

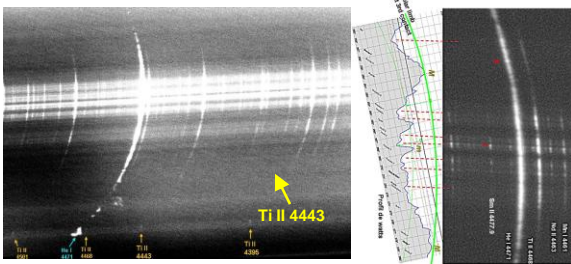
Interface photosphère-couronne, enveloppes d'hélium et enrichissement de la couronne solaire en éléments low FIP

Cyrille Bazin¹, Serge Koutchmy¹, Ehsan Tavabi⁵, Jean-Claude Vial², Philippe Lamy³ et Igor Veselovsky⁴

- 1- Institut d'Astrophysique de Paris UMR 7095 CNRS-INSU & UPMC
- 2- Institut d'Astrophysique spatiale Orsay UMR 8617 CNRS-INSU Université Paris XI
- 3- Laboratoire d'Astrophysique de Marseille UMR 6110 CNRS-INSU- Aix Marseille Université
- 4- Moscow Lomonosov University
- 5- Payame Noor University of Tehran, 14155-6466, I.R. of Iran

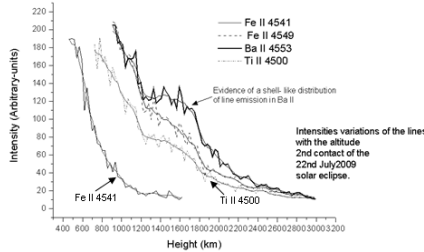
Résumé:

Grâce aux nombreux spectres éclairs obtenus lors des contacts d'éclipses totales à l'aide de caméras CCD et/ou CMOS à cadence rapide (résolution radiale équivalente à 60 millisecondes d'arc dans l'atmosphère solaire soit 45 km), il a été possible de montrer que la surabondance dans la couronne en éléments à bas potentiel de première ionisation dits « low FIP » (FeII, TiII, BaII..) provient des basses couches de l'atmosphère solaire située juste au-dessus du minimum de température de la haute photosphère. La myriade de raies en émission de ces éléments se forme dans les régions situées entre 200 et 600 km au dessus du vrai bord solaire (défini avec le continu pris entre les raies d'émission et, pour la première fois, en l'absence de toute lumière parasite), où le bêta du plasma est <1 au moins dans le réseau chromosphérique. Les enveloppes de l'HeI à 4713Å, 4471Å et de l'HeII à 4686Å (raie Paschen alpha) dans ces raies optiquement minces observées lors des récentes éclipses (2008, 2009, 2010, 2012, et 2013) commencent à apparaître à partir de 800 km du bord, bien au-dessus du minimum de température. Ces résultats montrent des courbes de lumière pour chaque ion $I = f(h)$ qui se situent dans des altitudes relativement distinctes dans l'atmosphère solaire. Les échelles de hauteur correspondantes traduisent des gradients de densités qui permettent d'évaluer des températures dans l'hypothèse hydrostatique. Par ailleurs, avec des raies du Titane ionisé utilisées comme traceurs, nous montrons une analogie entre l'interface photosphère-couronne et l'interface protubérance-couronne. Nous discutons du rôle du champ magnétique et de la diffusion ambipolaire pour alimenter la couronne en masse. Enfin des mécanismes de photo-ionisation des raies de l'hélium par le rayonnement EUV coronal sont illustrés grâce aux données SDO/AIA obtenues simultanément à l'occasion de ces éclipses.



Sommes de 100 spectres éclairs autour de $500 < h < 1500$ km, éclipse totale du 22 Juillet 2009. L'image en croissant de l'interface photosphère-chromosphère dans les raies du Ti II et He I 4471 limitées par le bord de la Lune vers 1000 km se prolongent dans l'image monochromatique de la protubérance observée plus haut dans ces mêmes raies. A droite macroscopiques résolus et corrélations low FIP – high FIP

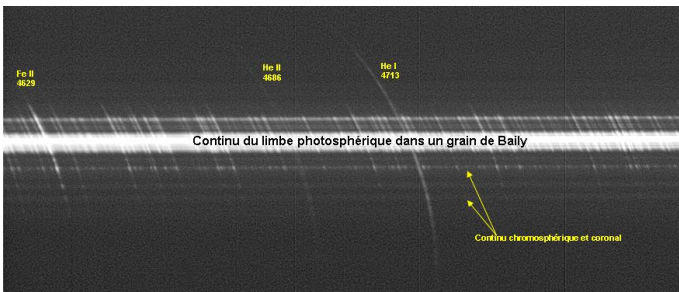
Echelles de hauteur déduites des spectres éclairs de l'éclipse du 22 Juillet 2009 (en faisant l'hypothèse d'une décroissance exponentielle)



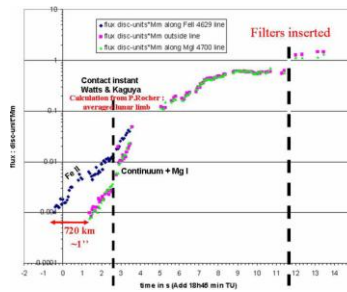
Raies étudiées C2/2009	longueur d'onde (Å)	Echelles de hauteurs
Fe II	4541	319 ± 50 km
Fe II	4549	561 ± 60 km
Ba II	4554	554 ± 60 km
Ti II	4500	607 ± 60 km

HETL

Courbes de lumière des raies Fe II, Ti II, Ba II C2 du 22 Juillet 2009



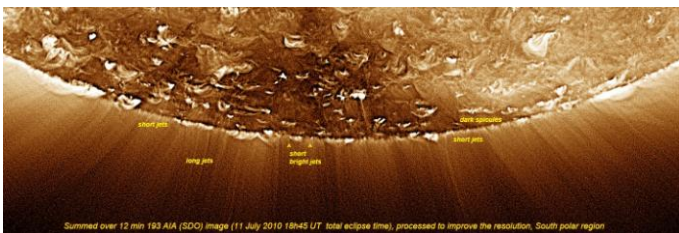
26 spectres sommés correspondant à une altitude évaluée de 400 km et au dessus (limbe photosphérique du modèle 1D), 3^{ème} contact éclipse totale du 11 Juillet 2010



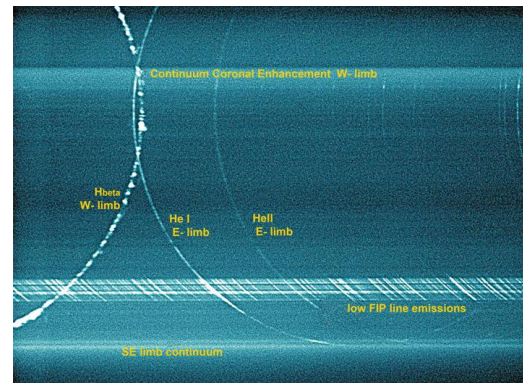
Bifurcation sur le bord solaire, sans lumière parasite: séparation du Fe II 4629 low FIP et du vrai continu (He I, diffusion Thomson..) relevé en dehors des raies d'émission dans la région du minimum de température. D'après les spectres éclairs, éclipse 11/07/2010

Echelles de hauteur déduites par inversion d'intégrale d'Abel (spectres éclairs 11/07/2010)

Equations pour l'inversion d'Abel	Echelle de hauteur estimée
Continu 2 nd contact 2010 $y = 6,210553 \times 10^{-10} e^{-0,00196013x}$	141 ± 50 km
Fe II 4629 2 nd contact 2010 $y = 7,529 \times 10^{-10} e^{-0,002882739x}$	346 ± 60 km
He I 4713 2 nd contact 2010 $y = 1,832821 \times 10^{-10} e^{-0,00219098x}$	456 ± 60 km
He II 4686 2 nd contact 2010 $y = 1,994827 \times 10^{-10} e^{-0,001766541x}$	566 ± 80 km



Limbe solaire à 193 Å Fe XII dans le trou coronal observé à l'éclipse de 2010
Sommaton de 12 images pour améliorer le rapport signal sur bruit, et déconvolution. Spicules vus en absorption et plus haut: jets et boucles en émission. La très basse couronne est structurée à l'extrême; il est impossible de proposer un modèle statique: tout est dynamique (champ magnétique émergent; oscillations; reconnections; flots etc).



Nouveaux spectres éclairs lors de l'éclipse hybride du 3 Novembre 2013 (Ouganda): Enveloppes d'hélium observées sur une plus grande extension vers les régions polaires, et formées dans les couches plus basses ($h < 800$ km): embrillancements corrélés aux Low FIP