

---

## MP08 : INTERFÉRENCES LUMINEUSES.

---

### Niveau

### Commentaires du jury

- 2017 : Comme 2016, sans la remarque sur le Michelson.
- 2015, 2016 : Il n'est pas raisonnable d'envisager d'apprendre à régler un interféromètre de Michelson devant le jury. Par ailleurs, les connaissances théoriques sur les cohérences spatiale et temporelle doivent être reliées aux observations expérimentales. Enfin, il est judicieux de réaliser des expériences simples avant de se lancer dans des expériences sur les notions de cohérence.

### Bibliographie

—

### Expériences

—

### Table des matières

<b>1</b>	<b>Mesure interférométrique</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Interféromètre à division de front d'onde : les fentes d'Young</b>	<b>3</b>
2.1	Cohérence temporelle . . . . .	3
2.2	Cohérence spatiale . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Interféromètre à division d'amplitude : le Michelson</b>	<b>4</b>
3.1	Mise en évidence et localisation des franges . . . . .	4
3.2	Cohérence temporelle . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Interférences en lumière polarisée</b>	<b>5</b>

### Introduction

Dans la plupart des cas, lorsqu'on ne voit pas bien dans une pièce avec une première lumière, on en allume une autre. On s'attend à ce que les intensités s'additionnent, et la plupart du temps c'est le cas.

Mais en prenant certaines dispositions, on peut observer des interférences : les intensités des sources ne s'additionnent pas.

On pourrait faire une petite manip introductive mais c'est och au niveau du temps.

Pour pouvoir observer ce phénomène, il faut néanmoins se placer dans des conditions particulières : des ondes lumineuses peuvent interférer si elles proviennent d'un même point source, sont de même longueur d'onde et polarisées non orthogonalement. Le but de ce montage sera d'illustrer les conditions d'obtention d'interférences qui sont :

- Cohérence spatiale : les différents points d'une source non ponctuelle produisent des interférences indépendamment les uns des autres, on observe donc la somme de leurs intensités. Si les différentes figures d'interférences ne se recouvrent pas, il y a brouillage : les interférences ne sont plus visibles.
  - Cohérence temporelle : deux ondes de fréquences différentes ne peuvent interférer à l'échelle du temps de réponse de nos récepteurs.
  - Polarisation de la lumière : deux ondes polarisées orthogonalement ne peuvent interférer.
- Nous allons aussi voir quelles applications on peut en tirer.

## 1 Mesure interférométrique

Les interférences lumineuses sont utiles car elles permettent de faire des mesures très précises (de l'ordre de la longueur d'onde utilisée). Pour illustrer cela, on se propose de mesurer l'épaisseur d'une lame mince. On utilise un interféromètre de Michelson réglé en coin d'air. On a donc en appliquant la formule de Fresnel dans un cas monochromatique :

$$I = 2I_0(1 + \cos(\delta\phi)) = 2I_0\left(1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}2\alpha x + \frac{2\pi}{\lambda}\delta_{\text{lame}}\right)\right)$$

Donc l'interfrange est donné sans la lame :

$$i = \frac{\lambda}{2\alpha}$$

Version stylée mais peut être longue (dépend de l'épaisseur de la lame ?)

Mesure de l'épaisseur d'une lame :

Principe : Placer une lame entraîne une augmentation de la différence de marche qui décale les franges irisées de Newton.

- Avec une lame semi-réfléchissante, éclairer simultanément, l'interféromètre de Michelson en coin d'air avec un laser et une lampe QI+AC.
- On utilise les interférences en lumière blanche pour repérer le contact optique avec et sans la lame. On compte le nombre de frange du laser qui passe sur l'écran.
- On compte  $N$  interfrange. Donc

$$-2\pi N + \frac{2\pi}{\lambda}\delta_{\text{lame}} = 0$$

On en déduit que  $\delta_{\text{lame}} = (n-1)e = \lambda N$

- On a donc une mesure précise au niveau d'une longueur d'onde du laser, ce qui est supérieur à l'homogénéité de l'état de surface de la lame

Alternative plus rapide :

Mesure de spectre cannelé :

- On se place a une position intermédiaire, entre le contact optique avec et sans lame.
- On fait un spectre du blanc d'ordre supérieur que l'on observe avec et sans lame.
- on compare les spectres canelés. **Longueur d'onde des canelures sans lame :**

$$\lambda_p = \frac{4\alpha x}{p + 1/2}$$

**Avec lame :**

$$\lambda'_p = \frac{4\alpha x + 2(n-1)e}{p + 1/2}$$

On écrit ensuite :

$$\beta = \frac{1}{\lambda_p} - \frac{1}{\lambda_{p+1}} = \frac{1}{4\alpha x}$$

et

$$\beta' = \frac{1}{\lambda'_p} - \frac{1}{\lambda'_{p+1}} = \frac{1}{4\alpha x h + 2(n-1)e}$$

$$2(n-1)e = \frac{1}{\beta'} - \frac{1}{\beta}$$

## 2 Interféromètre à division de front d'onde : les fentes d'Young

Le premier dispositif étudié sera les fentes d'Young, préférées au trous d'Young car le montage sera plus lumineux. Il fut réalisé pour la première fois en 1801 par Thomas Young, l'expérience constituant une preuve du caractère ondulatoire de la lumière. Il se présente sous la forme suivante : une fente source de taille réglable éclairée par une source lumineuse (lampe QI, lampe spectrale, ...) éclaire deux fentes fines et proches (préciser la largeur et l'écart entre les deux fentes). Pour vous (le jury) permettre de bien voir, on utilise un capteur : Caliens ?

### 2.1 Cohérence temporelle

Une lumière blanche est polychromatique : par essence, elle émet à plusieurs longueurs d'onde. On peut voir son spectre comme la superposition de raies infiniment fines, monochromatiques, chacune produisant son propre système d'interférences. L'interfrange est donné par la formule :

$$i = \frac{\lambda D}{a}$$

On se propose de vérifier cette formule à l'aide de filtres interférentiels. On pourra remonter à  $a$ .

On utilise une lampe QI + AC. On utilise une première fente assez fine pour élargir le faisceau, afin d'éclairer 2 fentes. On place un tube en carton noir et un barette CCD en sortie du tube. Il faut de la place pour les filtres interférentiels. Il faut faire un compromis largeur spectrale/luminosité pour les filtres.

On trace  $i/D$  en fonction de  $\lambda$  pour remonter à  $a$ . Ca permet donc de faire une mesure de taille... Application à la mesure de l'épaisseur d'un cheveu ?

On a utilisé une fente source, très fine. Si j'élargis la fente (le faire en direct) on gagne en luminosité mais on perd en contraste. On va étudier ça.

### 2.2 Cohérence spatiale

On prend un filtre pour lequel la luminosité est bonne.

Ouvrir la fente source : le contraste diminue.

On calcule le meilleur contraste qu'on peut avoir sans perdre trop de luminosité, avec :

$$\Gamma = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

On écarte la fente jusqu'à annuler le contraste : la taille de la source est alors à peu près la longueur de cohérence de la source. On peut estimer la largeur spectrale du filtre via

$$l_c = \frac{c}{\Delta\nu}$$

Mais c'est un ordre de grandeur. On peut montrer l'inversion du contraste ?

Pour la rendre quantitative comme on la contraste qui varie comme

$$\Gamma = \text{sinc}\left(\frac{\pi ab}{\lambda L}\right)$$

Avec  $b$  la largeur de la fente source,  $a$  l'écartement des fentes d'Young, et  $L$  la distance fente source fentes d'Young. Il faut utiliser un filtre interférentiel. Pour différents  $L$  on relève la largeur de la fente  $b$  pour avoir annulation du contraste

$$L = \frac{ab}{\lambda}$$

On remonte ainsi à  $a/\lambda$

Fosset page 174 d'après les Cléments

Cette expérience montre que le rôle de la fente source n'est pas seulement de diffracter, c'est également d'avoir une source spatialement cohérente, c'est-à-dire pas trop étendue.

Comme les objets diffractants sont symétriques, on peut élargir la fente source dans la direction transverse.

**En toute rigueur, la grandeur caractéristique de la cohérence c'est un angle. Ici, c'est l'angle sous lequel l'interféromètre voit la source étendue, on peut le calculer à partir de la distance fente-bifentes.**

On peut se dire que si on veut obtenir le meilleur contraste, on doit réduire au maximum la taille de la source. Mais ça pose un problème de luminosité... Les interféromètres à division d'amplitude permettent de s'affranchir du problème de cohérence spatiale ; c'est le cas de l'interféromètre de Michelson, lorsqu'on l'utilise en division d'amplitude (c'est-à-dire en lame d'air).

### 3 Interféromètre à division d'amplitude : le Michelson

#### 3.1 Mise en évidence et localisation des franges

On éclaire le Michelson sous incidence normale, pour une config coin d'air. Tout ça sera sûrement déjà réglé lors du passage. On utilise une lampe QI + AC,

On place un diaphragme après la lampe, de manière à avoir une source quasi-ponctuelle. A ce moment là, les interférences sont non localisées (car la source est ponctuelle), on peut bouger l'écran et normalement on garde un certain contraste.

On enlève le diaphragme : il faut mettre une lentille pour voir de nouveaux des franges nettes.

On a donc des interférences avec une source étendue. Cool ! mais maintenant les interférences sont localisées dans l'espace. On peut s'affranchir de la cohérence spatiale à l'aide du Michelson réglé en coin d'air. Mais les problèmes de cohérence temporelle existent toujours.

## 3.2 Cohérence temporelle

Se placer au contact optique du Michelson. Si on a toujours la lampe QI, on peut regarder les franges de Newton, parler des problèmes de cohérence qui se voient (blanc-noir au milieu, puis irisations dues à la largeur spectrale). On passe ensuite en lame d'air, et on se place à 2 mm du contact optique. On place une lampe à vapeur de sodium éteinte à l'entrée du Michelson, on l'allume. Au départ, on voit des anneaux nets, puis au fur et à mesure de l'échauffement, les anneaux se brouillent.

Cela est dû au fait que l'élargissement Doppler des raies augmente avec la température. En effet, l'élargissement Doppler est lié au fait que les vitesses des atomes de sodium sont uniformément réparties en direction. Lorsqu'on allume la lampe, l'agitation thermique n'est pas très forte et les vitesses sont assez faibles en norme. Lorsque la température augmente, cette répartition s'élargit, et donc la raie s'élargit aussi. Les anneaux se brouillent.

## 4 Interférences en lumière polarisée

C'est un aspect qu'on n'a pas abordé, les sources qu'on a utilisées sont non polarisées.

Un protocole utilise le Michelson en coin d'air : c'est relou de devoir changer... Faut voir du coup. Le protocole est dans le Sextant p. 165. Un autre protocole propose d'utiliser une table optique et la diapo avec 2 polariseurs croisés, mais jsp ce que c'est une table optique.

Cela permet de mettre en évidence que 2 polarisations rectilignes et orthogonales ne peuvent interférer. Si la première manip marche pas, on peut faire de la birefringence (c'est des interférences en lumière polarisée), ça fait une mesure quantitative de plus.

## Conclusion

Dans ce montage, on a mis en évidence plusieurs contraintes concernant l'obtention d'interférences. En division de front d'onde, la cohérence spatiale impose de faire un compromis entre luminosité et contraste. Ce compromis est partiellement levé avec la division d'amplitude, mais alors les franges d'interférence sont localisées. Ouverture : mesures interférométriques : taille d'étoile, longueur d'onde, indice de réfraction...