

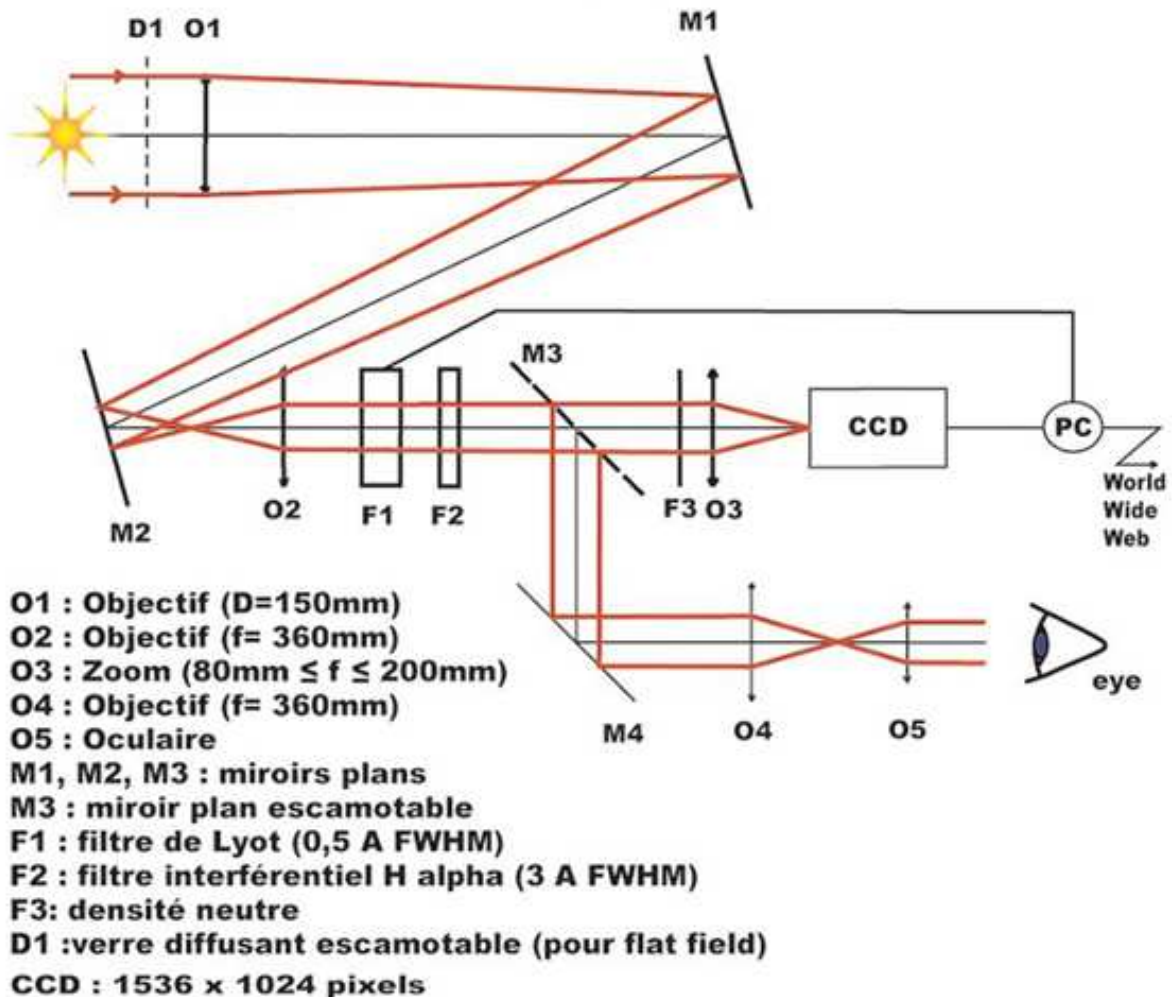
Ancien héliographe Ha de Meudon ayant fonctionné jusqu'en 2004 (instrument arrêté mais ayant produit des données enregistrées)

Fiche technique

Version 1

Auteur: Jean-Marie Malherbe, 28 Janvier 2013

Schéma optique



L'ancien héliographe Ha de Meudon est composé d'une lunette de 0.15 m d'ouverture (objectif O1) et de $f_1 = 2.250$ m de focale. Cette lunette alimente un système afocal (O2,O3) dans lequel on place le filtre thermostaté; l'objectif de sortie O3 possède une focale variable (zoom Nikon 80-200 mm ouvert à 2.8) de sorte que le grandissement du système afocal est $f_3/f_2 < 1$. On choisit $f_3=140$ mm.

1 - Dimension de l'image solaire au foyer de la lunette

Le diamètre angulaire du soleil vaut $\alpha = 9.3$ milli radians en moyenne (diamètre solaire divisé par la distance soleil terre), ou 0.53° , ou $32'$, ou $1920''$; le diamètre d de l'image du soleil au foyer est égale en sortie à $d = \alpha f_1 (f_3/f_2) =$ soit 8.1 mm (en moyenne), et 21 mm au foyer primaire.

2 - Pouvoir séparateur théorique

le pouvoir séparateur théorique vaut:

1.1 arc sec dans le rouge à 656 nm

C'est à dire bien mieux que la qualité d'image à Meudon voisine de 2 arc sec.

Les pixels étant de 9 microns, on a 1 pixel = 2.1 arc sec (sous échantillonnage d'un facteur 2)

3 - Filtre biréfringent à 2 filtres entrelacés (3 + 2 étages)

Caractéristiques principales :

filtre primaire à 3 étages (cristaux d'épaisseur e , $2e$, $4e$) avec $e = 4$ mm

filtre secondaire à 2 étages (cristaux d'épaisseur $1.5e$ et $3e$) avec $e = 4$ mm

Les maxima des deux filtres sont en coïncidence sur le coeur de la raie $H\alpha$

Les minima secondaires du filtre secondaire sont calés sur les maxima secondaires du filtre primaire

Légende de la figure de la bande passante :

Abscisse = longueur d'onde

Trait continu = filtre primaire à 3 étages _____

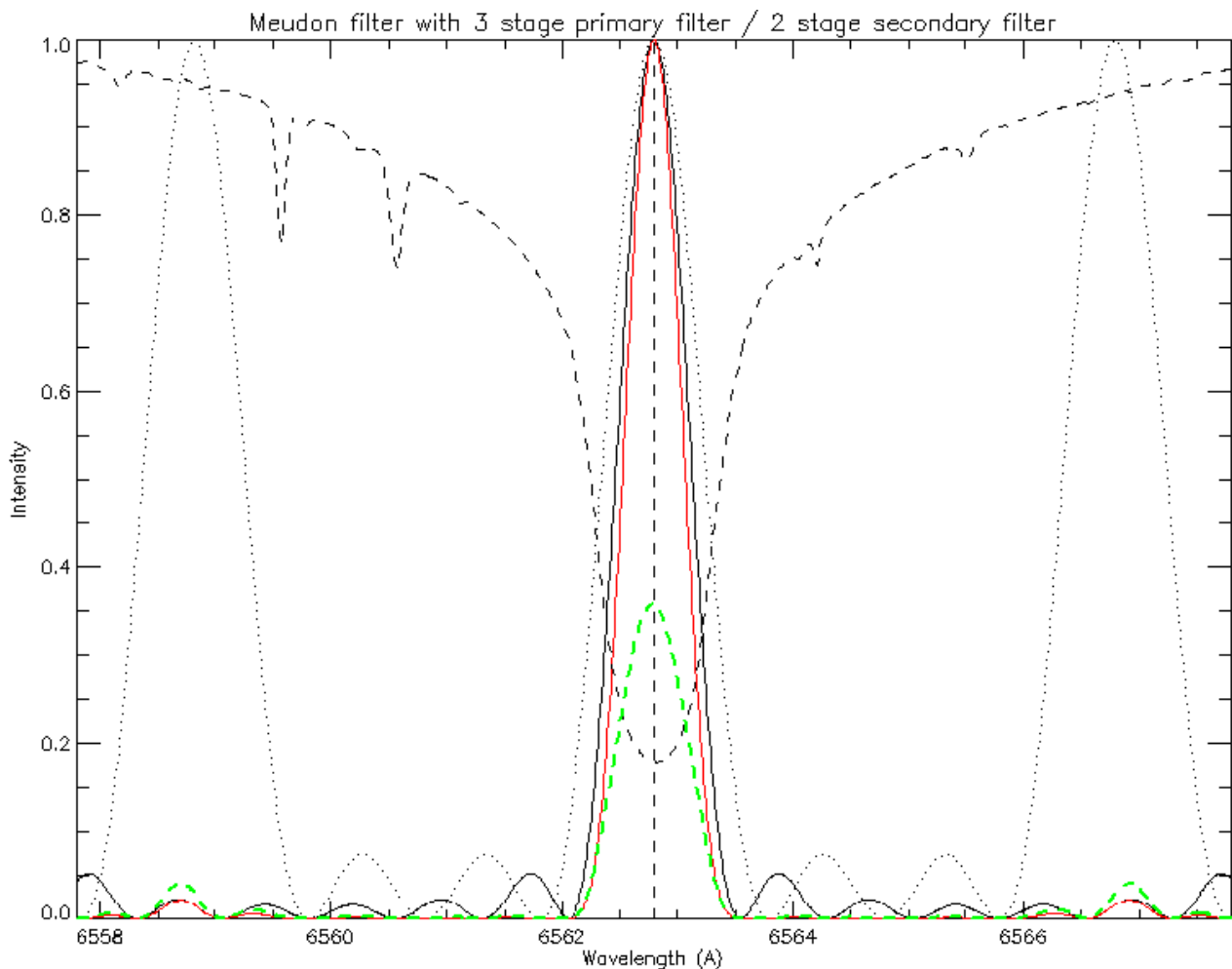
Trait pointillé = filtre secondaire à 2 étages

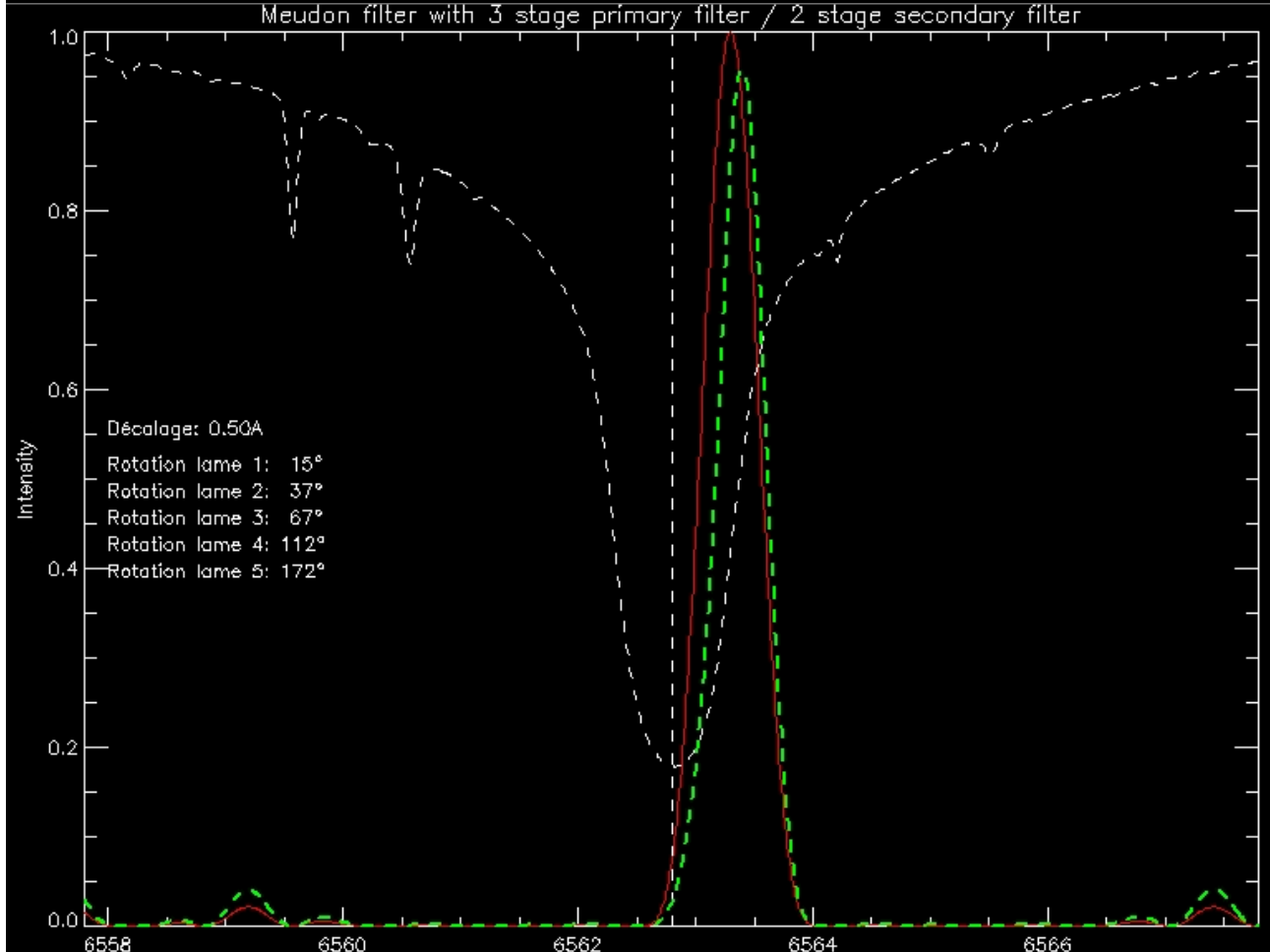
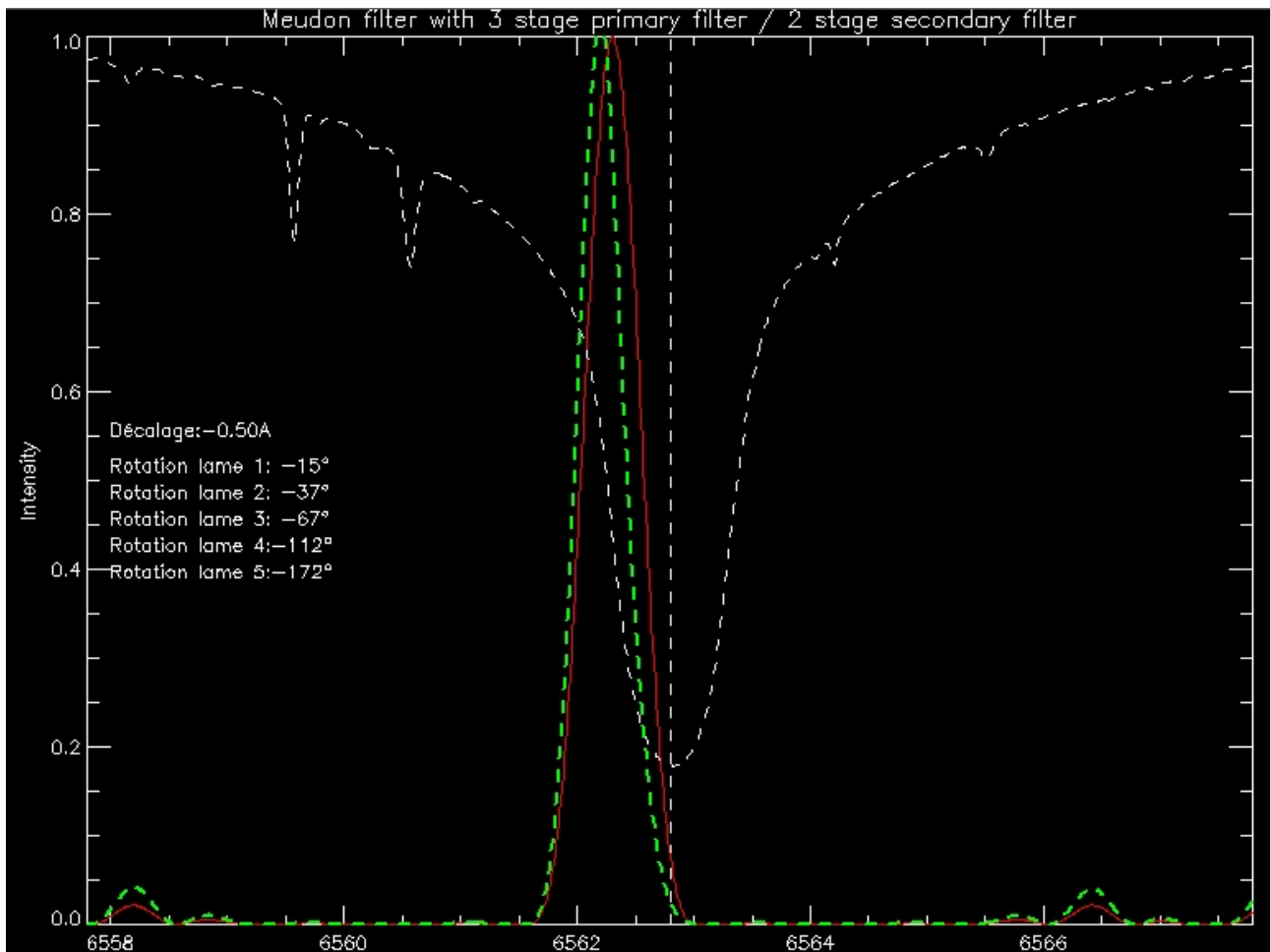
Trait continu rouge = filtre produit résultant de la combinaison primaire/secondaire _____

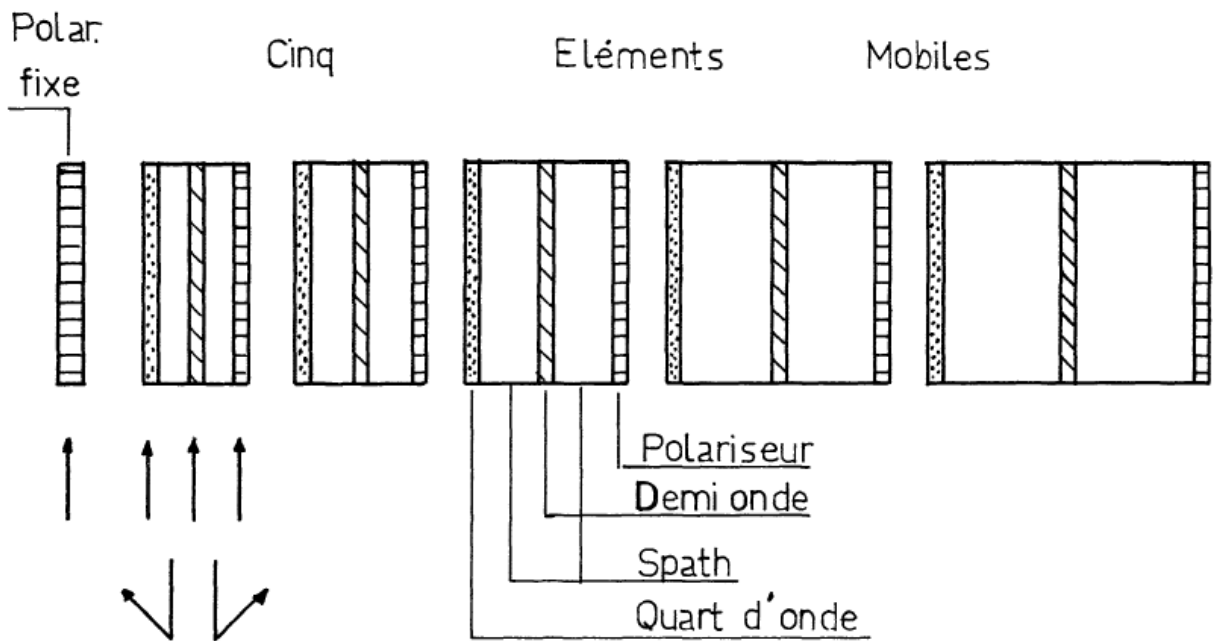
Tirets noirs = raie $H\alpha$ - - - - -

Tirets verts = raie $H\alpha$ vue au travers du filtre - - - - -

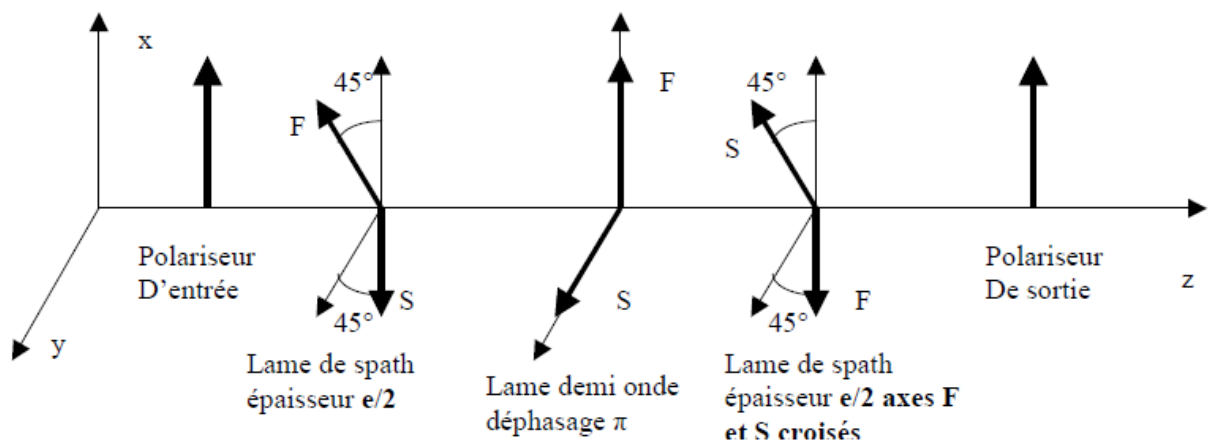
Les cannelures parasites les plus proches sont à 4 Angströms, ce qui implique une pré-filtration par un interférentiel étroit de quelques Angströms de largeur.







L'étage de LYOT à **grand champ** est basé sur l'utilisation de deux lames de spath de même épaisseur $e/2$, mais dont les axes optiques sont croisés, c'est à dire orthogonaux. L'astuce est la suivante : quand un rayon attaque la première lame sous azimuth nul, il est de $\pi/2$ pour la seconde lame, et vice versa. Pour que les retards des deux lames **s'ajoutent**, on incorpore une lame demi onde entre les deux blocs de spath (sans cette lame demi onde, les retards se retranchent).

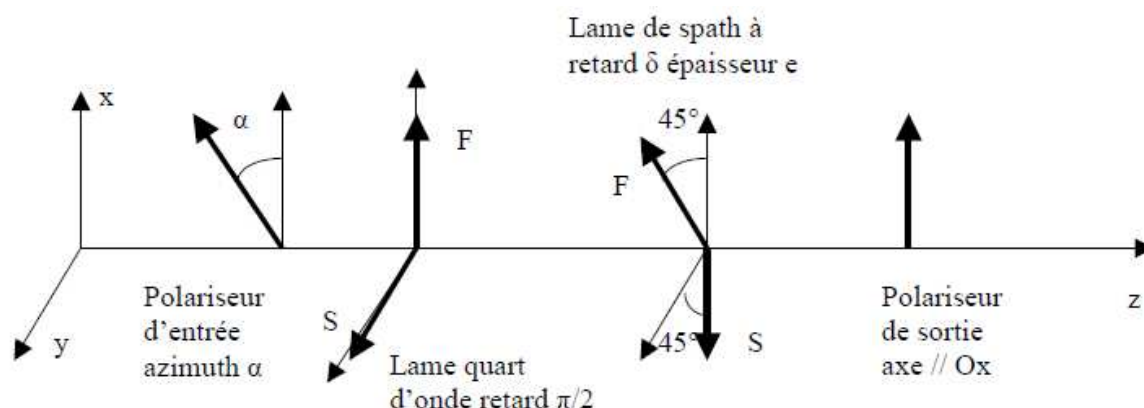
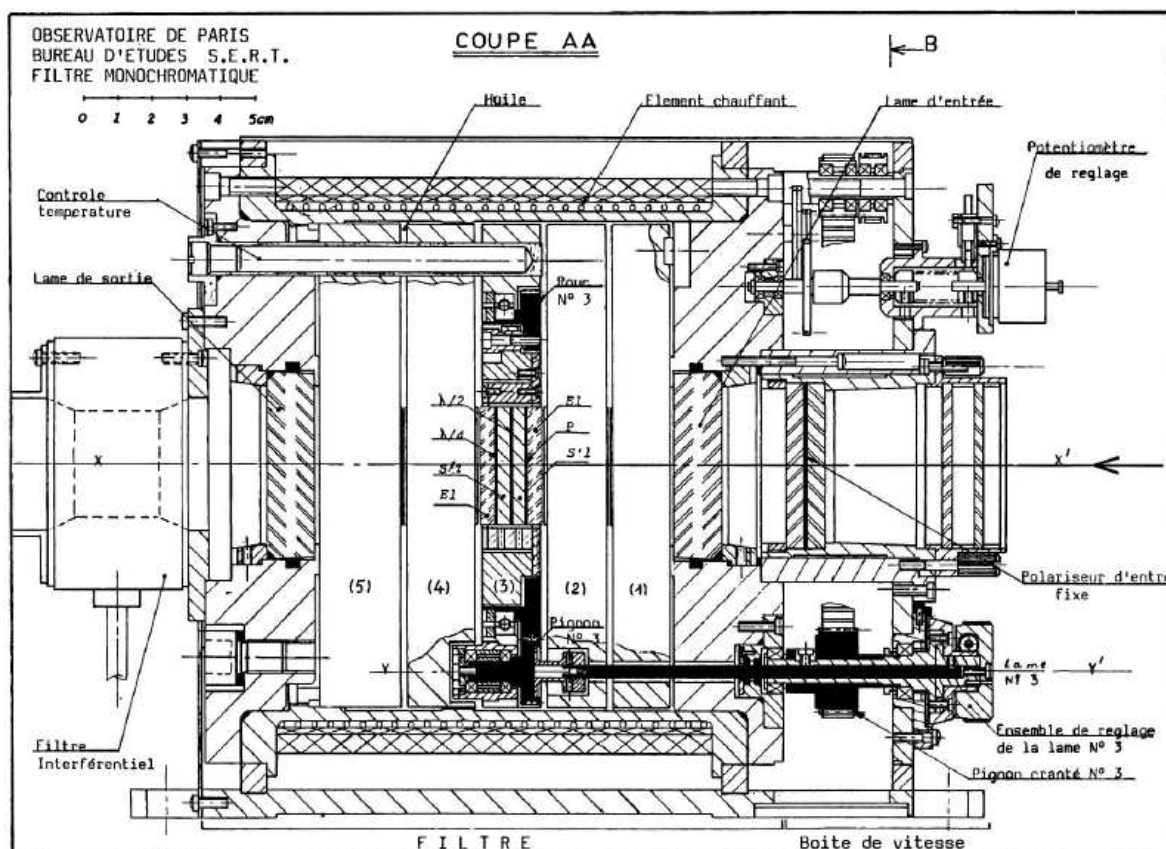


Principe de l'étage de LYOT à grand champ



Etages de LYOT à grand champ

Épaisseur des lames	Rapports	Rotations
4 191,3	1	1°
6 287,0	1,5	1 + 1,5
8 382,7	2	2,5 + 2 ou 2,5 + (1,5 × 1,333)
12 574,0	3	4,5 + 3 ou 4,5 + (2 × 1,5)
16 765,3	4	7,5 + 4 ou 7,5 + (3 × 1,333)



Etage de LYOT accordable par lame quart d'onde

La lame quart d'onde a pour effet de transformer la polarisation linéaire issue du polariseur en polarisation elliptique (circulaire si $\alpha = 45^\circ$).

On montre aisément que l'intensité émergente I est reliée à l'intensité incidente I_0 par la relation :

$$I = I_0 \cos^2(\delta/2 - \alpha) \text{ où } \delta = (2\pi/\lambda) \Delta n e, \Delta n = n_o - n_e$$

On constate donc que l'on a introduit un déphasage α par rapport à la formule de l'étage de LYOT classique $I = I_0 \cos^2(\delta/2)$. On obtient encore un spectre cannelé, et il sera aisé de déplacer les cannelures en faisant varier l'angle α . D'un étage de LYOT au suivant, α sera proportionnel à l'épaisseur de l'étage, c'est à dire en puissance de 2, comme le retard δ .

D'un point de vue pratique, le polariseur d'entrée est fixe et c'est l'ensemble de l'étage de LYOT constitué **d'une lame quart d'onde, d'une lame de spath à grand champ, et du polariseur de sortie** que l'on va mettre en rotation d'angle α à l'aide d'une mécanique motorisée.

Considérons un filtre à **n étages d'épaisseur e, 2e, 4e...** et un filtre à **m étages d'épaisseur d, 2d, 4d...** L'intensité transmise est donnée par :

$$I = I_0 \left[\frac{\sin(2n(\delta/2 - \alpha))}{2n \sin(\delta/2 - \alpha)} \right]^2 \left[\frac{\sin(2m(\gamma/2 - \beta))}{2m \sin(\gamma/2 - \beta)} \right]^2$$

où $\delta = (2\pi/\lambda) \Delta n e$ et $\gamma = (2\pi/\lambda) \Delta n d$

On choisit d et β de telle sorte que $d = k e$ et $\beta = k \alpha$ où k est un nombre réel tel que $d / e = \beta / \alpha$.

4 - Capteur CCD (hors service)

Il s'agit d'un capteur de marque KODAK KAF1600 "Front illuminated" de dimension 1536 x 1024 x 9 microns.

Spectrometric Well Capacity

85,000 electrons

Readout Noise

20 electrons at 1 MHz

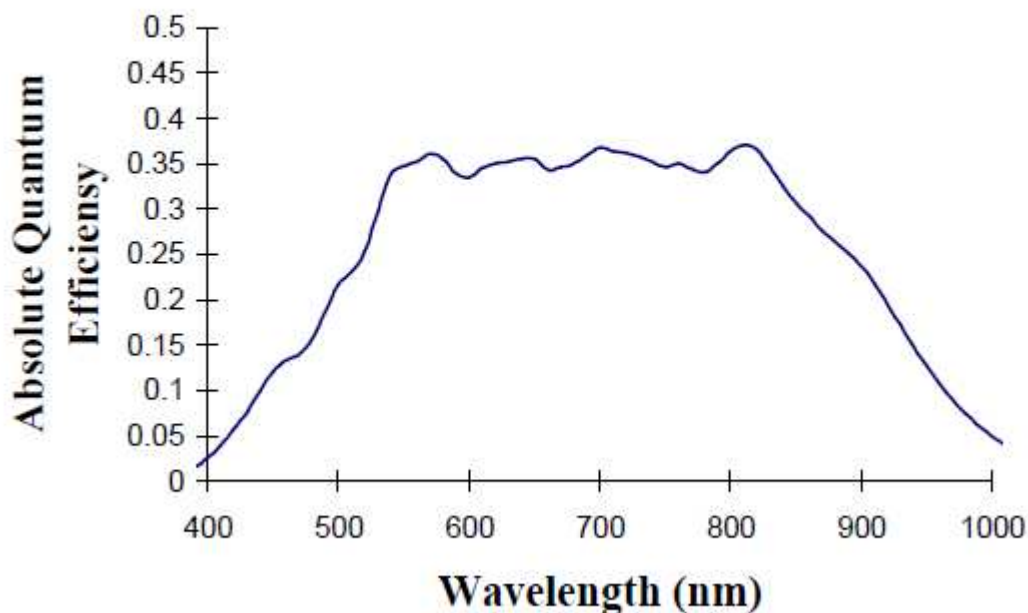
Dynamic Range 12 bits (4096 niveaux)

Operating Temperature -20°C

Scan Rate

1 MHz

KAF-1600 Spectral Response



Il fonctionne à la vitesse de 1 MHz donnant une dynamique de $85000 e / 20 e = 4000$ (12 bits), le bruit de lecture étant de l'ordre de 20 e.

A mi saturation, le rapport S/B est bon et d'environ $200 = 40000^{1/2}$

Le capteur est refroidi à -20° par un circuit d'eau et un étage Peltier, rendant le courant d'obscurité stable et faible.

5 - Contrôleur ST133 de Princeton Instruments (hors service)

Le contrôleur est relié au PC par une carte PCI et une liaison série spécifique.

6 - Electronique de commande (hors service) et thermostat

Electronique de commande TTL aujourd'hui hors service réalisée par François Colson
Thermostat réalisé par François Colson et Alain Docclo (2 identiques)

7 - Programmes d'acquisition et de traitement

A été réalisé par Jean-Marie Malherbe en Visual Basic V5 sous XP.

Il pilotait la commande du filtre et la caméra CCD. Le programme exécute WINVIEW, le logiciel de Princeton Instruments, en tâche de fond. Les images sont écrites en format FITS 12 bits.

Le traitement des données, avec film MPEG et courbe de lumière, ont été réalisés par Jean-Marie Malherbe en langage IDL.



Héliographe Ha au centre