

Interférométrie hétérodyne

Matériel fourni

- Laser HeNe Melles Griot 5 mW à $\lambda = 632,8$ nm;
- Modulateur acousto-optique Isomet 1205C-2 piloté par VCO ("voltage controlled oscillator") 45-50 MHz;
- Le VCO Isomet D322B: entrées "MOD" +5V, "VT" inusitée, sortie RF vers le modulateur et, via un pont diviseur, le déclenchement externe de l'oscillo.
- Oscilloscope numérique 60 MHz Tektronix TDS 1002;
- Analyseur de spectre 9 kHz- 3 GHz Rohde et Schwarz FS300;
- Alimentation continue 0-30 V Metrix AX 501;
- Alimentation continue +5 V Mecacel Electronique M 10629;
- Générateur de fonctions 1 MHz – 2 MHz Philips PM 5135;
- Photodiode rapide EOT ET 2030A muni de son alimentation;
- 5 miroirs plans dont un sur étage de translation et collé sur cale piezo-électrique;
- lame séparatrice 50/50;
- Lentille bi-convexe de focale $f \approx 50$ mm.

Il est prévu d'installer à terme

- un modulateur AO 80 MHz de remplacement (pour mieux séparer les ordres de diffraction);
- un isolateur optique 60 dB juste après le laser;
- un stage de translation pour bien placer la photodiode à la focale de la lentille afin d'optimiser l'amplitude du signal de battement.

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 $\Omega \simeq 47,5$ 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 deux faisceaux faisant entre eux un petit angle et décalés en fréquence l'un par rapport à l'autre de soit 47,5 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 modulé 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 Travail préparatoire : Analyse du signal de battement entre les ordres 0 et 1.

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 aux ordres 0 et 1 qui interfèrent au niveau du détecteur. La photodiode est sensible au module carré du champ électrique. Donner l'expression du 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 fréquence f , de l'ordre de 100 kHz, le mouvement du miroir est en première approximation :

$$e(t) = e_0 + \Delta e \cos(2\pi f t) + . \quad (1)$$

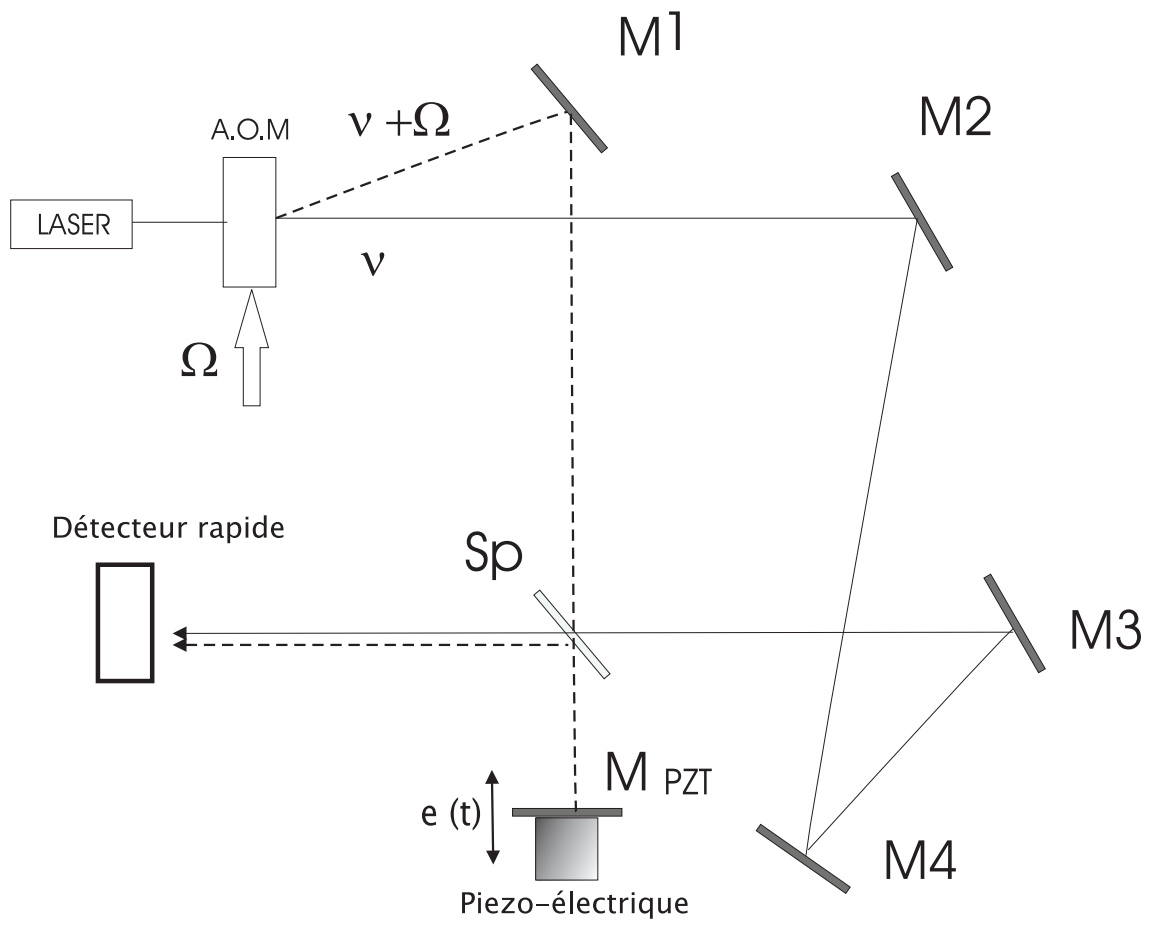


Figure 1: Schéma de principe d'un interféromètre hétérodyne.

- 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. Il est utile de savoir que

$$\cos[\delta \sin x] = J_0(\delta) + 2J_2(\delta) \cos 2x + 2J_4(\delta) \cos 4x + \dots \quad (2)$$

et

$$\sin[\delta \sin x] = 2J_1(\delta) \cos x + 2J_3(\delta) \cos 3x + \dots \quad (3)$$

où $J_n(\delta)$ est une fonction de Bessel de la première espèce. 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 franges et en déduire la sensibilité de la cale piézo-électrique en nanomètre par volt. On prend pour la longueur d'onde du laser $\lambda_{HeNe} = 633$ 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:

$$I_{AC} = I_0 \cos(\Omega t - \phi_0) + I_0 \frac{2\pi \Delta e}{\lambda_{HeNe}} [\sin(\Omega t + 2\pi f t - \phi_0) + \sin(\Omega t - 2\pi f t - \phi_0)] \quad (4)$$

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.

5 Procédure d'alignement des optiques

Si, par erreur, vous désalignez l'interféromètre et qu'il n'y a plus de signal de battement, voici comment procéder. Etant donné la faible taille de la lame Sp , le passage des faisceau à cet endroit est délicat.

1. Sans la lentille, ajuster les miroirs $M2, M3$ et $M4$ pour faire passer le faisceau d'ordre 0 à travers la lame séparatrice Sp .
2. En jouant sur le miroir $M1$, faire coïncider les faisceaux d'ordres 0 et 1 sur la lame séparatrice.
3. Faire de l'auto-collimation à l'aide du miroir sur PZT.
4. Ajuster Sp pour superposer les faisceaux sur la photodiode et maximiser la visibilité du signal de battement.
5. Remettre en place la lentille et optimiser sa position. Vous devriez obtenir une amplitude de -20 dB sans modulation de la cale.