

# Mesure de la rotation différentielle du Soleil

MERCIER Wilfried - Observatoire de Paris

27 mars 2018

## 1 Introduction

### 1.1 Rotation différentielle du Soleil

Un corps non solide comme une étoile ou une atmosphère planétaire possède une vitesse de rotation qui peut varier avec la latitude. On dit que le corps possède une rotation différentielle. Dans notre cas, on s'intéresse à la rotation différentielle du Soleil et on souhaite déterminer sa vitesse de rotation pour plusieurs latitude à l'aide d'images de celui-ci.

Pour ce faire il faut déterminer la position d'un point à la surface du Soleil et suivre son déplacement au fil du temps. On pourra ainsi remonter à sa vitesse de rotation.

### 1.2 Utilité des tâches solaires

Afin de pouvoir mesurer la vitesse d'un point à la surface du Soleil il faut il faut que celui-ci ait un contraste élevé avec la photosphère. On choisit de regarder les tâches solaires qui sont des zones plus froides et donc plus sombres par rapport à la photosphère résultant de la déformation de boucles de champs magnétiques. Celles-ci restent en réalité fixes par rapport à la photosphère. Ainsi en étudiant leur mouvement on étudie en réalité le mouvement de rotation du Soleil à différentes latitudes.

## 2 Étapes clés du projet

### 2.1 Sélection des images

Afin d'étudier la rotation différentielle du Soleil il faut pouvoir trouver un certain nombres d'images tel que l'on ait les conditions suivantes respectées :

- avoir des tâches solaires bien visibles qui traversent l'image
- avoir plusieurs tâches solaires à différentes latitudes à étudier

La première condition est respectée si on considère la bande CaII Klv. On choisit donc des images du spectrohéliographe de Meudon dans cette bande-ci sur le site BASS2000 dont la liste complète des noms avec la latitude des tâches considérées est donnée en annexe.

### 2.2 Réglage du contraste

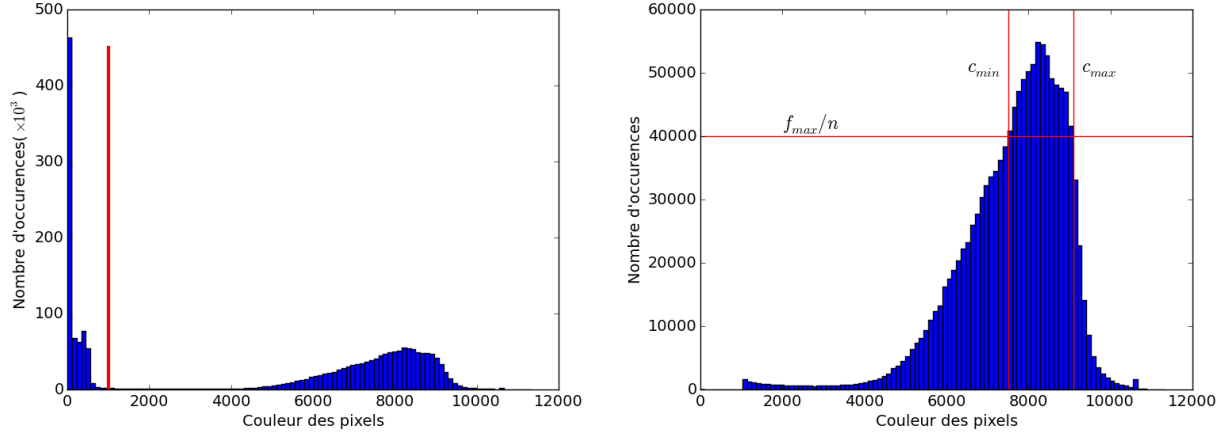
Pour détecter facilement les tâches et les bords du Soleil on souhaite maximiser le contraste. Pour ce faire on produit un histogramme des couleurs de l'image et on cherche la zone dans laquelle les couleurs sont le plus regroupées (hors fond noir).

On cherche la valeur maximale  $im_{max}$  de l'image puis on découpe l'ensemble des couleurs en 100 intervalles entre 0 et  $im_{max}$ . En parcourant l'image on remplit alors l'histogramme.

Dans le cas de l'image de référence on remarque que l'histogramme est constitué de deux zones : une en dessous de 1000 due au fond noir et une seconde autour de 8000 correspondant à la photosphère.

Augmenter le contraste revient à trouver les valeurs des couleurs minimale ( $c_{min}$ ) et maximale ( $c_{max}$ ) à l'affichage. Celles-ci vont se trouver de part et d'autre du second pic. Pour les déterminer on cherche la couleur avec la fréquence d'apparition maximale  $f_{max}$  dans l'histogramme et on regarde les deux valeurs avec une fréquence  $f_{max}/n$ , où  $n$  est un paramètre à ajuster.

On prendra  $n \approx 20$  dans la suite du programme.



(a) Histogramme complet de l'image de référence.

On voit deux zones distinctes apparaître : une en-dessous de 1000 et une autour de 8000.

(b) Histogramme recentré autour de 8000. On voit deux valeurs pour lesquelles la fréquence d'apparition dans l'image est une fraction  $n$  de la fréquence maximale.

FIGURE 1 – Histogrammes de l'image de référence avant et après analyse des couleurs minimales et maximales pour l'affichage

### 2.3 Remise à l'échelle et recentrage

Pour des questions de praticabilité on décide d'appliquer un facteur d'échelle à l'image. On définit une nouvelle image dont les dimensions sont divisées d'un facteur d'échelle  $ech$ . À chaque nouveau pixel correspond une nouvelle valeur moyennée sur un carré de dimensions  $ech \times ech$  pixels

$$\text{nouvelle valeur} = \frac{1}{ech^2} \sum_{i=1}^{ech} \sum_{j=1}^{ech} (\text{ancienne valeur})_{ij} \quad (2.1)$$

On répète l'opération en se décalant de  $ech$  pixels et ainsi de suite de gauche à droite et bas en haut. Éventuellement si la taille originelle de l'image n'est pas un multiple du facteur d'échelle on supprime les bords.

Pour pouvoir déterminer le rayon du Soleil en pixels on souhaite recadrer l'image. On cherche donc les bords du Soleil en parcourant l'image dans 4 zones restreintes (deux centrées verticalement et deux horizontalement). Dans ces zones les premiers pixels rencontrés seront noirs et le premier pixel "blanc" découvert correspondra à un des bords du Soleil. Cependant pour éviter de détecter n'importe quel pixel non-noir on cherche plutôt le premier pixel dans la zone ayant une couleur d'au-moins 30% du maximum de l'image.

### 2.4 Passage aux coordonnées sphériques

L'image obtenue nous fournit les coordonnées dans le plan de l'image de la tâche. Or on souhaite déterminer la vitesse de rotation de la tâche ce qui nécessite de passer dans un système de coordonnées physiques : les coordonnées sphériques.

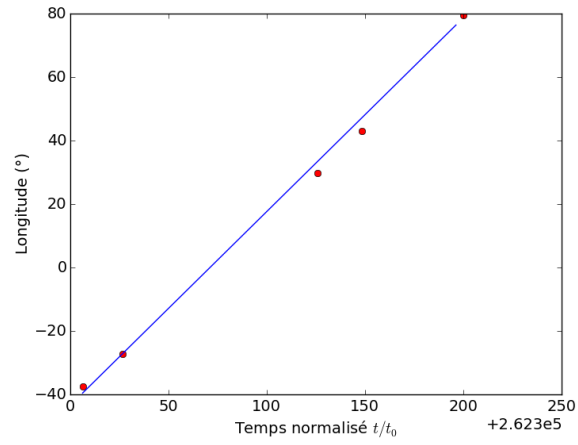
On considère que l'image du Soleil se trouve dans le plan  $(yOz)$ . Ainsi d'après les formules usuelles des coordonnées sphériques on a les relations :

$$y = R_{\odot} \cos l \sin \mathcal{L} \quad z = R_{\odot} \sin l \quad (2.2)$$

où  $R_{\odot}$  est le rayon du Soleil en pixels,  $l$  la colatitude de la tâche,  $\mathcal{L}$  la longitude de la tâche et où les coordonnées  $(y, z)$  sont les coordonnées de la tâche sur l'image en pixels dans le repère centré sur le Soleil ( $y$  horizontale,  $z$  verticale).

Ainsi en inversant ces deux relations on obtient

$$l = \arcsin \frac{z}{R_{\odot}} \quad \mathcal{L} = \arcsin \frac{y}{R_{\odot} \cos l} \quad (2.3)$$



(a) Graphe de la longitude d'une tâche à une latitude de  $15^\circ$  en fonction du temps. Les points représentent les données et le trait continu le fit obtenu par régression linéaire

FIGURE 2 – coucou

### 3 Résultats

## A Annexe : notice d'utilisation des programmes

A.1 Module *histogramme.c*

A.2 Module *reduction.c*

A.3 Module *recadrage.c*

A.4 Module *coord\_sphc.c*