

Interférométrie hétérodyne

1 Principe de l'interférométrie hétérodyne

Un interféromètre hétérodyne est comparable à un interféromètre à deux ondes type Michelson ou Mach-Zehnder avec un décalage en fréquence dans l'un des bras de l'interféromètre. Pour réaliser cet interféromètre on utilise le schéma simple décrit sur la Fig.1: Un faisceau laser HeNe est envoyé à travers un modulateur acousto-optique. Celui-ci est constitué d'une céramique piézo-électrique collée sur un cristal. Cette céramique piézo-électrique est excitée par une tension de fréquence $\simeq 95$ MHz. Elle engendre dans le cristal une onde acoustique progressive, de fréquence Ω , et qui crée un réseau de phase épais. La diffraction sur ce réseau épais a une efficacité maximale au voisinage de l'angle de réflexion de Bragg. On obtient alors, à la sortie du modulateur, deux faisceaux faisant entre eux un petit angle et correspondant aux ordres 0 et 1 de diffraction sur le réseau. De plus, compte tenu de l'effet Doppler introduit dans la réflexion sur l'onde acoustique progressive, ces deux faisceaux sont décalés en fréquence l'un par rapport à l'autre de la fréquence de modulation.

À la sortie du modulateur, on obtient donc 2 faisceaux faisant entre eux un petit angle et décalés en fréquence l'un par rapport à l'autre de soit 95 MHz environ. Re combinés au moyen de quatre miroirs et d'une séparatrice, les deux faisceaux laser sont ensuite envoyés sur une photodiode rapide suivie d'un amplificateur rapide. La photodétection, quadratique, fait apparaître un courant module à la fréquence qui correspond au battement entre les deux ondes lumineuses de fréquences légèrement différentes. Cette modulation peut être observée soit directement sur un oscilloscope rapide soit, de façon plus commode, à l'aide d'un analyseur de spectre radio-fréquence (RF).

2 Analyse du signal de battement entre l'ordre 0 et 1.

2.1 Travail préparatoire

On note $E_0 = a_0 e^{-i\omega t}$ et $E_1 = a_0 e^{-i((\omega+\Omega)t+\phi)}$, les amplitudes complexes des champs électriques des ondes diffractées à l'ordre 0 et 1 qui interfèrent au niveau du détecteur. La photodiode est sensible au module carré du champ électrique. Donner le courant $i(t)$ à la sortie de la photodiode. Si la céramique piézo-électrique qui porte le miroir est excitée par une tension sinusoïdale de

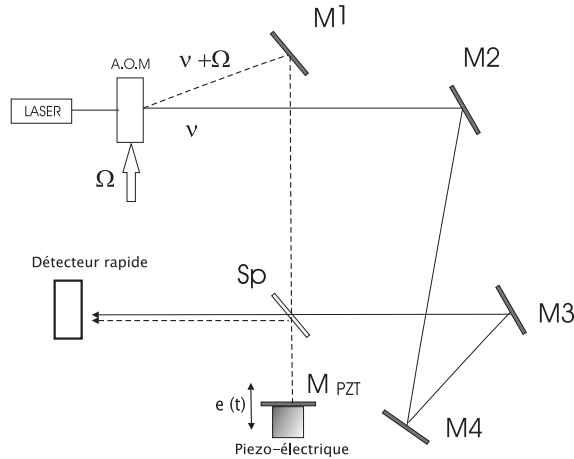


Figure 1: Schéma de principe d'un interféromètre hétérodyne.

fréquence f , de l'ordre de 100 kHz, le mouvement du miroir est en première approximation : $e(t) = \Delta e \cos(2\pi f \times t) + e_0$.

- Ecrire la phase entre les deux voies de l'interféromètre.
- Donner l'expression du courant du photo-détecteur dans les cas : $\Delta e < \lambda_{HeNe}$ (faible amplitude) et $\Delta e > \lambda_{HeNe}$ (faible amplitude); dans le deuxième cas faire un développement selon la base de Bessel. Commenter l'effet des vibrations sur le signal de la photo-diode.

3 Procédure de réglage

- Tourner délicatement le MAO tout en vérifiant que le faisceau le traverse de façon à obtenir une intensité diffractée maximale sur l'ordre 1. On prendra soin de vérifier que la diffraction se produit vers la gauche pour des raisons d'encombrement.
- Superposer le faisceau de retour sur le miroir M1 à l'aide du miroir mobile M_{PZT} .
- Régler la lame séparatrice pour positionner le faisceau au centre du détecteur (sans lentille).
- A l'aide des miroirs M3 et M4 superposer les faisceaux en pointillé et en ligne continue. Optimiser par la suite l'amplitude du signal sur l'oscilloscope en effectuant un réglage fin.

4 Manipulation et Mesures

- Visualiser le signal de sortie sur l'oscilloscope. Faire varier la tension continue appliquée à la cale piézo-électrique entre -10 V et 10 V compter le nombre de frange déduire la sensibilité de la cale piézo-électrique en nm/V. On prend pour $\lambda_{HeNe} = 633$ nm. Faire un calcul d'incertitude.
- On peut montrer dans le cas de faible amplitude de modulation de phase, la composante modulée du signal de la photodiode s'écrit:

$$I_{AC} = I_0 \cos(\Omega t - \phi_0) + I_0 \frac{2\pi \Delta e}{\lambda_{HeNe}} [\sin(\Omega t + 2\pi f t - \phi_0) + \sin(\Omega t - 2\pi f t - \phi_0)] \quad (1)$$

Mesure le rapport entre le niveau bande latérale et celui de la porteuse, en tenant compte de la sensibilité de la cale piézo-électrique calculée précédemment vérifier la valeur de la longueur d'onde λ_{HeNe} , commenter ce résultat.