La lunette solaire Hα

JP. Maratrey - Septembre 2011

Observer le Soleil doit s'accompagner d'énormes précautions, et une bonne connaissance de son matériel. Sauf lors d'une éclipse de Soleil et des observations publiques du Soleil, personne n'a le réflexe de regarder directement dans la direction de notre étoile.
Pourquoi lors d'une éclipse est-on tenté de diriger notre regard vers le Soleil ? Parce qu'il y a quelque chose à voir ! Et lors des observations publiques, on demande justement aux gens de le regarder !

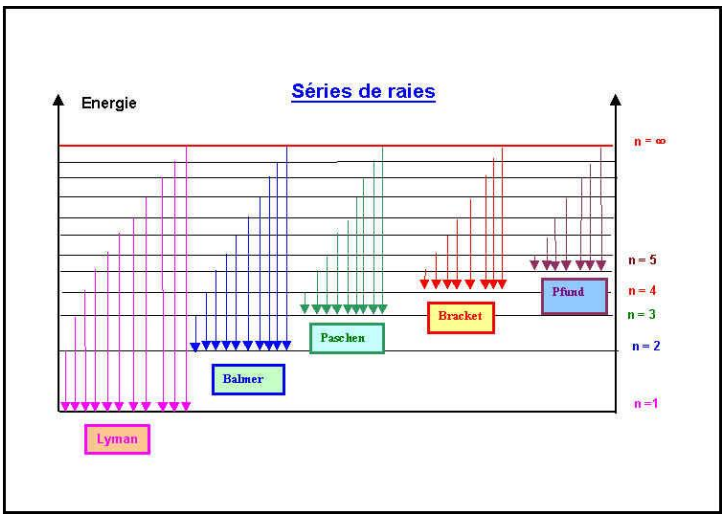
Les clubs d'astronomie connaissent bien ces problèmes, surtout avec des enfants.
Le traitement de ces précautions n'est pas l'objet de cet exposé, je n'y reviendrai que peu. Ce qui n'empêche pas de les appliquer à la lettre.

Il existe plusieurs façons d'observer le Soleil pour un amateur contemplatif : en lumière blanche, ou dans une longueur d'onde précise, bien choisie en fonction du résultat espéré.
C'est ce dernier cas qui va nous intéresser ici.
Une longueur d'onde très utilisée par les amateurs autant que par les professionnels est le Hα à 656,28 nm.

Pourquoi le Hα ?

Le Soleil est composé majoritairement (environ 75%) d'hydrogène, de symbole chimique H. Cet atome est composé d'un proton, et d'un électron qui tourne autour, dans une première approximation.
Depuis les années 1920 et la naissance de la mécanique quantique, on sait que cet électron ne peut se trouver que dans certains niveaux d'énergie notés n.
Aux températures régnant à la surface du Soleil, les électrons des atomes d'hydrogène sont très agités, et passent facilement d'un niveau d'énergie à un autre.

La figure suivante montre le classement de ces mouvements d'un niveau à l'autre. Par exemple, le passage d'un électron du niveau 2 au niveau 1 provoque l'émission d'un photon particulier, avec une énergie déterminée par la différence d'énergie de ces deux niveaux. Dans notre cas, nous obtenons graphiquement la première flèche rose à l'extrémité gauche.



De même, le passage d'un électron du niveau 3 au niveau 2 provoque l'émission d'un photon différent (première flèche bleue).

Le numéro du niveau où retombe l'électron nous donne les séries, repérées ici par une même couleur arbitraire.

La série de Lyman (retombée sur le niveau 1) est dans l'ultraviolet. Les séries de Paschen, Bracket et Pfund sont dans l'infrarouge, donc invisibles à notre œil.

La série qui nous intéresse est la série de Balmer, dont les longueurs d'ondes sont dans le visible.
La première longueur d'onde de cette série est située dans le rouge à 656,28 nm. C'est le célèbre Hα émis lorsqu'un électron passe du niveau 3 au niveau 2.
De 4 à 2, on trouve le Hβ à 486,1 nm, de 5 à 2 le Hγ à 434,0 nm, de 6 à 2 le Hδ à 410,1 nm, et ainsi de suite.

On peut remarquer que les raies d'émission de toutes les séries de l'hydrogène sont de plus en plus rapprochées et de plus en plus faibles, en passant du Hα au Hβ, du Hβ au Hγ… La limite de la série de Balmer est à 364,6 nm.

C'est la chromosphère qui est responsable de la raie en émission Hα. C'est donc cette couche que l'on observera dans cette longueur d'onde. A noter que l'observation du Soleil en lumière blanche nous montre les taches et la granulation de la photosphère. L'observation en Hα donnera une vision totalement différente de la surface.

Comme notre étoile contient énormément d'hydrogène, l'émission de la longueur d'onde en Hα sera prépondérante.

Les instruments disponibles

Les instruments solaires du commerce sont des lunettes qui ont plusieurs avantages pour l'observation du Soleil. Quels sont ces instruments ?

Trois constructeurs américains se partagent aujourd'hui le marché : Daystar filters, Meade et Lunt.

Le premier cité est aussi le pionnier dans ce domaine. La société a changé de main à plusieurs reprises, de même que son seul concurrent (Coronado) avant l'apparition de Lunt, qui a finalement été absorbé par Meade.
Le dernier, Lunt, est apparu plus récemment sur le marché.

Les trois proposent des filtres adaptables sur des instruments déjà existants chez les amateurs (et les professionnels). L'adaptation est assez compliquée, certains pièges sont à éviter.
Daystar Filters a même à son catalogue une roue à filtres qui permet de passer du Hα à la raie D du Sodium, puis à la raie D de l'Hélium, et enfin à la raie K du Calcium !
Ils proposent tous également des instruments complets (mais pour une seule longueur d'onde à la fois…), comprenant l'optique et la filtration. Nous nous intéresserons uniquement à ces lunettes complètes.

Si l'optique par elle-même ne pose pas grand problème (pas d'aberration chromatique à craindre, par exemple), la partie filtration est difficile à réaliser et repose sur plusieurs types d'adaptation de la même technologie.

Daystar filters

Daystar filters propose deux lunette de 60 mm de diamètre de 1375 mm de focale (F/D = 23), déclinées chacune en 3 modèles possédant des bandes passantes de 0,7, 0,5 et 0,3 Å[1].

SolaREDi

SolaREDi Odyssey

La différence entre ces deux lunettes se trouve dans le système de « tuning », l'ajustement précis de la longueur d'onde. Nous en reparlerons plus tard.

Meade

La célèbre marque américaine a récemment racheté la marque Coronado qui était devenue leader il y a une dizaine d'années.

Le produit phare de la marque est le Coronado PST, lunette dédiée à l'observation en Hα, à un prix abordable, très facile d'utilisation. Il est plus particulièrement destiné à l'observation. Imager avec cet instrument n'est pas simple.
Diamètre : 40 mm, focale 400 mm (F/D = 10), et bande passante de 1 Å.
Le double stack (double filtration) est possible.

Meade commercialise aussi les lunettes Solarmax, en diamètre de 60 et 90 mm.
Le 60 mm a une focale de 400 mm (F/D = 6,7) et le 90 mm une focale de 800 mm (F/D = 8,9).
La bande passante est de 0,7 Å. Le double stack est également possible.

Lunt

Lunt propose une première lunette d'entrée de gamme de 35 mm de diamètre, concurrente directe du PST.
Focale : 400 mm (F/D = 11,4), bande passante de 0,75 Å.

Le catalogue Lunt comprend une gamme étendue de lunettes : 50 mm, 60 mm, 80 mm, 100 mm, 152 mm et même 230 mm !

Diamètre (mm)	50	60	80	100	152	230
Focale (mm)	350	500	560	800	900	1600
F/D	7	8,3	7	8	5,9	6,9

Les lunettes Lunt ont une bande passante meilleure que 0,7Å. Le double stack est possible, et descend la bande passante à moins de 0,5 Å.

Voyons maintenant ce qu'apportent les caractéristiques optiques de ces lunettes.

[1] Angström. 1 Å = 0,1 nm = 0,0000000001 m = 10^{-10} m

Diamètre de l'objectif

Que l'objectif soit une lentille - simple ou multiple - ou un miroir, son pouvoir de résolution, c'est-à-dire la taille du plus petit détail visible, est limitée par son diamètre et dépend de la longueur d'onde de la lumière. Ce pouvoir de résolution peut se calculer simplement avec cette équation :

$$r = 1{,}22\frac{\lambda}{D}$$

où r est le pouvoir de résolution en radians
λ la longueur d'onde observée
D le diamètre de l'objectif exprimé dans la même unité que la longueur d'onde

En fonction du diamètre, on trouve les valeurs suivantes de r, avec une longueur d'onde de 656,28 nm (nous avons vu pourquoi cette valeur) :

Instrument	Lunt 35	PST	Coronado ou Lunt 60	Lunt 80	Coronado 90	Lunt 100	C8 (non Hα)	C11 (non Hα)
D en mm	35	40	60	80	90	100	200	280
r en " d'arc	4,7	4,1	2,8	2,1	1,8	1,7	0,8	0,6
km sur le Soleil	3 400	3 000	2 000	1 500	1 330	1 200	600	430

La dernière ligne donne la taille du plus petit détail observé au centre du disque du Soleil.

On note qu'il est inutile, pour l'observation amateur du Soleil, dans nos régions (partie nord de la France), d'avoir un diamètre d'instrument supérieur à 90 mm, le plus petit détail étant alors limitée non pas par le pouvoir de résolution de l'optique, mais par la turbulence atmosphérique souvent égale ou supérieure à 2".

Dans un excellent ciel, on pourra néanmoins apprécier les lunettes de plus grand diamètre. Attention, les prix s'envolent. La Lunt de 230 mm coûte aujourd'hui (septembre 2011) environ 18 000 € !

Focale et rapport F/D de la lunette

Comme pour tout autre instrument astronomique, la focale influera sur la taille de l'image donnée par l'ensemble, et reprise par l'oculaire.
Le rapport F/D mesure la luminosité de la lunette, mais ici, il faudra tenir compte du système de filtration.
A noter que les systèmes Daystar Filters ne fonctionnent qu'avec des rapports F/D très grands (20 à 30). Les autres marques ont pu surmonter cette exigence des bandes passantes très fines nécessaires.

Comment ça marche ?

Si chacun de nous connaît le fonctionnement optique de la lunette, il n'en est pas toujours de même pour la partie filtration.

Les filtres les plus courants sont des filtres interférentiels multicouches. On connaît les OIII, les Hβ et autres UHC et Deep Sky… Ils ont une bande assez large. Un filtre Hα Astronomics ou Astrodon a une bande passante de quelques nm, pour les meilleurs, 3 nm. C'est largement insuffisant pour détecter les protubérances ou les détails de la chromosphère.
Il est donc nécessaire de passer à une autre technologie pour descendre à une bande passante inférieure à 0,1 nm (1 Å).

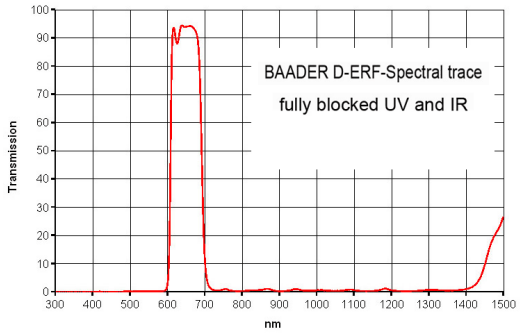
Tous ces instruments décrits succinctement ci-dessus possèdent la même architecture de filtration.
Ils possèdent au moins les éléments suivants :

- Un filtre de réjection d'énergie (ERF)
- Un filtre étalon Fabry-Perot (FP)
- Un filtre bloquant (FB)

Voyons d'un peu plus près.

Le filtre de réjection d'énergie (ERF)

Le rôle de ce filtre interférentiel est d'éliminer une grande part de la lumière pénétrant dans la lunette. Il se place toujours avant la lentille frontale de la lunette. Il limite ainsi l'échauffement du reste de la lunette.
Sa bande passante est assez large, autour du Hα naturellement.



Voici par exemple la courbe de transmission du filtre Baader, avec une bande passante de 80 à 100 nm.

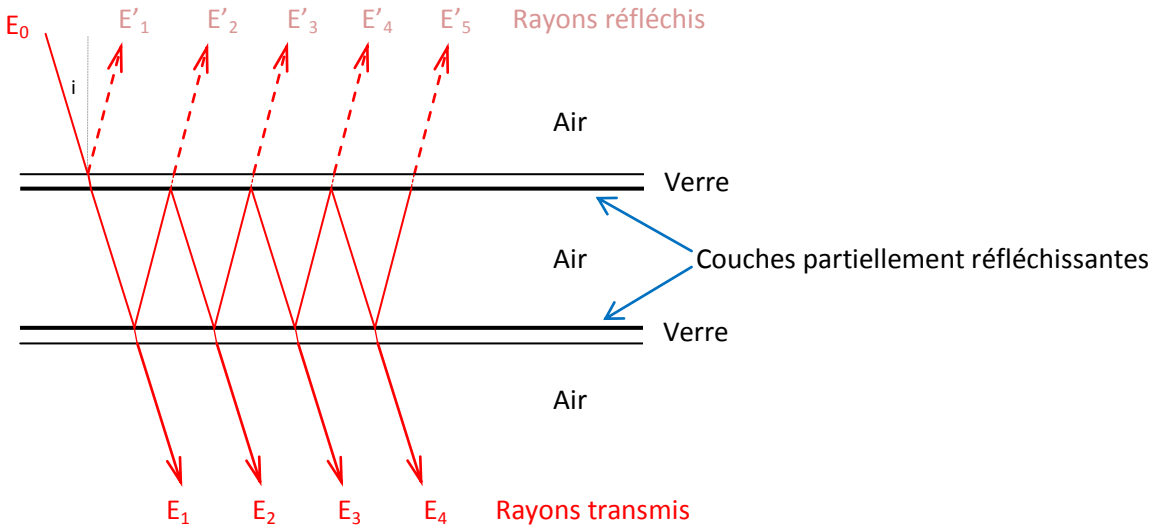
L'ERF élimine également le rayonnement UV et IR, afin de bien protéger nos précieux yeux.

Une fois cette première sélection faite, voyons comment fonctionne l'étalon Fabry-Perot.

L'étalon Fabry-Perot

Il se place entre l'ERF et le renvoi coudé, qui contient généralement le BF, soit juste derrière la lentille frontale, soit plus loin, devant le renvoi coudé.

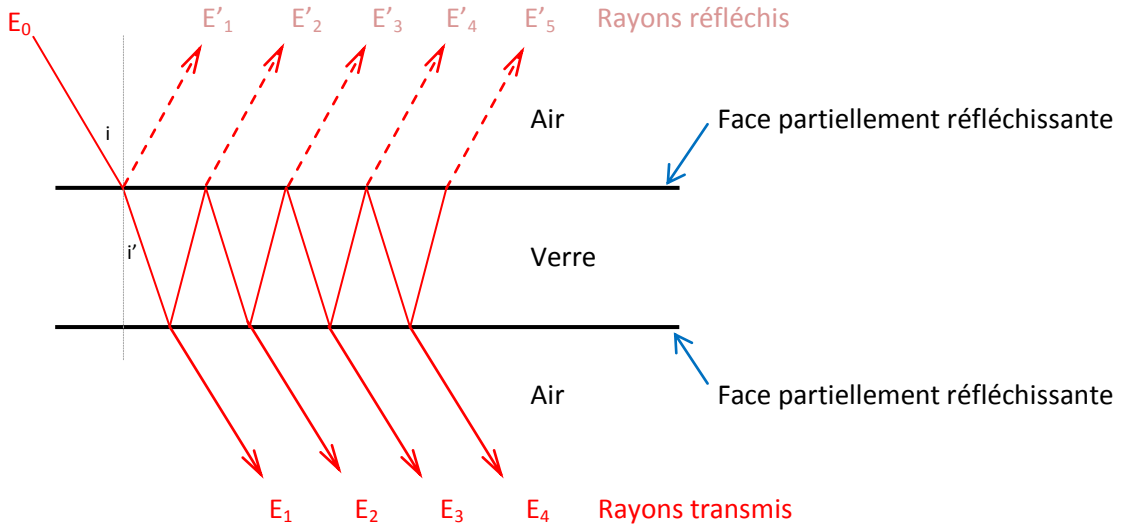
Un étalon Fabry-Perot est composé de deux lames en verre partiellement réfléchissantes et parallèles. La couche réfléchissante est située vers l'intérieur des deux lames. C'est un « résonateur optique », un peu comme un laser.
C'est lui qui va sélectionner la longueur d'onde précise du Hα à 656,28 nm.
Imaginons un rayon de lumière monochromatique incident E_0 arrivant sur la première lame avec un angle i.
Une petite partie est réfléchie et perdue (E'_1). Le reste traverse la première lame. Selon les lois de Descartes, il va subir une première translation, et sortira de cette première lame dans la même direction. Il franchit l'espace entre les deux lames et arrive sur la deuxième lame réfléchissante. Une partie traverse la lame, le reste est réfléchi, et revient sur la première lame, laquelle le renvoie sur la deuxième, se divise en deux encore une fois, et ainsi de suite.



Après de multiples réflexions, chacun des rayons sortant voit sa phase décalée, car chacun a une longueur de parcours différente.

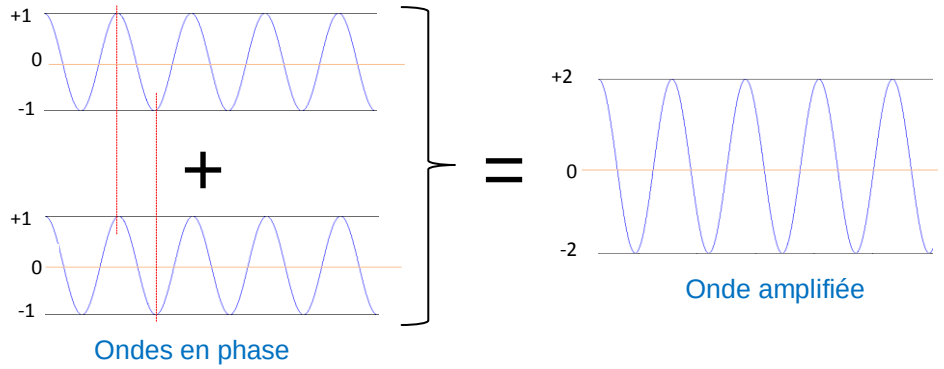
L'étalon Fabry-Perot solide

Il existe aussi des étalons Fabry-Perot dits « solides ». Dans ce cas, le Fabry-Perot est un cylindre étroit transparent dont deux faces opposées sont partiellement réfléchissantes. Il n'y a pas d'air entre ces deux faces. Le résultat est le même qu'avec deux faces parallèles séparées par de l'air : les rayons transmis n'ont pas effectué la même distance et vont interférer entre eux. Contrairement au Fabry-Perot classique, le rayon entrant dans le verre subit une seule réfraction selon les lois de Descartes.

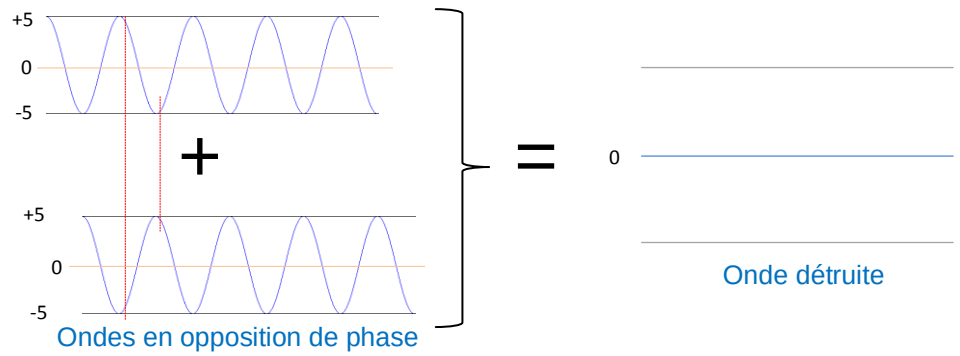


A la sortie de l'étalon, tous ces rayons interfèrent entre eux.

La lumière peut être considérée comme une onde sinusoïdale comme schématisé ci-dessous.
Deux ondes sont dites « en phase », si leurs maximums et leurs minimums correspondent.



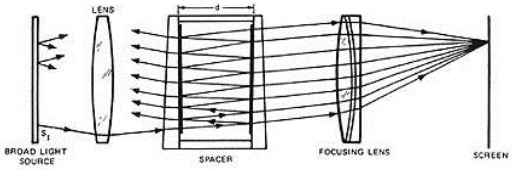
Elles sont en « opposition de phase » si un maximum correspond à un minimum, et inversement.

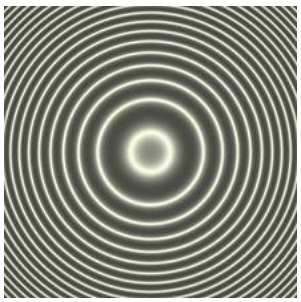


Dans le premier cas, deux rayons en phase vont s'additionner. Il y aura amplification.
Dans le second cas, les intensités des deux rayons vont s'annuler, et le résultat sera une absence de lumière.

Comme la phase de chaque rayon varie progressivement entre phase et opposition de phase, nous obtiendrons en sortie une alternance de lumière et d'absence de lumière.

Avec ce montage, qui comprend un jeu de lentilles pour focaliser l'interférence sur un écran, le résultat est représenté par des cercles de lumière concentriques, séparés par des plages noires :



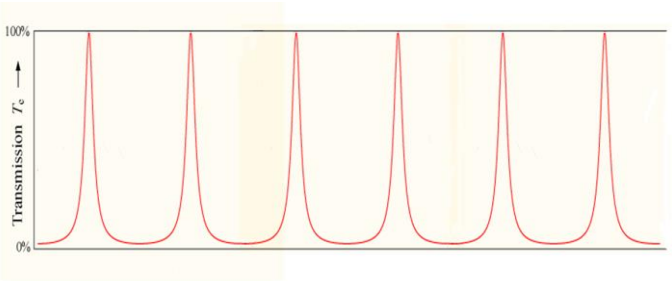


Ce résultat est obtenu avec une lumière monochromatique.

Que se passe-t-il si la lumière incidente est blanche, c'est-à-dire composée d'un mélange de toutes les longueurs d'ondes ?

Toutes ces longueurs d'ondes vont interférer entre elles. En choisissant correctement l'écartement entre les deux lames ou les deux faces du Fabry-Perot, certaines longueurs d'ondes vont s'additionner lorsqu'elles seront en phases, d'autres vont disparaître car en opposition de phase.

L'analyse du résultat nous donnera ce graphique donnant l'intensité de la transmission en fonction de la longueur d'onde. Nous y observons une succession de pics sous forme de franges comparable au dessin d'un peigne.

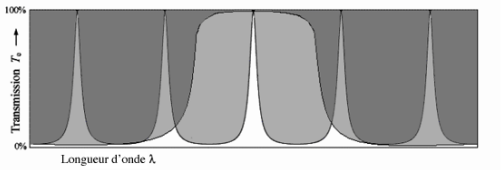


<u>Le filtre bloquant</u>

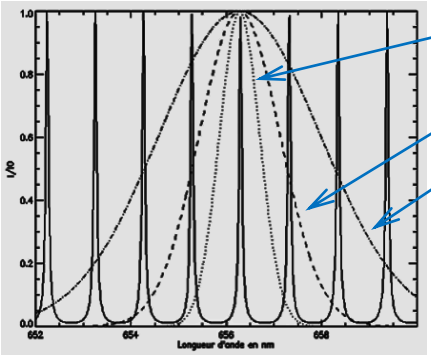
Le filtre bloquant est généralement combiné avec un renvoi coudé.

Il a pour but d'éliminer les pics ne correspondant pas à la longueur d'onde recherchée. Il sera interférentiel, avec une bande assez large, mais évidemment beaucoup moins large que l'ERF. Ce sera généralement un second filtre FP moins fin, avec une largeur de pic plus grande (6 Å chez Coronado et Lunt, sachant que les franges du FP sont espacés de 10 Å), associé à un très bon filtre coloré ou interférentiel multicouches, chargé de ne transmettre que cette bande large à 656.28 nm.

Le FB ne sélectionne qu'une dent du peigne.



On voit sur ce graphe l'effet de la finesse du filtre bloquant. Son diamètre a aussi son importance. Il doit être adapté à la focale de l'instrument pour éviter le vignettage en photographie.



Le filtre bloquant ne laisse passer qu'un pic (qu'une seule dent du peigne). Efficace.

Le filtre laisse passer une grande partie des 2 pics adjacents.

Le filtre est peu discriminant. Il laisse passer d'autres longueurs d'ondes parasites.

En sortie donc de notre lunette, nous avons une seule et unique longueur d'onde. Encore faut-il qu'elle soit bien celle du Hα…

<u>Comment ajuster au mieux la longueur d'onde ?</u>

La valeur centrale et la largeur des ERF et FB sont fixes par constructions.
Elles sont centrées sur 656,28 nm.

C'est le Fabry-Perot qui permet l'ajustement fin.

En effet, plusieurs caractéristiques du FP peuvent être réglées. En premier lieu l'écartement des lames réfléchissantes ou l'épaisseur du cylindre solide. Cette caractéristique est également fixe et établie d'usine pour capter le Hα. Dans certains interféromètres Fabry-Perot, l'écartement des lames peut être réglé. Mais pour un FP solide, faire varier l'épaisseur entre les deux surfaces réfléchissantes oblige à changer le cylindre.
Nous pourrons jouer sur deux autres caractéristiques.

<u>La première est la température.</u>

En reprenant le graphique déjà montré des trajets des rayons lumineux dans le FP dit solide, nous remarquons que l'angle i' est fonction de l'indice de réfraction du verre contenu entre les deux faces réfléchissantes. Or cet indice varie avec la température, selon la nature du verre, qui est choisi pour cette qualité.

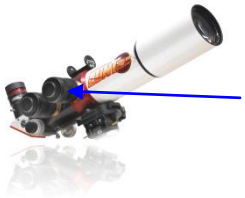
En faisant varier la température, on va décaler les dents du peigne, continument vers la droite ou vers la gauche.

C'est une des solutions mises en œuvre chez Daystar Filters, qui nécessite un moyen de chauffage, et donc une alimentation électrique externe.

<u>La seconde est l'angle d'incidence des rayons entrants.</u>

Cette variation de l'angle d'incidence s'obtient en inclinant le FP qui n'est alors plus exactement perpendiculaire à l'axe optique de la lunette. Cette solution est la plus largement utilisée par les trois constructeurs cités.

Chez Coronado, nous trouvons depuis peu un levier de commande de cette inclinaison (« tilt » en anglais).
Ce levier remplace la molette des modèles précédents.

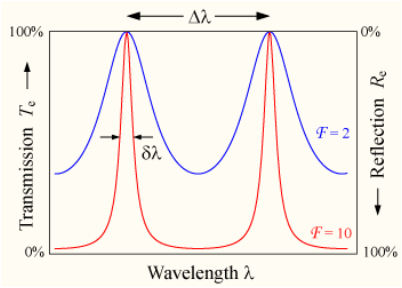


Chez Lunt, le système d'inclinaison du FP est plus sophistiqué et plus précis.
Un piston perpendiculaire au tube vient compresser l'air situé sur un côté du FP. L'inclinaison est ainsi contrôlée avec plus de précision que la simple molette ou le levier.

La finesse du Fabry-Perot

Revenons sur le graphe en peigne :

$\Delta\lambda$ est l'intervalle entre deux pics
$\delta\lambda$ est la largeur du pic à mi-hauteur



Typiquement, $\Delta\lambda$ est de l'ordre de 10 Å, et $\delta\lambda$ est inférieur à 1 Å.

La « finesse » $\boldsymbol{F}$ d'un FP est le rapport $$F = \frac{\Lambda\lambda}{\delta\lambda}$$

L'efficacité d'un filtre se mesurera à sa finesse. Plus elle est élevée, plus le filtre est discriminant et fin. Cette valeur n'est jamais donnée par les constructeurs. Dommage…

$\delta\lambda$ est aussi la bande passante du filtre, et doit être de l'ordre de 0,7 à 1 Å pour l'observation des protubérances. Pour l'observation de la surface, elle est plus faible : 0,3 à 0,7 Å. Plus elle est faible, et plus les détails de la chromosphère seront contrastés.

Les contraites du Fabry-Perot

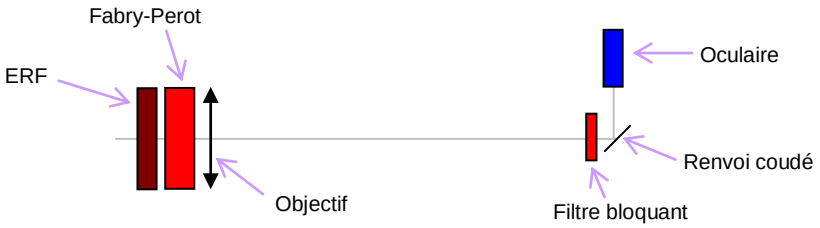
Précision

La planéité des lames ou des faces, leur parallélisme et leur état de surface doivent être très précis : moins d'un centième de la longueur d'onde (mieux que $\lambda/100$) ! Cette contrainte à elle seule explique le coût élevé de ces filtres. Et ils seront d'autant plus chers que le diamètre du filtre sera grand.

Parallélisme

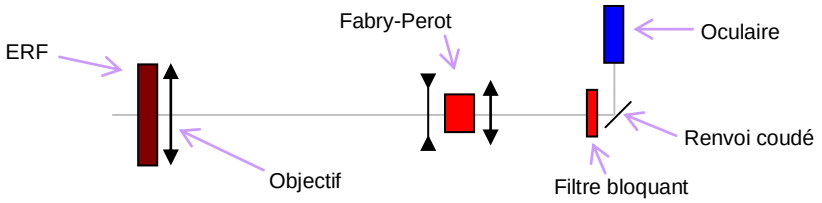
Pour fonctionner correctement, les rayons arrivant sur le FP doivent être parallèles. Dans le cas contraire, la longueur d'onde varie du centre au bord du champ en sortie. Autrement dit, le contraste diminuera du centre à la périphérie (ou l'inverse selon le réglage du FP. Dans tous les cas, le contraste du champ ne sera pas homogène).

Coronado résout ce problème en plaçant le FP devant la lentille frontale. Ainsi, les rayons frappant la lunette traversent d'abord l'ERF, puis le FP, puis la lentille frontale (là, les rayons sont déviés), et enfin le FB inclus dans le renvoi coudé. Cette méthode est très efficace vis-à-vis de cette contrainte, mais le prix de l'ensemble s'en ressent d'autant plus que le diamètre de la lunette est grand.



Afin de diminuer les coûts, Le **Coronado PST** et les lunettes **Lunt** utilisent un autre moyen, et placent le FP après l'ERF et la lentille frontale, juste avant le renvoi coudé.

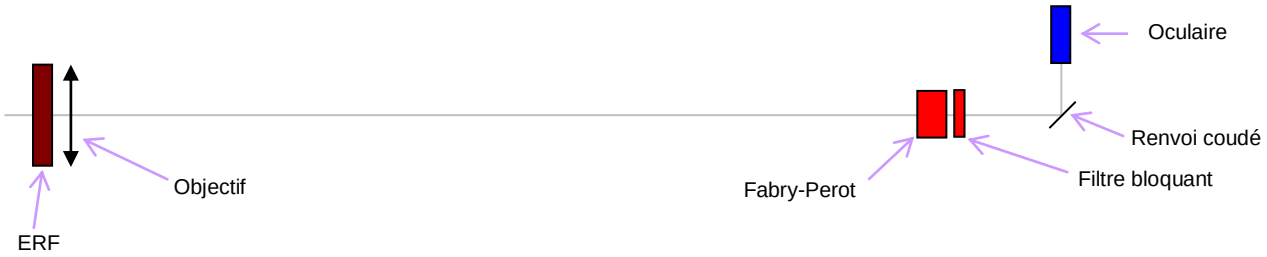
Mais pour rendre le faisceau parallèle, qui ne l'est plus après l'objectif (convergent), un système optique est ajouté au filtre : une lentille négative (divergente) est placée à l'entrée du FP de sorte que les foyers de cette lentille et de l'objectif coïncident. Ainsi le faisceau attaquant le FP devient parallèle. En sortie, une lentille positive (convergente) redonne la convergence initiale de l'objectif.
Plus le FP est loin de l'objectif, plus il pourra être petit, et le prix avec.



Chez **Daystar Filters**, le FP est placé à l'arrière de l'instrument. Son diamètre est ainsi plus petit, ainsi que le coût. Par contre, le faisceau entrant n'est plus parallèle à ce niveau.

La solution consiste à travailler avec un rapport F/D élevé. Dans ce cas, la convergence des rayons est suffisamment faible pour couvrir correctement l'ensemble du champ.

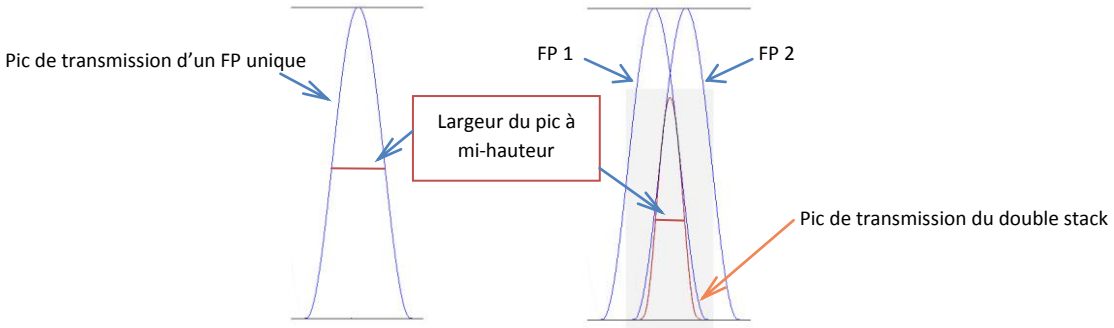
C'est pourquoi la lunette de cette marque, la SolaREDi a une focale élevée (1375 mm) pour un diamètre de 60 mm, donnant un rapport F/D de 23.



Les filtres Daystar Filters adaptables sur des lunettes existantes doivent travailler à un F/D de 30. Cela s'obtient par l'usage de lentilles de Barlow, ou en diaphragmant l'objectif, hors axe pour les télescope, ou de façon concentrique pour les lunettes astronomiques. Comme pour la lunette dédiée, les filtres adaptables se placent juste avant le renvoi coudé.

Le double stack

Ce terme anglo-saxon (double pile ? intraduisible…) désigne un montage consistant à mettre en série deux étalons Fabry-Perot.
Quel est l'avantage ?
Si le système est bien réglé, il permet de réduire la bande passante de l'ensemble. Les bandes passantes qui sont typiquement de 0,7 Å avec un Fabry-Perot unique, descendent à 0,5 voire 0,3 Å avec le double stack.



En réglant les 2 Fabry-Perot à des longueurs d'ondes très légèrement différentes et partiellement superposées, le pic transmis a une largeur plus petite.
L'autre conséquence est une baisse de l'intensité du pic. On gagne donc en contraste d'image, mais on perd en luminosité. L'image est moins brillante.

Les réglages de la lunette

Focale de l'oculaire

La focale de l'oculaire sera fonction du champ à observer. Pour avoir la totalité de la surface solaire, le champ doit être d'au moins 30/35'. On calcule ce champ en divisant le champ de l'oculaire par le grossissement, lequel grossissement est le rapport des focales de l'instrument et de l'oculaire. Tout ceci est connu, et le calcul est le même que pour une observation classique nocturne.

La monture

Contrairement au coronographe, qui doit obligatoirement suivre la course du Soleil sous peine d'être aveuglé par un décalage du cône obstructeur, la lunette solaire n'a pas besoin d'un suivi rigoureux pour garantir la sécurité de l'œil. C'est le confort de l'observation qui est amélioré par un suivi correct de la monture et par sa stabilité.
La monture doit être sur un suivi solaire, différent du suivi stellaire.

Mise en station

Importante pour la photographie la mise en station est difficile de jour. Si possible, il sera utile d'effectuer la mise en station de nuit sur l'étoile polaire, par bigourdan... Généralement, une mise en station approximative à la boussole permet une approche suffisante en visuel.
Une autre technique consiste à repérer de nuit la position exacte des trois montants du pied, et de la reproduire de jour. Le résultat reste approximatif, mais suffisant en visuel.

Mise au point

Une fois la mise en station faite, le stade suivant est la mise au point. L'ajustement de la longueur d'onde se fera ensuite.
Généralement, la mise au point se fait sur le bord du Soleil, ce qui permet également de juger de la turbulence. Mais un filament bien contrasté fait aussi bien l'affaire.

Ajustement de la longueur d'onde

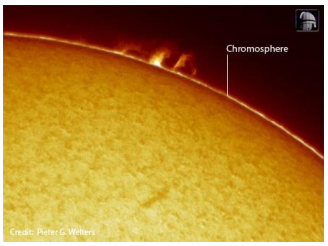
Se fait après la mise au point. Selon la lunette, cet ajustement doit se faire soit en ajustant la température, soit en ajustant la pression (Lunt) soit en jouant sur le levier de commande de l'inclinaison du FP.
Dans tous les cas, il est important d'attendre la stabilisation de la température de la lunette. On a vu l'importance de la température sur le comportement du Fabry-Perot.
Si l'équilibre thermique ne peut être atteint, ce qui arrive fréquemment, il faut jouer en permanence avec ce réglage.

Observation

Afin d'éviter l'excès de luminosité de l'environnement extérieur, il est recommandé, pendant l'observation, de couvrir sa tête avec un linge épais, noir, à la manière des photographes des débuts de la photographie.

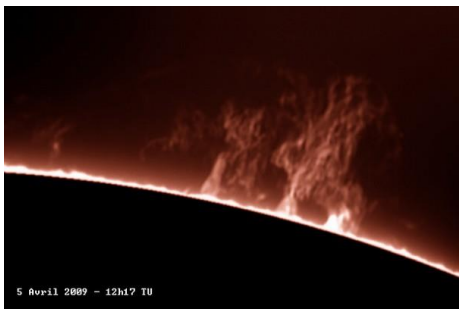
Nous allons maintenant voir très succinctement les principales structures observables avec une lunette solaire Hα.

La chromosphère



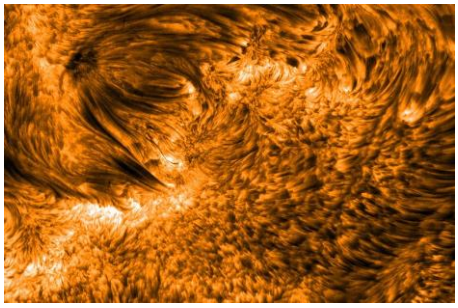
C'est elle qui émet de grandes quantités de radiations Hα. Elle est située au-dessus de la photosphère (que l'on observe en lumière blanche) et très changeante.
Plus la bande passante du filtre sera faible, meilleur sera le contraste, et plus faible sera la luminosité de la surface. Le double stack s'applique particulièrement bien à l'observation et à la photographie du globe.
La chromosphère est cette couronne lumineuse visible sur le bord du Soleil.

Les protubérances



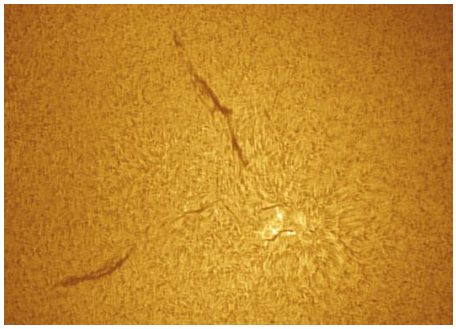
Ce sont ces jets de matière solaire, de faible densité mais émettant fortement en Hα. Elles ne sont visibles que par contraste avec le fond du ciel environnant (la couronne encore plus faible).
Leur luminosité est beaucoup plus faible que la chromosphère et elles évoluent rapidement.
La bande passante du filtre ne doit pas être trop faible (0.7 à 1 Å est une bonne valeur) sous peine de les voir disparaître lorsqu'elles s'approchent ou s'éloignent de l'observateur (par effet Doppler, la longueur d'onde du Hα est décalé).

Les spicules



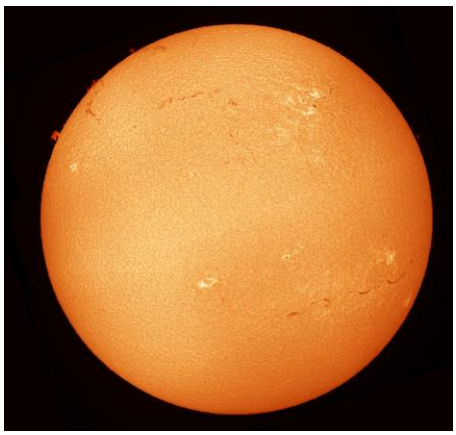
On peut observer ces jets fins et rectilignes de matière, dans les zones non actives du limbe. Elles dominent la chromosphère et durent environ 15 minutes.
Ce sont d'énormes tubes de matière de la taille de la France qui s'élèvent jusqu'à 10 000 km au-dessus de la chromosphère à grande vitesse.
Les spicules sont également observables sur le disque solaire, à très haute résolution, autour des taches solaires.

Les filaments



Sur la périphérie du disque, ce sont des protubérances. Sur le disque, les filaments apparaissent plus foncés sur la surface du Soleil, car la matière y est plus froide. Ce sont des éjections de matière qui s'étendent jusque dans la couronne.
La matière suit les lignes de champ magnétique.

Les facules



Les facules sont ces zones brillantes sur le disque solaire. Elles sont plus chaudes que le reste de la surface.
En lumière blanche, elles sont plus visibles près du limbe, en raison de l'obscurcissement des bords du Soleil.
Elles sont présentes près des régions actives, ou près des régions actives en cours de formation.
Les facules peuvent durer plusieurs jours ou dizaines de jours.