



Les progrès récents en imagerie solaire haute résolution

Christian Viladrich

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



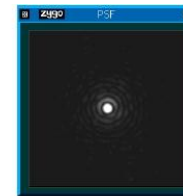
Sommaire

- Des instruments solaires de plus grands diamètres
 - En lumière « blanche »
 - En $H\alpha$
- Des capteurs plus grands et plus rapides
- Le Solar Scintillation Monitor et l'acquisition automatique des images

Les grands diamètres en « visible » avec filtre Astrosolar



Airy disc of reference system
w/o film, Strehl ratio 99,9%



Airy disc with AstroSolar™
Strehl ratio 94,1%



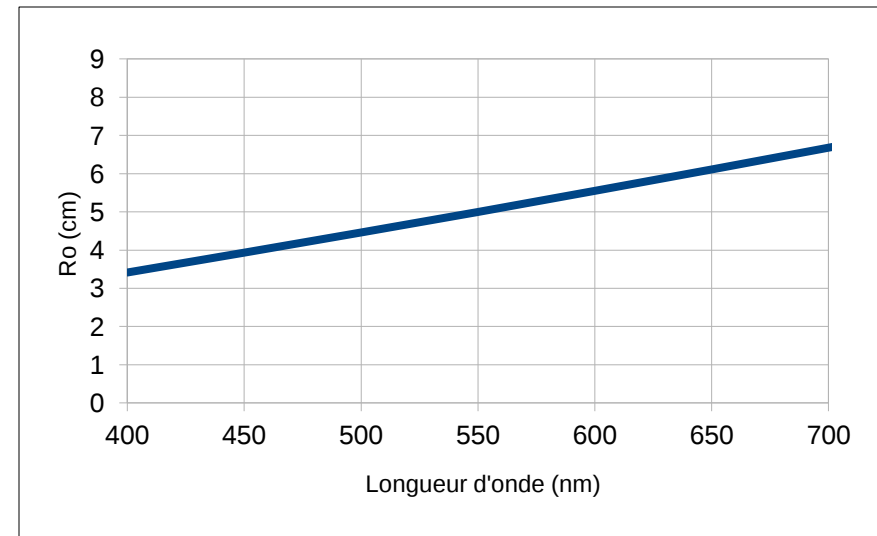
Airy disc with TurboFilm™
Strehl ratio 96,8%



Airy disc with Mylar™
Strehl ratio 57,2%

Filtre rouge : réduction de la turbulence

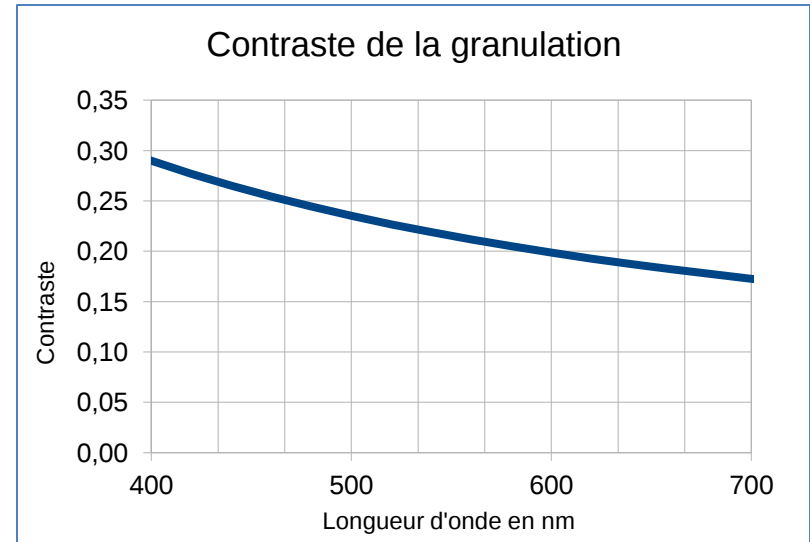
1.8 fois moins de turbulence à 650 nm qu'à 396 nm



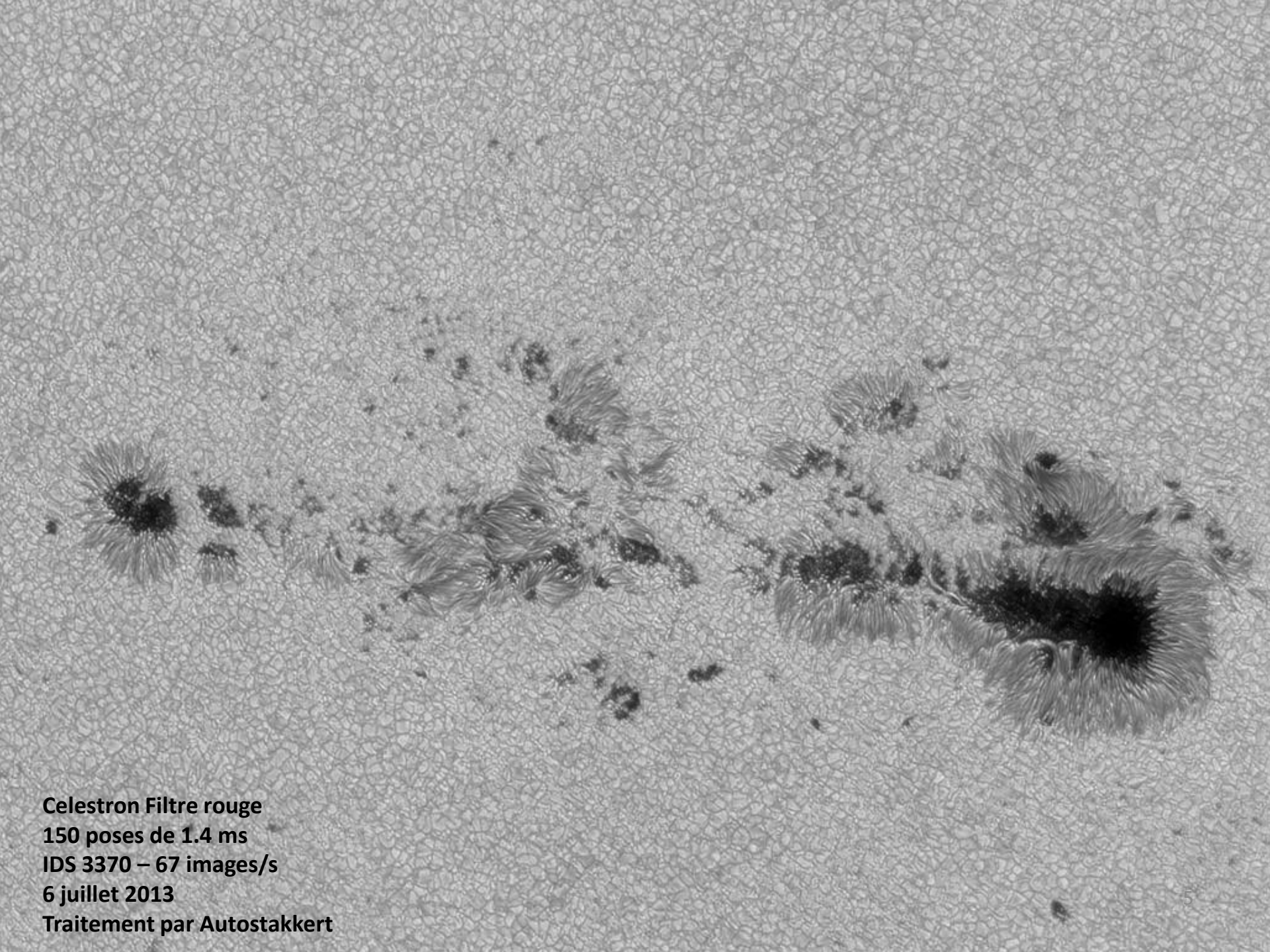
Utilisation du filtre Astrosolar



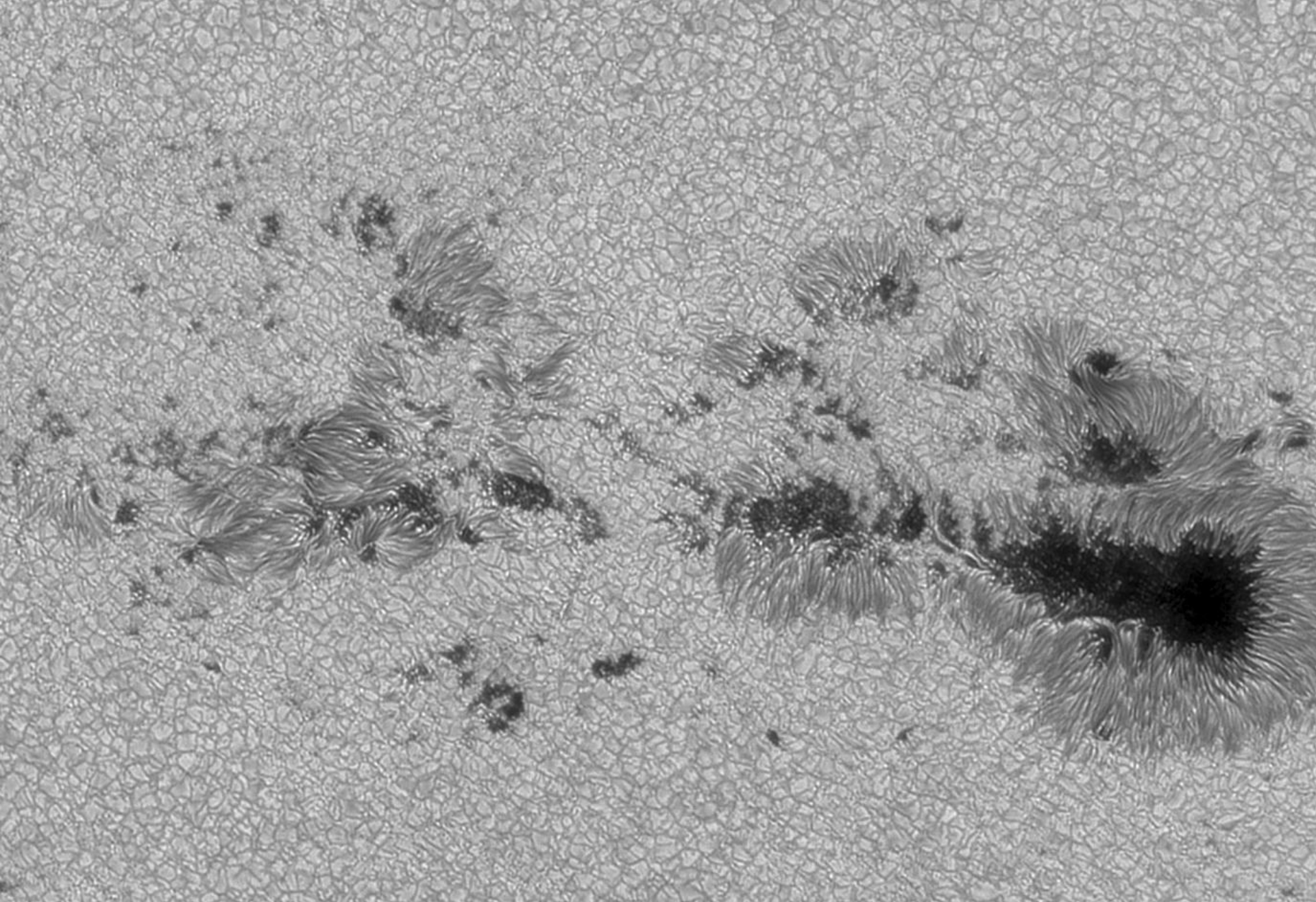
Filtre rouge : réduction contraste de la granulation
facteur 1.6 quand on passe de 396 nm à 650 nm



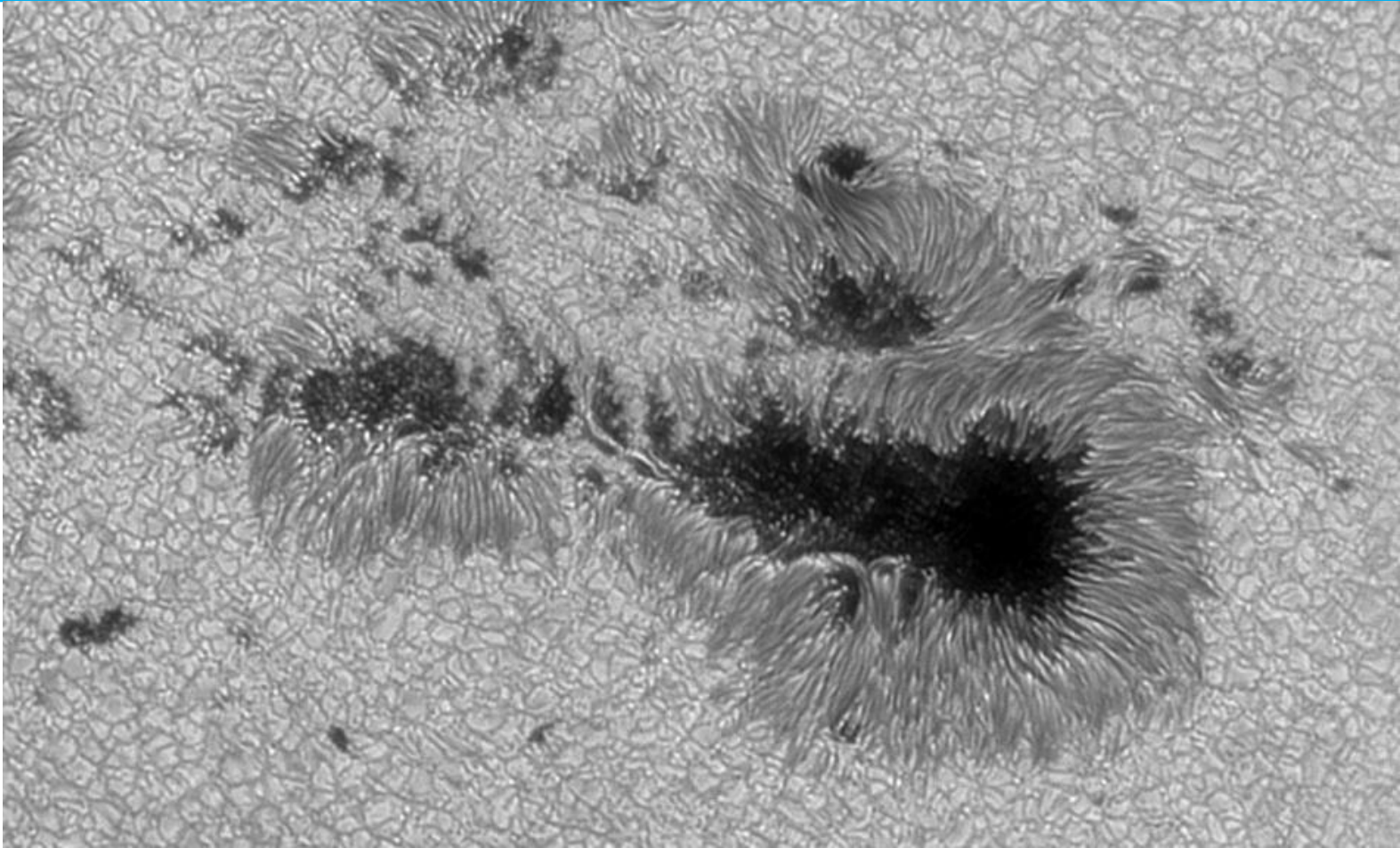
L'ombre des taches est moins noire :
=> umbral dots visibles plus facilement.



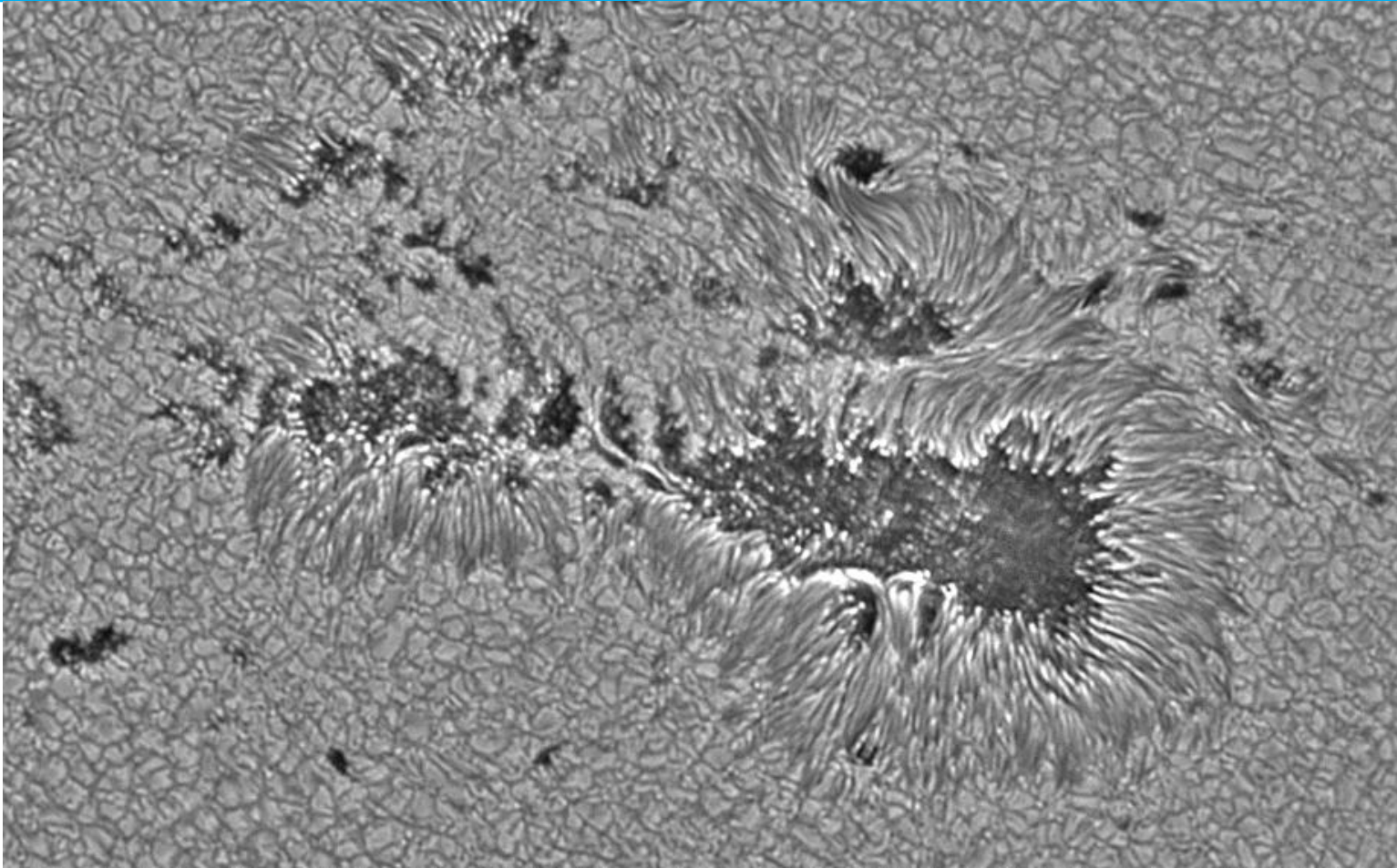
Celestron Filtre rouge
150 poses de 1.4 ms
IDS 3370 – 67 images/s
6 juillet 2013
Traitement par Autostakkert



Les umbral dots



Les umbral dots



Télescopes solaires à miroir non aluminé



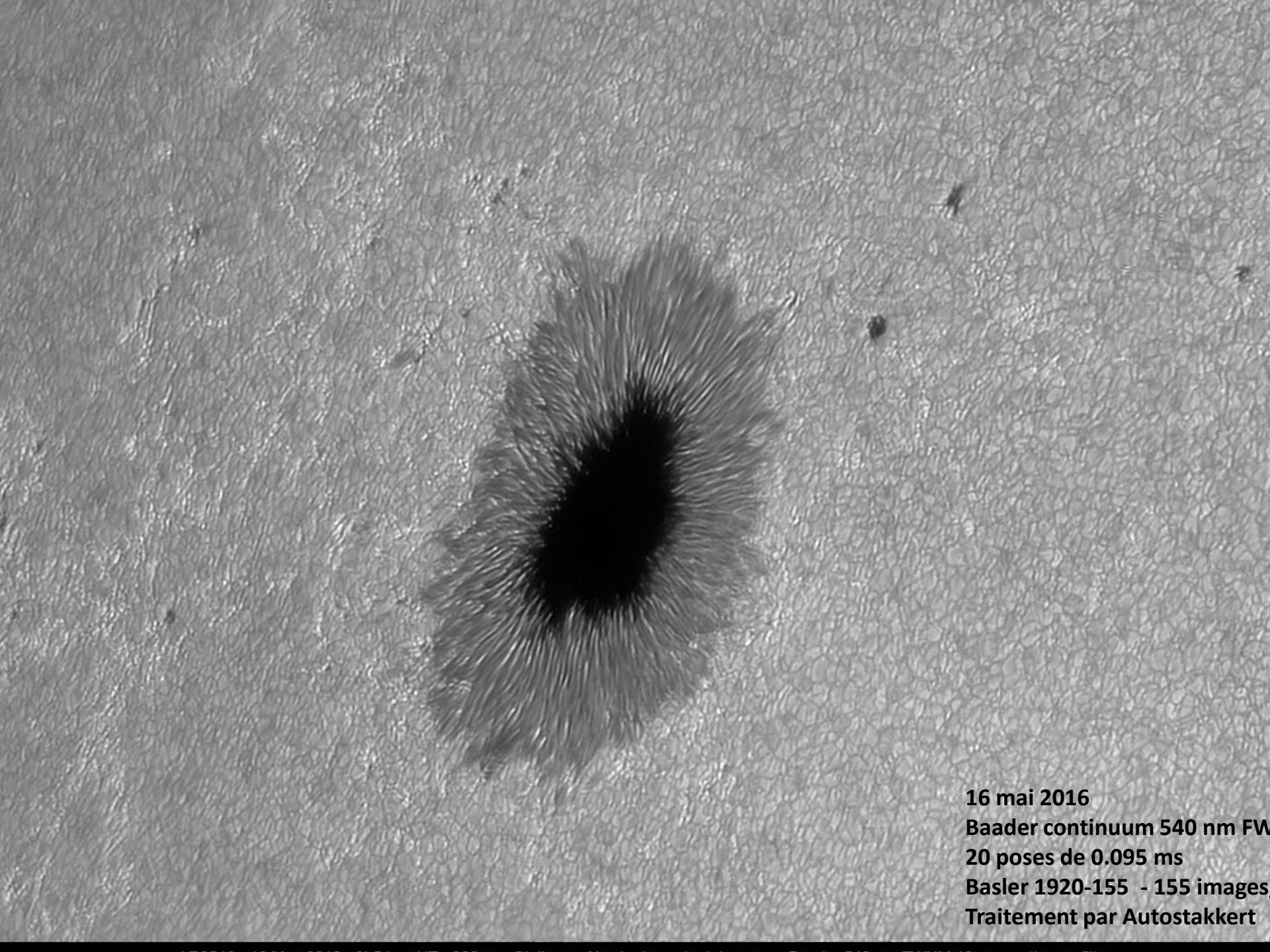
Art Whipple 2009 :
Newton de 355 mm



Intérêts :

Flux de lumière plus important qu'avec Astrosolar 3.8 (facteur 200) :

- Temps de pose court < 1 ms, pour geler la turbulence,
- Filtres étroits (FWHM 10 nm) pour réduction dispersion atmosphérique .
- Pas d'aberration chromatique : K line (396 nm) et G band (430 nm).
- Moins de diffusion qu'avec filtre Astrosolar.



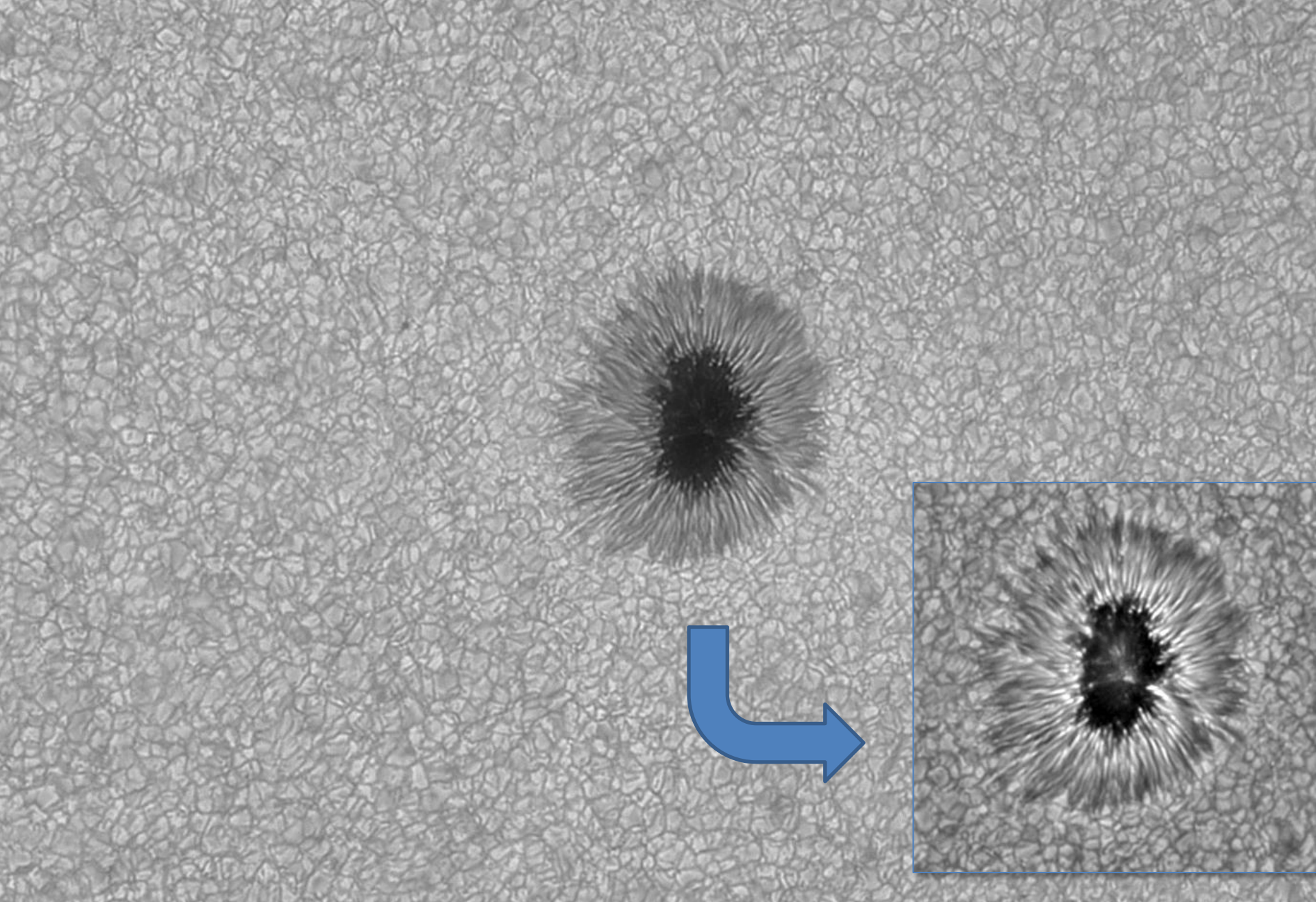
16 mai 2016

Baader continuum 540 nm FW

20 poses de 0.095 ms

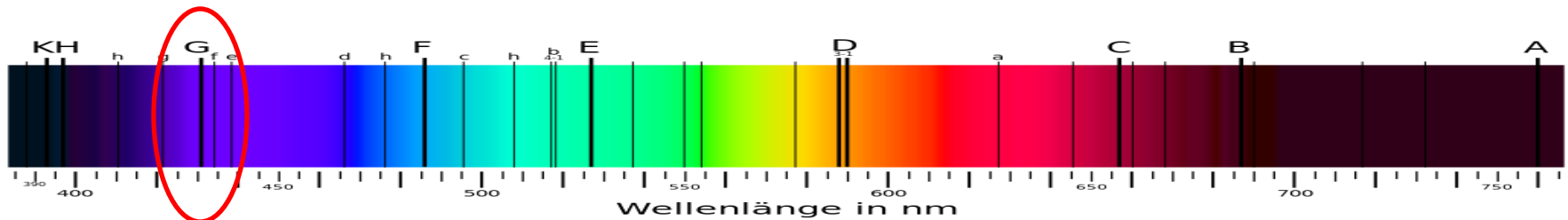
Basler 1920-155 - 155 images

Traitement par Autostakkert



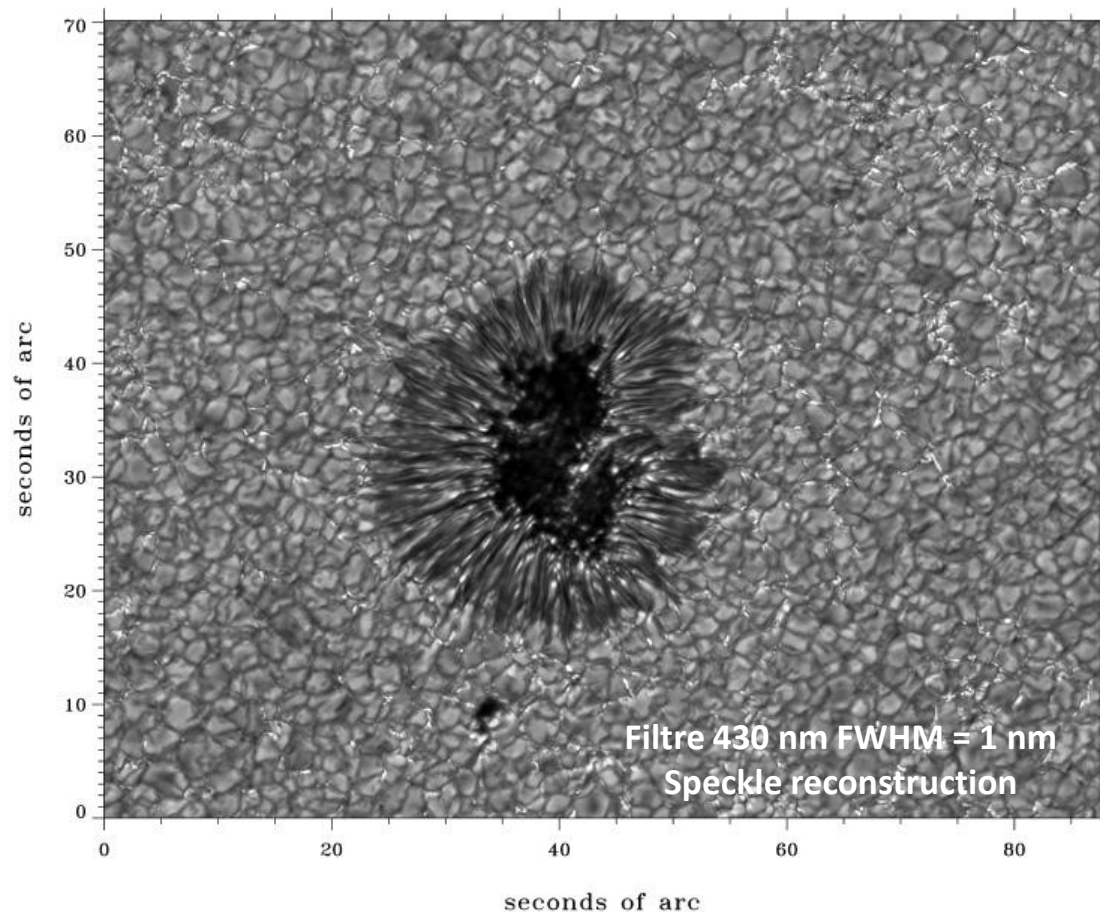
La bande G à 430 nm

- Transition entre état de rotation et de vibration de la molécule CH (FWHM = 1.5 nm)



- Un télescope de 300 mm utilisé dans le bleu (430 nm) a la même résolution qu'un télescope de 450 mm utilisé dans le rouge (650 nm) 😊
- Le contraste de la granulation augmente d'un facteur 1.6 😊
- La turbulence augmente d'un facteur 1.64 ☹️

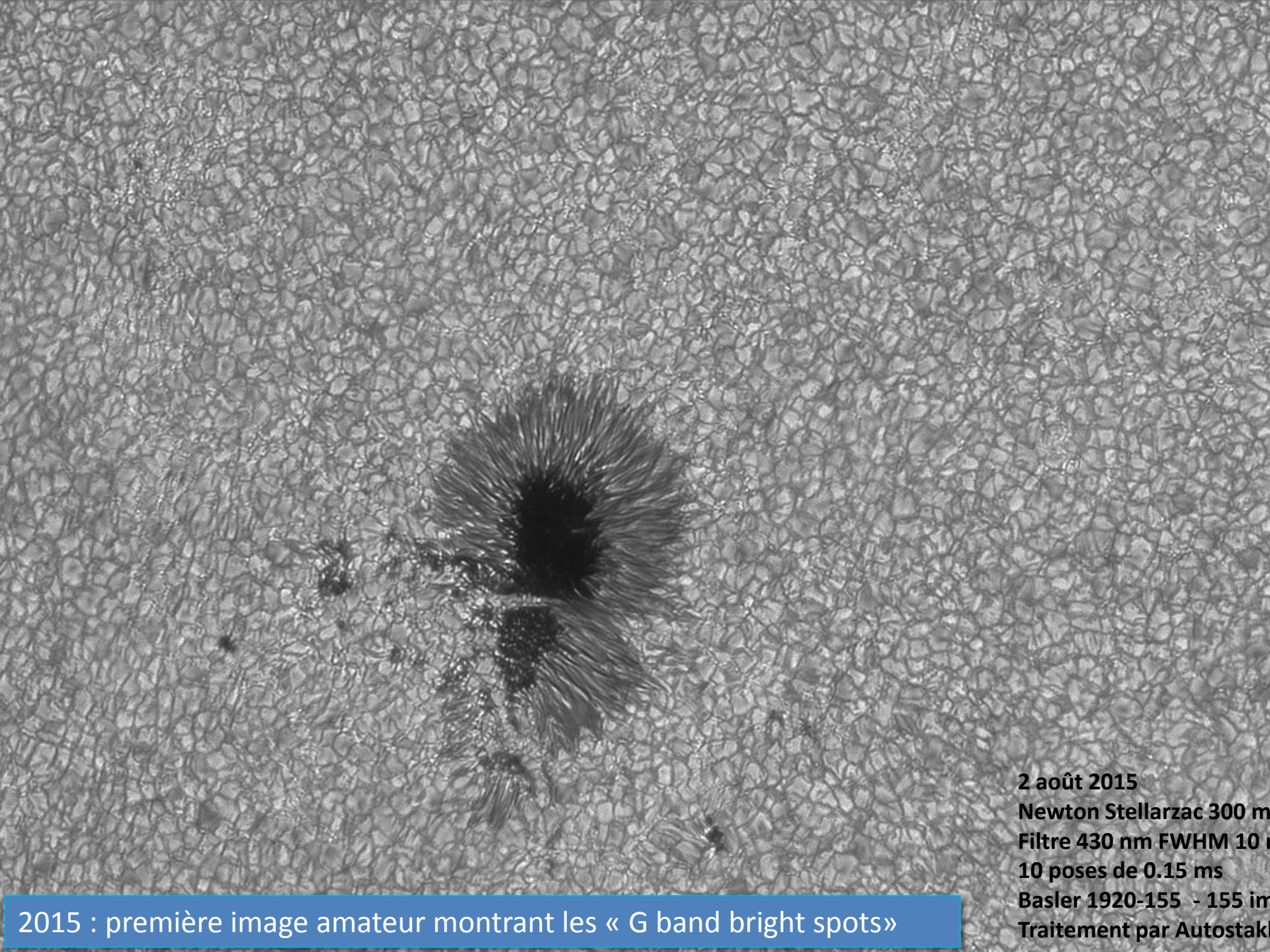
Points brillants et filigrees au Dutch Open Telescope de 45 cm



« G band bright spots » et filigrees :

Structures magnétiques dans la zone intergranulaires. Taille de 100 à 300 km (0.14 à 0.39 arcsec), les plus gros atteignent 600 km (0.7 arcsec).

Durée de vie de l'ordre de 9 mn ?

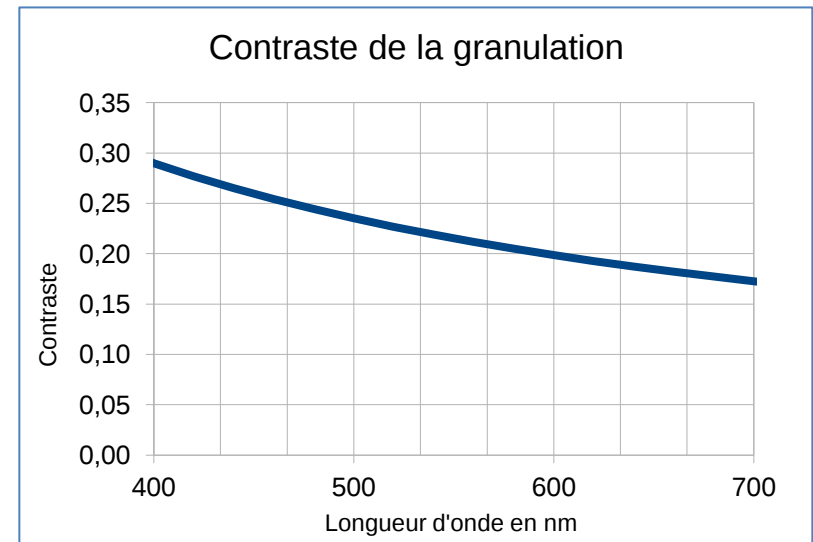
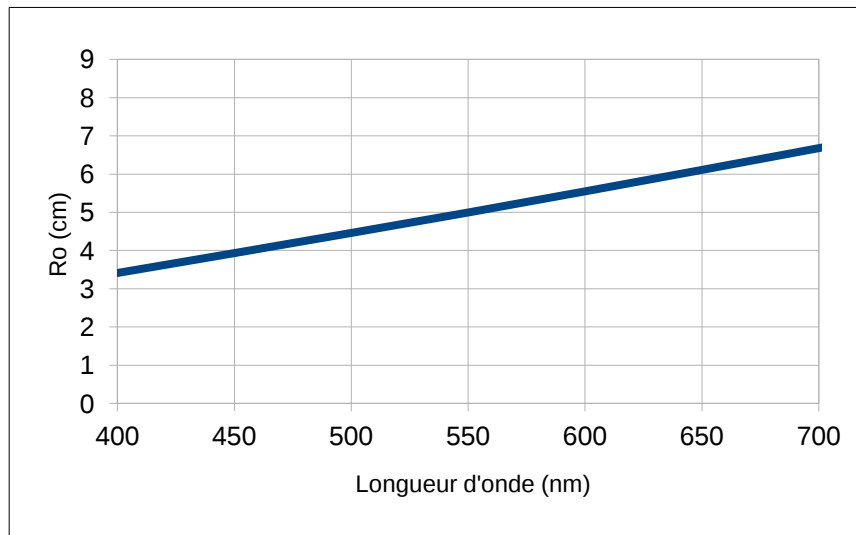


2 août 2015
Newton Stellarzac 300 mm
Filtre 430 nm FWHM 10 nm
10 poses de 0.15 ms
Basler 1920-155 - 155 images
Traitement par Autostak

2015 : première image amateur montrant les « G band bright spots »

Du bon usage des filtres ...

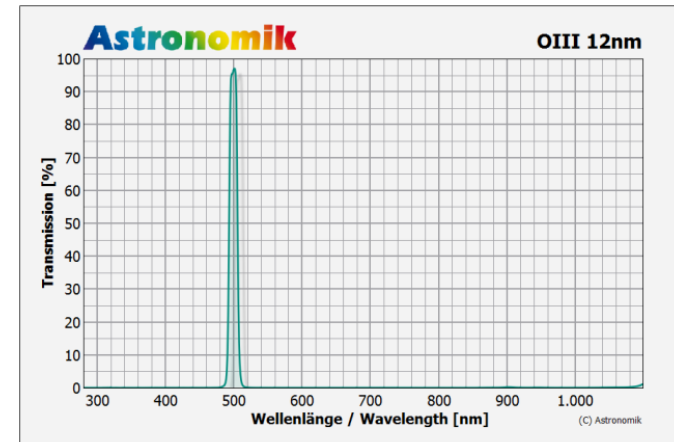
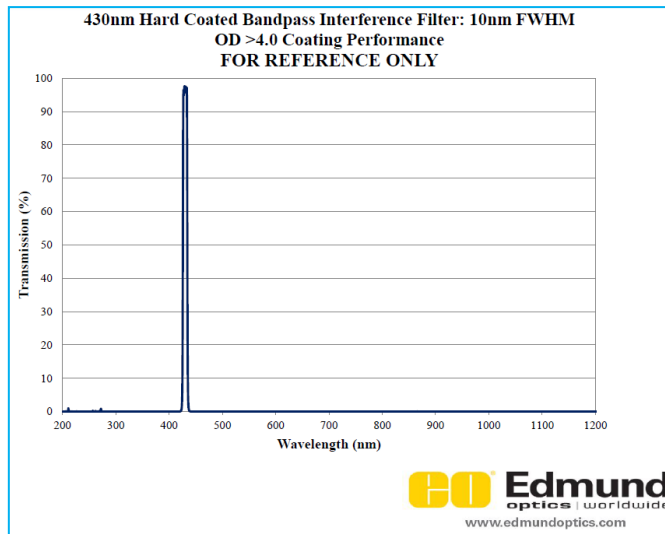
- Aller vers le bleu : résolution croît ainsi que contraste de la granulation.
- Aller vers le rouge : la turbulence décroît.



- Compromis à trouver selon diamètre de l'instrument, sa correction chromatique, le niveau de turbulence.

La panoplie de filtres

- Ha : 650 nm FWHM 12 nm
- Baader continuum 540 nm FWHM 10 nm
- OIII : 500 nm FWHM 12 nm
- Bande G : 430 nm FWHM 10 nm
- K line : 396 nm FWHM 10 nm





Les filtres continuum

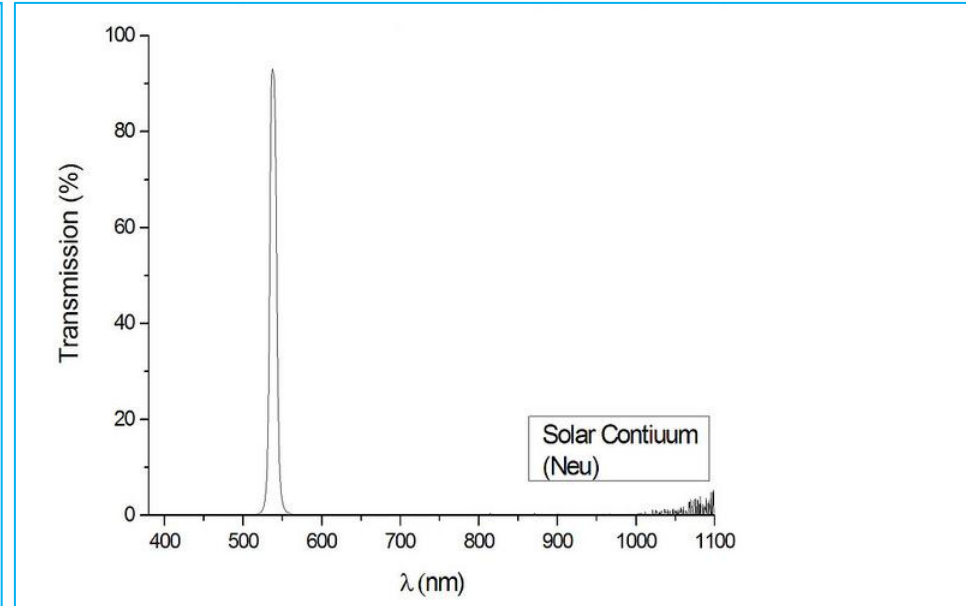
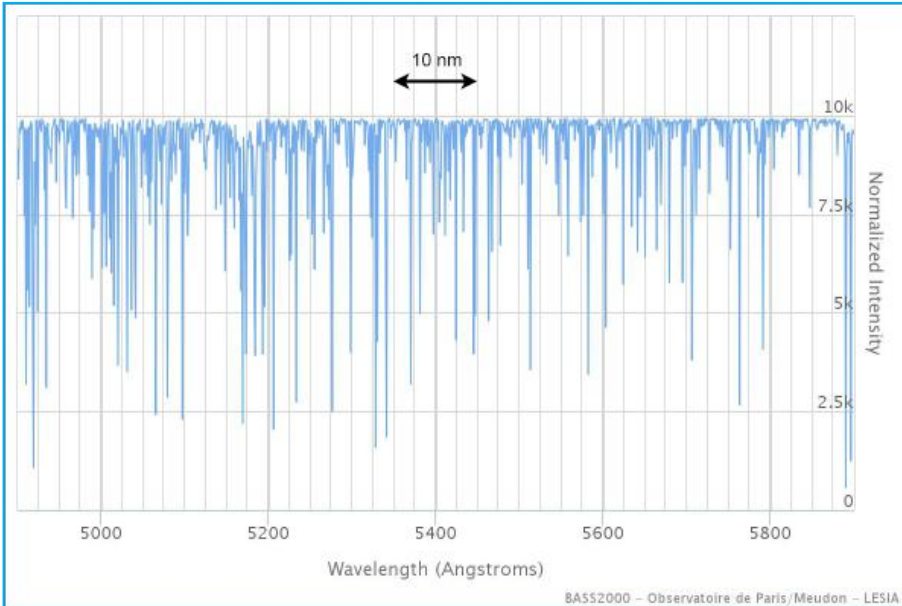
- Le continuum est une région du spectre solaire où il n'y a pas (ou peu) de raies
- Filtres utilisés par les pro pour retirer le « continuum » du spectre solaire polluant la raie observée ($H\alpha$, Ca K).

Image $H\alpha$ « pure » = Image $H\alpha$ – Image rouge continuum

	λ	FWHM
SOT/Hinode		
Bleu	450.45 nm	0.22 nm
Vert	555.50 nm	0.27 nm
Rouge	668.40 nm	0.31 nm
Dutch Open Telescope		
Bleu	432.2 nm	0.6 nm
Rouge	654.0 nm	0.3 nm
	655.05 nm	0.25 nm
PSPT		
Bleu	409.4 nm	0.3 nm
Rouge	607.1 nm	0.5 nm

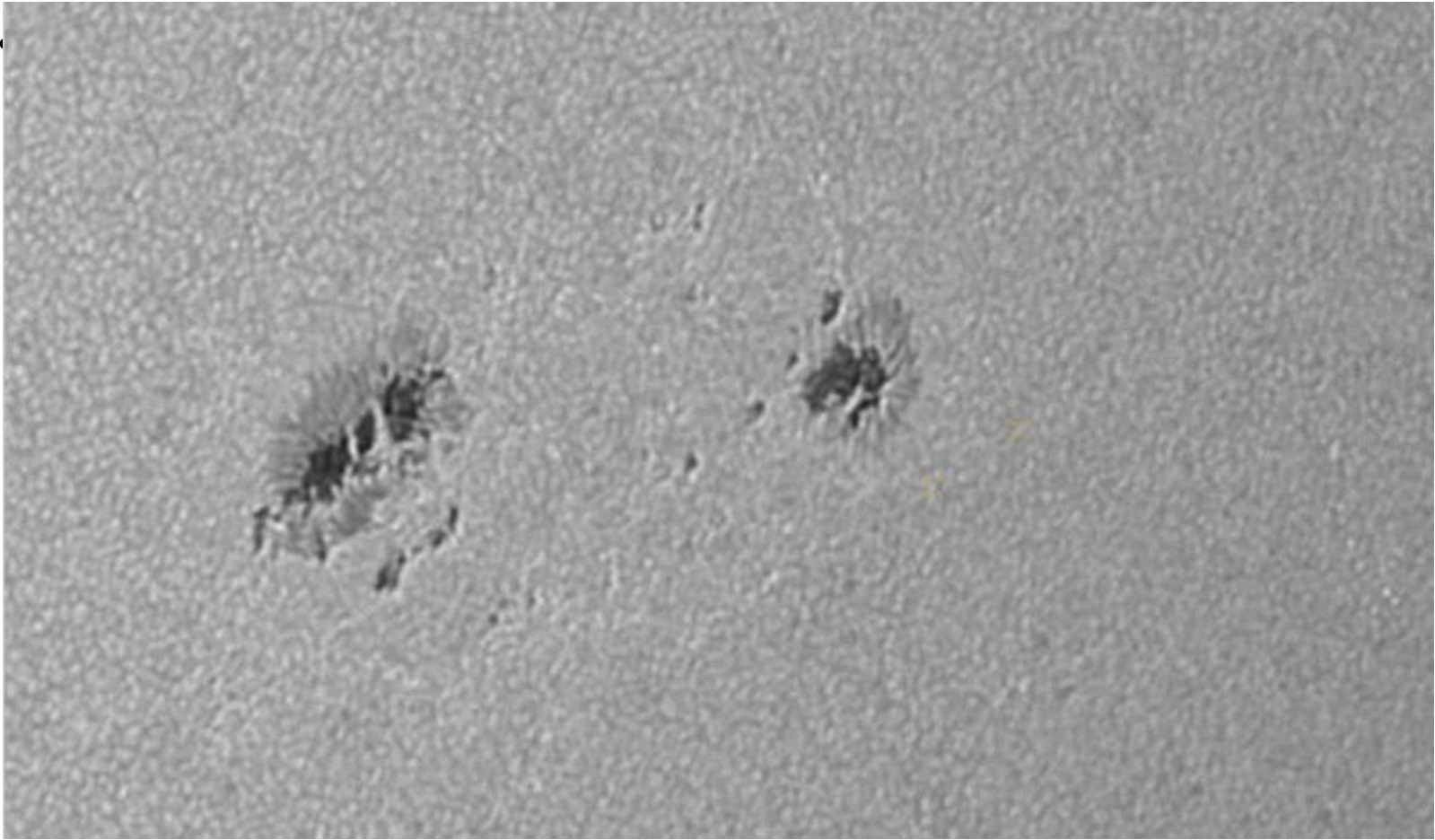
Pour tous ces filtres :
FWHM < 1 nm

Le Baader continuum 540 nm



- Deux intérêts : couleur verte (contraste granulation + correction optique), bande passante 10 nm (réduction dispersion atmosphérique).
- Il n'y a aucun intérêt au double stack, car correspond au rayonnement continu du soleil et non à une raie d'émission ou d'absorption.

656 nm (FWHM 12 nm)



540 nm (FWHM 10 nm)



500 nm (FWHM 12 nm)



430 nm (FWHM 10 nm)



396 nm (FWHM 10 nm)



Les grands diamètres en H alpha



Filtres ERF devant télescope ou lunette (FWHM 100 nm) :

Baader : max 280 mm,

Airylab : 230 mm

Aries (Ukraine) : 214mm, 265mm, 295mm, 320 mm, 385 mm

Lunettes avec filtre ERF interne (ratio 2/3-1/3) :

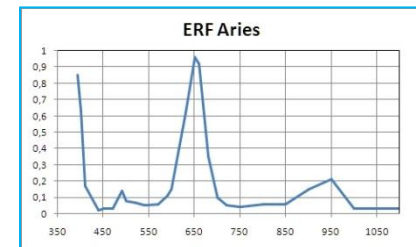
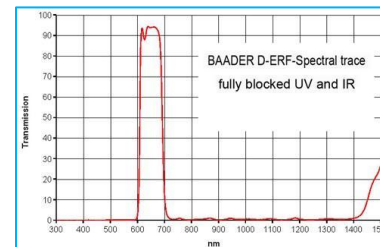
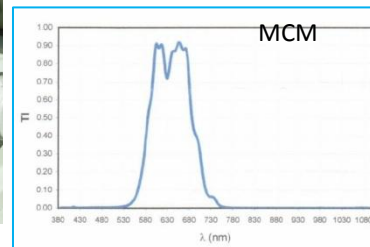
JP.Brahic (2013) : objectif Istar H α 230 mm.

S. Deconihout (2016) : singlet asphérique D.Cardoën 250 mm

Schmidt-Cassegrain HAT à lame traitée ERF (Airylab) :

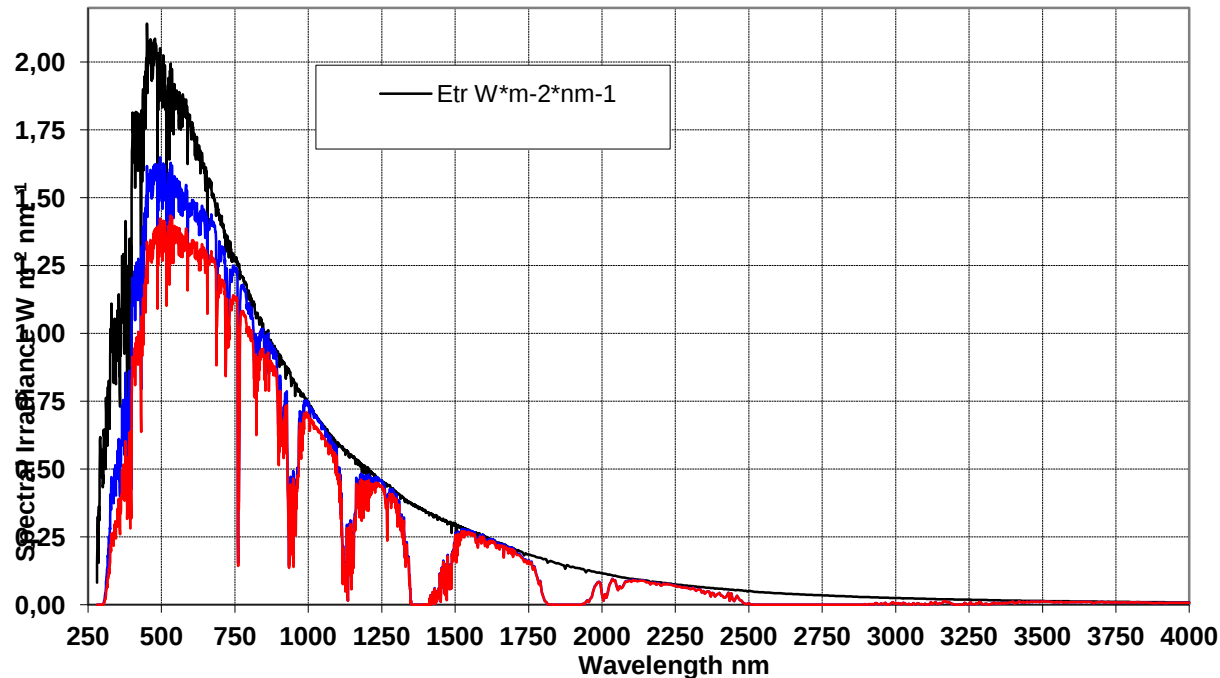
Max 280 mm (2015)

Miroir ERF (MCM) : max 260 mm. JC. Dalouzy(2013), A. Lhoest (2015)



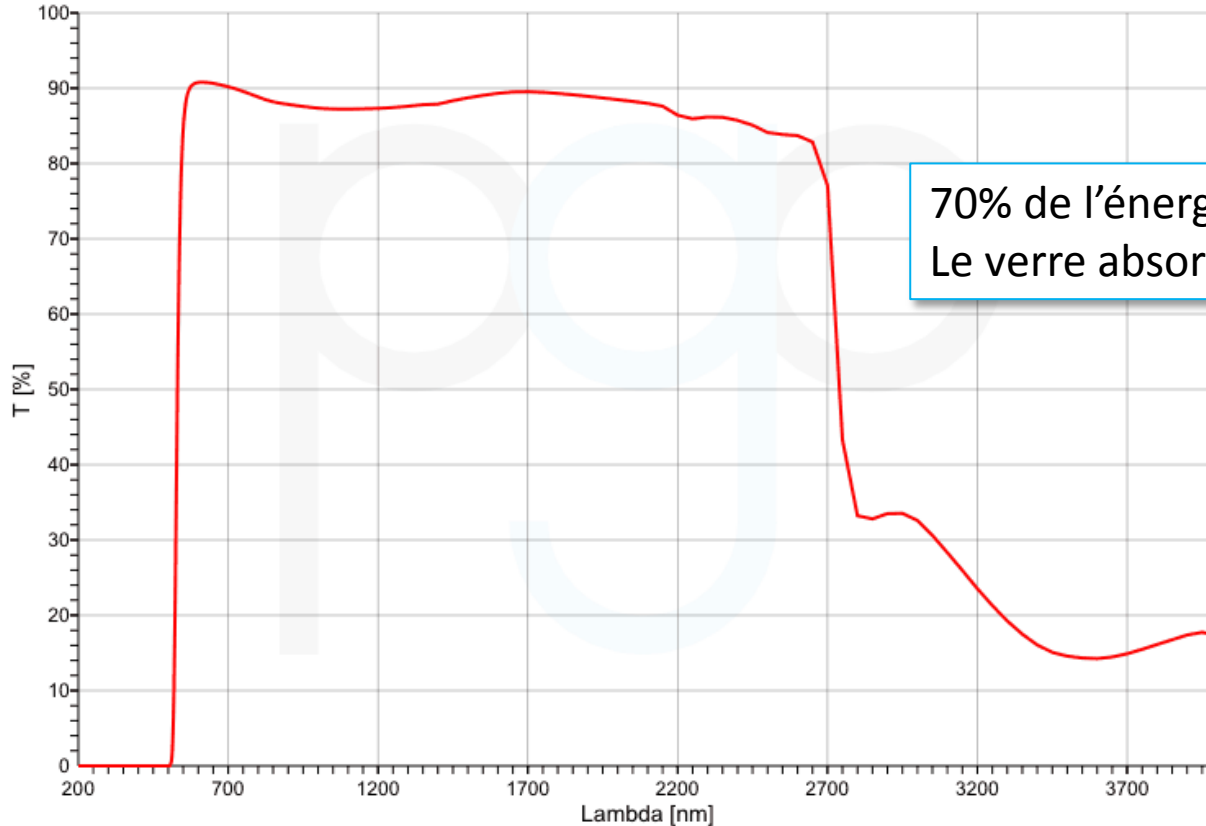
Les filtres ERF de grands diamètres

ASTM G173-03 Reference Spectra



Bande spectrale	Masse d'air = 1.5
280 à 400 nm	3%
400 à 700 nm	42%
700 à 1100 nm	34%
1100 à 1700 nm	15%
1700 à 4000nm	6%

ERF Daystar OG530

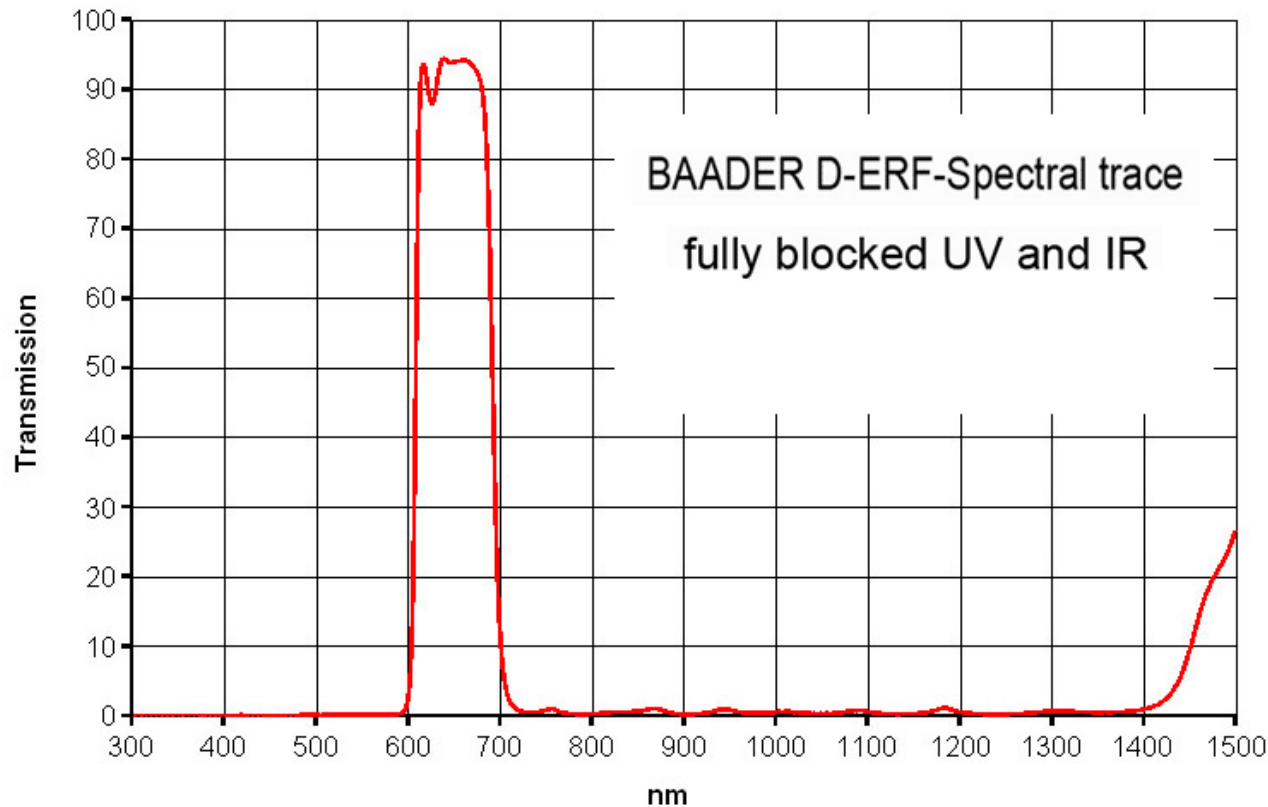


70% de l'énergie incidente est transmise !!
Le verre absorbe les 30%, donc chauffe ...

SCHOTT OG530 - Longpass, Thickness 3mm, $i=0^\circ$
Principle Curve

©2016 Präzisions Glas & Optik GmbH
<http://www.pgo-online.com>

D-ERF Baader Planetarium



BK7
 Traitement diélectrique
 28 couches
 FWHM = 80 nm
 Existe jusqu'en 280 mm
 Transmission : 19 % de
 l'énergie incidente

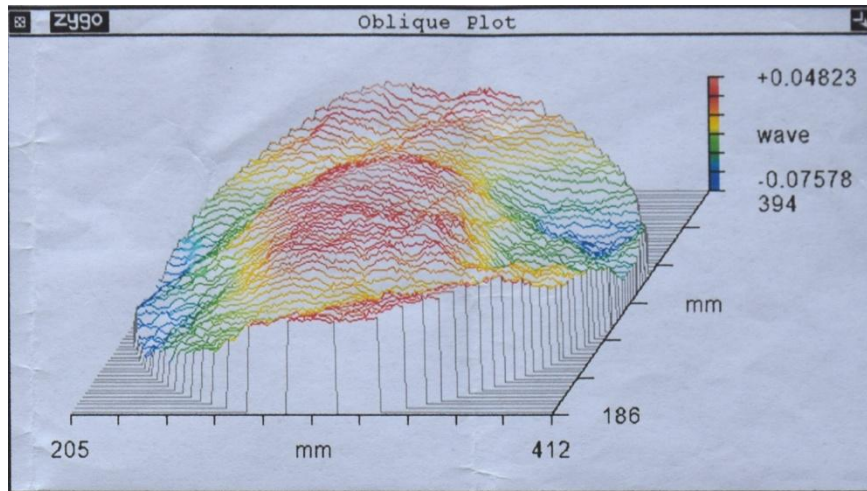
Filtre ERF interne



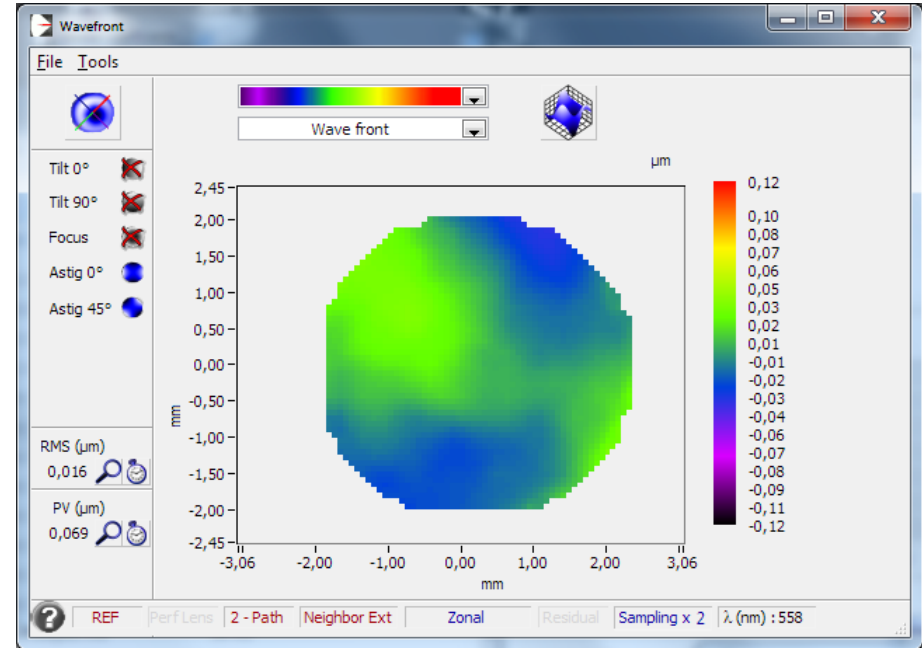
Ratio 1/3 – 2/3 : OK

**Lunette Serge Deconihout
Singlet 250 F/10 asphérique D. Cardoen
Filtre D-ERF Baader 180 mm**

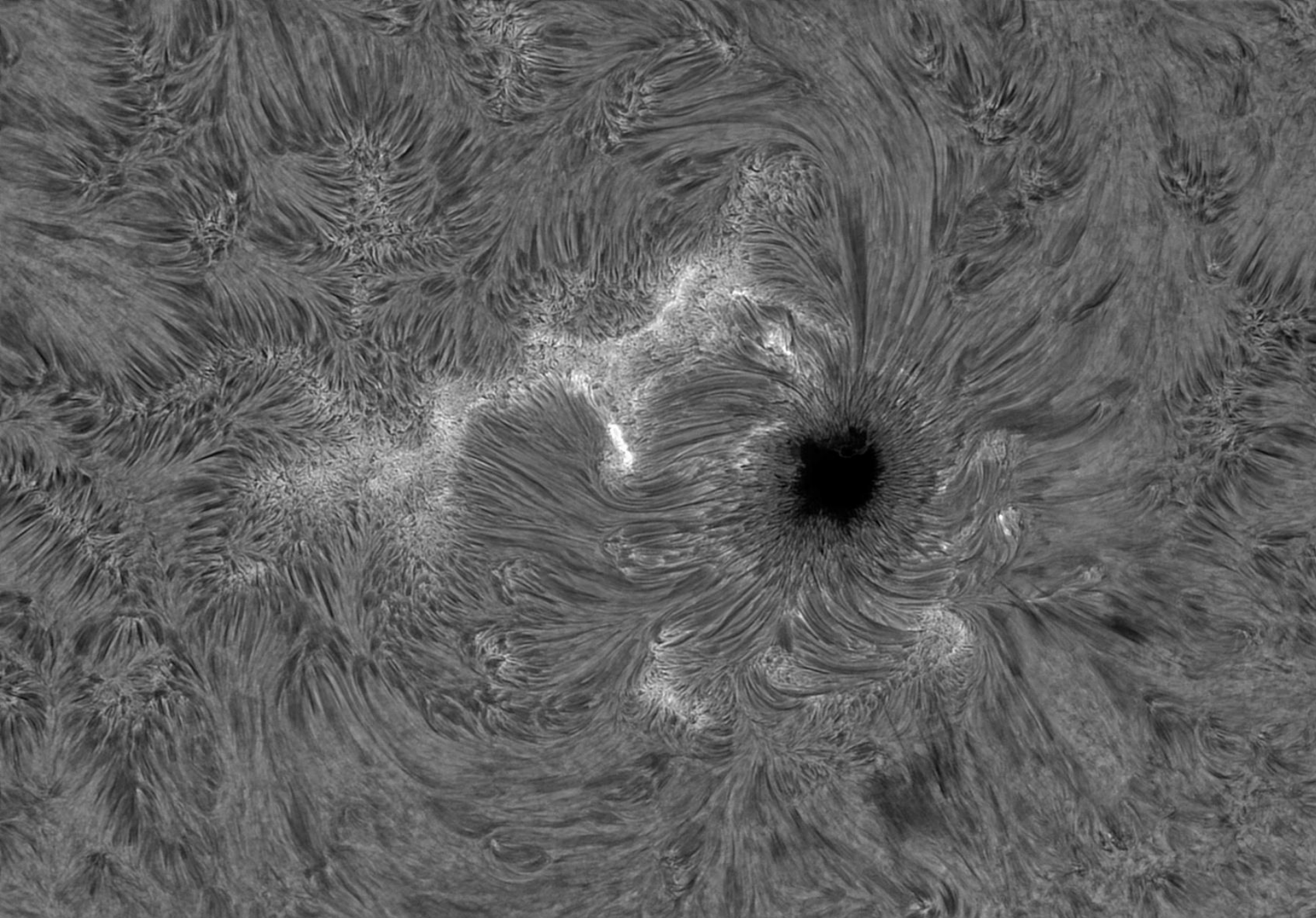
Les filtres ERF : quelle précision ?



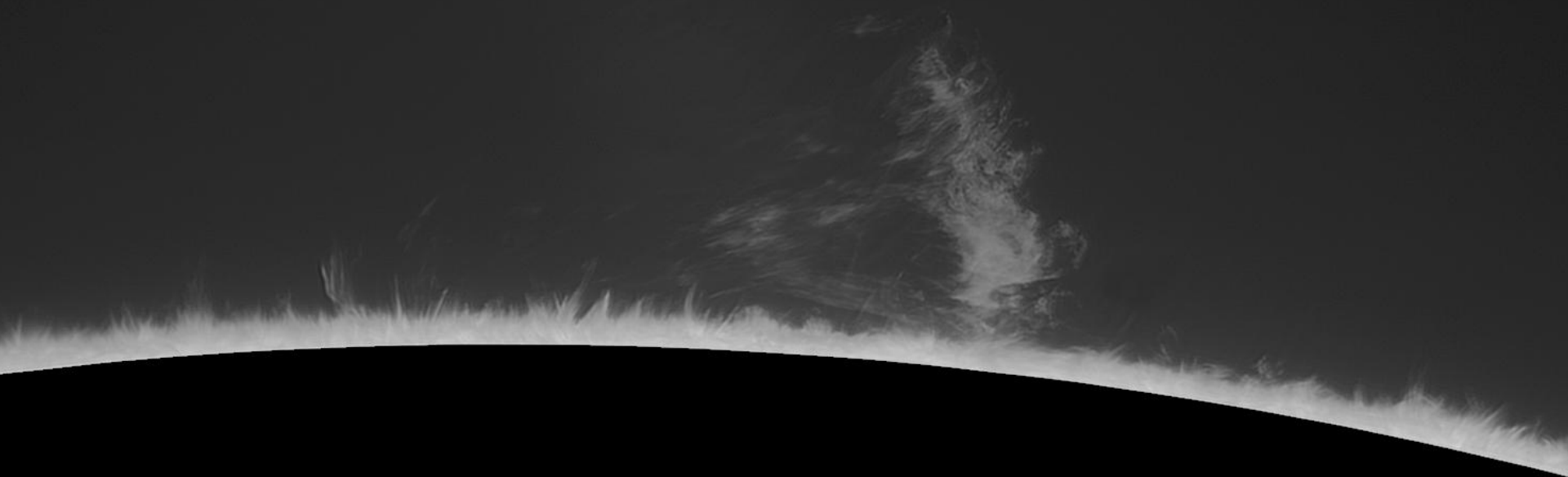
Airylab ERF 210 mm :
 $\lambda/8$ PV $\lambda/33$ dans le rouge

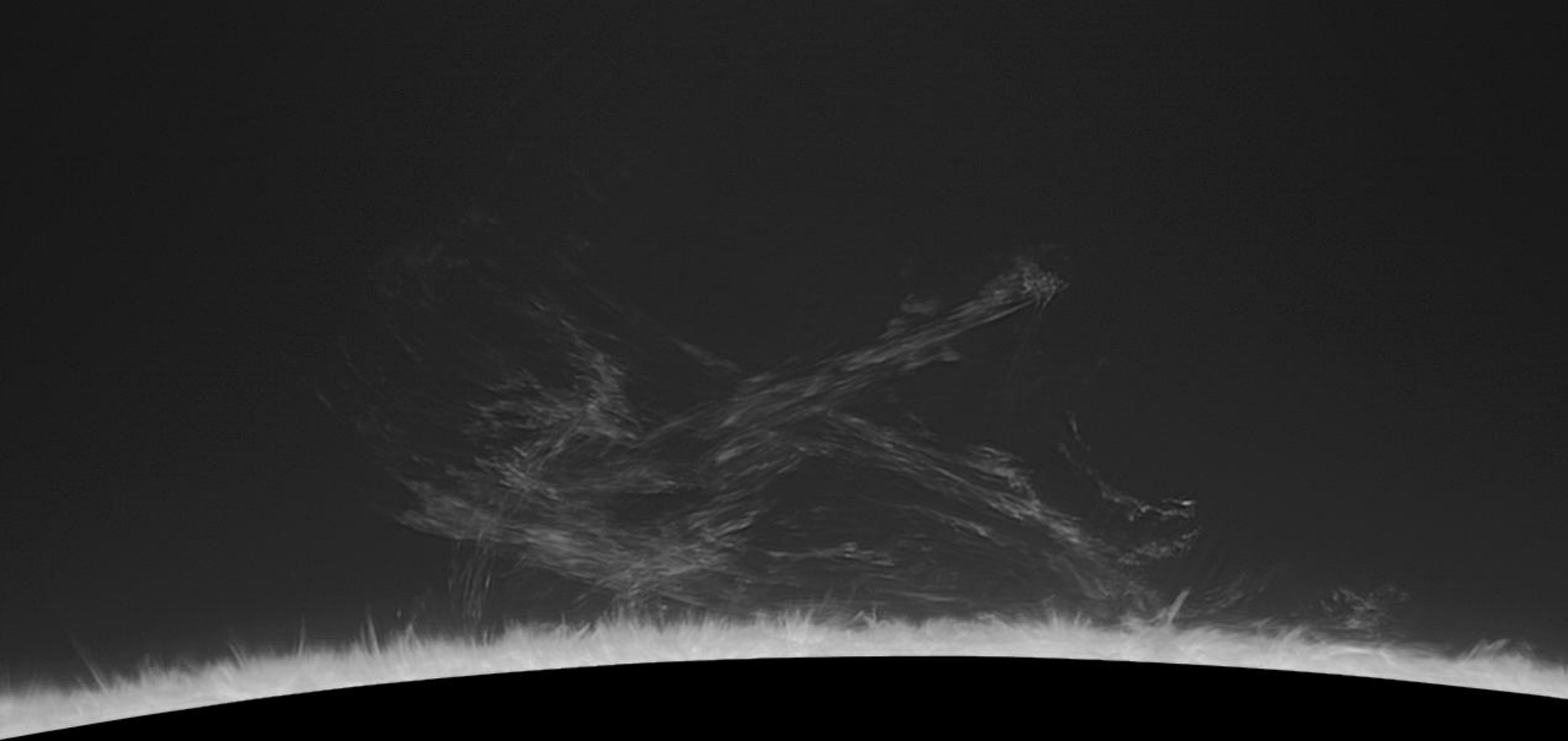


Baader D-ERF 160 mm :
 70 nm (P-V) 16 nm rms, soit $\lambda/9.6$ et $\lambda/41$ dans le H α

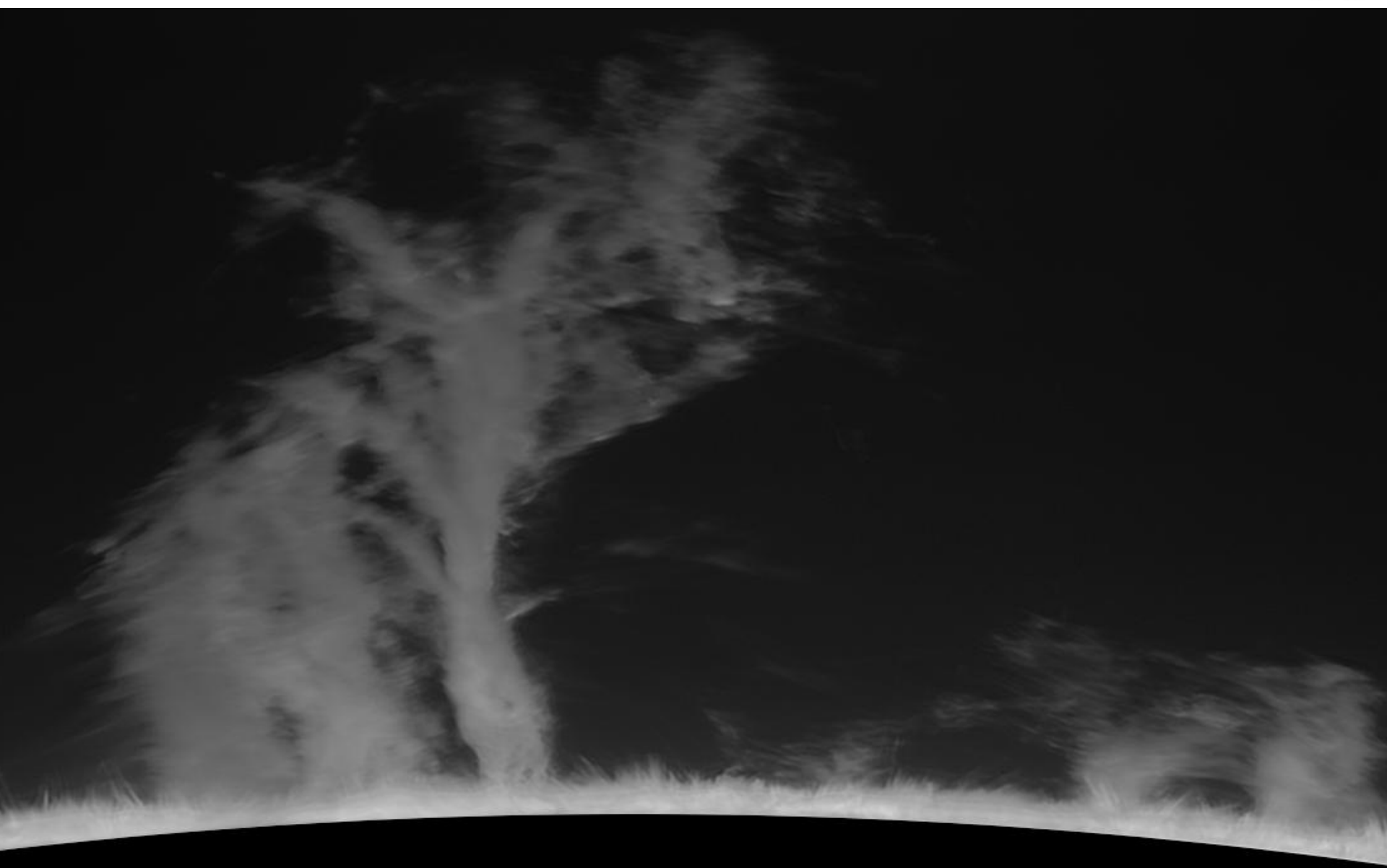


N
E W
S





East limb prominence - 27 May 2016 - 9h08mn UT - Celestron 8 Edge-HD with Airylab 210 mm ERF - Daystar PE 0.6 A
Scale : 0.18 arsec/pixel - Basler 1920-155 camera - Exposure : 300 frames x 10 ms - Gamma = 0.4 - Gain = 2500 - Solar Scintillation Monitor (M
Christian Viladrich



Des capteurs plus grands et plus rapides



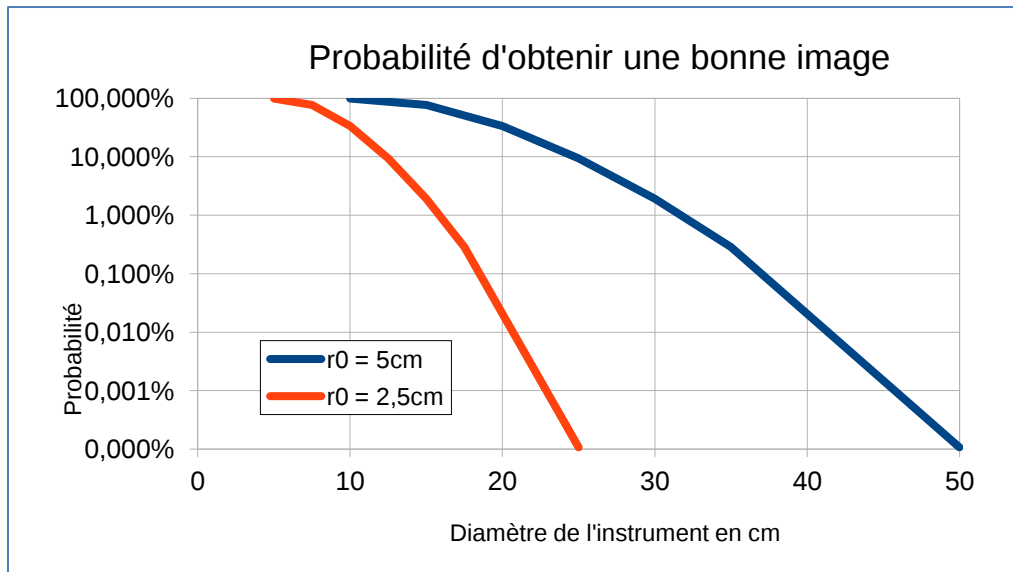
IDS 3370 :
CMOSIS 4000
82 images/s
2048 x 2048 pixels
S/Bmax = 6.9 bits
dynamique = 9.6 bits



Basler 1920- 155 :
Sony IMX174
155 images/s
1920 x 1200 pixels
S/Bmax = 7.5 bits
dynamique = 12.4 bits

Intérêt des caméras rapides

- La probabilité d'avoir une bonne image dépend du seeing et du diamètre:



Nombre de bonnes images sur une vidéo de 1000 images et $r_0 = 5\text{ cm}$:

- Télescope de 10 cm : 1000 (100%)
- Télescope de 20 cm : 330 (33%)
- Télescope de 30 cm : 19 (1.9%)
- Télescope de 35cm : 3 (0.3%)

- Augmenter la vitesse d'acquisition augmente le nombre de « bonnes » images acquises pendant la durée d'acquisition (20 à 45 s selon diamètre et λ).
- Idéalement, $\text{fps} = 1 / \text{temps de pose}$, soit 1000 images/s pour pose 1 ms !**
- Liaison USB3 et SSD indispensables



Combien d'images additionner?

- Dépend du diamètre de l'instrument, de la longueur d'onde, du capteur, du gain utilisé, du remplissage de l'histogramme, du seeing ...

Etre pragmatique et faire des essais !!

- En lumière blanche (K line, continuum):
 - Lunette de 150 mm : 20 à 30 images / 600 (max 5%) => Skynyx 2.1M
 - Télescope de 300 mm : 5 à 40 images sur 3800 (max 1%) => IMX174
- En lumière Ha:
 - Lunette de 150 mm : 200 à 300 images / 2700 (max 10-15%) => CMOSIS4000
 - Télescope de 200 mm : 300 à 450 images sur 3800 (max 10%) => IMX174



Combien d'images additionner?

- Pourquoi additionner des images : pour augmenter le S/B.
- Si pas suffisamment sélectif, on additionne des images de mauvaise qualité.
- Si seeing très bon, le rapport S/B augmente plus rapidement (moins d'images à additionner pour atteindre le même résultat).
- Si beaucoup de lumière, on peut également augmenter le S/B en utilisant un capteur ayant une capacité max en e- plus importante .

Capteur	S/B max (en bits)	Capacité maximale des pixels	Taille pixel	Rendement quantique à 650 nm
CMOSIS 4000	6,9	13 500 e-	5.5 μ	60%
IMX 174	7,5	30 000 e-	5.6 μ	47%

Il faut additionner X2.3 plus d'images avec le CMOSIS 4000 qu'avec l'IMX174

Le Solar Scintillation Monitor

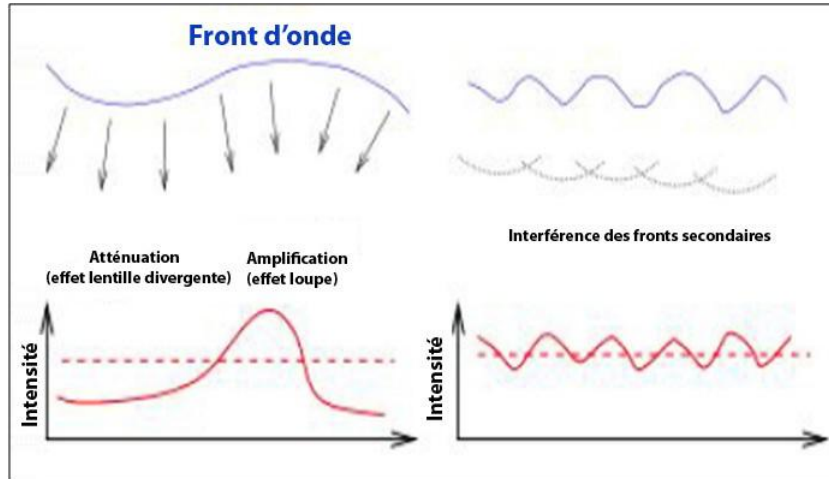


Utilisations :

- Recherche et comparaison de sites.
- Optimisation d'un site donné.
- Vérification du niveau de turbulence sans avoir à sortir le matériel.
- Déclenchement automatique des acquisitions.



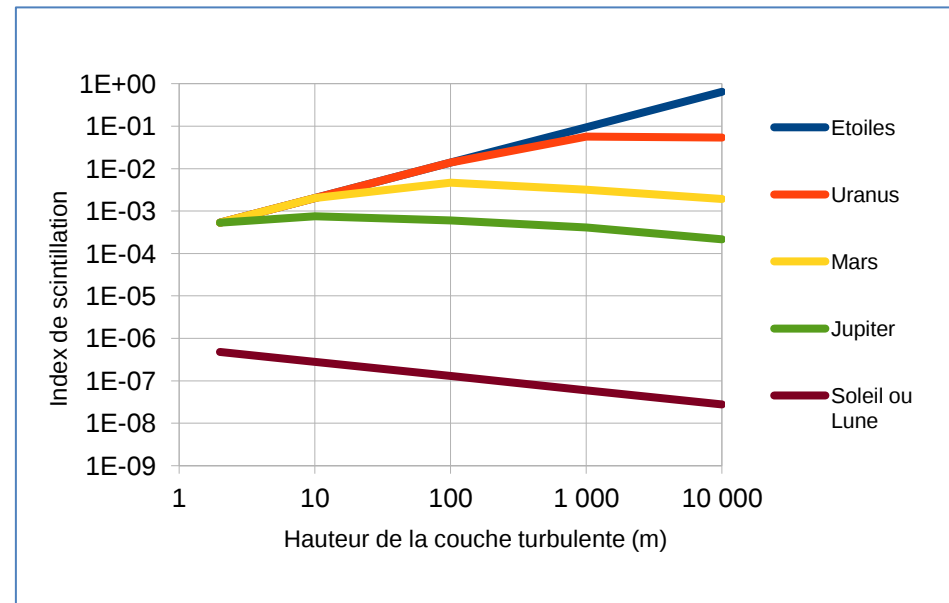
SSM : comment ça marche ?



La scintillation du soleil est corrélée avec la turbulence des basses couches atmosphériques (< 2000 m) qui sont les principales responsables de la dégradation du seeing le jour.

Comme les étoiles et les planètes, le soleil scintille (fluctuations de quelques 0.1% versus qq % pour les étoiles).

Même phénomène : ombres volantes lors des éclipses totales de soleil.



SSM : comment ça marche ?

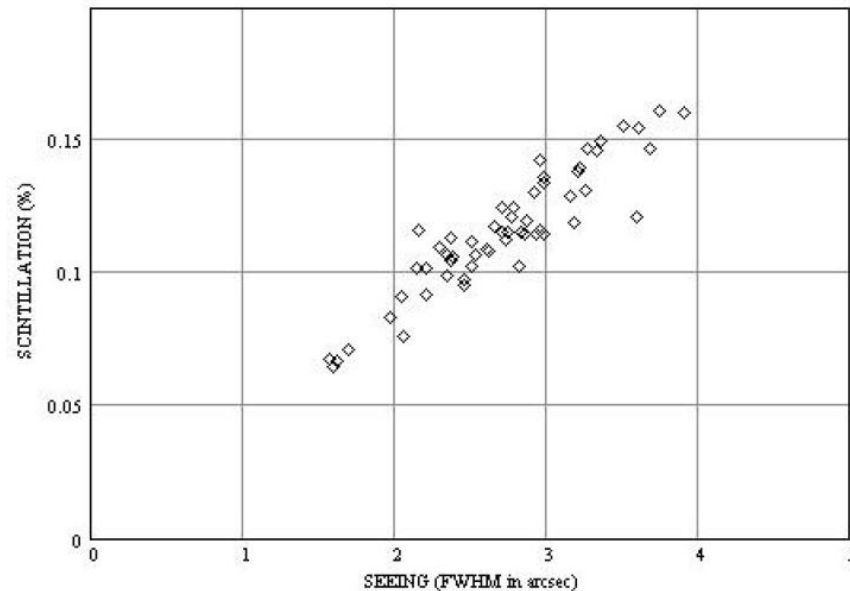
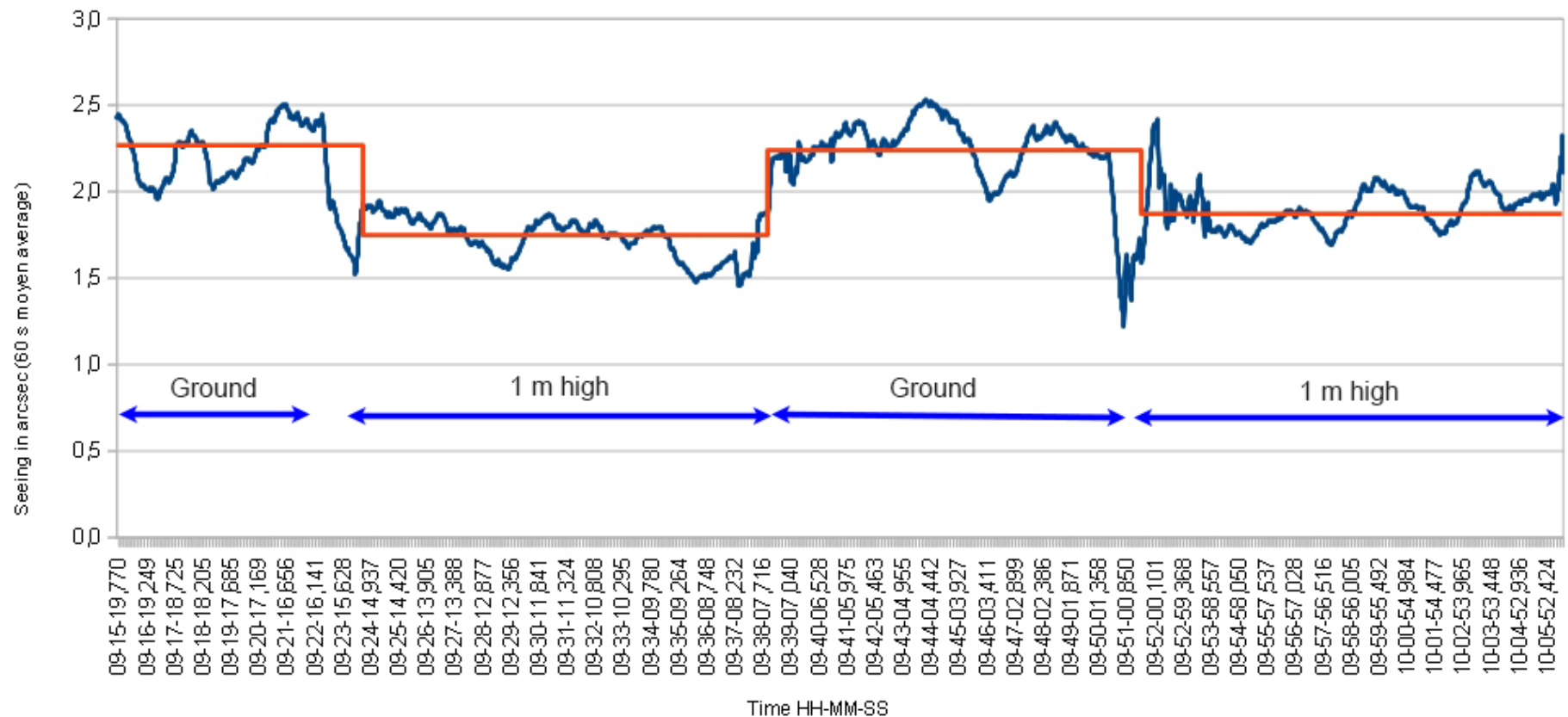


Figure 9 “Seykora” Relation Between Solar Seeing and Scintillation (Φ_I)

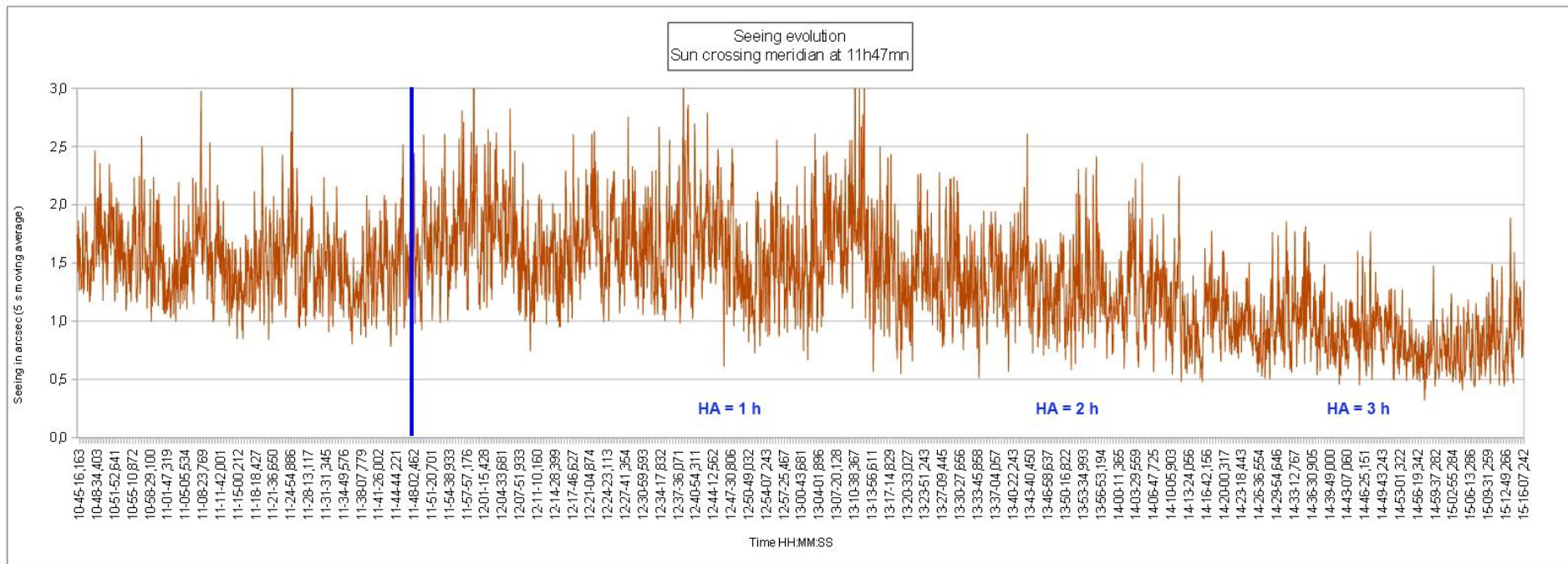
La relation de Seykora :

$$Seeing [arcsec] = K \cdot \frac{\Delta Ecl(t)}{Ecl} \text{ avec } K = 1900 \text{ arcsec}$$

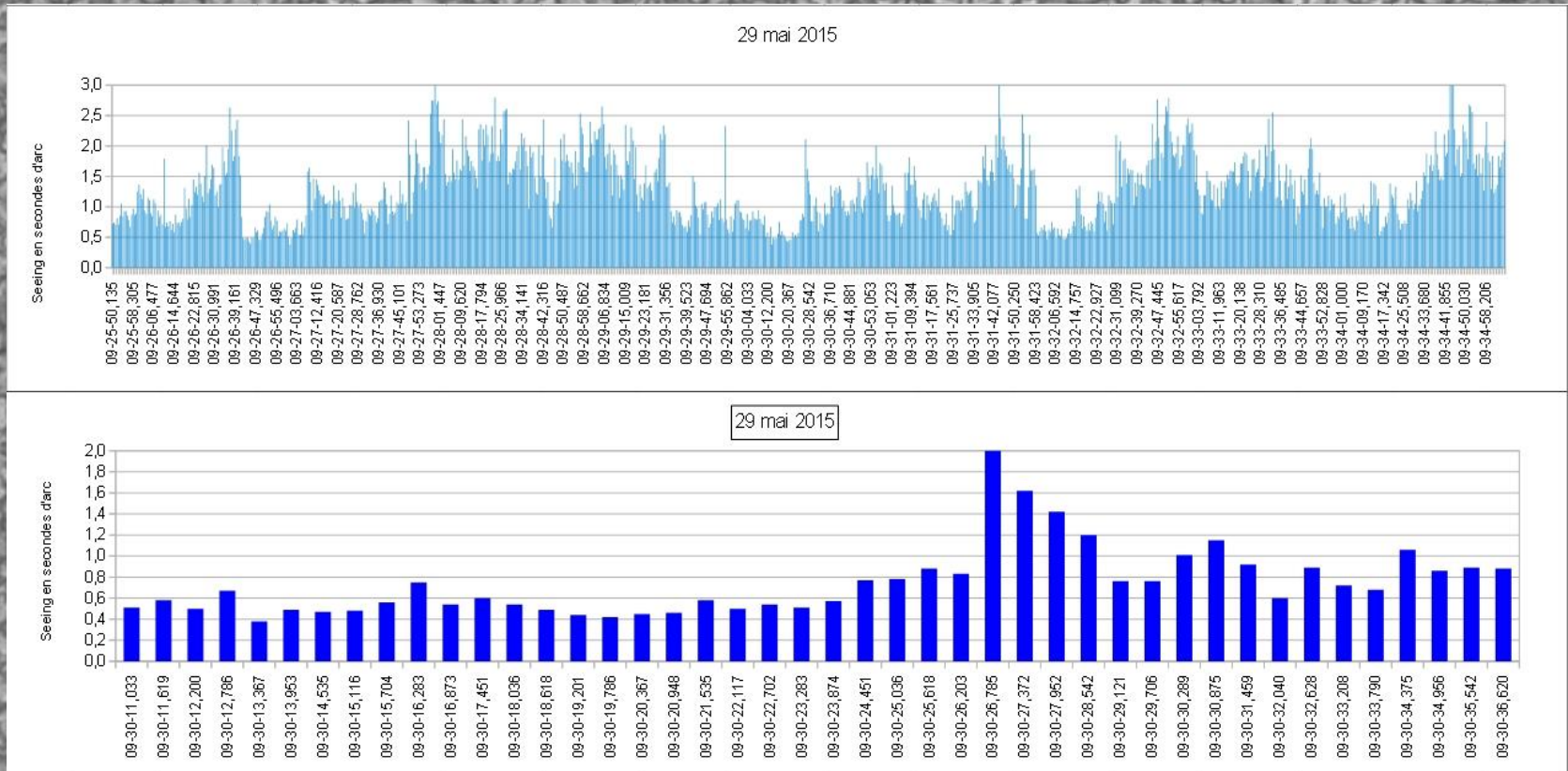
Turbulence en fonction de la hauteur



Turbulence au cours de la journée

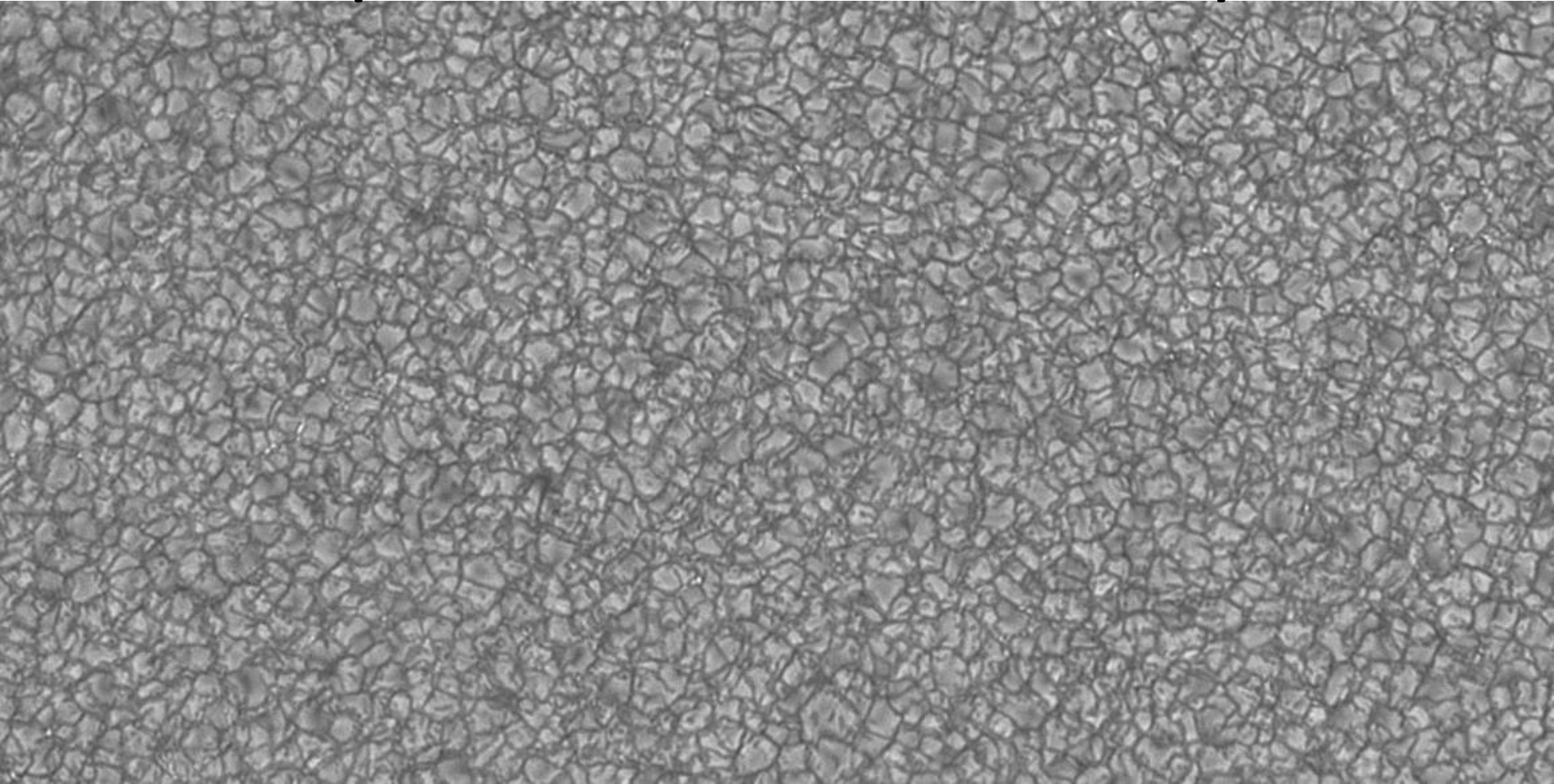


Acquisitions en automatique





Acquisitions en automatique

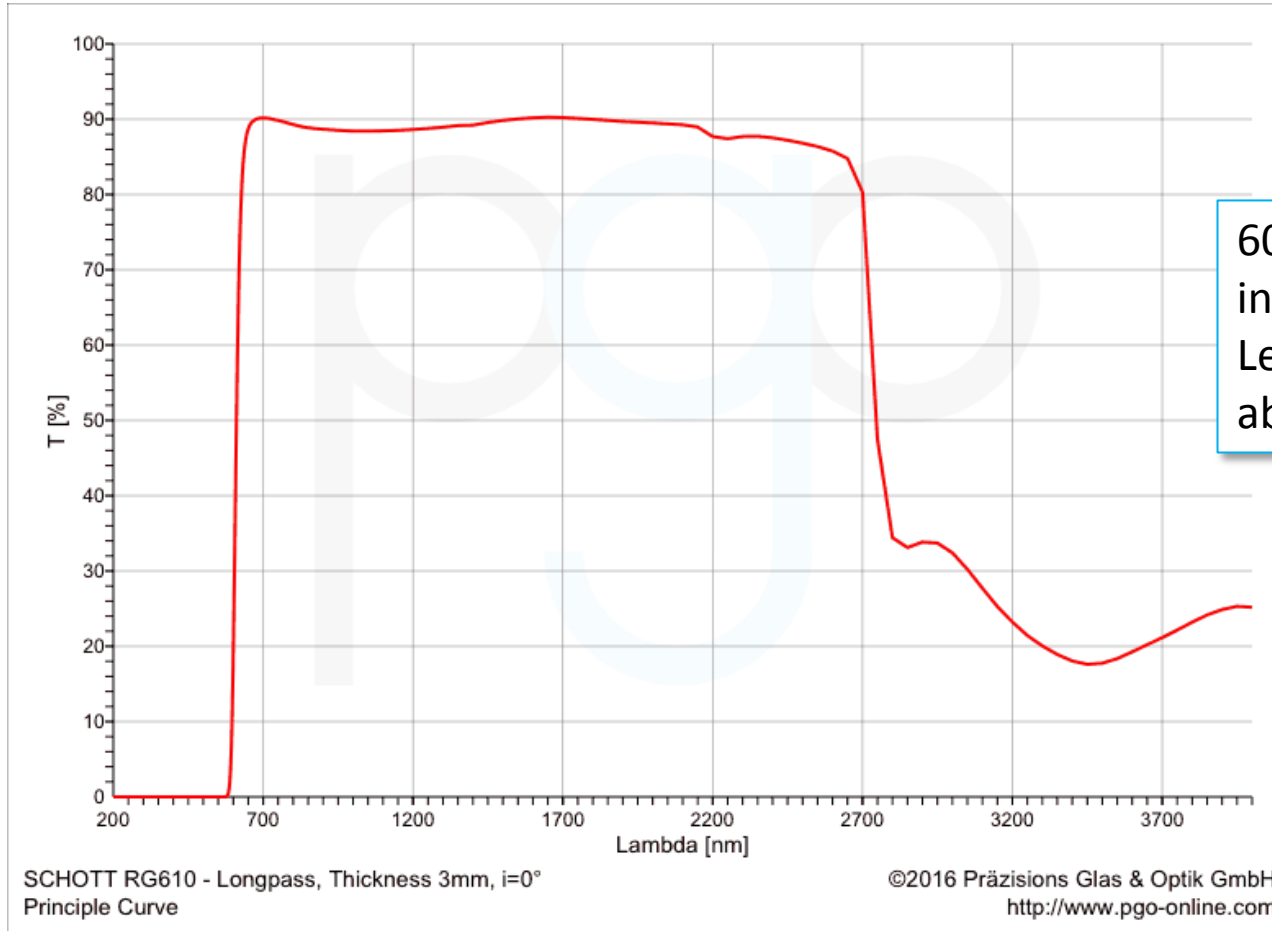


Merci de votre attention

des questions ?

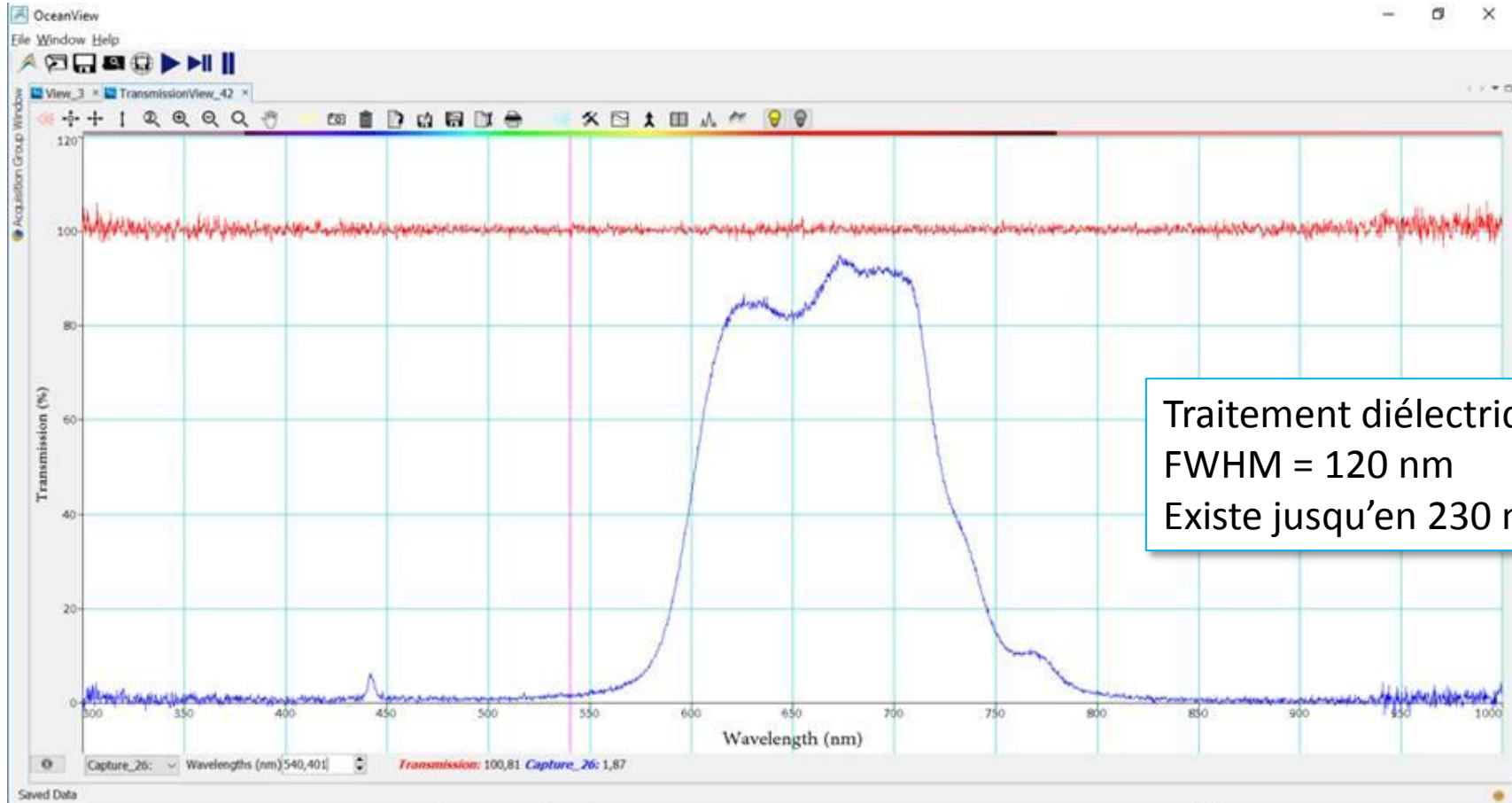
<http://www.astrosurf.com/viladrich/index.html>

ERF Daystar RG610



60% de l'énergie
incidente est transmise !!
Le verre chauffe car
absorbe les 40% ...

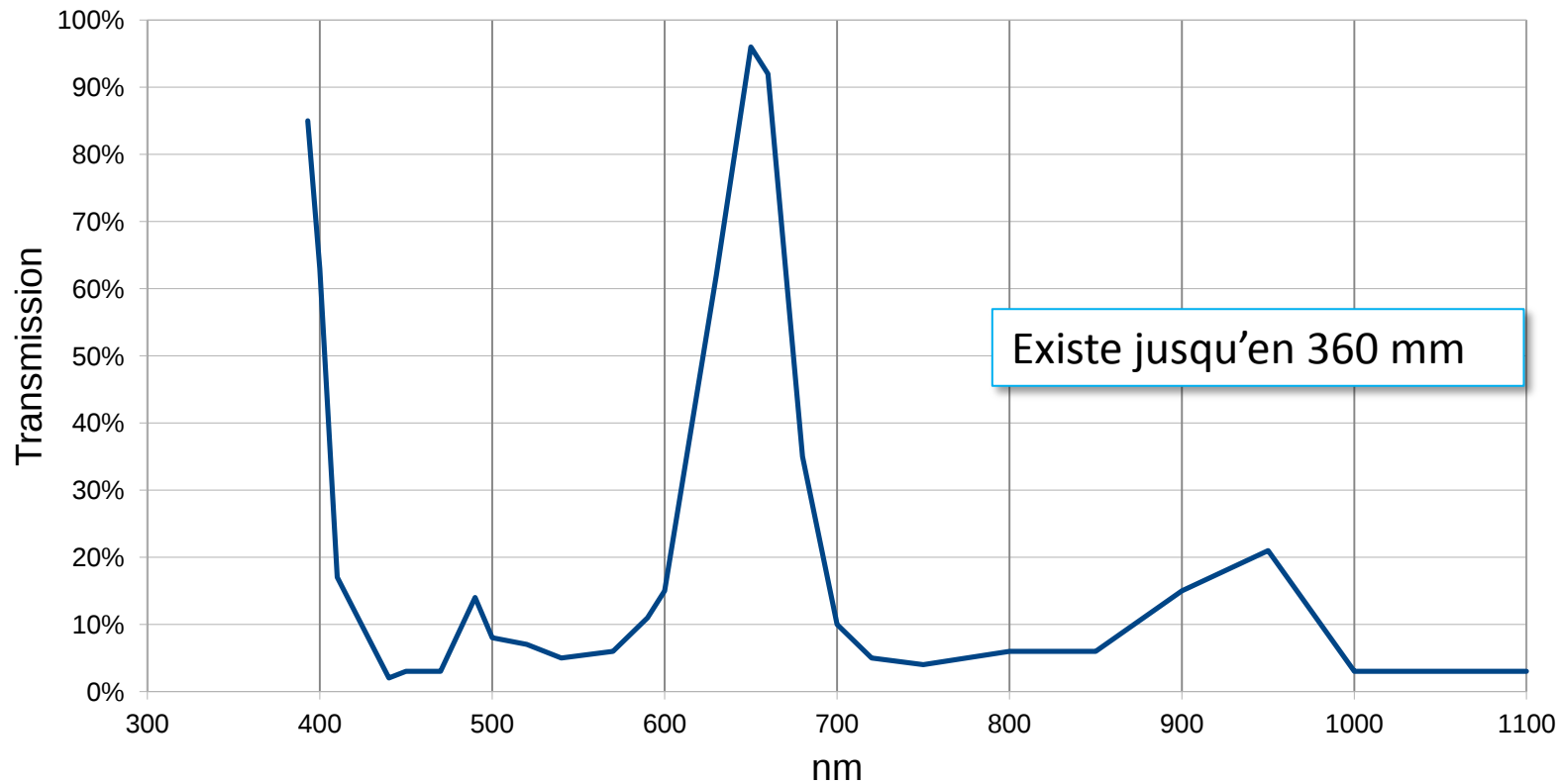
ERF AiryLab/MCM



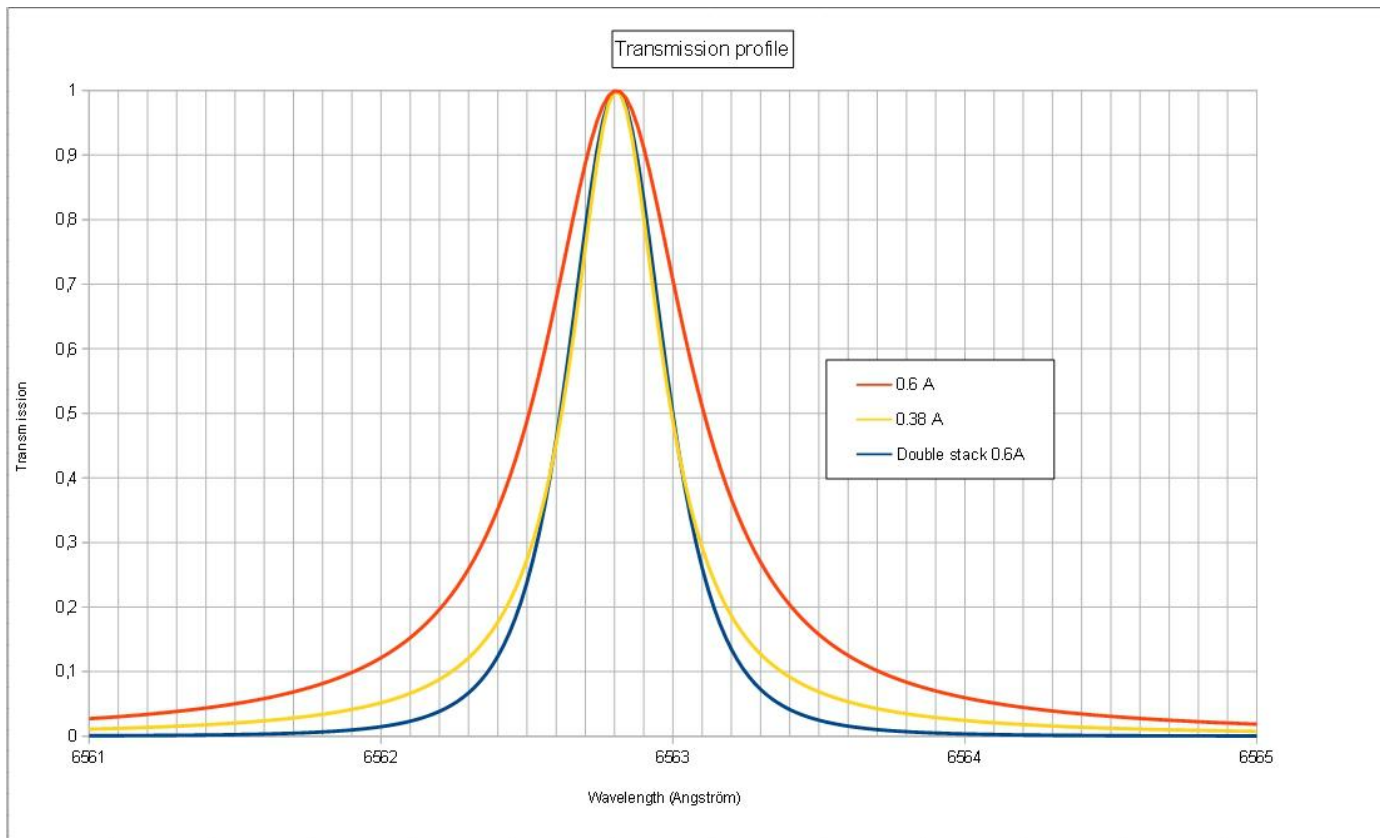


ERF Aries

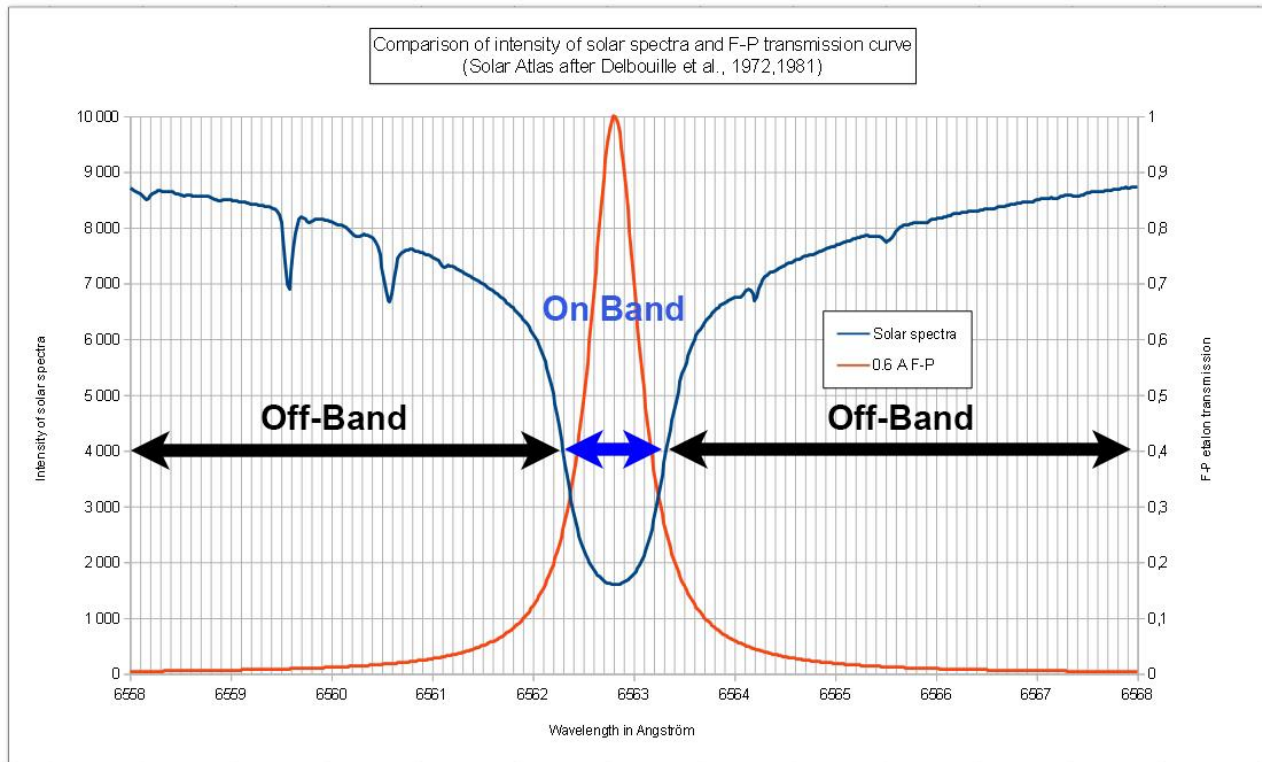
Filtre Aries ERF bi-bande



Le double stack



Le double stack



Sélectivité du filtre =

$$\frac{\text{Quantité lumière transmise dans la bande } H\alpha}{\text{Quantité de totale de lumière transmise}}$$



Le double stack

Combinaison	Sélectivité	FWHM (Å)	Largeur à T10% (Å)	Largeur à T1% (Å)
0,7 Å	42 %	0,7	2,1	7,0
0,6 Å	46%	0,6	1,8	6,0
0,5 Å	51%	0,5	1,5	5.0
0,4 Å	57%	0,4	1,2	4.0
0,3 Å	65%	0,3	0,9	3.0
0,6 Å + 1,5 Å	68%	0,53	1,3	2.8
0,6 Å + 0,9 Å	78%	0,46	1,07	2.2
0,7 Å + 0,7 Å	79%	0,45	1,03	2.1
0,6 Å + 0,6 Å	85%	0,39	0,88	1.8