

En astronomie, la spectroscopie est un outil fondamental pour l'étude de la composition chimique des astres, mais grâce à l'**effet Doppler**, elle donne également accès à leur dynamique : vitesses de translation et de rotation des planètes, des étoiles ou des galaxies.

**Effet Doppler**

Observateur



On considère une source lumineuse (étoile, galaxie ..) qui se déplace à la vitesse  $\vec{V}$  par rapport à un observateur (**vitesse relative**). Si  $\lambda$  est la longueur d'onde émise par la source, la longueur d'onde détectée par l'observateur est  $\lambda'$ . Le décalage  $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$  est donné par :

$$\Delta\lambda/\lambda = V_R/c$$

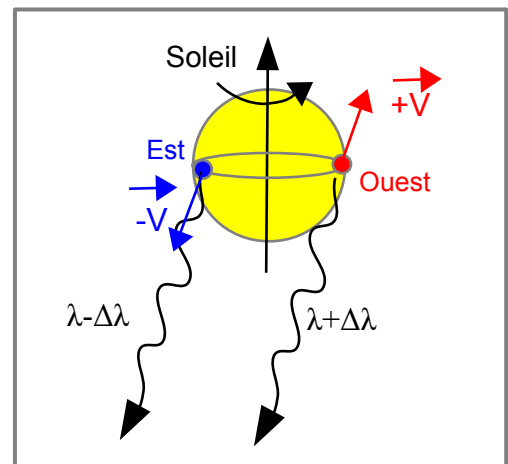
où  $V_R$  est la composante de la vitesse relative sur la direction de visée (**vitesse relative radiale**) et  $c$  la vitesse de la lumière. La relation est valable lorsque la vitesse relative est petite devant la vitesse de la lumière. Selon que la source s'éloigne ou se rapproche de l'observateur, la lumière est décalée vers la partie rouge ou la partie bleue du spectre.

**Rotation solaire**

La période de rotation sidérale du Soleil au niveau de son équateur est voisine de 25,1 jours. Dans un repère centré sur le Soleil et lié à la Terre, cette période (rotation synodique) est de 27 jours. Sur l'équateur solaire, deux points **Est** et **Ouest**, diamétralement opposés sur le bord du disque solaire sont animés de vitesses opposées. Leur direction est parallèle à l'axe Soleil-Terre et leur valeur absolue est :

$$V = 1,87 \text{ km/s}$$

(On suppose ici pour simplifier que l'axe de rotation du Soleil est perpendiculaire à la direction de visée)



La lumière solaire émise par les deux points **Est** et **Ouest** sera décalée spectralement par effet Doppler de deux quantités opposées  $-\Delta\lambda$  et  $+\Delta\lambda$ , telles que :  $\Delta\lambda/\lambda = V/c$

Soit pour une longueur d'onde  $\lambda = 5413 \text{ \AA}^*$  :

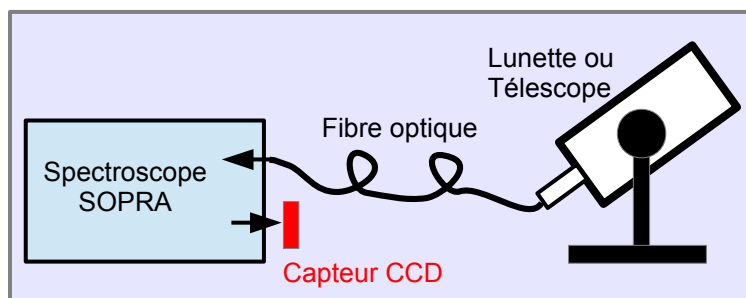
$$\Delta\lambda = 0,0335 \text{ \AA}$$

Par contre, au centre du disque solaire, le décalage est nul car la vitesse est perpendiculaire à la direction de visée.

(\* ) l'Angström (Å) est une unité de longueur d'onde " historique " et non officielle. Elle est cependant très " naturelle " en spectroscopie de haute résolution dans le domaine visible. 1 Å équivaut à 0,1 nm.

**Dispositif de mesure**

Schéma de principe



La lumière solaire est captée par une lunette Orion ED80 associée à une lentille de Barlows (TeleVue Powermate x2,5) sur une monture Orion HEQ5 . Son ouverture (80 mm) est diaphragmée à 25 mm par un filtre (Astronomik IR-cut) qui transmet la lumière entre 3700 Å et 6900 Å .

### **Spectroscopie à réseau à haute résolution**

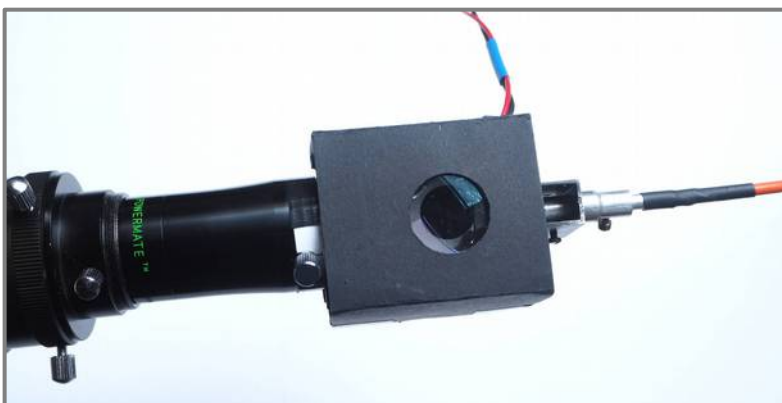


Compte tenu de son encombrement et de son poids élevé (30 kg), le spectroscopie ne peut être fixé sur une monture. La lumière est transmise par une fibre optique à cœur de silice (diamètre de cœur 600 microns, longueur 30m). L'entrée de la fibre est placée successivement au centre et en deux points diamétralement opposés de l'image du disque solaire (diamètre 13,7 mm). Ces deux points doivent correspondre à deux points opposés de l'équateur solaire. Pour cela, il faut connaître l'orientation de l'axe solaire par rapport à l'axe polaire céleste à la date de la mesure. On trouve les paramètres correspondants sur le site : <http://bass2000.obspm.fr>.

Un dispositif à miroir et lentille permet le contrôle visuel de la position de la fibre dans le plan de l'image du Soleil. La sortie de la fibre est couplée au spectroscopie dont la largeur de la fente d'entrée est fixée à sa valeur minimum (15 microns). Le spectre enregistré (au second ordre du réseau) par le capteur CCD est compris entre 5353,9 Å et 5471,4 Å. La dispersion est égale à 0,0574 Å par pixel.

#### **Le capteur CCD**

Le capteur est une caméra monoligne monochrome réalisée avec une barette CCD Sony ILX 511. Elle comporte 2048 pixels rectangulaires (14µm x 200µm). Sa mise en œuvre et les logiciels d'exploitation ont été réalisés par Jean BRUNET. On trouvera les informations sur le site : [http://asnora.pagesperso-orange.fr/atelier/cameraspectro/monoligne511\\_arm.htm](http://asnora.pagesperso-orange.fr/atelier/cameraspectro/monoligne511_arm.htm)

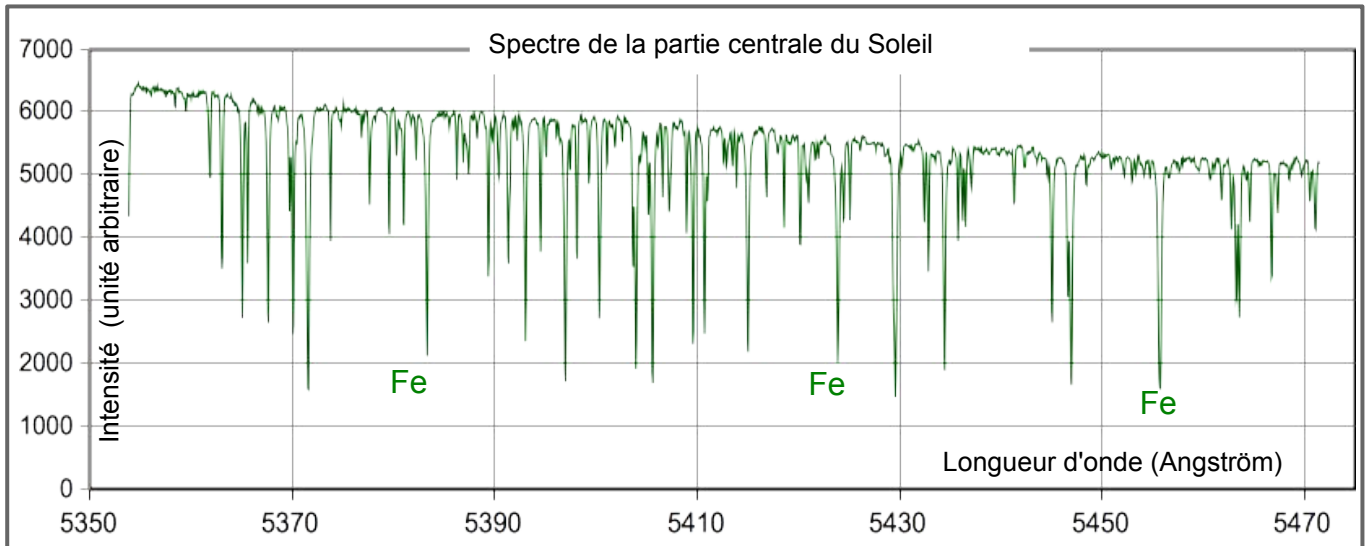


**Dispositif de capture de la  
lumière avec une fibre optique**  
Au centre, un système lentille-miroir  
permet le contrôle de la position de la  
fibre dans le plan de l'image solaire

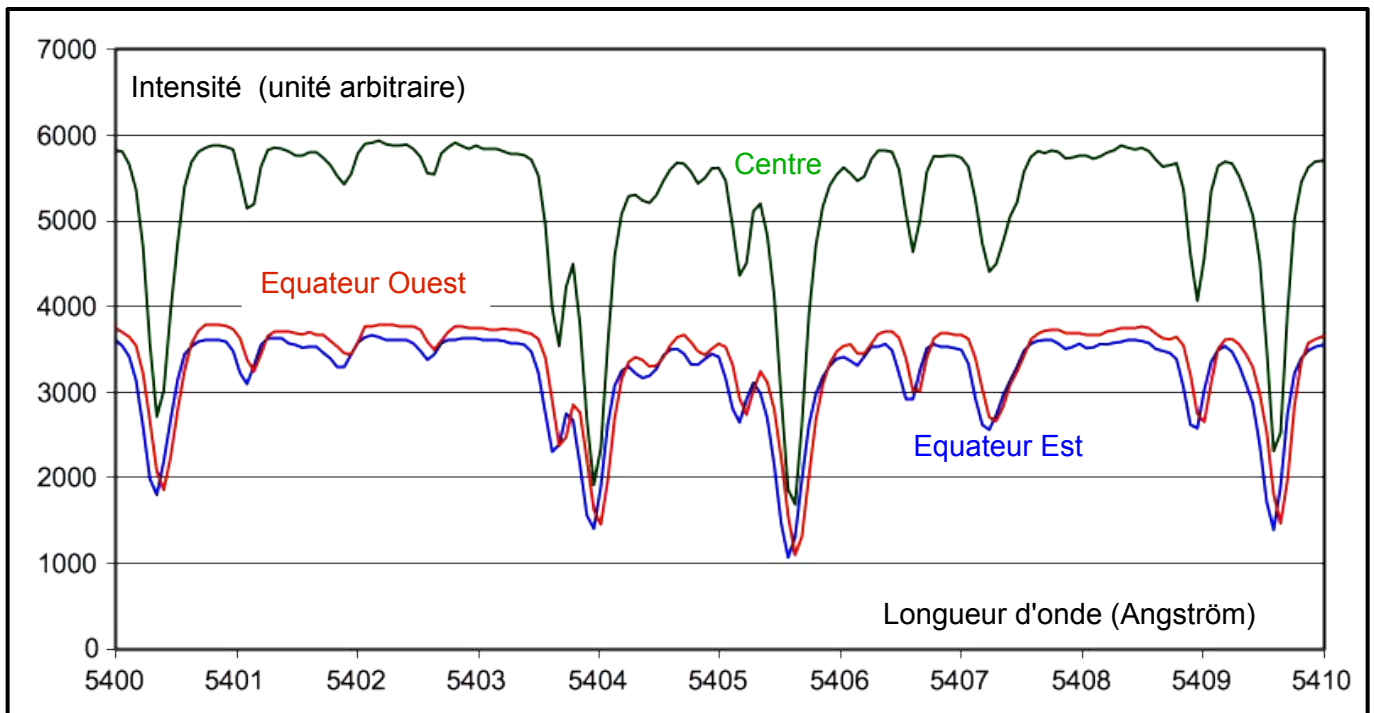
## **Mesures**

La carte d'acquisition du CCD fait la somme de 16 enregistrements de 50 millisecondes de temps d'intégration. On réalise successivement le "Signal" et le "Noir". Les deux fichiers de sortie sont traités sur un tableur *OpenOfficeCalc* pour la soustraction du "Noir" .

La figure ci-dessous représente le spectre de la partie centrale du disque solaire enregistré dans l'intervalle de longueur d'onde (5353,9 Å – 5471,4 Å). Les raies d'absorption les plus intenses sont caractéristiques de l'atome de Fer.



Et ci-dessous, une portion (5400 Å - 5410 Å) du spectre enregistré pour les trois positions d'analyse : Centre, Équateur Ouest et Équateur Est. On voit clairement le décalage opposé des deux spectres équatoriaux par rapport au centre du disque solaire.



## Analyse et comparaison avec les prévisions

On peut chiffrer le décalage "à vue", mais pour obtenir une valeur plus précise, on utilise la fonction statistique "Coefficient de corrélation" du tableur. Le graphe correspondant est représenté ci-dessous. La position du diamètre de la courbe fournit la valeur précise du décalage  $D_m$  :

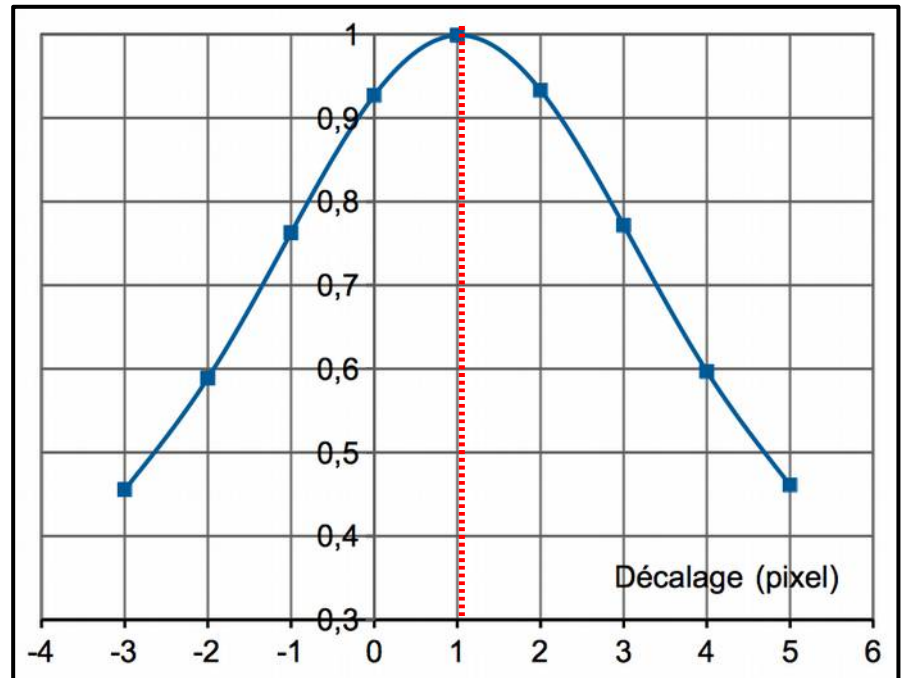
$$D_m = 1,03 (\pm 0,02) \text{ pixel}$$

Soit :  $D_m = 0,059 (\pm 0,001) \text{ \AA}$

à comparer au décalage estimé :

$$D_e = 2\Delta\lambda = 0,067 \text{ \AA}$$

**Coefficient de corrélation  
des spectres  
EST et OUEST**



Deux causes sont à l'origine du faible désaccord :

- l'axe de rotation solaire n'est pas rigoureusement dans le plan de visée de la lunette
- la zone analysée sur le disque solaire a un diamètre de 0,6 mm ( correspondant au diamètre de la fibre), non négligeable devant le diamètre de l'image (13,7 mm). De ce fait, la direction de la vitesse n'est pas parallèle à la direction de visée sur la totalité de cette zone.

Il en résulte une diminution du décalage  $D_e$  que l'on peut estimer à 8% environ. Soit :  $D_e' = 0,061 \text{ \AA}$

L'écart relatif entre la valeur mesurée et la valeur estimée est voisin de 4% seulement : on peut conclure que le dispositif (fibre optique, spectroscopie, capteur CCD) permet de rendre compte de la rotation solaire avec une bonne précision.