

Laboratoire d'interférométrie holographique:
détermination de modes de vibration.

Michel Fabrice et Vandenberg Jean-François.
Université de Liège.

Année académique 2003-2004

Introduction :

Ce laboratoire a pour but de nous familiariser avec l'interférométrie holographique (en temps moyenné et réel). Les objets étudiés correspondent à une lame et à une aube de turbine (Fig. 1)

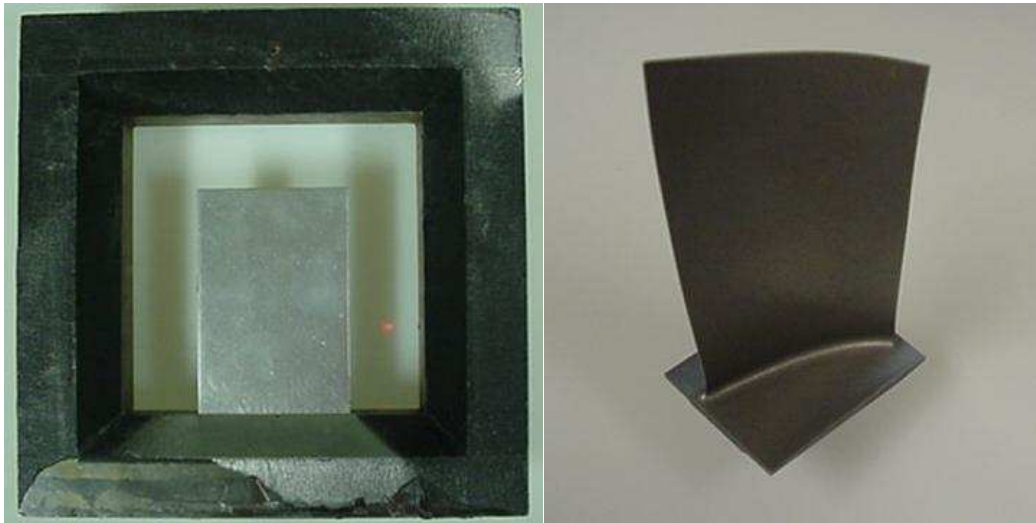


FIG. 1 – Photographies de la lame (à gauche) et de l'aube (à droite) étudiées.

Rappels théoriques :

Nous supposons que le lecteur possède les connaissances relatives à l'interférométrie, à l'holographie et à l'interférométrie holographique. Le lecteur en recherche de connaissances théoriques sur l'interférométrie holographique est invité à consulter le lien suivant :

http://www.teledisnet.be/lmi16399/page_physiq/inter.html

Montage expérimental :

Le montage utilisé est un dispositif classique d'holographie en transmission (Fig. 2).

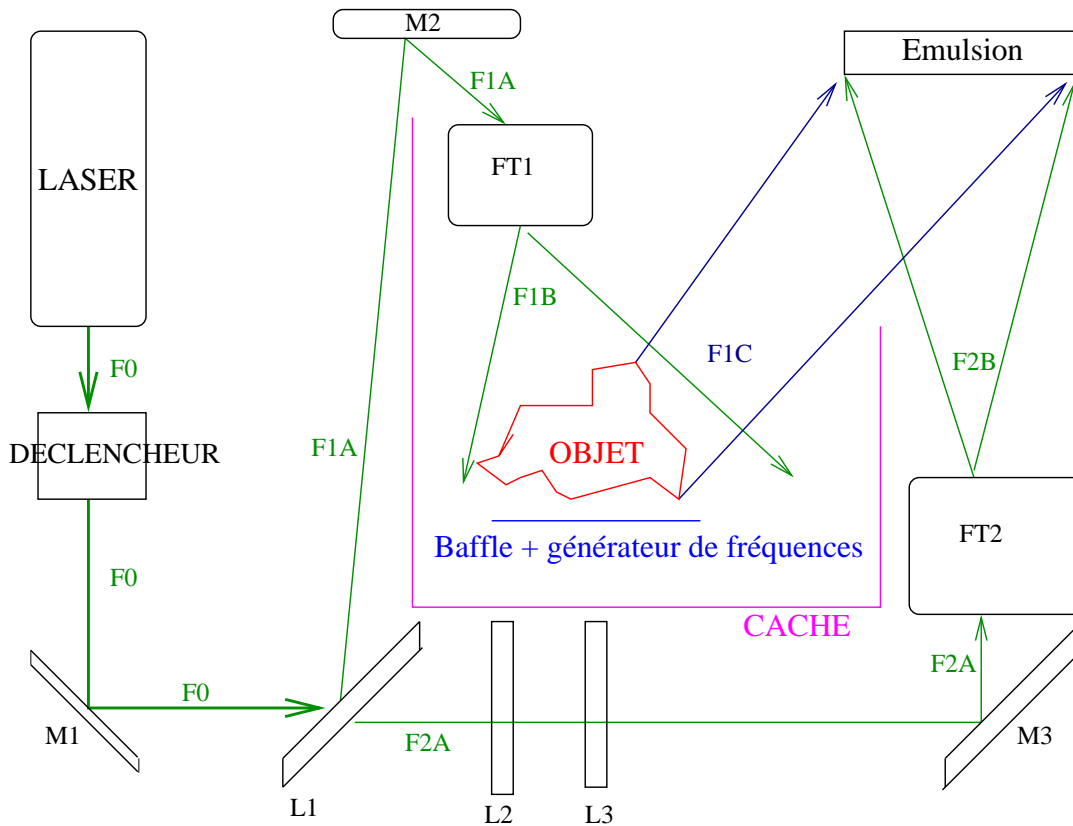


FIG. 2 – Schématisation du montage utilisé pour la détermination des modes de vibration.

Légende :

- M1, M2 et M3 : miroirs de très bonne qualité pour minimiser les pertes et l'introduction de phase lors des réflexions ;
- L1 : lame séparatrice ;
- L2 : lame de densité ;
- L3 : lame à réflectivité variable ;
- FT : filtre spatial.

Description du montage :

Lorsque le déclencheur ¹ est sur "on", le faisceau laser F0 peut se propager dans le dispositif :

¹Ce déclencheur est utilisé afin d'éviter de devoir éteindre et allumer le laser pendant les manipulations.

- F0 se réfléchit sur M1 ;
- F0 se divise, grâce à L1, en F1A et F2A.

Envisageons maintenant les faisceaux F1A et F1B :

- F1A se réfléchit sur M2 et va vers FT1 ;
- FT1 élargit ce faisceau F1A : on le renomme F1B ;
- Ce nouveau faisceau F1B éclaire l'objet ;
- Ce même objet diffuse F1B en F1C ;
- Le générateur de fréquences permet d'exciter, par l'intermédiaire du baffle, les modes de vibration de l'objet.

Etudions maintenant le parcours de F2A :

- F2A est atténué à l'aide de L2 et L3 pour obtenir un rapport d'éclairement, des faisceaux d'enregistrement, unitaire : augmentation de la visibilité des franges enregistrées ;
- Ensuite F2A est réfléchi par M3 et redirigé vers FT2 ;
- FT2 élargit le faisceau et on renomme F2A par F2B.

Enfin, F1C et F2B interfèrent et la figure d'interférence est enregistrée dans le matériau photosensible.

Remarques :

- L2 est placée de manière à diminuer, comme L3, le flux lumineux de F2A. L2 sert également à ne pas abîmer L3, plus sensible qu'elle ² ;
- les filtres spatiaux servent à augmenter la largeur de la gaussienne caractérisant la distribution transversale du flux laser : ils permettent d'éclairer de manière uniforme tout le matériau d'enregistrement. Ils servent également à corriger, en vertu de l'optique de Fourier, les défauts de phase du rayonnement laser ;
- le matériau photosensible utilisé pour l'enregistrement est l'Omnidex de la firme DuPont. Ce matériau possède une sensibilité maximale dans le vert (donc utilisation d'un laser Argon pour l'enregistrement) et présente l'avantage d'être autodéveloppant³.

²Les lames à réflectivité variable sont réalisées par évaporation d'argent. Si elles sont soumises à un éclairage trop important, la partie de l'énergie absorbée fait réévaporer l'argent.

³Caractéristique avantageuse pour l'interférométrie en temps réel : inutile de déplacer l'échantillon, pour le développer, entre les différentes prises.

Mode opératoire :

Pour la lame, la fréquence du premier mode de vibration sera déterminée grossièrement⁴. Pour ce mode, nous enregistrerons un hologramme en temps moyenné⁵. Cet enregistrement nous permettra de vérifier notre dispositif d'enregistrement.

Une fois le montage vérifié, nous pouvons faire un enregistrement de l'objet non excité (Fig. 3). Nous utiliserons cet hologramme pour effectuer de l'interférométrie en temps réel. Cette dernière nous permettra d'aller rechercher les modes de vibration d'ordre supérieur. Une fois les fréquences des ordres supérieures déterminées, nous réaliserons un enregistrement en temps moyenné pour chacun des modes trouvés.

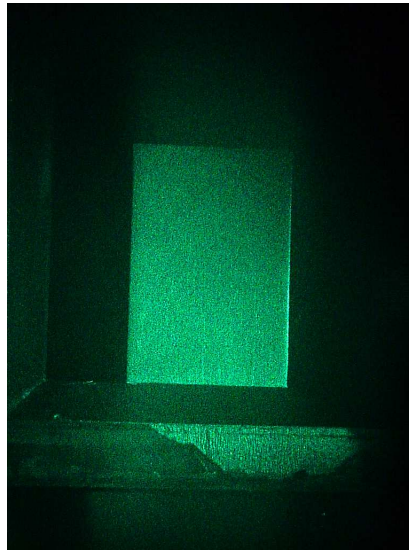


FIG. 3 – Hologramme de la lame non excitée.

Nous procéderons de manière analogue pour l'étude des modes de vibration de l'aube de turbine.

⁴La fréquence est suffisamment basse (250Hz) pour être ressentie par touché.

⁵L'enregistrement en temps moyenné est le plus aisé à réaliser : une seule exposition.

Résultats obtenus :

Analysons les résultats obtenus.

Interférométrie en temps réel :

L'interférométrie en temps réel va nous permettre de déterminer les fréquences de vibration de l'objet. Les diverses observations nous enseignent que les trois premiers modes de vibration de la lame ont pour fréquences respectives : $\sim 225\text{Hz}$, $\sim 680\text{Hz}$ et $\sim 1400\text{Hz}$ (Fig. 4).

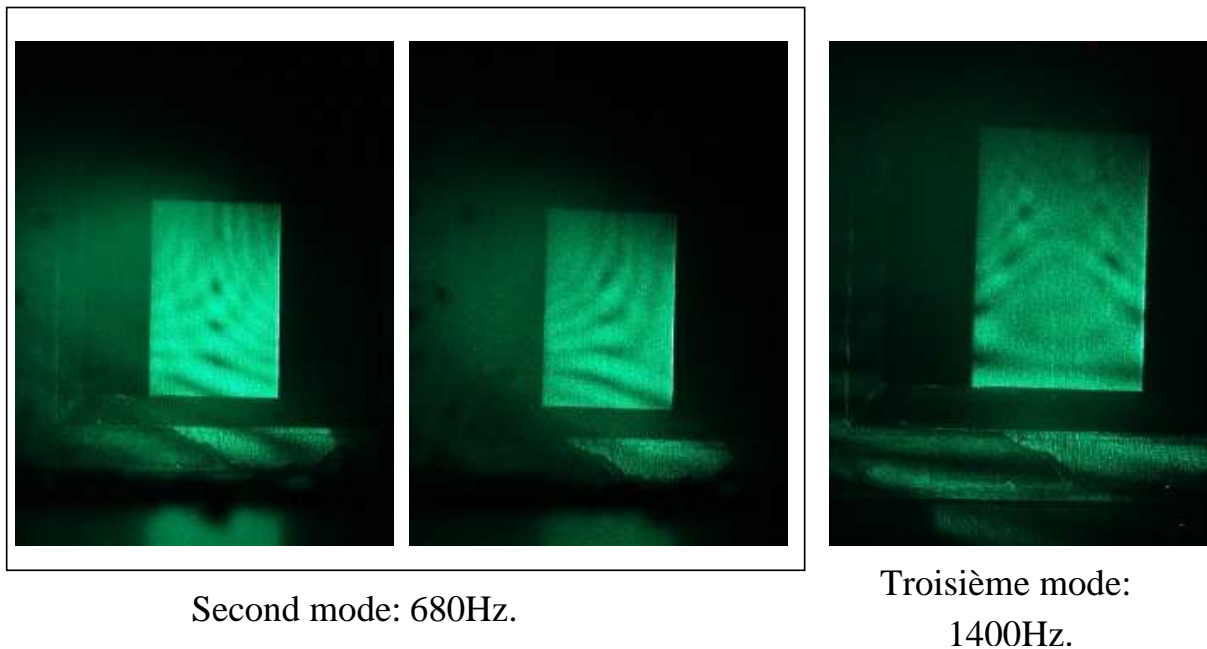
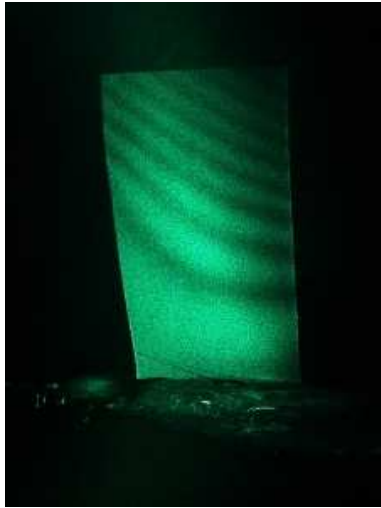


FIG. 4 – Deuxième et troisième modes de vibration de la lame en temps réel.

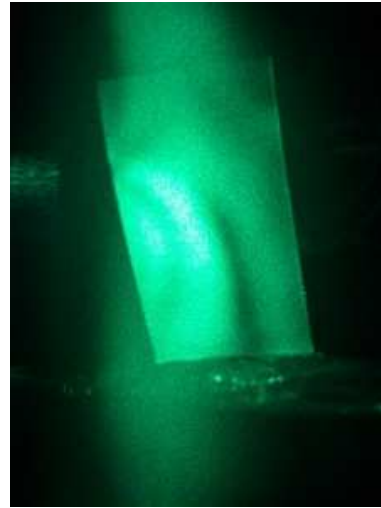
Pour l'aube, les modes de vibration apparaissent aux fréquences : $\sim 500\text{Hz}$ et $\sim 2800\text{Hz}$ (Fig. 5).

N.B : des vidéos relatives à l'interférométrie en temps réel sont disponibles à l'adresse web :

http://www.teledisnet.be/lmi16399/page_physiq/inter.html



Premier mode:
500Hz.



Second mode:
2800Hz.

FIG. 5 – Premier et deuxième modes de vibration de l'aube en temps réel.

Interférométrie en temps moyenné :

L'interférométrie en temps réel nous a permis de déterminer les fréquences de vibrations de l'objet. Sur base de la connaissance de ces fréquences, nous pouvons réaliser l'interférométrie holographique en temps moyenné. Les résultats relatifs à la lame et à l'aube sont repris respectivement dans les figures 6 et 7.

Comparaison des méthodes :

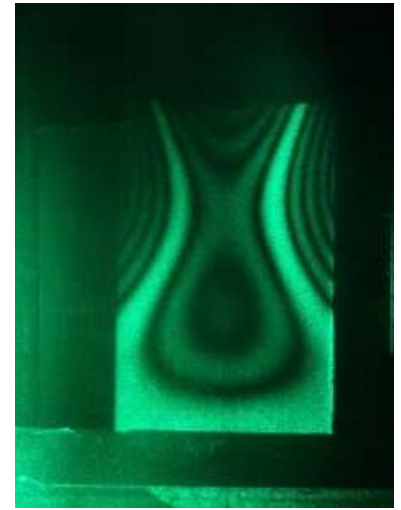
L'interférométrie en temps réel est un bon procédé pour obtenir les fréquences propres de vibration des objets. Une fois ces fréquences déterminées, pour analyser la manière dont l'objet vibre, il est cependant préférable d'utiliser l'interférométrie en temps moyenné, technique qui fournit des images plus belles.



Premier mode:
225Hz.

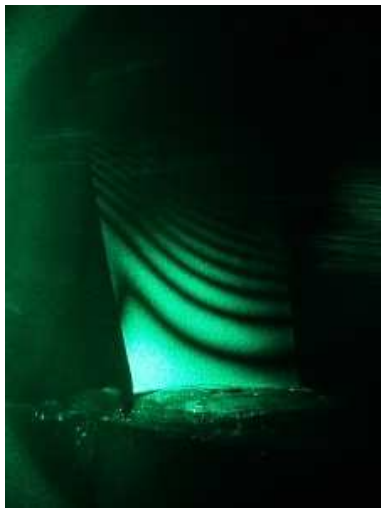


Second mode:
680Hz.

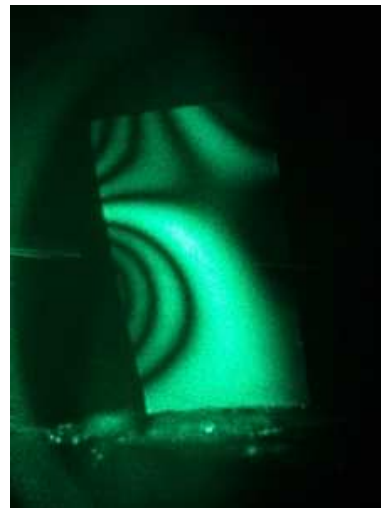


Troisième mode:
1400Hz.

FIG. 6 – Premier, deuxième et troisième modes de vibration de la lame en temps moyenné.



Premier mode:
500Hz.



Second mode:
2800Hz.

FIG. 7 – Premier et deuxième modes de vibration de l'aube en temps moyenné.

Interprétation physique des résultats :

La section qui suit à l'ambition de décrire brièvement la manière dont les objets vibrent.

Vibration de la lame :

Pour la lame, la fréquence propre de vibration la plus basse que nous avons mesurée vaut $\sim 225\text{Hz}$. Cette fréquence correspond à une vibration dont la ligne d'encastrement est la ligne des noeuds et l'extrémité libre, la zone où l'amplitude de vibration est maximale. Le mode suivant, $\sim 680\text{Hz}$, correspond à un mouvement de torsion de la lame autour d'un axe central et est probablement le deuxième mode de vibration. Le troisième mode ($\sim 1400\text{Hz}$) correspond à un mouvement de torsion au sommet associé à une vibration de type membrane circulaire dans la partie inférieure de la plaque.

Vibration de l'aube :

Bien que fort proche en apparence de la lame, l'aube de turbine est un élément mécanique optimisé. En conséquence, ses modes de vibration se situent à des fréquences plus élevées par rapport à celles de la lame (500Hz et 2800Hz). Le premier mode de vibration de l'aube, comme dans le cas de la lame, correspond à une vibration dont la ligne d'encastrement est la ligne des noeuds et l'extrémité libre, la zone où l'amplitude de vibration est maximale.

Eclairement utilisé :

Pour information, finissons ce travail en signalant que les hologrammes ont été enregistrés sous un éclairage de $40\mu\text{W}/\text{cm}^2$ durant 20 minutes. L'échantillon a donc reçu $48\text{mJ}/\text{cm}^2$. Pour la réalisation de réseaux holographiques, l'enregistrement sur l'Omnidex nécessite, pour obtenir un rendement de diffraction maximal, $700\text{mJ}/\text{cm}^2$. Dans le cas de l'interférométrie holographique, nous désirons uniquement faire de l'imagerie. Les hologrammes étant suffisamment visibles pour $48\text{mJ}/\text{cm}^2$, il est inutile d'augmenter le temps d'exposition. Nous pensons qu'il est même possible de diminuer le temps d'enregistrement.