

---

# La photographie solaire à haute résolution

Avec les contributions de :

<http://www.sonnen-filter.de>

**Arthur Whipple**  
**Emmanuel Carrère**

...

# Sommaire

---

- Le soleil ... c'est très lumineux ...
- Que faire avec la turbulence ?
- Intérêt des filtres complémentaires
- La prise de vue
- Questions

# Le soleil ...c'est très lumineux

**!!!!!!! ATTENTION AUX YEUX !!!!!!!**

Option 1 : Filtre pleine ouverture devant l'instrument:

- Convient aux lunettes et télescopes.
- Limite le flux entrant : sécurité pour les observations publiques
- Différents niveaux de transmission : 1/1000 (d = 3) – 1/10 000 (d = 4) – 1/ 100 000 (d = 5)
- Filtre verre aluminé : rapidement très cher en grand diamètre si bonne qualité optique.



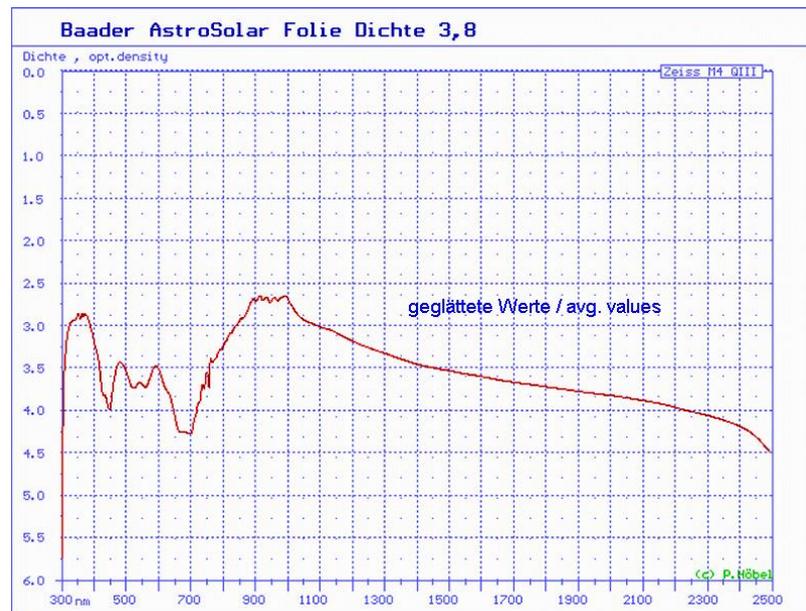
# Le soleil ...c'est très lumineux

Option 1 (suite) : Filtre pleine ouverture devant l'instrument:

→ Feuille Baader Astrosolar : très bonne qualité optique

- $d = 5$  (transmission =  $1/100\ 000$ )
- $d = 3.8$  (transmission =  $1/6300$ ), préférable pour photo.

→ D'une façon générale, pas utile de diaphragmer en dessous de  $D = 250$  mm



# Le soleil ...c'est très lumineux

## Option 2 : Hélioscope :

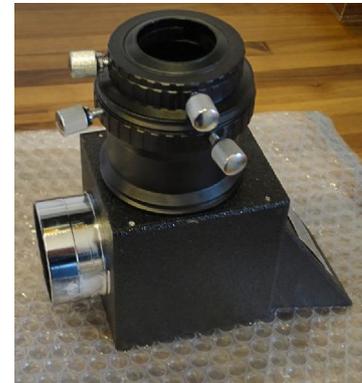
- Renvoi 5% de la lumière vers le capteur (ou l'oculaire).
- Ne convient qu'aux lunettes (risque pour miroir secondaire sur un télescope).
- Filtre complémentaire nécessaire (neutre ou coloré), **en particulier en visuel.**

## Avantages :

- Qualité optique (très faible diffusion de la lumière).
- Permet de conserver un flux lumineux relativement important, donc des temps de pose courts même si utilisation filtre complémentaire à bande étroite (continuum, K line, G, Ca K).

## Inconvénient :

- Avoir un bon suivi afin de garder le soleil bien centré dans le champ (sinon échauffement du tube ...)



# Le soleil ...c'est très lumineux

## Option 3 : Télescope solaire :

→ Miroir primaire non aluminé : pyrex réfléchi environ 5% de la lumière.

## Avantages :

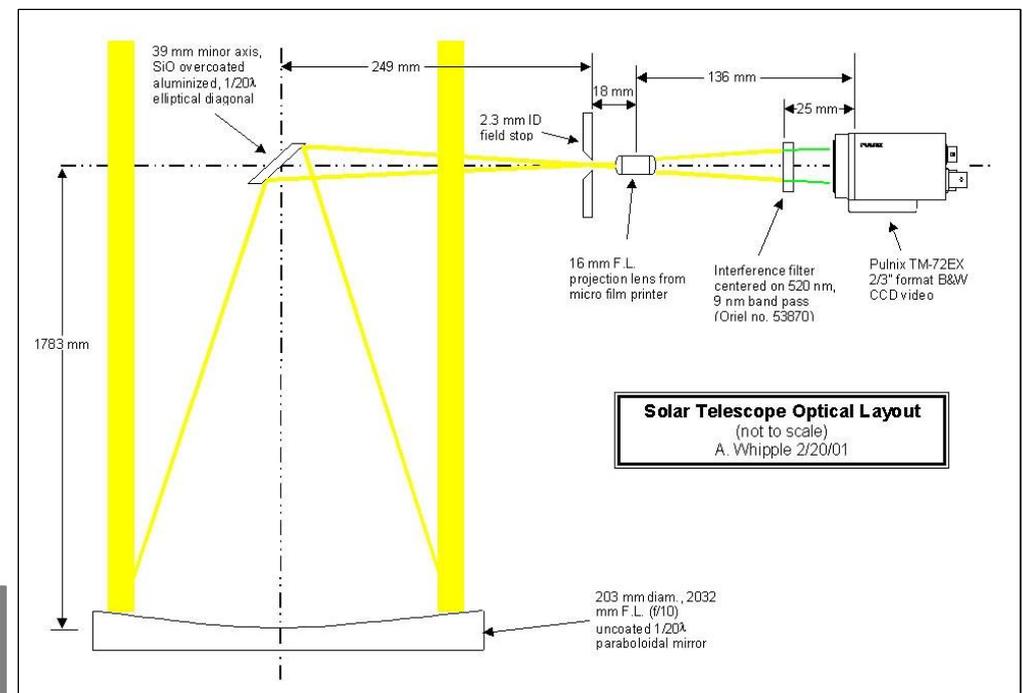
→ Combine avantage hélioscope (qualité optique) et télescope (grand diamètre et absence chromatisme).

## Inconvénient :

→ instrument spécialisé solaire.



200 mm – Arthur L. Whipple



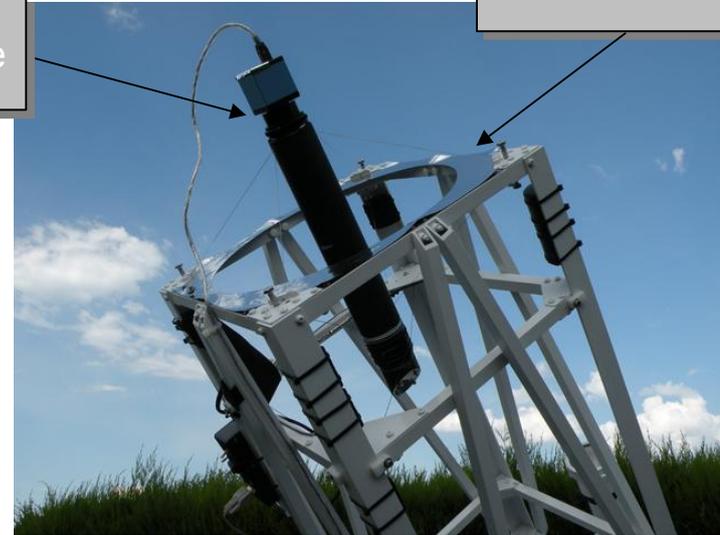
# Le soleil ...c'est très lumineux

Option 3 : Télescope solaire :

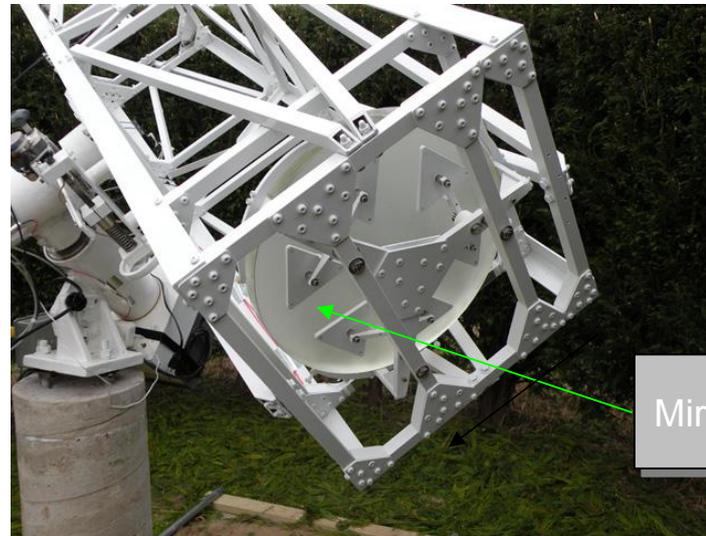


355 mm – Arthur L. Whipple

Caméra sur l'axe optique



Diaphragme en alu poli



Miroir 355 mm non aluminé

# La caméra chauffe aussi ...

→ Radiateur pour limiter l'échauffement de la caméra et réduire signal thermique :



# L'ennemie n° 1 la turbulence ...

Vidéo turbulence n°1 : très bonnes conditions, TOA 150, Skynyx 2.1M, 15 im/s (66 ms entre chaque image).

Les effets de la turbulence:

→ Déplacement en X / Y

- Corrigé par recentrage des images.

→ Distorsion : détails déformés mais nets.

- Correction de la distorsion = recentrage multipoints (choix du nombre de points)

→ Flou : le champ n'est jamais uniformément net

- Il faut sélectionner les meilleurs morceaux de chaque image = décomposition des images en polygones dans Avistack et en damier dans Registax (choix de la taille des cellules de qualité)



Meilleure image de la série de 600 images



Image de rang 30 sur la même série de 600 images

Recentrage multi-points /correction distorsion

Quality analysis

Parameters

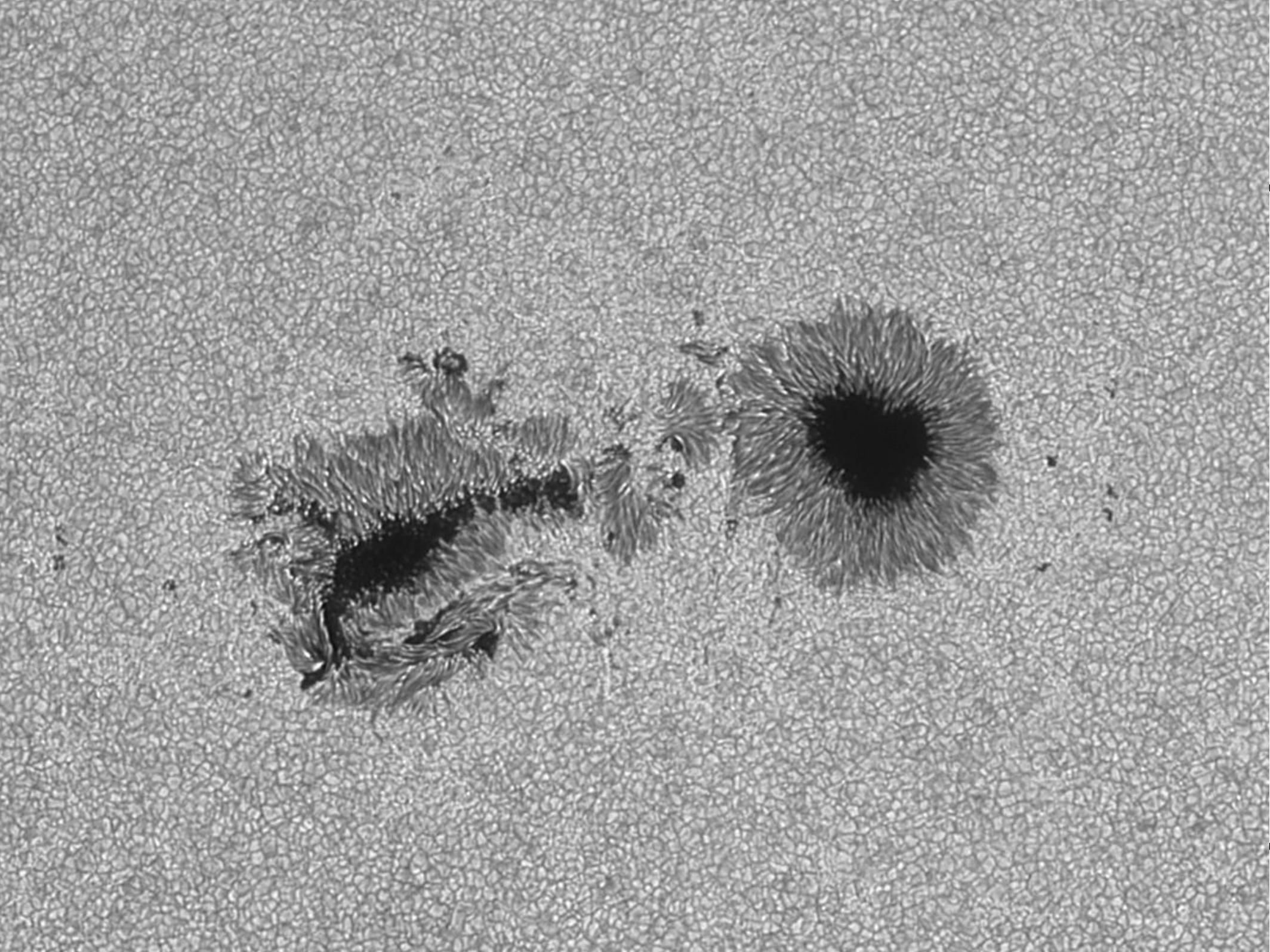
OK Cancel

Standard quality analysis

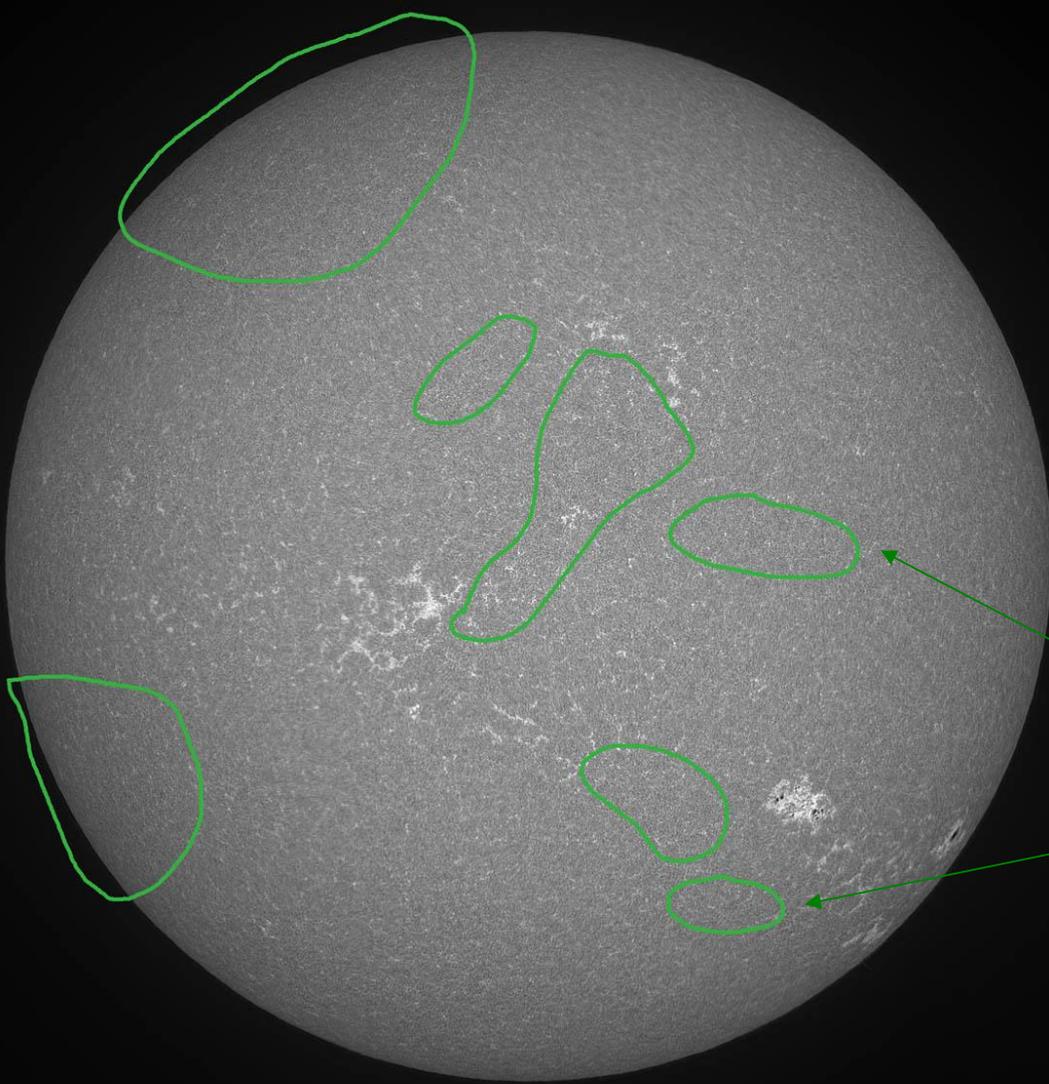
Noise reduction 1

Quality area size 127

Découpage de chaque image en "cellules" polygonales



# Disque solaire en Ca K: même problème



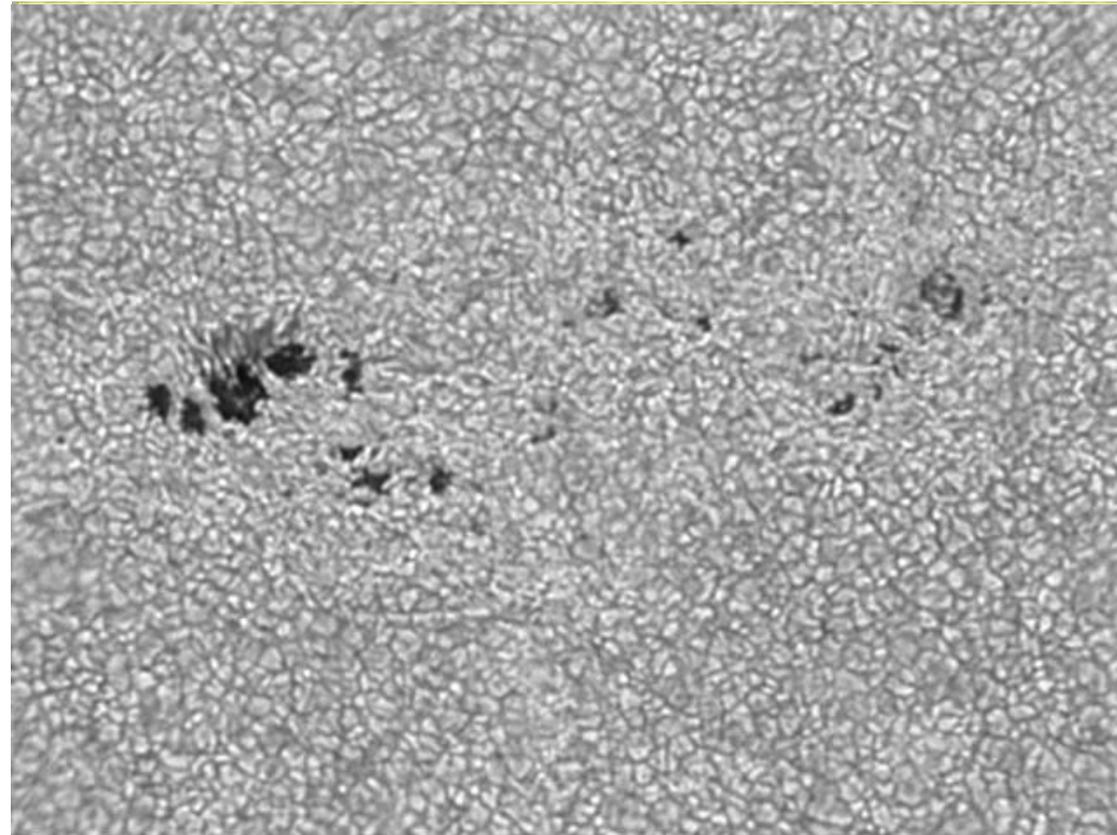
- Takahashi TOA150, STL11000, pose 5 ms, 1 arcsec/pixel.
- Le disque n'est jamais net dans son ensemble. En général, il y a plus de zones floues que nettes .....
- Intérêt d'avoir un logiciel de traitement qui sélectionne automatiquement les meilleurs "morceaux".

**Zones nettes**

# L'ennemie n° 1 la turbulence ...

Vidéo turbulence n°2 : conditions médiocres, TOA 150, Basler 640, 120 im/s (8 ms entre chaque image)

- Tri de 20 "meilleures images" sur 3600
- Intérêt de poser court pour geler la turbulence  
(ici temps de cohérence < 8 ms)
- Intérêt d'avoir une caméra à cadence rapide  
(nombre d'images par s).



N AR1247 - 9 July 2011 - Takahashi TOA 150 - scale = 0.17 arcsec  
E W K-line filter - 396 nm FWHM = 10 nm  
S Basler 640 - gain = 100 - 20 x 0.43 ms exposure  
Christian Viladrich

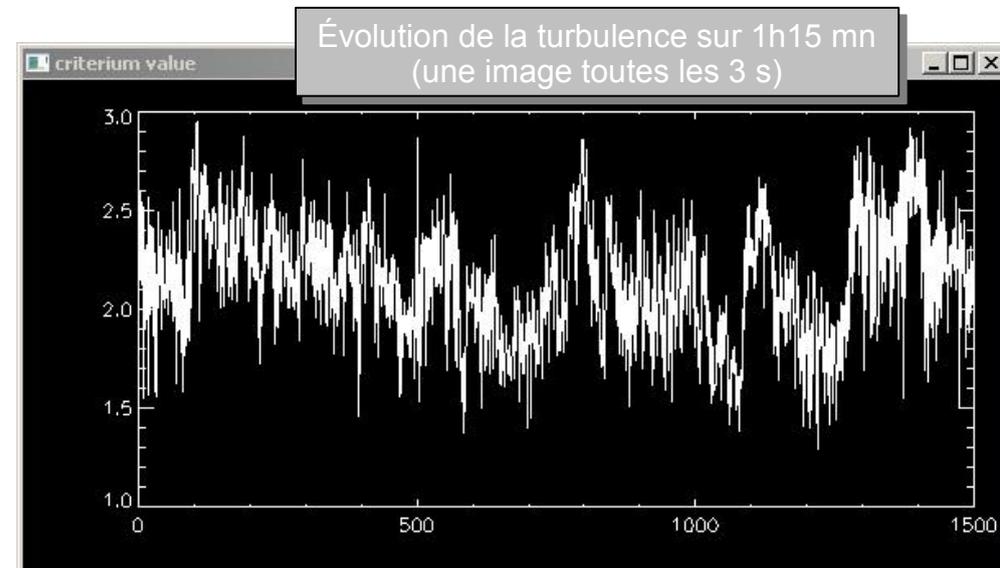
# L'ennemie n° 1 la turbulence ...

## Quoi faire :

- Prendre un maximum d'images pour augmenter la probabilité d'obtenir de bonnes images durant la période d'acquisition.
- Utiliser une caméra la plus rapide possible (en terme de nombre images/s)
- Utiliser le temps de pose le plus court possible pour geler la turbu (demande suffisamment de flux lumineux):
  - Proche UV (filtre K-line) : 1 ms
  - Rouge (filtre Ha) : difficile de descendre en dessous de 10 ms
- Moins de turbulence dans le rouge que dans le bleu, mais moins de résolution ...
- Adapter la couleur du filtre au niveau de turbulence : travailler dans le rouge (ex : filtre Ha ciel profond), le vert (continuum ou OIII) ou le bleu (K-line).
- Travailler avec un filtre à bande étroite (10 nm).

# Turbulence ... quand observer ?

- En général, les meilleures images sont obtenues le matin (soleil  $> 30^\circ$ ) jusqu'à 1 ou 2 h après le méridien : le sol n'a pas encore échauffé les bases couches de l'atmosphère. Mais cela dépend largement du site et de son environnement.
- Un peu de vent peut s'avérer favorable.
- En montagne : la turbulence fluctue très rapidement.
- Il faut surveiller l'évolution du seeing en permanence.



- A quand un logiciel qui lance automatiquement les acquisitions quand la qualité des images est bonne ?
- Ou bien pilotage de l'acquisition par un seeing monitor solaire ?

# Turbulence locale : où observer ?



Dutch Open Telescope – La Palma



Swedish 1 m solar Telescope – La Palma

Big Bear - USA



Lunette 150 mm – Alpes

# Turbulence : quel diamètre ?

---

- Pendant longtemps, on nous a dit que le diamètre optimal pour le solaire était de 100 mm (une lunette).
- Qu'en est-il 2012 ?

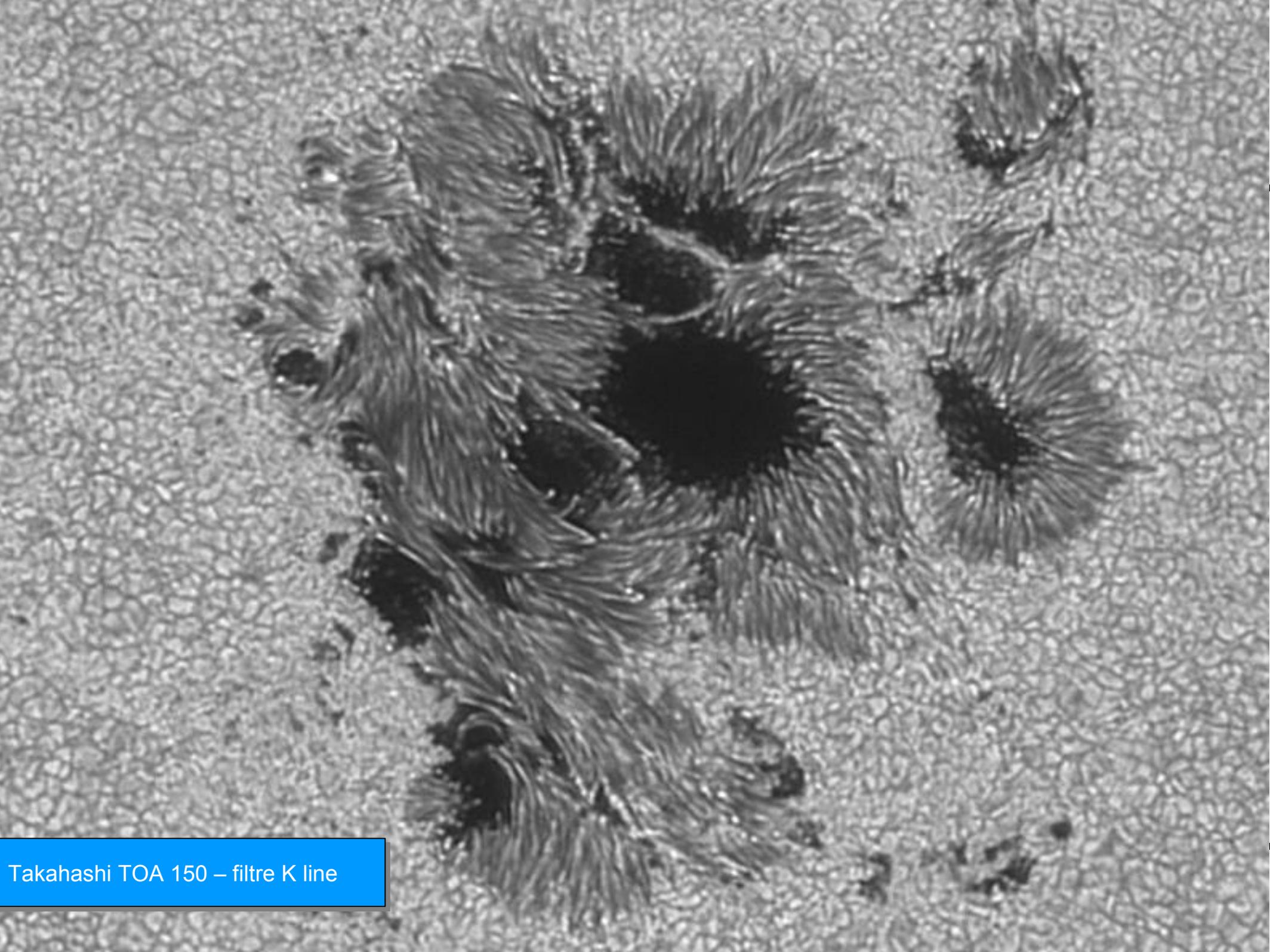
Takahashi FSQ 106 mm – Filtre continuum

20 June 2008 - 13h15mnUT - NOAA 10999 - Baader Hershel + Continuum filter 540 nm FWHM 8nm - Takahashi FSQ 106N  
Skynyx 2.1 M - exposure time = 2.8 ms - gain = 1.8 - 15 fps - 40 staked images - North up - East left  
Christian Viladrich

Takahashi TOA 150 – filtre continuum

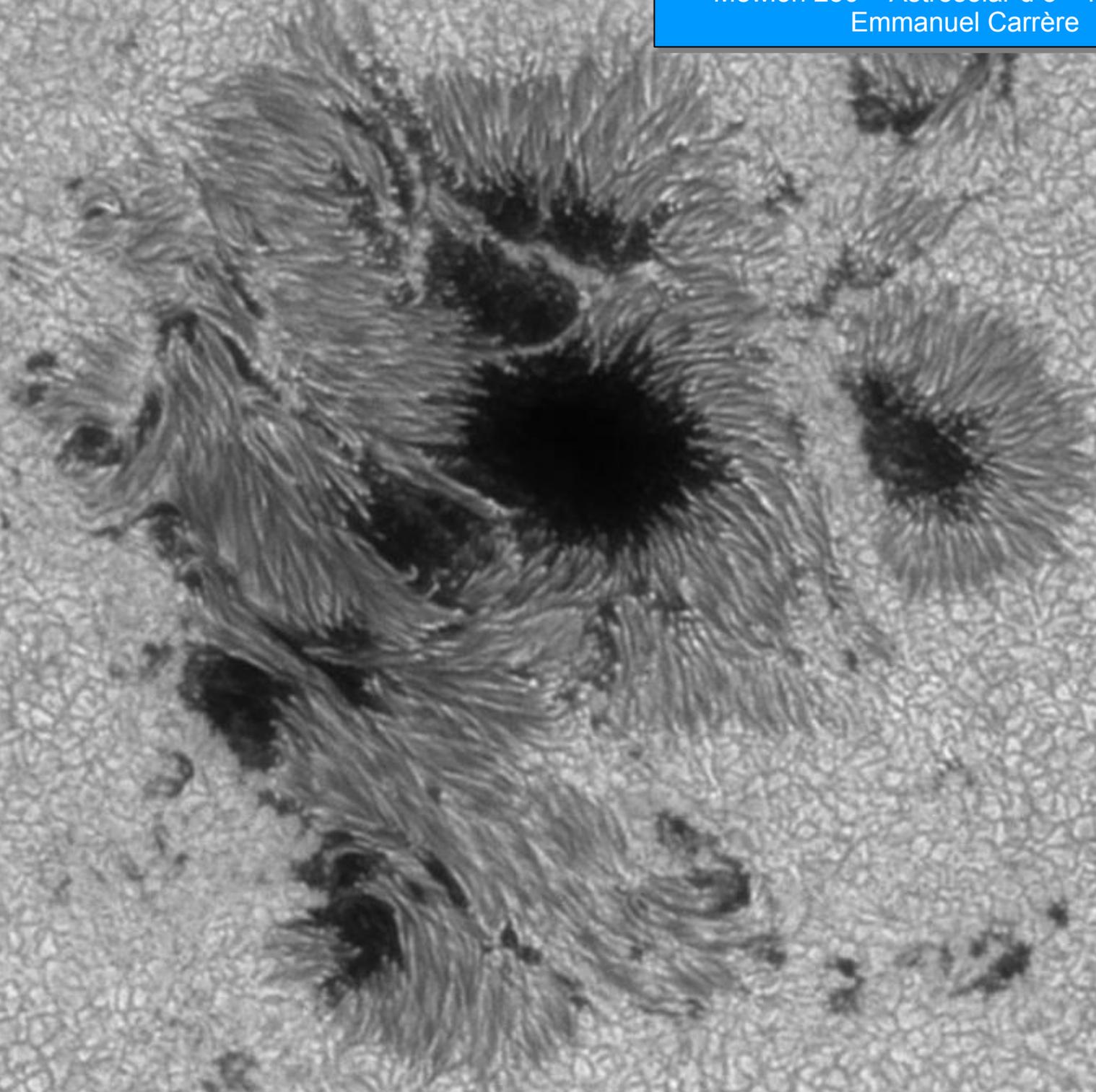
1 August 2009 - 12h20mn UT - Takahashi TOA 150 - Baader FFC + helioscope + 540 nm (FWHM 10nm) filter + L Astronomik filter  
Approximate scale : 0.15 arcsec/pixel - Skynyx 2.1 M - 60 x 1.82 ms exposure - gain = 1 - 8 bits acquisition

Christian Viladrich

A scanning electron micrograph (SEM) showing a dense, fibrous structure of a Takahashi TOA 150 filter. The filter consists of numerous fine, parallel fibers arranged in a circular, radial pattern. The fibers are dark and appear to be made of a synthetic material. The background is a light, textured surface, likely the filter's support material. The overall appearance is that of a highly porous, fibrous membrane.

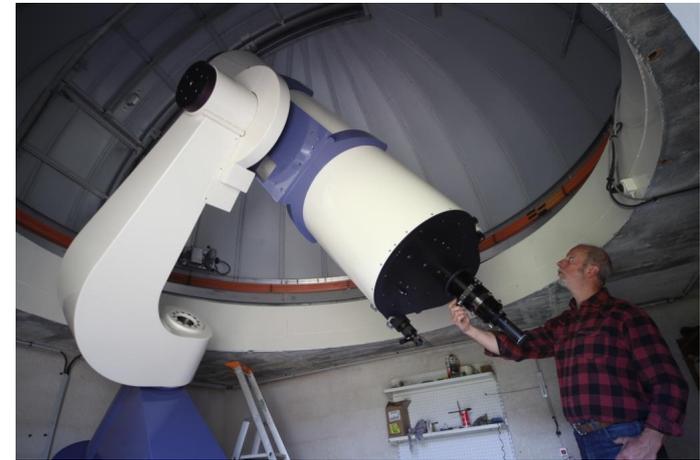
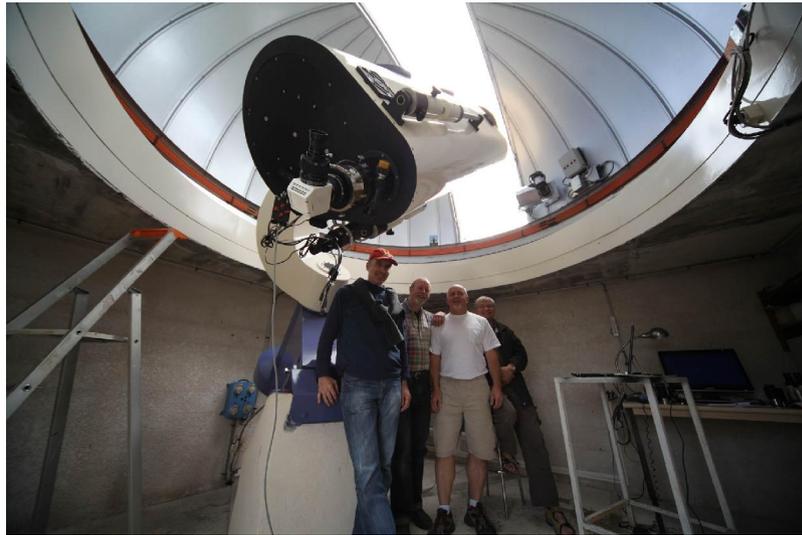
Takahashi TOA 150 – filtre K line

Mewlon 250 – Astrosolar d 5 – filtre rouge  
Emmanuel Carrère



# Jusqu'à quel diamètre ?

Lunette Schaer 435 mm F/15 de Puimichel : S. Deconihout (mécanique) – D. Cardoen (optique)



=> Diaphragme 350 mm + hélioscope conçu sur mesure

# Turbulence ... lunette ou télescope?

## Lunette ou télescope ?

→ Lunette : la lumière ne fait qu'un aller simple dans le tube.

→ Télescope : Newton : 1 aller / retour, Cassegrain : 1.5 aller/retour.

→ Mais pas forcément très gênant : pour un niveau de remous à l'intérieur du tube, la turbulence interne va dépendre en partie de la longueur parcourue par la lumière :

- lunette 200 F/15 : 3 m
- Celestron 8 F/10 : 3 x 40 cm = 1.2 m.

→ Avantage lunette : stabilité de la collimation, pas d'obstruction centrale, champ net plus large.

→ Avantage télescope : plus grand diamètre pour prix plus faible. Performance dans le bleu si optique à uniquement miroirs.

## Couleur de l'instrument :

→ Blanc. Surtout pas noir.

# Les filtres complémentaires : quelle couleur ?

Résolution augmente de 64 %  
quand on passe du rouge (Ha) au proche UV (K line – 396 nm)

Résolution  
théorique  
instrument

Turbulence

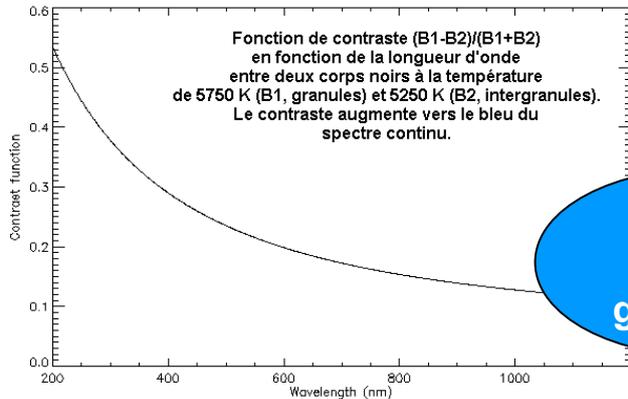
Augmente de 80%  
quand on passe du rouge (Ha) au proche UV  
( 396nm)

Qualité  
optique

Design optique en général optimisé pour le vert  
(lunettes, SC)

Contraste  
de la  
granulation

Fonction de contraste  $(B1-B2)/(B1+B2)$   
en fonction de la longueur d'onde  
entre deux corps noirs à la température  
de 5750 K (B1, granules) et 5250 K (B2, intergranules).  
Le contraste augmente vers le bleu du  
spectre continu.

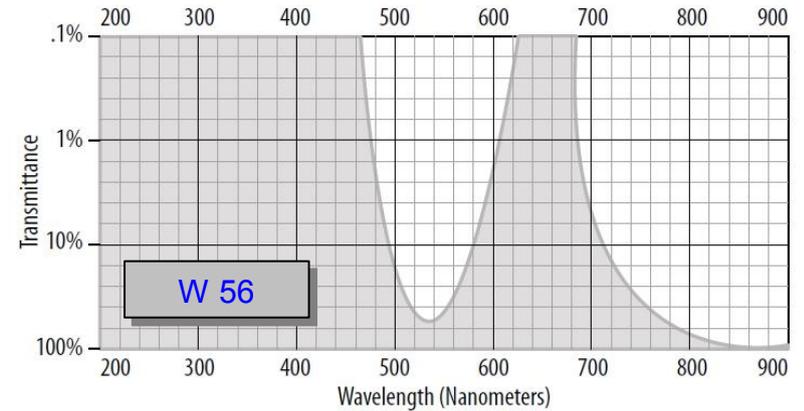


Contraste augmente de 35%  
quand on passe du rouge au bleu

# Filtres complémentaires : lesquels ?

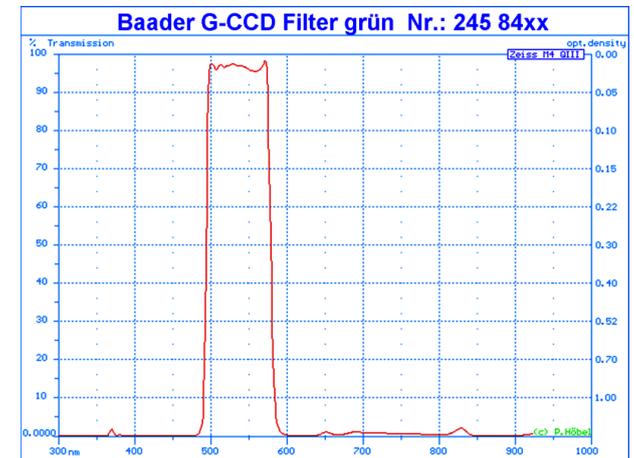
→ Filtre Wratten :

- Fuite dans l'IR => ajout filtre anti-IR
- Transmission assez faible.



→ Filtre RVB photo

- Bande passante carrée (FWHM = 100 nm environ)
- Bonne transmission (> 90 %)
- Pas de fuite dans l'IR (en général)

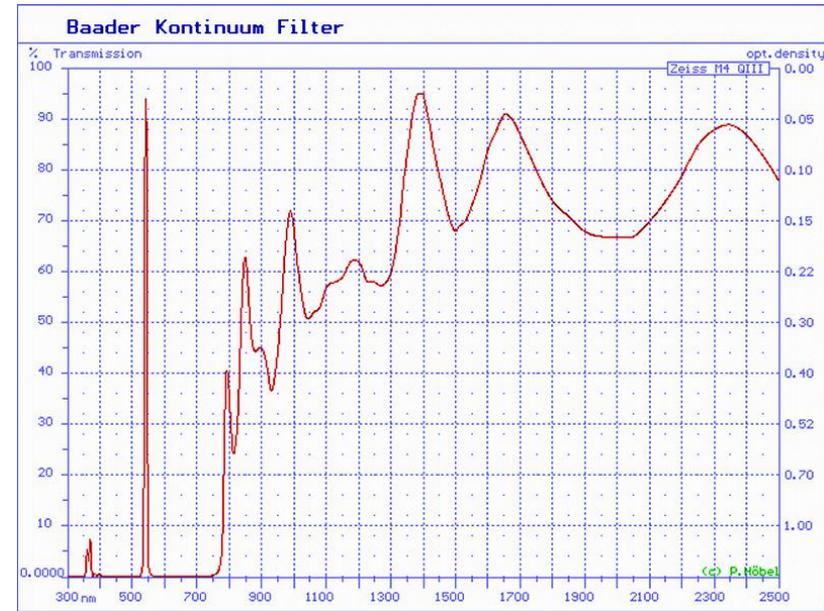
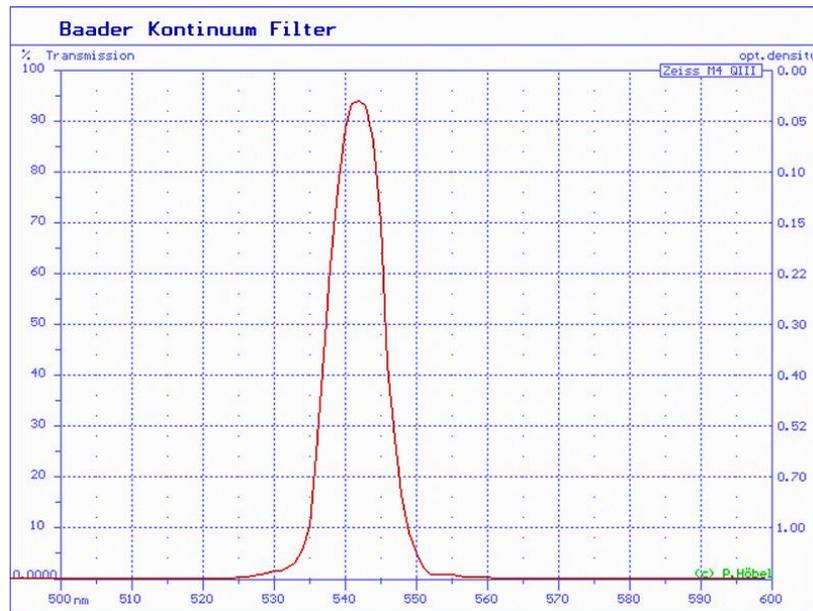


# Filtres complémentaires : lesquels ?

→ Filtres à bandes étroites : réduction (légère) de la turbulence et de la dispersion atmosphérique.

→ Baader continuum (vert) :

- 540 nm – FWHM = 10 nm
- Fuite dans l'IR => ajout filtre anti-IR
- Bon contraste granulation, taches et facules.



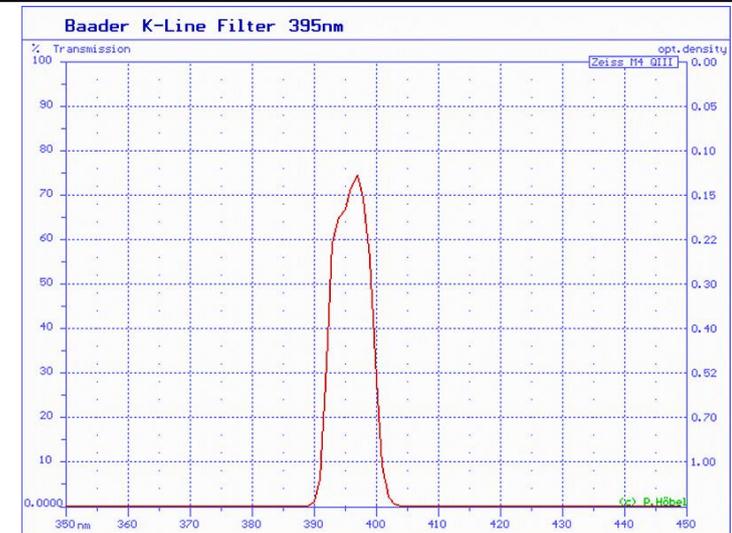
# Le filtre K-line

→ Baader K-line :

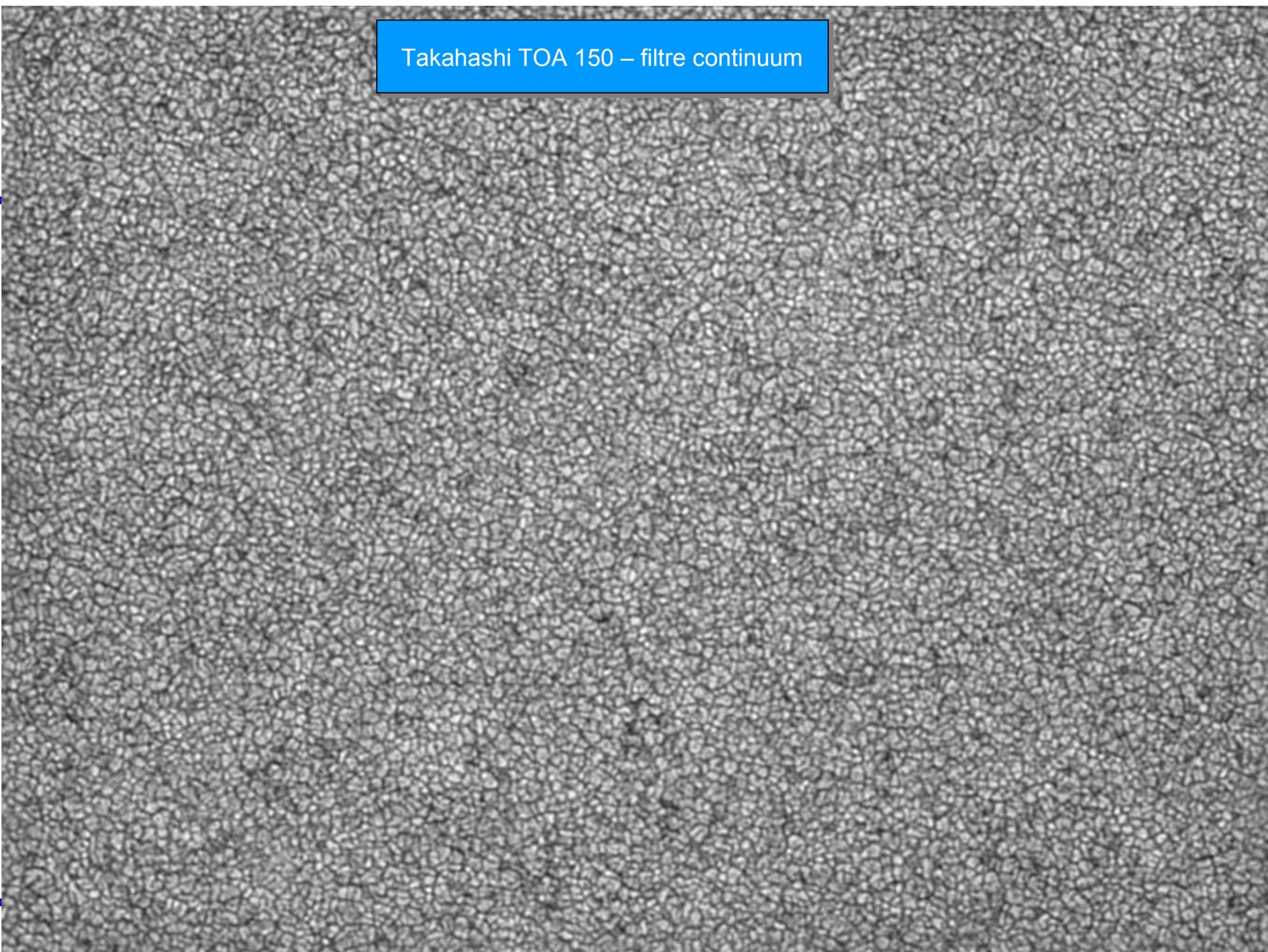
- Ce n'est pas un filtre Ca K
- Proche UV : 396 nm - FWHM 10 nm
- Très bon blocage de l'IR
- Fort contraste sur la granulation (trop sur les taches?)

→ Difficultés de mise en œuvre du K-line :

- Très peu de lunettes sont bonnes dans l'UV
- Les SC souffrent de sphérochromatisme dans l'UV
- Effet transparence de l'atmosphère assez marqué.
- Turbulence 45% plus forte que dans continuum.
- Capteurs 50% moins sensible dans UV que dans vert.



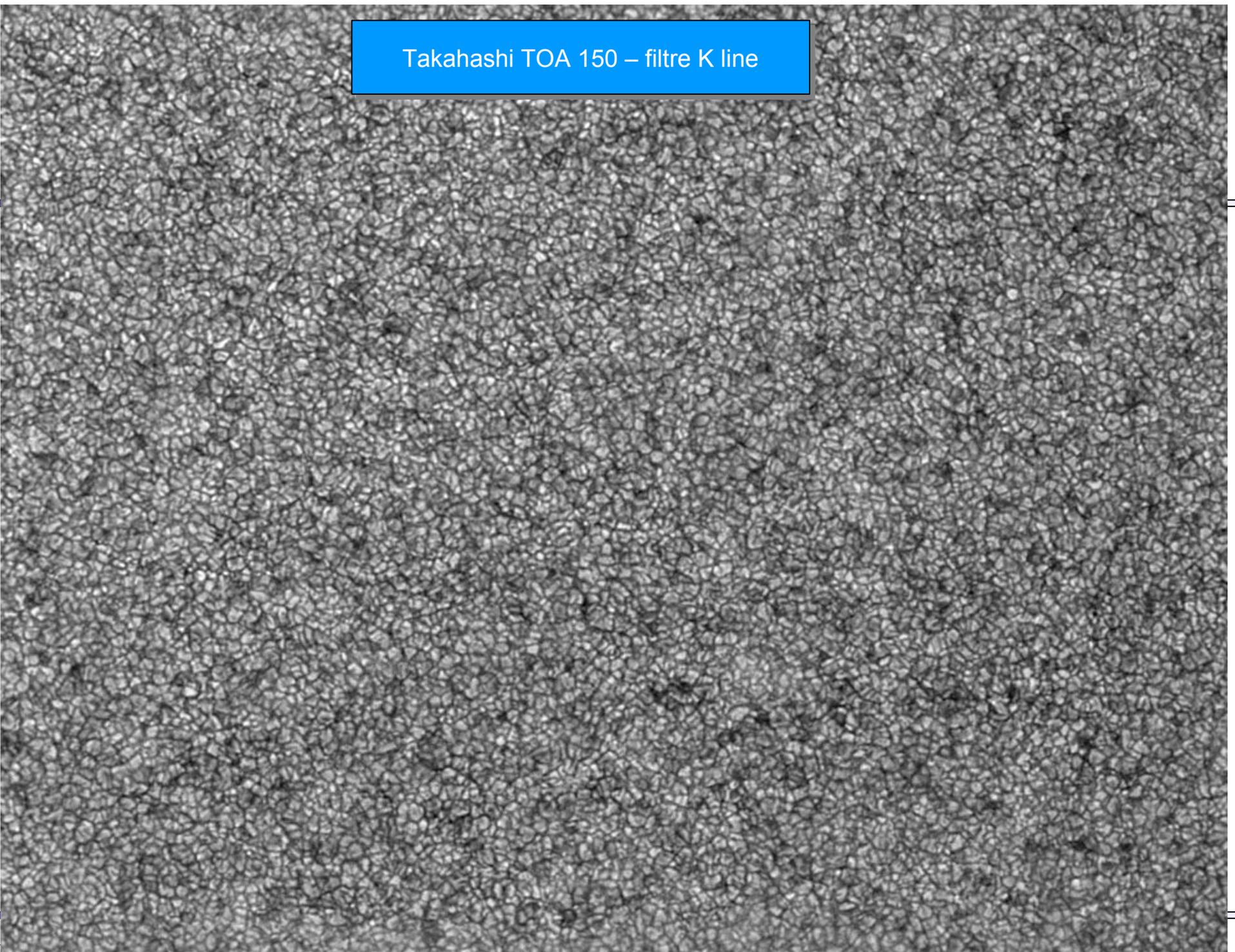
Takahashi TOA 150 – filtre continuum



1 August 2009 - 12h20mn UT - Takahashi TOA 150 - Baader FFC + helioscope + 540 nm (FWHM 10nm) filter + L Astronomik filter  
Approximate scale : 0.15 arcsec/pixel - Skynyx 2.1 M - 60 x 1.82 ms exposure - gain = 1 - 8 bits acquisition

Christian Viladrich

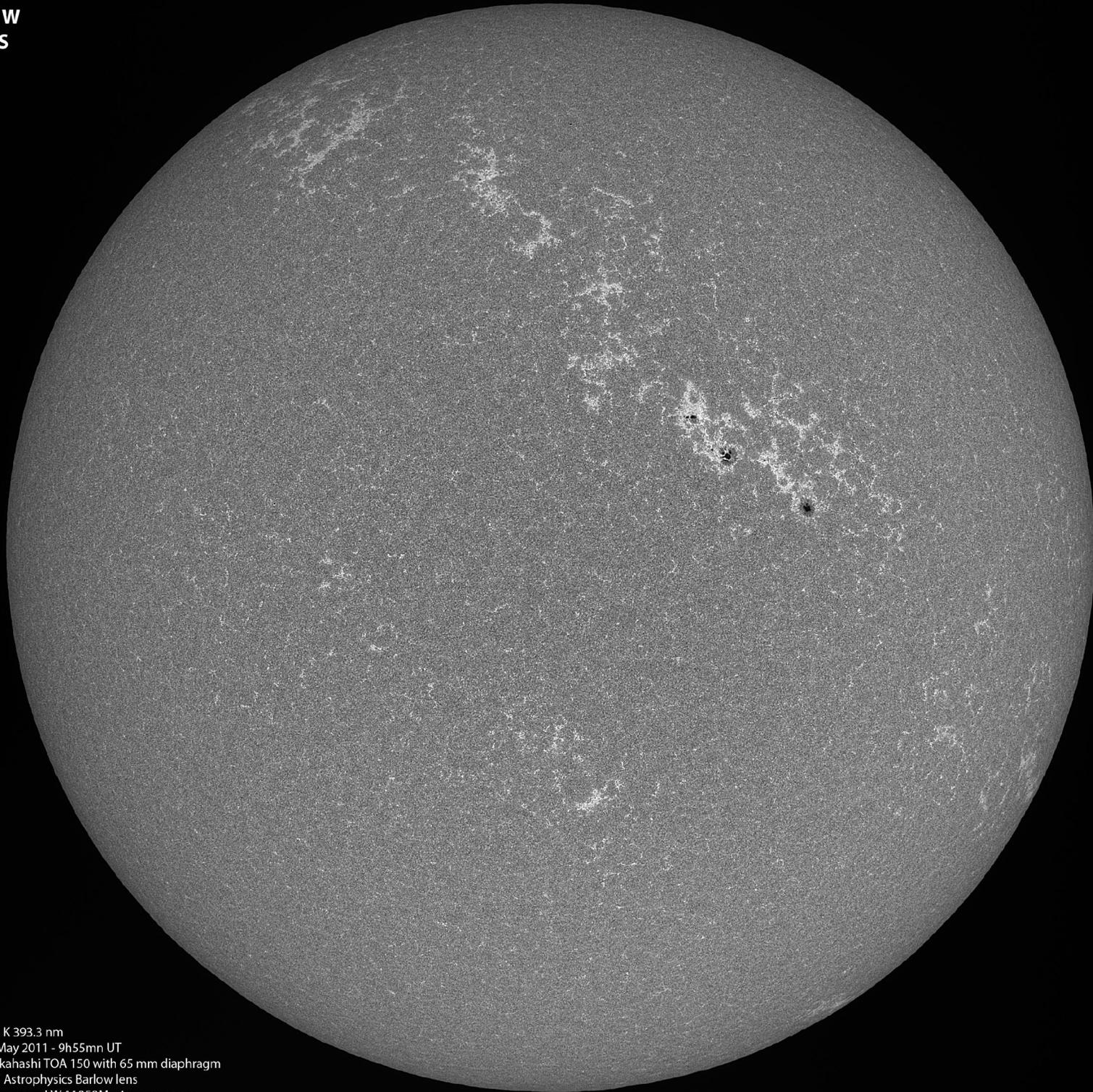
Takahashi TOA 150 – filtre K line



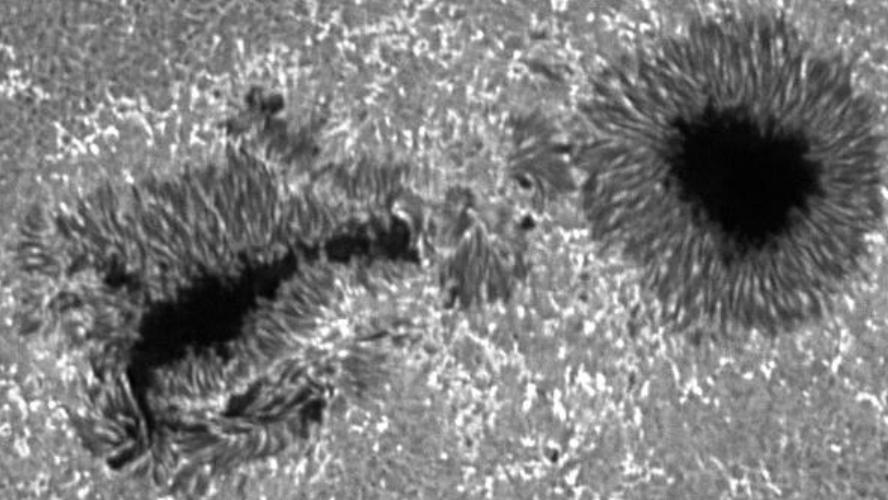
1 August 2009 - 8 h35 mn UT- Takahashi TOA 150 - Baader helioscope + FFC + K-line 396 nm (FWHM 10 nm) filter  
Approximate scale : 0.15 arcsec/pixel - Skynyx 2.1 M - 30 x 2 ms exposure - gain = 1 - 8 bits acquisition - Avistack processed  
Christian Viladrich

# Et le Ca K ?

- Bande d'absorption de la chromosphère .
- Centre de la raie : 393.38 nm – FWHM = 0.2 à 0.5 nm, soit 20 à 50 fois plus étroit que K- line
- Daystar, Lunt, Barr Associates (Coronado?)
- Nettement plus difficile à mettre en œuvre en Haute Résolution que le K line, pour les mêmes raisons et en plus ... le manque de lumière conduit à des temps de pose devenant "important" (similaire à Ha).
- Pour le disque entier : 60 mm d'ouverture suffit.
- Pour la haute résolution :
  - Attention au problème thermique (mesurer la température du filtre avec thermomètre IR)
  - Quelques idées : utiliser un bloqueur d'IR (hélioscope, filtre anti-IR ou bleu ou K-line, etc)



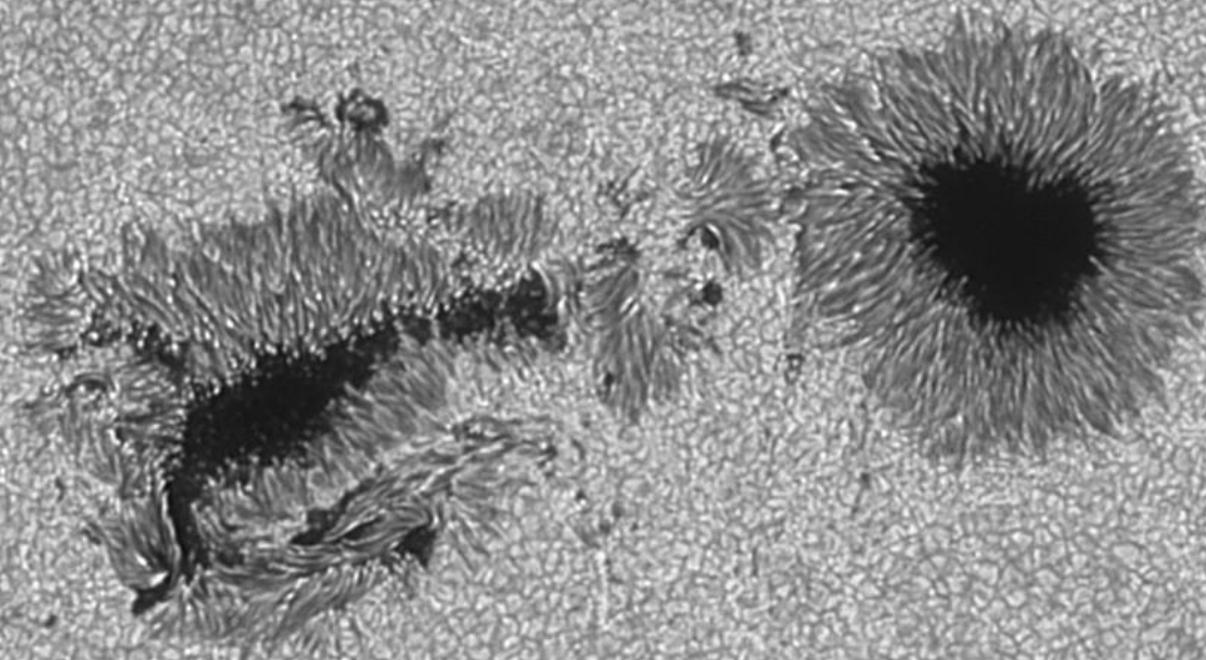
Takahashi TOA 150 – filtre Ca K



AR 1263 - 2 August 2011 - Takahashi TOA 150 - Ca K 393.3 nm FWHM = 0.24 nm  
Approximate scale = 0.24 arsec/pixel - Skynyx 2.1M - 40 x 10 ms - gain = 5 - 12 bits acquisition  
Christian Viladrich

N  
E W  
S

Takahashi TOA 150 – filtre K line

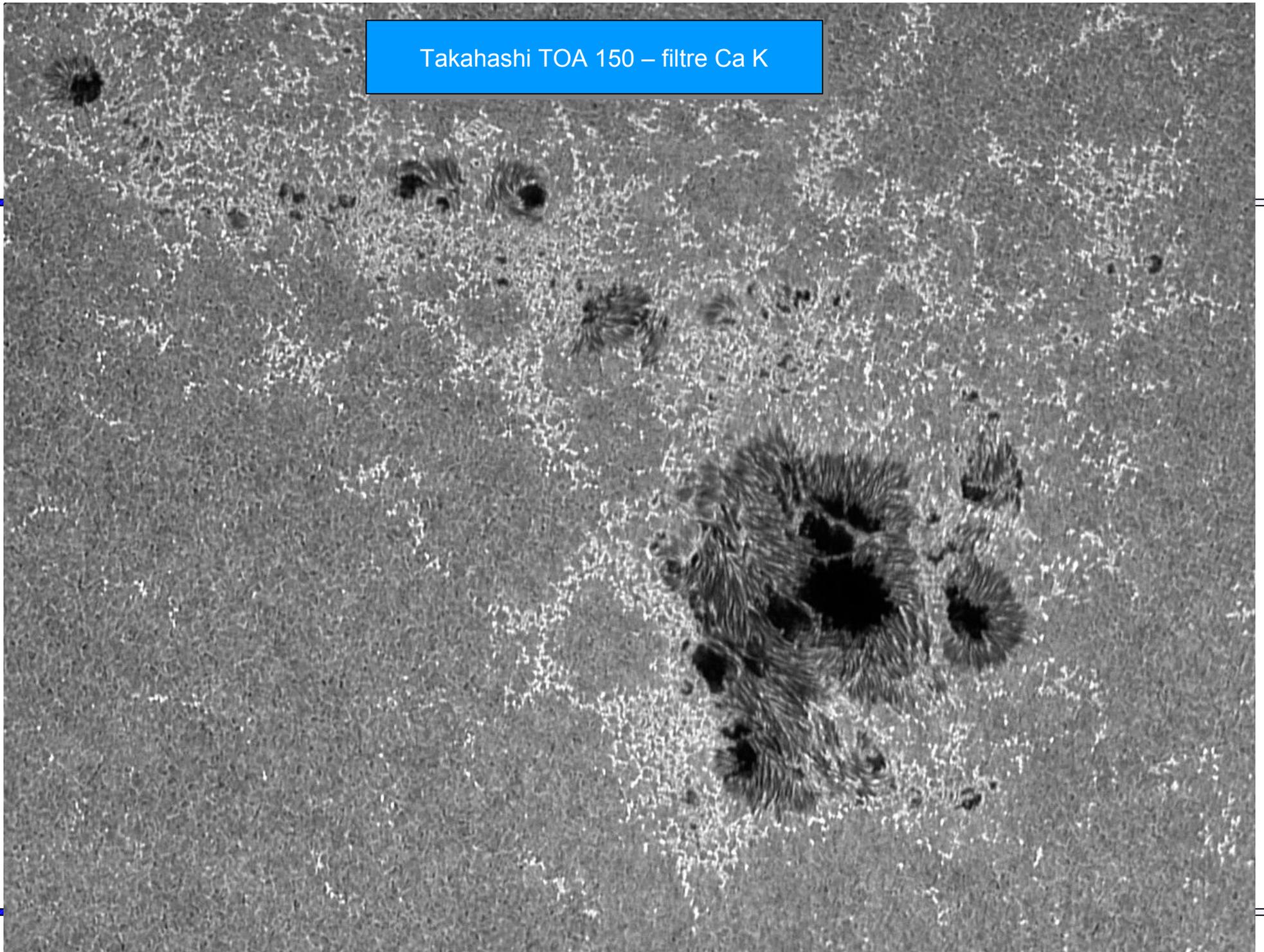


N  
E W  
S

AR1263 - 2 August 2011 - 8 h49 mn UT - Takahashi TOA 150 - K line filter (396 nm FWHM 10 nm) - Baader helioscope and FFC  
Approximate scale = 0.17 arcsec/pixel - Skynyx 2.1M camera - 20 x 0.56 ms exposure - gain = 1 - 12 bits acquisition

Christian Viladrich

Takahashi TOA 150 – filtre Ca K



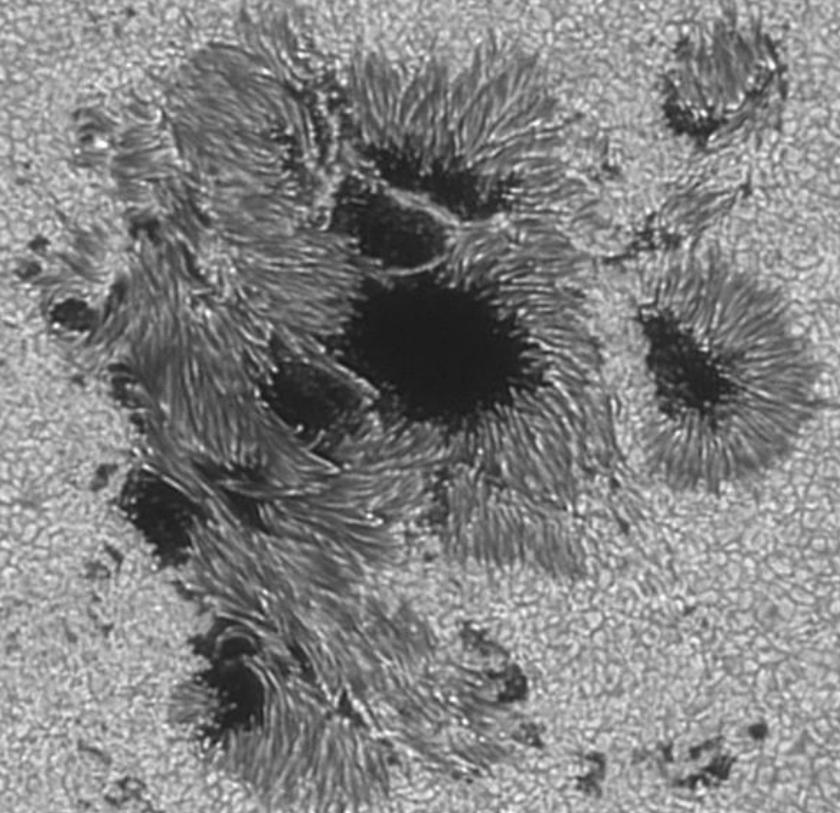
N  
EW  
S

AR1476 - 11 May 2012 - 11h27mn20s UT - Takahashi TOA 150 - Ca K 393.3 nm FWHM = 0.24 nm - Baader Hershell - Taka X1.5 ED and APM X1.8 ED

Approximate scale = 0.23 arcsec / pixel - Skynyx 2.1M camera - gain = 4.8 - Exposure = 60 x 10.7 ms - 12 bits acquisition

Christian Viladrich

Takahashi TOA 150 – filtre K line



N  
EW  
S

AR1476 - 11 May 2012 - 9h59 mn UT - Takahashi TOA 150 - K line filter (396 nm FWHM = 10 nm - Baader helioscope and FFC  
Approximate scale 0.17 arcsec/pixel - Skynyx 2.1M camera - gain = 1 - exposure = 30 x 0.88 ms - 12 bits acquisition  
Christian Viladrich

---

# La prise de vue

# Camera vidéo : quels critères ?

- Avoir le plus grand nombre de pixels possible pour avoir le plus grand champ possible.
- Avoir la cadence d'acquisition la plus grande possible (lutte contre la turbulence).
- Avoir un très bon rapport S/N (pour diminuer le nombre d'images à additionner)
- Quelques exemples de caméras très performantes (plus ou moins chères ...):

Point Grey GX 28	1932 x 1452	ICX674	4.54 $\mu$	26 im/s	14 bits	FW800
Skynyx 2.2 M	1616 x 1232	ICX274	4.4 $\mu$	12 im/s	12 bits	USB2
Skynyx 2.1M	1340 x 1024	ICX205	4.65 $\mu$	15 im/s	12 bits	USB2
Basler 1400-30gm	1392 x 1040	ICX285	6.5 $\mu$	30 im/s	12 bits	Giga-E
Basler sca 1300	1296 x 966	ICX445	3.75 $\mu$	30 im/s	12 bits	Giga-E
PLB-MX	1296 x 966	ICX445	3.75 $\mu$	23 im/s	12 bits	USB2

# Quelle focale utiliser ?

## Échantillonnage optimal :

→ Théorème de Shannon : échantillonnage à 2 X le pouvoir séparateur.

→ Dans la pratique : échantillonnage à 3X le pouvoir séparateur convient mieux en lumière blanche (et Ha)

## Échantillonnage (ou échelle des images sur le capteur) : nombre de secondes d'arc par pixel

Échantillonnage = arctg (taille pixel / focale résultante)

$$E_{\text{(secondes d'arc)}} = 206 \times P_{\text{(microns)}} / \text{focale résultant}_{\text{(mm)}}$$

# Méthode de mise au point



Avantage d'un système gradué (moteur pas à pas ou comparateur à cadran) :

- Réglage par encadrement successif de la zone de netteté.
- Ou bien faire la moyenne de plusieurs mises au point successives.
- Réglage suit évolution de la température.

# Durée d'acquisition max ?

---

- Dépend bien sûr de la résolution de l'image, mais aussi de la longueur d'onde utilisée.
- En lumière "blanche" (K-line, continuum) et en haute résolution : éviter de dépasser 40 s
- En Ha, dépend de la vitesse d'évolution des phénomènes ...

# Le montage mécanique : réduire les jeux

→ Le montage est souvent long : focuser + Barlow + hélioscope + camera

...



- D'une façon générale, il y a trop de jeu entre les coulants et les porte-oculaires. On perd la coaxialité du montage. Si possible : faire fabriquer par un mécanicien des coulants avec moins de jeu
- Éviter les PO à anneaux de serrage et les coulants à gorge rainurée.
- Préférable de tout avoir en 2 pouces pour meilleure rigidité (et diminuer les reflets).
- Les montages visant (42 x 0.75 mm) sont préférables au montage par serrage par vis ou anneau.
- Enrouler épaisseur de scotch autour des coulants pour réduire le jeu.

---

Merci de votre attention

Des questions ?