

# MESURE DE LA DÉFORMATION D'UNE POUTRE PAR INTERFEROMÉTRIE DE SPECKLE

## U51. ANALYSE FONCTIONNELLE DU SYSTÈME

### 1.1. Éléments à votre disposition

#### 1.1.1. Matériel

Liste du matériel	U51	U52	U53
Poutre dans support		X	X
Éléments mécaniques de liaison (noix, blocs magnétiques, ...)		X	X
Micromètre digital		X	X
Laser He-Ne Spectra Physics $\lambda = 632.8 \text{ nm}$		X	X
Lame séparatrice		X	X
Déphaseur, miroir piezo-électrique		X	X
Alimentation pour piezo RS232		X	X
Numériseur, caméra CCD avec objectif		X	X
Micro-ordinateur		X	X
Imprimante	X	X	X

cadre 1.

#### 1.1.2. Documentation

Liste de la documentation	U51	U52	U53
Dossier technique	X	X	X
Aide de Visulm : <a href="http://c.matter.free.fr/visuim/">http://c.matter.free.fr/visuim/</a>	X	X	X
Aide mémoire C/C++		X	

#### 1.1.3. Logiciels

cadre 2.

Liste des logiciels	U51	U52	U53
Visulm	X	X	X
Speckle			X
Visual C++ V4.0		X	
Labview			X
Excel		X	X

### 1.2. Introduction

La mesure de déplacements micrométriques est réalisée à l'aide d'un montage optique du type interféromètre de Michelson.

Voir cadre 1 et cadre 2 du dossier technique.

On utilise un faisceau laser éclaté par une lentille de courte focale. Ce faisceau est séparé en deux à l'aide d'une lame semi-réfléchissante. Une partie appelée **faisceau objet** éclaire l'objet à étudier (poutre) puis la lumière diffusée revient vers la séparatrice. L'autre partie appelée **faisceau de référence** éclaire un objet de référence qui doit rester immobile (son état de surface est si possible de même nature) ; puis la lumière diffusée revient vers la séparatrice. Les 2 objets sont observés à travers la lame semi-réfléchissante par une caméra CCD munie d'un objectif.

Le logiciel *Visulm* permet l'acquisition et le traitement des images. Il permet également de quantifier la déformation.

En U51, on analysera les principes mis en œuvre.

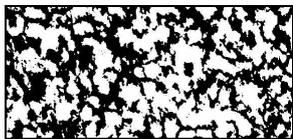
En U52, on réalisera le montage de base qui permet de faire de l'interférométrie en temps réel ou en double exposition.

<b>S.T.S. GÉNIE OPTIQUE – OPTION PHOTONIQUE</b>		
Lycée Jean Mermoz – 68300 Saint-Louis – <a href="http://www.lyceemermoz.com">www.lyceemermoz.com</a>		
	<b>MISE EN ŒUVRE D'UN SYSTÈME</b> U51 – ANALYSE FONCTIONNELLE	Durée : 2 H Version : 17/10/2007 Page : 1/11

En U53, on fera évoluer le montage en faisant varier légèrement l'un des chemins optiques. Cette variation sera obtenue en déplaçant de manière maîtrisée une cellule piézo-électrique pilotée par logiciel. On obtiendra alors l'image phasée de la déformation.

### 1.3. Travail demandé

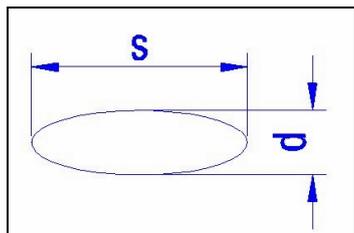
#### 1.3.1. Notion de speckle



cadre 4 : Figure de speckle.

Lorsqu'on éclaire un objet diffusant avec un laser, on observe une figure granulaire appelée «figure de speckle» : un exemple d'un tel phénomène est donné dans le cadre 4. Puisqu'un phénomène de ce genre n'est pas observable avec la lumière d'une source ordinaire, il provient d'une propriété propre à la lumière laser : sa cohérence.

Chaque grain de speckle a la forme d'un grain de riz ; le cadre 5 représente une coupe transversale de ces grains qui sont donc allongés dans le sens perpendiculaire à la figure.



cadre 5 : Grain de speckle.

L'observation du speckle peut être faite de 2 manières différentes :

- en plaçant un écran au voisinage de l'objet diffusant : c'est le speckle objectif.
- en utilisant un système de projection (l'œil, une lentille ou un objectif) : c'est le speckle subjectif. Nous étudions donc ce cas.

##### 1.3.1.1. Influence de l'ouverture de l'objectif sur la largeur du grain

- On utilise un objectif de distance focale  $f'$  dont on peut faire varier la valeur du nombre d'ouverture NO est indiquée sur la bague d'ouverture du diaphragme. Dans le cas du speckle subjectif, la théorie montre que la taille  $d$  du grain de speckle dans le plan conjugué de l'objet rugueux est donnée par la relation :  $d = 1,22(1 + |G_t|) \cdot \lambda \cdot NO$ . La valeur de  $d$  est donc fonction :

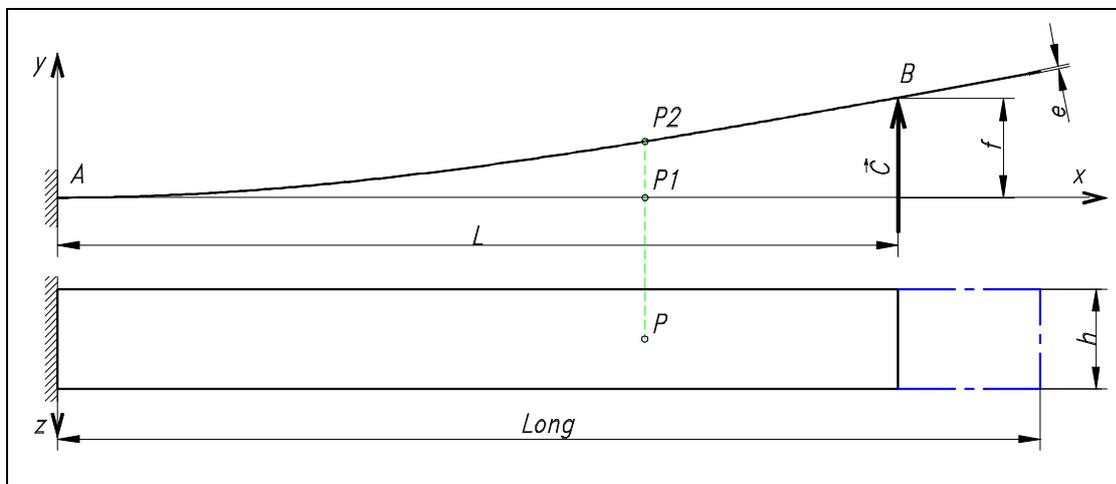
- du grandissement transversal  $G_t$  (en valeur absolue :  $|G_t| = \left| \frac{p'}{p} \right| \approx \left| \frac{f'}{p} \right|$ ), donc de la distance  $p$  entre l'objet et l'objectif ;
- du nombre d'ouverture NO défini par :  $NO = \frac{f'}{D}$ , donc du diamètre d'ouverture  $D$  de l'objectif.

- Montrer que la valeur limite vers laquelle tend  $d$  si l'on éloigne l'objet sans changer l'ouverture de l'objectif est  $\varnothing = 1,22 \cdot \lambda \cdot NO$ .
- Application numérique :  $\lambda = 633 \text{ nm}$  et  $f' = 28 \text{ mm}$ . Quelle doit être la valeur minimale de NO pour que le grain ait au moins la taille (10  $\mu\text{m}$ ) du pixel CCD ?

##### 1.3.1.2. Influence de l'ouverture de l'objectif sur la longueur (épaisseur) du grain

La théorie montre que l'épaisseur du grain de speckle vaut :  $s = 8 \cdot \lambda \cdot (NO)^2$  et limite la valeur du déplacement transverse décelable de la poutre.

Calculer la valeur de  $s$  avec la valeur de NO trouvée précédemment.



cadre 6 : Poutre en flexion.

### 1.3.2. Nombre de franges attendues. Franges claires et franges sombres

L'objet étudié est une poutre AB de longueur *Long* encadrée en une extrémité A et soumise en un point B d'abscisse  $x = L$  à une charge  $\bar{C}$  (voir *cadre 6*).

On considère deux états successifs de la poutre : dans l'état 1, on applique en B une flèche  $f_1$  ; dans l'état 2, on applique une flèche  $f_2 = f_1 + df$ . On s'intéresse à un point P, situé à la distance  $x$  de l'encastrement. Il se déplace de  $P_1$  en  $P_2$ .

Soit  $dy$  le déplacement du point P entre les 2 états. D'après la théorie de la résistance des matériaux, sa valeur

s'écrit : 
$$dy = y_2 - y_1 = -\frac{(df)x^3}{2L^3} + \frac{3(df)x^2}{2L^2}$$

La différence de marche optique  $\delta = 2 \cdot dy$  est donc indépendante de la valeur de  $f_1$ .

L'image de chaque état enregistrée sur le CCD est une matrice de pixels : Chaque pixel est une figure d'interférences entre :

- le faisceau diffusé par un point (élément de surface) de l'objet étudié (la poutre mise en flexion),
- et le faisceau diffusé par un point de l'objet de référence.

On suppose que l'on réalise un enregistrement en double exposition d'une poutre fléchie : la première image est celle de la poutre dans l'état 1. Chaque pixel reçoit un flux (ou intensité) du type  $I_1 = I' + I'' + 2\sqrt{I' \cdot I''} \cos(\varphi_1)$  ;  $\varphi_1$  est la phase de l'onde diffusée par le point  $P_1$  d'abscisse  $x$  de la poutre dans l'état 1.

Si l'on déplace l'objet sans changer la référence, la deuxième image est celle de la poutre dans l'état 2. Le même pixel reçoit un flux du type  $I_2 = I' + I'' + 2\sqrt{I' \cdot I''} \cos(\varphi_2)$ ,  $\varphi_2$  est la phase de l'onde diffusée par le point  $P_2$  d'abscisse  $x$  de la poutre dans l'état 2.

Le traitement d'image permet de réaliser des opérations mathématiques pixel par pixel entre les intensités lumineuses restituées. On peut par exemple effectuer la différence  $I_2 - I_1$  et en prendre la valeur absolue.

Mode opératoire :

1. Ouvrir le logiciel *Speckle*. Voir *cadre 8*.
2. Sélectionner **Modèle/Poutre encadrée**. Ouvrir les 3 fenêtres suivantes : **Visualisation/Grappe en interférométrie speckle, déformée de la poutre et franges sur la poutre**.
3. Ouvrir la boîte de dialogue **Paramètres**. Entrer les paramètres suivants :
  - longueur totale de la poutre *Long* : 200 mm ;
  - distance où s'exerce la poussée par rapport à l'encastrement *L* : 180 mm ;
  - valeur de la flèche supplémentaire *df* : 6  $\mu\text{m}$  ;
  - visualisation des franges sur les 120 premiers mm depuis l'encastrement ;
  - introduire un facteur d'échelle de 6000 pour l'échelle en  $z$ .
4. Compter le nombre de franges sombres que l'on doit observer sur une longueur de 100 mm si  $df = 6 \mu\text{m}$ , et  $L = 180 \text{ mm}$ , et relever la position des franges sombres sur les 100 premiers mm depuis l'encastrement.
5. Quelle est l'influence sur la position ou le nombre de franges de :
  - la valeur de la flèche de la poutre dans l'état 1 (flèche initiale) ?
  - l'abscisse  $L$  du point de poussée ?
  - la valeur de la flèche supplémentaire ?
6. On peut modifier les valeurs des paramètres associés à l'intensité des faisceaux et au pouvoir diffusant des objets. Changer la valeur de  $I'$  ou la valeur de  $I''$ . Le pouvoir diffusant des objets influe-t-il théoriquement sur le contraste des franges ?
7. Des franges d'interférences classiques résultent de la superposition en amplitude de 2 ondes cohérentes. Observer la grandeur représentée en ordonnée sur le graphe. En quoi les « franges » observées sont-elles différentes des franges d'interférences classiques ?

Montrer la simulation à un professeur.

### 1.3.3. Méthode du décalage de phase

En U53, on utilise la méthode du décalage de phase. Au lieu d'enregistrer 1 image de la poutre dans un état donné, on enregistre 4 images déphasées de  $\frac{\pi}{2}$  (en déplaçant l'objet de référence à l'aide d'une cellule piézo-électrique pilotée par le micro-ordinateur) pour avoir accès à la valeur de  $\varphi$  en chaque point P de l'image. Le déphasage est obtenu par déplacement de l'objet de référence à l'aide du piézo.

En P, les intensités successives s'écrivent :

$$I_1 = I(1 + m \cdot \cos(\varphi))$$

$$I_2 = I(1 + m \cdot \cos(\varphi + \frac{\pi}{2}))$$

$$I_3 = I(1 + m \cdot \cos(\varphi + \pi))$$

$$I_4 = I(1 + m \cdot \cos(\varphi + \frac{3\pi}{2}))$$

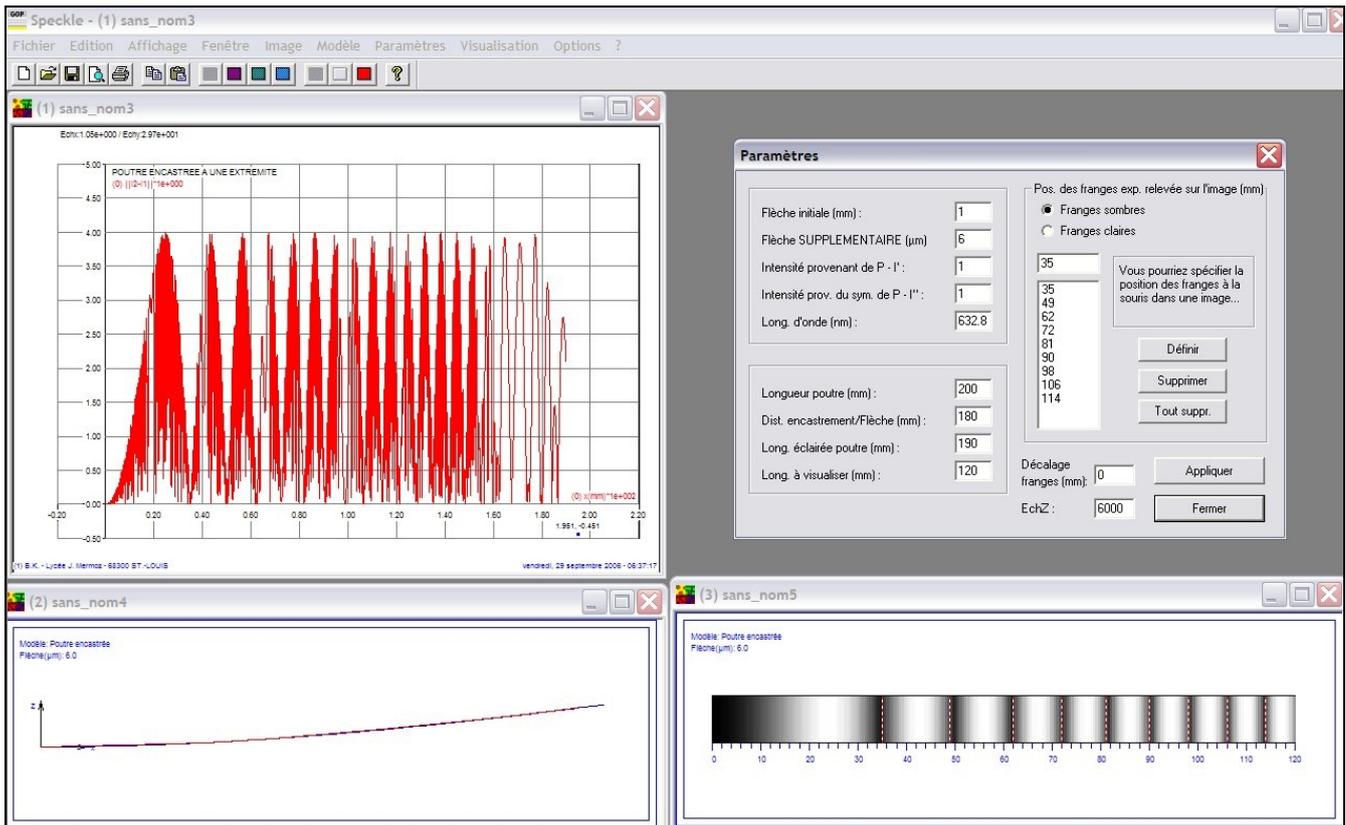
Montrer que l'on obtient  $\varphi$  (à  $k\pi$  près) par :  $\varphi = \text{Arctan} \frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3}$ .

Application sous *Visulm* (voir *cadre 7*) :

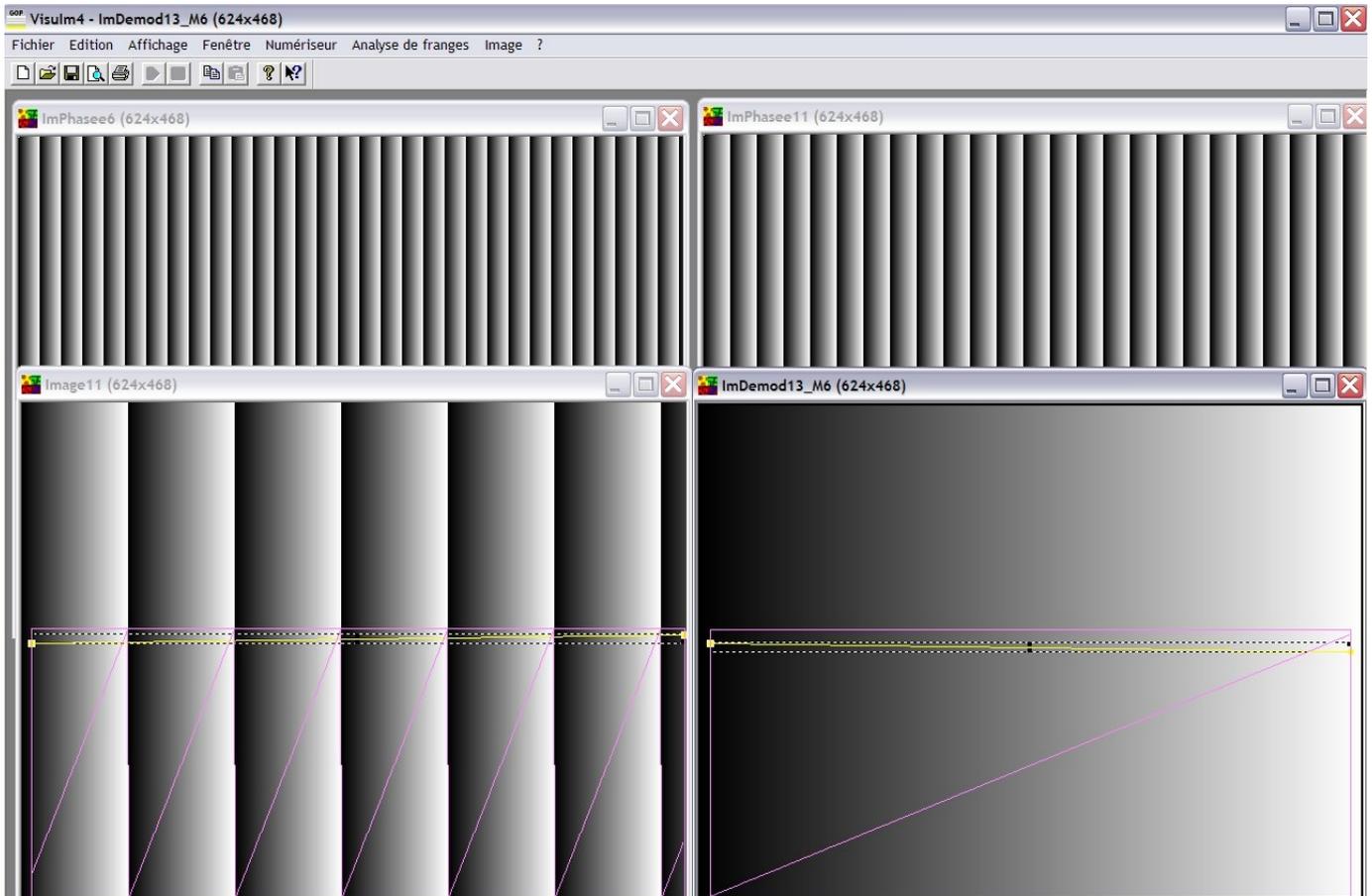
- Génération d'une image phasée *ImPhas20* (plan de référence) :
  1. Faire **Images/Opérations/Générer 4 mires sinusoïdales** de pas 20 pixels, de contraste  $C = 1.0$ ,  $I_{\text{Moy}} = 127$ .
  2. Faire **Analyse de franges/Image phasée/Calculer image phasée à 4 images**. Calculer l'image phasée *ImPhas20*. Ne pas vous tromper dans l'ordre des images, voir relation dans la boîte de dialogue.
  3. La sauvegarder sous **XXImPhas20.tif** (les caractères **XX** sont vos initiales). Toutes les images intermédiaires peuvent être effacées.
- Génération d'une image phasée *ImPhas25* (plan incliné par rapport au plan de référence) :
  4. Refaire l'opération 1, avec une mire de pas 25 pixels. La sauvegarder sous **XXImPhas25.tif**.
- Calcul de la différence des images :
  5. Sous **Image/Opérations/Opérations mathématiques et logiques**, faire la soustraction modulo 256 entre *ImPhas20* et *ImPhas25*. Mettre le résultat dans une nouvelle image. La sauvegarder sous **XXOpMathLog.tif**.
- Démodulation de l'image :
  6. Sur l'image *OpMathLog*, faire **Analyse de franges/Image phasée/Démoduler image phasée..** La sauvegarder sous **XXImDemod.tif**.
- Conclusions :
  7. Sur les images *OpMathLog* et *ImDemodM6*, tracer un profil horizontal avec la souris. En analysant l'image *OpMathLog.tif*, donner la signification du paramètre **M6** ajouté par le logiciel au nom de l'image démodulée *ImDemodM6.tif*. Conclure.
- Répéter la génération des mires précédentes en dégradant le contraste par  $C = 0.5$ . Est-ce que le contraste des images a une influence sur la démodulation ?

À partir du document technique, répondre aux questions suivantes :

- Comment sont représentées les valeurs de  $\varphi$  ?
- Qu'appelle-t-on démodulation de l'image phasée ?



cadre 8 : Visualisation de la position des franges.



cadre 7 : Images phasées, image différence et image démodulée.

# MESURE DE LA DÉFORMATION D'UNE POUTRE PAR INTERFEROMETRIE DE SPECKLE

## U52. MISE EN ŒUVRE DU SYSTÈME

### 2.1. Éléments à votre disposition

#### 2.1.1. Matériel

Voir cadre 1.

#### 2.1.2. Documentation

Voir cadre 2.

#### 2.1.3. Logiciels

Voir cadre 3.

### 2.2. Travail demandé

#### 2.2.1. Réalisation du montage

##### 2.2.1.1. Image en temps réel

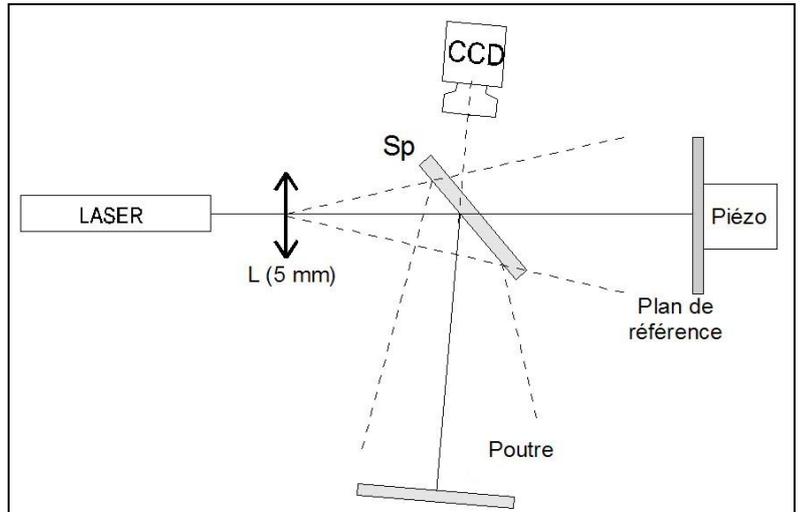
- Réaliser le montage d'enregistrement décrit *cadre 9*. Eloigner suffisamment la poutre de la lentille pour avoir un éclairage homogène de la poutre.
- Placer la séparatrice et la caméra. Ouvrir *Visulm*. Sous *Numériseur*, sélectionner le numériseur connecté ou installé dans le PC (Ex : *Matrox Meteor II*). Choisir l'objectif de manière à observer la poutre à analyser entre l'encastrement (que l'on déplace afin que l'image se situe sur le bord de l'écran) et les 120 premiers mm .
- Acquérir une première image de la poutre (*Numériseur/ Acq. permanente*). Installer la poutre de référence montée sur piézo. Superposer l'image de la poutre et de l'objet de référence à travers la séparatrice.
- Modifier l'ouverture de l'objectif et le temps d'intégration de la caméra. Constaté leur action sur la luminosité de l'image et la taille des grains de speckle.
- Pour optimiser les réglages, on utilise l'échelle des pseudo-couleurs (*Numériseur/Visualiser en fausses couleurs*) et on doit obtenir une dominante verte avec des grains de speckle les plus gros possible.
- Appliquer une précontrainte à la poutre (ce sera l'état 1 de référence avant la déformation).
- Faire *Numériseur/Visualiser en temps réel*. Réaliser une image de référence. Si le montage est stable, l'image doit rester uniformément noire.

Faire appel à un professeur pour vous aider ou pour vérifier le montage.

- Agir sur le micromètre pour déformer la poutre de + 6  $\mu\text{m}$  au point de poussée. La poutre doit apparaître à l'écran avec les franges d'interférence.
- Sauvegarder cette nouvelle image sur disque en spécifiant le nom donné au fichier image (par exemple : *nom de l'élève\_temps\_reel1.tif*).
- Votre montage est alors opérationnel.
- Réaliser une nouvelle référence et recommencer en agissant sur le micromètre pour déformer la poutre de - 6  $\mu\text{m}$  au point de poussée.
- Sauvegarder cette nouvelle image sur disque en spécifiant le nom donné au fichier image (par exemple : *nom de l'élève\_temps\_reel2.tif*).

##### 2.2.1.2. Image en double exposition

- On réalise maintenant un enregistrement d'interférométrie en double exposition.
- Acquérir, puis figer deux images de la poutre : une dans un état de référence (*Image1*), l'autre (*Image2*) dans un état où la poutre subit une flèche de +6  $\mu\text{m}$  au point de poussée.
- Dans *Image/Opérations/Opérations mathématiques et logiques* faire une soustraction absolue entre ces 2 images (respecter l'ordre *Image2-Image1*).



cadre 9 : Montage avec déphaseur piézo.

- Dans [Image/Opérations/Multiplier par constante](#), multiplier cette image par une constante (5 par exemple) pour augmenter la luminance de tous les pixels.
- Sauvegarder cette nouvelle image sur disque en spécifiant le nom donné au fichier image (par exemple : *nom de l'élève\_double\_expo1.tif*).

Faire appel à un professeur pour vérifier le montage et vos mesures.

- Déformer la poutre de  $-6 \mu\text{m}$  au point de poussée. Acquérir *Image3*.
- Faire une soustraction absolue entre les 2 images (respecter l'ordre *Image3-Image2*).
- Dans [Image/Opérations/Multiplier par constante](#), multiplier cette image par une constante (5 par exemple) pour augmenter la luminance de tous les pixels.
- Sauvegarder cette nouvelle image sur disque en spécifiant le nom donné au fichier image (par exemple : *nom de l'élève\_double\_expo2.tif*).

### 2.2.2. Simulation de la position des franges

- Quitter *Visulm* et ouvrir le logiciel *Speckle*.
- Choisir parmi les 4 images précédentes en précisant laquelle (par exemple celle du fichier *nom de l'élève\_double\_expo2.tif*) celle qui donne un nombre de franges acceptable (une douzaine sur les 120 mm qui suivent l'encastrement) et si possible une frange sombre près de l'encastrement.
- Sélectionner le modèle : [Poutre encastree](#).
- Mesurer sur l'image la largeur de la poutre en pixels. Mesurer à l'aide d'un règlet la largeur de la poutre en mm.
- Sous [Image/Calibration](#), donner le facteur de conversion pixel  $\rightarrow$  mm. Cocher [coordonnées de l'image en mm](#).
- Mettre la boîte de dialogue [Paramètres](#) à jour, notamment les paramètres du montage ainsi que la position des franges sombres à relever en mm sur l'image.
- Optimiser ces paramètres de façon à faire correspondre le mieux possible les franges théoriques aux franges expérimentales.

Remarque : Si les franges sont globalement décalées (point d'encastrement non visible, ...), on pourra compenser ce décalage en introduisant une valeur dans la rubrique décalage franges. Si les franges sont trop serrées, diminuer la flèche. Si elles sont trop espacées, l'augmenter...

- Sauvegarder sous *franges.spe*.
- Faire une sortie imprimante des simulations en changeant préalablement le format en mode paysage ([Fichiers/Configurer imprimante](#)).

Remarque : On pourra imprimer les différentes fenêtres individuellement, ou mieux : Lancer le logiciel *Screen Hunter* permettant de faire des copies d'écran. Agencer sous *Speckle* les différentes fenêtres ainsi que la boîte de dialogue [Paramètres](#) à la manière du *cadre 8*. Appuyer sur la touche [Impr. écran](#) et imprimer le fichier image *.jpg* créé.

- Conclusions.

Faire appel à un professeur pour vérifier votre simulation.

# MESURE DE LA DÉFORMATION D'UNE POUTRE PAR INTERFEROMÉTRIE DE SPECKLE

## U53. ANALYSE DES PERFORMANCES DU SYSTÈME

---

### 3.1. Éléments à votre disposition

#### 3.1.1. Matériel

Voir cadre 1.

#### 3.1.2. Documentation

Voir cadre 2.

#### 3.1.3. Logiciels

Voir cadre 3.

### 3.2. Travail demandé

#### 3.2.1. Images phasées

##### 3.2.1.1. Réglage du déphaseur

- Dans le montage réalisé en U52, l'objet de référence est monté sur un translateur piézo-électrique qui permet de faire varier le chemin optique du faisceau de référence et d'obtenir des images phasées.
- Sous *Visulm*, faire [Numériseur/Acquisition permanente](#).
- Après avoir branché l'alimentation du déphaseur piézo-électrique, basculer l'interrupteur sur la position manuelle. En modifiant la tension d'alimentation du translateur piézo-électrique, on doit observer un déplacement des franges.
- Alimenter le piézo sous une tension d'offset de  $V_0 = 200$  V. Repérer une frange sombre, puis rechercher l'augmentation  $\Delta V$  (de l'ordre de 120 V) de la tension du piézo qui amène la frange sombre adjacente à la place de la frange précédente (décalage de phase de  $2\pi$ ). Refaire cette opération plusieurs fois et retenir la valeur moyenne.
- Vérifier la connexion du déphaseur piézo-électrique à un port série de l'ordinateur.
- Basculer l'interrupteur sur Line. Vérifier sous [Analyse de franges/Piloter déphaseur/ Translateur piézo sur port série](#) que celui-ci fonctionne en demandant une tension de 250 V par exemple.
- Suivre la démarche suivante pour obtenir l'image phasée de la poutre dans chaque état (avant et après déformation avec  $df = + 6 \mu\text{m}$ ) :
  - Entrer les valeurs trouvées de  $V_0$  et  $\Delta V$  dans [Analyse de franges/Image phasée/Acq. image phasée à 4 images/Piézo COM\\_\\_](#). Remplir les zones U1, U2, U3 et U4 et laisser [AUCUNE](#) dans [Image phasée REF](#).
  - Noter les valeurs de  $V_0$  et  $\Delta V$ .

##### 3.2.1.2. Acquisition de l'image de la déformée *DifPhase1.tif*

- Acquérir une première image phasée à 4 images avec la poutre dans l'état initial.
- Fermer la boîte de dialogue. Sauvegarder sous : *nom\_élève\_ref1.jpg*.
- Acquérir une deuxième image phasée à 4 images en appliquant préalablement la flèche supplémentaire  $df$  d'environ  $+ 6 \mu\text{m}$  au point de poussée situé à la distance  $L$  de l'encastrement. Spécifier maintenant *nom\_élève\_ref1.jpg* dans [Image phasée REF](#).
- Noter les valeurs de  $df$  et  $L$ .
- En fin d'acquisition, cliquer sur [Soustraction modulo 256](#).
- Enregistrer *nom\_élève\_ref2.tif* et *nom\_élève\_DifPhase1.tif*. C'est l'image soustraction qui nous intéresse maintenant. L'amener en avant plan.
- Sous [Image/Créer une image masque](#), sélectionner par un rectangle la zone intéressante de la poutre à l'aide de la souris (voir *cadre 10*). Cliquer sur [Ajouter](#). Les zones inintéressantes (bruit de fond, ...) doivent être noires sur l'image masque.
- Sous [Analyse de franges/ Image phasée/ Démoduler image phasée](#), démoduler l'image

nom\_élève\_phas.tif et retrouver la déformée de la poutre en nuances de gris :

- Spécifier les bonnes images : image phasée et image masque. Cliquer sur **Démoduler**.
- Si des bogues apparaissent dans l'image démodulée, changer les options : Image avec discontinuités physiques, avec bruit de fond...
- Sauvegarder l'image démodulée sous nom\_élève\_dem1\_Mxx.tif.

Si l'image démodulée n'a pas pu être obtenue ou si elle est de mauvaise qualité, prendre la série des images I\_Specklexx.tif pour laquelle la déformation est de l'ordre de 3 µm à 180 mm (larg. poutre = 50 mm).

Remarque :

Le coefficient M (ajouté par le logiciel dans le nom de l'image démodulée) correspond au nombre de sauts  $2\pi$  (ordre des franges) rencontrés dans l'image démodulée.

**3.2.1.3. Mesure de la déformée**

- Donner cette valeur de M.
- Sous **Image/ Etalonner l'image/ Coordonnées image en mm suivant x et y**, spécifier l'échelle suivant x et y. Exemple : 200 pixels pour 50 mm (largeur de la poutre).
- Sous **Image/ Etalonner l'image/ Coordonnées image en mm suivant z**, cliquer sur **Speckle**. Cliquer sur **OK** pour calculer l'échelle en z. Introduire la valeur de M ci-dessus dans la zone de texte correspondante.
- Tracer un profil de l'image démodulée montrant la déformée de la poutre.
- Sous **Image/Filter l'image**, appliquer le cas échéant le filtre : **Low pass 3x3 filter 1**.

**3.2.1.4. Recherche de la flèche supplémentaire**

- Dans le repère image (voir cadre 11), l'équation de la déformée de la poutre est donnée par : 
$$z = -\frac{df.y^3}{2L^3} + \frac{3.df.y^2}{2L^2}$$
 (1), avec df flèche (ex :  $6.10^{-3}$  mm) appliquée à la distance L (ex : 180 mm) de l'encastrement.
- Cliquez dans votre image sur le bouton gauche de la souris au point d'encastrement. Relever en bas d'image la déformation notée dZ et la distance dY de l'encastrement (Exemple cadre 11 : dZ = 6.9 µm, dY = 139 mm).
- À l'aide de l'équation de la déformée (1), calculer la valeur de la déformée z pour la longueur y = dY. Conclure en comparant z à dZ.
- Visualiser la poutre sous **Image/Visualiser en 3D**.

Faire appel à un professeur pour vérifier le montage, vos mesures et la visualisation.

**3.2.1.5. Intérêt**

Recommencer l'opération précédente en faisant une déformation avec  $df = -6 \mu m$  et aller jusqu'à En fin d'acquisition, cliquer sur **Soustraction modulo 256**. Enregistrer nom\_élève\_ref3.tif et nom\_élève\_DifPhase2.tif. C'est l'image soustraction qui nous intéresse maintenant

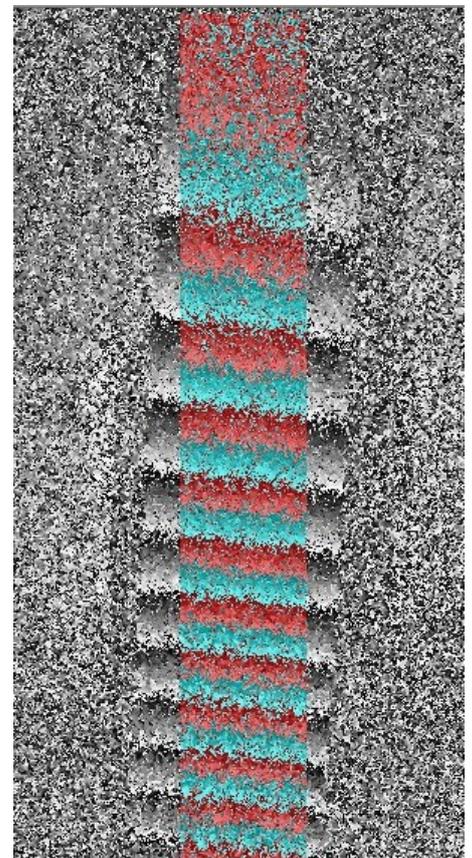
Démoduler cette image. La sauvegarder sous nom\_élève\_dem2\_Mxx.tif. et tracer le profil.

Que permet la méthode utilisant les images phasées que ne permet pas la méthode en temps réel ni la méthode par double exposition ?

**3.2.1.6. Comparaisons**

Sur le modèle poutre encastree :

- Comparer le nombre de franges observées en U52 au nombre de franges attendues (question 1.3.2 de U51).
- Que peut-on dire de la précision avec laquelle on produit la déformation ? Proposer une amélioration possible.



cadre 10 : Masque rectangulaire.

### 3.2.2. Équation de la déformée

- Écrire l'équation du moment fléchissant  $M_F$  d'une poutre encastree de longueur Long soumise à une charge  $\bar{C}$  en  $x = L$  (voir cadre 6).

Nous savons que :

$$E \cdot I_{Gz} \cdot y'' = M_F$$

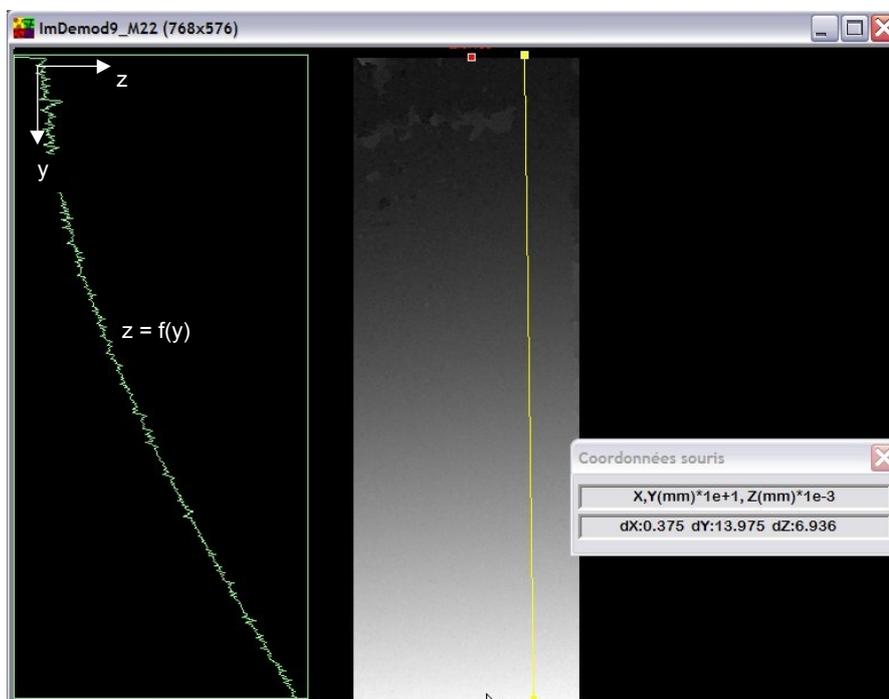
$$y'' = \frac{d^2 y}{dx^2} \text{ (dérivée seconde de } y \text{)}$$

$E$  : module d'élasticité ( $2 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ ) ;  
 $I_{Gz}$  : moment quadratique ( $\text{mm}^4$ ).

Pour une section rectangulaire  $I_{Gz} = \frac{h \cdot e^3}{12}$  avec :

$h$  : largeur poutre,  $h = 50 \text{ mm}$  ;  
 $e$  : épaisseur poutre,  $e = 2 \text{ mm}$  (voir cadre 6).

- Déterminer l'expression littérale  $y(L)$  de la flèche de la poutre en  $x = L$ .
- Déterminer la valeur de l'effort  $C$  pour une flèche maxi  $y = f = 6 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$ ,  $L = 180 \text{ mm}$ , Long = 200 mm.

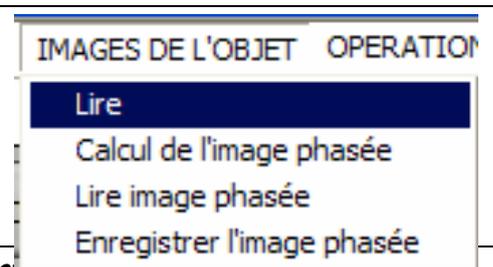


cadre 11 : Calcul de la déformée.

### 3.2.3. Image phasée à 4 images

- Ouvrir le logiciel *Labview*.
- Lire l'aide labview cadre 3 du dossier technique.
- Ouvrir le Vi : specklesuj2.vi dans le dossier *c:\2speckle\infots2*.
- Étudier et compléter cette application en traitant le points suivants :

- Lecture de 4 images objets lorsqu'on choisit « IMAGES DE L'OBJET -> Lire » dans le menu qui correspond au tag « LIREIMOBJ », pour cela :
  - Une boite de dialogue s'ouvre pour demander à l'utilisateur de choisir le fichier à lire (Image\_0.jpg).
  - L'image est stockée dans la boite image « Image objet0 ».



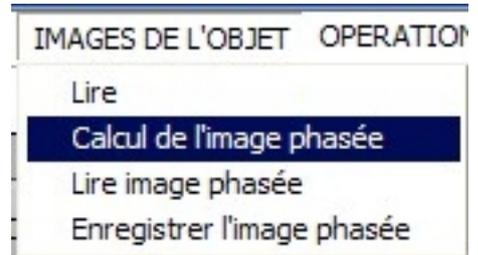
- Une boîte de dialogue s'ouvre pour demander à l'utilisateur de choisir le fichier à lire (Image\_1.jpg).
- L'image est stockée dans la boîte image « Image objet90 ».
- Une boîte de dialogue s'ouvre pour demander à l'utilisateur de choisir le fichier à lire (Image\_2.jpg).
- L'image est stockée dans la boîte image « Image objet180 ».
- Une boîte de dialogue s'ouvre pour demander à l'utilisateur de choisir le fichier à lire (Image\_3.jpg).
- L'image est stockée dans la boîte image « Image objet270 ».

**Réponse :**  
**Voir ...**

b) Calculer l'image phasée de l'objet dans l'intervalle  $[0, 2\pi]$  d'après relation  $\tan \varphi = \frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3}$ . On complètera la partie de

programme lorsqu'on clique sur « IMAGES DE L'OBJET -> Calcul de l'image phasée » dans le menu qui correspond au tag « IMAGE OBJ PHASEE » :

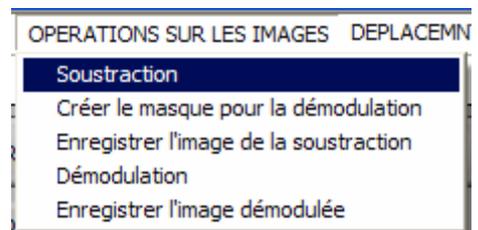
- Chaque image sera convertit en table de pixels 16 bits.
- On utilise la soustraction pour calculer  $I_4 - I_2$  puis  $I_1 - I_3$ .
- On calcul l'arctangente en utilisant la fonction « Arc tangente (2 entrées) ».
- On la ramène l'image à modulo 256 pour cela créer une expression qui prend chaque valeur du tableau pour calculer  $255 * (x + \pi) / (2\pi)$
- La table de pixels sera a nouveau convertit en image.
- L'image sera stockée dans la boîte image « Imageobjphas »



**Réponse :**  
**Voir ...**

c) Soustraction de l'image phasée à l'image de référence phasée lorsqu'on choisit « OPERATIONS SUR LES IMAGES -> Soustraction » dans le menu qui correspond au tag « Soustraction » :

- Chaque image sera convertit en table de pixels float.
  - On utilise la soustraction pour calculer « Imagerefphasée » - « Imageobjphas ».
  - Créer une image temporaire « image temp 3 » au format « grayscale(SGL) »
  - La différence doit être modulo 256 pour cela utiliser la fonction « quotient et reste » , pour y créer une constant 256.
  - La table de pixels sera a nouveau convertit en image.
  - Convertir l'imaee en « graysacale (U8) » en utilisant la fonction « IMAGE Cast Image », l'image d'initialisation sera une variable globale « Init ».
  - L'image sera stockée dans la boîte image « Soustraction »
- (Pour tester votre programme charger directement l'image de référence phasée : Imagerefphasée.jpg)



**Réponse :**  
**Voir ...**

d) Imprimer les trois partie complétées et commenter.

Faire appel à un professeur pour vérifier votre programme.