Guide de l'observation solaire

Que peut-on voir sur le Soleil ?

par Xavier Dequévy

www.astroevasion.com

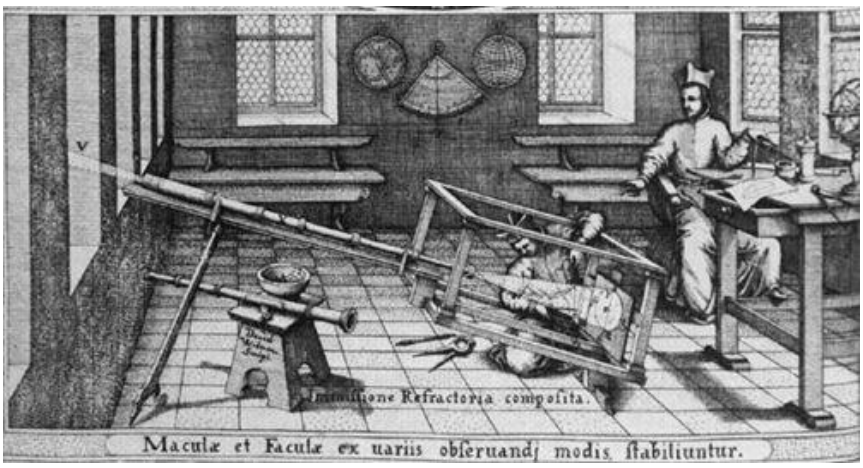
1 – Histoire de l'observation solaire

Le Soleil est l'étoile centrale de notre système solaire. Il est en est actuellement au milieu de sa vie, brille depuis plus de 4,6 milliards d'années et a été observé par les premiers hommes. D'après les connaissances actuelles, les premiers récits d'observations des taches solaires datent de deux siècles avant Jésus-Christ.

Ce sont les Chinois qui ont, pour la première fois relatés des taches sur le Soleil. Il est impossible de pouvoir percevoir ces taches à l'œil nu sauf dans des cas très particulier comme des brumes lors du lever ou du coucher du Soleil. La Chine a aussi une particularité climatique avec de grandes plaines sur lesquelles il y fait souvent brumeux mais elle est aussi en bordure du désert de Gobi qui apporte à certaines saisons des tempêtes de sable qui obscurcissent le ciel et rende l'observation du Soleil possible à l'œil nu.
Un dernier élément rend ces observations encore plus difficiles car le pouvoir séparateur de notre œil est de l'ordre de la minute d'arc alors que le diamètre apparent du Soleil est de l'ordre de 32 minutes d'arc. Pour qu'une tache soit observable, elle doit être très grosse pour être vue à l'œil nu. Ceci n'arrive que de rares fois.

Pour pouvoir évaluer les connaissances dans ces temps anciens, il nous faut des écrits. En chine, durant ces périodes, l'observation du ciel et l'astronomie d'une manière plus générale est faussée par l'état d'esprit. Les croyances divines avaient le dessus sur la sciences. Des taches sur le Soleil était plutôt un mauvais présage et il était donc de mauvais goût que d'écrire l'observation de celles-ci. Des observations ont certainement eu lieu en grand nombre mais très peu d'entre elles ont été mentionnée dans des documents écrits.

Les premières observations occidentales de ce phénomène sont souvent accordées à Galilée en 1612. Or, il n'en est rien, il s'agit du jésuite allemand Christoph Scheiner qui réalisa les premières observations en les ayant écrites dans un recueil. Celles-ci sont datées de 1610, soit deux ans avant Galilée. Celui-ci, sans avoir la primeur de la découverte aura tout de même été le premier à comprendre le phénomène et à l'interpréter grâce aux observations réalisées par d'autres.
Durant de nombreuses années, les deux brillants scientifiques se sont querellés sur la paternité de cette découverte. Lors du procès de Galilée, Scheiner ira jusqu'à rédiger des documents à charge pour faire du tort à son rivale. Scheiner fera aussi d'autres découvertes. Il serait le premier à mettre en œuvre la monture équatoriale.

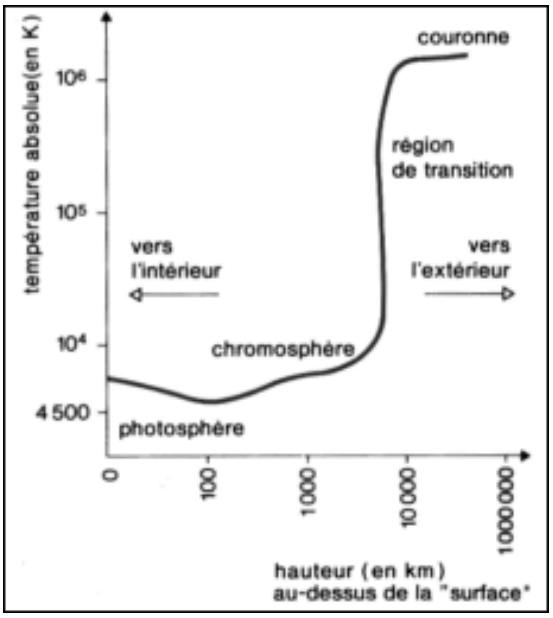


Durant cette période, en France, il ne se passait rien d'intéressant car elle était en guerre avec l'Espagne et l'Allemagne. Il faudra attendre la fin de la guerre de trente ans pour arriver en 1660, le règne de Louis XIV et la montée en puissance de la France en Europe. En 1666, Colbert va créer l'académie des Sciences et faire construire l'Observatoire de Paris pour y faire venir les plus grands savants de l'époque. Le premier sera le Néerlandais Christian Huygens, suivi par Jean-Dominique Cassini et bien d'autres.

Cette période entre 1615 et 1665 aura été très pauvre en observations. Les raisons sont certainement l'instabilité en Europe mais aussi car les taches solaires ont été plus rares dû à une période de minimum dans son activité.

2 – Que peut-on observer sur le Soleil ?

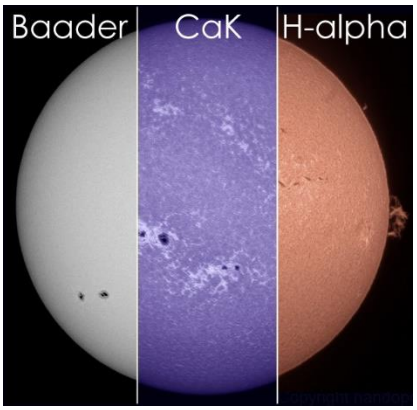
Lorsque l'on observe la Terre depuis l'espace, on peut apercevoir les formations montagneuses, les mers et océans … ce qui constitue la surface du globe terrestre. Il est aussi possible de discerner les brumes et brouillards ainsi que la couche nuageuse qui recouvre une partie de la Terre.



Le Soleil est une énorme sphère de gaz. Par analogie avec l'observation de la Terre on peut aussi observer sa « surface » qui est une zone où le gaz est très dense, appelée **photosphère** (sphère de lumière) et qui est la zone la plus profonde observable dans le rayonnement visible. Son « atmosphère » est composée pour sa partie basse par une zone appelée **chromosphère** (sphère de couleur) et pour sa partie la plus éloignée une zone appelée la **couronne**.

Seules ces trois zones sont accessibles à des instruments optiques d'amateurs. La **couronne** et la **chromosphère** sont des zones où la densité de particules est très peu dense. Le rayonnement visible traverse ces deux couches et donne accès directement à la **photosphère**. C'est dans cette zone d'une épaisseur de seulement quelques centaines de kilomètres qu'apparaissent la **granulation** et les **taches solaires**. La photosphère est observable avec un système d'atténuation de la luminosité (réduire d'un facteur 100000) sur tout le spectre visible, soit une longueur d'onde allant de 350nm à 700nm. Certains filtres additionnels permettent néanmoins d'ajouter du contraste dans les images obtenues. C'est dans cette zone qu'on observe les températures les plus basses avec 5500°C en moyenne descendant jusqu'à 4500°C pour l'ombre des taches.

La **chromosphère** est une zone qui peut s'étendre sur une hauteur de 2500km à 10000km (soit une moyenne de 3000km) avec une température qui évolue de 5000°C à 30000°C en fonction de l'altitude. Celle-ci est très ténue et n'est observable que dans des longueurs d'onde très précises. Il faut utiliser des **filtres interférentiels** qui permettent d'isoler une longueur d'onde afin de visualiser un élément chimique bien précis. L'observateur amateur a accès au filtre **H-alpha** (656,3nm) dans le rouge et le filtre **Ca-K** (393,4nm) dans le violet qui permettent d'observer des altitudes différentes dans la **chromosphère**.



La **couronne** est la zone la plus externe de l'atmosphère solaire, celle-ci atteint 5000000km (environ 70 rayons solaires) et sa température augmente avec la distance au soleil pour atteindre un maximum de 2000000°C. Pour un amateur, seule la **basse couronne** est observable lors d'une éclipses totale de Soleil ou avec un **coronographe** (qui simule une éclipse totale de soleil).

3 – Observation de la photosphère

3.1 – Quelques méthodes d'observation

Image du Soleil par projection

Etudier le Soleil par projection reste le moyen le plus sûr en observant tout de même quelques règles importantes de sécurité. L'image formée au foyer, par la lunette ou le télescope, est très brillante car tous les rayons convergent en un point. Cette quantité d'énergie peut mettre le feu à du papier, faire fondre du plastic, en seulement quelques secondes. Il est donc totalement interdit d'approcher l'œil de cette zone. Pour obtenir une image exploitable, on positionne un écran à quelques dizaines de centimètres de l'oculaire afin d'obtenir une image d'environ 100mm de diamètre. Reste à faire une mise au point la plus précise possible afin de distinguer tous les détails données par l'instrument.

Utilisation d'un télescope non aluminé

On utilise un télescope de type Newton sur lequel le miroir primaire n'est pas aluminé. Seulement 4% de la lumière est renvoyée vers le miroir secondaire alors que les reste va traverser le miroir sans même l'échauffer. L'avantage est de pouvoir augmenter la taille du miroir et de profiter d'un meilleur pouvoir de séparation afin d'augmenter les détails. En contrepartie, cet instrument est beaucoup plus sensible aux turbulences internes et externes dû à l'échauffement causé par le Soleil lui-même.

Utilisation d'un filtre pleine ouverture

On utilise une lunette ou un télescope qui est utilisé pour l'observation nocturne. Pour éviter tout dommage, on ajouter un filtre avant l'entrée de la lumière dans le tube optique afin d'éviter tout échauffement à l'intérieur et de ne pas détériorer les lentilles de l'oculaire. Ces filtres sont de deux sortes ; un filtre en verre (de marque Thousand Oaks) ou une feuille de papier mylar (de marque Baader Astrosolar) montée sur un support. Dans les deux cas, le facteur de réduction de la luminosité doit être de 1/100000 (densité 5) pour une observation visuelle.

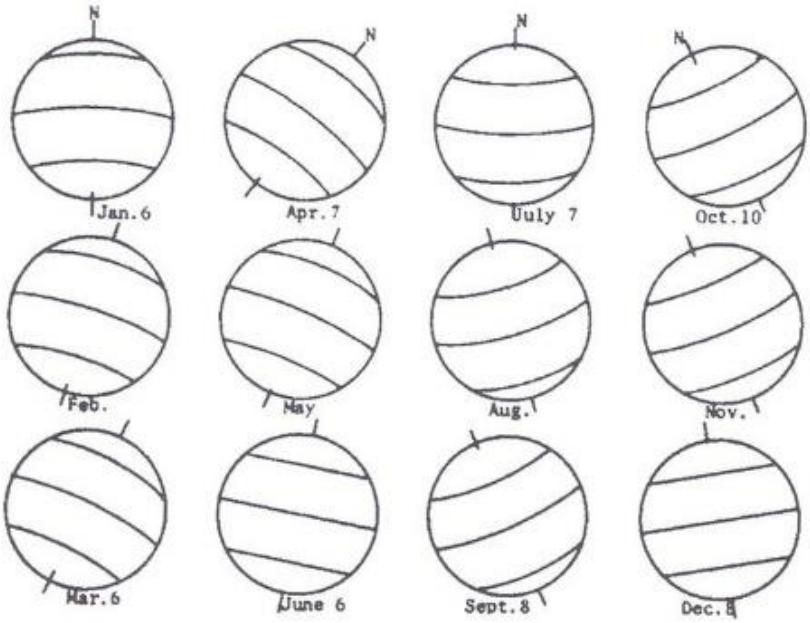
Utilisation d'un prisme de Herschel

Le principe est d'interposer un système optique permettant de réduire la quantité de lumière (et d'énergie) afin

de pouvoir placer l'œil ou encore un capteur photosensible. Un prisme est utilisé afin que le première face du prisme ne réfléchisse vers l'observateur que 4% de la lumière incidente et laisse passer les 96% restant vers l'extérieur afin de ne pas échauffer le tube. Il est maintenant possible d'insérer des filtres interférentiels en verre afin d'accentuer certains détails. Le plus fréquemment utilisé est un filtre continuum de 540nm afin d'avoir une image plus contrastée et être moins sensible à la turbulence.

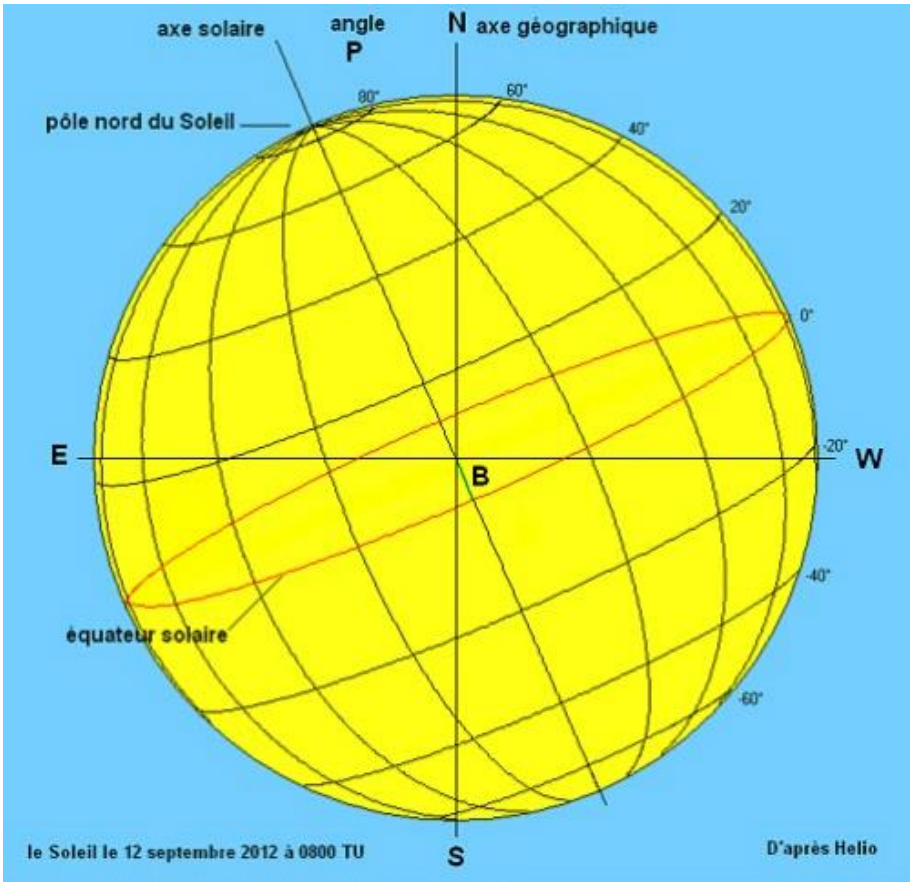
3.2 – Analyse de la position des taches solaires

Quelle que soit la méthode utilisée, il faut maintenant exploiter les relevés d'observation des taches solaires prises à un moment donné. Pour ce faire, il faut calculer les coordonnées solaires de chacun de ces groupes de taches. Il faut passer d'un repère terrestre (orientation par rapport aux mouvements de la monture) au repère héliographique (repère par rapport à la rotation propre du Soleil).



L'axe de rotation du Soleil n'est pas perpendiculaire au plan de l'écliptique. Depuis la Terre, on observe deux mouvements. Une bascule gauche-droite d'environs 23° (angle P) autour de la position centrale mais aussi une bascule avant-arrière d'environ 7° (angle B_0) autour de la position centrale.

Deux méthodes s'offrent à l'observateur : l'utilisation des **disques de Stonyhurst** (abaques sur transparents à superposer sur les relevés) ou l'utilisation d'un logiciel comme **Tilting Sun** (à superposer dans Photoshop). Dans les deux cas, il faut avoir orienté préalablement l'image acquise, que ce soit par imagerie numérique ou pas relevé au crayon par projection.



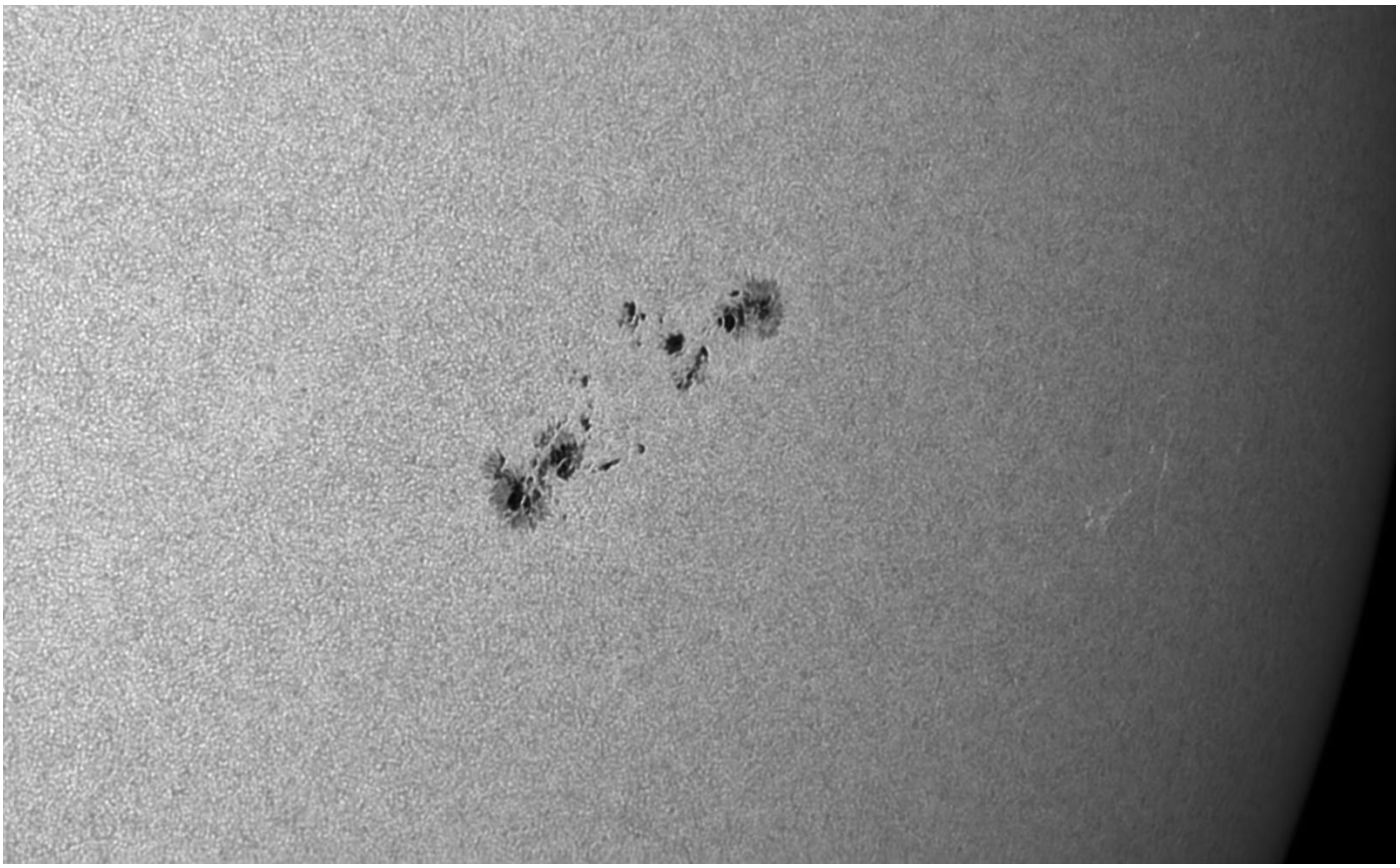
1 – Déterminer l'axe Est-Ouest en laissant dériver l'image du Soleil après avoir coupé le système de suivi de la monture. Le soleil va dériver vers l'Ouest. Il est conseillé d'orienter la caméra selon cet axe (gauche-droite).

2 - L'axe Nord-Sud est déterminé par la perpendiculaire à l'axe Est-Ouest (Haut-Bas sur la caméra). En poussant légèrement le tube optique vers le Nord, le soleil va dériver vers le sud sur l'écran.

Il reste à positionner sur l'image la grille héliographique en fonction des angles P et B tel que la grille détermine les coordonnées pour la date donnée.

3.3 – Taches et granulation

Cette image de la photosphère a été réalisé le 28/10/2020 avec un prisme de Herschel sur une lunette de 130mm de diamètre et une barlow Powermate 5X donnant une focale résultante de 4073mm. Un filtre continuum centré sur 540nm est ajouté pour augmenter le contraste de l'image.



Sur l'ensemble du disque, on peut percevoir un maillage. **C'est la granulation**. Ce sont des cellules de convections qui viennent des couches inférieures, se refroidissent durant la montée et replongent sous la photosphère. Celles-ci ont une taille moyenne de 1000km de diamètre et une « durée de vie » de seulement quelques minutes. C'est cette granulation solaire qui donne à la **photosphère** cet effet de bouillonnement permanent.

La zone active AR2778 montre un beau **groupe de taches solaires** formées d'une **ombre centrale** et la **pénombre** qui l'entoure. Certaines de ses ombre semblent comme découpé par un trait de lumière, ce sont des **ponts de lumière**. Ceux-ci apparaissent et disparaissent en fonction de l'évolution de la vie du groupe. La durée d'un groupe de taches peut évoluer de quelques heures à plusieurs mois (plusieurs rotations autour du Soleil).

Sur la droite de l'image, des zones plus claires apparaissent, **ce sont des facules**. Ces facules sont plus claires car elles ont une température supérieure à la granulation environnante. Leur température peut atteindre 7000°C.

Juste au-dessus des facules, on peut percevoir que certaines cellules de granulation sont plus sombre que celles avoisinantes, **ce sont des pores**. Ces sont des « petites granules » n'ayant pas de pénombre. Celles-ci peuvent se développer et devenir des taches.

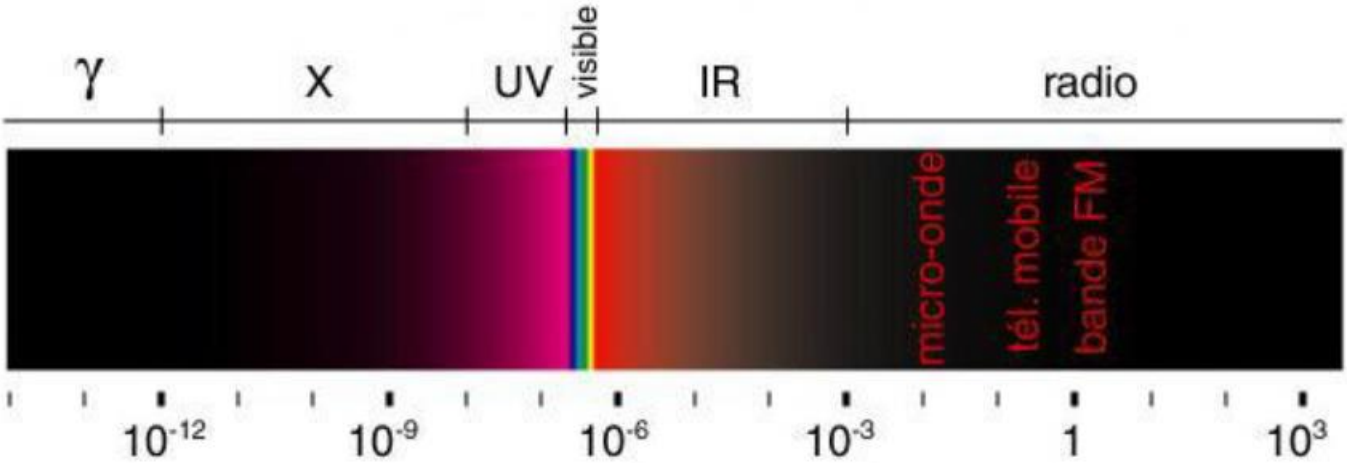
Le dernier phénomène marquant est l'assombrissement de l'image vers le bord droit. En fait, en se rapprochant du limbe, la luminosité décroît. **C'est l'assombrissement centre - bords**. Celui-ci est dû à la densité de la photosphère qui ne permet plus à la lumière issue des couches inférieures d'atteindre l'observateur.

4 – Observation de la chromosphère

4.1 – Fonctionnement des filtres

L'observation de la chromosphère est certainement le plus **gratifiant** pour l'observateur solaire. On peut y apercevoir des **phénomènes immenses** en taille (de quelques dizaines à centaines de milliers de kilomètres) sur des durées de seulement quelques minutes. C'est, pour l'astronome amateur, les phénomènes les plus rapides qu'il pourra observer.

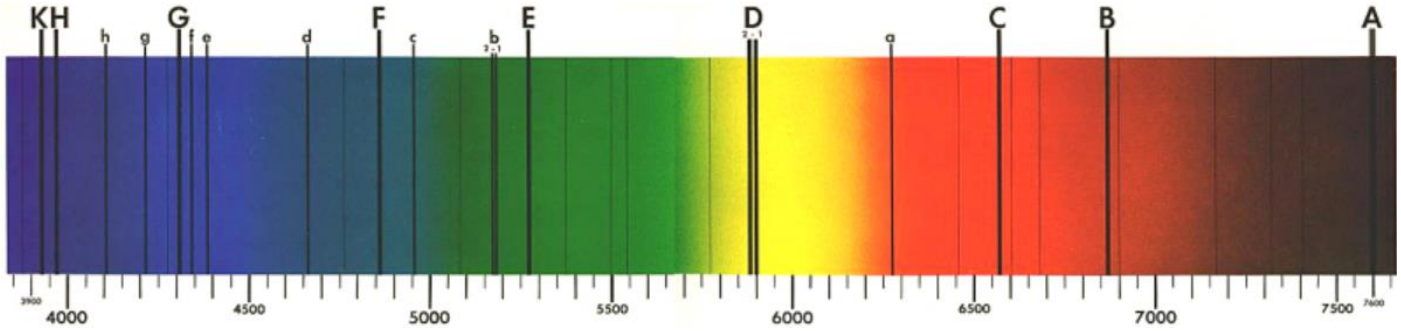
Le rayonnement émis par le Soleil est divisé en plusieurs catégories, les **ondes radios**, les **infra-rouges**, les **ultraviolets**, les **rayonnements X** et **Gamma** ainsi que la lumière perceptible par notre œil, encore appelée « **lumière visible** ». Ce spectre électromagnétique est gradué selon une unité appelée **longueur d'onde** (mesurée en nanomètres – nm) qui est comprise, pour la lumière visible entre 350nm et 700nm.



Spectre électromagnétique – les longueurs d'onde sont en nanomètres

Le spectre électromagnétique ci-dessus montre que la partie visible du spectre est une toute petite partie de l'ensemble. Les informations reçues par notre œil ne sont qu'une infime partie de l'information totale émise.

Le rôle de ces filtres et de sélectionner une bande passante (un intervalle de longueurs d'ondes) spécifique afin de l'isoler du reste du spectre. Cette longueur d'onde spécifique identifie un **élément chimique** qui lui correspond. Les filtres les plus utilisés sont les filtres interférentiels **H-alpha** (centré sur la longueur d'onde 656,3nm) dans le rouge permettant d'observer la **raie C** de l'hydrogène ionisé et le filtre **Ca-K** (centré sur la longueur d'onde 393,4nm) dans le violet qui mets en évidence la présence de la **raie K** du Calcium.

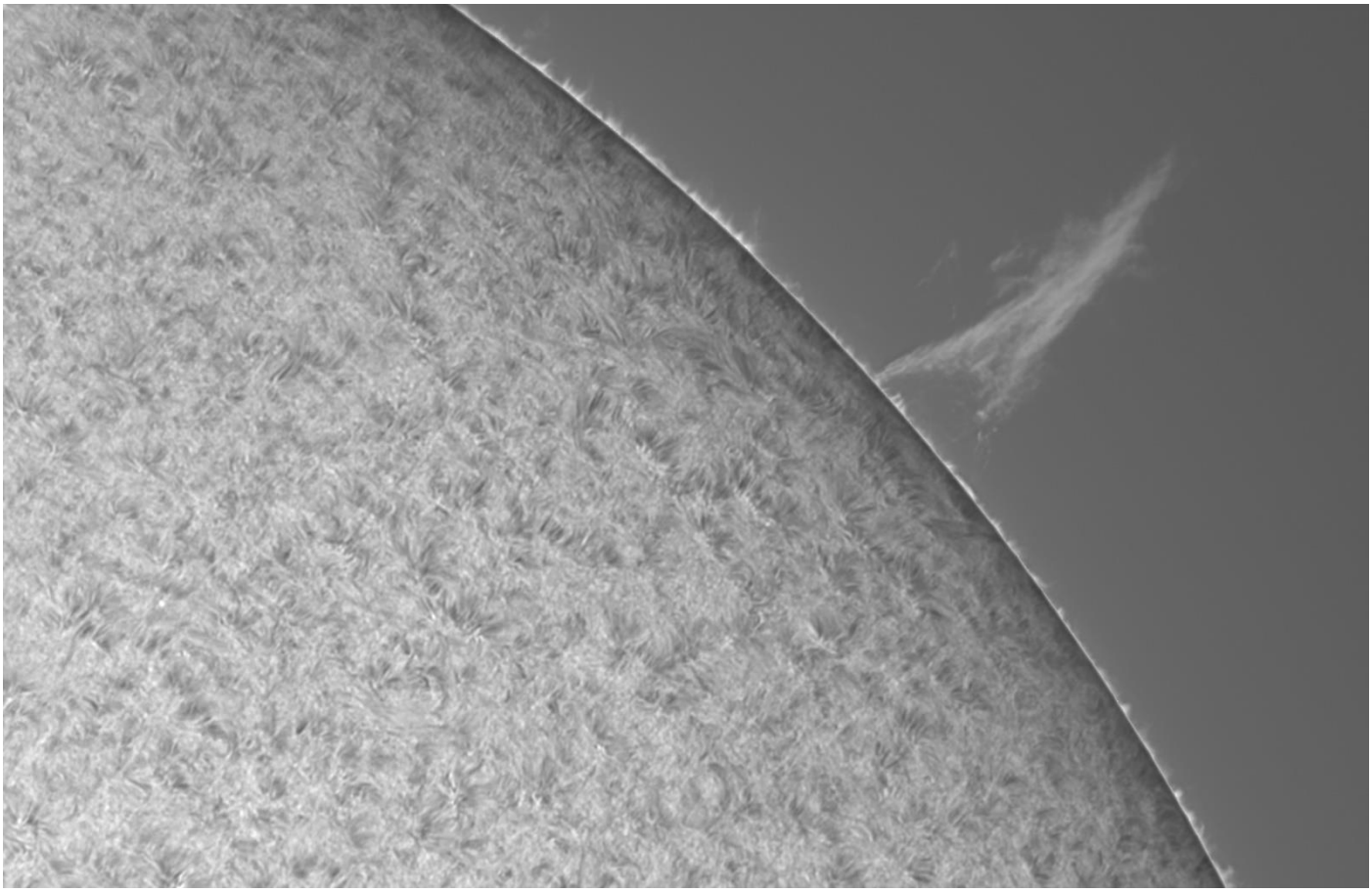


Spectre solaire visible montrant les raies de Fraunhofer (série de Balmer)

Dans la pratique, ce deux filtres permettent d'observer des altitudes différentes dans la **chromosphère**. Entre 500km et 2000km pour le Ca-K et autour de 1200km à 1700km pour le H-alpha.

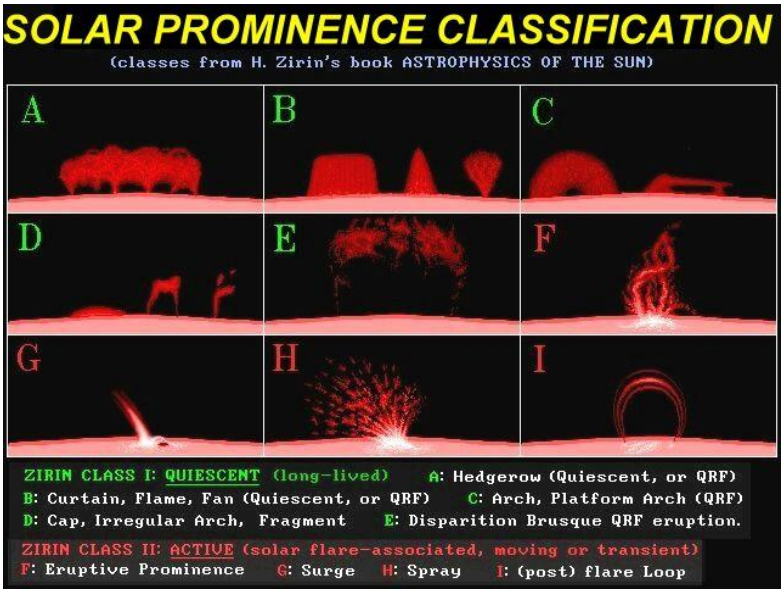
4.2 – Spicules et protubérances

La plus grosse difficulté en imagerie H-alpha est la différence de luminosité entre l'observation des détails sur le disque et les protubérances, plus ténues qui s'échappent du limbe solaire. La différence de luminosité entre les deux est proche d'un facteur 10.



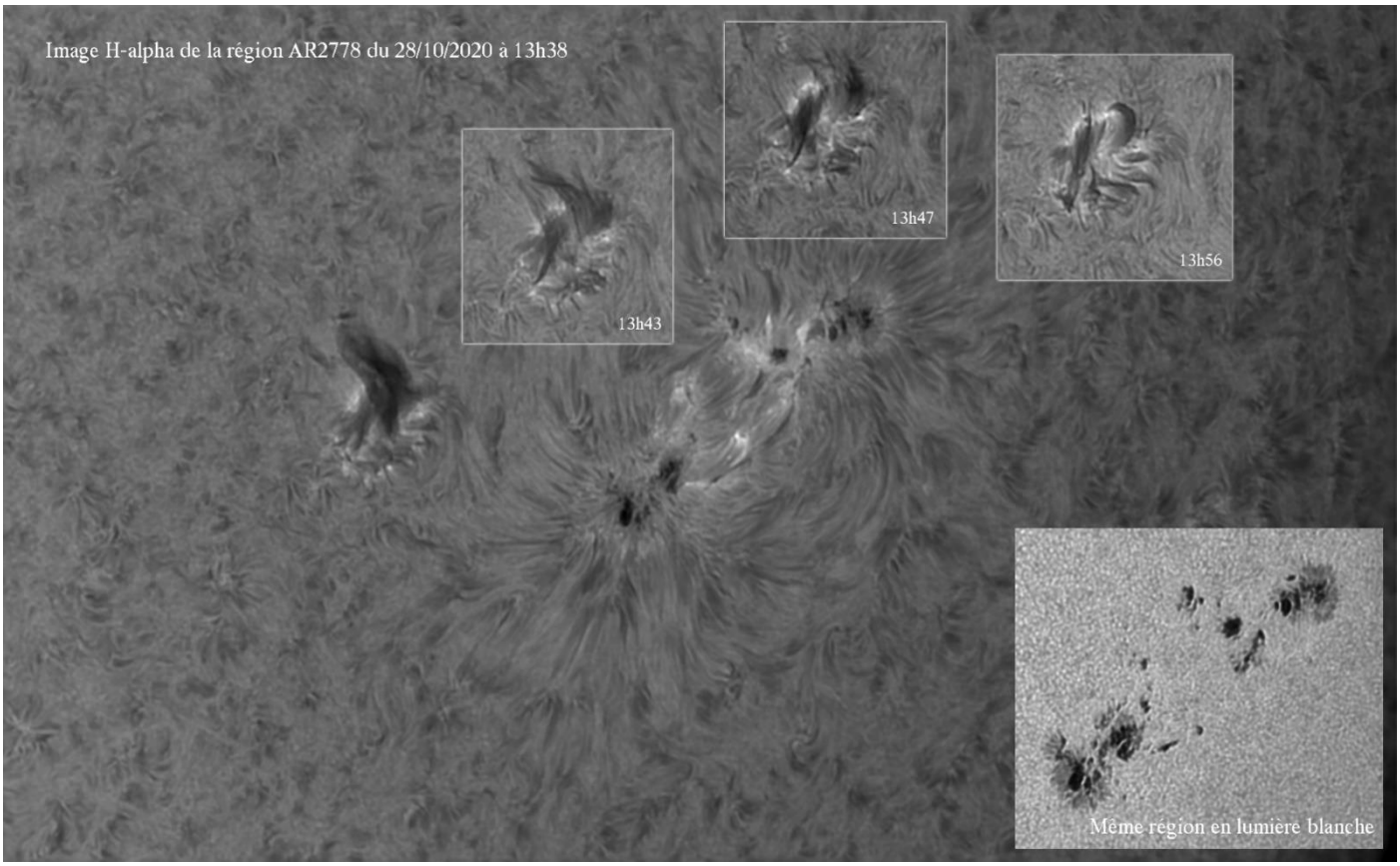
Les spicules sont visibles sur le limbe sous forme de toutes petites éjections d'environ 600km et évoluant en quelques minutes. Elles sont aussi visibles sur le disque sous forme de buissons. Celles-ci se forment entre les cellules de super-granulation (entre 20000km et 50000km de diamètre) qui ne sont pas directement visibles.

Les protubérances sont des éjections de gaz ionisés qui s'échappent de l'attraction du Soleil pour s'étendre dans le couronne. Celle-ci-dessus à une taille d'environ 110000km d'altitude. Il en existe une multitude de types. Les deux grandes catégories sont les quiescentes et les éruptives. Les protubérances éruptives ont des durées de vie très courtes et peuvent s'étendre très rapidement sur de très grandes distances tandis que les quiescentes ont des durée de vie allant à plusieurs jours et ne semble pas beaucoup évoluer.

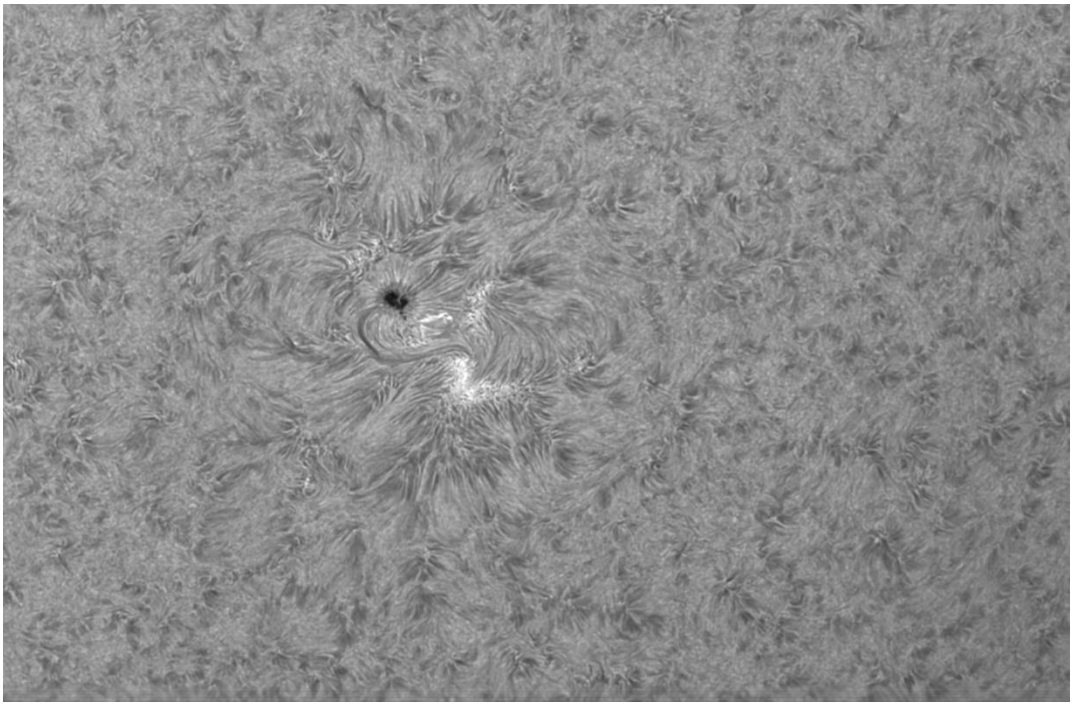


Leur position donne des effets très différents. Sur le limbe, elles sont vues de profil et s'étalent et montrant toute leur structure. Sur le disque, elles sont vues de haut sous forme de filaments sombres (car une température un peu inférieure à la chromosphère). C'est certainement le spectacle le plus magique à observer pour l'amateur.

L'image ci-dessous montre la zone active AR2778 et l'évolution d'une **protubérance** en quelques minutes.



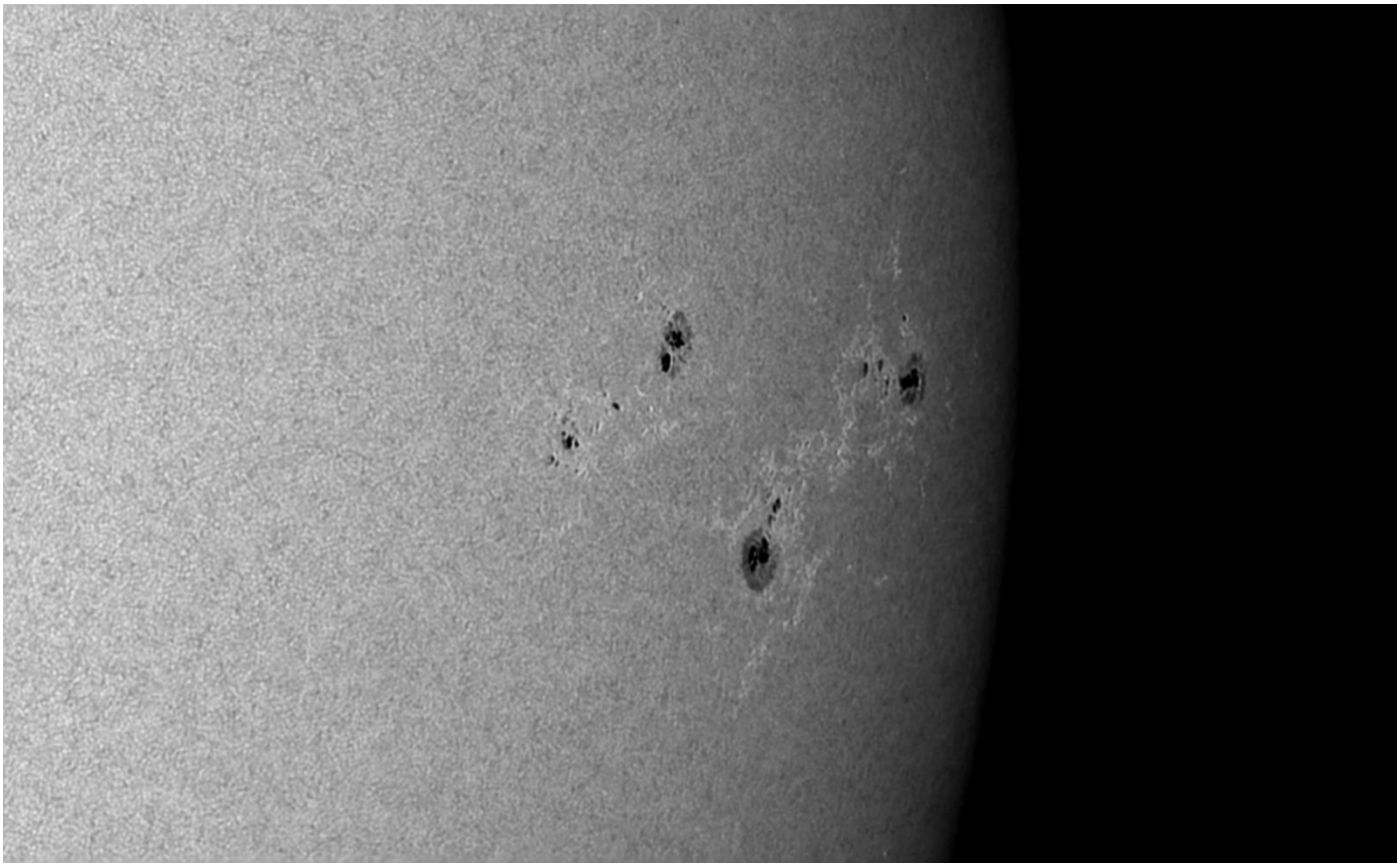
Lors de l'observation en lumière blanche, il n'était visible que la zone active AR2778 qui comportait 12 taches (voir encart en bas à droite). Une **zone active** (partie gauche) fait son apparition dans la chromosphère sous forme d'un **filament sombre**. Il est néanmoins tout à fait possible de distinguer la forme de la protubérance. Sur les 3 encarts suivants, on remarque l'évolution rapide de cette protubérance. Quelques minutes plus tard, cette zone aura fait naître un **groupe de taches sur la photosphère**. Il est nommé AR 2779.

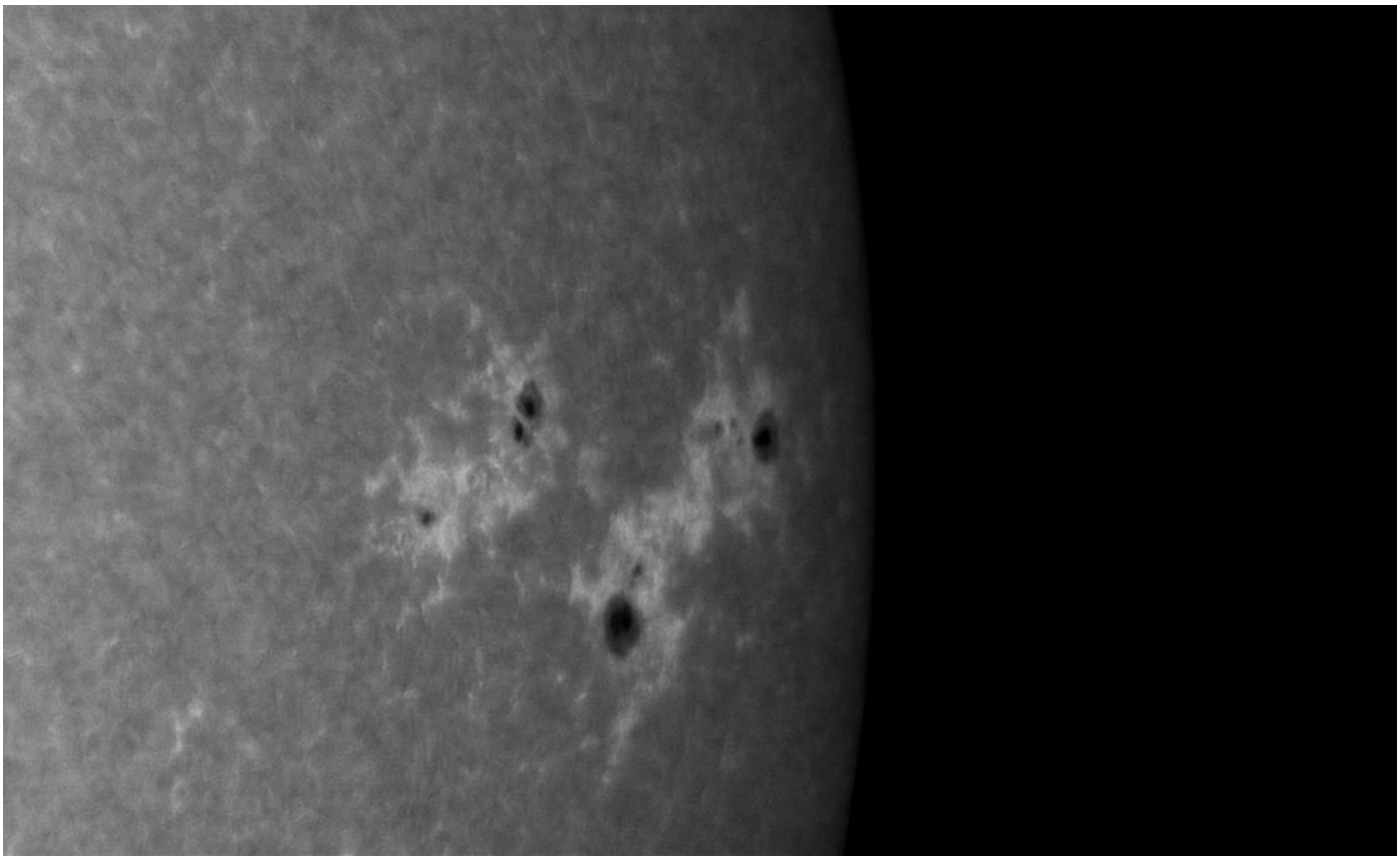


Tout autour de la zone de taches AR2778, on peut observer le **réseau chromosphérique** qui s'enroule autour des taches en suivant l'intense **champs magnétique**. Comme le fait la limaille de fer disposée autour d'un aimant.

L'image ci-contre montre un **filament sombre** qui part de la tache, s'enroule le long du champs magnétique pour aller disparaître dans la **zone faculaire**. La perturbation du champs magnétique est bien visible autour de la tache tandis que dans le reste de l'image, on distingue bien les **spicules** qui sont sous forme de buissons.

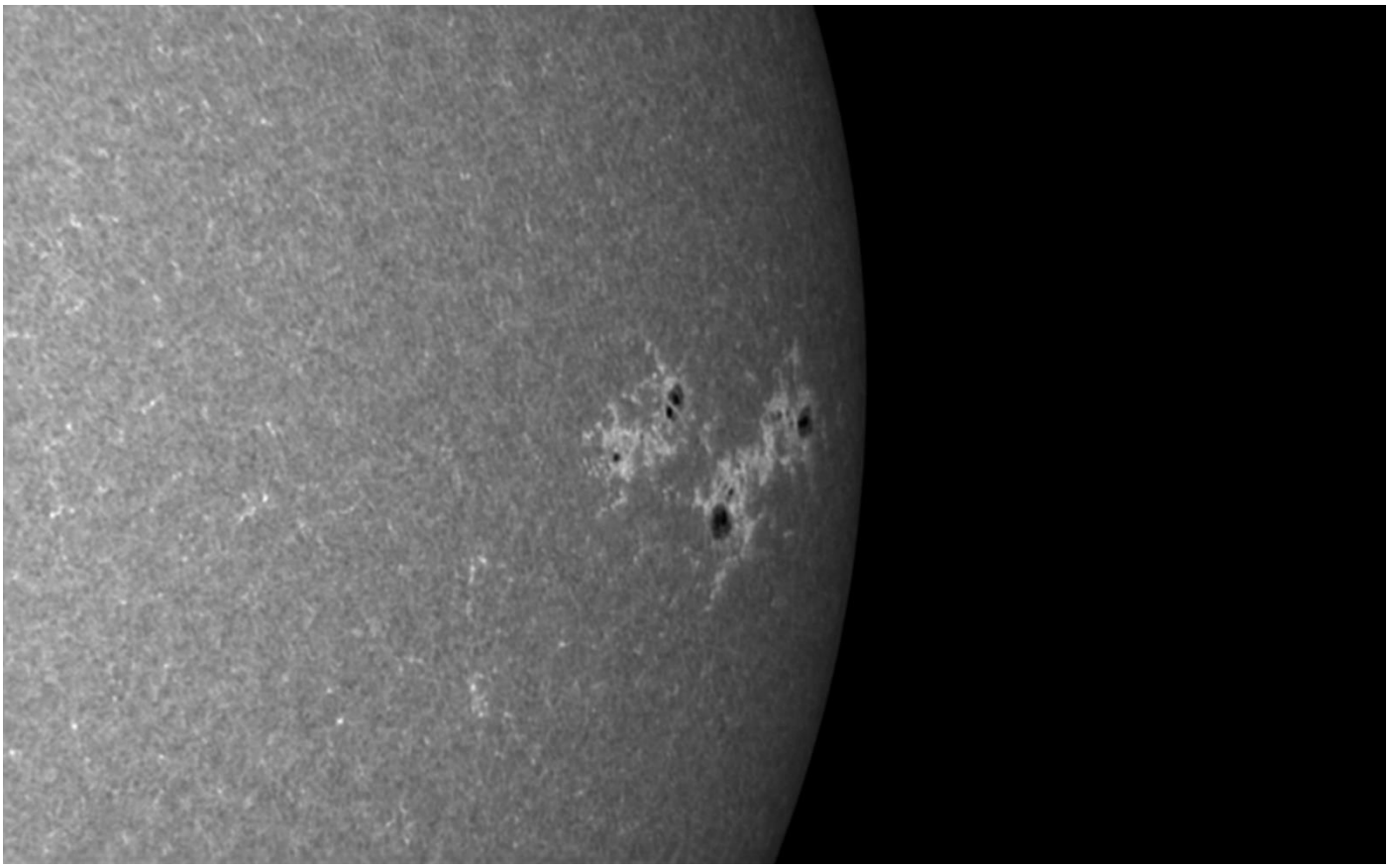
4.3 – Granulation et réseau chromosphérique





Les images du 30/10/2020 représentent les zones actives AR2778 et AR2779 en lumière blanche en haut et au filtre Ca-K en bas. La **granulation** est bien visible en lumière blanche tandis qu'en Ca-K, ce sont des zones plus grandes appelées **réseau chromosphérique**. Elles montrent des cellules de **super-granulation** (environ 30000km) autour desquelles se forment les **spicules**.

L'image Ca-K du 30/10/2020 ci-dessous montre **les plages** et marquent la présence des facules sous-jacentes dans la photosphère. Les taches sont visibles aussi dans le chromosphère.



Les taches sont entourées de **plages plus brillantes** qui montrent un température plus élevée autour de celles-ci. Il existe un grand nombre de plages sans taches. Les plages ont des durées de vie parfois assez courtes. Il peut y avoir, tout comme en lumière blanche, des **ponts de lumière** qui traversent les taches (tache du haut).

Cette zone observée de la chromosphère est située juste au-dessus de la **granulation**. On peut y observer la **granulation inverse** qui assombri les cellules alors que ce sont les espaces intergranulaires qui sont plus brillants.

Dans ces zones actives, les plages, apparaissent **des éruptions** qui peuvent avoir une durée de vie de quelques secondes. On peut même, dans certains cas, apercevoir un clignotement brillant dans ces **plages**.

5 – L'observation visuelle

Comme évoqué précédemment, l'observation visuelle en lumière blanche est relativement facile, en fonction des conditions d'observation et de matériel utilisé. Pour le H-alpha on observera une image rouge intense qui peut être compliquée pour certaines personnes. Les protubérances sont assez simple à observer et le spectacle est magnifique. L'observation visuelle en Ca-K donne une image violette à la limite de la visibilité. Certaines personnes (les plus âgées en particulier) sont aveugle à cette longueur d'onde et ne percevront aucun détail sur le disque.

Il reste néanmoins très intéressant de mettre l'œil à l'oculaire car chaque longueur d'onde permet de ressentir l'agitation de chacune des couches. Même si on ne perçoit pas tous les détails accessibles, cela reste une expérience extraordinaire.

6 – Observation de la couronne

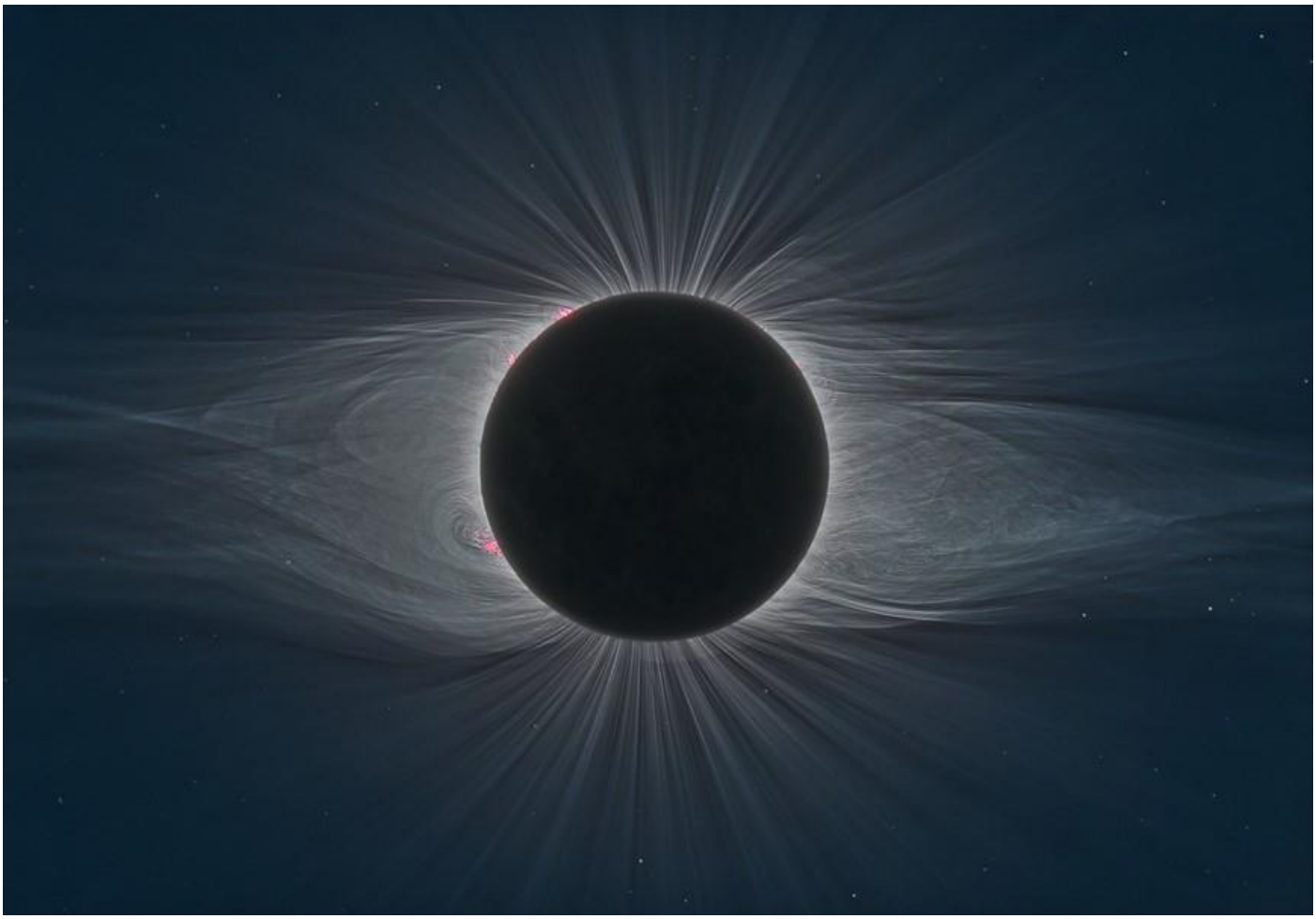


Image de de la couronne réalisée lors d'une éclipse totale de soleil au Chili en 2019 par Nicolas Lefaudeux.

L'observation de la couronne externe (comme sur l'image) n'est uniquement observable que lors d'éclipses. La basse couronne peut être observée à l'aide d'un coronographe. Son utilisation demande beaucoup de précautions car le cône occulteur doit rester parfaitement aligné avec le disque solaire par un suivi irréprochable de ma monture. Il faut aussi ajouter un filtre interférentiel afin de réduire la luminosité excessive résultante. Seule une vision des protubérances est possible car le disque doit être à tout moment occulté.

7 – Conditions d'observation

La qualité des observations ou des images va dépendre de différents facteurs. La qualité du matériel, les réglages effectués et la qualité du ciel. La qualité du matériel dépend souvent du montant qu'on veut pou peut lui allouer. Il est très important d'apprendre à optimiser les réglages de chaque élément de la chaine optique.
Le dernier paramètre, la qualité du ciel est indépendant de notre volonté mais peut être partiellement amélioré en prenant quelques précautions.
L'ennemi principal à la qualité des images et la turbulence. L'observation du Soleil se fait de jour … donc au soleil … qui chauffe … et qui provoque des turbulences.

Voici une petite échelle pour évaluer la turbulence lors d'observation solaires. On évalue la qualité de la granulation :

- elle est nettement visible et ne se trouble jamais.

  La qualité est très bonne (1)
- elle paraît troublée mais nette de temps en temps, les pores sont visibles.

  La qualité est bonne (2)

- elle apparaît mais brouillée, les pores ne sont visibles que par intermittence.

La qualité est mauvaise (3)

- elle n'est jamais visible ni même les pores.

La qualité est médiocre (4)

Dans les cas 3 et 4, l'imagerie est très difficile car la mise au point semble toujours mauvaise. Même après traitement, le résultat sera décevant. Les plus belles images seront réalisées en 1 car tous les détails seront mis en évidence.

Il faut être conscient que la turbulence instrumentale et environnementale est de près de 50% dans la turbulence totale, elle n'est donc pas négligeable. Voici quelques éléments qu'il faut savoir :

Ce qu'il faut éviter …

- de s'installer sur une dalle de béton, de bitume, …
- d'observer par-dessus une toiture, une terrasse, …
- d'être adossé à un grand mur, maison, …
- d'être en montagne dans un fond de vallée, à flanc de colline, …
- d'observer tard dans la journée, …
- les jours de grand vent.

Ce qu'il faut essayer …

- de s'installer sur de l'herbe, de la terre, …
- d'avoir un horizon dégagé sous le Soleil, …
- d'être en montagne sur un sommet.
- d'observer au-dessus d'une étendue d'eau, …
- d'observer le matin avant que celui-ci ne chauffe trop.
- protéger le tube et la monture dans une couverture de survie, …

Ce guide n'a pas vocation de remplacer la littérature spécialisée mais permet de donner quelques règles de bases à celui qui veut débuter en observation solaire.

8 – Quelques ressources …

Organisation de stages dont certains spécifiques sur l'observation solaire :

- Association Cap Astro - https://www.stagesdecouverteastronomie.com/

Site de prévision de l'activité solaire ou d'imagerie solaire en temps réel :

- Space Weather Live - https://www.spaceweatherlive.com/fr/activite-solaire/cycle-solaire.html
- BASS2000 - http://bass2000.obspm.fr/home.php?lang=fr
- Tilting Sun - https://www.atoptics.co.uk/tiltsun.htm

Littérature

- Astronomie solaire, 2018, Editions Axilone
- Solar Astronomy Handbook, 1995, Editions Willman Bell

Site internet de référence

- Christian Villadrich - http://www.astrosurf.com/viladrich/indexf.html
- Jean-Pierre Brahic - http://jp-brahic.chez-alice.fr/

Revendeurs de matériel

- Lunt Solar Filters (Bresser France) – https://www.bresser.de/fr/home/
- Baader prisme de Herschel et filtres - https://laclefdesetoiles.com/
- Optique Unterlinden (caméra ZWO ASI) - https://www.telescopes-et-accessoires.fr/