

## Thèmes abordés

Propriétés qualitatives et quantitatives des figures de speckle. Caractérisation des défauts de l'œil par observation d'un speckle. Transformée de Fourier d'un speckle. Mesure de déplacement et de déformation par interférométrie de speckle.

## Phénomène de speckle

Les propriétés particulières de cohérence spatiale et temporelle de la lumière laser sont à l'origine du phénomène de speckle que l'on peut observer par réflexion en éclairant une surface rugueuse claire ou par transmission à travers un verre dépoli. Ce phénomène est en général indésirable, surtout en holographie, mais il présente quelques propriétés physiques remarquables qu'il est facile d'observer et de mettre à profit dans des expériences d'interférométrie.

Lorsqu'on éclaire une surface rugueuse ou un objet transparent diffusant par une source monochromatique cohérente (laser, diode laser), l'œil qui observe cette surface d'un endroit quelconque de l'espace voit une figure granulaire ou figure de speckle. Cette figure résulte de l'interférence des vibrations cohérentes diffusées par les différents points de l'objet éclairé. La figure n'est pas localisée sur la surface qui l'a créée et apparaîtra contrastée quelle que soit la position de l'observateur. Cette granularité est constituée par de petites tâches lumineuses, ou grains de speckle, d'intensité lumineuse différente et réparties aléatoirement dans l'espace.

La taille apparente des grains de speckle dépendra de la distance de l'observateur à la surface ou au dépoli mais aussi de l'inclinaison des rayons sur l'axe optique de l'œil.

## Problèmes traités

1. L'observation d'un speckle permet de mettre en évidence de manière qualitative et simple les défauts de myopie ou d'hypermétropie d'un œil.

Un œil normal forme l'image de la surface diffusante sur la rétine. Il en sera de même pour les grains de speckle qui ne sont pas localisés sur une surface particulière et dont les images se forment également sur la rétine.

Il n'en est plus de même pour un œil affecté d'un défaut : en effectuant un mouvement de translation parallèlement à la surface, un observateur verra les grains de speckle se déplacer par rapport à la surface qui apparaît fixe. Le sens du déplacement relatif permet alors de caractériser le défaut.

2. Une même surface sensible (ici : celle d'une webcam) est impressionnée successivement par deux ou plusieurs figures de speckle. Entre chaque pose, la surface diffusante ou la webcam est déplacée transversalement. Après sommation des différents enregistrements et une transformée de Fourier de la résultante, on observe un système de franges d'interférence similaire à celui observé avec le dispositif d'Young !

3. A partir de la mesure du pas de la figure d'interférence, il est possible d'atteindre la valeur du déplacement du dépoli ou de la webcam.

4. Lorsque l'objet diffusant est soumis à une contrainte, la figure d'interférence observée permet alors de déterminer la déformation subie.

## Matériels nécessaires

|   |   |
|---|---|
| Banc optique (1m) avec jeu de pieds                     | 1 |
| Cavalier standard pour banc optique                     | 3 |
| Cavalier à déplacement micrométrique 25 mm              | 1 |
| Laser vert 532 nm Classe II 1mW sur tige                | 1 |
| Objectif achromatique de précision 10X / ON 0,25        | 1 |
| Porte objectif  | 1 |
| Verre dépoli  | 1 |
| Porte lame mince largeur 50mm sur tige                  | 1 |
| Webcam High Speed USB                                   | 1 |
| Logiciel d'acquisition et de traitement "Speckle"       | 1 |
| Documentation (cours, texte de TP, notice de résultats) | 1 |



Figure 1 : Photo du TP « Photographie de Speckle »

## Théorie et résultats

Le principe de la méthode est identique à celui des trous d'Young. Un écran opaque est percé de deux trous rapprochés de quelques fractions de millimètre de diamètre. Ils diffractent la lumière incidente en deux faisceaux qui interfèrent entre eux. Il en est de même lorsqu'on remplace les trous par de petits disques opaques placés sur une plaque transparente. Si l'on considère un grand nombre de paires de disques obtenues par simple translation et si on éclaire cet objet en lumière cohérente, on observe le même phénomène d'interférence : ce résultat est la base de l'interférométrie de Speckle !

La taille du grain de speckle  $d$  le plus petit est donné par :

$$d = \frac{\lambda}{\alpha}$$

$\lambda$  est la longueur d'onde de la radiation utilisée et  $\alpha$ , l'angle sous lequel on voit la partie éclairée de la surface dépolie à partir du point d'observation. La figure de speckle dépend donc de la géométrie du dispositif optique ainsi que de la longueur d'onde. En faisant varier  $\alpha$ , en augmentant ou diminuant la distance dépoli-écran, il est possible de modifier la taille du grain de speckle. En pratique, l'image est recueillie sur la surface sensible d'une webcam (Figure 1)

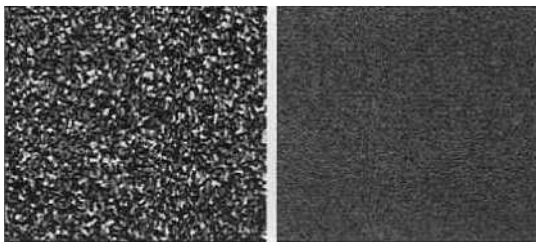


Figure 1 : exemple d'enregistrement de deux speckle de taille de grain différente

## Double exposition

Dans le plan  $(x,y)$  de la surface sensible, la distribution des intensités lumineuses est décrite par la fonction  $I(x,y)$ .

La fonction de transmission de l'objet diffusant s'écrit :

$$t(x,y) = a - b.I(x,y)$$

$a$  et  $b$  sont des constantes

On impressionne à nouveau la surface sensible du détecteur après avoir translaté le dépoli  $(\Delta x, \Delta y)$ .

La double exposition consiste à additionner  $I(x,y)$  et  $I(x+\Delta x, y+\Delta y)$  puis l'illumination de l'image développée réalise la transformée de Fourier. Ces deux opérations peuvent être réalisées numériquement à l'aide du logiciel Speckle 1.0 conçu et développé pour ce type d'application (Figure 2).

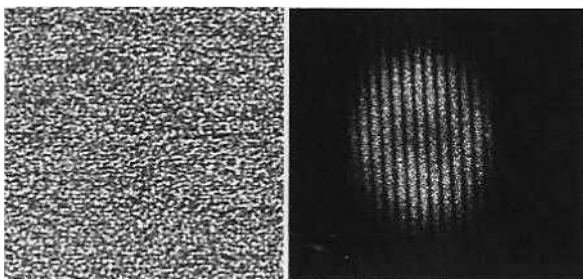


Figure 2 : Résultat de la somme de deux images décalées de 10 micromètres et transformée de Fourier discrète

La mesure de l'interfrange à l'aide du logiciel Speckle 1.0 permet alors de remonter au déplacement !

La superposition de deux, trois, ...,  $N$  figures de speckle conduit à des systèmes de franges identiques à ceux observés avec des dispositifs classiques à deux, trois, ...,  $N$  trous ou fentes.

## Commentaires

Le Logiciel Speckle v2.1 qui accompagne ce TP est doté de nombreuses fonctionnalités permettant non seulement d'acquérir, de traiter et de manipuler avec aisance les images capturées mais aussi de relever des profils d'intensité et de mesurer des déplacements (Figure 3).

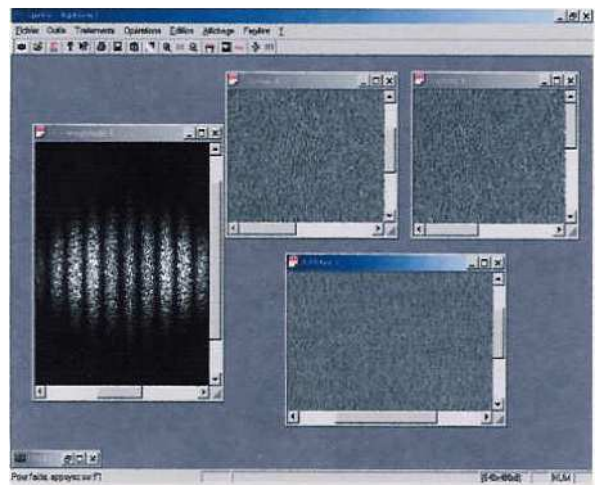


Figure 3 : Multifenêtrage : 2 images acquises, la somme et la transformée de Fourier discrète

Quelques exemples de fonctions du Logiciel : enregistrement de séquence vidéo (mesure de vitesse de déplacement), extraction d'images d'une vidéo, traitement d'images avec des filtres définis ou personnalisés, mesure angulaire de l'orientation des franges (et donc de la direction du déplacement), ...

Ce TP, développé par Dida Concept, est innovant et spectaculaire dans la mesure où le résultat d'un calcul d'une transformée de Fourier discrète sur un speckle conduit à une figure d'interférence comparable à celle obtenue avec les dispositifs classiques tels que les trous d'Young, le biprisme de Fresnel ou encore les fentes multiples.

Un des avantages de ce produit est qu'il n'est pas nécessaire de disposer d'une caméra CCD ou d'une carte d'acquisition !

## Produits et services offerts

Outre tout le matériel nécessaire, Dida Concept vous offre également un cours, un texte de TP et une notice contenant les résultats et commentaires.

Nous vous proposons également de tester gratuitement le logiciel complet durant un mois ... pour cela rendez-vous sur notre site internet ou contactez nous.