

# Rapport de stage Août - Septembre 2007

Thème :

## Extraction des Angles d'Arrivée sur le bord solaire en présence de bruit : Application aux images MISOLFA.

### **Présentation de l instrument :**

Le MISOLFA ou Moniteur d' Images SOLAire Franco-Algérien, est développé pour analyser les propriétés statistiques spatiales et temporelles de la turbulence optique diurne. Il est basé sur le principe d'extraction, sur un bord solaire, des Angles d'Arrivée (AA) dont l'étude des propriétés statistiques nous permet de remonter aux caractéristiques de cette turbulence.

### **Le bord solaire :**

Pour simuler un bord solaire on considère la fonction échelle (Heaviside), la discontinuité de l'intensité dans cette fonction s'appliquerait à un corps solide dépourvu d'atmosphère.

On ne considère qu'une coupe de l'image dans le sens (centre- bord) ce qui revient à ne prendre qu'une colonne sur l'image obtenue avec une CCD.

On considère la turbulence optique isoplanétique (localisée au sol). L'image du bord dans le champ de vision du télescope est défini dans un repère cartésien d'angles  $\theta_x$  dans le sens centre- bord et  $\theta_y$  dans le sens parallèle au bord, ce dernier est localisé à un angle  $\theta_x = \theta_b$ . On définit donc, la fonction donnant la distribution d'intensité du centre vers le bord à une dimension  $I_0(\theta_x - \theta_b)$  donnée par :

$$I_0(\theta_x - \theta_b) = \begin{cases} 0 & \theta_x < \theta_b \\ 1 & \theta_x \geq \theta_b \end{cases}$$

Comme la turbulence optique est isoplanétique, l'image au foyer du télescope  $I(\theta_x - \theta_b)$  est un produit de convolution entre la distribution d'intensité de l'objet et la réponse impulsionnelle instantanée donnée à une dimension par  $PSF^{1D}(\theta_x)$  celle-ci étant normalisée et centrée.

$$I(\theta_x) = I_0(\theta_x - \theta_b) \otimes PSF^{1D}(\theta_x)$$

On remarque que l'effet de la turbulence optique sur des images instantanées du bord dans le cas isoplanétique peut être décrit selon deux actions. Un premier effet visible est un étalement du bord à cause de la largeur angulaire moyenne des PSF instantanées. Le second, est l'agitation par rapport à une position moyenne de ce bord étalé.

Pour mesurer cette agitation, on mesure la position du photocentre de la dérivé du bord, ce qui revient à dériver la fonction d'intensité  $I(\theta_x)$  par rapport à  $\theta_x$ . Les propriétés du produit de convolution nous permettent d'écrire :

$$\partial I(\theta_x)/\partial \theta_x = \partial I_0(\theta_x - \theta_b)/\partial \theta \times PSF^{1D}(\theta_x)$$

Or la dérivée de la fonction Heaviside nous donne une distribution impulsionnelle de Dirac  $\delta(\theta_x - \theta_b)$  donc l'équation devient :

$$\partial I(\theta_x)/\partial \theta_x = \delta(\theta_x - \theta_b) \times PSF^{1D}(\theta_x) = PSF^{1D}(\theta_b)$$

Cela veut dire qu'en faisant la dérivée du bord on obtient exactement la PSF instantanée réduite à l'emplacement du bord [figure \(page 10\)](#) :

Les fluctuations de la position du photocentre de la dérivée ne donnent les mesures d'agitation de l'AA que parce que la dérivée du Heaviside est la fonction de Dirac.

Le bord solaire ne présente pas de discontinuité de luminosité comme un objet solide (bord lunaire) mais sa distribution en intensité présente un assombrissement du centre vers le bord.

Dans notre cas on prendra le profil de l'intensité lumineuse du Soleil le long du rayon R qui est normalisée par rapport à sa valeur au centre, celui donné par la formule empirique d'Hestroffer & Magnan qui dépend de la longueur d'onde. Si on regarde dans la direction  $\theta_x$ , alors le profil en intensité est donné par :

$$I_0^N(\theta_x, \lambda) = (1 - (R/R_\odot)^2)^{\alpha(\lambda)/2}$$

avec  $R^2 = \theta_x^2 + \theta_y^2$  et  $R_\odot$  rayon moyen du Soleil retenu comme calibration angulaire dans la simulation du bord solaire.

On remarque ([figure page10](#)) que la dérivée du bord solaire n'est pas symétrique et a une largeur angulaire qui en plus dépend de la longueur d'onde.

On considère le cas isoplanétique et comme dans le cas précédent, on écrit la dérivée du bord obtenue à travers la turbulence optique :

$$\partial I_x^N(\theta_x, \lambda)/\partial \theta_x = \left[ \partial I_0^N(\theta_x, \lambda)/\partial \theta_x \right] \times PSF^{1D}(\theta_x) \neq PSF^{1D}(\theta_x)$$

On peut voir sur la ([figure page10](#)), que la dérivée du profil du bord solaire est différente de la PSF réduite, donc le calcul de la position du photocentre de cette dérivée nous donne une erreur sur les mesures des fluctuations de l'AA. Cette erreur est plus importante dans le cas des faibles turbulences ( $r_0 \approx D$ ) à cause de l'effet d'assombrissement qui sera plus dominant.

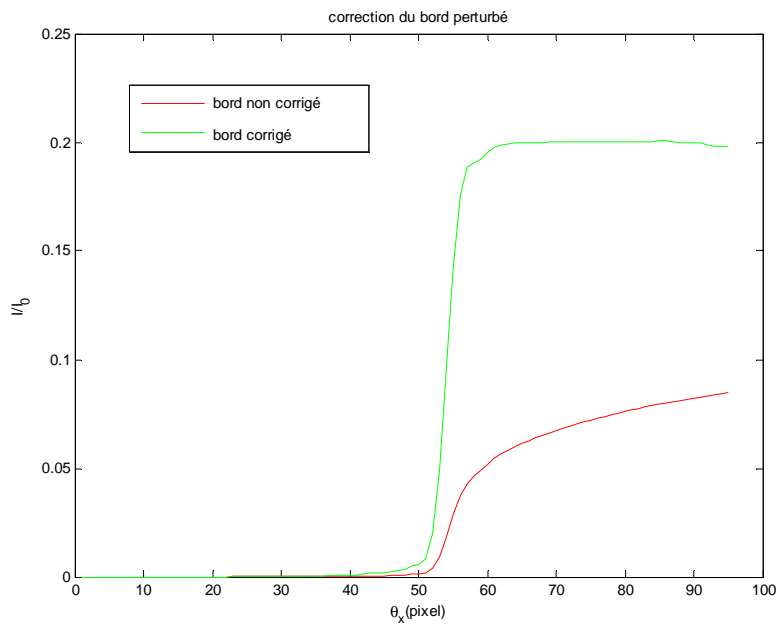
Dans le cas idéal d'un bord solide, la dérivée du bord est une fonction de Dirac, on peut retrouver cette configuration en convoluant l'image du bord solaire par une fonction C(x) qui est choisie de telle manière à ce que le résultat soit identique à une convolution de la PSF réduite par la fonction de Dirac.

### Compensation de l'effet d'assombrissement.

En convoluant les images du bord solaire par une fonction  $C(\theta_x)$  on peut les ramener à celle données par un bord solide :

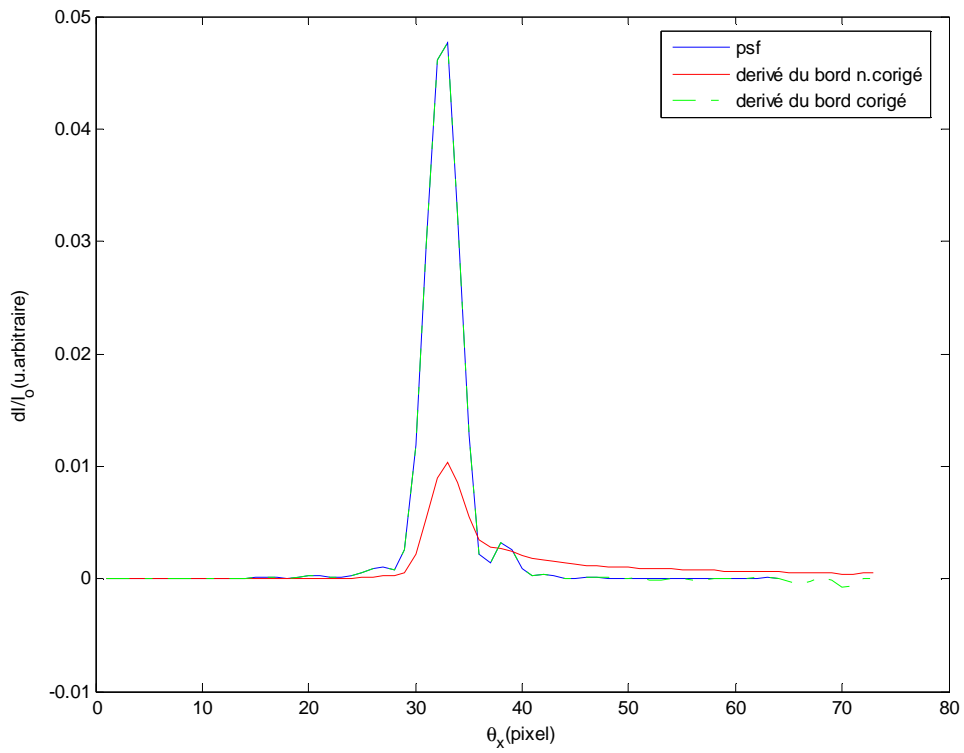
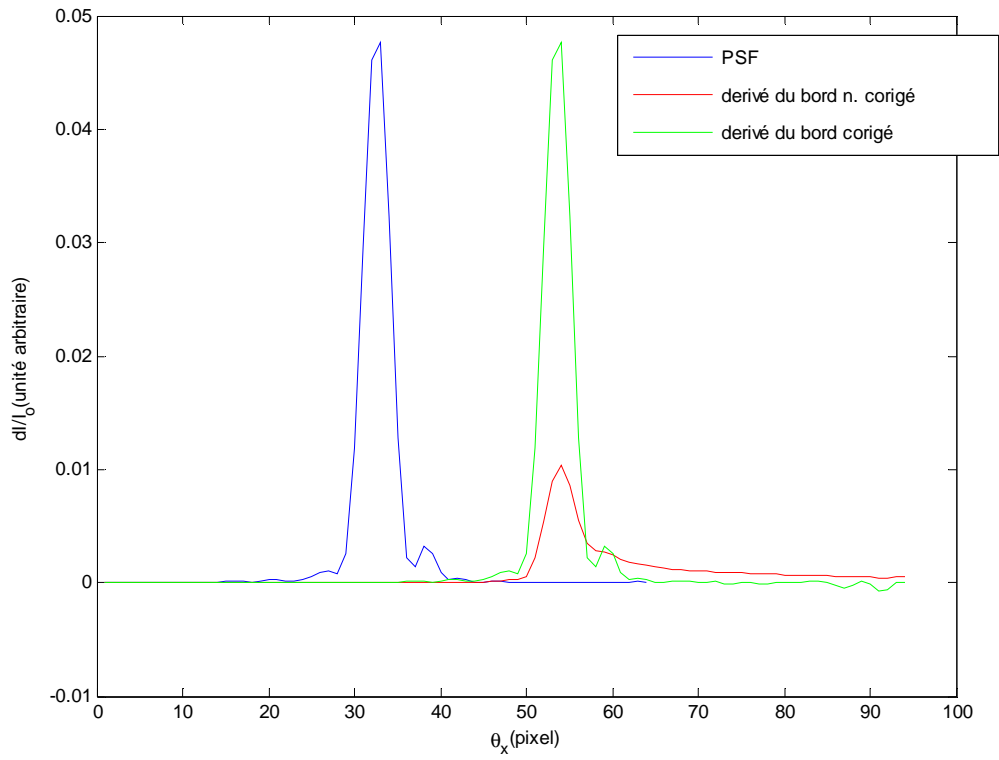
$$C(\theta_x) \otimes I_x^N(\theta_x, \lambda)_x = C(x) \otimes [I_0^N(\theta_x, \lambda) \otimes PSF(x)]$$

Avec 
$$C(\theta_x) \otimes I_0^N(\theta_x, \lambda) = Heaviside$$



Et donc si on dérive (la dérivée du Heaviside c'est la fonction de Dirac) alors l'équation précédente devient :

$$\partial C(\theta_x) / \partial \theta_x \otimes I_x^N(\theta_x, \lambda) = PSF$$



## **Simulation du bord solaire bruité.**

Le bruit est omniprésent dans tous les systèmes de mesures, y compris en imagerie, ce dernier est souvent vu comme un signal aléatoire qui se superpose au signal qu'on veut étudier. Il n'existe aucun dispositif d'acquisition d'image pouvant éliminer totalement le bruit. Toute fois la compréhension du phénomène et son origine, permet de le modéliser. On peut différencier différents types de bruit pouvant perturber une transmission : le bruit physique liée au système physique utilisé (on cite le bruit thermique dû à l'agitation des électrons des éléments résistifs et le bruit quantique qui apparaît comme une perturbation lors de toute mesure faite sur un système, ce dernier devient important lorsque on travaille dans les fréquences optiques). Puis il existe les bruits externes qui sont liés à des phénomènes naturels indépendants de la grandeur mesurée. Tous ces bruits suivent une loi gaussienne.

Dans le cas des mesures optiques à faible flux (comptage de photons), il apparaît un autre bruit dû à une insuffisance statistique en nombre de photon, reçue par chaque pixel du capteur. Ce dernier obéit à une statistique de poisson.

Afin de séparer le bruit du signal contenant l'information recherchée, on va d'abord le modéliser par simulation. Sur les images simulées on va ajouter un bruit gaussien qui traduit le bruit thermique propre à l'environnement de l'instrument et son échauffement lors de la mesure (on l'appelle aussi le bruit électronique ou bruit blanc), en négligeant le bruit photonique qui obéit à une statistique de poisson, celui-ci étant très faible dans le cas des images du bord solaire ou lunaire. Dans le cas réel, les images du bord sont prises avec une CCD, la dérivation numérique peut poser un problème comme on peut le voir dans ce qui suit. Le signal est corrompu par le bruit aléatoire. Dans les simulations numériques on va considérer un bruit aléatoire se superposant au signal d'origine et qui est statistiquement indépendant d'un pixel à un autre, ce qui nous ramène à la situation du bruit blanc. On obtient, un bord similaire au bord réel (obtenu avec DORaySol) comme le montre [\(figure page11\)](#).

Dans une image à  $N_x$  pixels avec un pas d'échantillonnage angulaire  $\Delta x$ , la dérivation numérique la plus directe du profil du bord  $I(i)$  (avec  $i = 1 \dots N_x$ ) se fait en différenciant de proche en proche avec :

$$I'(i) = \Delta x^{-1} [I(i+1) - I(i)]$$

avec  $i = 1 \dots N_x - 1$

la dérivation numérique revient toujours à soustraire deux quantités affectées par un bruit aléatoire et le résultat en est que le bruit est amplifié comme on peut le voir sur la (figure page11)

Il peut être proposé de faire un filtrage du bruit sur les profils avant de passer à la différenciation. Dans l'absolu le filtrage d'un bruit blanc dont le spectre est continu, ne peut être total puisqu'il toucherait aussi à la forme du bord qu'on veut mesurer. Un filtrage passe bas serait équivalent à un lissage où les basses fréquences du bruit déformeraient la forme du bord de manière aléatoire.

### **La compensation de l'effet d'assombrissement sur des images bruitées :**

Étant donné que le bruit présent dans les images est un bruit additif (bruit blanc) alors on écrit :

$$C(x) \otimes I(x) = C(x) \otimes [I_0(x) \otimes PSF(x) + bruit]$$

si on dérive on obtient :

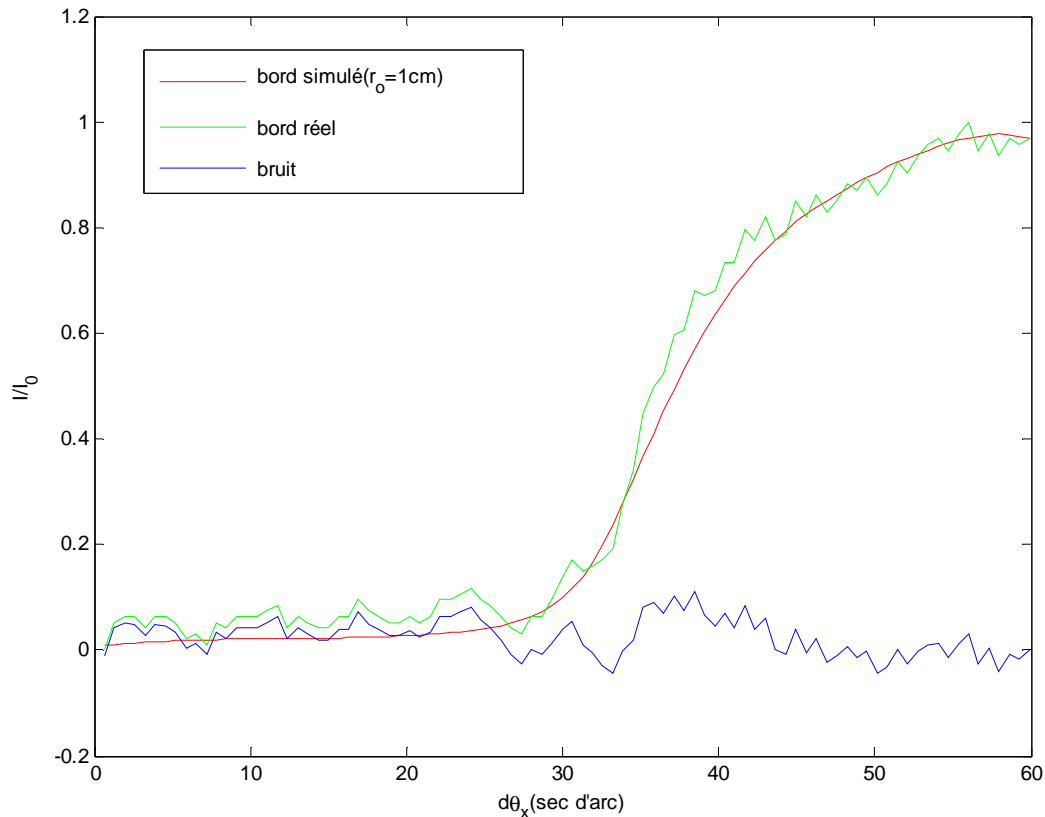
$$\partial C(x) / \partial x \otimes I(x) = PSF + \partial C(x) / \partial x \otimes bruit$$

Donc le bruit sera amplifié si on applique cette méthode puisque le bruit sera convolué par la dérivée de la fonction  $C(x)$ . La dérivée du bord corrigé de l'assombrissement ne nous donne pas cette fois ci exactement la PSF mais une PSF plus un bruit qui est aussi additif, et donc le calcul du photocentre va être affecté par l'effet du bruit.

**Extraction des AA à partir du bord simulé :** cela est possible dans le cas idéal où le bruit n'existe pas mais dans notre cas et comme on la vu plus haut du fait du passage par la dérivée du bord on aura une erreur sur la définition du photocentre de la PSF et donc sur les valeurs obtenues pour les angles d'arrivée, et ceci dans les deux cas avec ou sans correction de l'effet de l'assombrissement.

Pour paliers le problème du bruit des filtrages sera imposé ce qui fait un sujet de recherche toujours en cours sinon d'autres solutions sont envisageables telle que l'ajustement de bords réels par un bord simulé avec une turbulence donnée, dans cette étude j'ai utilisé des images du bord solaire obtenues par DORaySol à qui on a superposé un bord obtenu par simulation dans les mêmes conditions d'observations en supposant l'isoplanétisme et en négligeant les vibrations propre à l'instrument ce qui est grossier comme approximation mais le but c'est de tester la méthode qui peut être affinée de plus en plus en fonction de la qualité des images réelles.

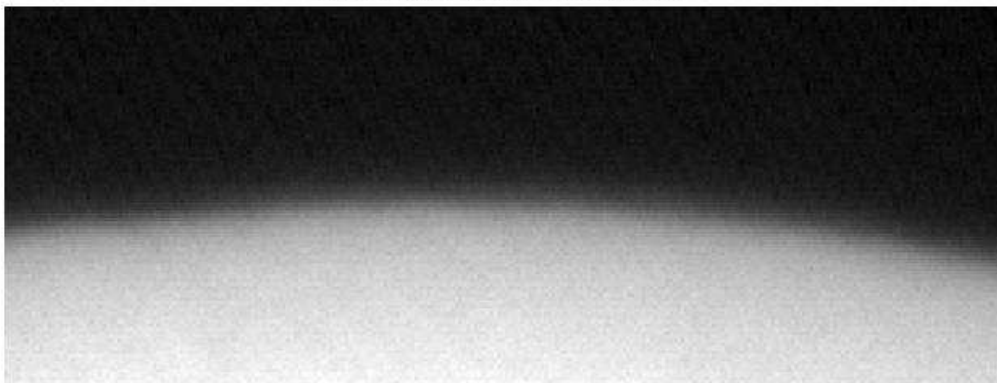
On peut remarquer sur la figure suivante que :



Donc à titre d'exemple le bord réel est ajuster avec un bord obtenu par simulation dans le cas d'une turbulence forte de  $r_0=1\text{cm}$  cela peut nous donner une idée sur la valeur de la turbulence en premier lieu et nous permet aussi de faire un lissage qui sera contrôlé dans ce cas là par la condition sur la différence entre les deux bord qui théoriquement représente le bruit ce dernier doit avoir une moyenne nulle et une variance égale à 1.

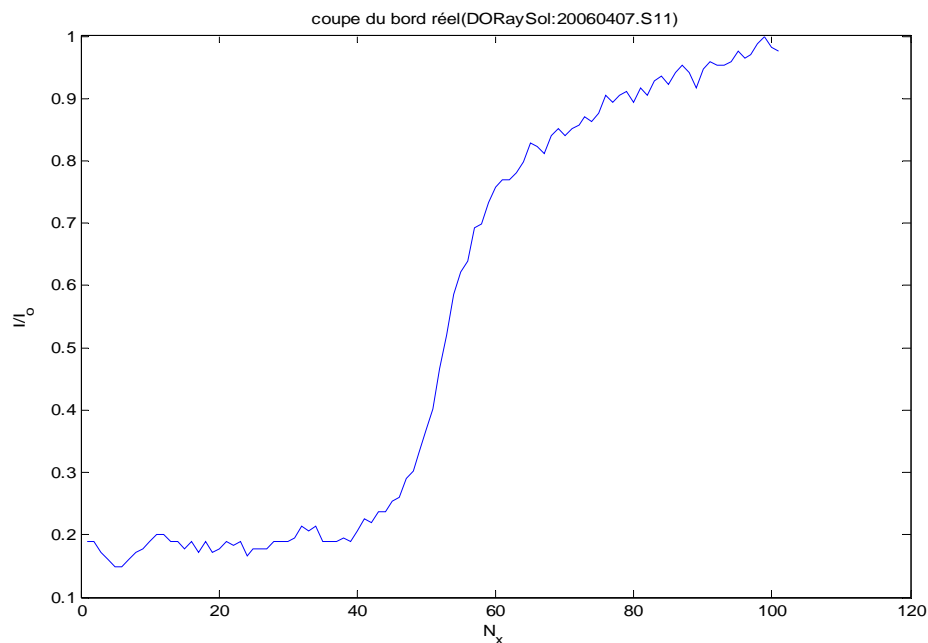
**Traitement d'images réelles ( images MISolFA ) :** à cause d'un retard accumulé sur la mise au point de l'optique sur l'instrument monté au plateau de Calern, on a pas pu avoir les images réelles du bord solaire. Notre étude se limite alors au traitement d'images obtenues par simulation. Cependant, à titre d'exemple, on a utilisé les images obtenues par DORaySol (figure suivante) pour avoir une illustration des contraintes imposées par l'expérience telles que :

bord réel (DORaySol : 2006 04 07.S11)



### Le DARK :

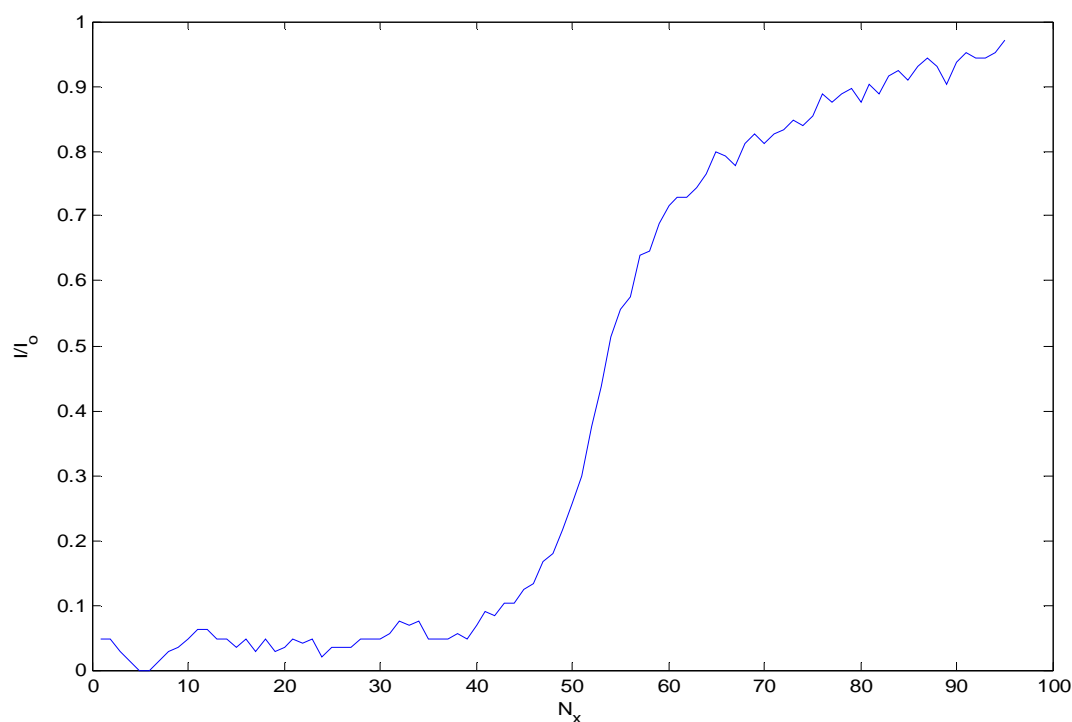
on remarque sur cette figure que l'intensité n'est jamais nulle ceci s'explique par l'omniprésence de sources de lumière parasite enregistrée sur la CDD même en mettant un masque sur la pupille :



Pour enlever cet effet il suffit de normaliser les images enregistrées du bord solaire (sans masque) avec les images enregistrée au moment de l'acquisition avec le masque sur la pupille)

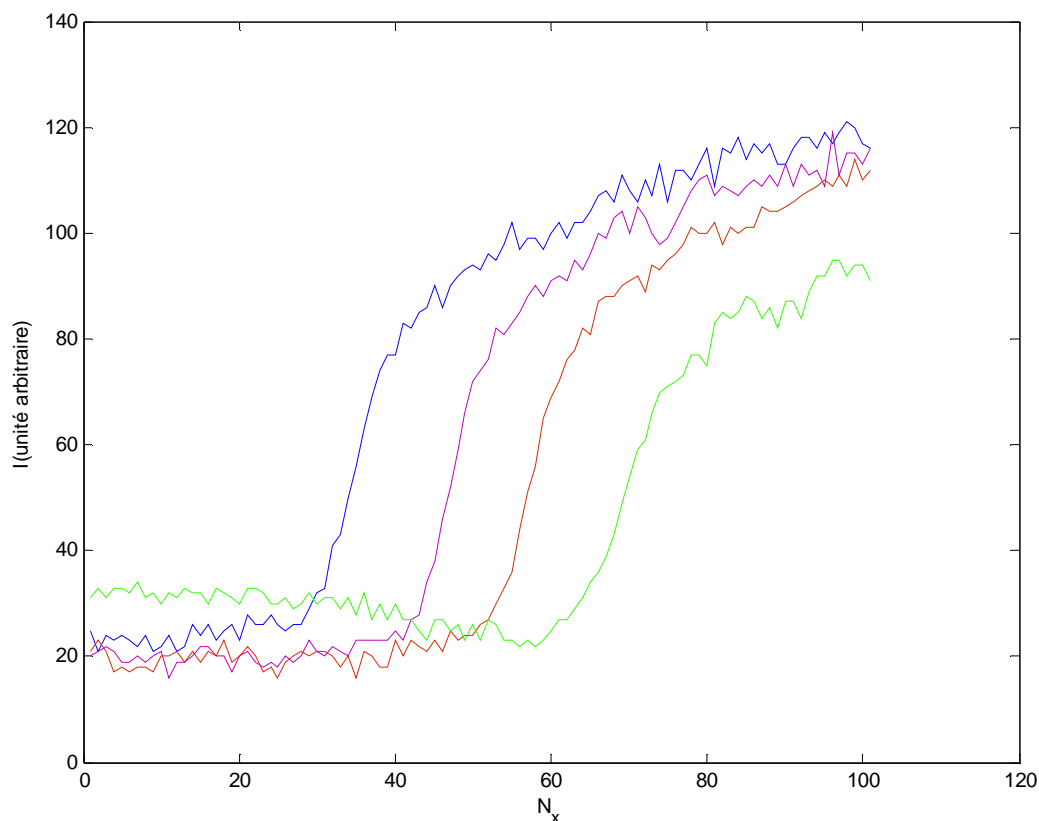
### Le bruit :

Après soustraction du Dark qui dans ce cas là a été faite de manière numérique (approximative) on remarque la présence de bruit qui est de nature gaussienne.





**la fluctuation de l'intensité** : un autre problème peut apparaître sur les images réelles c'est les fluctuations de l'intensité du bord sur une série d'images instantanées successives comme le montre la figure suivante et qui n'est pas du uniquement à la scintillation :



**la décentralisation du bord sur la fenêtre et des sunspot** :

on peut toute fois rencontrer un problème de centrage de l'image sur la fenêtre de la CCD mais pour cela il suffit de s'assurer qu'on a un bon suivi du bord avant toute acquisition, aussi la trace des grains de poussière qui s'est installé sur une cellule de la CCD comme on le voit sur la figure suivante :



**Conclusion** : ce travail n'est pas terminé pour pouvoir en conclure mais il peut nous renseigner sur les différents aspects à considérer avant le passage au traitement de donner réelles qui seront obtenue grâce à MISolFA.

