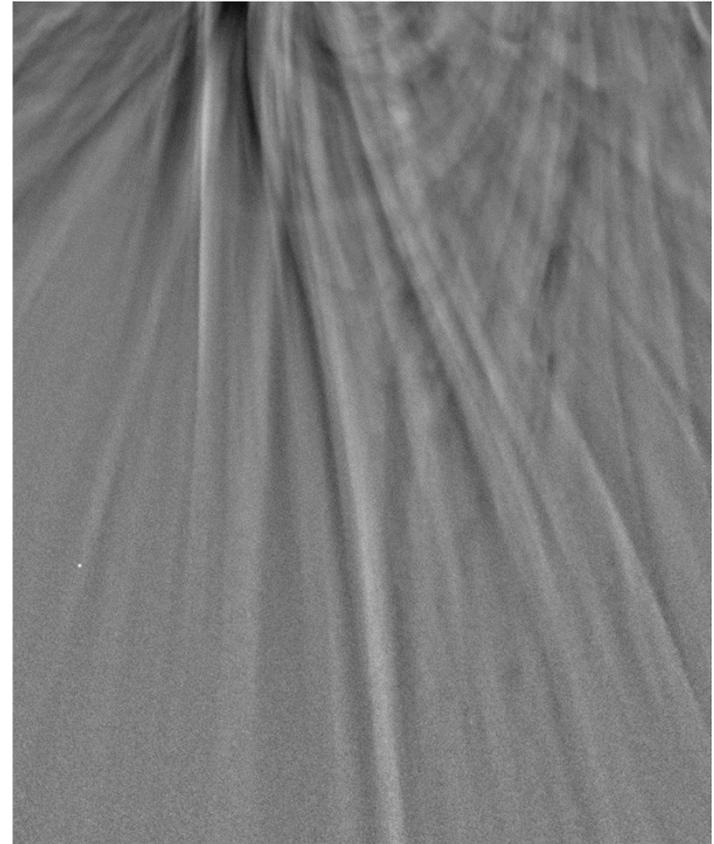
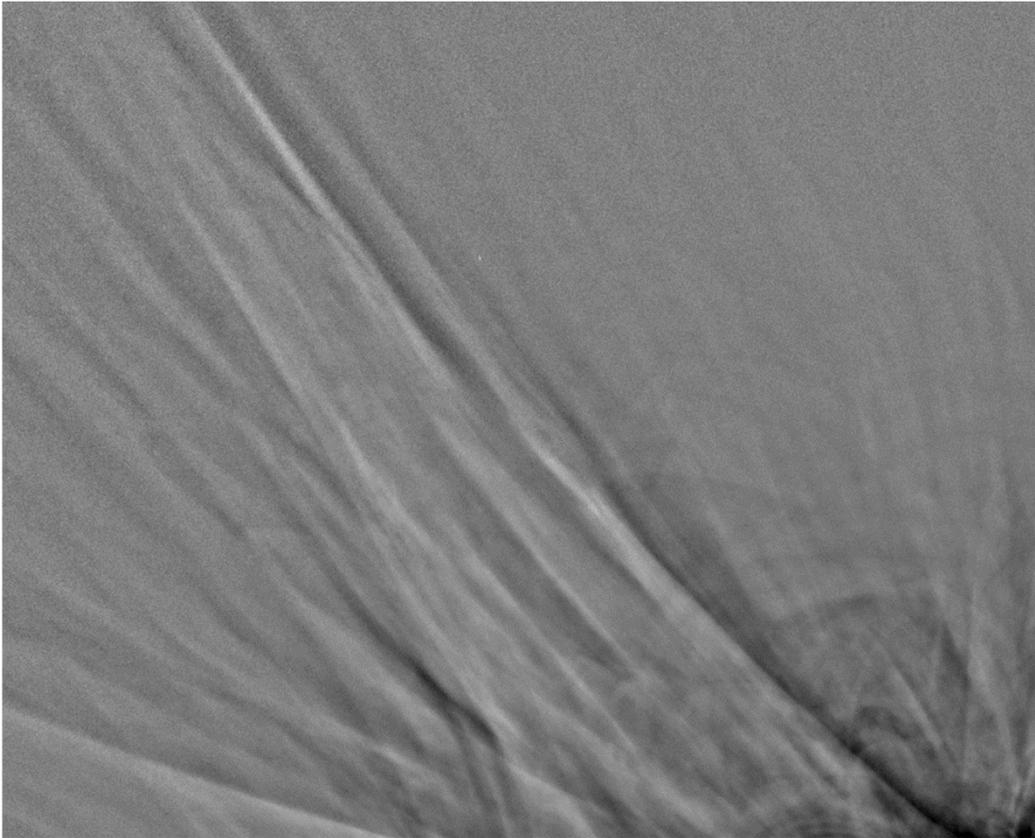
- Magnitude limite = 11.4 pour 18 s de pose cumulé (9 cycles de 9 images de 1/250s à 1s).
- FWHM = 2.6 pixels = 3.9 arsec.
- Blob « tombant » sur le Soleil.
- Mouvements d'expansion dans la couronne solaire.

Blob tombant sur le Soleil



ROS 2024

Deux jets en expansion

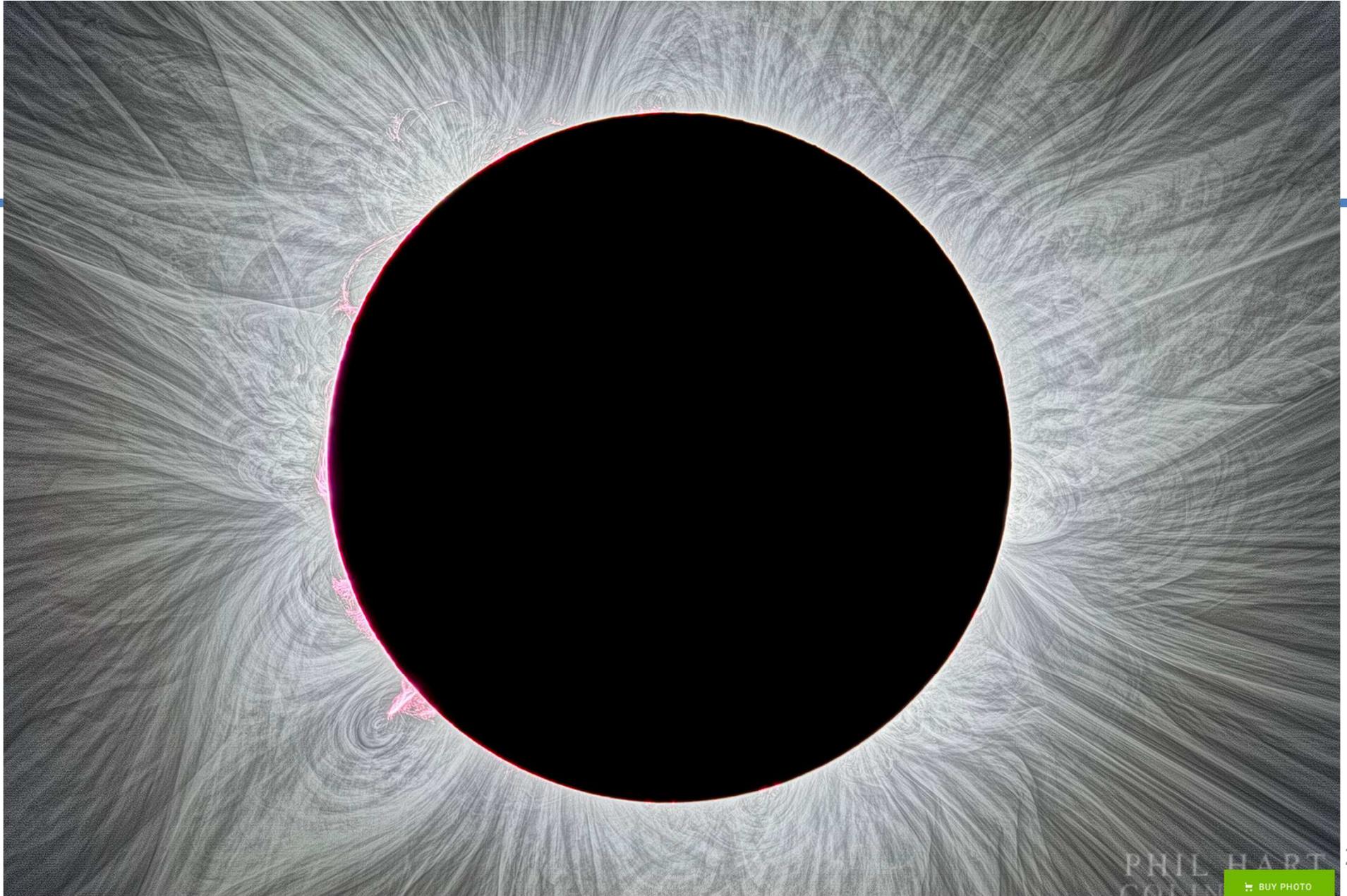


Résultats remarquables obtenus par des amateurs (TSE2024 et 2023)

Phil Hart – Colin Legg – TSE 2023



RCE 2024



PHIL HART
CONCEPTS
BUY PHOTO

Nicolas Lefaudeaux – TSE 2024

- [Détection de la mésosphère](#)
- [Détection des ondes coronales](#)
- [Mouvements dans la couronne solaire](#)
- <https://hdr-astrophotography.com/>



Image grand champ



Nikkor 200 mm f/2

Nikon Z6 II

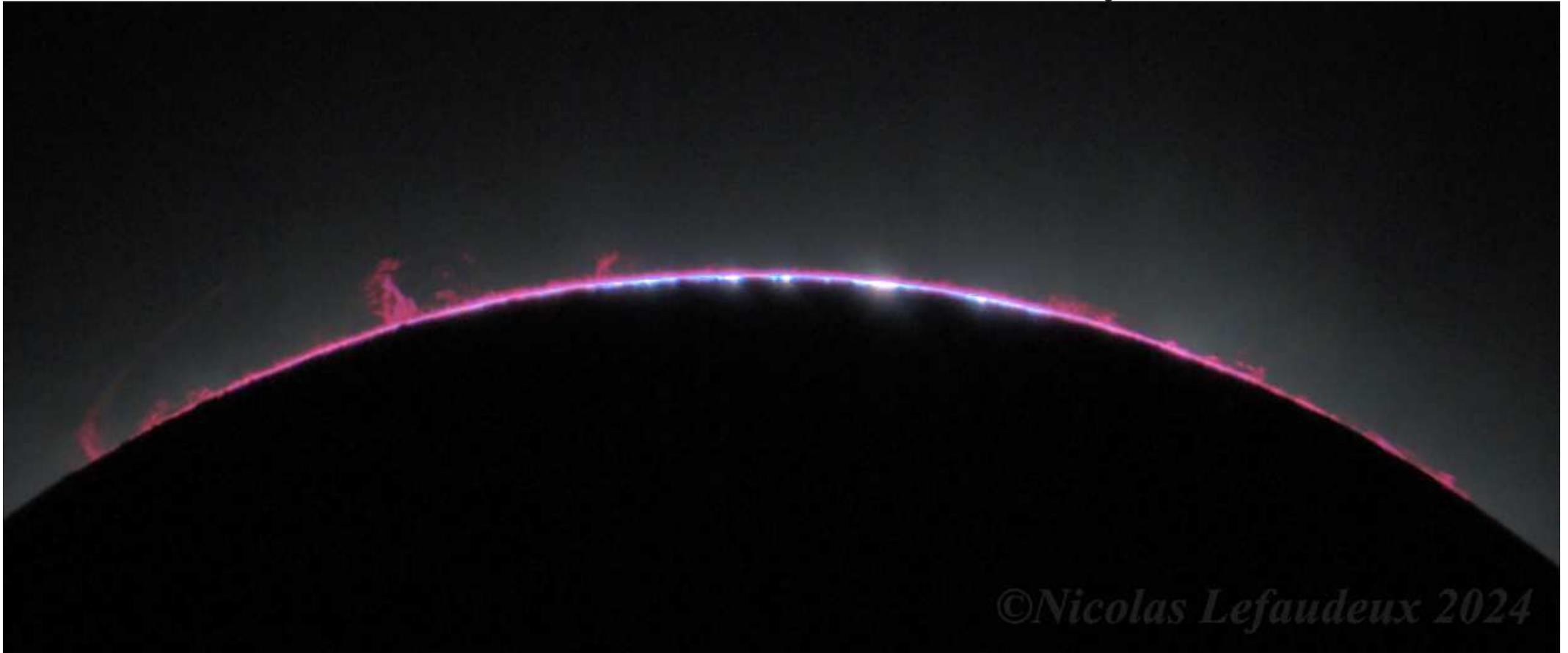
155 s de pose

Stack de 531 images (1/2s, 1/4s, 1/8s)

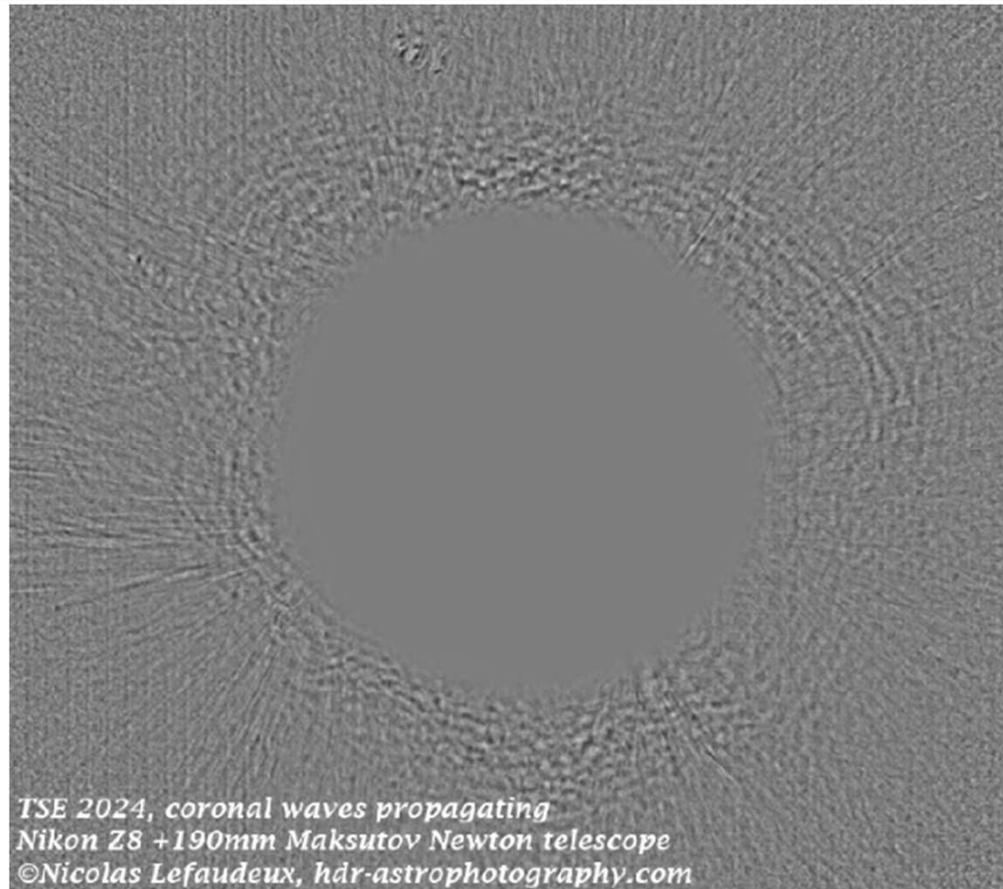
Mag limite = 12.5

Nicolas Lefaudeux

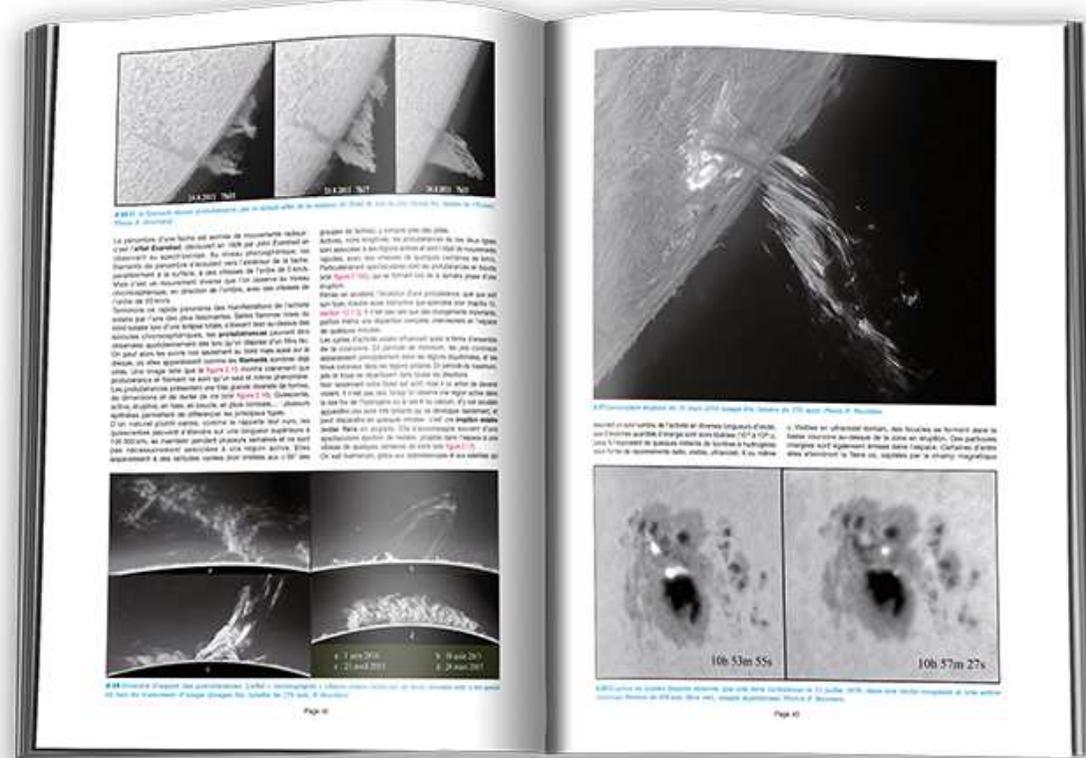
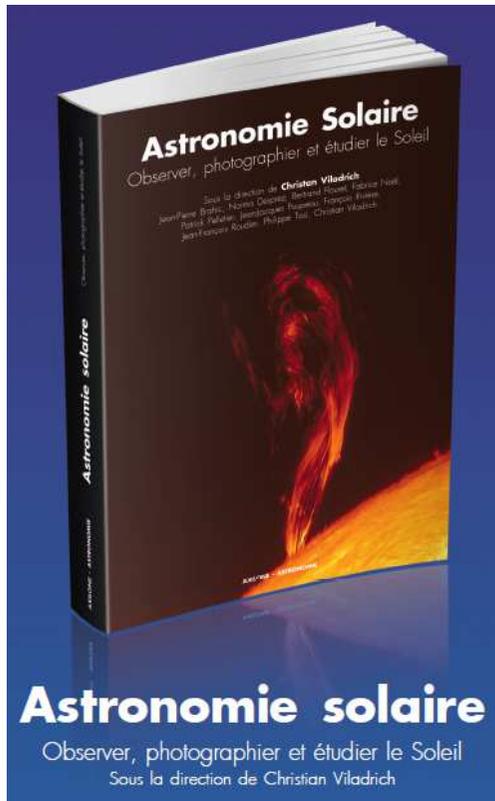
Détection de la mésosphère



Détection des ondes coronales



Merci de votre attention ...Questions ?



<http://www.astronomiesolaire.com/>

RCE 2024