

# MP08 – INTERFÉRENCES LUMINEUSES

4 avril 2020

Aurélien Goerlinger & Yohann Faure

## Commentaires du jury

- **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.
- **2013-2014** : Certains candidats ne font pas le rapport entre leurs connaissances théoriques sur les cohérences spatiale et temporelle, et leurs observations expérimentales. Il en résulte alors des montages mal réglés ou mal utilisés. Pourtant ce montage peut fournir des résultats quantitatifs précis. Il est en particulier intéressant de se placer dans des cas limites où la cohérence spatiale ou la cohérence temporelle peuvent être étudiées indépendamment.
- **1994** : Trop de candidats ne maîtrisent pas les notions de localisation ou de non-localisation des interférences lumineuses. Quant à la définition correcte de la cohérence spatiale et de l'échelle ou de l'aire de cohérence, aucun candidat ayant pourtant choisi un sujet s'y rapportant (interférences, diffraction, laser) n'a pu la donner. Certains connaissent pourtant la définition des fonctions de corrélation et le théorème de Wiener-Kintchine. Dans tous les cas, le jury attend des approches quantitatives sur la mesure de la cohérence temporelle et de la cohérence spatiale d'une vibration lumineuse.

## Bibliographie

- ✦ **FLTCLD**
- ✦ **Sextant**
- ✦ *Expériences d'optique, Duffait* Fentes d'Young

## Expériences



## Table des matières

<b>1</b>	<b>Division du front d'onde : les fentes d'Young</b>	<b>2</b>
1.1	Cohérence temporelle . . . . .	2
1.2	Cohérence spatiale . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Division d'amplitude</b>	<b>3</b>
2.1	Réglage de l'interféromètre de Michelson . . . . .	3
2.2	Cohérence spatiale et localisation des interférences . . . . .	4
2.3	Polarisation (accordéon) . . . . .	4
2.4	Doublet du sodium . . . . .	4
2.5	Mesure d'une lame de verre . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Ondes multiples</b>	<b>5</b>
3.1	Réseau . . . . .	5
3.2	Fabry Pérot . . . . .	5

## Introduction

Que se passe-t-il lorsqu'on croise deux faisceaux de lumière ? Lorsqu'on fait l'expérience avec deux lampes de poche par exemples, on voit qu'il ne se passe rien à part l'addition des intensités lumineuses, donc on peut avoir envie de dire que ce sera la cas tout le temps. Pourtant, même si c'est vrai dans la plupart des cas, il existe des conditions spécifiques dans lesquelles on n'a pas addition des intensités mais quelque chose de plus complexe : les interférences.

Pour observer des interférences, les conditions particulières sont les suivantes : les ondes lumineuses doivent parvenir du même point source, être de la même longueur d'onde et ne doivent pas être polarisées orthogonalement les unes par rapport aux autres.

### Mise en évidence du phénomène

🔗 Imagination débordante

⊖ 1mn

Fentes d'Young, ou iridescence d'une bulle.

Dans ce montage, il est important à chaque fois de dire pourquoi on a des interférences en parlant de la cohérence, du champ d'interférence, de la localisation des franges.

## 1 Division du 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 et permis de mettre en évidence le 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). On observe alors la figure d'interférences sur un écran, ici le dispositif Caliens.

QI+antical → Fente source → Bifentes d'Young → Filtre interférentiel → Caliens

On observe des interférences car les 2 ondes qui interfèrent sont chacune issues d'une des fentes d'Young et sont donc toutes les deux issues de la même source, ce qui fait qu'elles sont **cohérente**. La figure d'interférence est localisée à l'infini.

### 1.1 Cohérence temporelle

🔗 Duffait

La lumière blanche est une source ayant un spectre étendu décomposable en raies élémentaires quasi-monochromatiques et incohérentes entre elles. Chaque longueur d'onde donne sa propre figure d'interférence, qui consiste en une série de franges rectilignes (c'est un sinus multiplié par un sinus cardinal).

En lumière monochromatique, l'interfrange vaut  $i = \frac{\lambda D}{a}$  où  $D$  est la distance entre les fentes et l'écran et  $a$  est la distance entre les 2 fentes.

### Mesure de l'interfrange fonction de $\lambda$

🔗 Duffait p55, Houard p197-198

⊖

#### Matériel :

- une lampe QI munie d'un filtre anticalorique
- un filtre interférentiel
- une fente réglable proche de la lampe (P115.1/3)
- une bifente disposée à environ 15 cm de la fente source (P116.1/2)

On observe la figure d'interférence avec le dispositif Caliens.

On veut vérifier la formule de l'interfrange. Pour cela, on la mesure pour différentes valeurs de  $\lambda$  grâce au filtre interférentiel.

On trace  $i$  en fonction de  $\lambda$  pour obtenir la pente  $p = \frac{D}{a}$ . On en déduit  $a = \frac{D}{p}$

**Incertitudes :**

On utilise la formule de propagation des incertitudes :  $u(a) = a\sqrt{\left(\frac{p}{p}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2}$

## 1.2 Cohérence spatiale

On veut maintenant s'intéresser à la cohérence spatiale. On se place donc à une longueur d'onde fixée grâce au filtre interférentiel (on prend le filtre qui laisse passer le maximum de lumière, le rouge fonctionne bien). On remarque que lorsqu'on augmente la largeur de la fente source, le contraste diminue pour s'annuler et enfin réaugmenter.

### Première annulation de contraste

↗ Houard p209-210

⊖ 5 min

Élargir progressivement la fente source et observer la diminution du contraste.

Pour différentes largeurs  $b$  de la fente source, déterminer le contraste  $\mathcal{C} = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$ . tracer  $\mathcal{C} = f(l)$ .

### Remarque

Cette manip permet de montrer que la fente source n'est pas là en tant qu'objet diffractant mais en tant que diaphragme pour faire une source de petite dimension à partir de la QI. Si on avait utilisé des trous d'Young, il aurait fallu utiliser un trou-source. Ici, on a des fentes donc on peut se permettre d'étendre la source dans la direction des fentes (cf le livre de J.M. Brebet).

## 2 Division d'amplitude

Ne PAS prendre le Michelson 3!!

Dans un dispositif à division d'amplitude, l'étendue spatiale de la source localise les figures d'interférences. Présenter le montage de Michelson. Le régler avant de le présenter.

On observe des interférences parce qu'on divise l'onde en deux ondes via un miroir semi réfléchissant, qui se réfléchissent et se re-rencontrent avec une différence de chemin optique. Ainsi la phase de l'un a plus tourné que l'autre. C'est la même source, donc c'est **cohérent**, et on observe les interférences là où les deux ondes se croisent.

### 2.1 Réglage de l'interféromètre de Michelson

#### Régler un Michelson

↗

⊖ ∞

Voir le poly du lycée Bart.

C'est peut-être à faire en live, au moins la dernière étape.

#### Réglage du Michelson

↗ Sextant

⊖ 5mn

Montrer les anneaux observés avec une lampe spectrale. Recentrer la figure d'interférences et faire diverger les anneaux (chariotage) jusqu'à la teinte plate de la lampe. Passer en lumière blanche (filtre AC et condenseur pour faire converger sur les miroirs). En chariotant un tout petit peu devraient apparaître les teintes de Newton, synonymes d'un réglage au contact optique.

Les anneaux sont à l'infini!

## 2.2 Cohérence spatiale et localisation des interférences

### Localisation des franges et cohérence spatiale

☞ ☹ 3mn

La source est pour l'instant de lumière blanche, étendue. On place l'écran à environ 1 m du Michelson. On place une lentille de projection entre le Michelson et l'écran. On fait bouger la lentille de projection pour montrer que les franges sont localisées. Ceci est dû au fait que la source n'est pas cohérente spatialement. Ajouter un diaphragme après le condenseur pour créer une source ponctuelle. Déplacer l'écran : les interférences ne sont plus localisées. On voit donc qu'un interféromètre à division d'amplitude permet de s'affranchir du problème de cohérence spatiale, avec pour inconvénient la localisation des interférences.

## 2.3 Polarisation (accordéon)

### Polarisation des deux bras

☞ ☹

Si on polarise différemment les deux bras, on observe une disparition de la figure d'interférences.

## 2.4 Doublet du sodium

Si on allonge un peu trop une branche du Michelson, on fait face à la cohérence temporelle de la source. C'est ce que l'on va voir avec le doublet du sodium.

### Mesure de l'écart du doublet du sodium

☞ Houard p230 ☹ 5mn

**Matériel :** Lampe à Sodium, antical, michelson motorisé (le 2?), lentille de focale 1m, filtre interférentiel (optionnel?), photodiode (thorlabs), acquisition latis.

Deux raies très proches,  $\Delta\lambda = \frac{\lambda_0^2}{L_c}$  où  $L_c$  est la longueur entre deux brouillages.

d'un brouillage à l'autre, la longueur d'onde  $\lambda_1$  la plus courte du doublet a subi une variation de différence de marche égale à  $(p+1)\lambda_1$  alors que la longueur d'onde  $\lambda_2$  la plus grande a subi une variation de différence de marche de  $p\lambda_2$ . Sur le trajet optique du Michelson cela correspond à  $2\Delta x$

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2\Delta x_1}$$

Où  $\Delta x_1$  est le chariotage entre deux minima de contraste.

**On peut préparer le chariotage motorisé avant et l'exploité pendant l'oral.**

### Doublet du sodium live

☞ ☹

On le fait à la main, et on trouve deux minima de contraste, on mesure et on a une idée grossière de  $\Delta\lambda$

Valeur tabulée : 589,5924 et 588,9950 nm, soit  $\sim 0,401\text{nm}$ .

## 2.5 Mesure d'une lame de verre



### Mesure par interféromètre MAIS NON INTERFEROMETRIQUE



Intercaller une lame de verre au contact optique et charioter pour retrouver les franges. La distance chariotée correspond à l'épaisseur de la lame.

**Version interférométrique** : ajouter un laser HeNe de  $\lambda$  connu, et compter les franges qui passent (300 environ), LA on est interférométrique.

## 3 Ondes multiples

### 3.1 Réseau

Have fun

### 3.2 Fabry Pérot

Irridescence et interféromètre de Fabry Pérot (ondes multiples)

On peut observer des iridescences dans une bulle... Compliqué d'en faire quelque chose de propre. Peut-être à tester ?

## Conclusion

Au cours de ce montage, nous avons mis en évidence les différentes conditions d'obtention des interférences à l'aide de deux dispositifs interférentiels.

Pour les fentes, la cohérence spatiale imposait un compromis entre la luminosité et le contraste mais cela a pu être résolu par l'utilisation d'interféromètre à division d'amplitude.