

# Observations à Themis de raies atomiques et moléculaires dans une tache

*Jean Arnaud*

*LATT, OMP*

*Sveltana Berduygina & Dominique Fluri*

*Institut für Astronomie, ETH Zürich*

## Introduction et plan

Je présente ici quelques premiers résultats d'un travail en cours de dépouillement d'observations spectro-polarimétrique d'une tache solaire dans 6 régions spectrales. Les données, obtenues le 6-9-04 sont parmi les meilleures du run.

Après avoir indiqué les objectifs scientifiques et présenté les domaines spectraux observés, je décrirai le traitement des données et ce qu'il indique sur la précision des mesures.

Je montrerai en suite quelques paramètres de Stokes obtenus.

Je conclurai sur les améliorations qui me semblent prioritaires pour améliorer la qualité polarimétrique des observations avec Themis.

Que l'on veuille bien m'excuser pour le caractère un peu sommaire de cette présentation, aussi dans sa forme.

## **Motivations scientifiques**

Étude de la structure thermique et magnétique des taches solaires par observations simultanées de raies atomiques et moléculaires. Les raies moléculaires sont très sensibles à la température, elles permettent d'étudier les régions les plus froides des taches.

## **Raies observées**

### Raies atomiques

Fe I: Doublet à 525 nm, B et « filling factor »

He I D3: chromosphérique, indicateur d'éruptions

Li I (+ TiO dans la région spectrale)

### Raies moléculaires

MgH: température relativement élevée, ombre et pénombre, sensibles à la température et à la pression.

TiO: formées seulement dans les régions les plus froides des taches, grande sensibilité magnétique et thermique

C2: fortes dans la pénombre

## Les 6 régions spectrales observées

Fe I à 525 nm

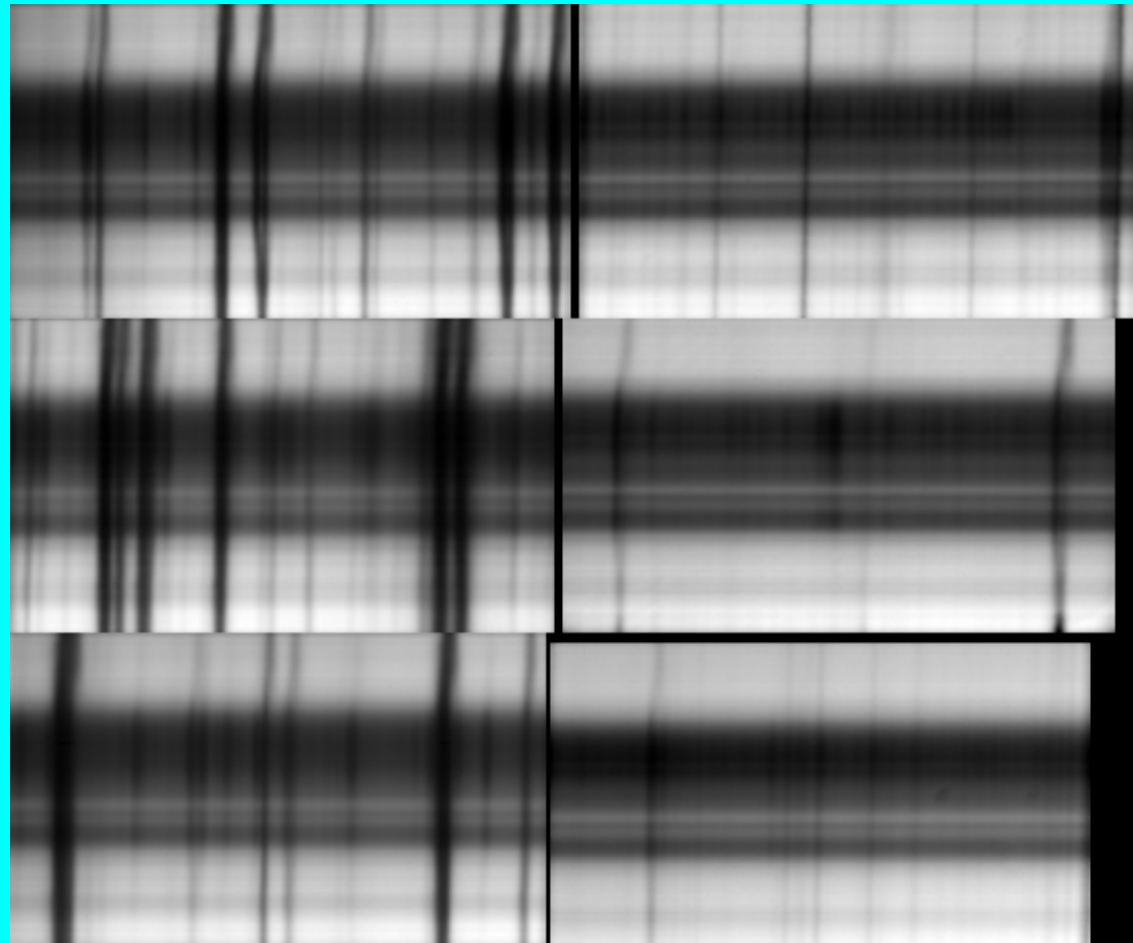
C<sub>2</sub> à 514 nm

MgH à 520 nm

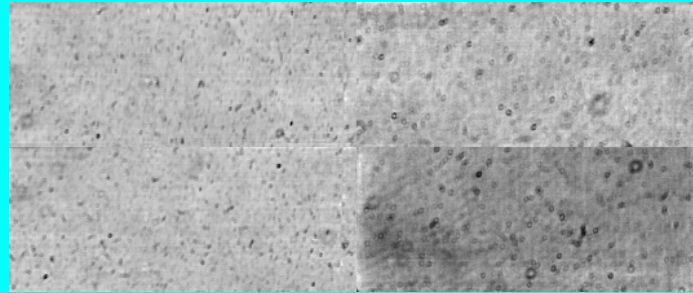
TiO à 705.5 nm

Li I à 607.8 nm

He D3 à 587.5 nm

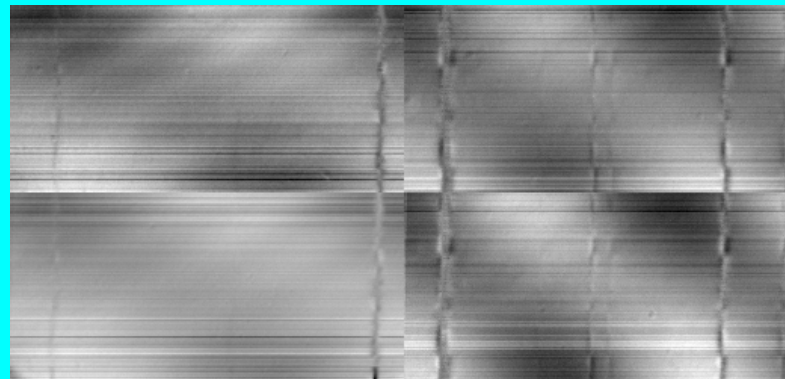


## Les flats-fields



### Pourquoi les flats-fields sont nécessaires

- Profils en intensité propres: important pour les codes d'inversions
- Paramètres de Stokes polarisés:
- Les spectres sont recentrés: perte de la correspondance de pixel à pixel
- Correction des franges créées par l'analyseur

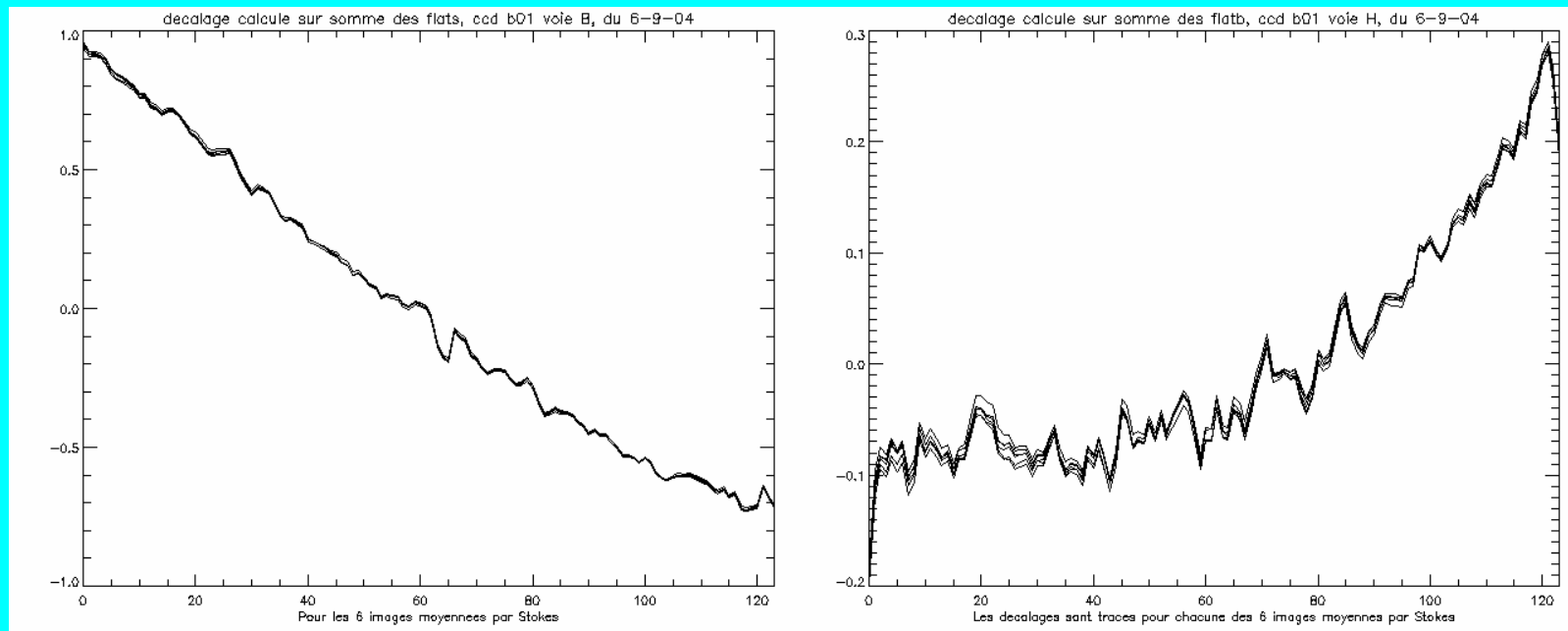


Flats fields utilisés ici: Tous les flats d'un jour d'observation sont combinés

# Redressement et recentrement en longueur d'onde des spectres

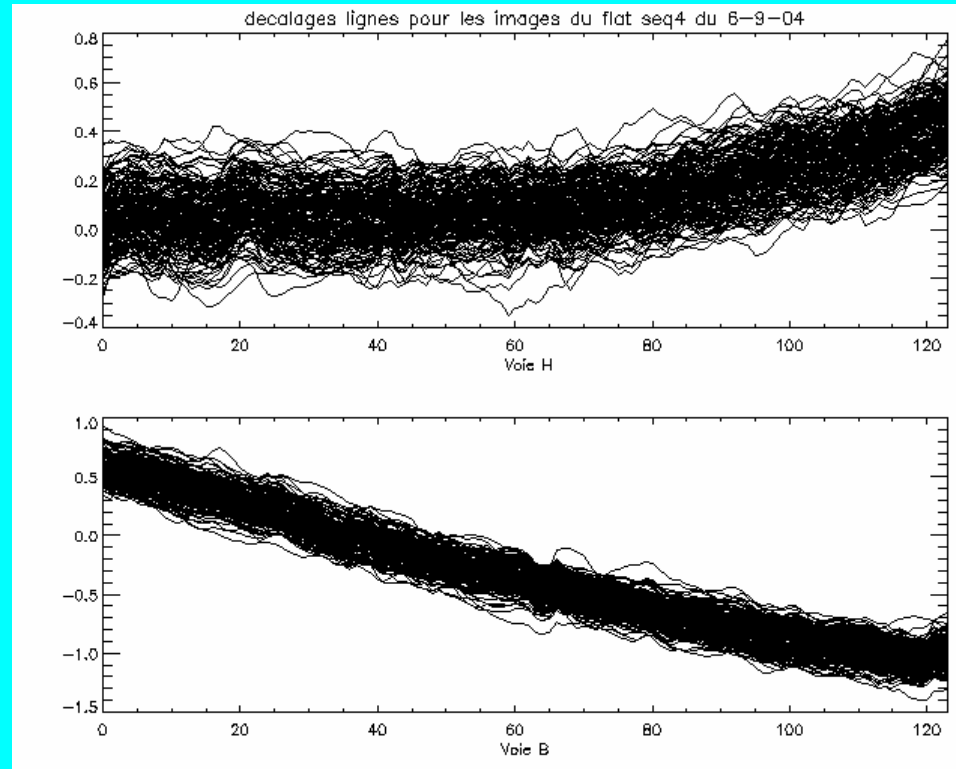
Nécessaires pour:

- Combiner les deux voies polarimétriques
- Faire des différences d'images
- Mesurer des vitesses



Iso-lambda calculés sur la moyenne des flats du 6-9-04 , tracés pour les 6 positions des retardateurs utilisées, pour le ccd01. Leur forme est différente pour chaque ccd.

## Les iso-lambda calculés individuellement pour tous les spectres (180) d'un flat

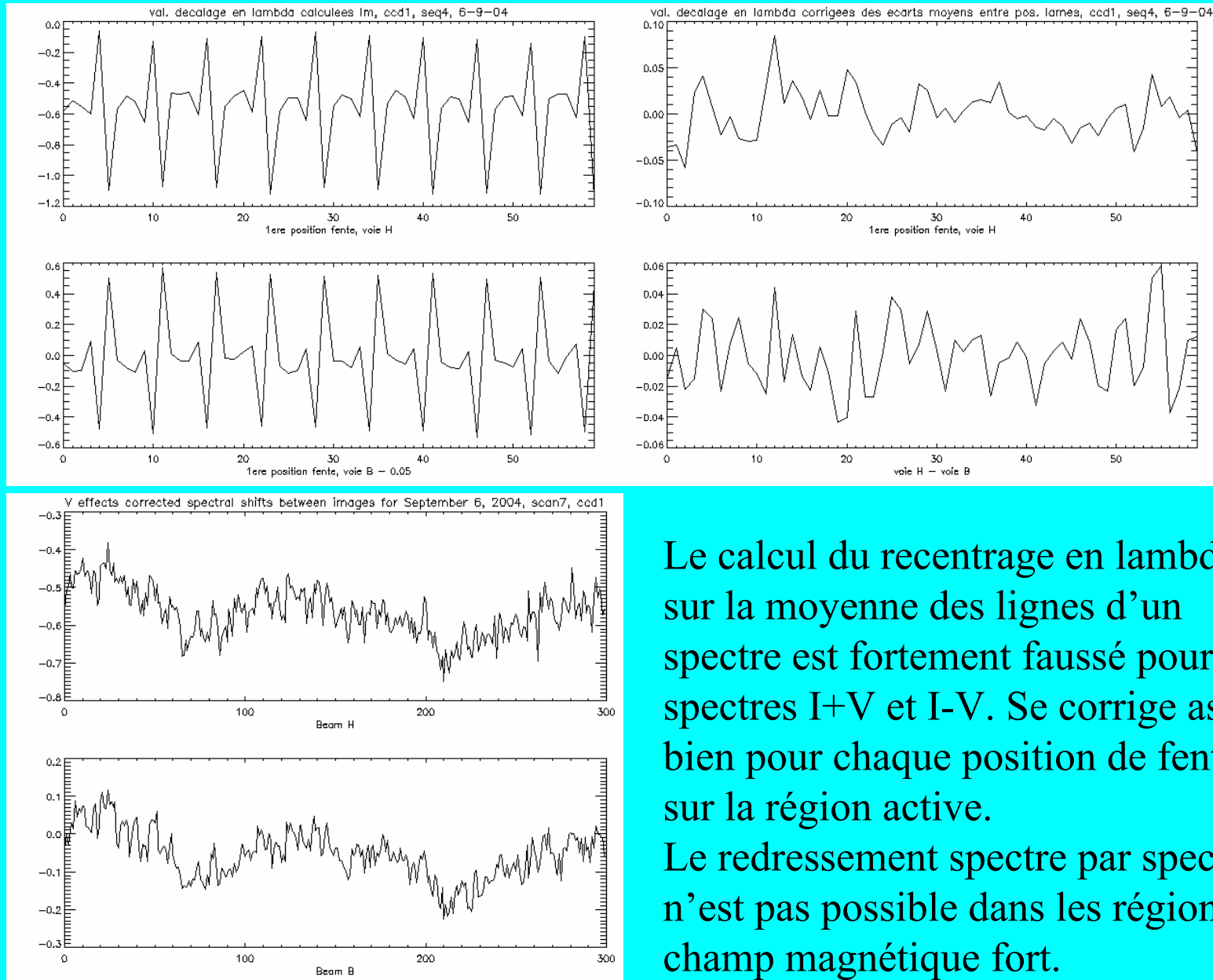


La courbe d'iso-lambda est différente d'une image à une autre d'un balayage et sa position moyenne se décale de 0.4 pixel crête à crête:

Il faut faire les corrections de redressement et recentrage en longueur d'onde spectre par spectre pour les balayages.

Possible uniquement en l'absence de champs magnétiques forts.

# Recentrage en longueur d'onde



Le calcul du recentrage en lambda sur la moyenne des lignes d'un spectre est fortement faussé pour les spectres I+V et I-V. Se corrige assez bien pour chaque position de fente sur la région active.

Le redressement spectre par spectre n'est pas possible dans les régions de champ magnétique fort.



# La correction des cross-talks

Les paramètres de Stokes mesurés sont en général fonction de plusieurs des paramètres de Stokes du rayonnement émis par le soleil (cross-talk). Parmi les causes de cet effet: nuages, polarisation instrumentale, phase des retardateurs différente de  $90^\circ$ , non linéarité de la détection, ...

Toute différence due au seeing, à des déplacements de matière sur le Soleil, entre mesure I+S et mesure I-S, peut induire des cross-talks importants, la mesure des paramètres de Stokes étant lente (par exemple 0.5 sec de pose + 0.75 sec par position des lames retardatrices avec 6 CCDs utilisés). Ces cross-talk sont en principe éliminés (sauf effets dus à la « co-spatialité » imparfaite), l'analyseur étant à deux voies.

Je ne parle ici que de l'effet dû aux lames retardatrices, les autres effets étant difficiles à évaluer pour les mesures considérées ici.

Pour les régions spectrales utilisées, la phase des deux « quart d'onde » varie de 85.2 à 94.1 degrés (valeurs calculées à partir des caractéristiques constructeurs sans prendre en compte les réflexions multiples) et de 86.7 à 96.7 degrés (résultat de mesures données par Themis).

A 525 nm: phase mesurée  $96.1^\circ$     phase calculée  $94.1^\circ$

$$Q_m = Q - 0.107V$$

$$Q_m = Q - 0.073V$$

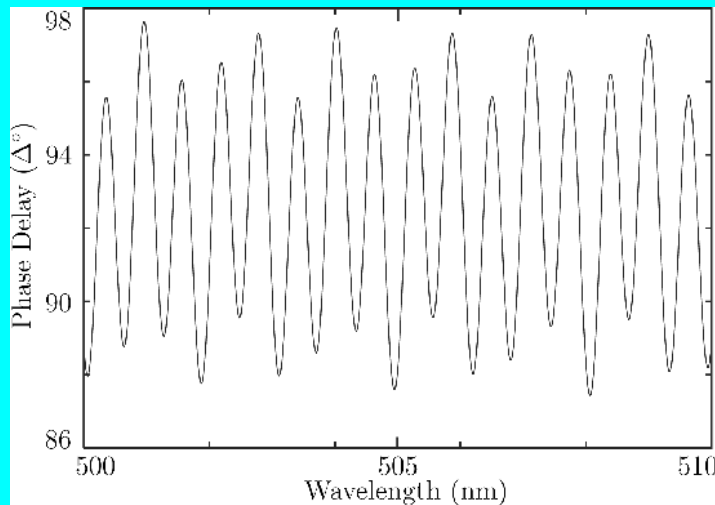
$$U_m = U + 0.15V$$

$$U_m = U + 0.101V$$

$$V_m = V$$

$$V = V$$

## Influence des réflexions multiples dans les lames retardatrices



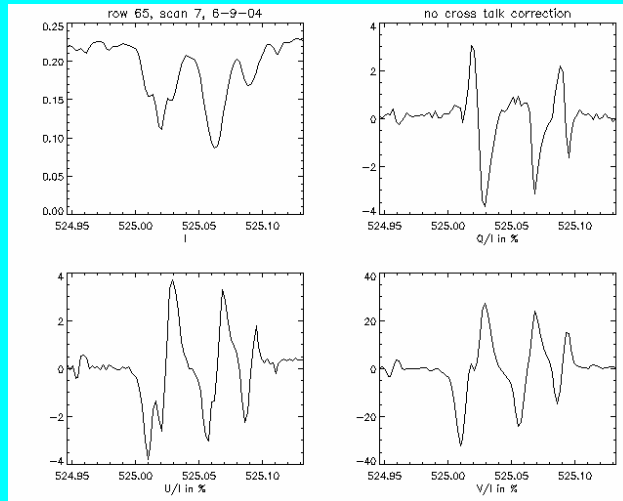
Pour un retardateur achromatique quartz-MgF2 non traité anti-reflets, amplitude importante: + de  $10^\circ$  (!) Avec pseudo période d'environ 0.6 nm.

Themis: deux retardateurs traités anti-reflets, on s'attend à une amplitude moindre mais des variations avec la longueur d'onde plus complexes.

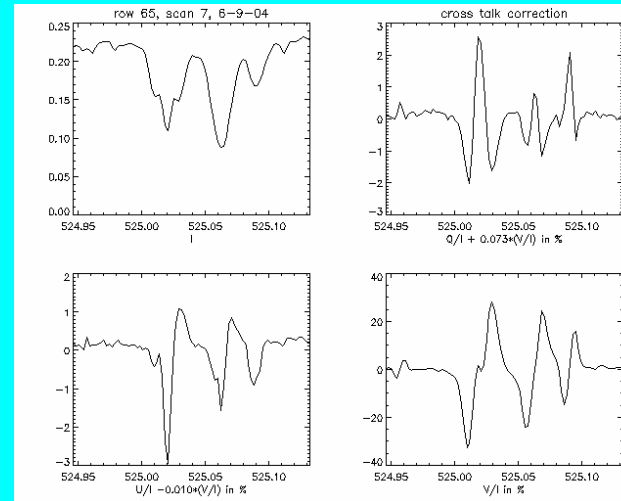
D. Clarke A&A, 434, 377 (2005)

**Conclusion:** il faut pouvoir mesurer les propriétés de l'analyseur pour les longueurs d'onde observées dans les conditions de l'observation.

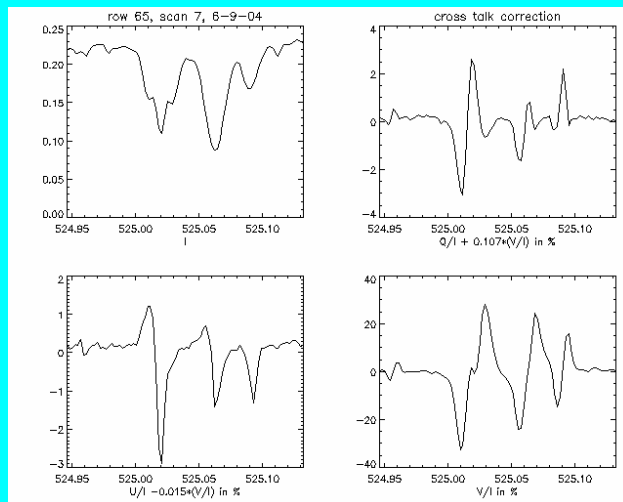
# Différentes corrections de cross-talk pour le doublet du Fe I à 525.0 nm observé dans une tache solaire.



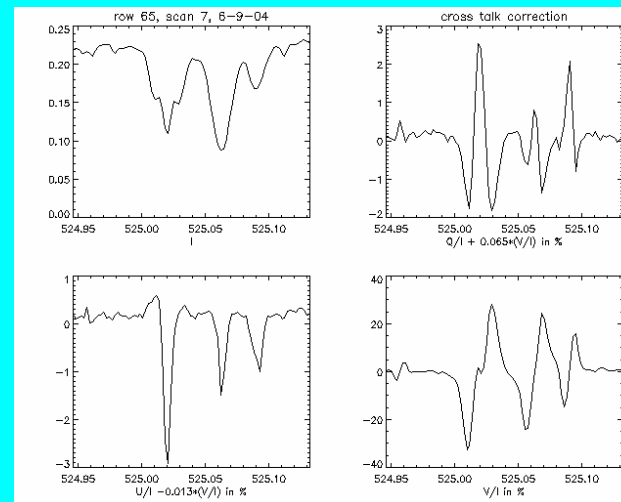
Pas de correction



$Q + 0.073V$  et  $U - 0.01V$



$Q + 0.107V$  et  $U - 0.015V$



$Q + 0.065V$  et  $U - 0.013V$

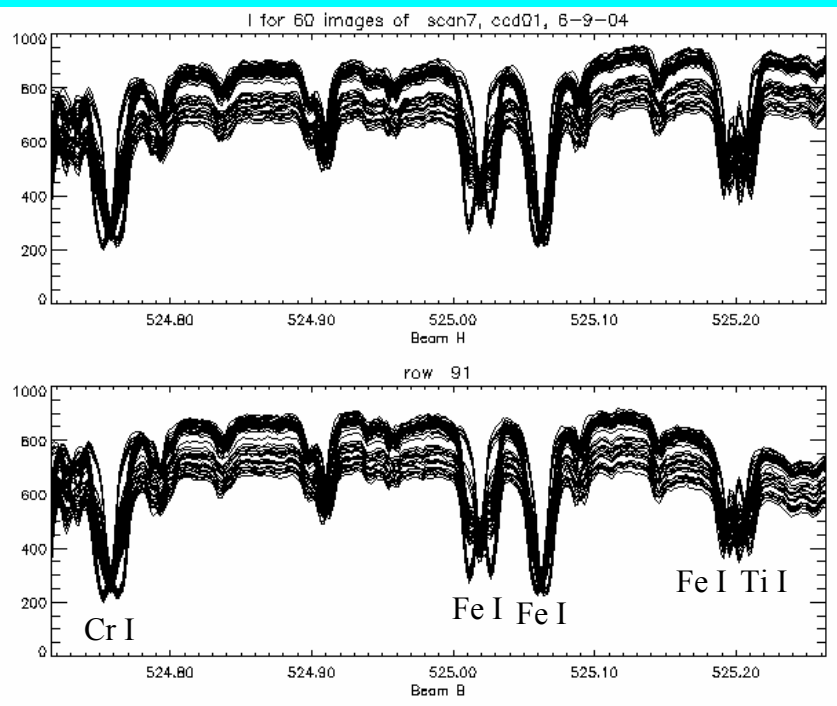
La correction qui symétrise Q et U est proche de celle pour la phase des retardateurs calculée pour Q (0.065 au lieu de 0.070) et un ordre de grandeur plus faible pour U (-0.013 au lieu de -0.10).

Difficile de savoir quoi faire: dissymétrie d'origine solaire, défauts de recentrages en lambda des spectres, effets dus à la phase,

...

## Agitation des images, poursuite

L'image du Soleil bouge en permanence sur la fente d'entrée du spectrographe avec une amplitude de l'ordre de la largeur de la fente: les spectres successifs portent sur des régions du Soleil qui peuvent être sensiblement différentes. Les imperfections de la poursuite contribuent à cela. Je présente ici les conséquences de ces phénomènes sur des observations du 6-9-04.



Tracés de I pour 2x60 spectres obtenus pour une même position de fente pour une ligne du CCD, correspondant à 10x(Q-U-U-V-V). Observation dans la tache. On note les fluctuations importantes de I dues à l'agitation des images, la séparation des composantes Zeeman pour les raies les plus magnétiques, la légère dissymétrie des composantes polarisées circulairement.

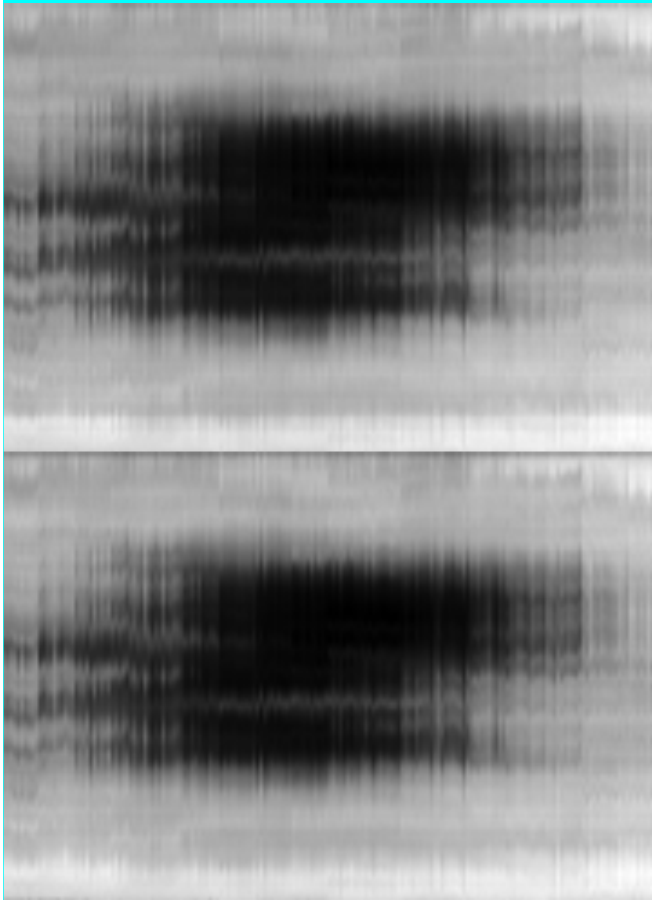
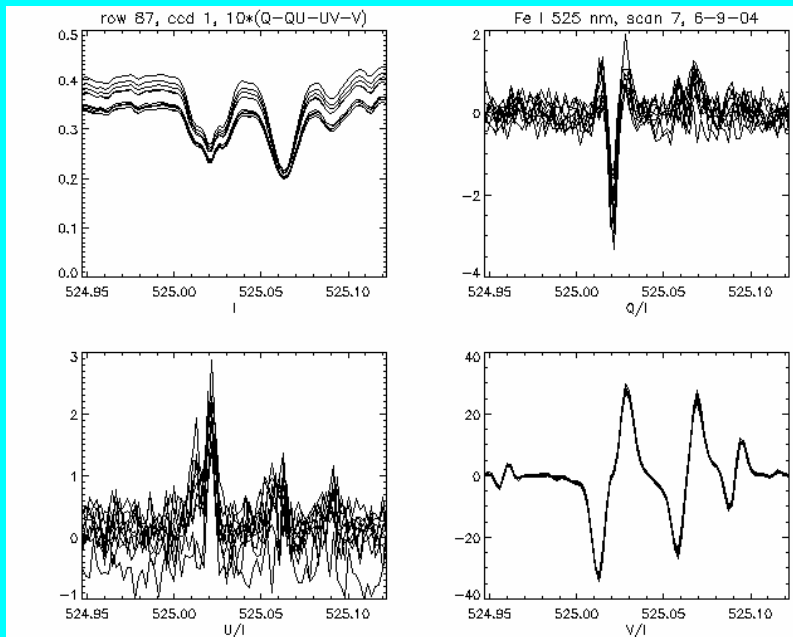
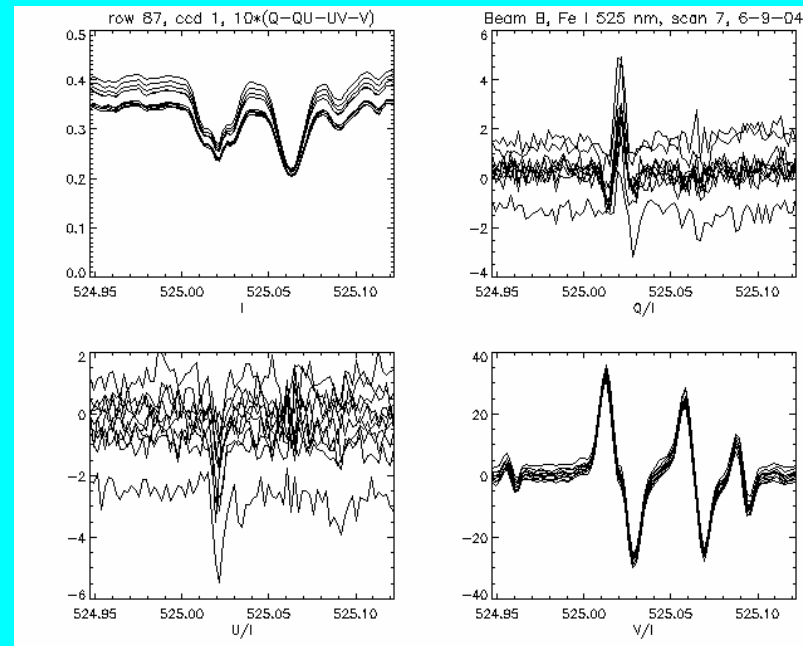
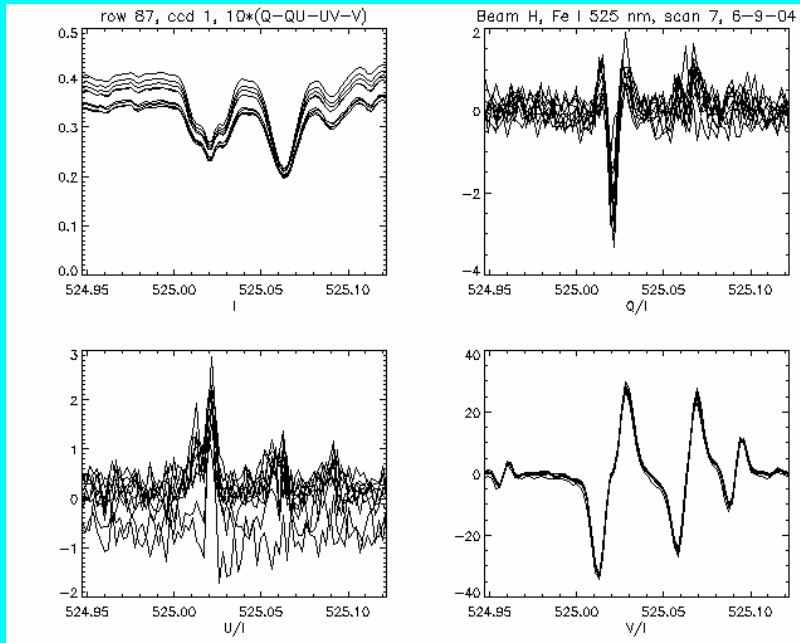


Image très anamorphosée d'une tache reconstituée à partir d'un balayage, une colonne par spectre, 60 colonnes par position de fente.

Fente: 1 arcsec de large, pas de balayage: 1 arcsec.

Les effets de l'agitation des images sont bien visibles.

# Effets de l'agitation des images sur les paramètres de Stokes

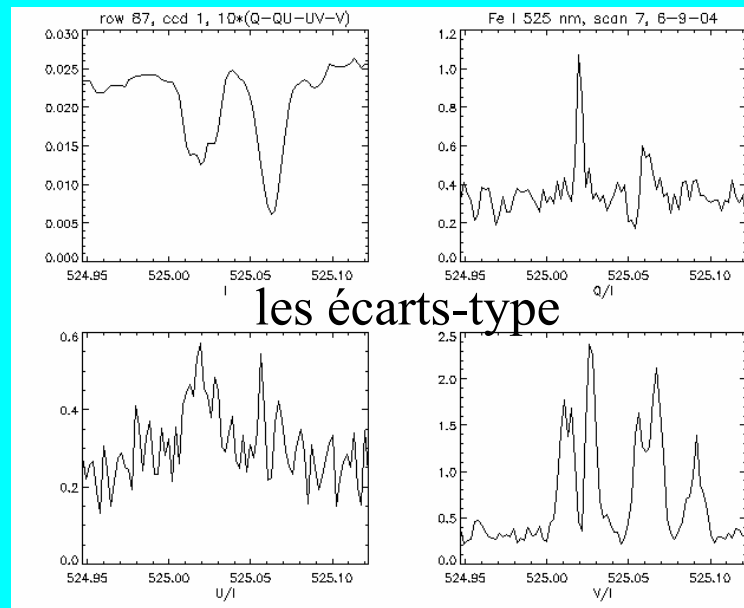
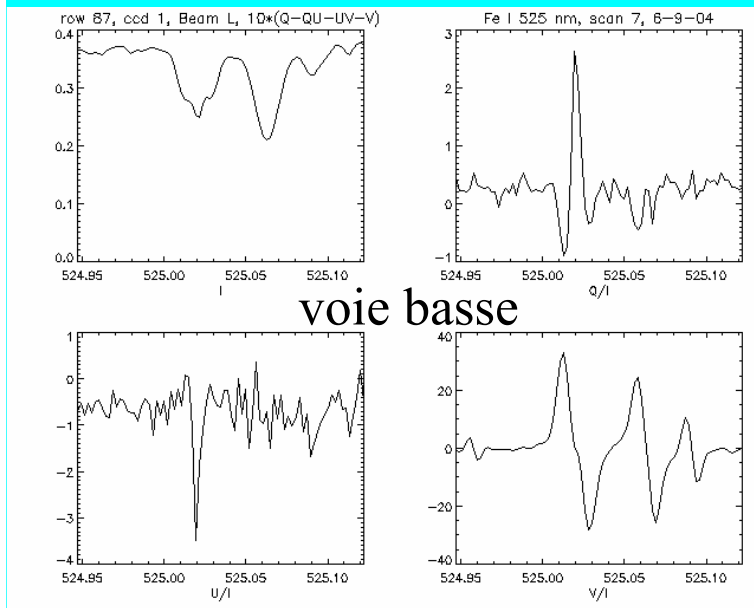
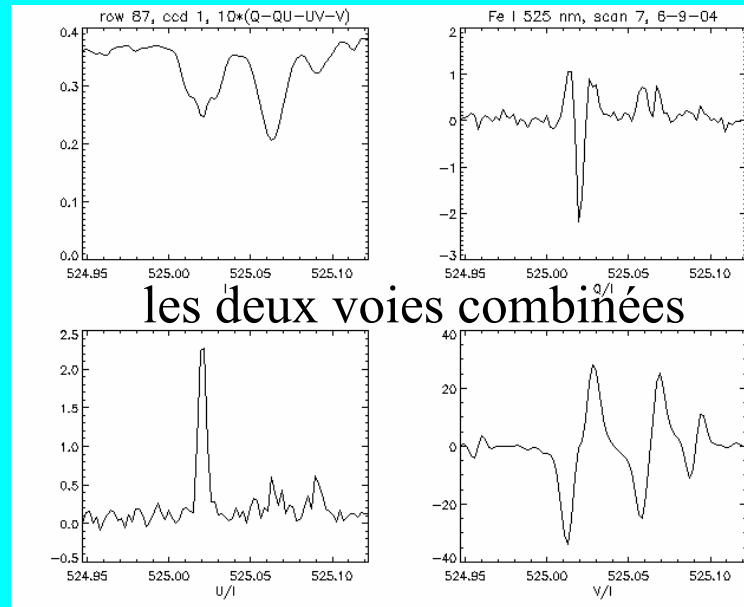
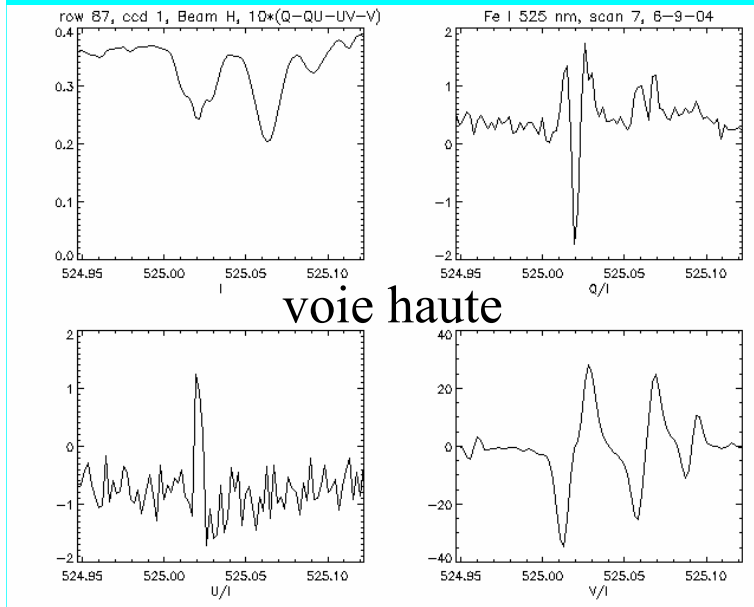


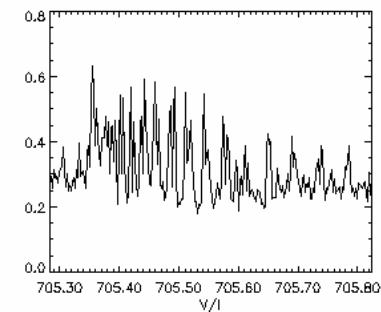
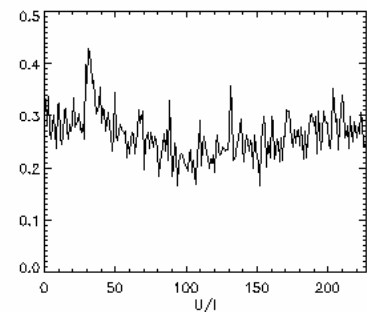
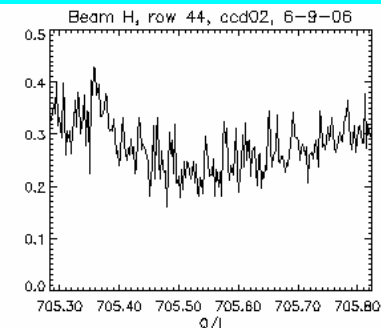
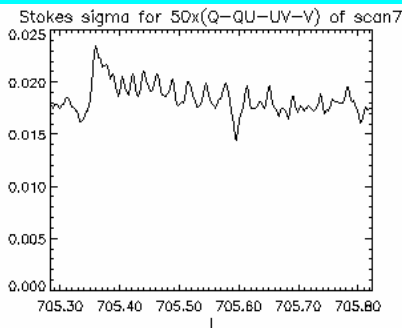
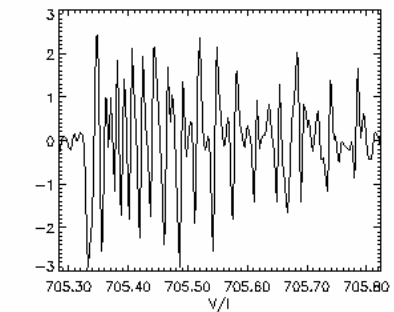
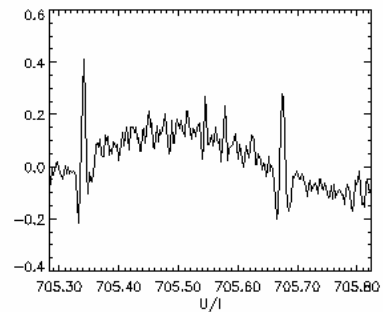
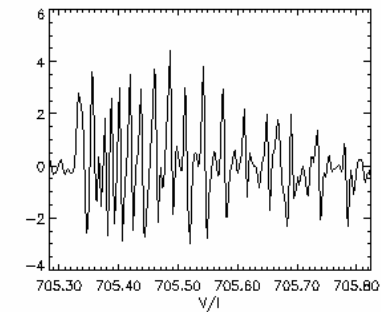
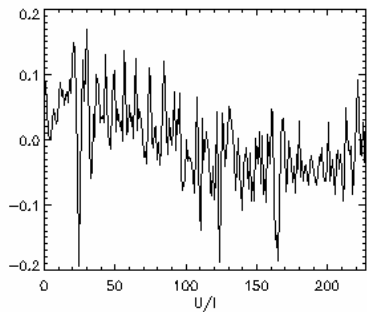
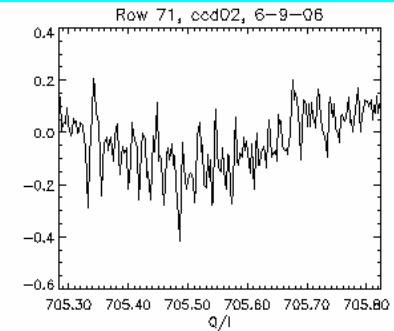
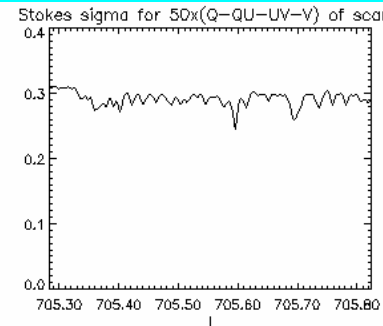
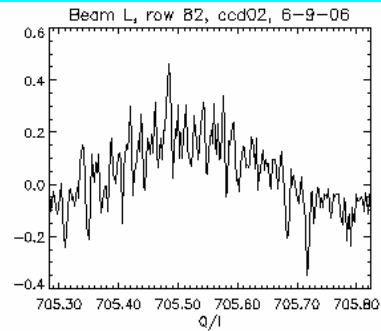
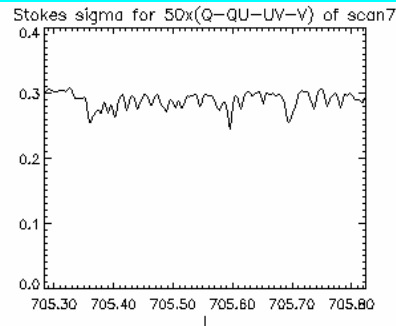
Tracés de  $10*(I,Q,U,V)$  calculés à partir de  $10*(6$  positions des lames de l'analyseur) pour une position de fente.

L'agitation des images fait perdre de la précision surtout sur la mesure de Q et U qui sont un ordre de grandeur plus faibles que V.

La sensibilité de chacune des 10 mesures est suffisante, ce n'est pas elle qui limite la précision de la polarimétrie.

# Moyennes des 10 mesures pour les voies H et B.





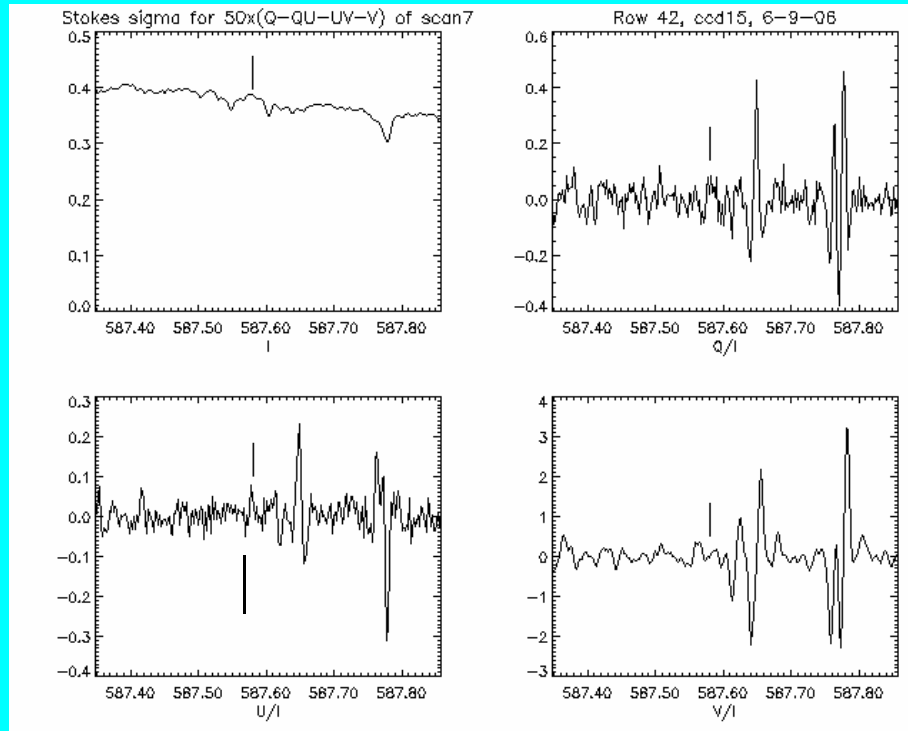
## TiO $R_3$ branch lines Stokes parameter.

$I$  is in fraction of  $I_c$  and polarized Stokes parameters are in % (Upper panels).

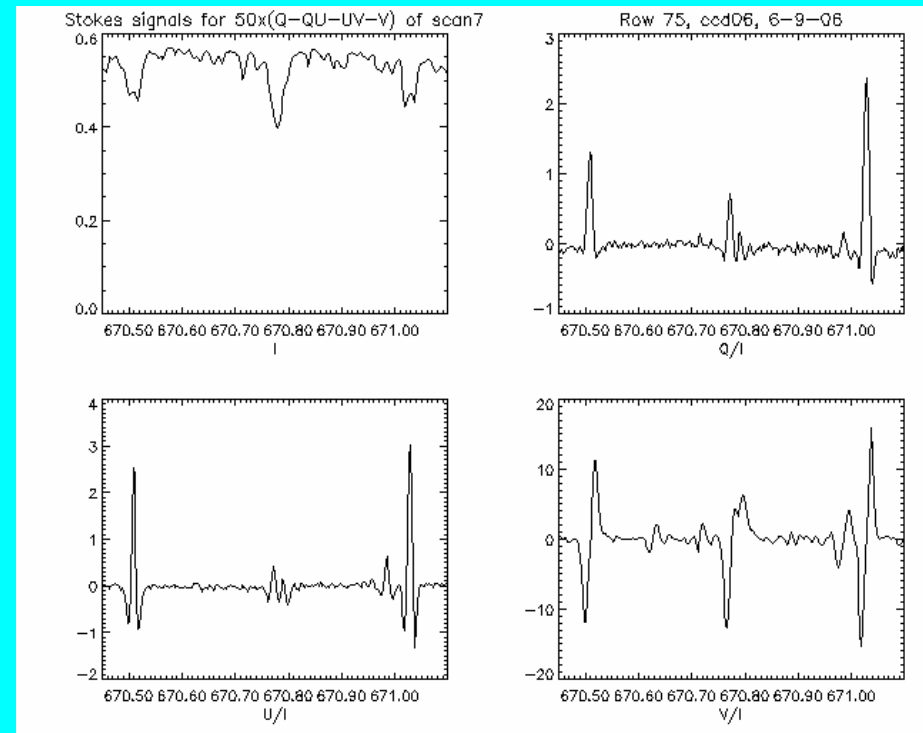
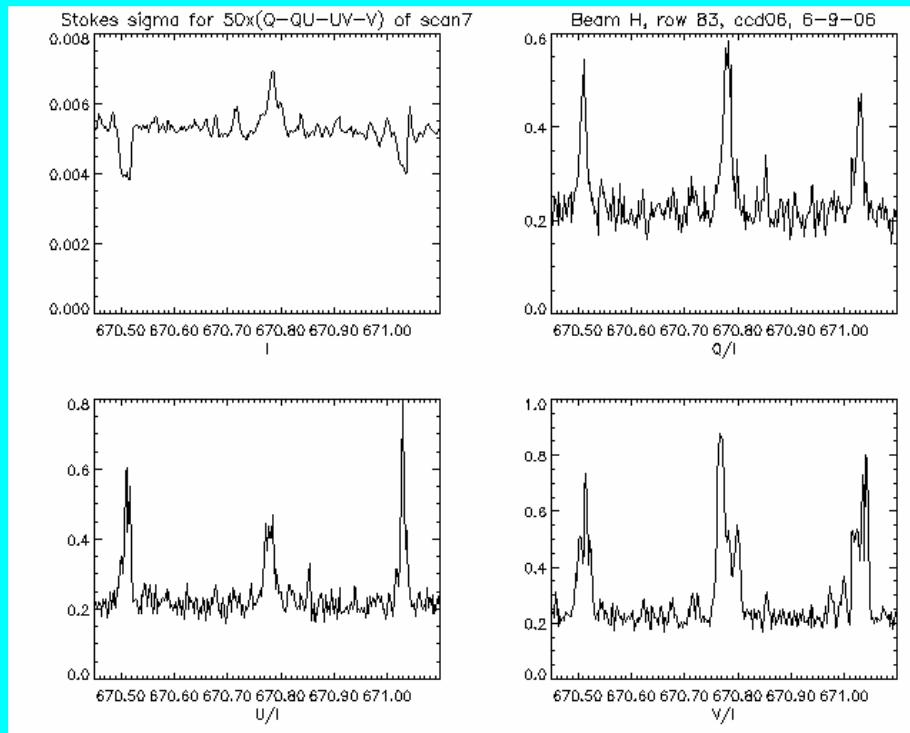
Left panels are for the darker part of the spot: deeper lines and lower polarization.

Left lower panel displays the  $\sigma$  of those 50 measurements: the precision is lower for the lines than in the continuum for the polarized Stokes parameters.



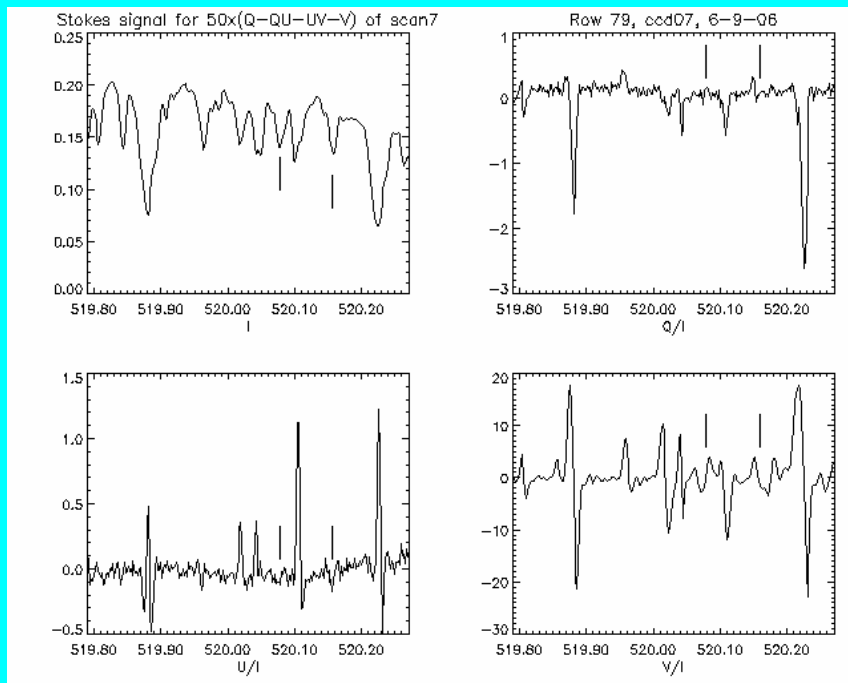


He D<sub>3</sub>: weak emission and polarization  
 here:  $\sim 1 \cdot 10^{-3}$  for Q/I and U/I and  $\sim 5 \cdot 10^{-3}$   
 for V/I.



Standard deviation for the 50 Stokes measurements. It is quite higher in the lines than in the continuum for the polarized Stokes. This is due to image motion and spectrograph instabilities. Assuming good statistical properties, the precision is  $\sigma/7 : 3 \cdot 10^{-4}$  in the continuum and  $1 \cdot 10^{-3}$  in the lines for S/I.

Li I 670.78 nm. Those lines become quite strong in the spot. The two lines come from Li 6 and Li 7, both lines show up very well in polarization.



MgH lines at 520.08 and 520.16 nm.  
They are relatively weakly polarized even  
if quite strong in intensity (low g values).  
Q/I and U/I are  $\sim 10^{-3}$  and V/I  $\sim 5 \cdot 10^{-2}$

## Conclusion for sunspots observations

**Unique spectro-polarimetric data** can be obtained with Themis.

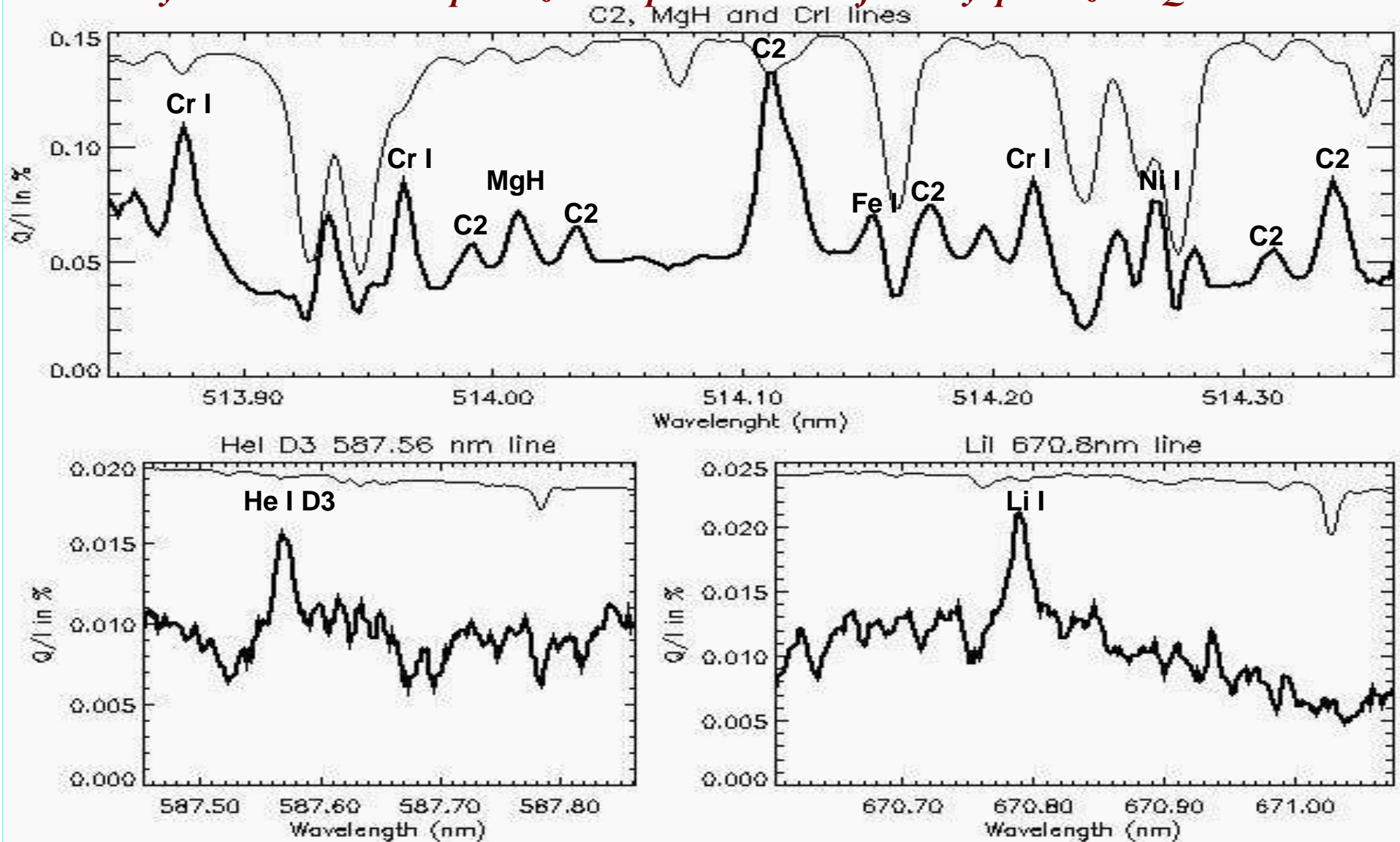
However, without averaging enough spectra for each slit position, linear polarization given by the telescope may be quite wrong, due to image motion and spectrograph instabilities. Using the low pseudo-modulation presently available: 2.5 seconds to get one polarized Stokes parameter and swapping beams (it is very important to do that for Q, U and V) one can really improve Q and U signals, even if the polarization measurements precision is still very significantly reduced by seeing and spectrograph instabilities. Those instabilities may contribute to observed Stokes parameters asymmetries, specially for Q and U.

An important improvement of polarimetric precision is expected from the **tip-tilt**.

**Improving the stability of the spectrograph** seems to me mandatory.

Polarization analysis using much faster **modulation** is highly desirable. If this modulation can be high enough to freeze the seeing, one will get rid of image motion, spectrograph stability and co-spatiality induced cross-taks (not obvious in our data). A slower modulation, + tip-tilt + a very stable spectrograph will allow Themis to provide Stokes parameters much more precise and reliable.

*Themis simultaneous observations of a spectral domain around 514.1 nm rich in second solar spectrum lines, of He I D3 and of the Li I line at 670.8 nm. Those two last lines are very faint in intensity but dominates the polarization spectrum even if weakly polarized :  $Q/I \sim 5 \cdot 10^{-5}$*



September 3, 2004 observations 5" inside the limb at the solar south Pole,  
with S. Berdyugina and D. Fluri, ETH Zurich