

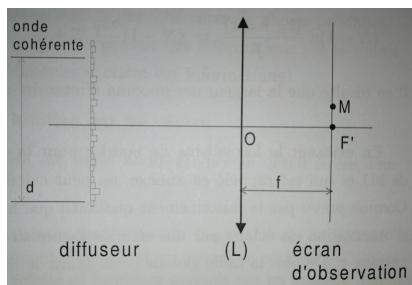
SPECKLE

KUTYLA Charlotte
MESTRE Eloïse
Binôme A7

16/04/2019

1 Introduction

Le phénomène de SPECKLE est une diffraction aléatoire de la lumière par un réseau. Celui-ci peut être lié aux "imperfections" externes qui peuvent perturber les mesures physiques. C'est le cas pour les observations aux télescopes par exemple où la turbulence atmosphérique fait clignoter les étoiles. Ce phénomène peut aussi être recherché, ainsi la médecine utilise le phénomène de speckle pour faire des tests oculaires ou mesurer de manière non invasive le flux sanguin. A partir des figures d'interférences produites (figures de speckle), il est possible de remonter aux caractéristiques de l'objet diffractant (diffuseur) malgré son caractère aléatoire à travers la théorie speckle.



Une figure de SPECKLE est obtenue en éclairant un diffuseur sur une zone de dimension d . Ce dernier peut être modélisé par une juxtaposition de zones de déphasage uniforme de la lumière de largeur caractéristique b mais de déphasage aléatoire entre chaque zones.

FIGURE 1

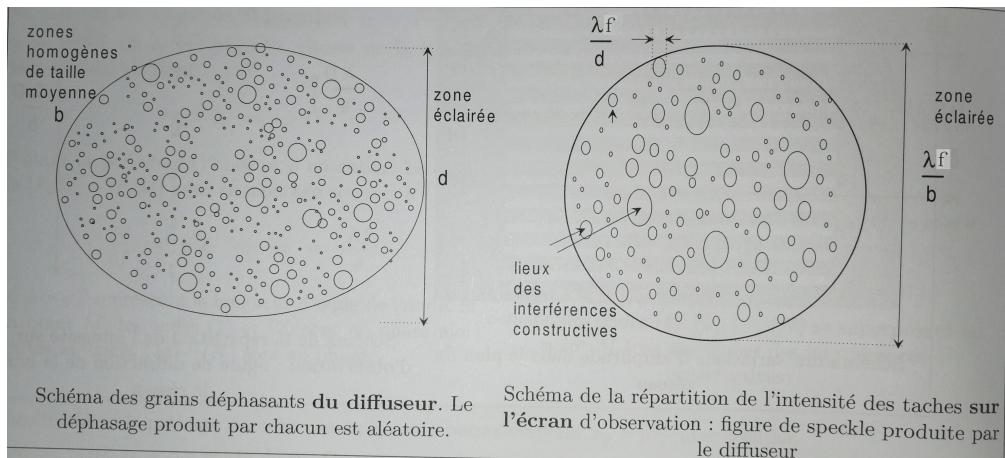


FIGURE 2 – Schéma explicatif de la figure de SPECKLE

Nous allons, à travers ce TP, étudier la figure de speckle qualitativement puis quantitativement grâce, entre autre, aux méthodes d'autocorrélation et de transformée de Fourier afin de déterminer les caractéristiques de l'objet diffusant (lame dépolie).

2 Observations qualitatives

L'objectif de cette manipulation est d'observer et de décrire la figure de Speckle. Pour cela, nous avons réalisé le montage suivant :

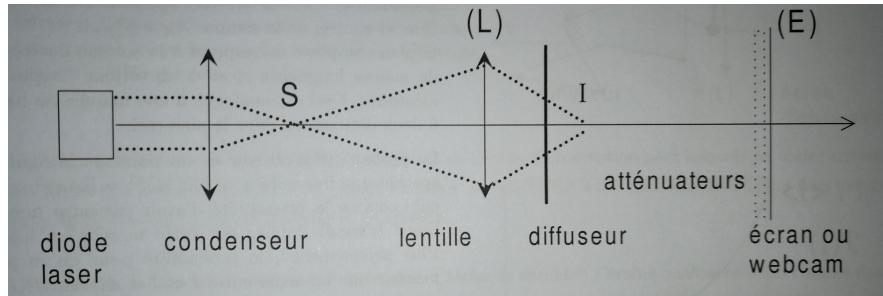


FIGURE 3 – Montage expérimental pour visualiser la figure de Speckle

Pour mettre en oeuvre ce montage, nous positionnons la diode laser à environ 2 mètres de l'écran. Nous avons ensuite placé un condenseur et une lentille de focale de 10cm, en ajustant leurs hauteurs respectives par rapport à la diode. Le condenseur forme alors un point source, appelé S. Pour obtenir une image réelle, notée I, de S, une quinzaine de centimètres après la lentille, il faudra espacer le condenseur et la lentille d'une distance d'environ une trentaine de centimètres (que nous avons retrouvé à l'aide de la formule de conjugaison suivante : $\frac{1}{OI} = \frac{1}{OI} - \frac{1}{f} = \frac{1}{30}$ (où f est la distance focale de (L)), ce qui nous donne bien une distance de 30 cm environ. Ensuite, nous insérons le diffuseur entre (L) et I, avec la face dépolie du côté de l'écran. Nous pouvons voir que nous obtenons une tache granuleuse éclairée sur l'écran, alors qu'avant nous n'obtenions qu'un point.



FIGURE 4 – Figure de Speckle

C'est une figure de Speckle. Nous pouvons déterminer plusieurs paramètres caractéristiques de cette figure, comme la largeur totale à mi hauteur, la dimension caractéristique des zones du diffuseur.

Mesures expérimentales :

Nous avons placé l'écran à une distance D = 45 cm de la lentille. Nous avons mesuré avec une règle la taille de la tâche sur le diffuseur, notée d, la largeur totale à mi-hauteur, et l'épaisseur points qui composent la tâche. Nous avons effectué deux fois cette mesure (une avec une nouvelle valeur de

D), afin d'évaluer les incertitudes sur les résultats obtenus.

D(cm)	d(mm)	$\lambda D/d$ (cm)	$\lambda D/b$ (mm)	b(μ m)
45	1 ± 1	14 ± 1	2 ± 1	143
43,2	1 ± 1	13 ± 1	2 ± 1	137

TABLE 1 – Tableau récapitulatif des valeurs obtenues qualitativement

Nous obtenons donc sur ces deux mesures une incertitude de l'ordre de $3\mu\text{m}$, et une valeur moyenne de : $b = 140 \mu\text{m}$.

Lentille cylindrique :

Nous plaçons maintenant une lentille cylindrique avant la lentille (L). Les tâches sont différentes de précédemment, en effet elles s'étirent selon la direction du verre que nous modifions. Cette lentille est comparable aux fentes que nous avons étudié en cours d'optique. L'image d'une fente d'axe xx' sera une fente d'axe yy' , soit perpendiculaire à la fente de départ, cela provient des transformées de Fourier. Ainsi, c'est pourquoi les petites tâches sont étirées dans le sens perpendiculaire à la position de la lentille cylindrique.

3 Observations quantitatives

3.1 Etude qualitative des conditions de prise d'images

Dans cette partie nous enlevons la lenille cylindrique et nous remplaçons l'écran du montage précédent par une caméra afin d'étudier sur l'ordinateur les images obtenues. Afin d'optimiser les conditions expérimentales de prise de vue, nous relevons les histogrammes en intensité et l'intensité moyenne pour différentes vitesse d'obturation :

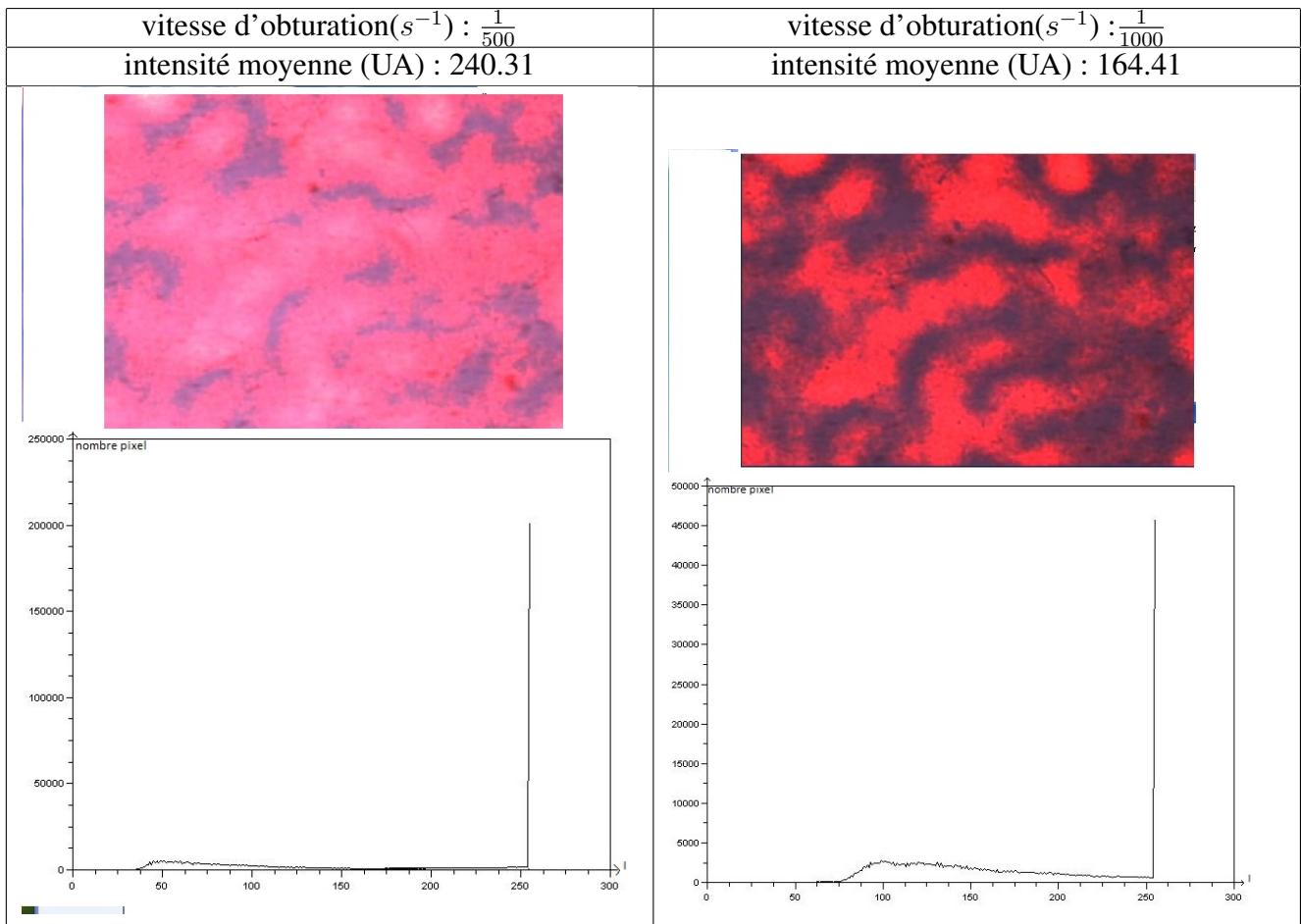


TABLE 2 – Variation de la vitesse d'obturation

Nous voyons clairement que l'intensité moyenne diminue quand la vitesse d'obturation augmente (Ce qui est logique car le capteur reçoit moins de lumière). La présence du grand pic fin sur ces deux histogrammes témoigne de la saturation du capteur, il faut donc augmenter la vitesse d'obturation.

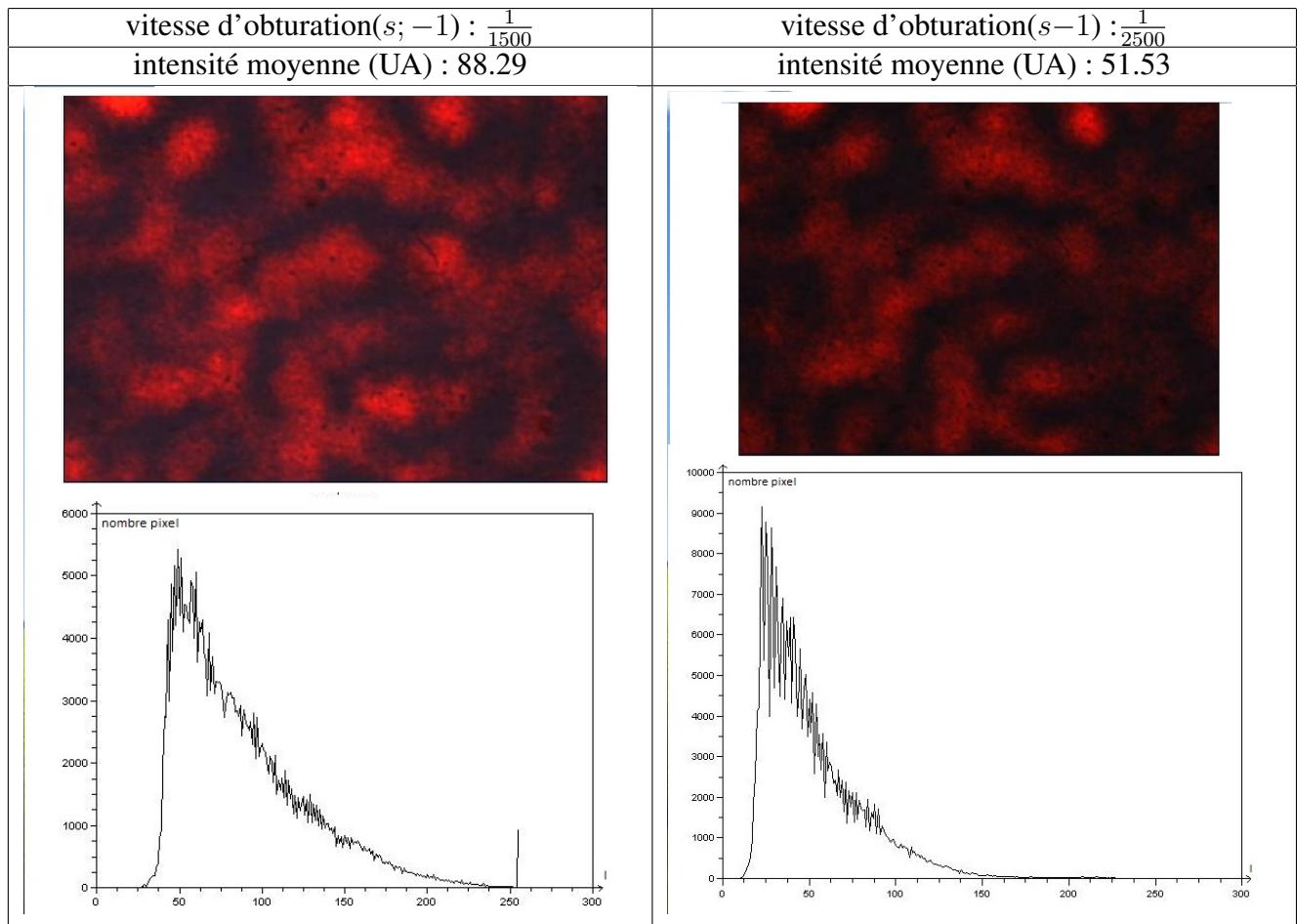


TABLE 3 – Variation de la vitesse d'obturation

Nous observons encore le pic précédent sur le premier diagramme mais on peut également relever le fait que le signal à basse intensité est beaucoup plus bruité.

L'ajout d'une densité (diffuseur) devant la caméra ne modifie pas la répartition mais ne fait que diminuer l'intensité. Cela peut nous permettre de diminuer la vitesse d'obturation de la caméra afin d'avoir plus de détails :

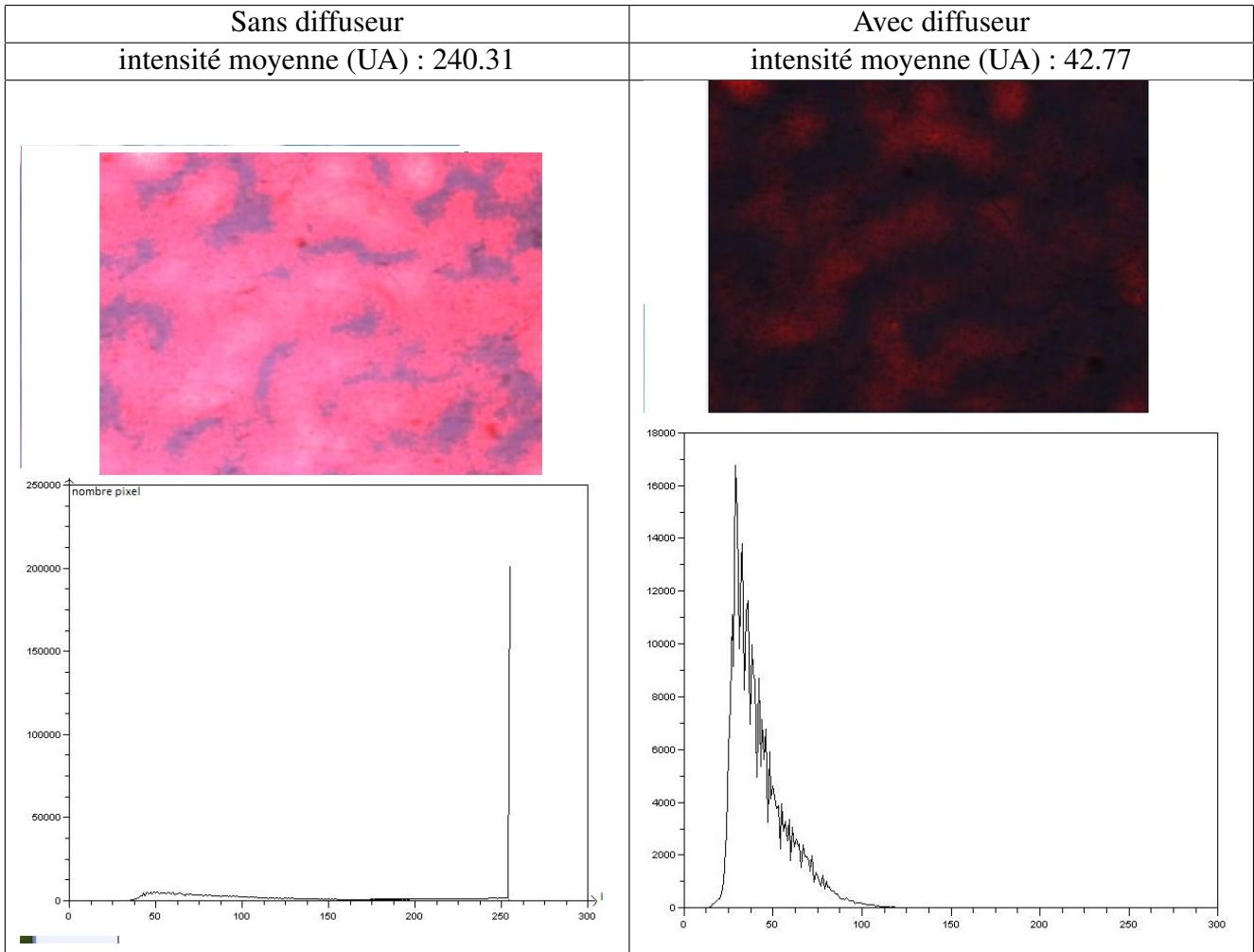


TABLE 4 – Ajout d'un diffuseur pour une vitesse de $1/500\text{ s}^{-1}$

Le deuxième histogramme est beaucoup plus bruité que celui avec une vitesse d'obturation de $1/1500\text{ s}^{-1}$ sans diffuseur. Dans la suite on choisira donc $1/1500\text{ s}^{-1}$ pour la vitesse d'obturation et sans diffuseur.

Remarque : En déterminant l'intensité moyenne pour plusieurs photos dans les mêmes conditions expérimentales, nous avons déterminé que l'incertitude sur cette dernière en faisant l'écart type de ces différentes valeurs : $\Delta I=0,06\text{ UA}$.

3.2 Etude quantitative des images : histogramme des intensités, expériences préliminaires

Pour effectuer une étude plus quantitative, nous nous plaçons dans les conditions expérimentales déterminées au paragraphe précédent, c'est à dire, à une vitesse d'obturation de $1/1500\text{ s}^{-1}$. En applicant le programme sur scilab, nous avons pu déterminer les valeurs de l'intensité moyenne $\langle I \rangle$ et de l'intensité quadratique moyenne $\langle I^2 \rangle$.

Nous avons obtenu les valeurs suivantes : $\langle I \rangle = 88,3\text{ UA}$, et $\langle I^2 \rangle = 9394,3\text{ UA}$. La théorie nous dit que $\langle I^2 \rangle = 2\langle I \rangle^2$, or, expérimentalement nous obtenons : $\frac{\langle I^2 \rangle}{\langle I \rangle^2} = 0,8$ ce qui est proche de 2. C'est donc compatible avec la théorie du Speckle.

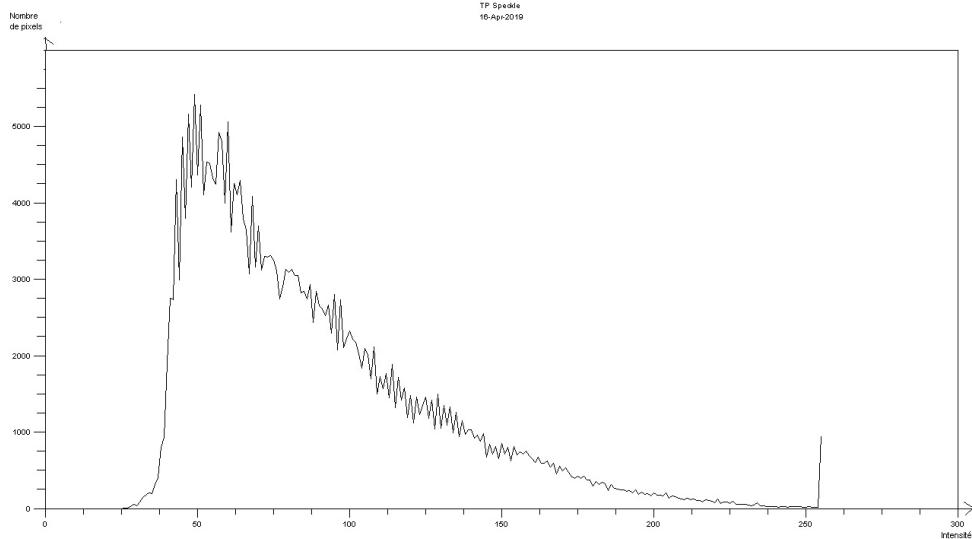


FIGURE 5 – Histogramme pour une vitesse d’obturation de 1/1500

Nous pouvons observer un pic pour les basses valeurs d’intensités, et ensuite une décroissance qui ressemble à la décroissance typique apparentée à l’exponentielle négative. Comme le nombre de pixels est proportionnel à la probabilité $P(I)$ (probabilité d’obtenir en un point de la figure du speckle une intensité I), cet histogramme est conforme à la théorie.

Décalage du diffuseur

Nous réalisons maintenant deux histogrammes, le premier est celui de la figure 5, et le second, ci-dessous, est effectué après avoir déplacé le diffuseur verticalement.

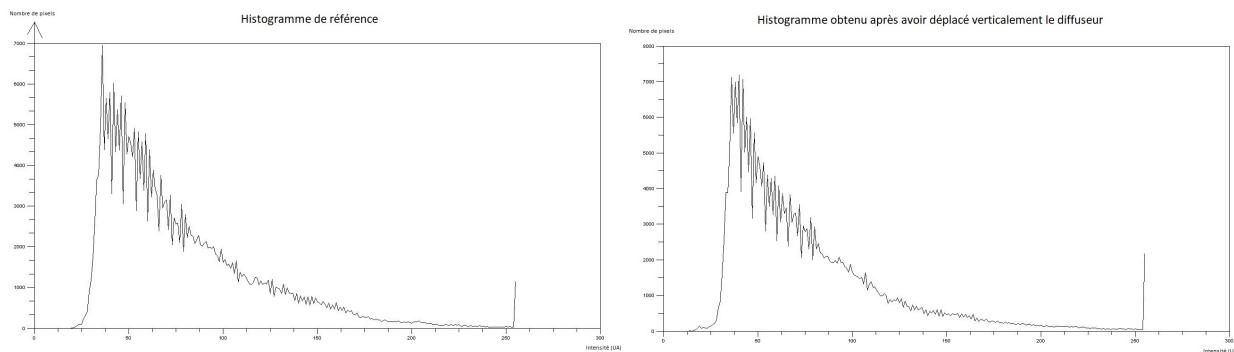


FIGURE 6 – Comparaison des deux histogrammes

Nous ne pouvons pas observer de différence majeure entre les deux histogrammes ci-dessus. Cette observation est cohérente avec la théorie du Speckle. En effet, nous pouvons voir que la courbe de droite a changé par rapport à celle de gauche, cela provient des défauts du diffuseur. Déplacer le diffuseur consiste à changer les défauts observés par la caméra, c'est pourquoi, le pic (intensité pour laquelle il y a le plus de pixels associés) est pour la même intensité, l'allure globale est identique, bien que les histogrammes soient différents si nous le regardons en détails (à cause de la distribution de probabilité aléatoire).

3.3 Histogramme des intensités, traitement quantitatif des effets parasites

Le principe de cette manipulation est de se servir de deux méthodes différentes pour s'affranchir du signal parasite.

Enregistrement d'histogrammes dans plusieurs configurations

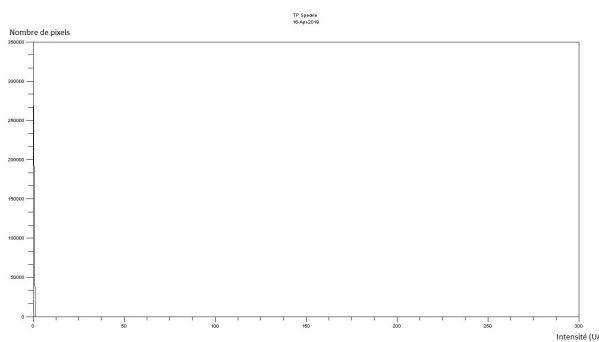


FIGURE 7 – Histogramme (e)

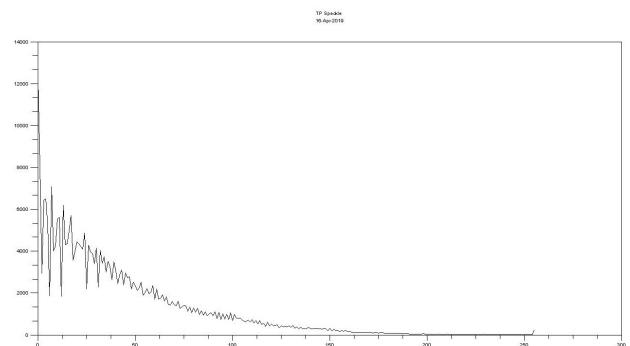


FIGURE 8 – Histogramme (d)

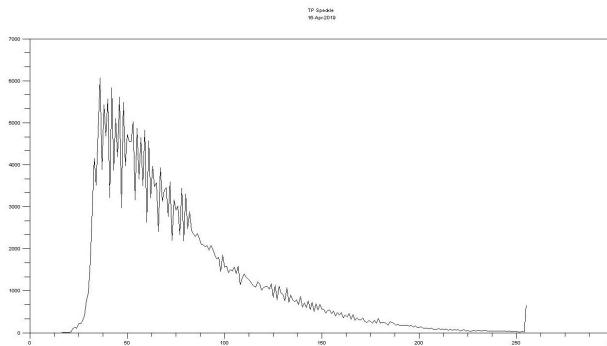


FIGURE 9 – Histogramme (b)

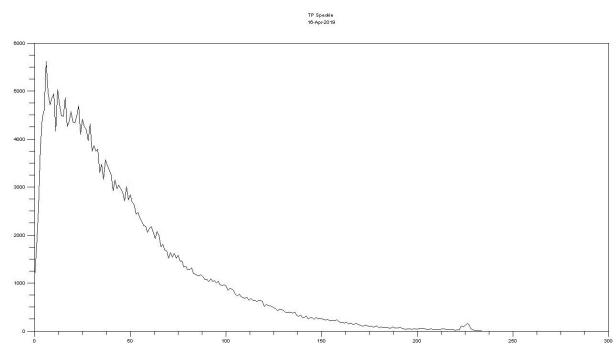


FIGURE 10 – Histogramme (c)

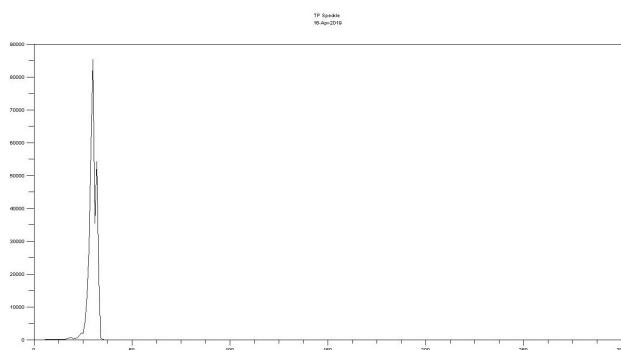


FIGURE 11 – Histogramme (a)

Analyse des histogrammes

- Histogramme (a) : Il correspond au bruit de fond seul. Nous observons un pic pour une intensité comprise entre 20 et 30 UA. La forme obtenue correspond à ce que la caméra a enregistré alors que nous avions caché le laser. Nous obtenons donc le bruit dû aux lampes allumées dans la pièce.

- Histogramme (b) : Il correspond au speckle auquel on ajoute le bruit de fond. Nous obtenons donc l'allure générale, ce qui est normal puisque c'est dans ces conditions que nous effectuons nos mesures.
- Histogramme (c) : Il correspond à la différence entre l'histogramme de l'image b - l'image c. Cela permet de réduire le bruit de fond, c'est pourquoi l'allure générale est plus "propre" que les autres.
- Histogramme (d) : Il correspond au phénomène du Speckle seul, nous avons pris cette mesure dans le noir le moins bruité possible. Nous remarquons que l'intensité moyenne obtenue est moins élevé que pour le b, ce qui est logique, puisque nous avons enlevé le bruit sur ce relevé.
- Histogramme (e) : Cela correspond au cas où l'on couvre la webcam complètement afin de visualiser si des pixels de cette dernière sature la figure de Speckle que nous observons. C'est pourquoi, nous pouvons voir un histogramme quasi vierge, sauf pour les basse intensité. Il semble que la caméra n'est pas de défaut majeur.

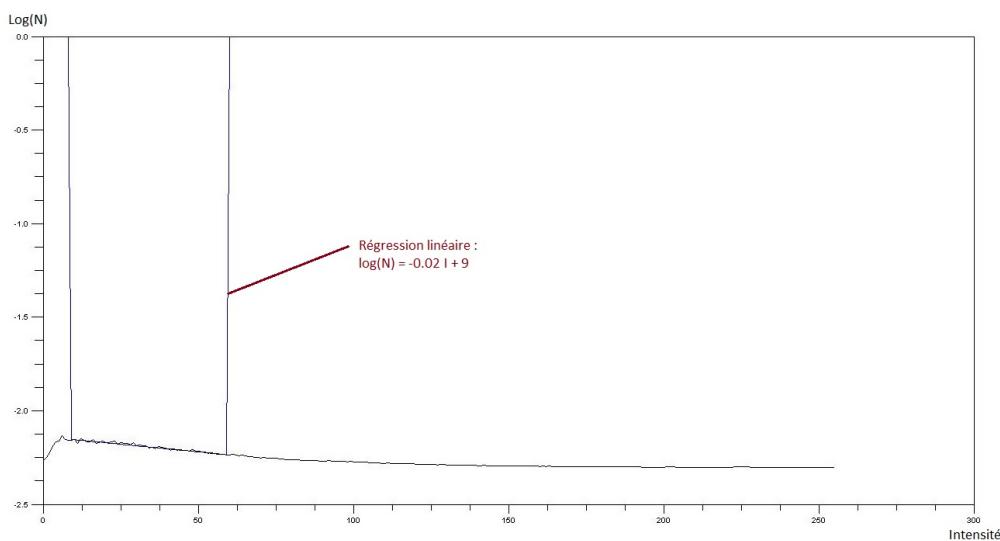
Tracer les histogrammes (c) et (d) nous permet de visualiser à quel point il y a du bruit de fond. Nous pouvons l'éliminer en faisant des soustractions entre histogrammes.

Nous pouvons estimer $\langle I \rangle$ à l'aide de plusieurs méthodes :

Première méthode

Premièrement, nous avons déterminé $\langle I_a \rangle_1$, $\langle I_b \rangle_1$, et $\langle I_c \rangle_1$ (l'indice 1 correspond au fait que nous utilisons la première méthode). Cette première méthode consiste à juste relever la la valeur moyenne de l'intensité calculée numériquement par analyse numérique. Nous avons donc trouvé les valeurs suivantes : $\langle I_a \rangle_1 = 29.8$ UA, $\langle I_b \rangle_1 = 77.1$ UA, et $\langle I_c \rangle_1 = 47.3$ UA (Intensité moyenne de (b) - intensité moyenne de (a)). Ces résultats sont logiques, le speckle auquel on ajoute le bruit de fond a forcément une intensité moyenne supérieure à l'histogramme du bruit de fond seul.

Deuxième méthode En traçant le fit linéaire du logarithme de l'histogramme que nous voulons étudier. Nous voulons déterminer $\langle I_c \rangle_2$, ainsi, nous avons tracer la régression linéaire associé à (c), et nous avons obtenu une équation reliant le nombre de pixels N, et l'intensité : $\text{Log}(N) = -0.02 I + 9$.



Or, la théorie nous dit que la pente de cette régression (-0.02) correspond à $-1/\langle I_c \rangle_2$. Nous avons

donc trouvé $\langle I_c \rangle_2 = 50$. Ce qui est cohérent puisqu'avec la première méthode nous avions trouvé une valeur proche de 50 également.

Utiliser la méthode de la régression linéaire sur logarithme permet de diminuer l'impact du bruit sur l'histogramme, ainsi nous obtenons des résultats plus précis qu'avec la première méthode, juste par analyse numérique.

4 Autocorrélation d'une image

Nous allons dans cette partie déterminer à travers la méthode des corrélations le diamètre d des tâches. La fonction corrélation compare une image à elle même décalée de k pixels.

La largeur à mi-hauteur donne accès au rayon de corrélation en pixel k qui une fois converti en mètre permet de déterminer d car :

$$k \frac{0,7\lambda D}{d} \quad (1)$$

où D est la distance entre la lentille et le diffuseur.

La fonction de corrélation tend théoriquement vers $\frac{\langle I \rangle^2}{\langle I^2 \rangle}$ au grand k . Pour une image avec des taches moyennes nous obtenons :

$\langle I \rangle$	$\langle I^2 \rangle$	$\frac{\langle I \rangle^2}{\langle I^2 \rangle}$
28.69	1333.88	0.62

TABLE 5

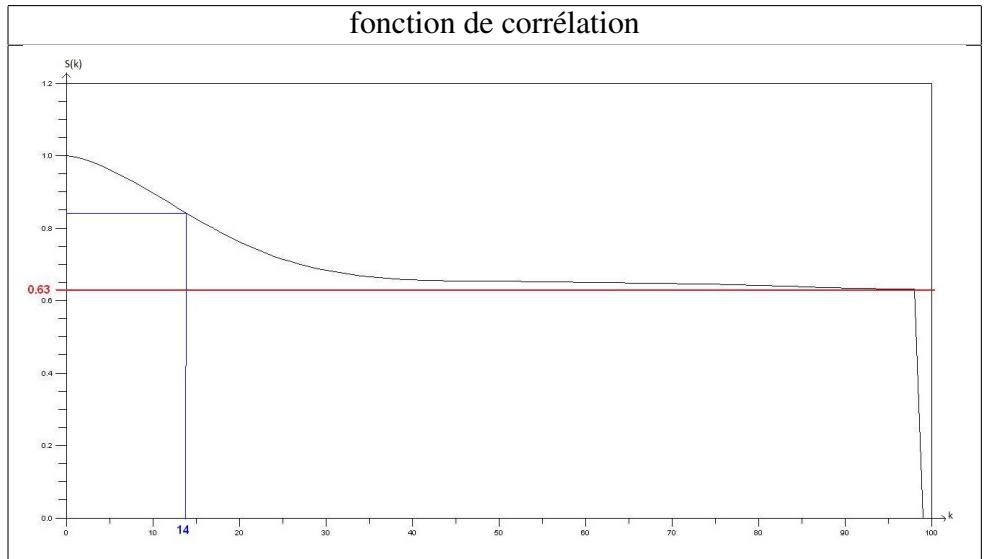


TABLE 6 – Fonction de corrélation

Nous obtenons bien que la limite de la fonction de corrélation tend vers $\frac{\langle I \rangle^2}{\langle I^2 \rangle} = 0,63$ sur la courbe.

De plus nous avons $k=14$ pixels soit 0,13 mm (480 pixels pour 4,5 mm). Alors :

$$d = \frac{0,7 * 635 \cdot 10^{-9} * 15,1 \cdot 10^{-2}}{0,13 \cdot 10^{-2}} = 0,52 \text{ mm} \quad (2)$$

Sachant que l'incertitude de la mesure précédente de la largeur de la tache est de 1 mm, les valeurs trouvées sont cohérentes.

5 Transformée de Fourier

Dans cette partie nous allons également déterminer la dimension d des tâches mais grâce au module de la transformée de Fourier de l'intensité d'une image $I(f_p)$, où f_p est la fréquence spatiale associée au position d'un point sur l'image (en pixel^{-1}). On effectue cette méthode pour la même image que précédemment.

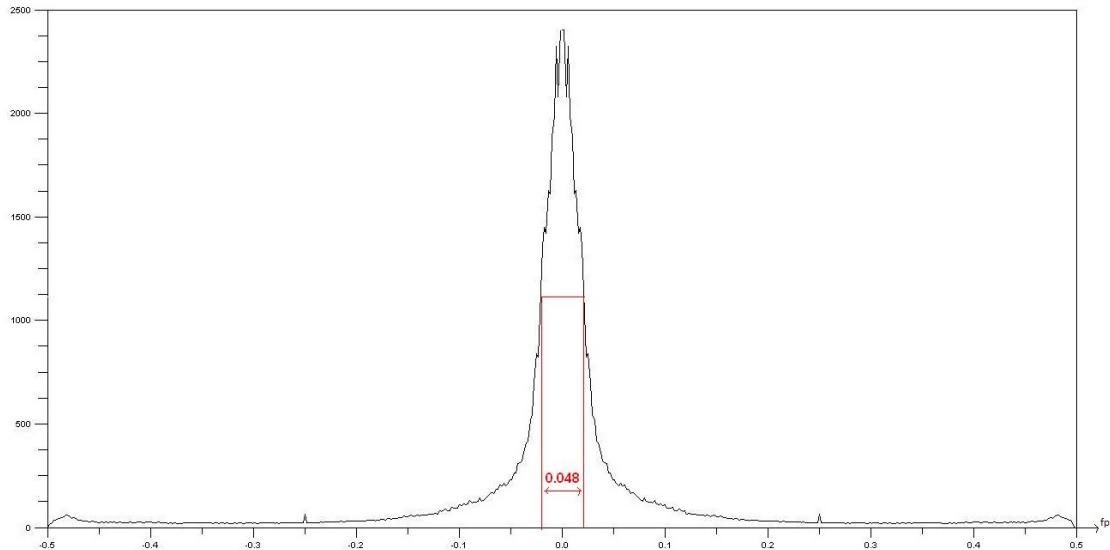


FIGURE 13 – Module de la transformée de Fourier de l'intensité de l'image

La théorie dit que la largeur à mi-hauteur de cette courbe est reliée à la dimension des tâches à travers la relation suivante :

$$\Delta f = \frac{0,88d}{\lambda D} \quad (3)$$

On trouve $\Delta f=0,048 \text{ pixels}^{-1}$ soit $\Delta f=5128,2 \text{ m}^{-1}$ donc $d = 0,56 \text{ mm}$. Sachant que l'incertitude de la mesure précédente de la largeur de la tâche est de 1 mm, les valeurs trouvées sont cohérentes.

6 Mesures de petits déplacements grâce à l'effet Speckle

Nous modifions le montage précédent de sorte à obtenir une lumière quasi-parallèle sur le diffuseur. Nous enregistrons ensuite une image 1, puis nous translatons le diffuseur latéralement d'une distance d'à peu près deux tâches et nous enregistrons une deuxième image 2. Enfin nous translatons de la même manière une nouvelle fois et enregistrons l'image 3.

Nous obtenons les graphiques suivants où I_1 est le module de la transformée de Fourier de l'intensité de l'image 1, (I_1+I_2) le module de la transformée de Fourier de l'intensité de l'addition de l'image 1 avec la 2 et de même pour (I_1+I_3) .

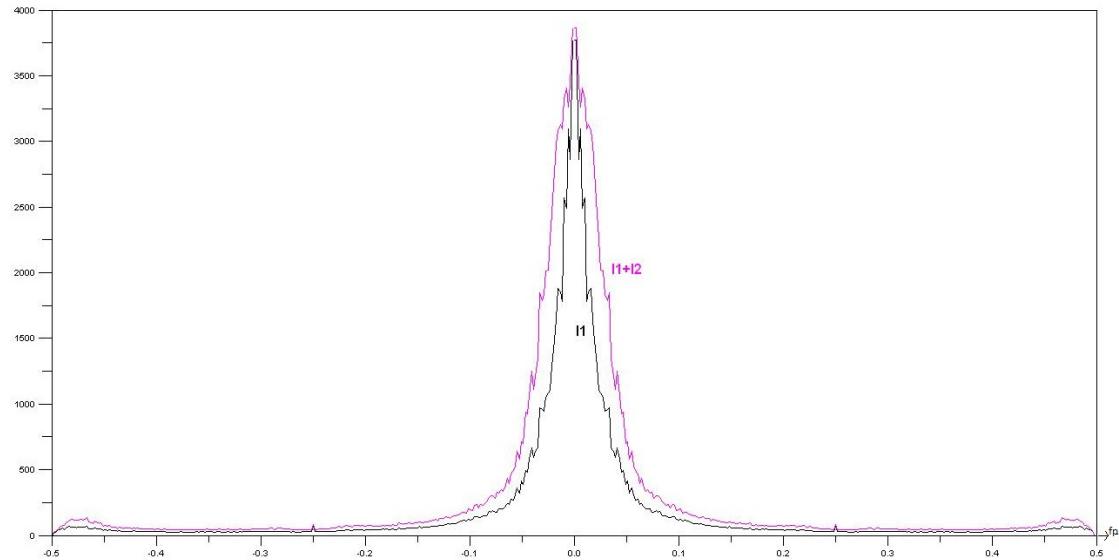


FIGURE 14 – transformée de Fourier de l’intensité de l’image 1 et de la somme de l’image 1 et 2

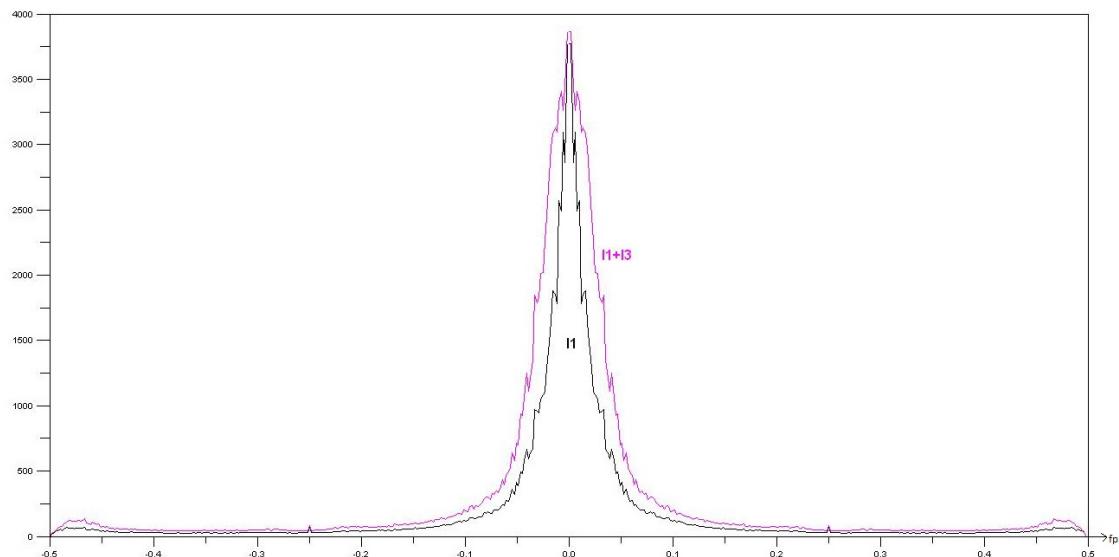


FIGURE 15 – transformée de Fourier de l’intensité de l’image 1 et de la somme de l’image 1 et 3

Nous pouvons déterminer de quelle distance d_0 nous avons translaté le diffuseur entre les différentes images grâce à la relation liant la transformée de Fourier de l’intensité de l’image de départ et de la somme de l’image de départ et celle d’arrivée. Le rapport de ces deux transformées de Fourier est égale à $2\cos(\pi d_0 f_p)$.

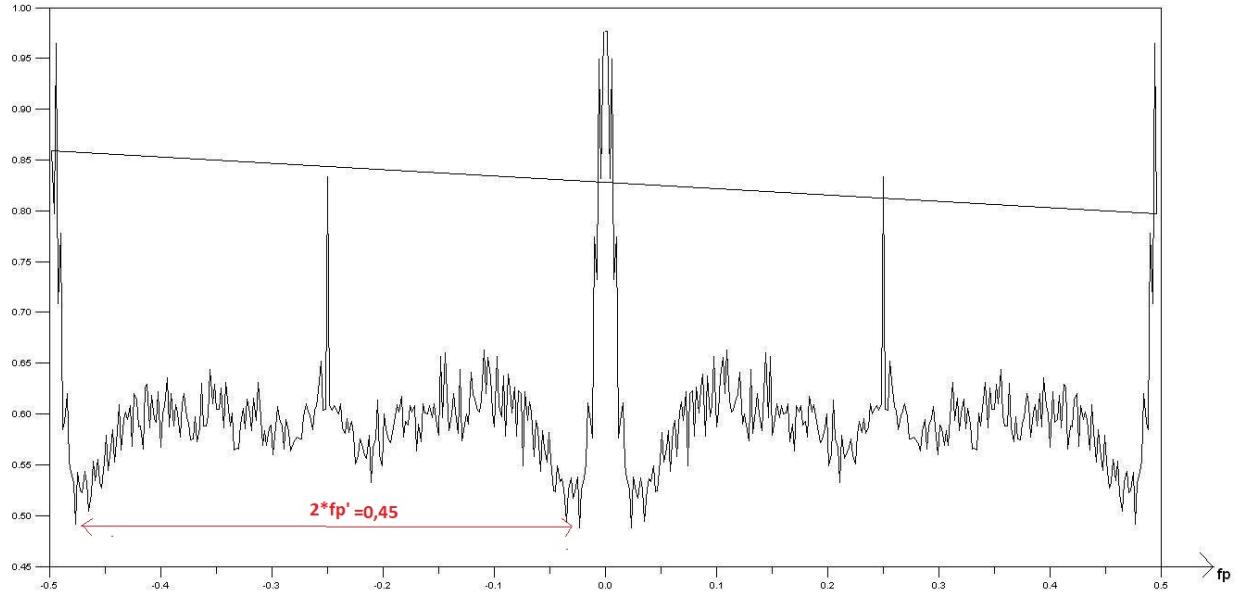


FIGURE 16 – Rapport de la transformée de Fourier de l'intensité de l'image 1 et de la somme de l'image de 1 et 2

La fonction s'annule si $fp=fp'=1/d_0$, ici $fp'=(0,23\pm 0,01) \text{ pixels}^{-1}$ soit $24533,3 \text{ m}^{-1}$. Finalement entre l'image 1 et 2 le diffuseur à été déplacé de : $d_0 = (40,8 \pm 0,1)\mu\text{m}$.

Nous n'avons pas pu déterminer la distance de translation entre l'image 1 et 3 car nous nous sommes aperçus pendant le traitement des données que le programme nous a donné les mêmes résultats qu'entre 1 et 2.

7 Conclusion

Nous avons vu à travers ce TP le phénomène de SPECKLE et comment grâce à un traitement d'image il est possible de remonter aux caractéristiques de l'objet diffuseur : taille de ses défauts et mouvement transversal de celui-ci.