

# Interférométrie.

## MESURE D'INDICE AVEC L'INTERFEROMETRE DE MICHELSON

A l'origine, Michelson a mis au point son interféromètre, à la fin du siècle dernier pour tenter de mettre en évidence l'éther, cet hypothétique support de propagation de la lumière. Depuis, l'hypothèse de l'éther a bien sûr été abandonnée. Mais l'interféromètre de Michelson demeure largement utilisé pour mesurer les propriétés des sources de lumière (longueur d'onde, longueur de cohérence), mesurer de petites distances au moyen d'une lumière de longueur d'onde connue, ou encore déterminer les caractéristiques optiques des milieux.

Dans cette expérience, vous analyserez d'abord la figure d'interférence obtenue avec un interféromètre de Michelson éclairé par un laser He-Ne. Puis, vous utiliserez l'interféromètre pour mesurer l'indice de l'air en fonction de sa pression et l'indice d'une lame de verre.

### **IMPORTANT**

**1) Le faisceau laser ne doit jamais atteindre directement votre œil, qu'il peut endommager irrémédiablement. Le faisceau doit être observé par projection sur une feuille de papier.**

**2) Ne jamais toucher les composants optiques avec les doigts.**

### DESCRIPTION

#### - Principe

L'interféromètre de Michelson est représenté sur la figure 1. La source de lumière est un laser He-Ne. Il délivre un faisceau continu de lumière rouge. Le faisceau lumineux peut ici être considéré monochromatique et parallèle.

Une lentille convergente fait diverger le faisceau (voir figure 1). Le faisceau divergent est divisé sur la lame séparatrice en deux faisceaux d'intensité égale, l'un dirigé vers le miroir M1 et l'autre vers le miroir M2. La lame séparatrice est une lame de verre dont l'une des faces a été métallisée, de sorte que les coefficients de réflexion et de transmission soient de 50%.

Supposons pour l'instant que la lame compensatrice n'existe pas. Au retour, les deux faisceaux issus des miroirs M1 et M2 sont respectivement réfléchis et transmis au niveau de la séparatrice. L'interférence des deux faisceaux est observée sur un écran. La phase relative des deux faisceaux qui interfèrent en un point de l'écran, dépend de la longueur des bras de l'interféromètre (c'est à dire les longueurs de la lame séparatrice à M1 et de la lame séparatrice à M2). Suivant la différence des trajets optiques, cette interférence sera constructive ou destructive.

#### - Intérêt de la lame compensatrice

Si les bras ont une longueur égale, deux faisceaux de lumière parallèle n'arriveront cependant pas en phase sur l'écran. En effet, un des faisceaux traverse la lame de verre une seule fois et l'autre trois fois ; il s'ensuit une différence de marche "parasite" entre les faisceaux. Cette différence de marche peut être exactement compensée en introduisant sur le trajet des faisceaux une lame compensatrice identique à la lame séparatrice mais sans couche métallisée. Dans ces conditions, si les bras de l'interféromètre ont exactement la même longueur, les deux faisceaux ayant parcouru des chemins différents arrivent exactement en phase sur l'écran.

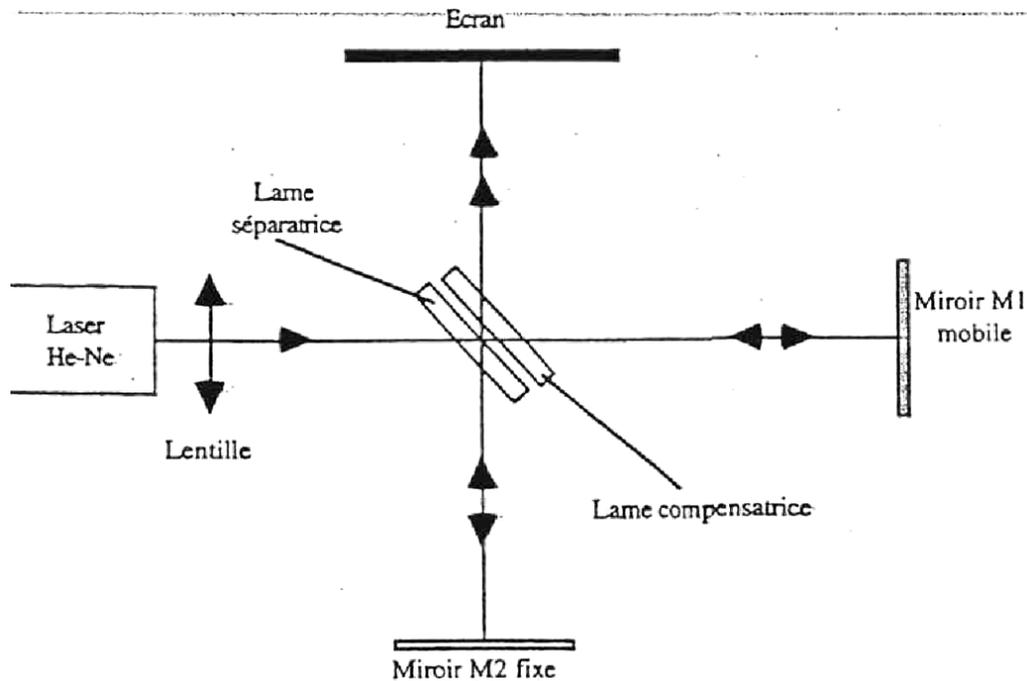


Figure 1. Interféromètre de Michelson avec lame compensatrice.

## EXPERIENCE

### E. I. Réglages

**Rappel : Ne pas regarder directement le faisceau laser. Ne pas toucher les éléments optiques avec les doigts.**

Les miroirs et les différentes lames ont une planéité inférieure au quart de la longueur d'onde du laser (proche de  $0,5 \mu\text{m}$ ). Par ailleurs, le miroir M2 est monté sur un support mobile très stable. Il est en effet possible de varier la position du miroir M2 avec une précision très inférieure à la longueur d'onde du laser. La position du miroir M2 est lue grâce à une vis micrométrique au micron. La précision des différents éléments de l'interféromètre est donc suffisante pour observer proprement des phénomènes à l'échelle de la longueur d'onde.

La difficulté consiste à superposer exactement sur l'écran, les deux faisceaux ayant parcouru des chemins différents ; il est équivalent de dire que les axes des deux faisceaux doivent être confondus. D'une part, la lame séparatrice doit être inclinée de  $45^\circ$  par rapport à l'axe optique. D'autre part, le miroir M1 étant fixe, vous aurez à agir sur l'inclinaison du miroir M2.

Cette première partie du réglage s'effectue sans la lentille. En principe, le miroir M1 et la lame séparatrice sont initialement correctement alignés sur l'axe optique du laser et vous n'avez pas à y toucher. A l'écran, vous observez deux points lumineux. Vous devez alors agir avec délicatesse sur les deux vis du réglage d'inclinaison du miroir M2. Ce réglage fait, éteindre le laser et insérer la lentille convergente entre le laser et la lame séparatrice. Allumer le laser. Vous devez observer à l'écran des anneaux (ou des portions d'anneaux). Centrer la figure d'interférence en affinant le réglage de l'inclinaison de M2.

## E. II. Interprétation de la figure d'interférence

Supposons l'interféromètre éclairé avec un faisceau de lumière monochromatique parallèle. L'intensité de la lumière transmise vers l'écran dépend de la différence de marche entre les deux faisceaux acquise lors de la traversée de l'interféromètre. Par exemple, si le milieu de propagation est l'air, cette différence de marche dépend de la différence de longueur  $d$  entre les deux bras de l'interféromètre, de la longueur d'onde  $\lambda$  de la lumière et de l'indice  $n$  de l'air. La longueur d'onde étant fixe, vous pouvez montrer sans difficulté que l'intensité est maximale pour les différences de longueur  $d_p$  suivantes :

$$d_p = \frac{p\lambda}{2n},$$

où  $p$  un entier.

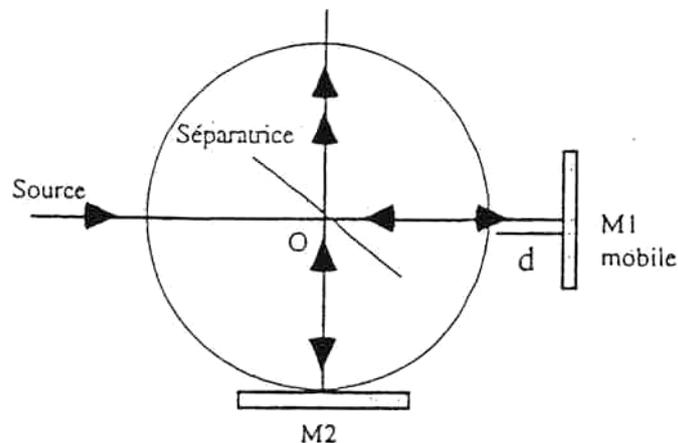


Figure 2. Représentation schématique de l'interféromètre.  $d$  est la différence de longueur des deux bras

- Expliquer pourquoi la figure d'interférences effectivement observée est un système d'anneaux. Que se passe-t-il quand on translate le miroir M1 en tournant lentement la vis micrométrique ? Décrire et interpréter vos observations.
- En déduire une méthode de mesure de la longueur d'onde du laser dans l'air. Comment obtenir une bonne précision sur cette mesure ? Effectuer plusieurs mesures de la longueur d'onde ; vous préciserez l'incertitude sur chaque mesure.
- Vous disposez de deux polariseurs. Insérer un des polariseurs sur le trajet lame séparatrice-M2. Que devient la Figure d'interférences ? Insérer le second polariseur sur le trajet lame séparatrice-M1 et faire varier l'angle de polarisation du second polariseur. Que devient la figure d'interférence ? Conclusions ?

## E. III. Mesure d'indice

La différence de marche entre les faisceaux en sortie de l'interféromètre dépend de l'indice des milieux rencontrés au cours de leur trajet. Nous allons utiliser cette propriété pour déterminer l'indice du verre ou de l'air en insérant, sur le trajet d'un des faisceaux, une lame de verre et une cellule à pression variable.

### - Indice d'une lame épaisse de verre

Vous disposez d'une lame de verre épaisse collée sur un support tournant. On insère cette lame entre la lame séparatrice et le miroir M1 (Figure 3). Une échelle graduée sur le support de l'interféromètre permet de lire l'angle de la lame avec l'axe optique. Eteindre le laser et insérer délicatement la lame en prenant garde de ne pas abîmer le miroir et la séparatrice toute proche.

En principe, l'introduction de la lame ne perturbe pas trop la figure d'interférences. Faire varier l'angle de la lame à l'aide du bras prévu à cet effet.

- Décrivez vos observations et interprétez.

Le calcul de l'indice de la lame de verre est assez difficile du fait de la déviation du faisceau dans la lame. En pratique, on compte le nombre de franges  $N$  qui défilent depuis la position où la lame est perpendiculaire au faisceau jusqu'à celle où la lame fait un angle  $\theta$ . Nous vous encourageons vivement à montrer que :

$$n_e = \frac{(2e - N\lambda_0)(1 - \cos\theta)}{2e(1 - \cos\theta) - N\lambda_0},$$

où  $e$  est l'épaisseur de la lame,  $\lambda_0$  est la longueur d'onde du laser dans le vide.

Faire plusieurs mesures de l'indice du verre en précisant l'incertitude sur chaque mesure.

- Indice de l'air en fonction de la pression

Vous disposez d'une cellule contenant de l'air dont vous pouvez varier la pression au moyen d'une pompe à main. Cette cellule est un cube dont deux faces opposées sont transparentes. Remplacer avec précaution la lame de verre par la cellule que vous aurez préalablement reliée à la pompe (voir figure 3).

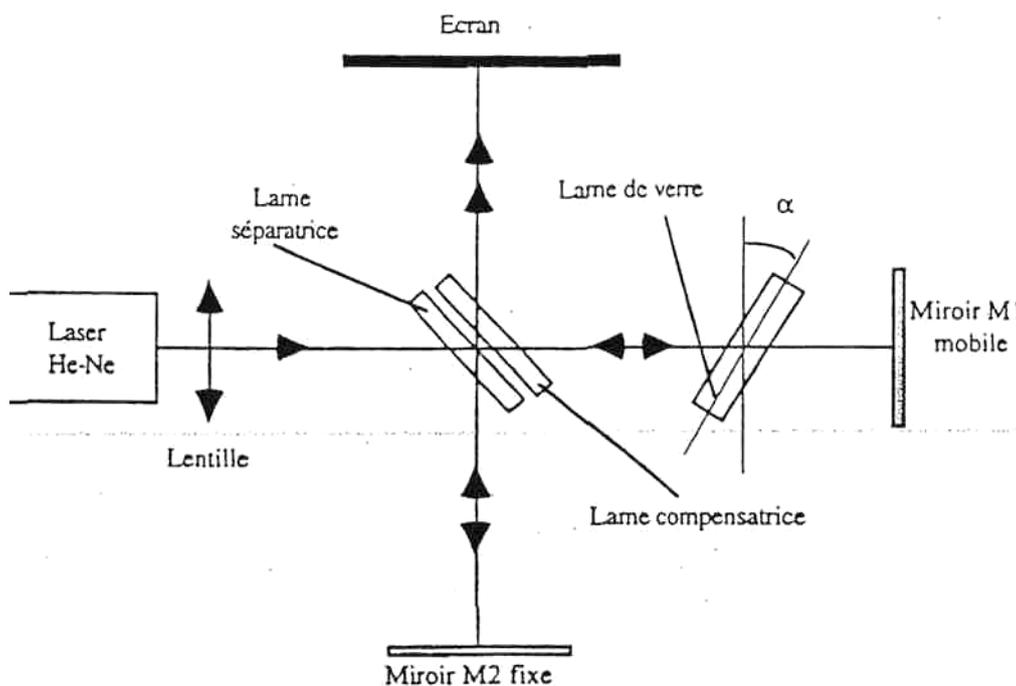


Figure 3. Mesure de l'indice du verre

De même, l'introduction de la cellule ne perturbe pas trop la figure d'interférences.

- Faire le vide dans la cellule. Décrire vos observations et interpréter. Comment allez-vous mesurer l'indice de l'air en fonction de la pression?
- Tracer la courbe donnant l'indice de l'air en fonction de la pression (vous y ferez figurer les barres d'erreur). Comparer la longueur d'onde du laser dans l'air à pression atmosphérique à celle dans le vide.

Longueur de la cellule à vide : 3 cm. Epaisseur de la lame de verre : 0.57 cm  $\pm$  0.1 mm. Longueur d'onde du laser dans le vide : 632.8 nm indice de l'air à la pression atmosphérique : 1,000263.