

# **Spectrohéliographie et résolution**

**François Rouvière**

*R.O.S. 23 juin 2024*

Un nom barbare ?



**spectrohéliographie**

Un nom barbare ?



**hélio**



**héliographie**



**spectrohéliographie**

*La spectrohéliographie, c'est simplement l'art de réaliser des images du Soleil à partir d'un spectre.*

# Un instrument barbare ?

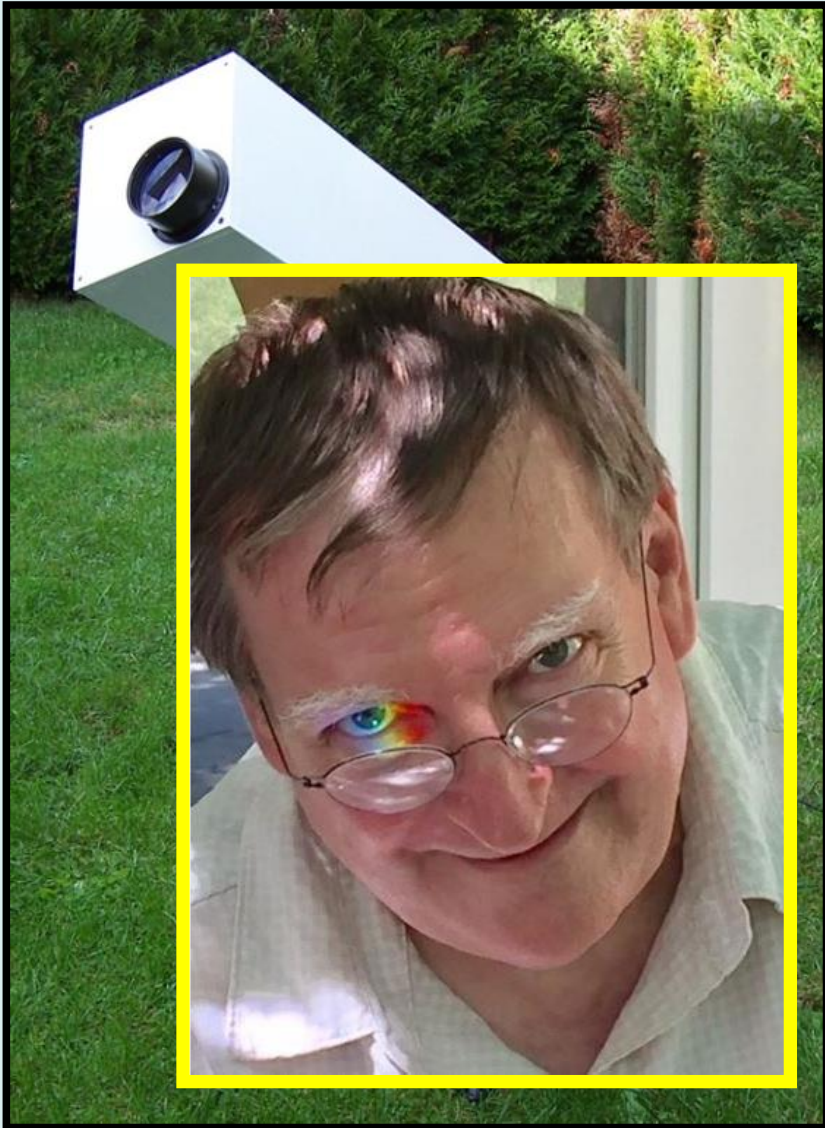


*Philippe Rousselle*



*Jean-Jacques Poupeau*

# Un instrument barbare ?

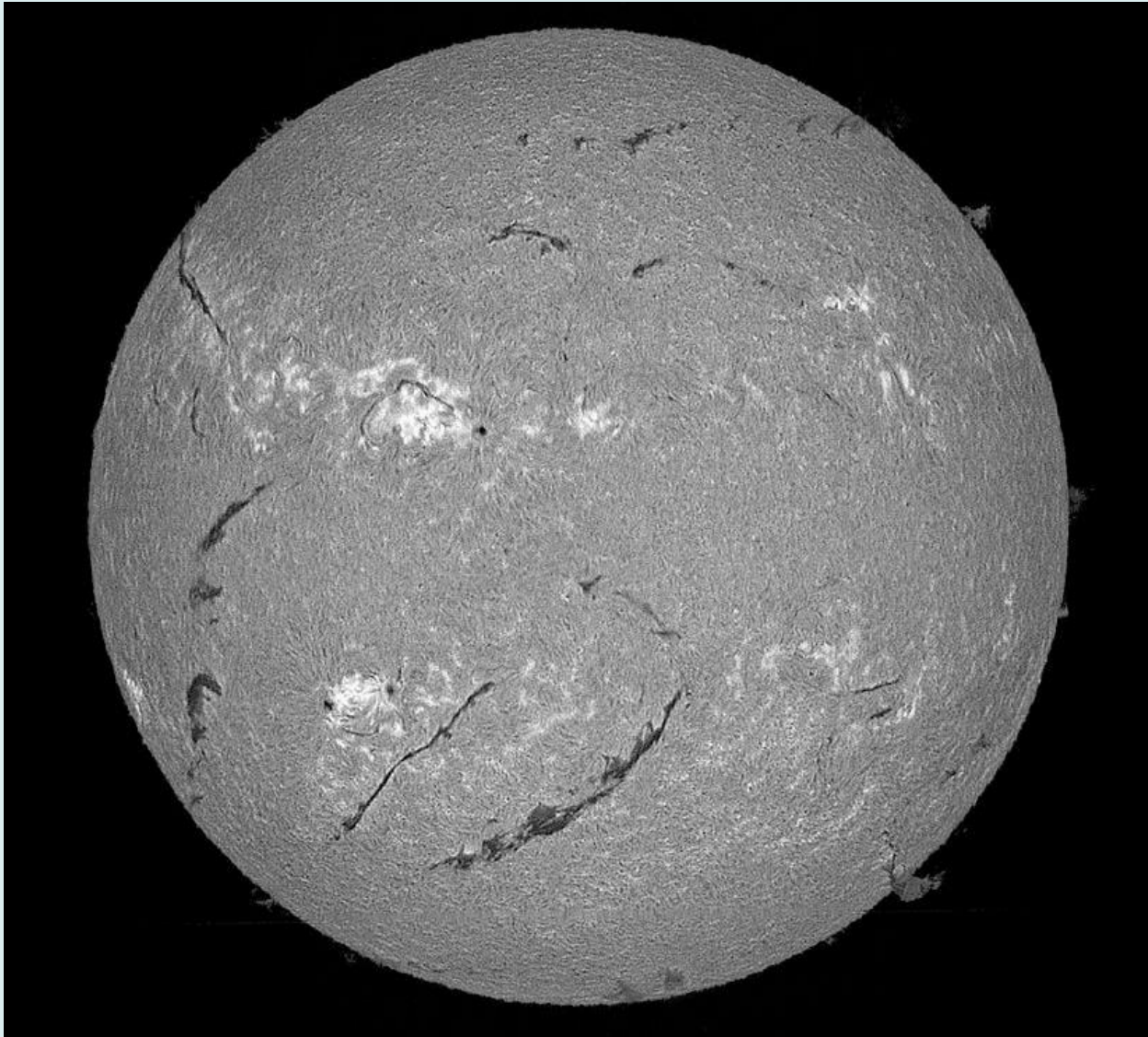


*plus maintenant !*

## PLAN

- **Sol'Ex** sur une lunette de 100 mm
- Les « *super Sol'Ex* » de D. Smith et R. Schrantz
- Retour à **Sol'Ex** : choix des paramètres
- Vers une meilleure résolution ?

Sol'Ex donne de belles images du Soleil entier...



*10-11 juillet 2022, lunette 80 mm + Sol'Ex*

Sol'Ex donne de belles images du Soleil entier...

mais peut-on espérer une meilleure résolution ?

- Augmenter le diamètre de l'instrument
- Focale suffisante pour enregistrer les fins détails

On n'aura plus alors une image du Soleil entier,  
mais on pourra faire une mosaïque de plusieurs images  
avec le logiciel **Inti mosaic**.





Sauf mention contraire, toutes les images présentées ici sont réalisées avec cet ensemble :

- lunette de 100 mm, focale 800 mm (mise au point high tech)
- Sol'Ex et caméra ZWO ASI 178
- lunette de 80 mm en parallèle.



*23 novembre 2023, lunette 100 mm + Sol'Ex*

Le même film qui a donné cette image de la chromosphère (au cœur de la raie H $\alpha$ ) peut être traité différemment par le logiciel **Inti**, d'où :

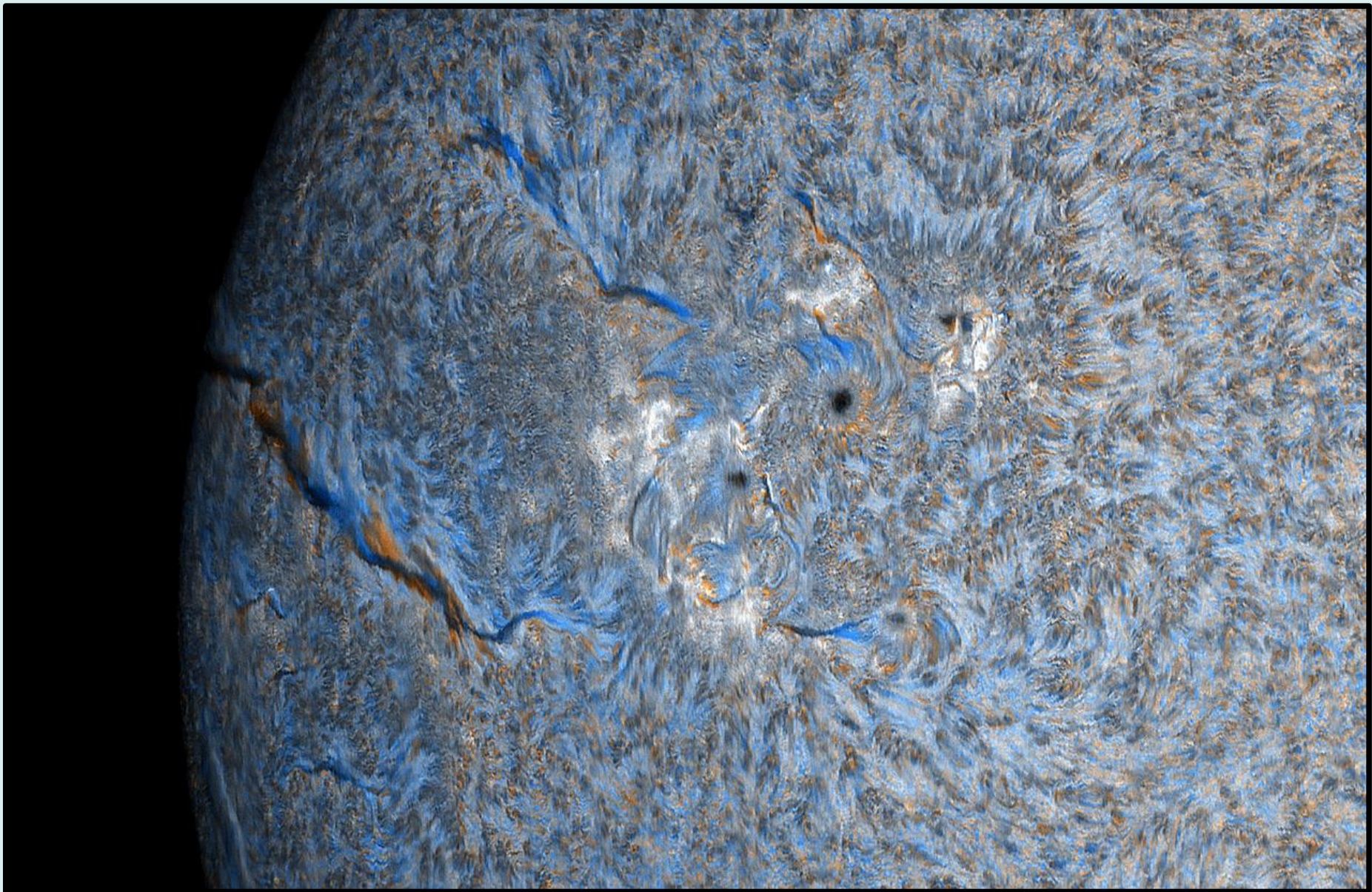
- une animation de transition entre photosphère et chromosphère obtenue en décalant progressivement la longueur d'onde utilisée, de part et d'autre du cœur de la raie, jusqu'à atteindre le spectre continu
- un dopplergramme, obtenu en combinant l'aile bleue et l'aile rouge de la raie pour mettre en évidence les mouvements dans l'atmosphère solaire.

Toutes les images ainsi obtenues sont rigoureusement simultanées.

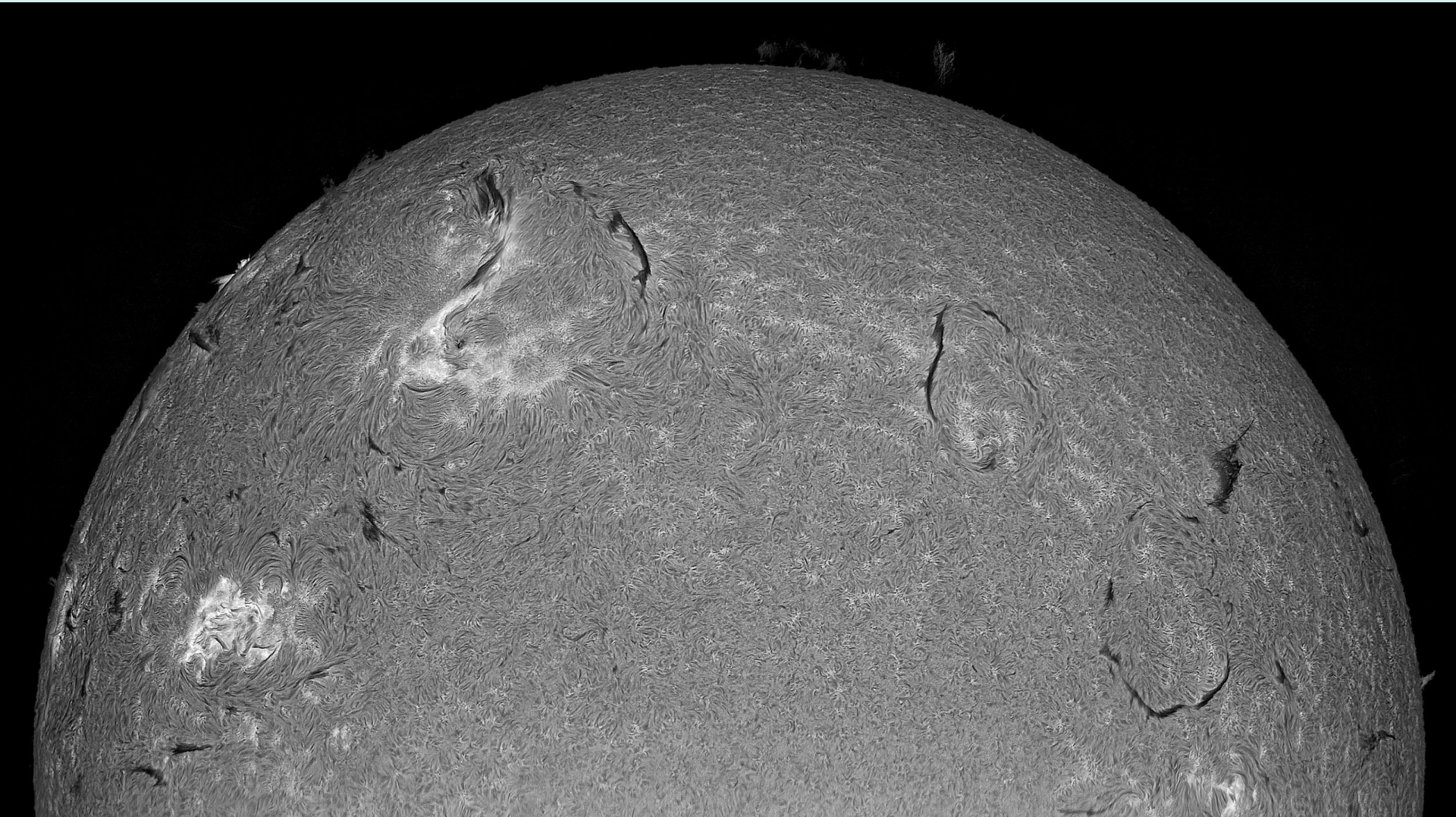
# De la photosphère vers la chromosphère : une ascension de 1500 km



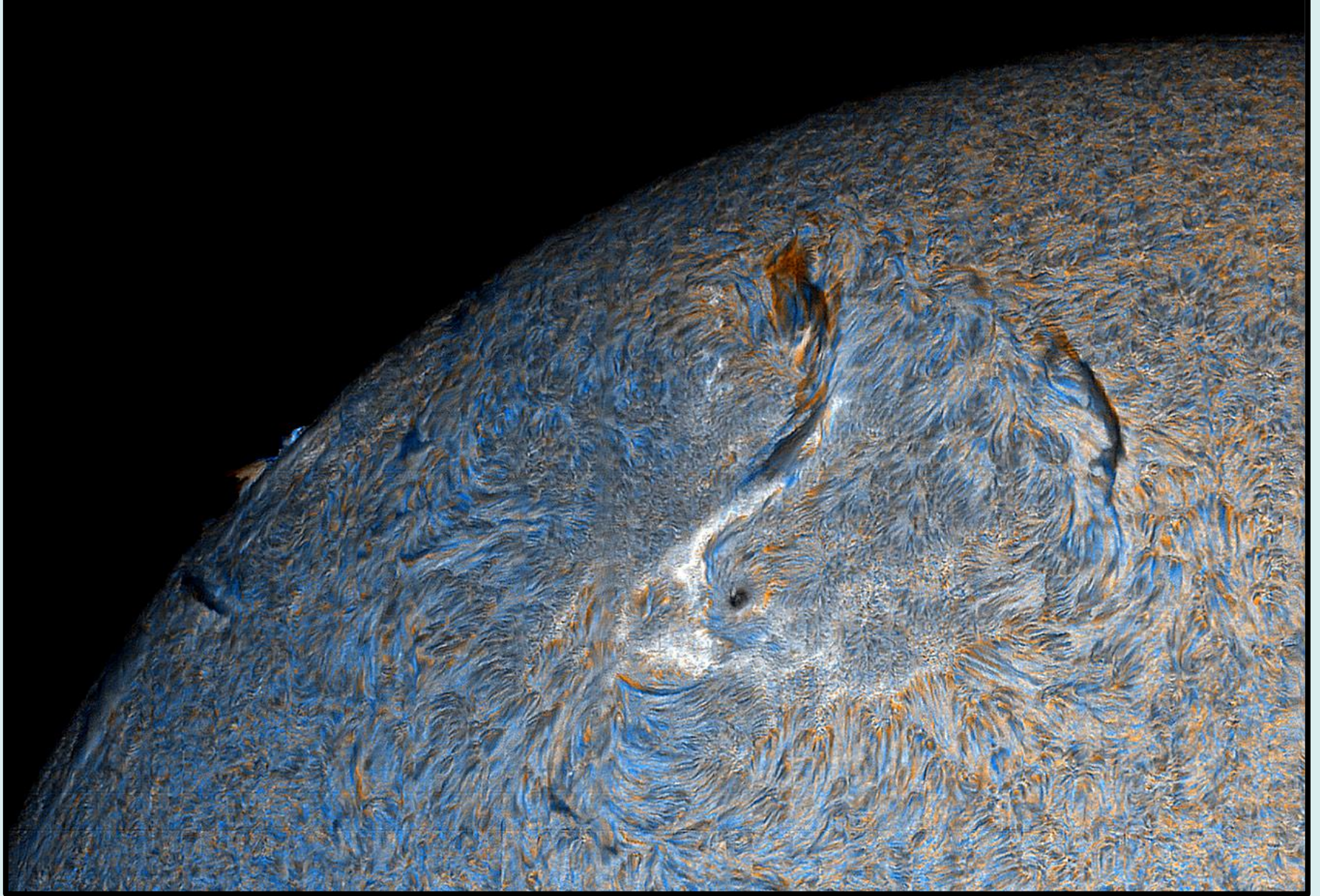
*23 novembre 2023, lunette de 100 mm + Sol'Ex (animation de 41 images)*



*23 novembre 2023, lunette 100 mm + Sol'Ex (dopplergramme  $\pm 6$  pixels)*



*20 mars 2024, lunette 100 mm + Sol'Ex*



*20 mars 2024, lunette 100 mm + Sol'Ex (dopplergramme  $\pm 5$  pixels)*

**Douglas Smith** (Londres) puis **Richard Schrantz** (Kentucky) ont construit des « *super Sol'Ex* » montés sur des lunettes apochromatiques de 100 mm.

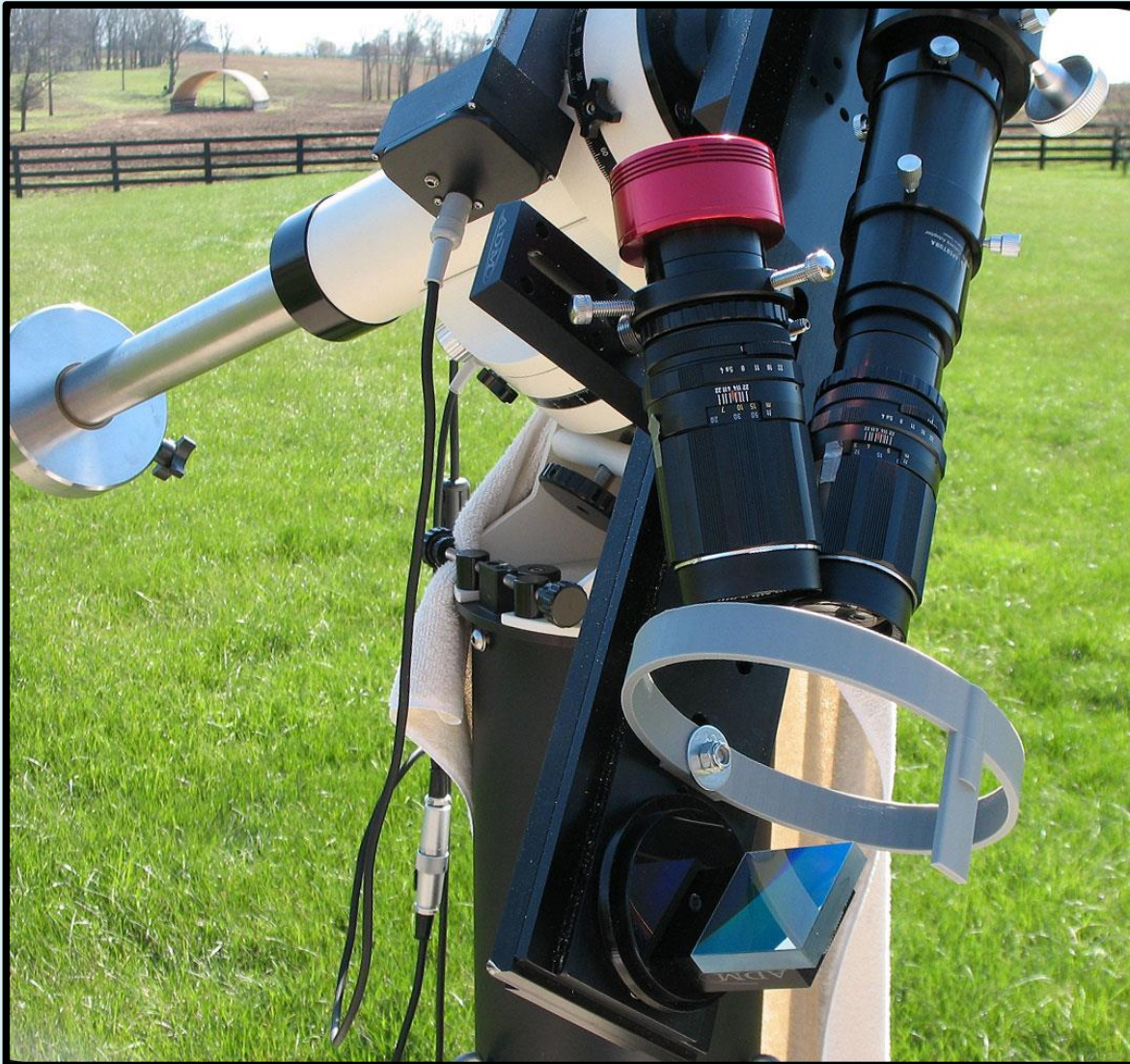
D'abord un Sol'Ex sur une lunette de 80 mm...



*Richard Schrantz*



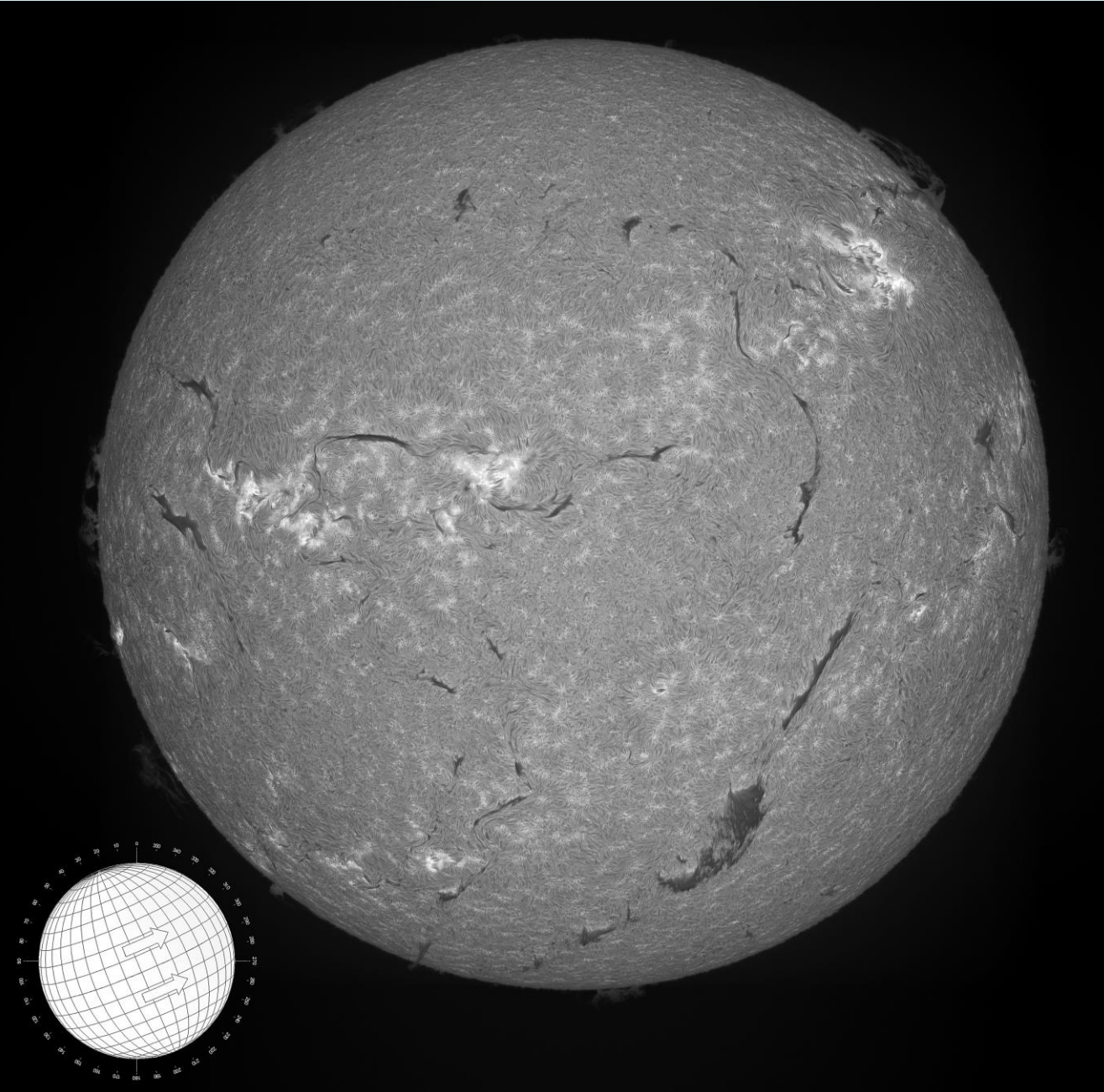
**Douglas Smith** (Londres) puis **Richard Schrantz** (Kentucky) ont construit des « *super Sol'Ex* » montés sur des lunettes apochromatiques de 100 mm.



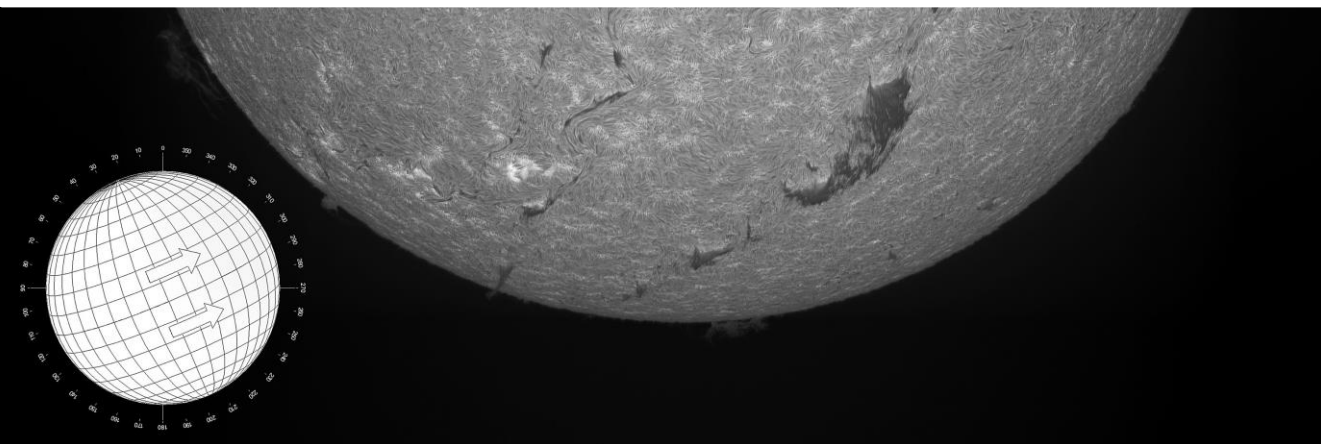
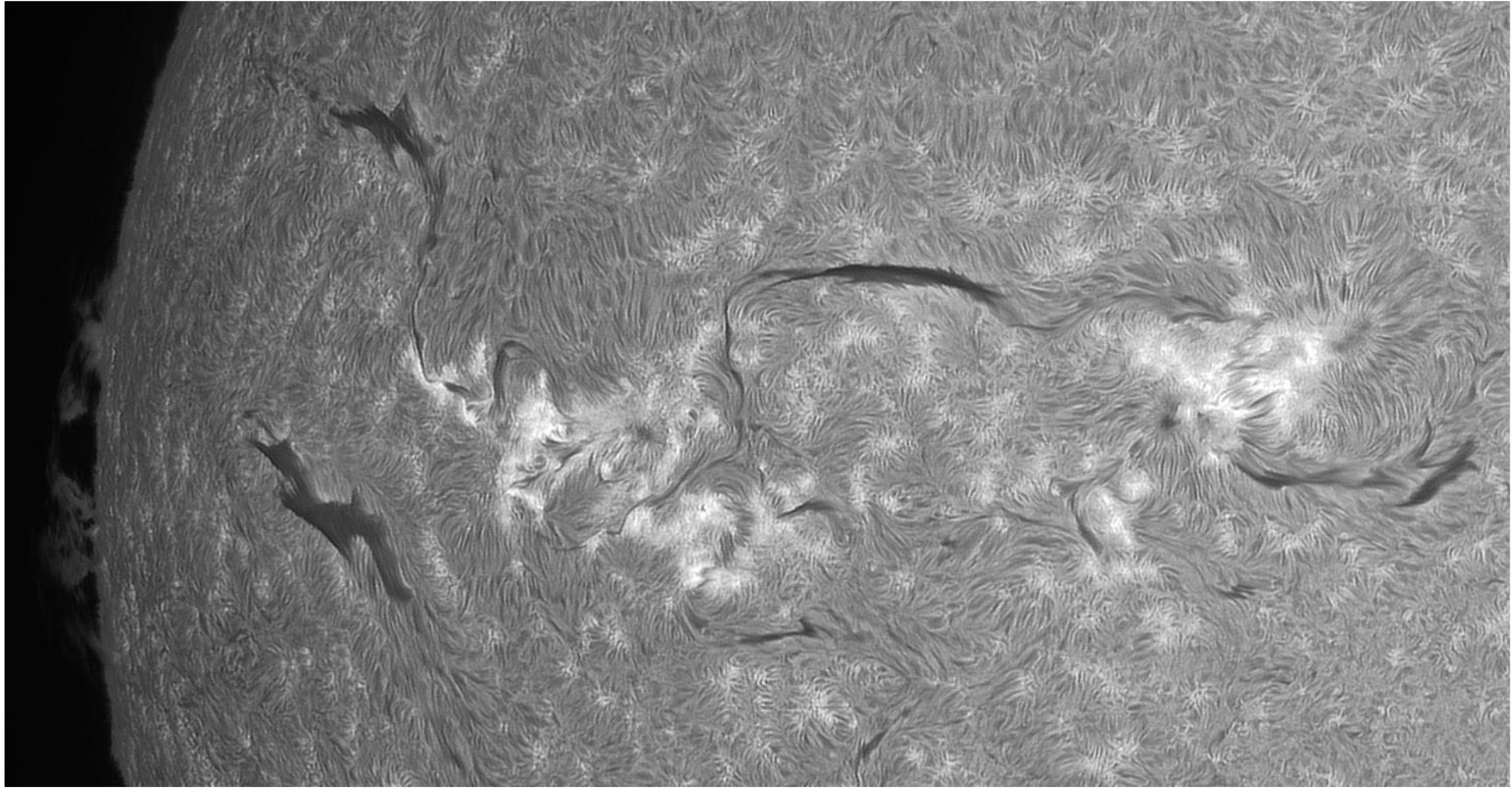
... puis une lunette de 102 mm, un réseau de 50 mm x 50 mm et deux téléobjectifs identiques de focale 150 mm.

*Richard Schrantz*

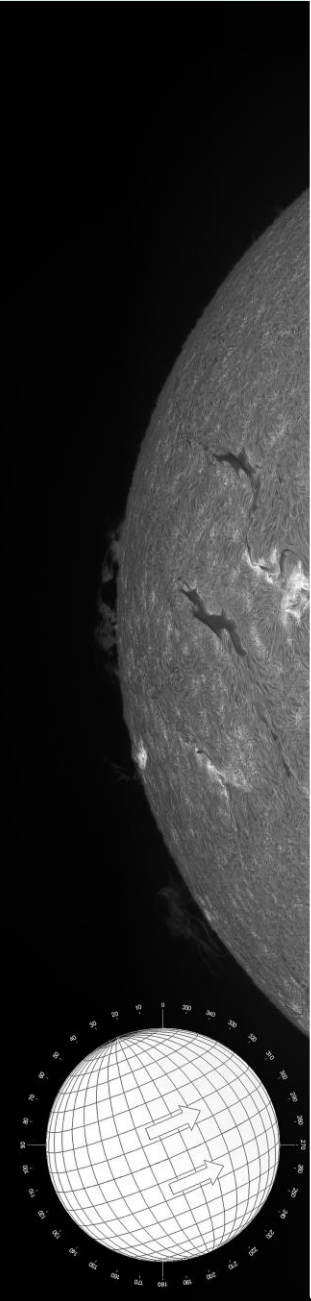
Leurs instruments donnent régulièrement d'excellents résultats



*Douglas Smith*  
*9 septembre 2023*

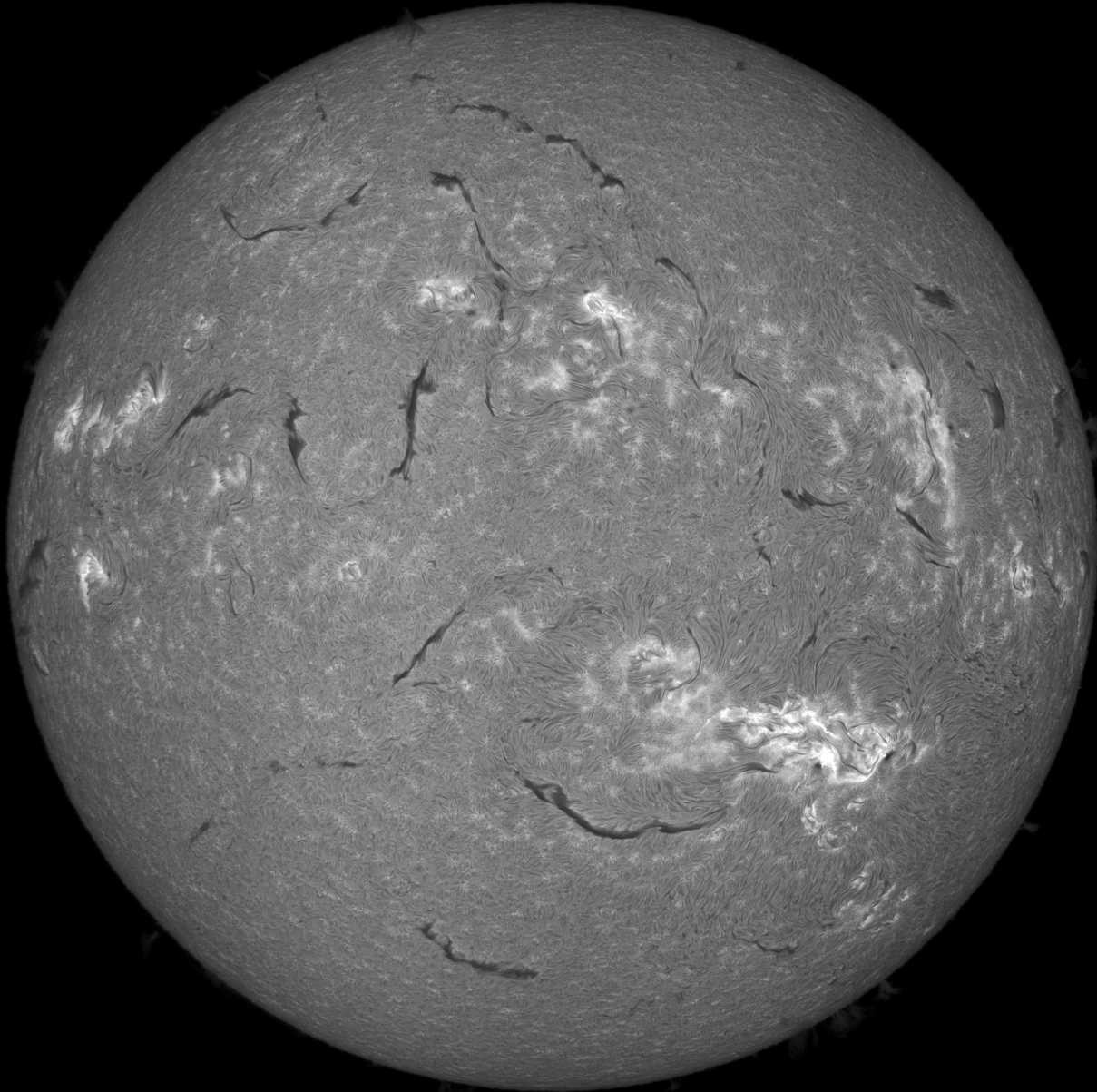


*Douglas Smith*  
*9 septembre 2023*

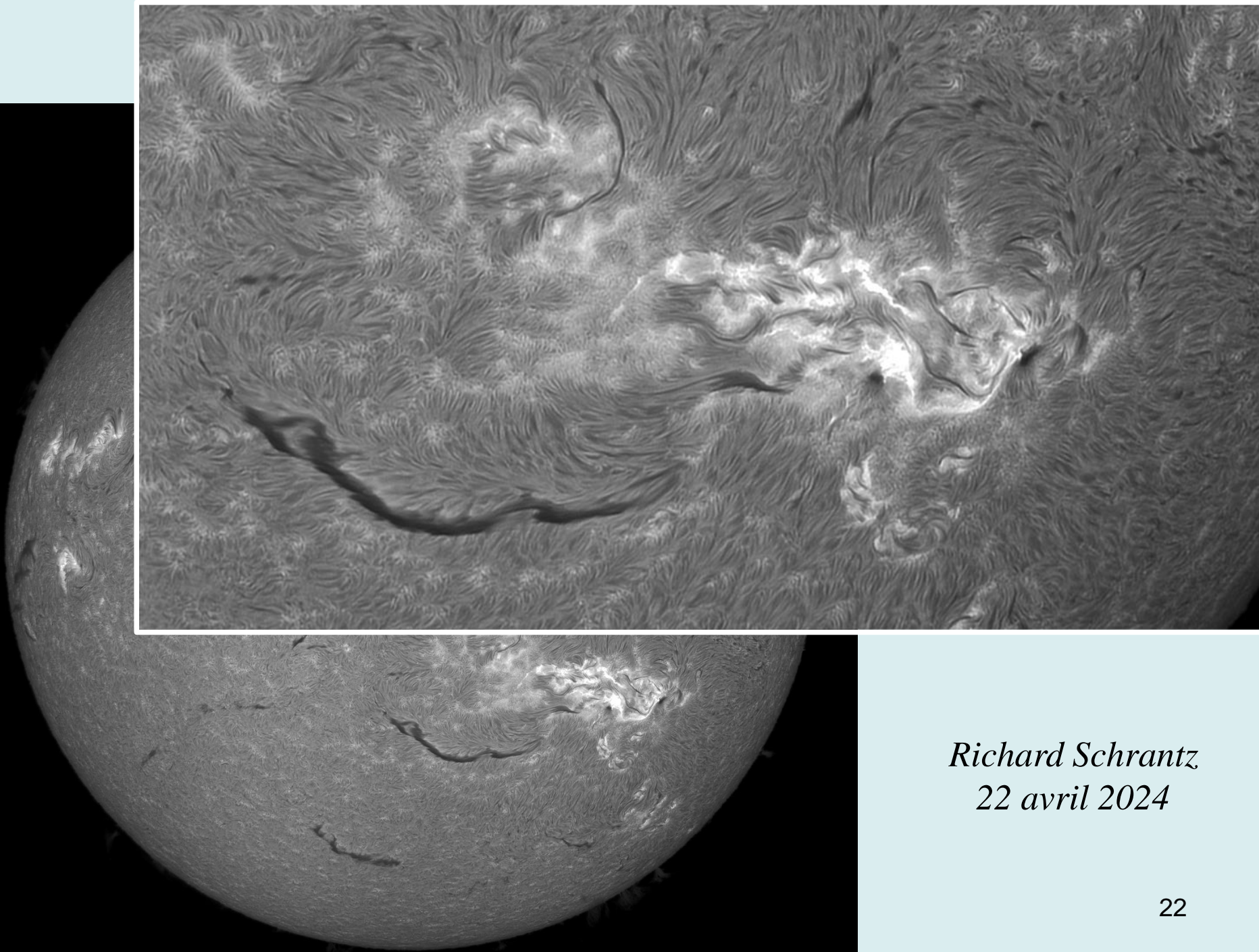


*Douglas Smith*  
*9 septembre 2023*

Leurs instruments donnent régulièrement d'excellents résultats

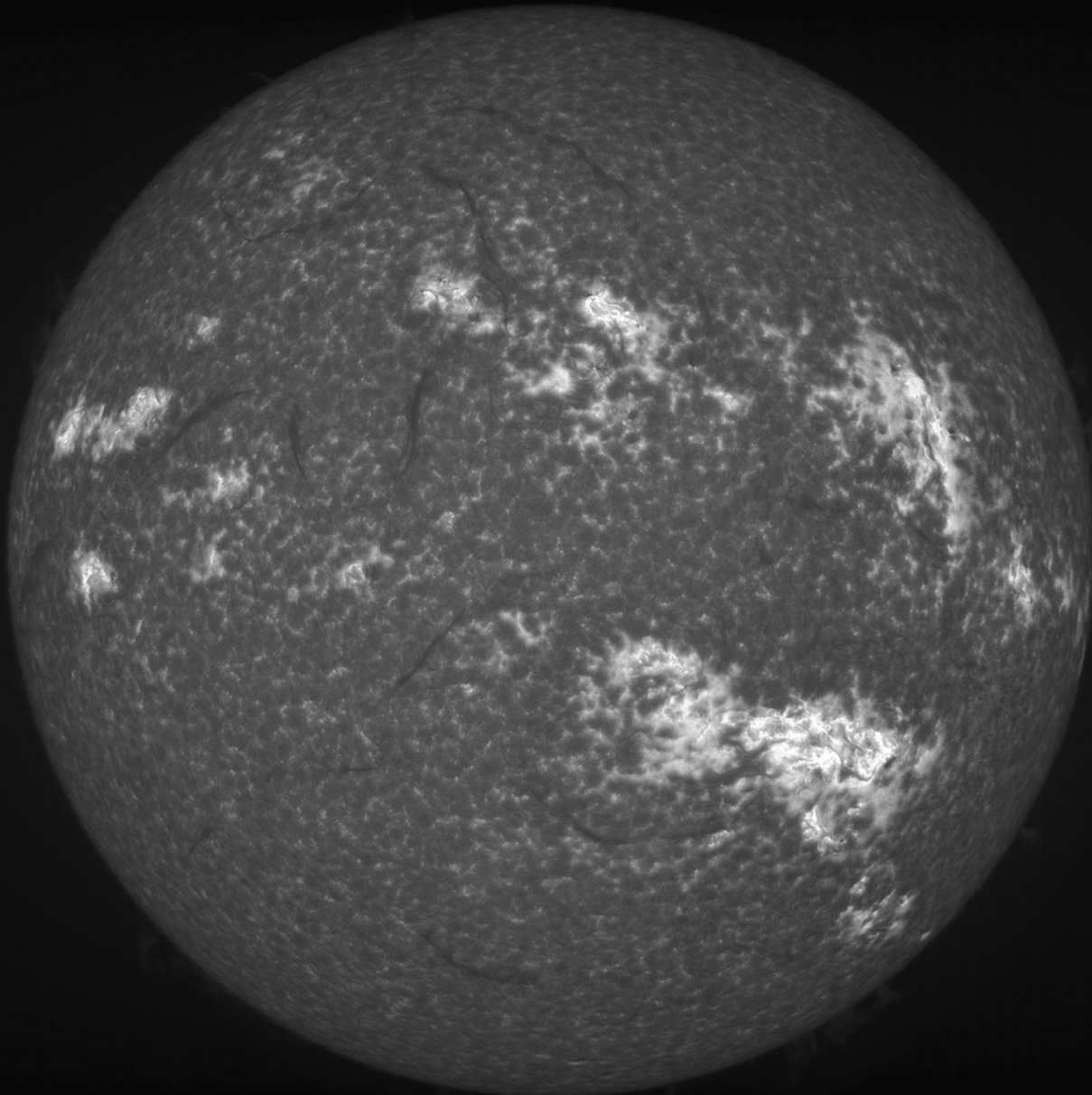


*Richard Schrantz*  
*22 avril 2024*



*Richard Schrantz*  
*22 avril 2024*

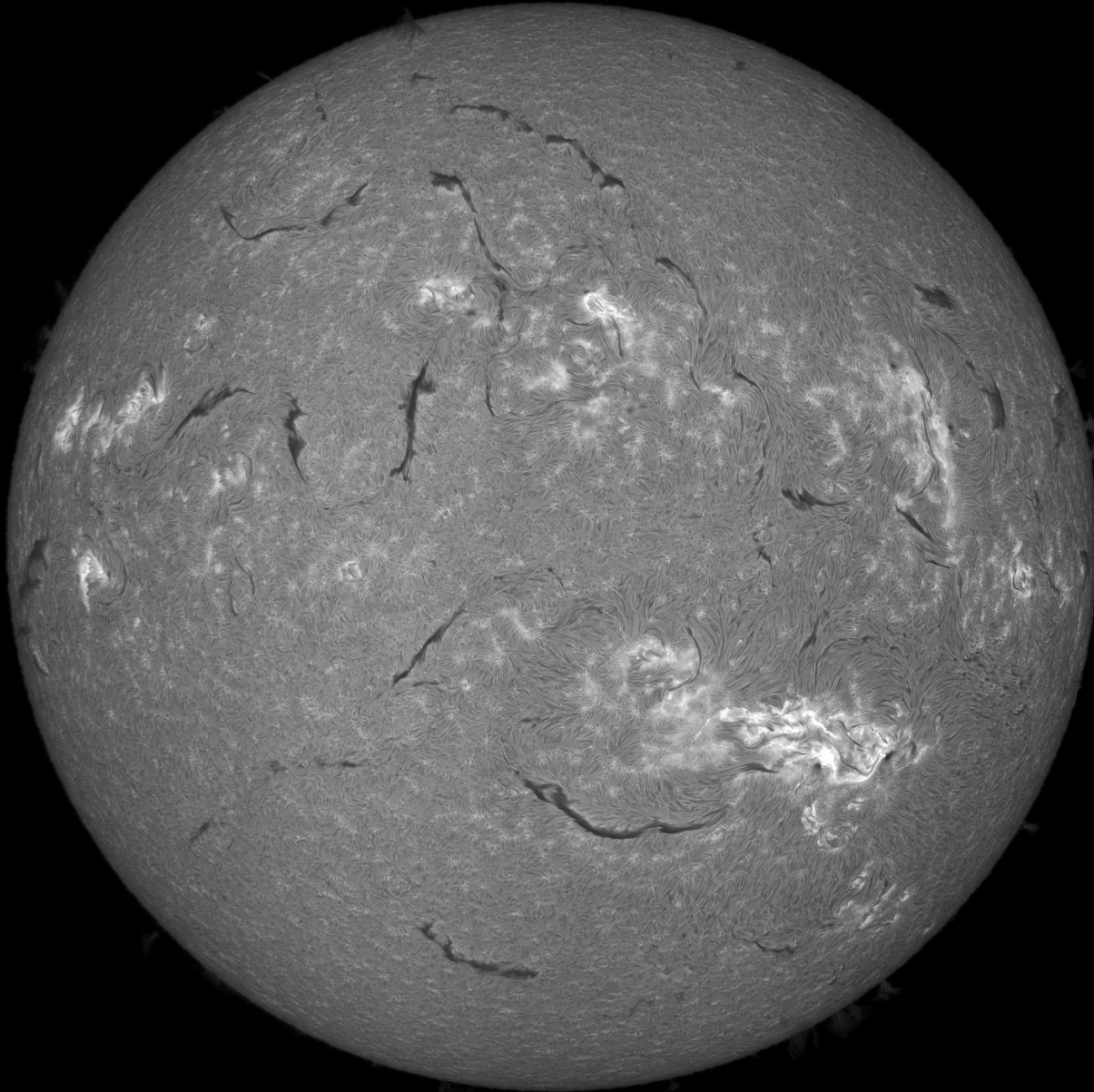
Leurs instruments donnent régulièrement d'excellents résultats



*Calcium H*

*Richard Schrantz*  
*22 avril 2024*

Leurs instruments donnent régulièrement d'excellents résultats

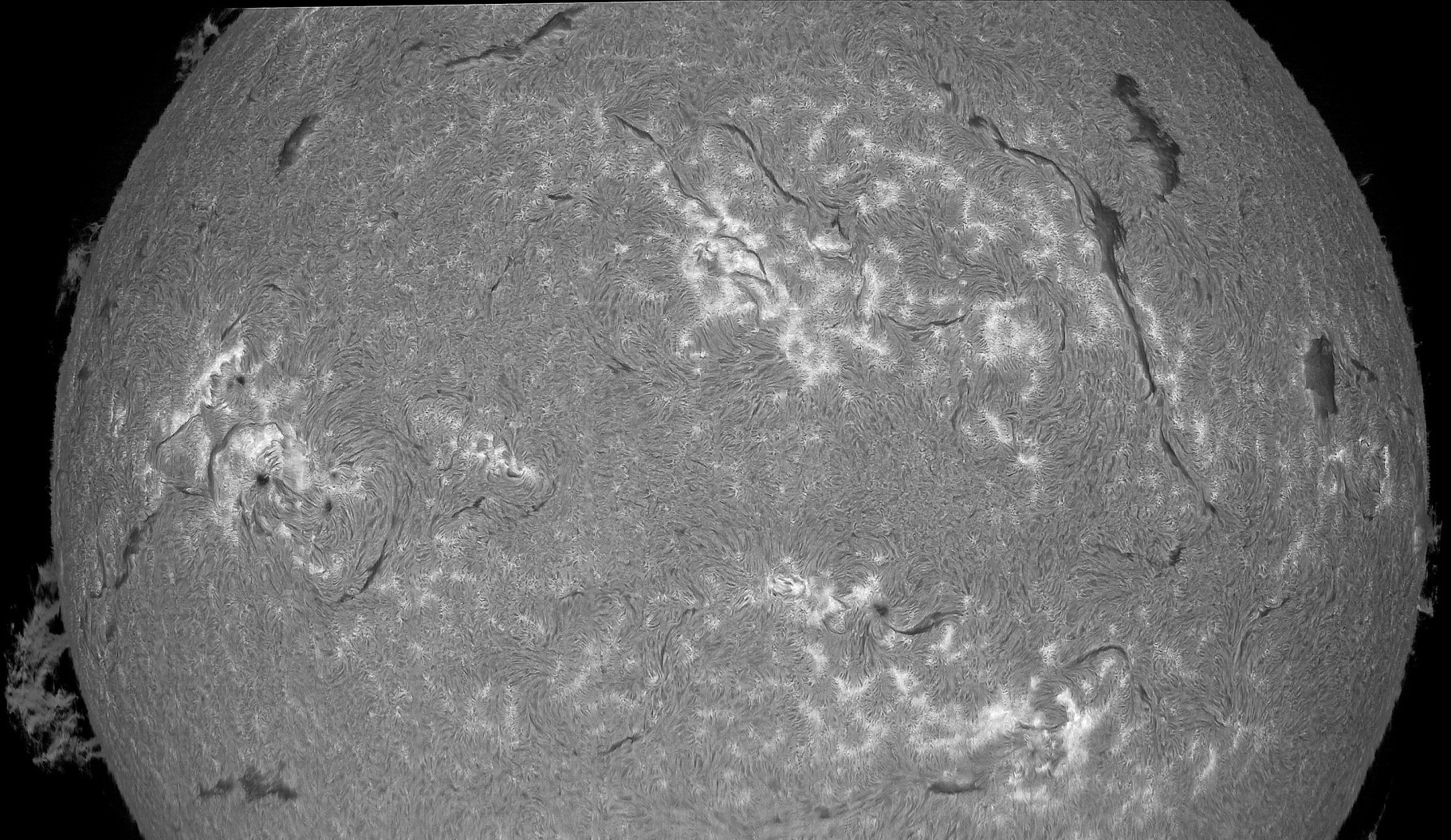


*H $\alpha$*

*Richard Schrantz*  
*22 avril 2024*

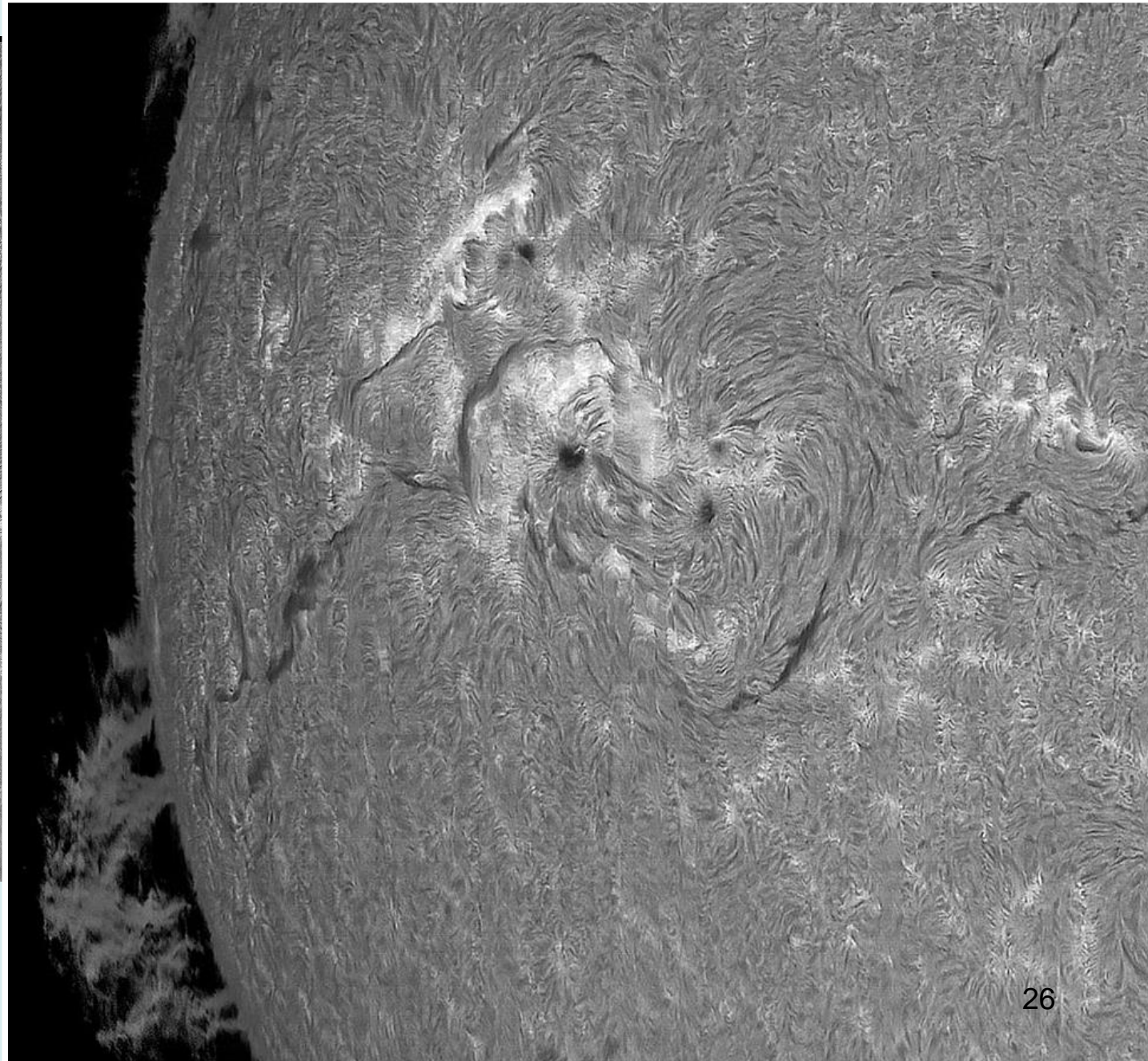
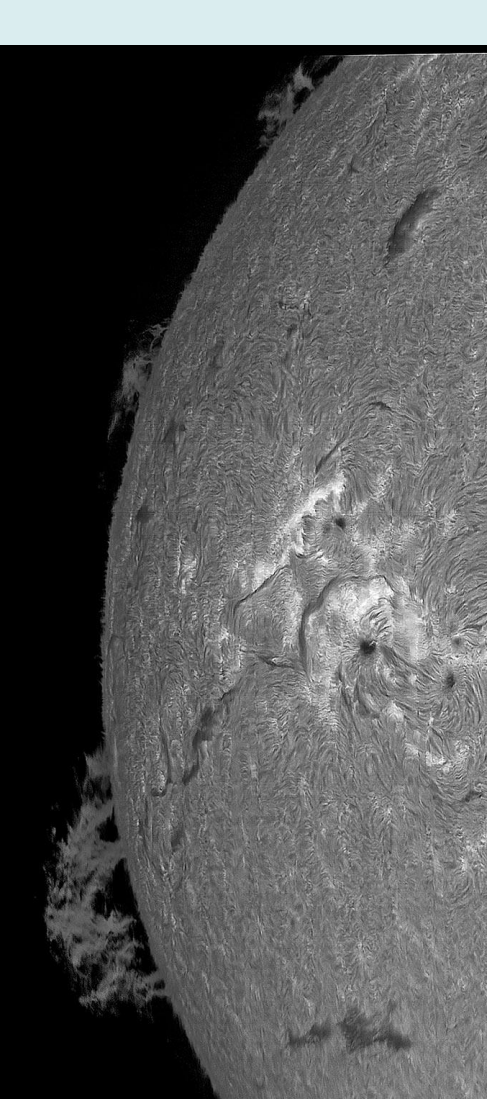


Et avec **Sol'Ex** ? sur une lunette de 100 mm



*19 mai 2024 , lunette de 100 mm + Sol'Ex*

Et avec Sol'Ex ? sur une lunette de 100 mm

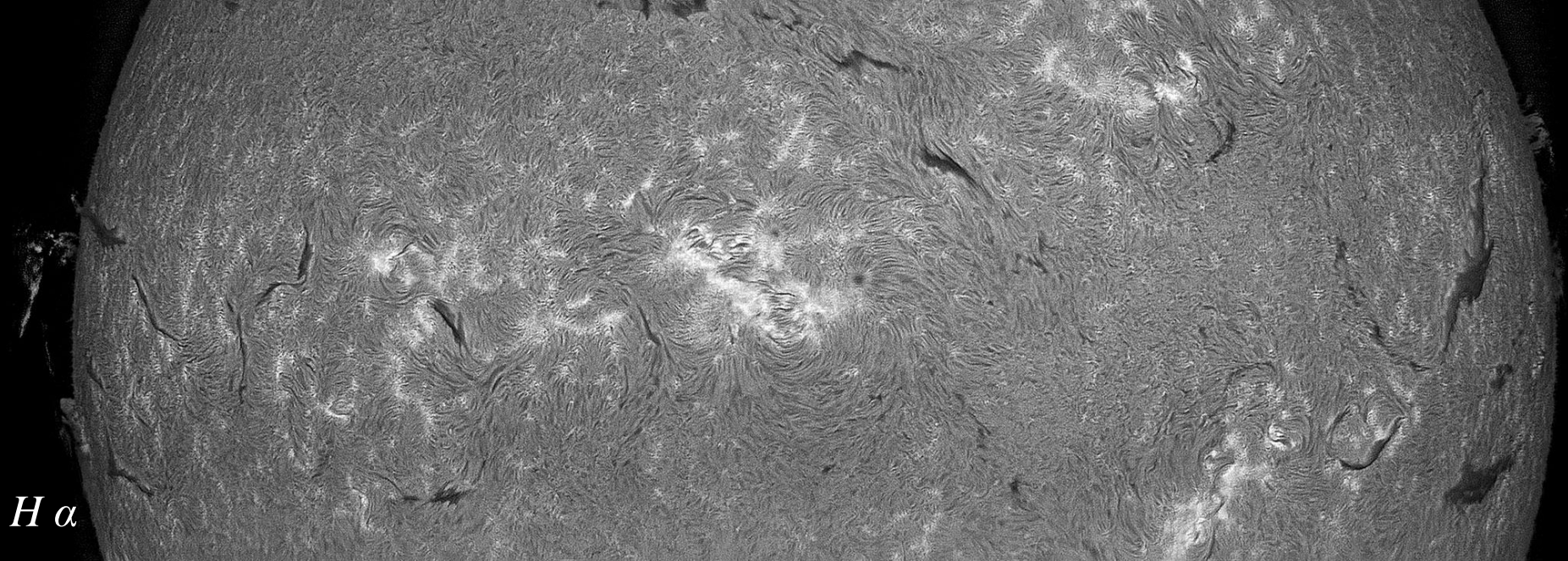


*19 mai 2024*

Et avec **Sol'Ex** ? sur un Newton 210 mm non aluminé

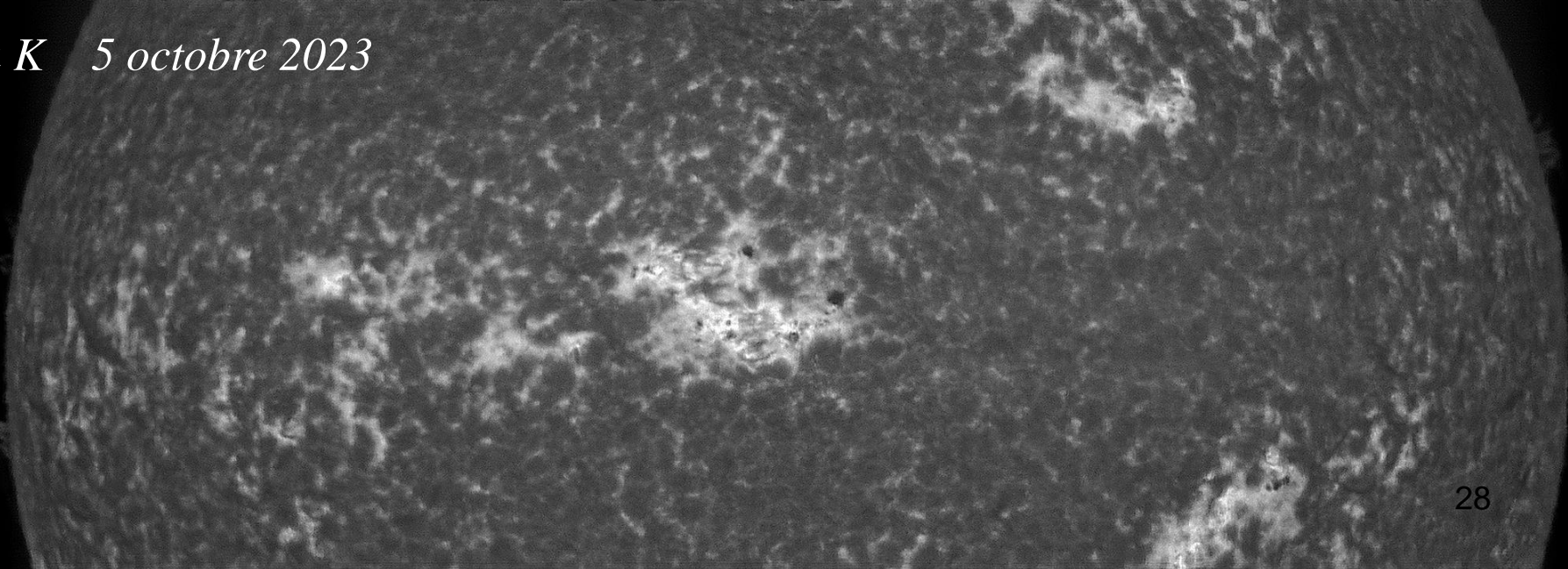


Et avec Sol'Ex ? sur un Newton 210 mm non aluminé

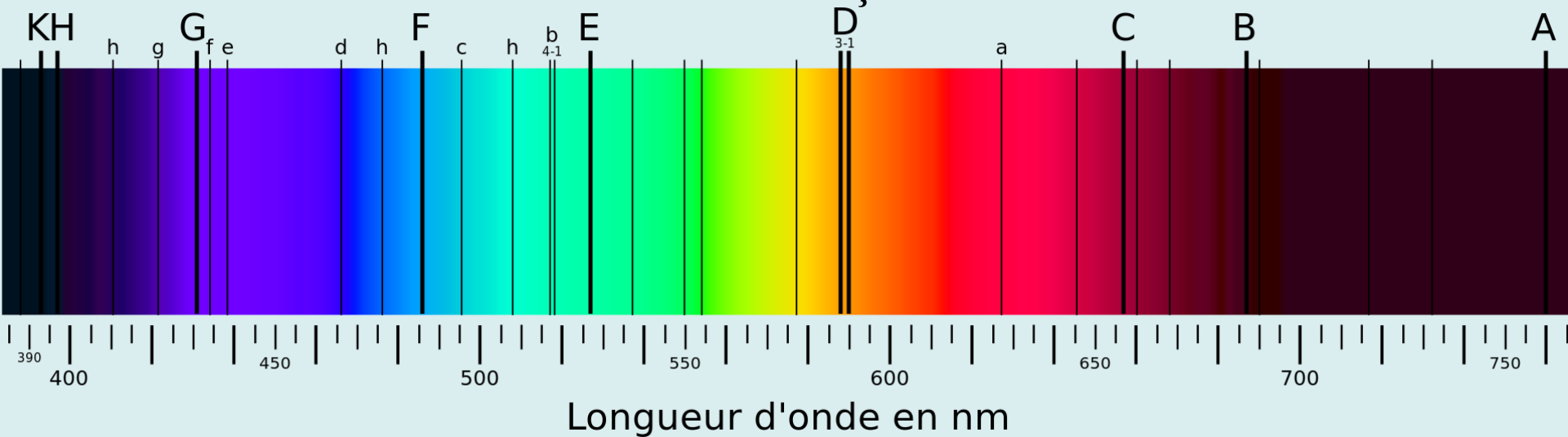


*H $\alpha$*

*Ca K 5 octobre 2023*



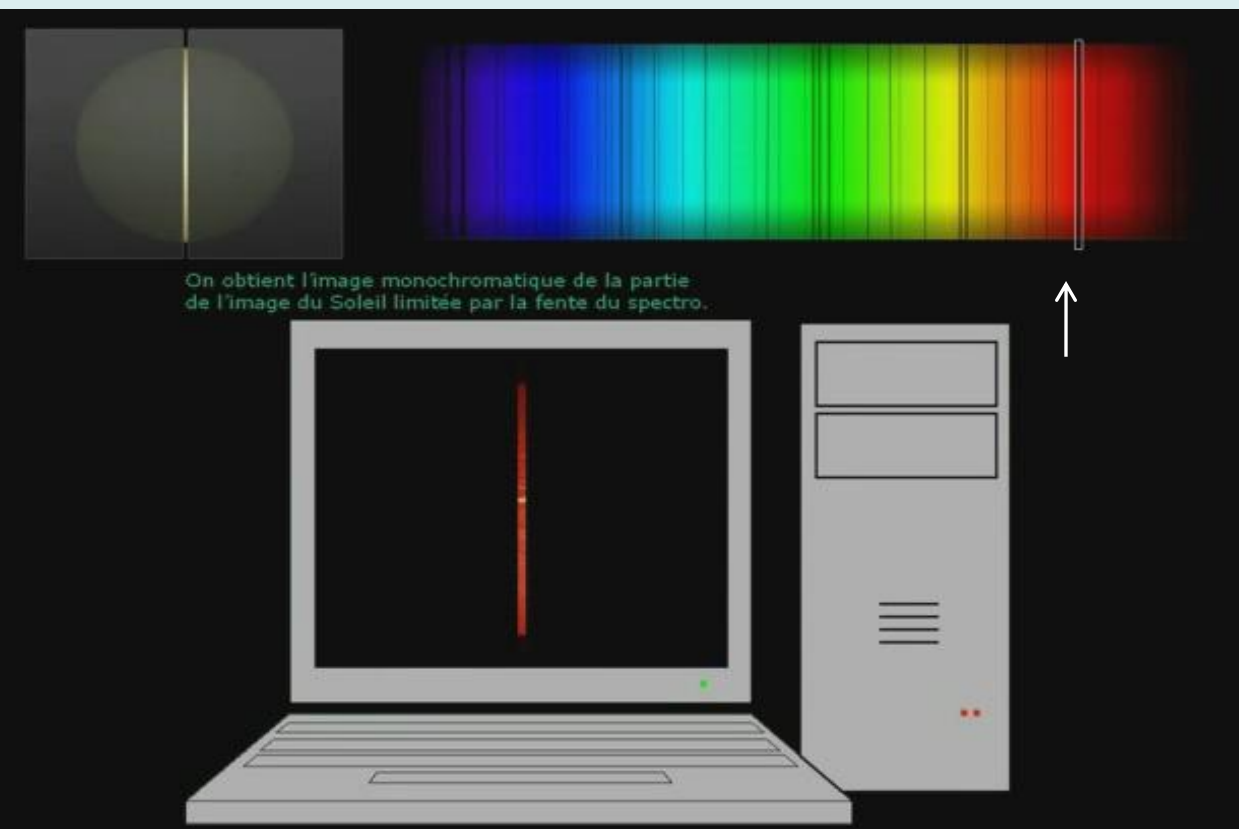
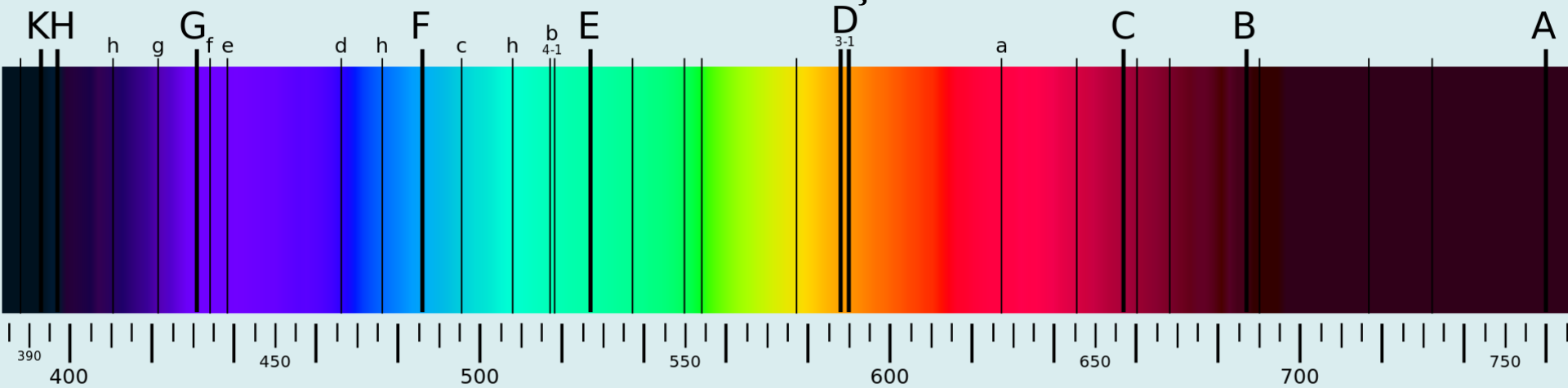
# Sol'Ex : comment ça marche ?



Pour bien comprendre la discussion des paramètres de prise de vue, il est utile de rappeler le processus d'acquisition et de traitement des images en spectrohéliographie digitale.

Dans le spectre solaire (ci-dessus) on choisit une raie, par exemple C (la raie rouge  $H\alpha$  de l'hydrogène) ou les raies ultraviolettes H ou K du calcium, etc.

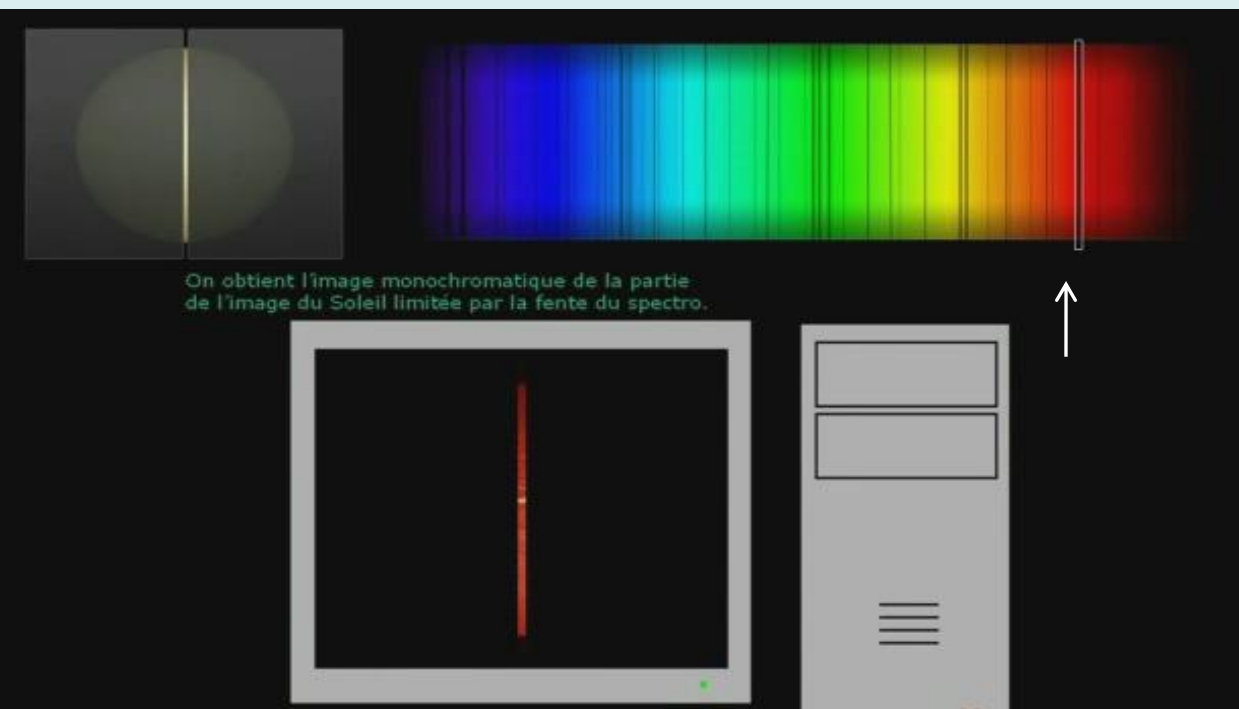
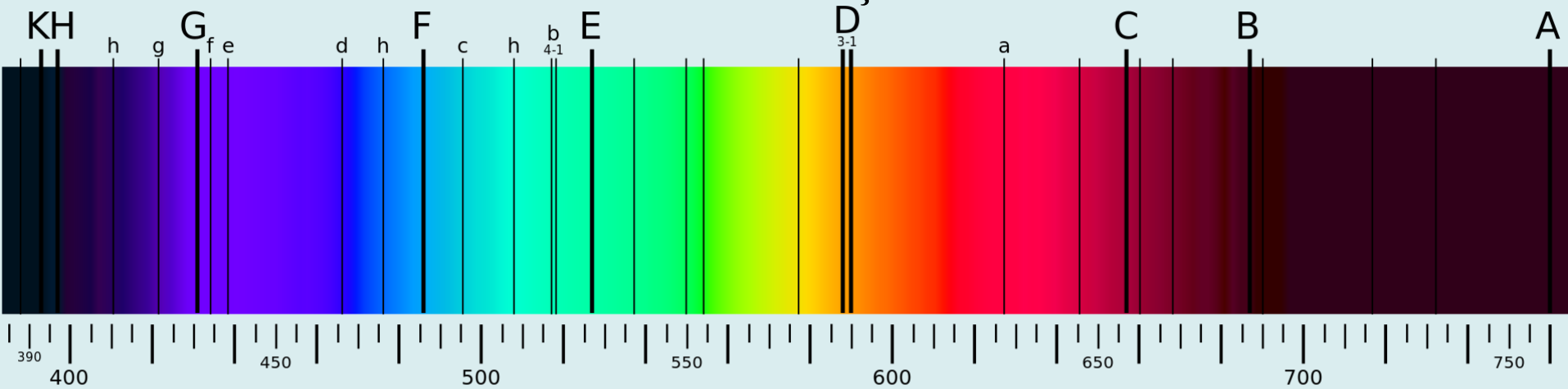
# Sol'Ex : comment ça marche ?



- À l'entrée de Sol'Ex, la fente isole une fine tranche de Soleil.
- À la sortie, la caméra isole une couleur et capte une **image monochromatique** dans la raie choisie (ici H $\alpha$ ).
- On fait défiler le Soleil sur la fente d'entrée. L'ordinateur reconstitue, tranche par tranche, une image monochromatique du Soleil entier.

*Schéma : Philippe Rousselle*

# Sol'Ex : comment ça marche ?



- À l'entrée de Sol'Ex, la fente isole une fine tranche de Soleil.
- À la sortie, la caméra isole une couleur et capte une **image monochromatique** dans la raie choisie (ici H $\alpha$ ).
- On fait défiler le Soleil sur la fente d'entrée. L'ordinateur reconstitue, tranche par tranche, une image monochromatique du Soleil entier.

*Schéma : Philippe Rousselle*

Voir la vidéo : <http://www.astrosurf.com/spectrohelio/animations/shg-ccd-2b.mp4>

La structure de l'image est donc bien différente dans le sens vertical et dans le sens horizontal.

- **Sens vertical** : avoir une focale suffisante pour que le pouvoir séparateur couvre au moins 2 pixels :  $F/D > p/\lambda$  pour Sol'Ex.

**Exemple** :  $p = 2,4 \mu\text{m}$  donne  $F/D > 4$  en  $\text{H}\alpha$ ,  $F/D > 6,5$  en Ca H ou K, ce qui est réalisé sans problème.

- **Sens horizontal** : ici, grâce au logiciel **Inti**, chaque image du film va donner une tranche verticale de largeur 1 pixel dans la reconstruction. Le logiciel juxtapose ces tranches pour reconstituer le disque solaire.



La reconstruction de l'image par **Inti** est optimale si l'image du disque solaire couvre autant de pixels verticaux qu'horizontaux (image bien ronde). C'est le cas pour Sol'Ex si (formule approximative) :

$$F \times v = 9 \times p \times i$$

$F$  : focale du télescope (en mm)

$v$  : vitesse de balayage du Soleil (par rapport à celle du mouvement diurne)

$p$  : côté d'un pixel de la caméra (en  $\mu\text{m}$ )

$i$  : cadence d'acquisition de la caméra (nombre d'images par seconde)

$9$  : varie en fait de 8,8 (aux équinoxes) à 9,6 (aux solstices).

**Exemple** :  $F = 800$  mm,  $p = 2,4$   $\mu\text{m}$  (caméra ASI 178, binning 1) donnent

$$37 v = i$$

Avec  $v = 12$  on doit avoir  $i = 37 \times 12 = 444$  im/s (cadence élevée mais praticable).

Le temps de pose devra être inférieur à  $1/444$  s = 2,25 ms.

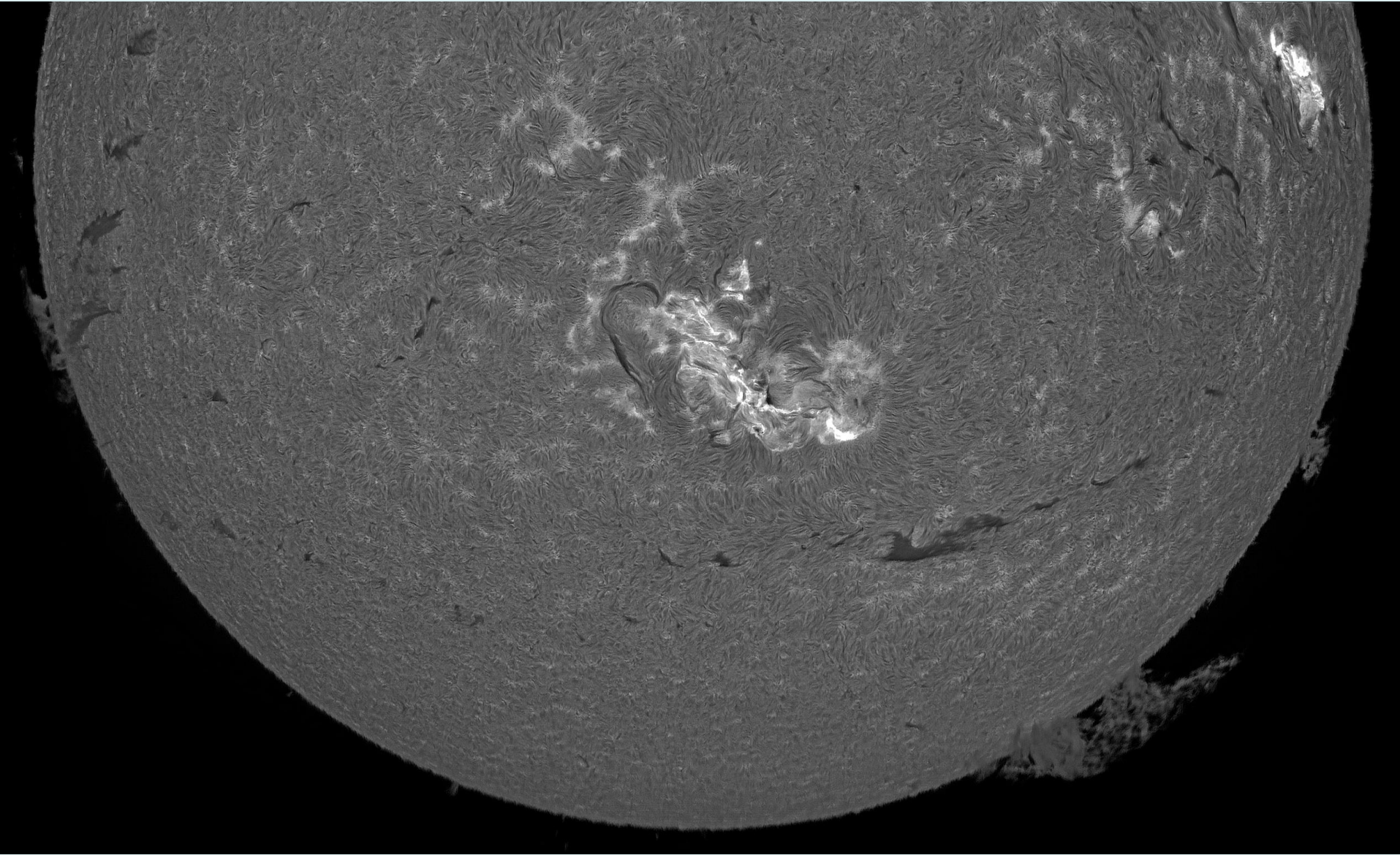
Le film contiendra au moins 4500 images.

Avec  $F = 1200$  mm, on doit avoir  $56 v = i$ . Il faudra réduire  $v$  !

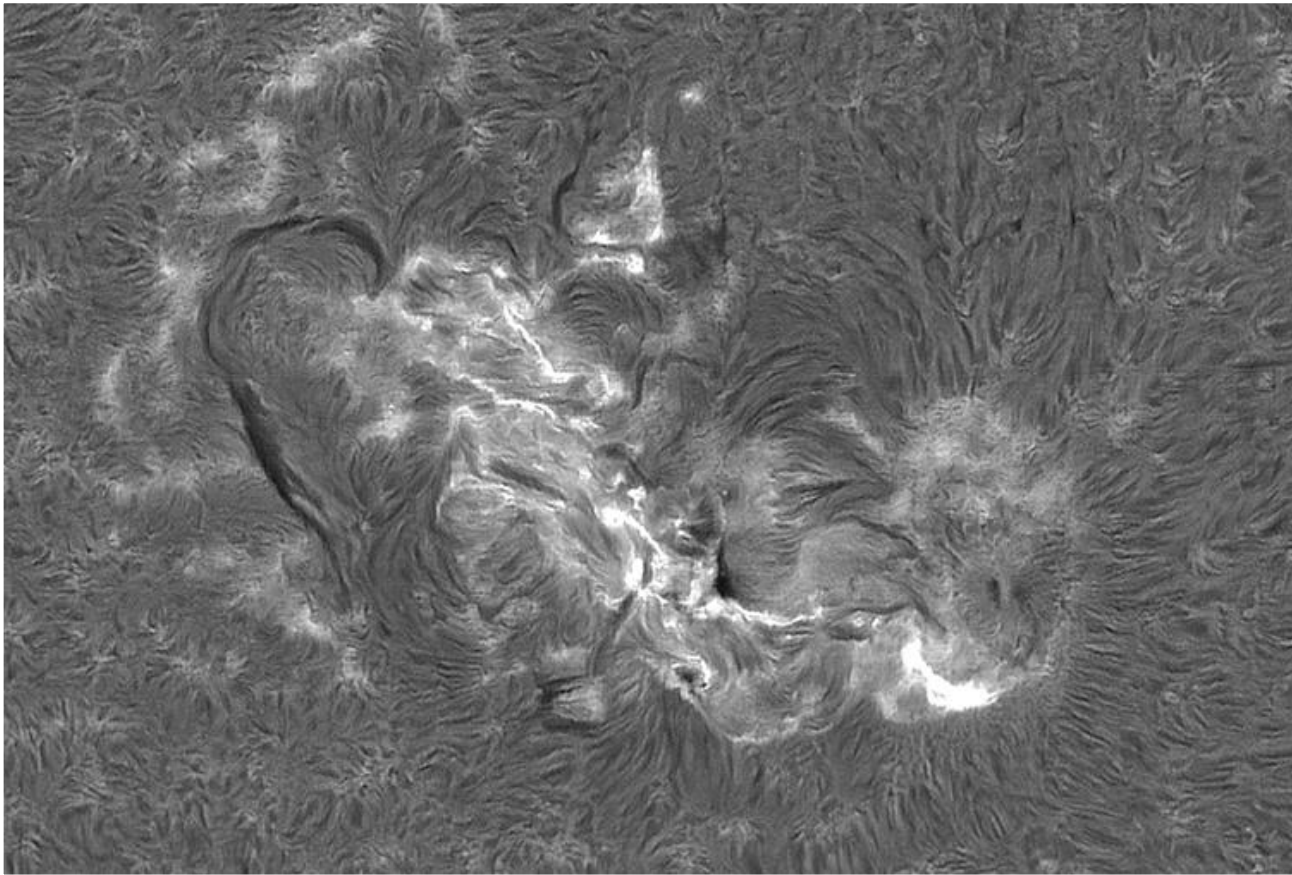
**Remarque** : la reconstruction reste bonne (mais suréchantillonnée) si  $Fv < 9 pi$ .

Alors, peut-on espérer obtenir de la haute résolution avec un spectrohéliographe (« HR au SHG ») ?

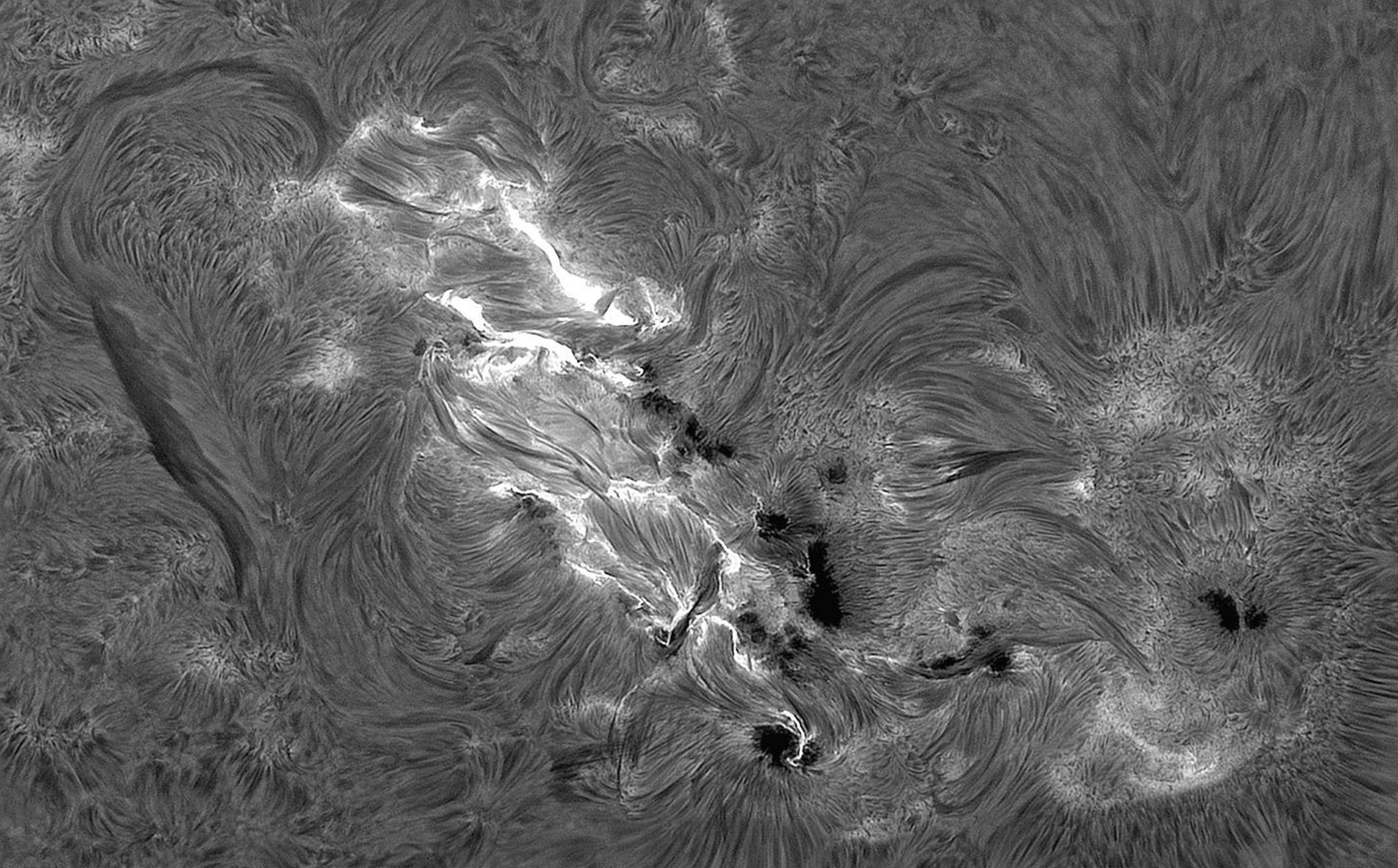
Alors... HR au SHG ?



*8 mai 2024, lunette 100 mm + Sol'Ex*

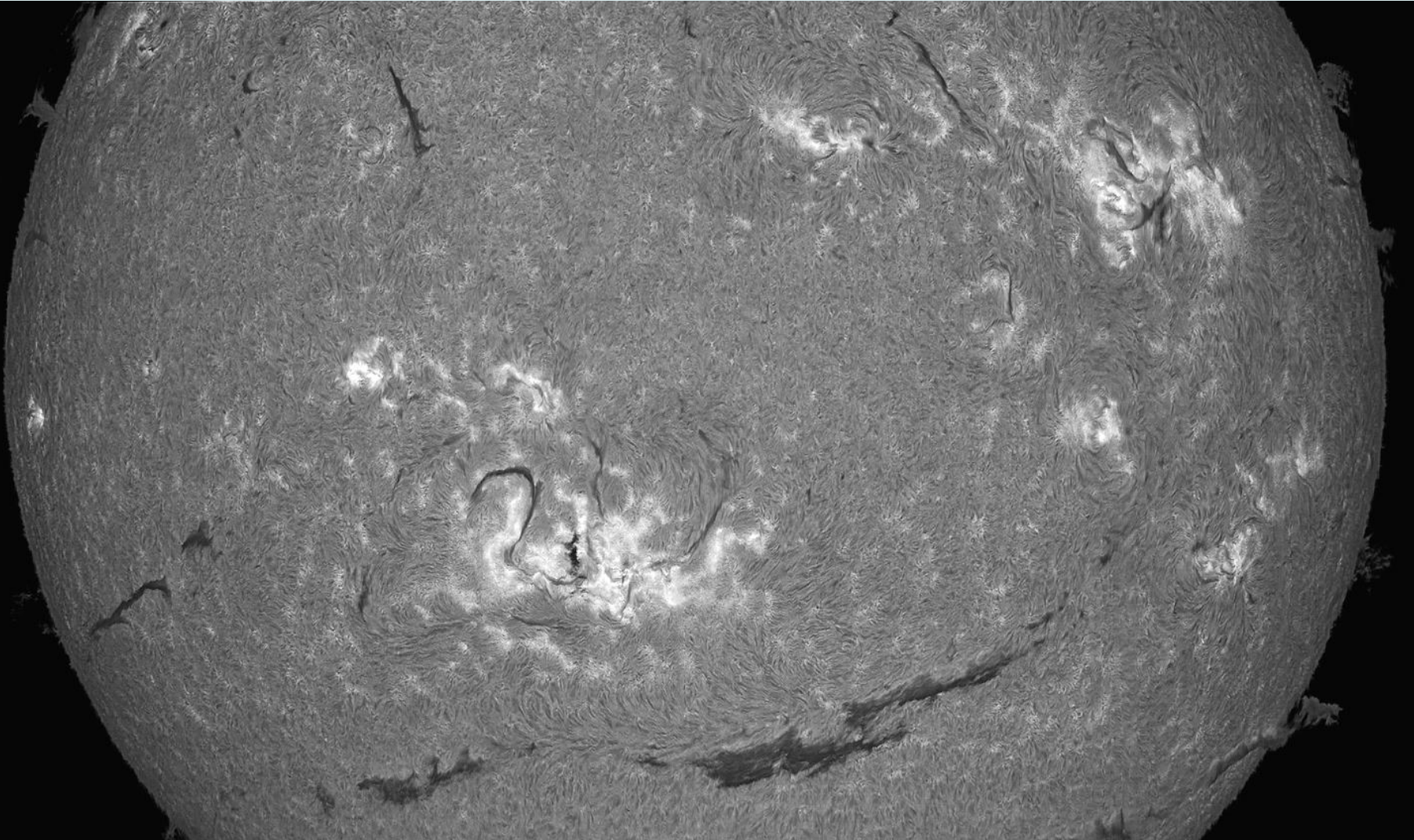


*8 mai 2024, lunette 100 mm + Sol'Ex  
(détail de l'image précédente)*

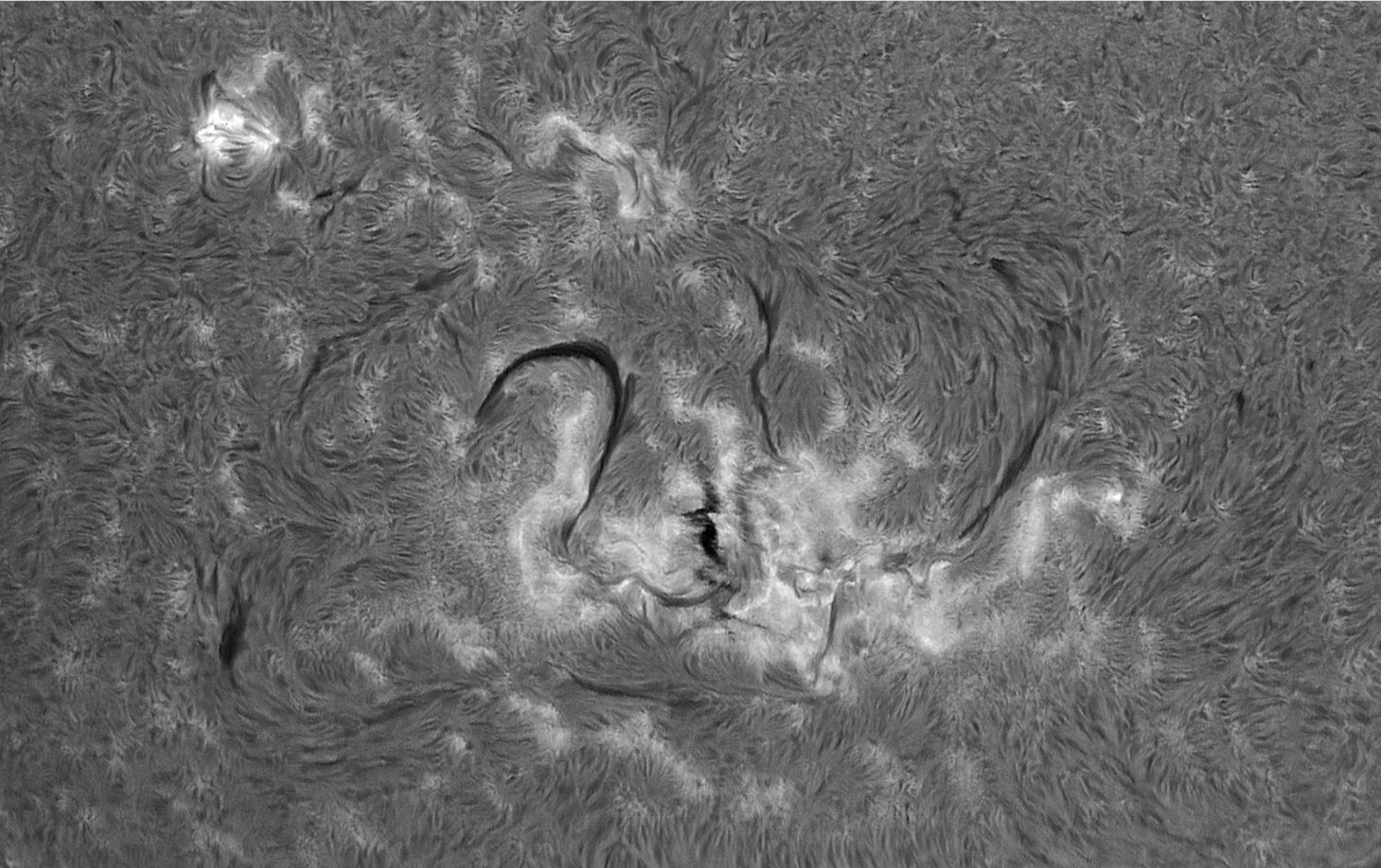


*8 mai 2024, Celestron 8 AiryLab + filtre DayStar Ion 0,3 Å  
(1 heure après la précédente, pour comparaison)*

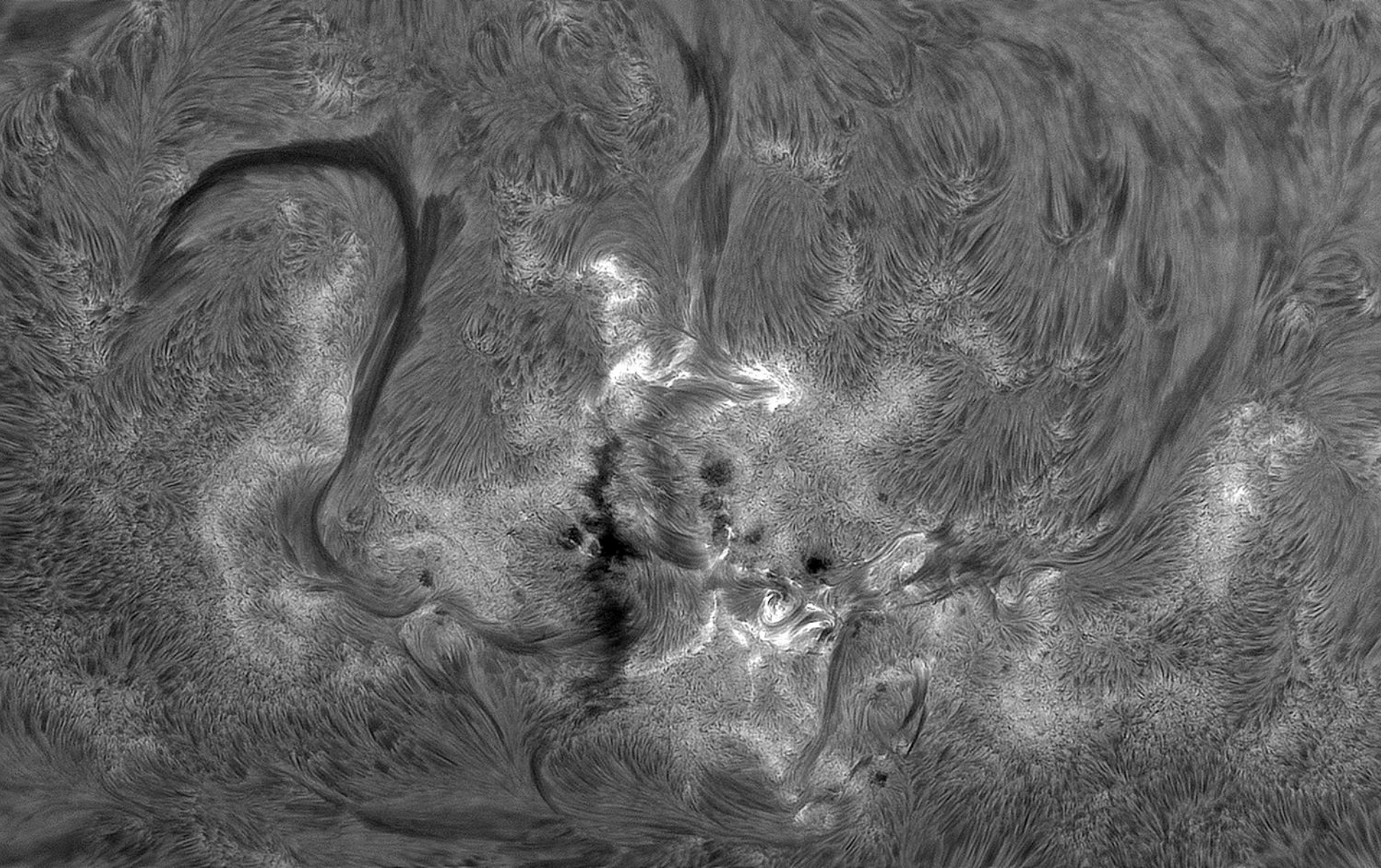
Alors... HR au SHG ?



*3 juin 2024, lunette 100 mm + Sol'Ex*



*3 juin 2024, lunette 100 mm + Sol'Ex  
(détail de l'image précédente, compositage de 5 images)*



*3 juin 2024, Celestron 8 AiryLab + filtre DayStar Ion 0,3 Å  
(1 heure après la précédente, pour comparaison)*



## Alors... HR au SHG ?

*Ne rêvons pas trop, mais :*

- résultats intéressants dès 100 mm d'ouverture
- *dans la mesure du possible, il faut :*  
grande vitesse de balayage, grande cadence d'acquisition (avec  $Fv = 9\pi$ ),  
temps de pose bref, faible gain de la caméra
- donc ne pas trop atténuer la lumière qui entre dans l'instrument.  
Pour cela, Sol'Ex a été légèrement modifié.



Légère modification de Sol'Ex :

← fente D. Smith, largeur  $9\ \mu\text{m}$   
(chrome sur quartz fondu),  
montée sur support métallique

+ filtre de blocage UV/IR  
(Astronomik L1), placé au moins  
10 cm avant le foyer

sans aucune autre atténuation  
de la lumière solaire.

## Alors... HR au SHG ?

*Ne rêvons pas trop, mais :*

- résultats intéressants dès 100 mm d'ouverture
- *dans la mesure du possible, il faut :*  
grande vitesse de balayage, grande cadence d'acquisition (avec  $Fv = 9pi$ ), temps de pose bref, faible gain de la caméra
- donc ne pas trop atténuer la lumière qui entre dans l'instrument.  
Pour cela, Sol'Ex a été légèrement modifié.
- composer avec AutoStakkert! plusieurs scans successifs du Soleil pour atténuer l'effet de cisaillement des bords de l'image.

*Ces quelques indications ne sont là que pour inciter à expérimenter, encore et encore, avec cet outil merveilleux qu'est Sol'Ex !*

*MERCI Valérie ! MERCI Christian !*



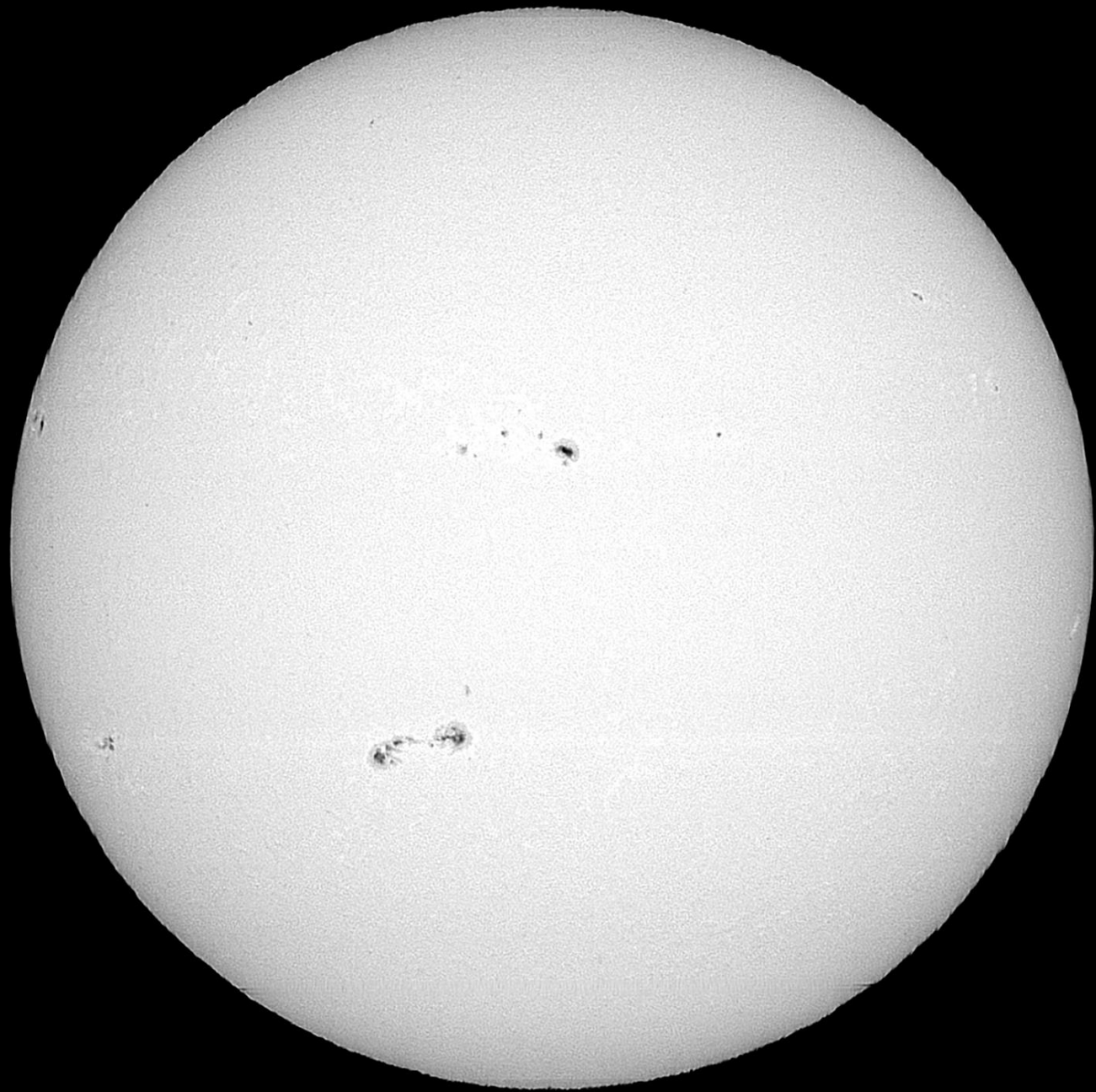
*C. Buil*

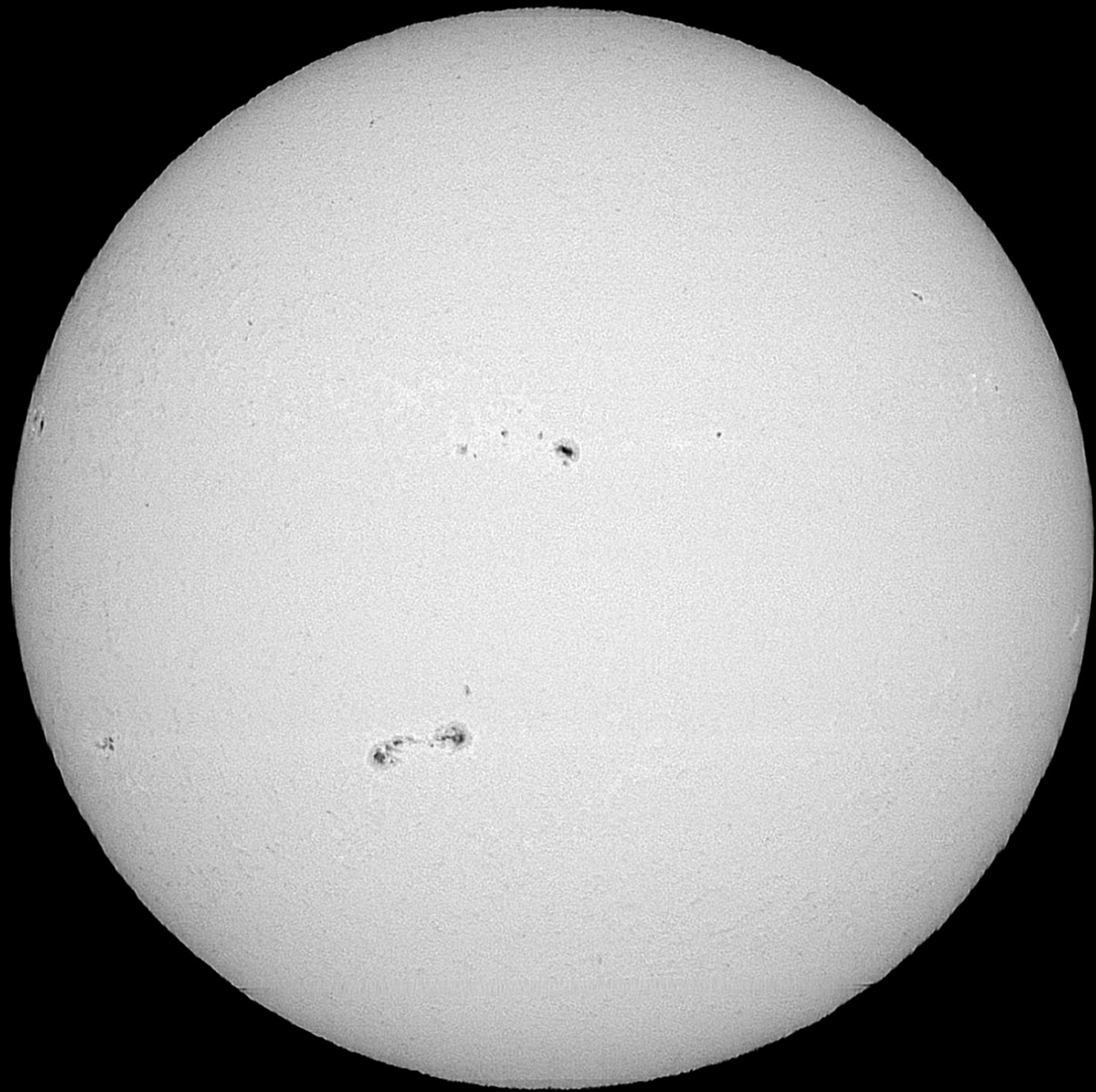


*Si à cinquante ans on n'a pas un Sol'Ex ,  
c'est qu'on a quand même raté sa vie ...*

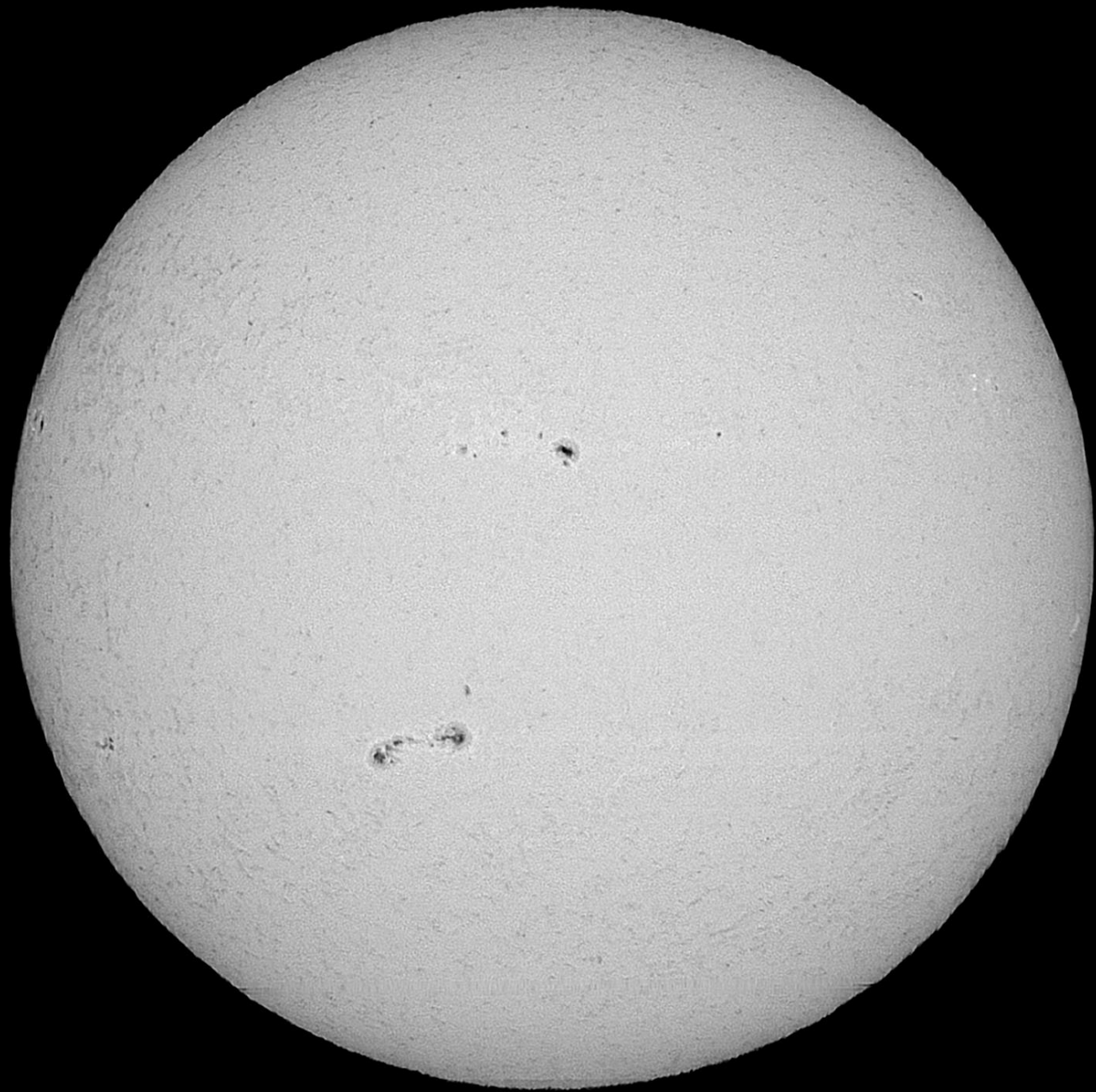
## **Addendum**

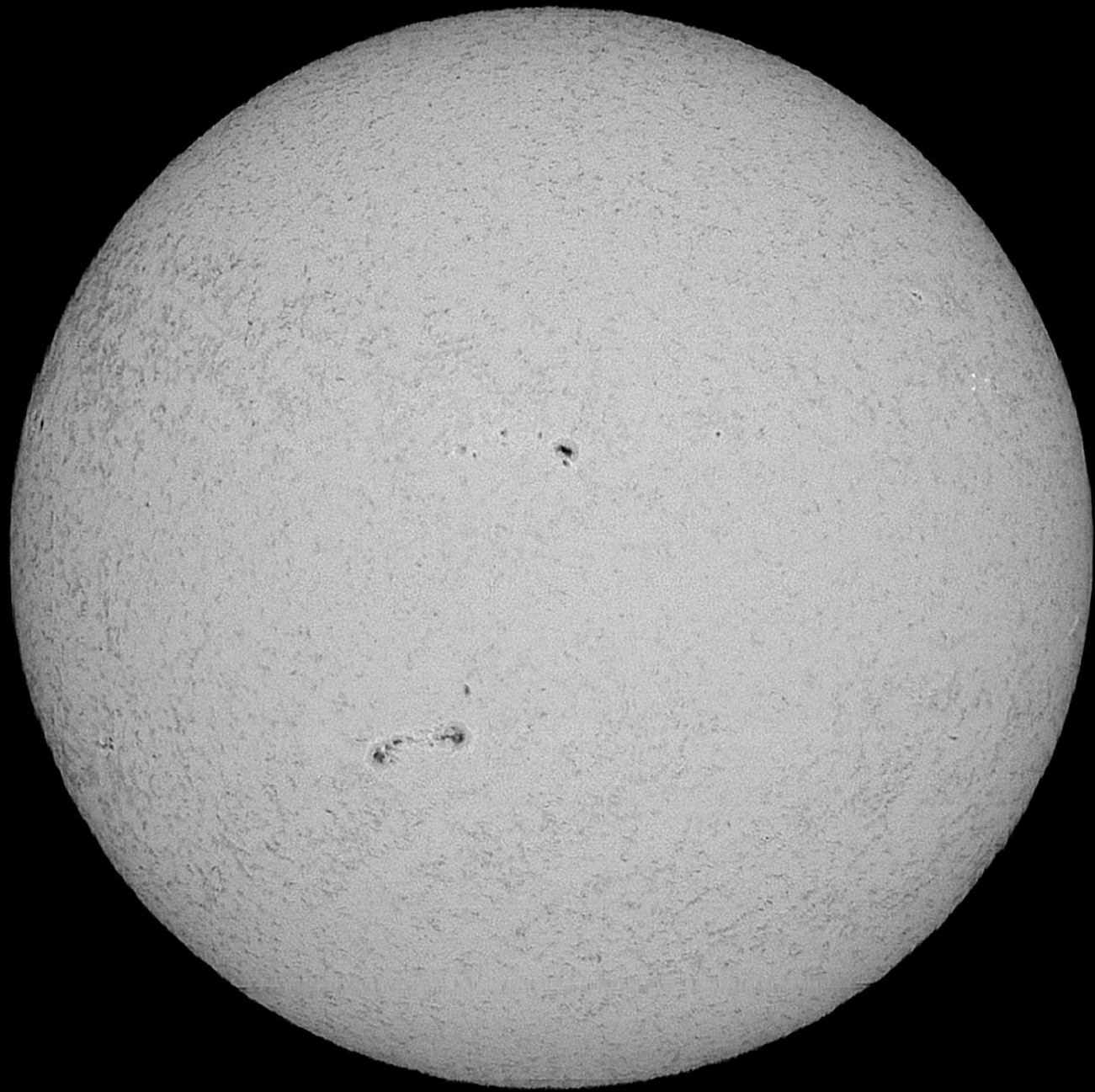
Succession d'images (simultanées!) obtenues le 11 juillet 2022 avec une lunette de 80 mm + Sol'Ex, du niveau de la photosphère jusqu'à celui de la chromosphère.

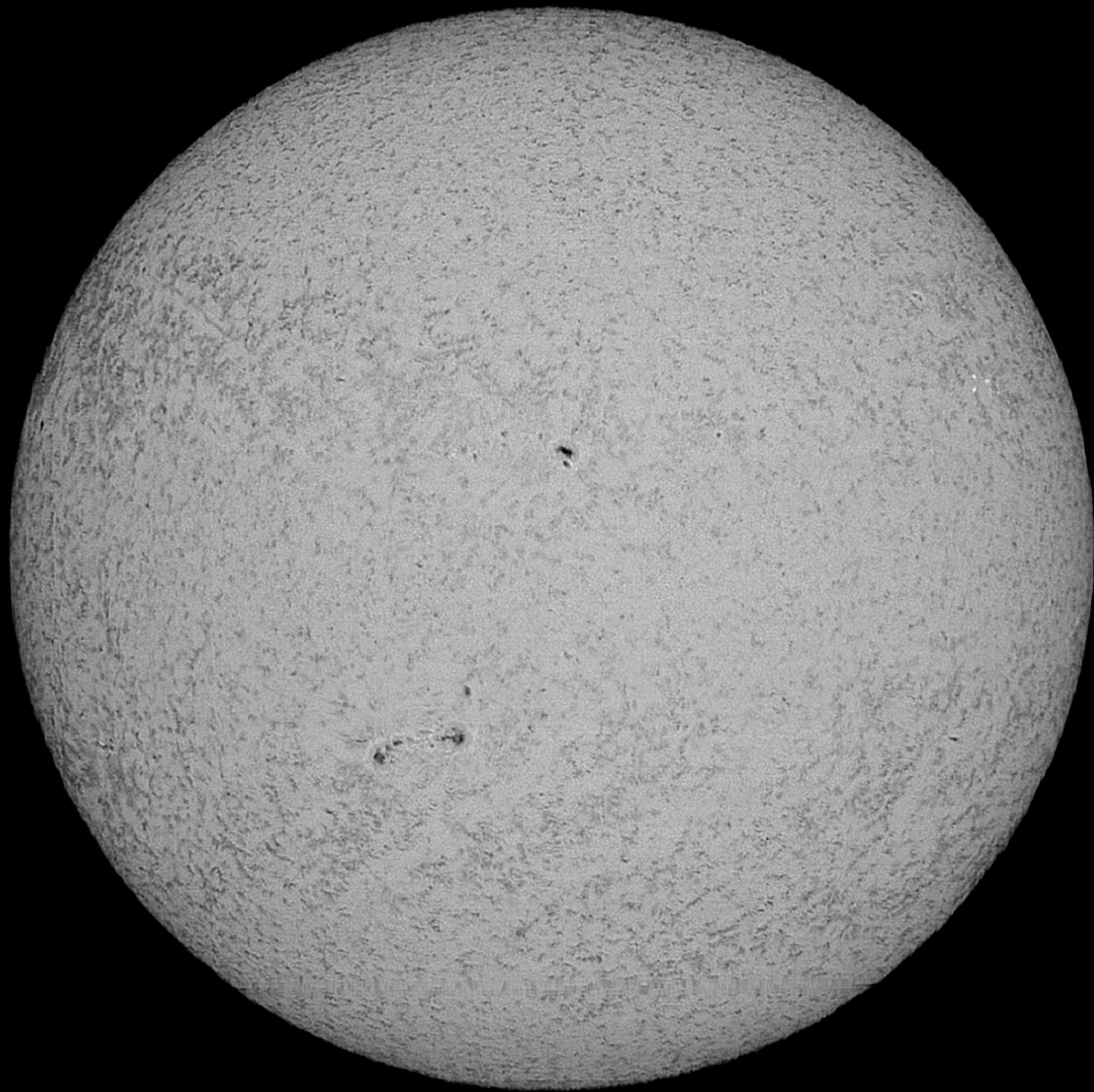


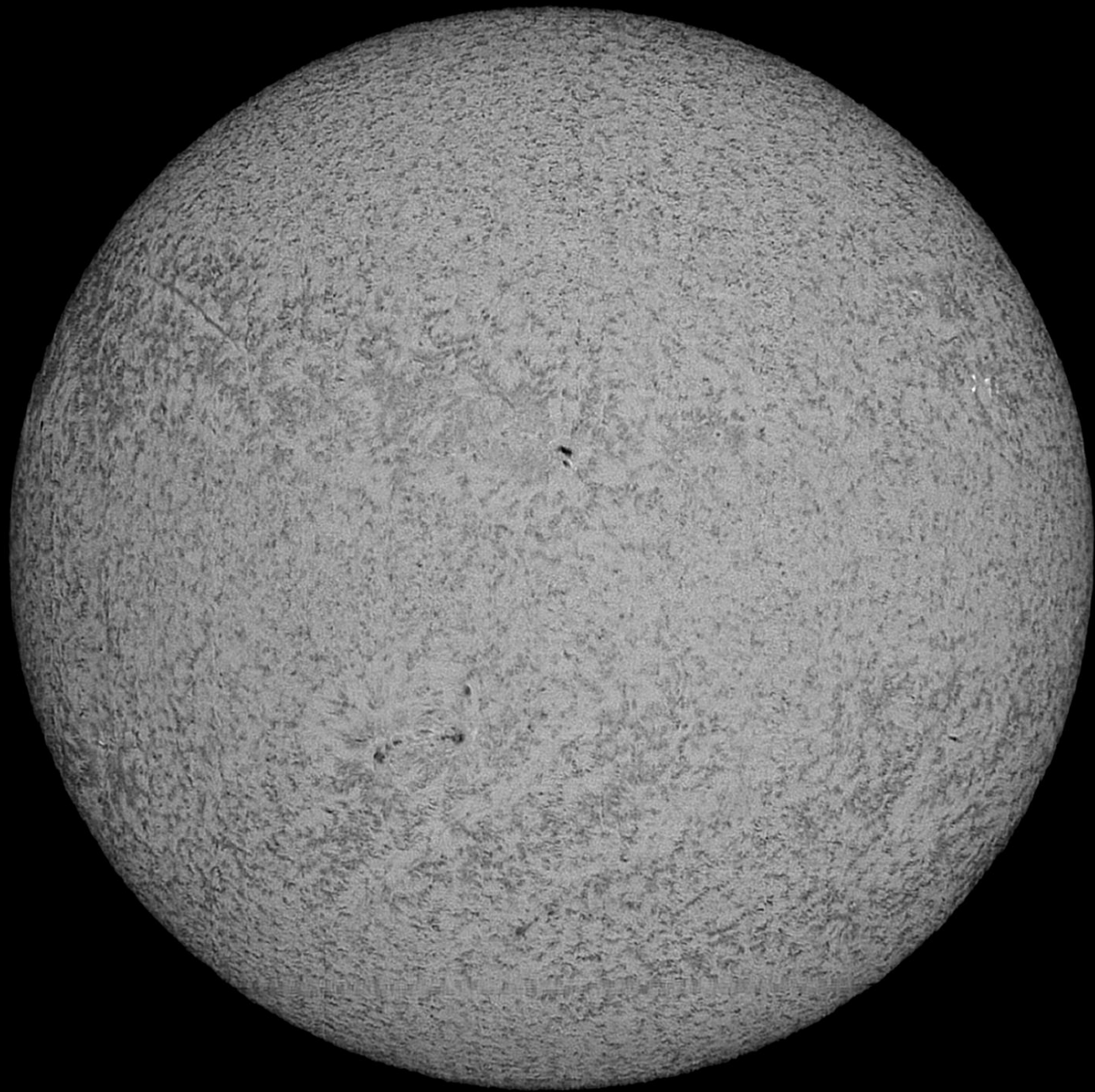


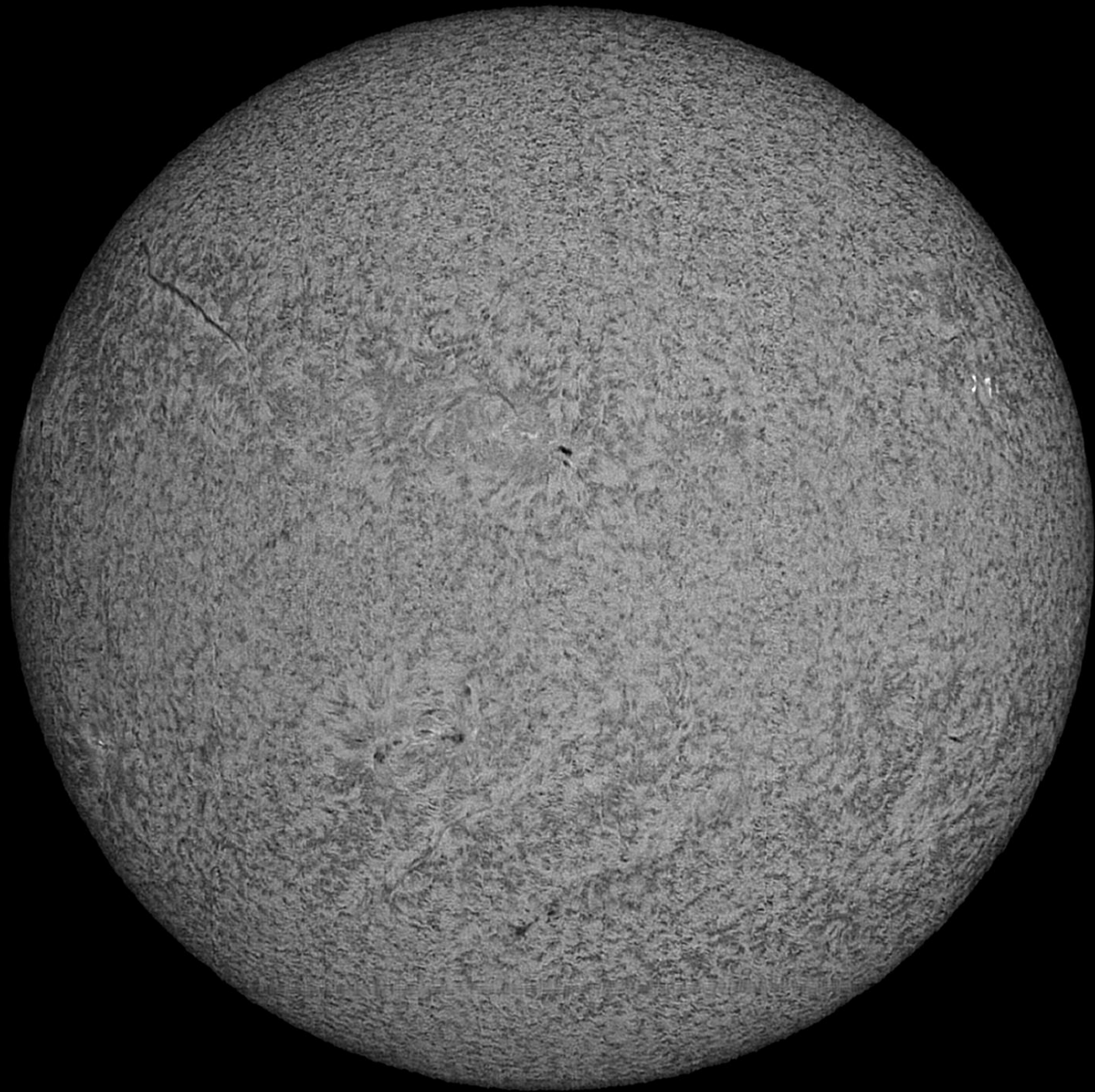


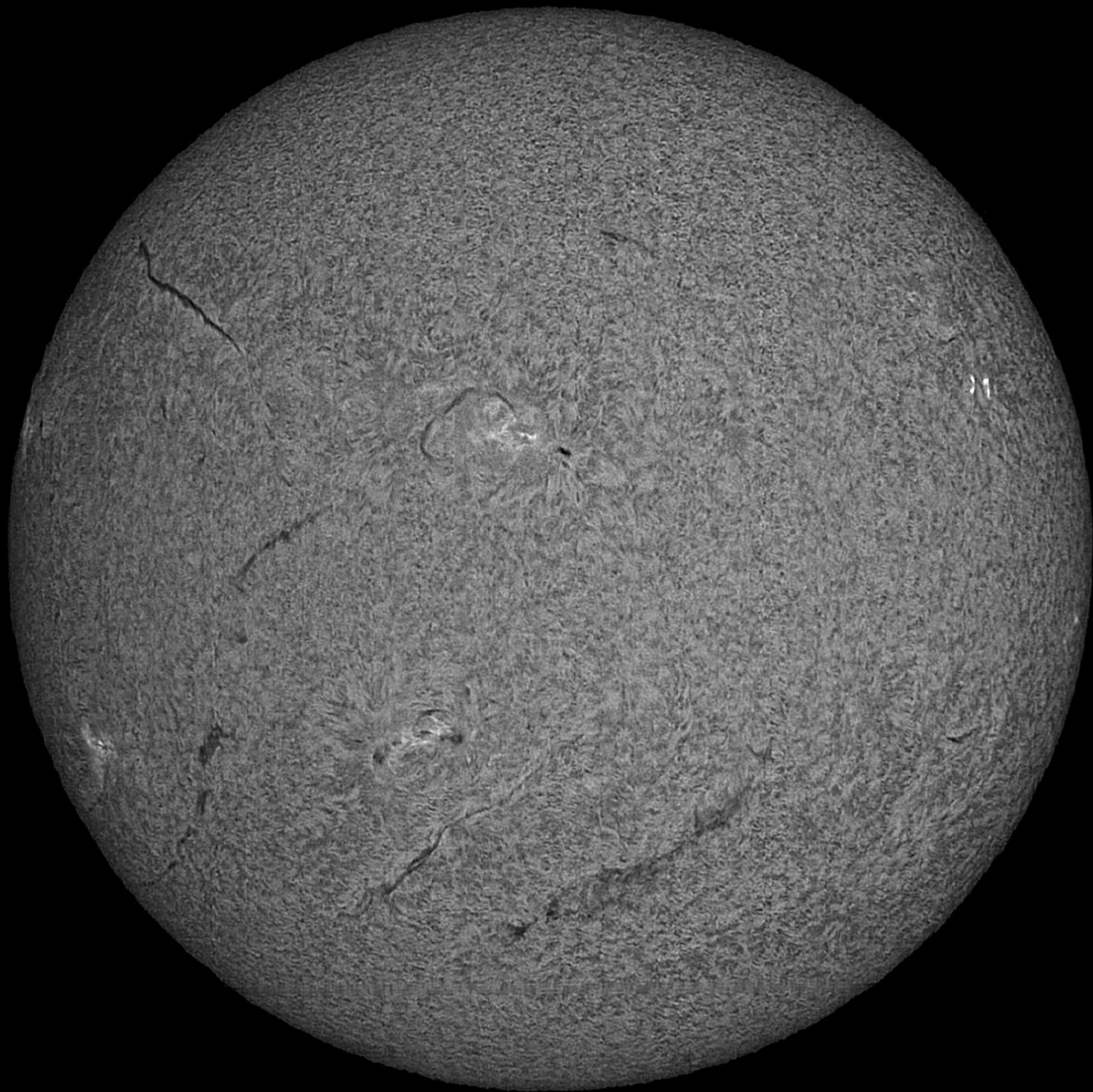


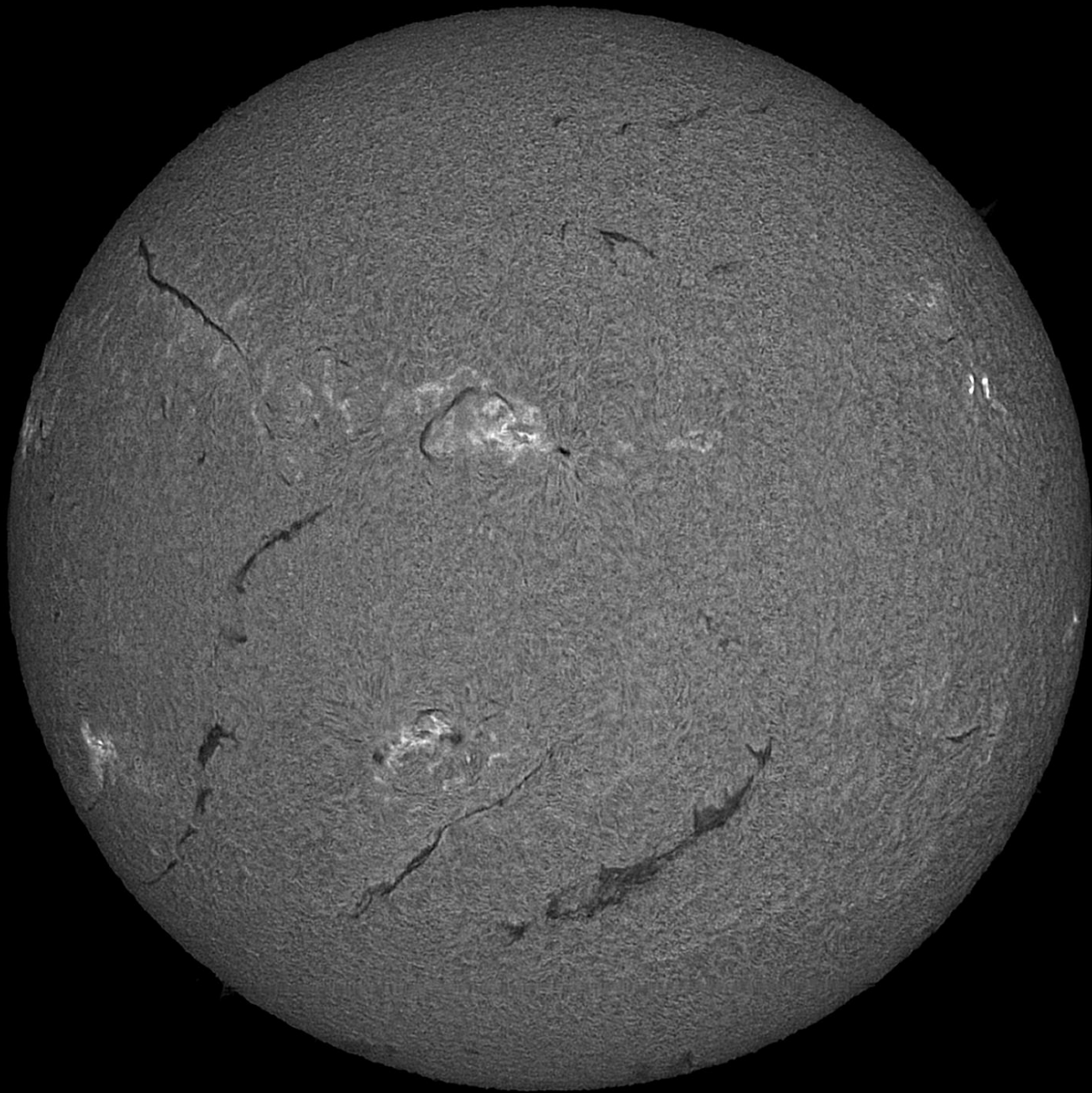


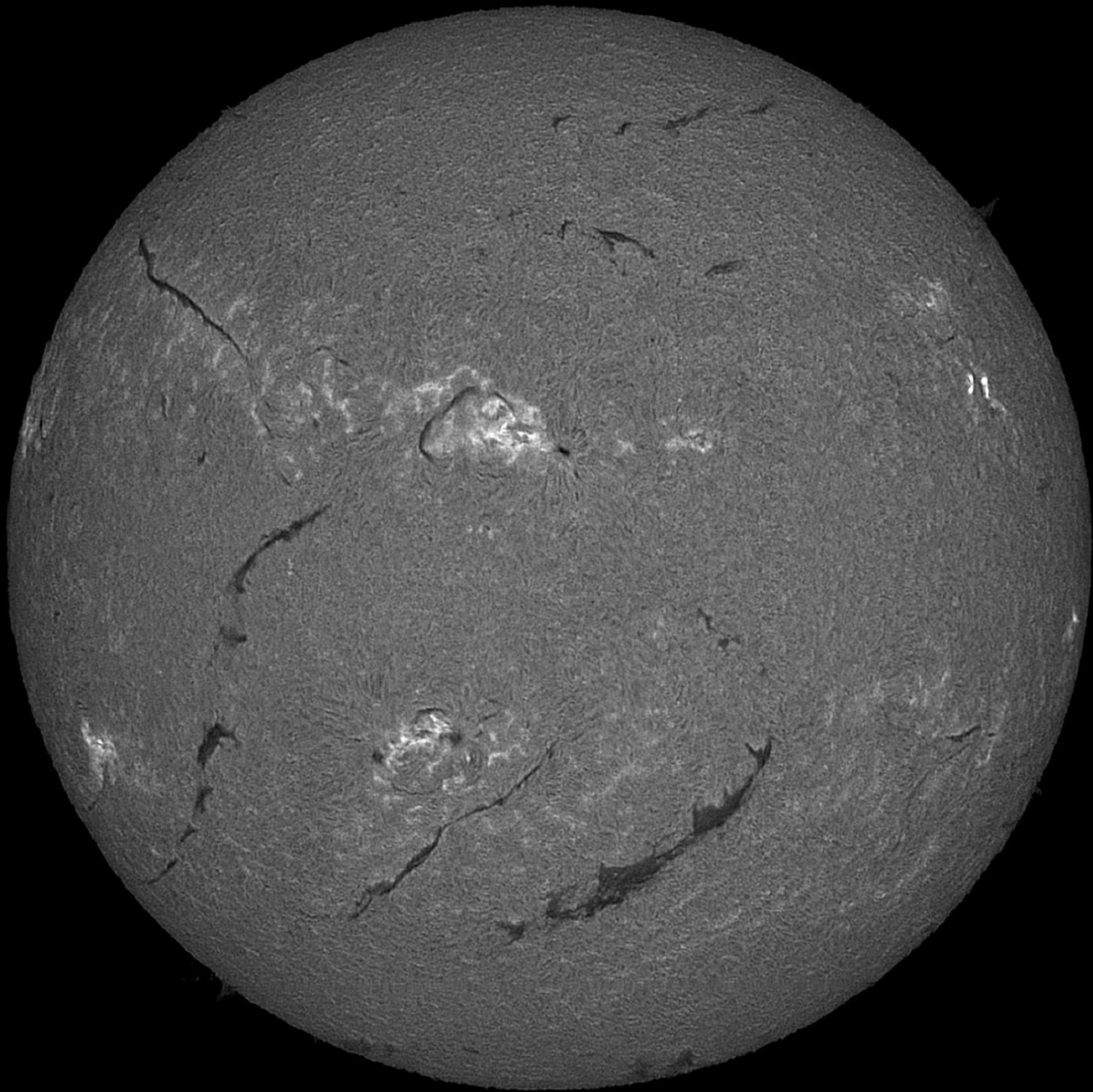




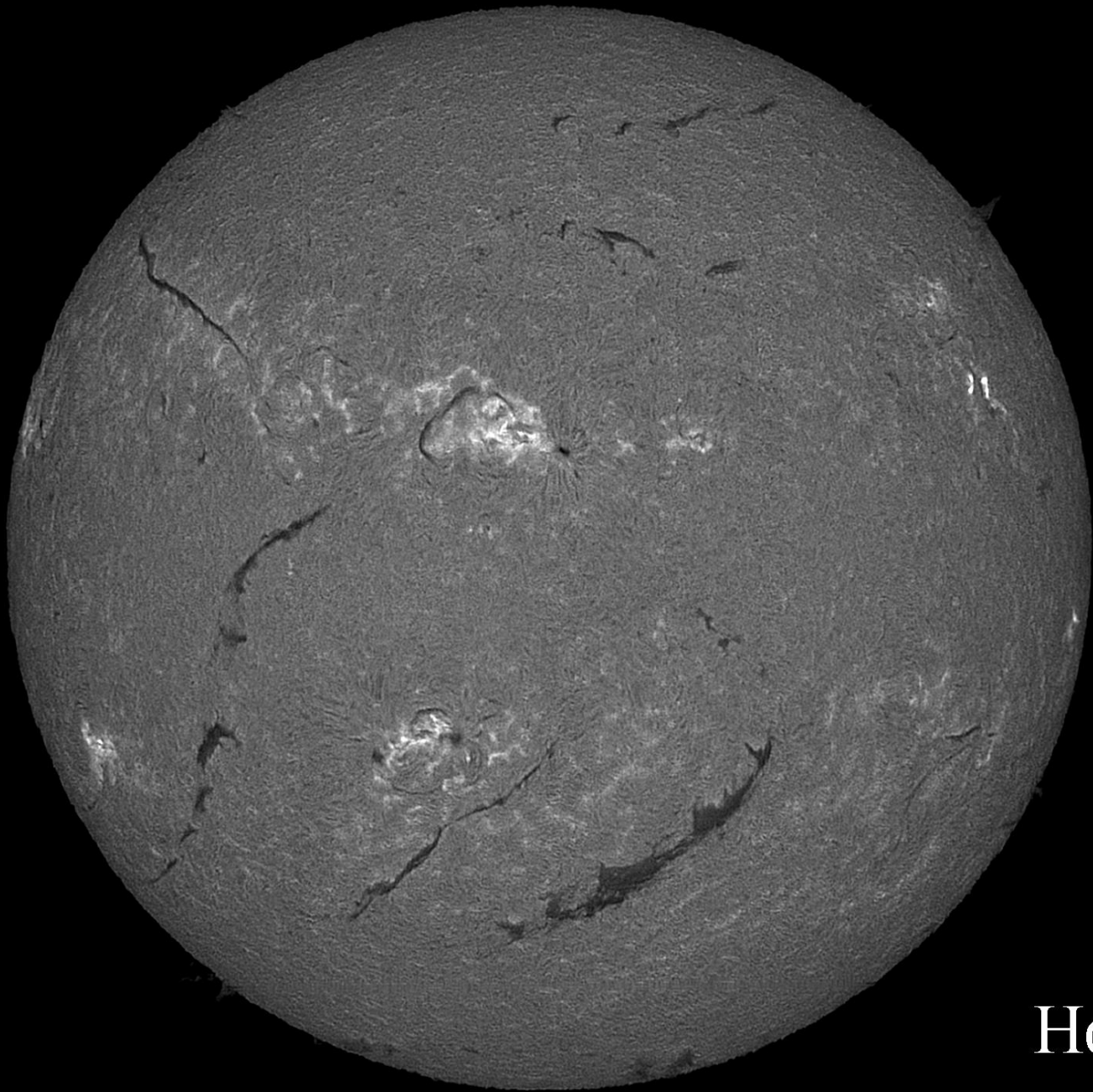




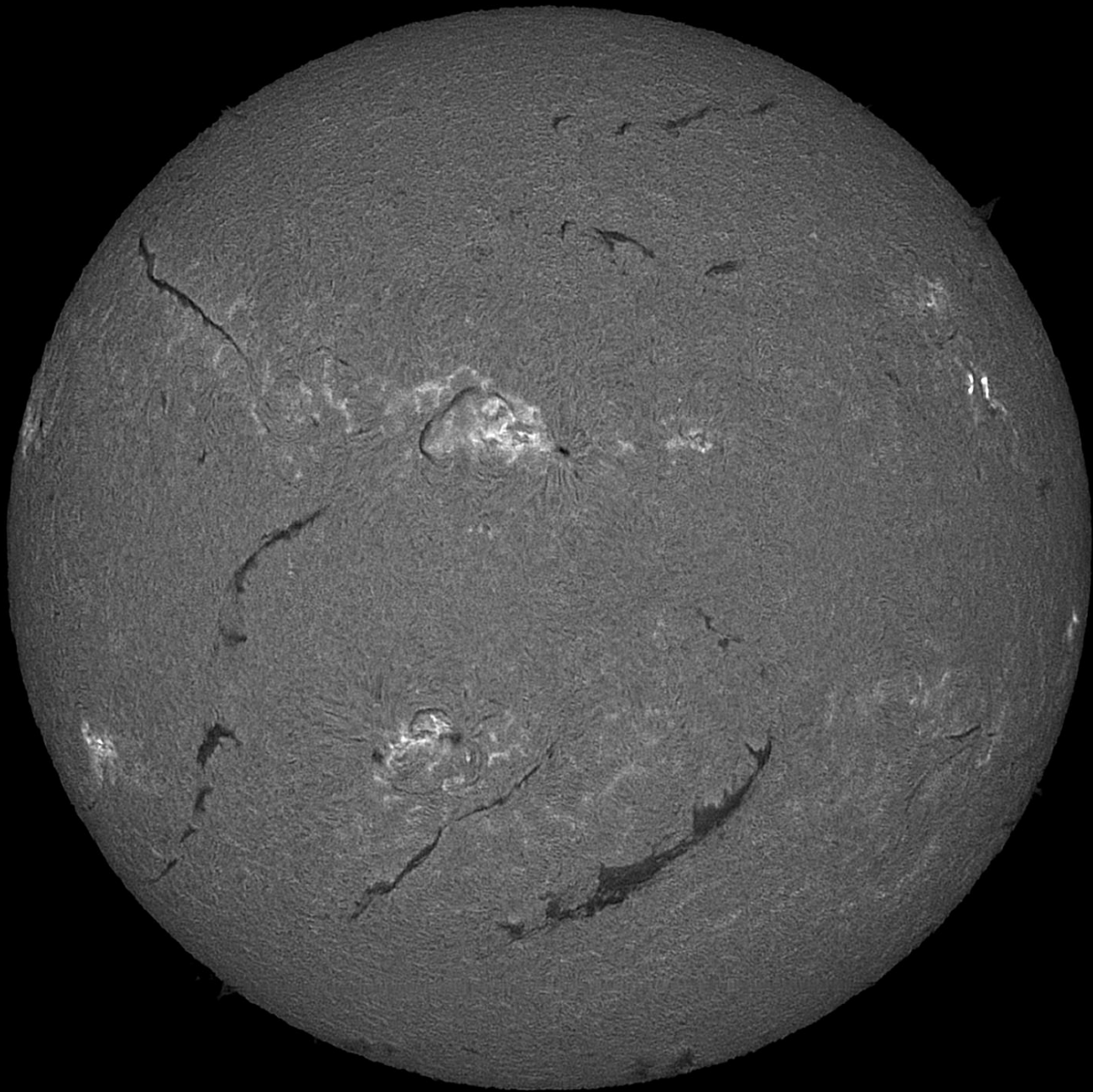


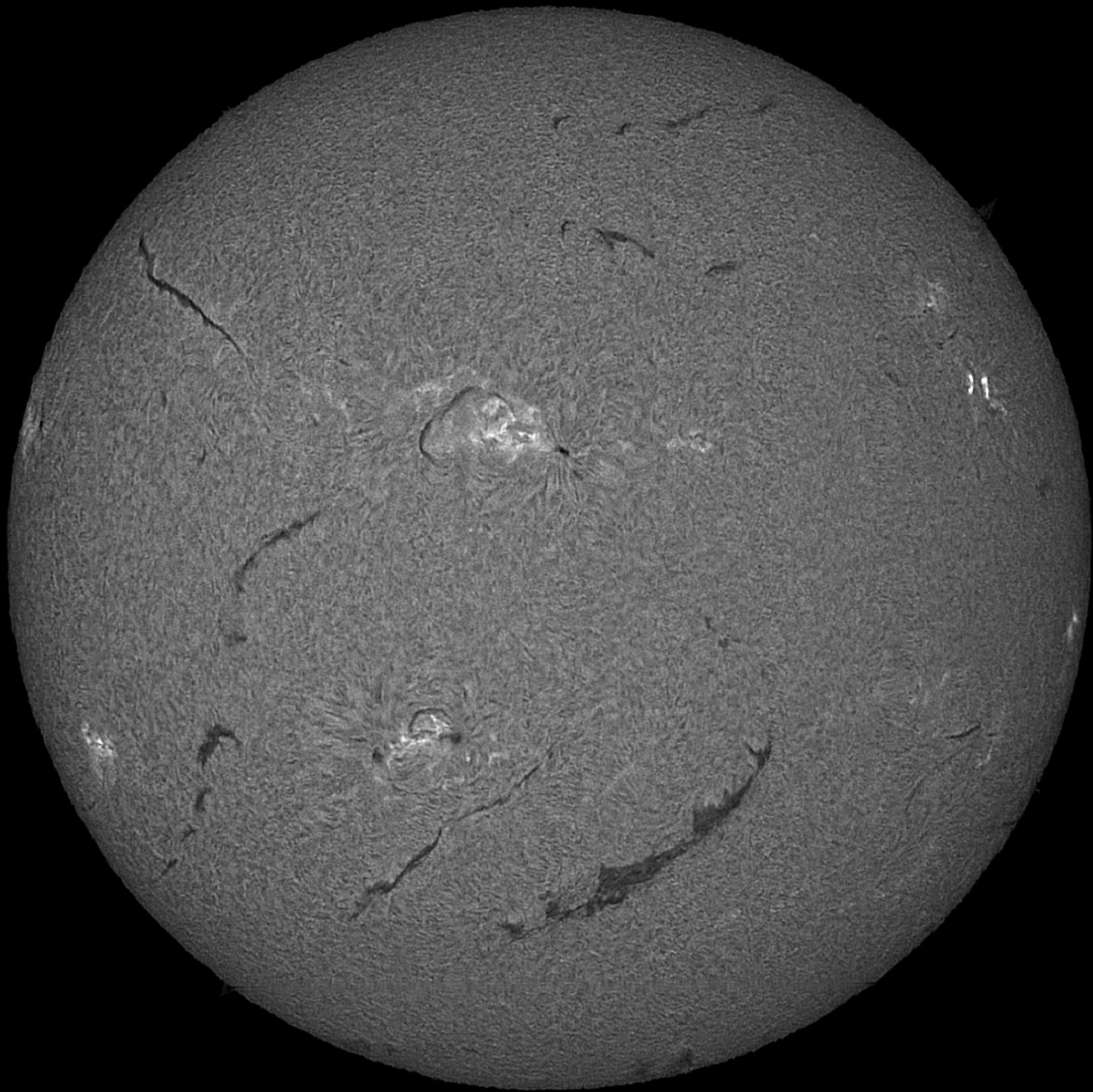


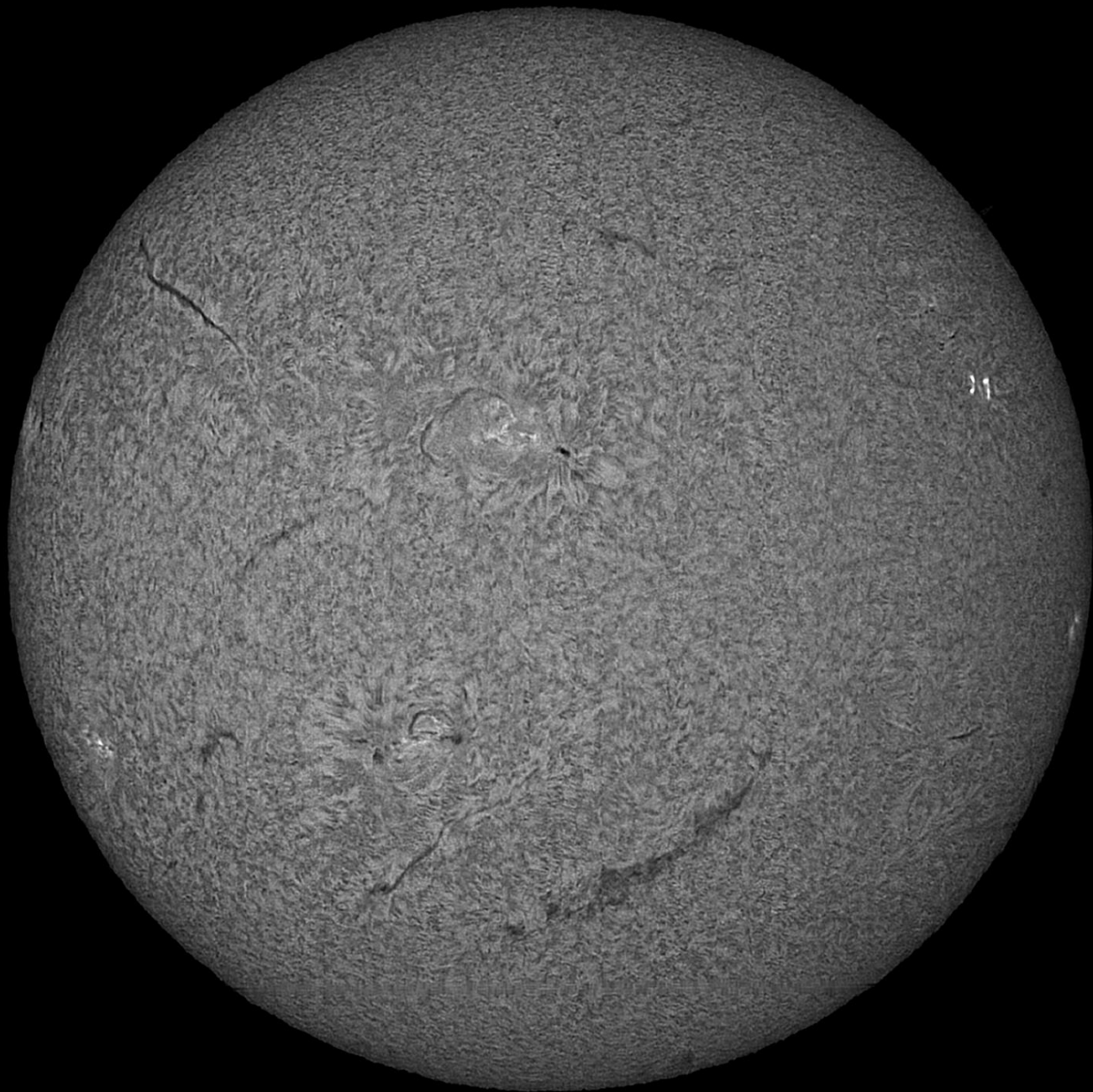


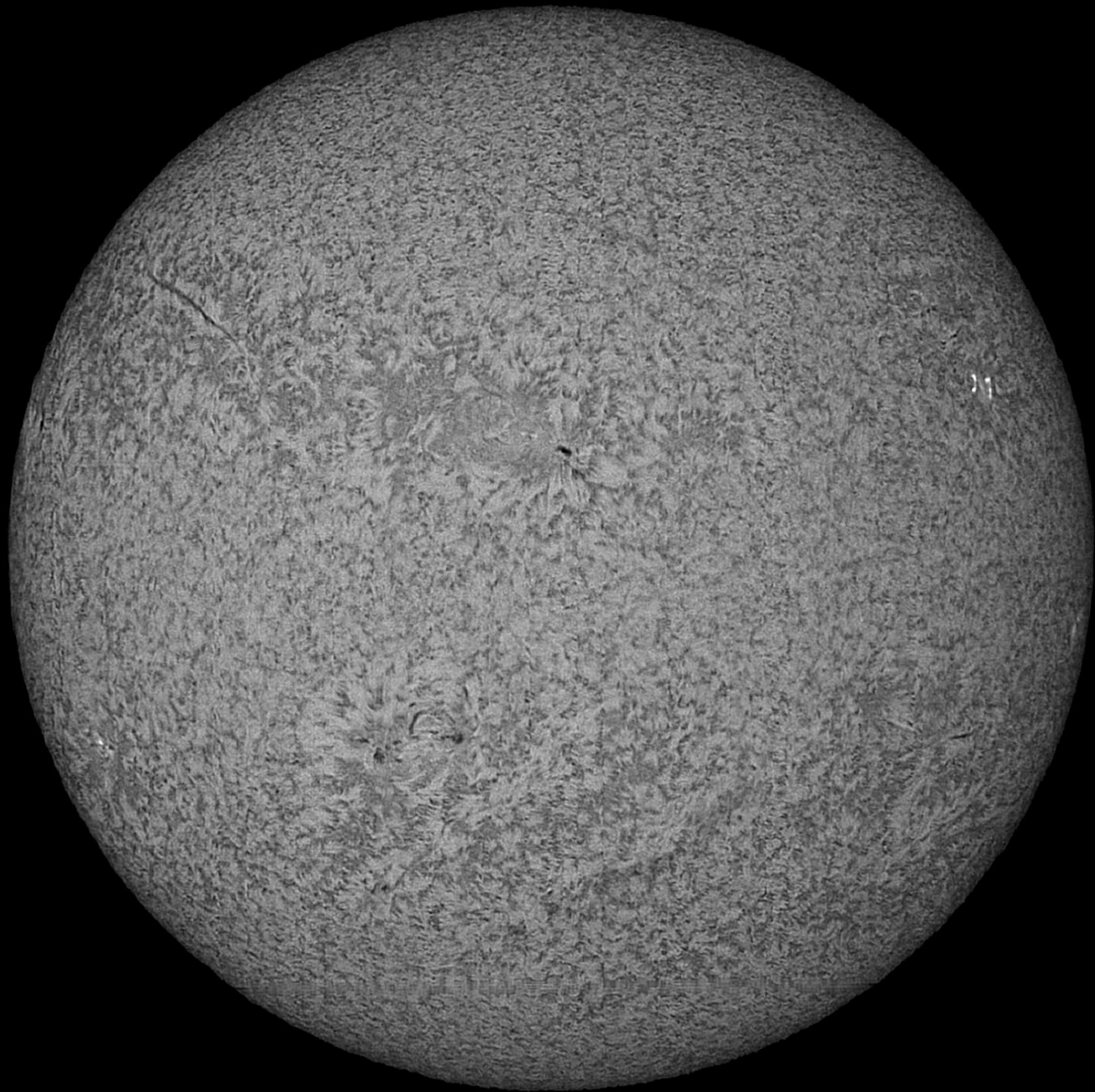


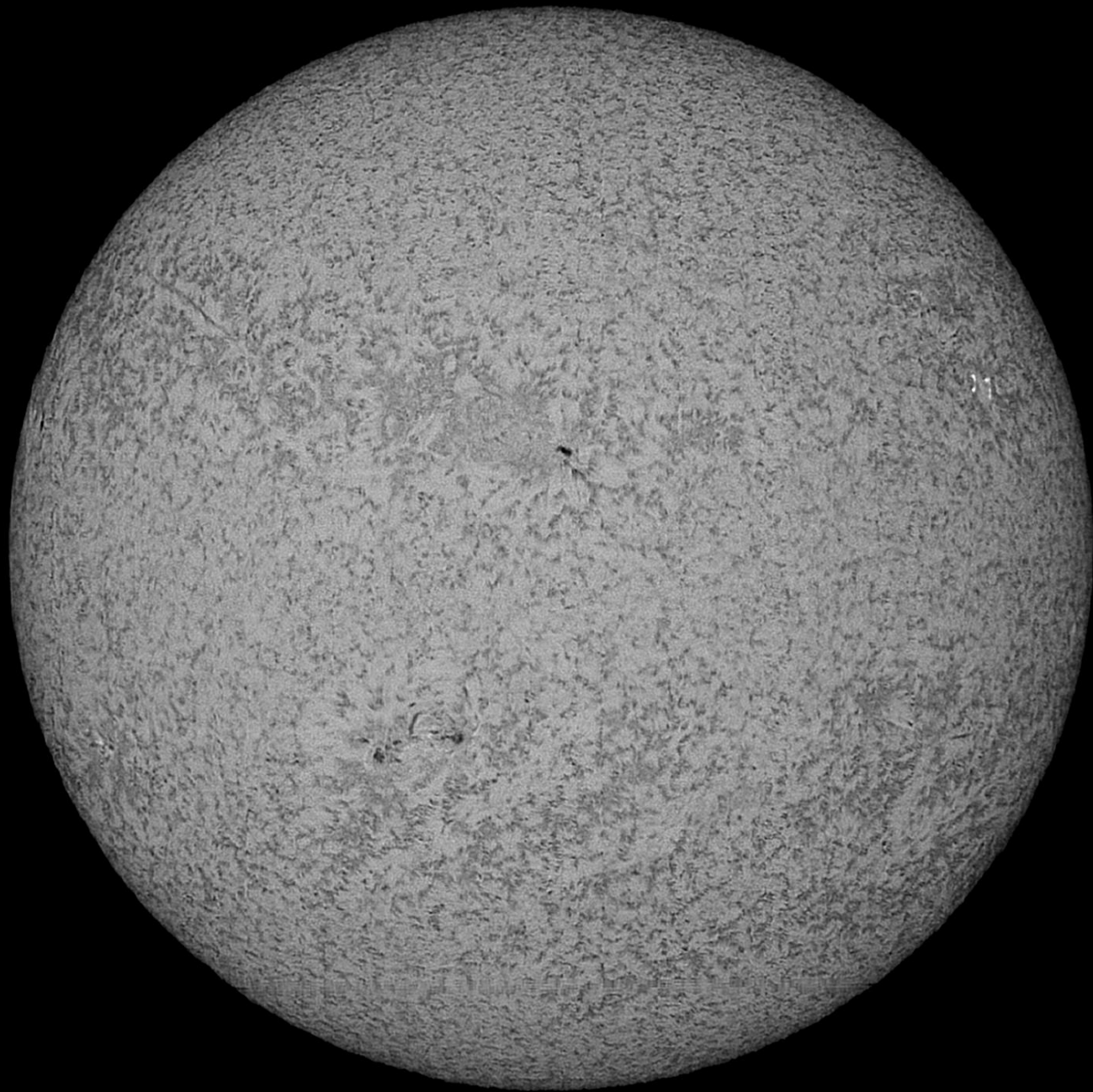
H $\alpha$

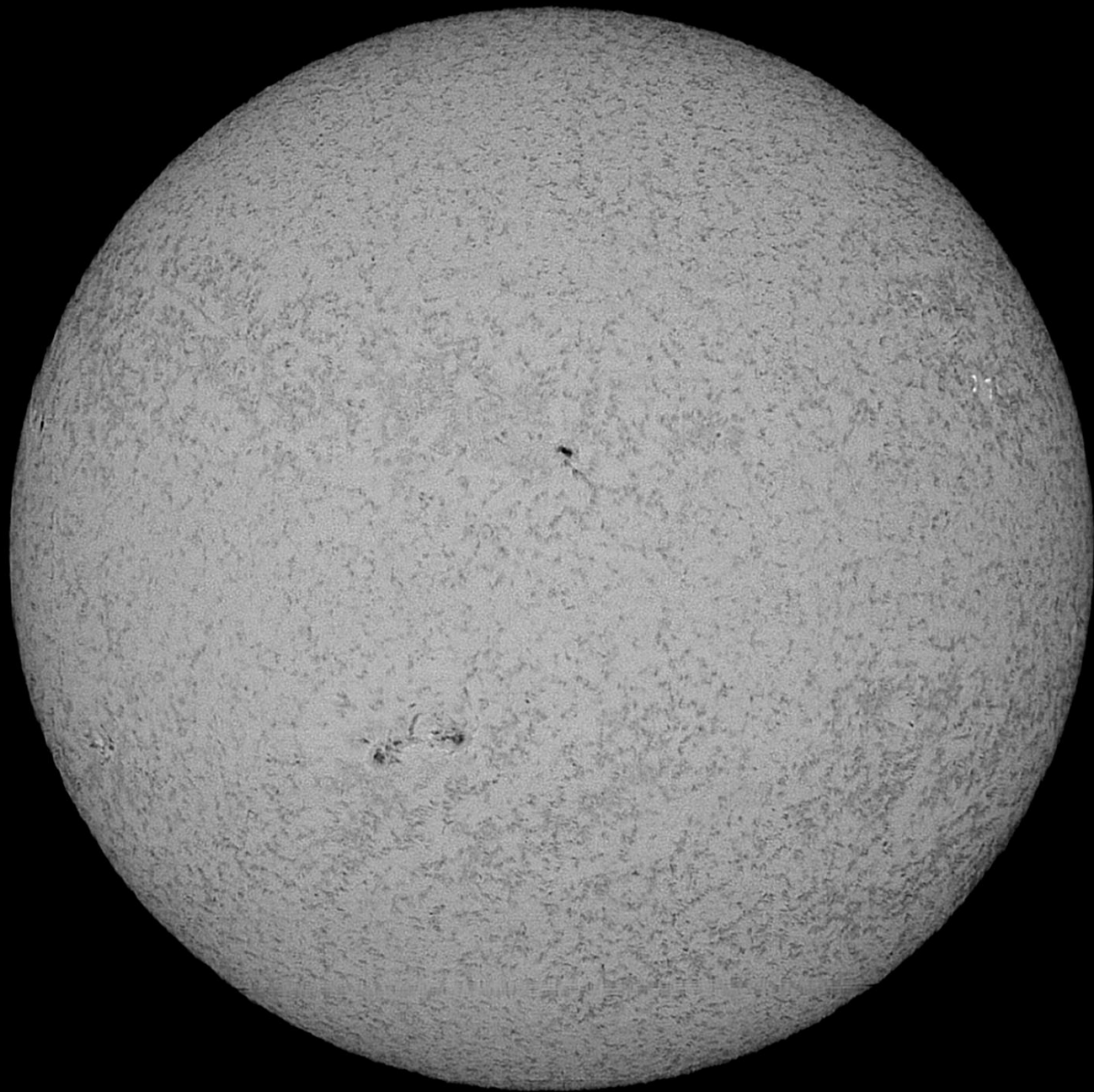


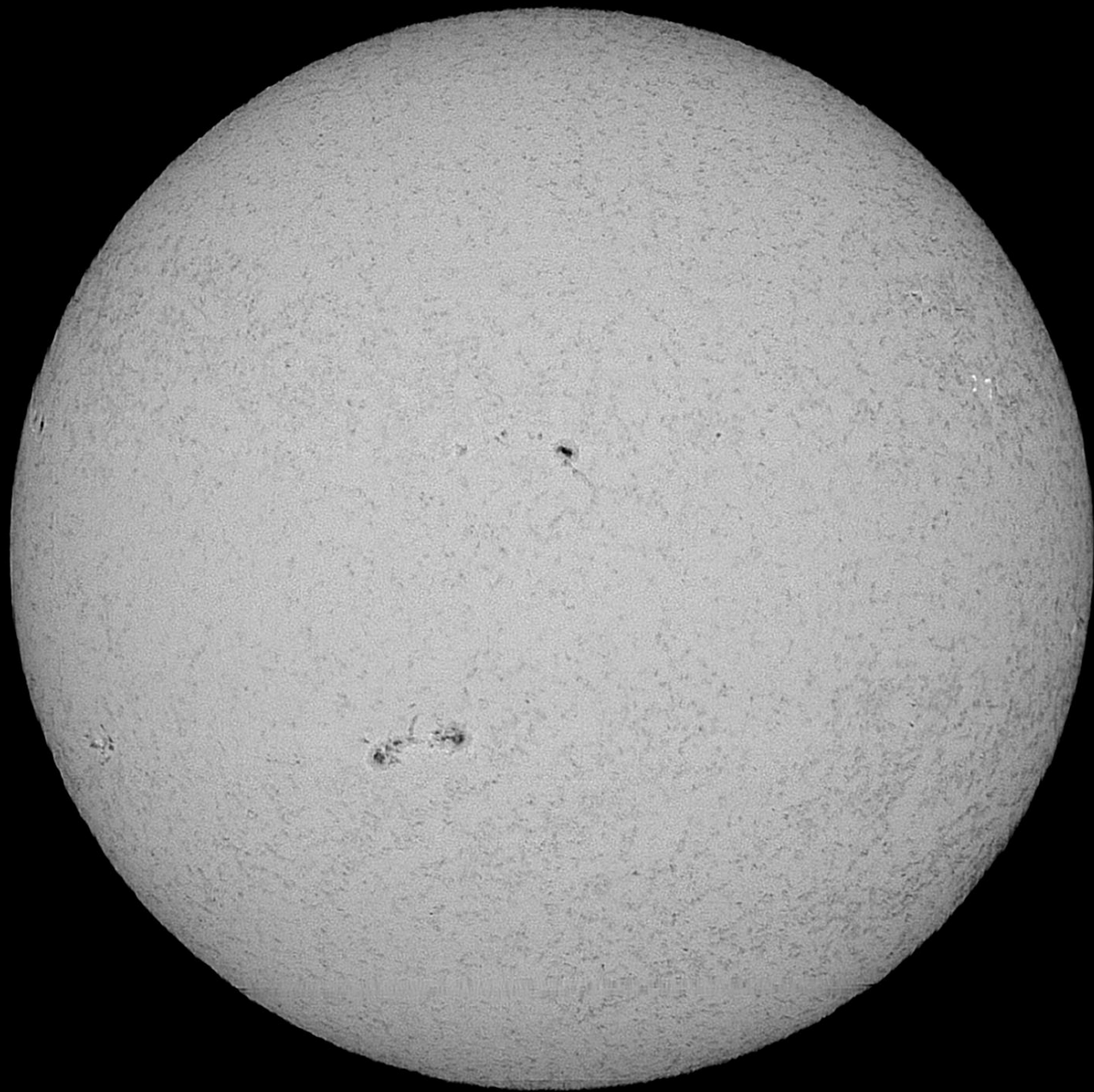




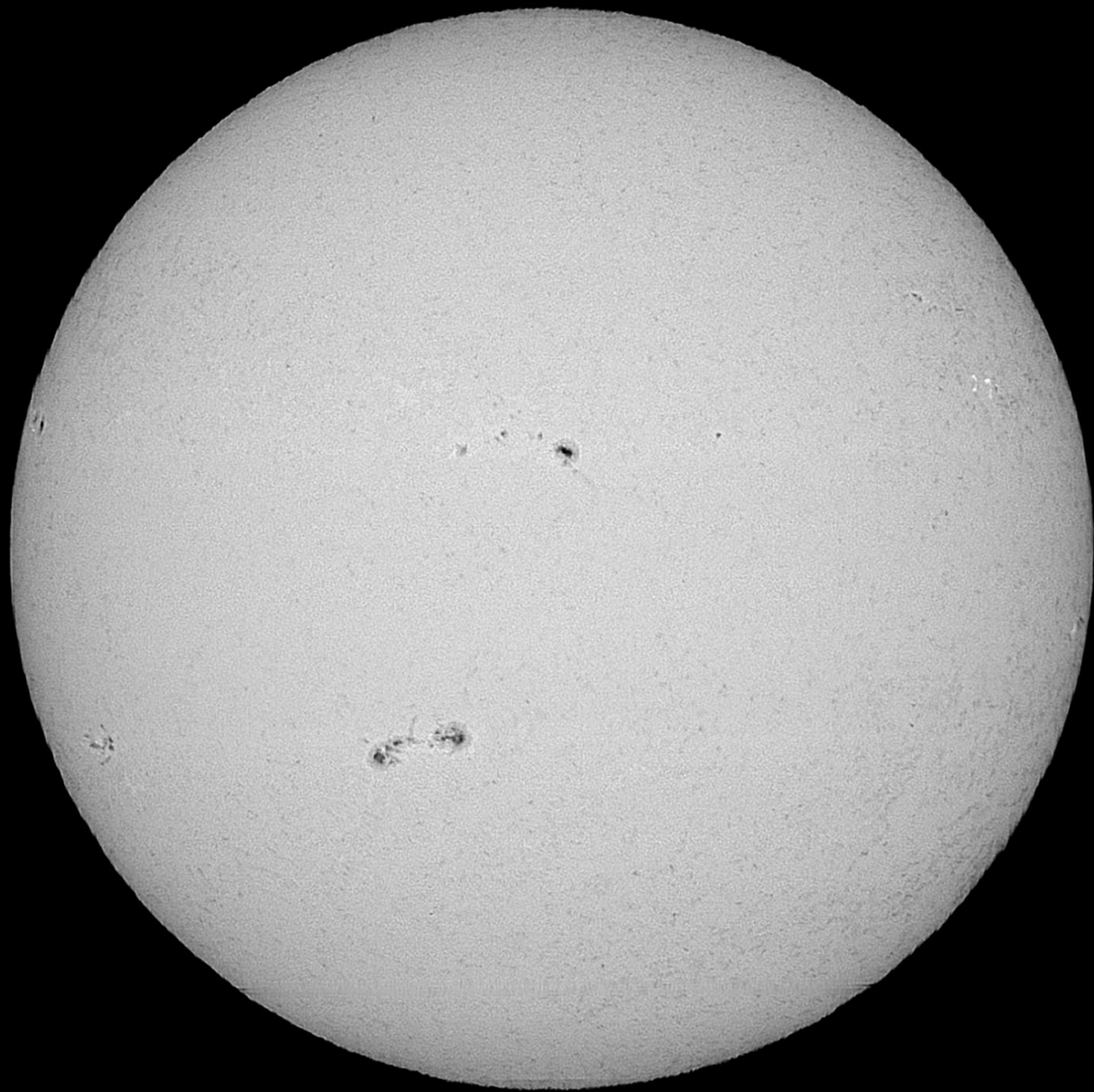


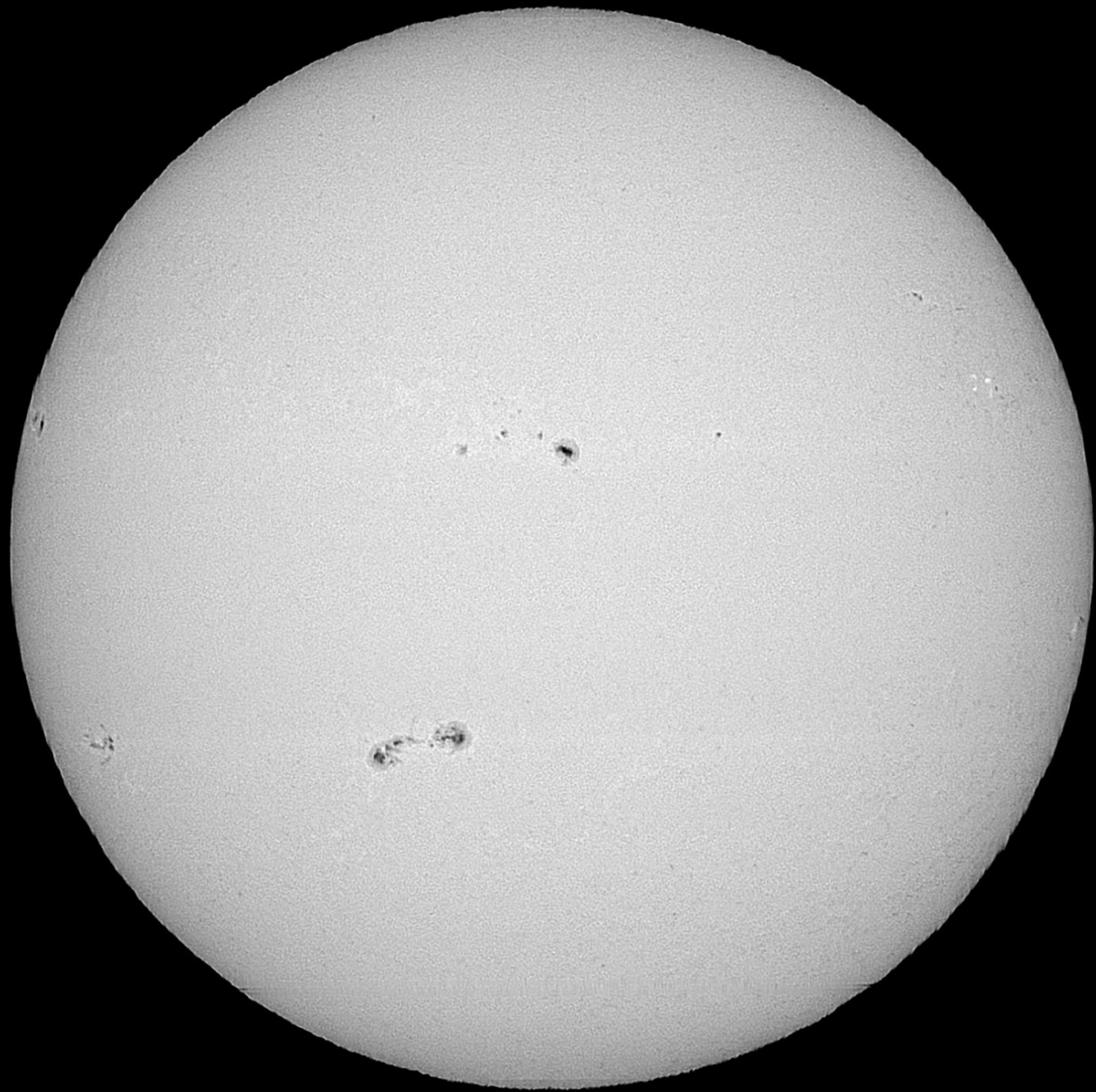


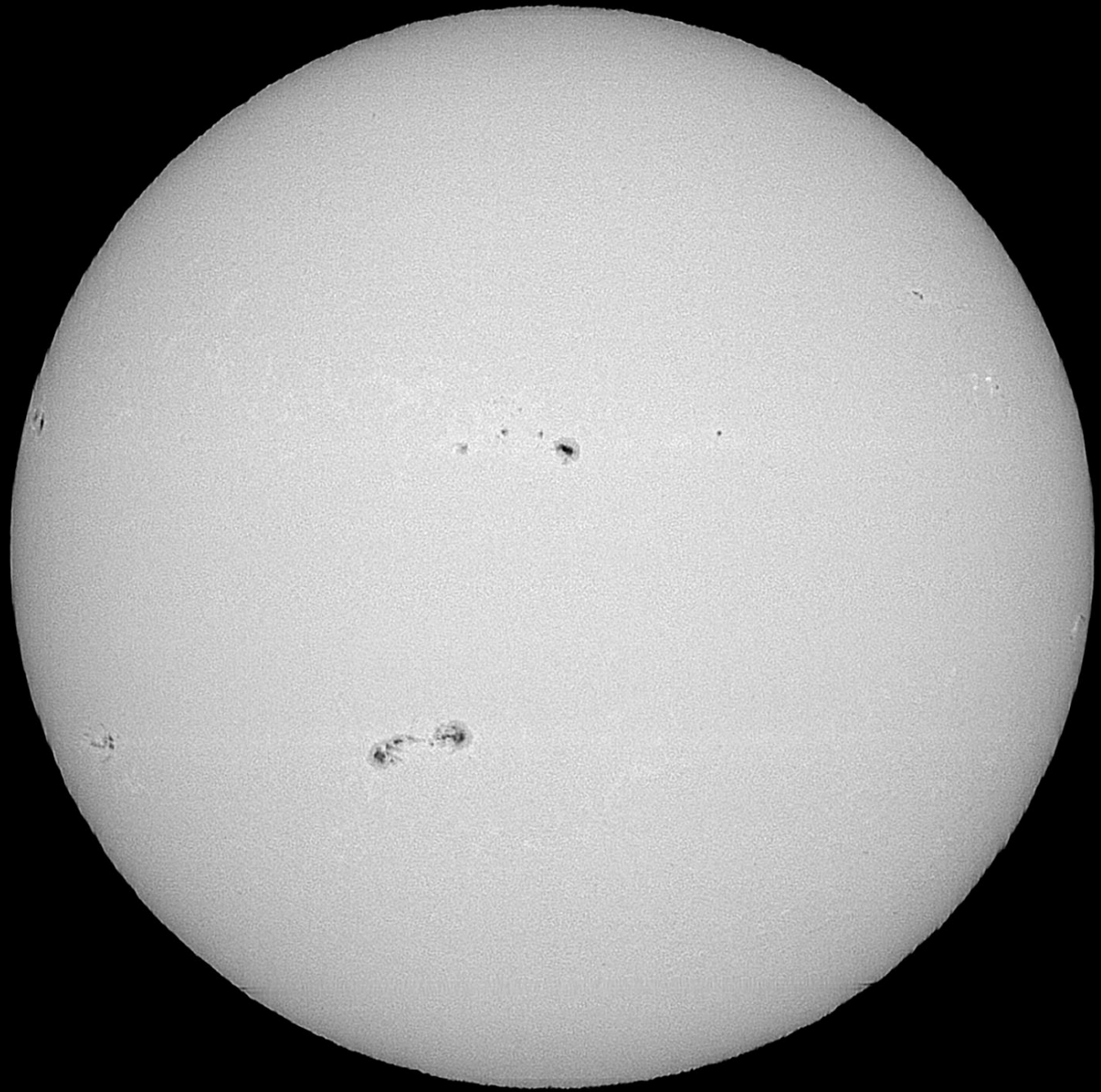












*fin*