

Le filtre Calcium-K pour l'imagerie solaire

Par Howard L. Cohen, janvier 2014

Les très belles images du Soleil faites par Howard Eskildsen et que l'on peut voir sur le site web du Alachua Astronomy Club peuvent sembler étranges à ceux qui sont familiers avec les images du Soleil en "lumière blanche". Si vous cherchez à comprendre pourquoi, cet article peut vous y aider!

Howard Eskildsen télécharge fréquemment ses remarquables images du Soleil sur le site web du Alachua Astronomy Club telles que celles du début janvier 2014. Toutefois, ces images sont passablement différentes de celles que l'on voit habituellement

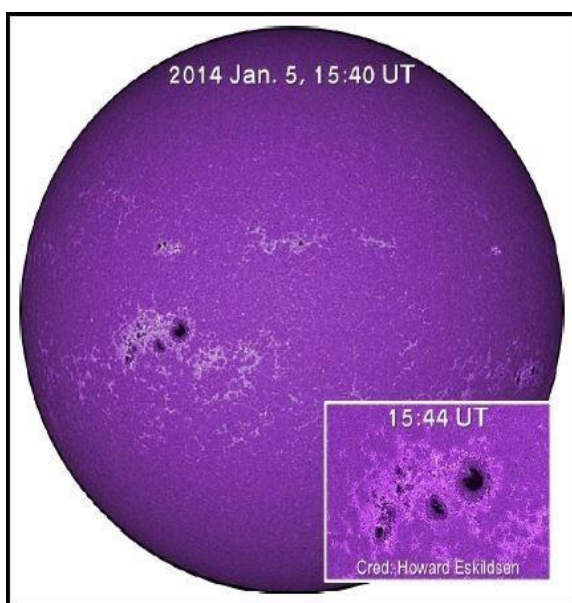


Figure 1 Image en bande Ca II K de la chromosphère solaire. C'est la lumière solaire résiduelle dans la bande spectrale du calcium-K du calcium ionisé qui a été utilisée pour produire cette image (filtre Lunt B600). Voir le texte pour plus de détails. Au début de janvier 2014, une importante région active est apparue à la surface du Soleil. L'encart montre le détail.

Par exemple, ces images récentes d'Howard acquises au début janvier 2014 montrent le disque solaire ainsi que des agrandissements d'une région particulièrement active. En fait, ces images montrent un des plus grands groupes de taches du cycle solaire en cours! (Fig. 1)

Certains observateurs peuvent se demander pourquoi ces images sont non seulement de couleur violette, mais aussi pourquoi elles montrent des structures que l'on ne voit pas habituellement lorsqu'on observe le Soleil à l'aide de filtre en lumière blanche (ou filtre continuum) qui transmettent la lumière dans une large portion du spectre de lumière visible. Pour ceux qui souhaitent en connaître un peu plus sur ces images, les explications qui suivent vont présenter un résumé de l'origine de ces photos. Bien qu'une partie des explications puissent sembler quelque peu techniques, la plupart d'entre vous devraient parvenir à obtenir une bonne compréhension de ces images et des concepts qu'elles représentent.

Le filtre Calcium K

Howard a acquis ces images en utilisant un filtre qui permet de voir la lumière solaire en bande calcium K. La longueur d'onde de ce filtre spécialisé est centrée sur 393,4 nm, ce qui correspond à la longueur d'onde fondamentale K du calcium ionisé (abrégé sous l'acronyme **Ca II K**). Contrairement aux filtres qui transmettent la lumière dans de grandes portions du spectre (filtre à large bande), ce filtre à bande étroite ne transmet qu'une infime partie du spectre habituellement quelques dixièmes de nanomètre. (nm est l'abréviation de nanomètre ou un milliardième de mètre)

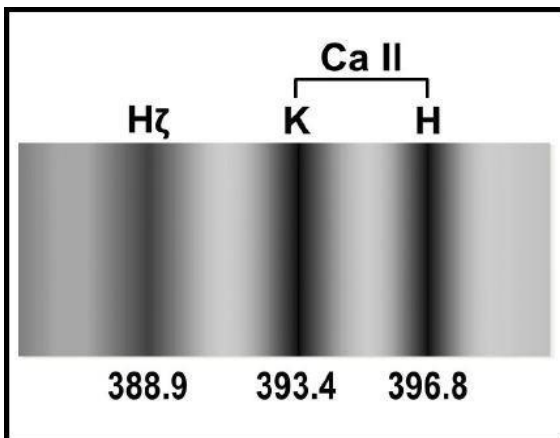


Figure 2 Les bandes H et K du Ca II (calcium ionisé) du spectre solaire. Cette image simulée du spectre solaire montre les bandes d'absorption H et K du Ca II. La bande Hζ est une bande d'absorption de l'hydrogène désignée par la lettre grecque *zéta*. Ces deux bandes Ca II sont les bandes d'absorption les plus importantes du spectre solaire visible. Toutefois, la bande H du Ca II peut se confondre avec une autre bande de l'hydrogène (la bande *epsilon* ou Hε) non montrée ici. Les longueurs d'onde sous chaque bande sont exprimées en nanomètre. Notez que les spectres stellaires ne sont pas habituellement présentés en couleur, mais en tons de gris afin de préserver la sensibilité et la résolution. (Image par H.L. Cohen.)

À cette longueur d'onde du spectre solaire, le calcium ionisé une fois présent dans les basses couches de l'atmosphère du Soleil (la chromosphère) absorbe fortement la lumière. Cette absorption rend une petite partie du spectre (quelques dixièmes de nanomètre) plus sombre. La figure 2 et les pages qui suivent vous donneront plus de détails sur le calcium ionisé.

Lorsque l'on utilise la lumière résiduelle de cette étroite plage de longueur d'onde pour imager le Soleil, on obtient une image de la chromosphère (littéralement sphère colorée). C'est pourquoi ces images sont différentes de celles acquises en lumière blanche qui montre la partie visible de la surface du Soleil, la photosphère (littéralement la sphère de lumière).

Les images en lumière blanche utilisent une grande plage de longueur d'onde du spectre visible pour permettre aux observateurs d'obtenir une image du Soleil. Ici, au contraire, nous utilisons une très petite et très particulière plage de longueur d'onde pour obtenir l'image de la chromosphère.

Note : Les filtres "hydrogène alpha", centrés sur la bande H- α de 656,3 nm (dans la partie rouge du spectre) sont souvent utilisés pour obtenir une image de la chromosphère solaire. Les filtres à bande étroite du calcium et de l'hydrogène sont plus dispendieux à fabriquer que les filtres à bande large (lumière blanche) qui produisent des images plus familières du Soleil.

La chromosphère est la partie presque transparente de la basse atmosphère solaire située juste au-dessus de la photosphère, la partie visible du disque solaire. La chromosphère est située sous la couronne solaire que l'on aperçoit lors d'une éclipse totale de Soleil.

Bien que la température de la chromosphère soit beaucoup plus élevée que celle de la photosphère, la densité de la chromosphère est tellement faible que sa luminosité est très faible et habituellement invisible à l'œil humain sauf parfois durant une éclipse solaire totale. Durant la totalité, la chromosphère peut apparaître sous la forme d'une mince bande de couleur rougeâtre ou rosée sur le pourtour de la Lune d'où son nom de « sphère de couleur ».

Le spectre solaire

La partie du spectre solaire visible par l'œil humain couvre une plage d'environ 310 nanomètres, de 390 nm dans le violet à 700 nm dans le rouge. L'œil a une plus grande sensibilité vers 450 nm ce qui correspond au jaune verdâtre.

Lorsque l'on observe l'ensemble des longueurs d'onde, la lumière nous apparaît blanche. C'est aussi pourquoi la lumière de notre étoile le Soleil nous apparaît blanche et non verdâtre ou jaunâtre.

La bande K du calcium se trouve dans les très courtes longueurs d'onde, à la limite de la sensibilité de l'œil humain entre le violet et l'ultraviolet. Certains

décrivent cette région comme le « proche ultraviolet » du spectre à la limite de la perception de l'humain. En fait, la plupart des phénomènes que l'on observe dans la bande Ca II K ne sont pas visibles à l'œil humain.

Les filtres en bande Ca II K laissent passer la lumière qui n'est pas absorbée pour produire l'image de la chromosphère solaire.

La bande d'absorption n'est pas totalement noire, une partie de l'énergie lumineuse de cette bande passe au travers du filtre Ca II K pour produire une image de la chromosphère solaire.

Les images en bande Ca II K sont souvent présentées en fausse couleur

La bande K du Ca II est à la limite du spectre visible (violet très sombre). Toutefois, les capteurs utilisés produisent des images en tons de gris afin de fournir plus de détails et pour offrir une plus grande sensibilité. C'est

pourquoi lors du traitement des images, elles sont souvent colorisées en bleu ou en violet pour rappeler que cette lumière est celle de la bande K du Ca II dans la partie extrême du spectre visible.

Le calcium ionisé dans les spectres solaire et stellaire

Le calcium est le cinquième élément chimique le plus commun (par la masse) dans la croûte terrestre. Dans l'atmosphère des étoiles, le calcium n'est pas seulement rare, mais aussi ionisé une ou plusieurs fois. Le calcium ionisé une fois est une forme de calcium (un ion de calcium) qui a perdu un de ses vingt électrons. En astronomie, le calcium ionisé une fois est désigné par Ca II (le calcium qui a tous ses électrons ou calcium neutre, est désigné par le terme « Ca I »). Par la même logique, le calcium ayant perdu deux électrons est désigné par Ca III).

Les spectromètres utilisés pour produire le spectre solaire utilisent souvent une fente pour permettre à la lumière solaire d'atteindre le capteur. Le spectre est une représentation de l'énergie radiante comme la lumière en fonction de la longueur d'onde. Cette technique produit un spectre qui possède une bande sombre (que l'on nomme bande K du calcium II) là où le calcium absorbe la lumière du spectre. (Voir la figure 2)

La bande H du Ca II : Une autre bande du calcium ionisé

On trouve une autre bande sombre, la bande H du calcium II, un peu plus loin dans le spectre à 396,8 nm. Les astronomes négligent toutefois cette bande à cause d'une contamination d'une autre bande d'absorption de l'hydrogène neutre (H-epsilon H ϵ , situé à 397,0 nm). Les spectres à haute résolution permettent toutefois d'éviter ce problème.

Attention à ne pas confondre la bande H du calcium (Ca II H) avec les bandes d'hydrogène qui utilisent aussi la lettre H et les lettres grecques (H α , H β , H γ , etc.) pour désigner diverses bandes d'émission ou d'absorption de l'hydrogène.

Les bandes d'absorption spectrales H et K furent nommées par le physicien allemand Joseph Von Fraunhofer (1787-1826) qui étudia le spectre solaire.

Le calcium ionisé, un élément majeur du spectre solaire

Savez-vous que les bandes H et K du Ca II sont des éléments spectraux importants des étoiles plus froides comme le Soleil?

Les bandes H et K du Ca II sont les plus fortes bandes d'absorption du spectre solaire visible. L'hydrogène est effectivement l'élément le plus abondant sur le Soleil (75 % de sa masse) alors que le calcium est relativement rare (peut-être moins de 0,01 % de sa masse). Quoiqu'il en soit, les températures de l'atmosphère solaire sont trop froides pour que l'hydrogène absorbe suffisamment de lumière pour produire des bandes spectrales sombres. Toutefois, bien que le calcium soit un élément

relativement rare sur le Soleil, ces températures sont parfaites pour la formation des bandes d'absorption H et K du calcium ionisé.

Sur les étoiles ayant une atmosphère plus froide ou plus chaude que le Soleil, les bandes d'absorption du calcium sont moins évidentes. Sur les étoiles très chaudes, ces bandes d'absorption n'existent pas parce qu'à ces températures, le calcium s'ionise davantage alors qu'à des températures plus froides que le Soleil, on retrouve moins de calcium ionisé ce qui produit des bandes moins marquées.

Le calcium interstellaire

Savez-vous que certaines étoiles chaudes, nous montrent quand même des bandes d'absorption du Ca II? Ces bandes sont souvent plus étroites que les bandes spectrales solaires. De plus, ces bandes ne montrent pas le même décalage Doppler que les autres bandes spectrales (bandes qui sont décalées en fonction de la vitesse de déplacement de l'étoile dans l'espace) voir la figure 3.

Historiquement, la présence de ces étroites bandes spectrales a toujours intrigué les astronomes. Nous savons maintenant que ces bandes d'absorption sont produites par le calcium interstellaire. Ici, la lumière est absorbée non par l'atmosphère solaire, mais par du calcium ionisé dans l'espace interstellaire entre l'étoile et la Terre ! Ce phénomène explique pourquoi les bandes ne sont pas élargies par l'atmosphère stellaire et ne montrent pas le même décalage Doppler dû au déplacement de l'étoile.

Images de la chromosphère solaire

Les images du Ca II du Soleil sont une représentation de l'absorption par le gaz de la chromosphère, la partie inférieure de l'atmosphère solaire. Ces bandes du calcium ionisé sont parmi les indicateurs les plus critiques de la structure de la chromosphère solaire. Ils fournissent de l'information sur la forme et la hauteur des structures de l'atmosphère. Ce sont aussi des outils intéressants pour la compréhension de l'atmosphère des étoiles plus froides comme celle de notre Soleil.

La bande K est aussi sensible aux champs magnétiques de la chromosphère solaire. Ce milieu absorbe moins la lumière lorsque le champ magnétique est fort ce qui produit des régions plus claires que les zones où les champs magnétiques sont plus faibles.

Toutefois, les taches solaires, qui ont une très forte activité magnétique, apparaissent foncées comme sur les images en lumière blanche parce qu'elles sont des zones plus froides que le reste de la surface solaire. La théorie que les champs magnétiques très forts et localisés empêchent les gaz chauds de remonter à la surface ce qui produit les taches solaires. C'est cette absence de radiation des surfaces sous-jacentes qui produit ces taches sombres.

Les images en Ca II montrent l'activité magnétique des structures solaires difficilement visibles sur les images en lumière blanche. Parmi les phénomènes observés, on trouve les

plages, les pores, les cellules de "super granules" et les réseaux chromosphériques.

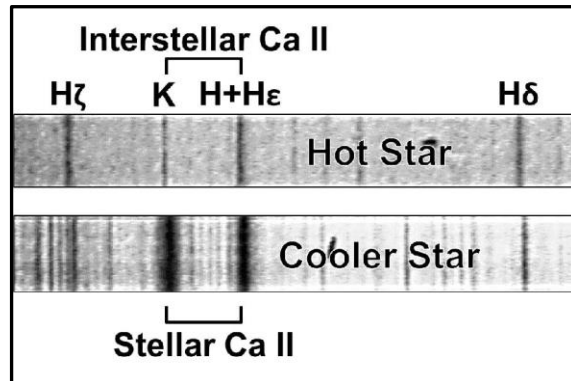


Figure 3 Le calcium II interstellaire dans le spectre d'une étoile chaude. C'est l'espace interstellaire qui a produit les bandes d'absorption K et H du calcium dans ce spectre de l'étoile chaude HD190967 (en haut). Ces bandes interstellaires sont habituellement plus étroites que les bandes d'origine stellaires. Toutefois, la bande H du Ca II peut se fusionner avec la bande Hε et sembler plus large. L'image ci-dessus montre ces bandes d'absorption du Ca II interstellaire d'une étoile chaude HD190967 (en haut) et d'une étoile froide HD187961 (en bas). Ce diagramme montre les bandes Hδ et Hζ de l'hydrogène stellaire (attention de ne confondre ces bandes avec les bandes du Ca II). Notez que les bandes Ca II de l'étoile froide (en bas) sont beaucoup plus marquées que les bandes Hδ et Hζ de l'hydrogène bien que l'atmosphère de l'étoile contienne peu de calcium. (Image d'H.L. Cohen)

Résumé de certains phénomènes de la chromosphère solaire

Les facules, que l'on voit parfois sur les images en lumière blanche (surtout près de la bordure du disque solaire comme sur l'image de la figure 4) sont des régions plus brillantes de la chromosphère. Les facules résultent d'une concentration de lignes de champ magnétique entre les granules (les cellules de convection).

Les plages chromosphériques (ou flocule) sont le prolongement des facules photosphériques dans la chromosphère située au-dessus. Ce sont aussi des zones brillantes de régions actives et qui sont associées à l'activité solaire. Ces plages peuvent aider à prédire l'apparition de taches solaires.

Les pores solaires sont de petites taches qui se forment, mais qui ne grandissent pas.

Les cellules de super granulation sont des régions plus grandes que les granules et montrent un flux de convection horizontal. La granulation donne une apparence granulaire à la surface solaire et résulte des courants de convection. La surface des granules est plutôt brillante ou les gaz ionisés (le plasma) montent alors que les bordures des granules sont plus sombres ou les gaz plus froids descendent.

Les réseaux chromosphériques ont l'apparence d'une toile et se développent dans les gaz comportant un champ magnétique se déplaçant radialement et ensuite vers le bas près de la bordure externe.

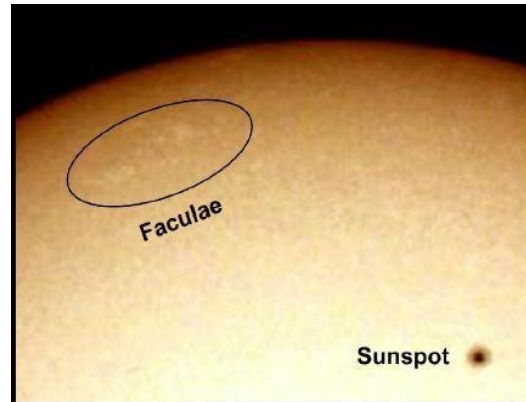


Figure 4 Facules en lumière blanche. Les filtres à large bande passante montrent facilement les taches de la photosphère solaire (en bas à droite). Toutefois, ces images en lumière blanche montrent parfois des facules sur la partie légèrement plus sombre du disque solaire comme ici en haut à gauche. La teinte orangée de cette image est produite par l'utilisation d'un filtre qui laisse passer cette couleur. Les images chromosphériques (figure 1) permettent de voir beaucoup plus de détails. (Image de H.L. Cohen)

Allez consulter les images de Howard Eskildsen sur le site web du Alachua Astronomy Club et tentez d'identifier certains de ces phénomènes chromosphériques solaires.

Howard L. Cohen (*à ne pas confondre avec Howard Eskildsen*) est un professeur émérite du département d'astronomie de l'University of Florida et un membre fondateur du Alachua Astronomy Club, Inc.

Traduction par Robert Saint-Jean, mars 2015, révisé juin 2021

[Source de l'article](#)

Les [images d'Howard Eskildsen](#).

Site web du [Alachua Astronomy Club](#)