

MP07

# Interférences lumineuses ; conditions d'obtention.

Correcteurs : Arnaud Le Diffon<sup>1</sup> et Etienne Thibierge<sup>2</sup>

Montage présenté le vendredi 16 novembre 2012

Cette correction reprend et complète les éléments discutés en classe. Nous vous proposons également une approche plus complète pour aborder ce montage.

## Extraits des rapports du jury

Je vous rappelle que le rapport 2012 de l'épreuve de montage s'attache à présenter en détails les attentes et exigences du jury. Je vous encourage vivement à le lire.

**2012 :** Les dispositifs d'interférences sont très divers. En choisir deux bien maîtrisés permet des présentations de qualité sur les cohérences spatiale et temporelle, et une analyse du lien entre les considérations théoriques et les observations expérimentales. Des montages bien réglés et bien utilisés fournissent des résultats quantitatifs précis si le candidat s'y prend bien. Il ne faut pas confondre les annulations périodiques de contraste obtenues avec un doublet (souvent le doublet jaune du sodium) et la teinte plate de fin de cohérence temporelle due à une trop grande différence de marche. Les battements de contraste donnent des informations sur l'écart des longueurs d'onde entre les deux raies du doublet, mais ne donnent pas d'information sur la longueur de cohérence de la source lumineuse.

**2010 et 2011 :** Trop de candidats ne font pas le rapport entre leurs connaissances théoriques sur les cohérences spatiale et temporelle, et leurs observations expérimentales. Il en résulte souvent des montages mal réglés ou mal utilisés. Pourtant ce montage peut fournir des résultats quantitatifs précis si le candidat s'y prend bien.

**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 n'a pu la donner. Certains connaissent pourtant la définition des fonctions de corrélation et le théorème de Wiener-Kintchine. Le jury attend des approches quantitatives sur la mesure de la cohérence temporelle et de la cohérence spatiale d'une vibration lumineuse.

## Commentaires généraux

Le montage n'a duré que vingt minutes, les expériences étaient trop peu nombreuses et n'ont pas été menées à bien. L'exploitation qui en a été faite laisse planer

le doute sur leur compréhension. L'épreuve demande de la combativité : il n'est pas possible de laisser tomber une expérience sans s'être vraiment battu pour la faire fonctionner.

Rappelons la philosophie de l'épreuve de montage : il s'agit de montrer au jury que vous savez agir en physicien expérimentateur, en manipulant, en faisant des mesures quantitatives précises et en exploitant rigoureusement et honnêtement les résultats. Une attitude à éviter à tout prix est de présenter des expériences déjà parfaitement réglées et de ne pas y toucher. Ainsi, inclure le réglage du Michelson dans le montage qui nous a été présenté n'aurait pas été absurde.

Enfin il ne faut **jamais** effacer le tableau, que ce soit pendant le montage ou pendant les questions. Il faut également s'assurer qu'une courbe informatisée projetée soit bien visible. En l'occurrence il aurait fallu baisser le tableau supérieur plutôt que de projeter dessus. Enfin, n'oubliez pas de rallumer la lumière dans la salle lorsque vous ne manipulez pas.

## Retour sur le montage présenté

### Introduction

Il est bienvenu de rappeler les deux types d'interféromètres existant et la définition des deux types de cohérence. Ne pas oublier non plus d'annoncer explicitement les objectifs de votre montage, ici mettre en évidence les conditions d'obtention des interférences et mesurer les grandeurs caractéristiques associées.

### 1) Fentes d'Young

La bonne façon d'allumer Caliens est d'allumer *d'abord* le boîtier, *puis* de démarrer le logiciel. Attention, ce n'est pas parce que vous ne voyez « rien » sur Caliens qu'il ne marche pas : la fenêtre d'affichage peut ne pas être centrée sur ce que vous cherchez ! Un signe qui ne trompe pas souvent est que la figure sur le logiciel clignote lorsque la connexion avec le boîtier est mal faite. Toujours dans l'utilisation de Caliens, il est absurde de déplacer la barette CCD « pour pas que ce soit trop lumineux » : il existe des jeux de filtres atténuateurs et de polariseurs, que vous pouvez superposer sans problème !

Il est indispensable de soigner les figures que vous montrez au jury, en travaillant soigneusement l'alignement de votre montage et la symétrie de la figure obtenue sur Caliens. Vous ne pouvez pas vous contenter d'un bloc dissymétrique avec quelques vagues dessus.

1. [arnaud.le\\_diffon@ens-lyon.fr](mailto:arnaud.le_diffon@ens-lyon.fr)

2. [etienne.thibierge@ens-lyon.fr](mailto:etienne.thibierge@ens-lyon.fr), <http://perso.ens-lyon.fr/etienne.thibierge>

Enfin, mesurer une distance de 30 à 40 cm en déplaçant une règle de 20 cm a peu de chance de donner un résultat précis. Si jamais vous n'utilisez pas de banc optique, le minimum syndical est de prendre un mètre.

## II) Michelson

La seule manipulation dans cette partie a consisté à toucher à la vis de chariotage, c'est insuffisant : l'impression donnée est la peur de toucher au Michelson.

Tilila a choisi d'utiliser le compte-tour électronique lié au moteur, je ne sais pas si c'est une bonne idée. Je préférerais une lecture directe sur le vernier, avec prudence car on a vite fait de se tromper !

Si j'ai bien compris (ce dont je ne suis pas sûr), l'expérience proposée consistait à partir du contact optique et à repérer le premier brouillage. Une expérience de ce type **N'EST PAS** une expérience de cohérence temporelle, car elle ne donne pas accès à la largeur intrinsèque des raies mais à l'écart de leurs longueurs d'onde centrales.

## Et finalement, on fait quoi ?

Voici une petite liste d'expériences trouvant leur place dans ce montage. Toutes sont détaillées dans le Duffait ou le Sextant. Le rapport 2012 a l'avantage de fixer clairement les règles du jeu en termes de contenu attendu. Le plan que vous construirez autour pourra s'articuler autour des deux interféromètres, mais aussi si vous préférez autour de deux types de cohérence.

### Introduction

Après avoir rappelé rapidement les définitions fondamentales et surtout présenté les objectifs de votre montage, nous vous proposons de commencer par une expérience qualitative mettant en évidence le phénomène d'interférences. Il s'agit de mettre sur le trajet d'un faisceau laser une fente simple, donnant une figure de diffraction, puis des bifentes d'Young faisant apparaître le phénomène d'interférences. Cette expérience est inratable, et vous mettra en confiance pour la suite.

### Fentes d'Young

#### Exp 1 : mesure de l'interfrange – cohérence temporelle

L'objectif de cette expérience est de mettre en évidence le mécanisme de la cohérence temporelle : deux longueurs d'ondes donnent des franges avec un interfrange différent, conduisant à un brouillage aux grandes différences de marche.

L'expérience consiste à mesurer l'interfrange pour différentes longueurs d'onde, à l'aide de Caliens. On vérifiera expérimentalement la linéarité de  $i$  avec  $\lambda$ , et on en déduira une mesure de  $a$ . Pour avoir un point de comparaison, il faut bien sûr prendre des bifentes calibrées. La mesure de  $D$  se fait au mètre, ou à l'aide d'un banc d'optique.

La réalisation pratique n'est pas très difficile en soi, mais un peu pénible car l'expérience est peu lumineuse. Il faut compacter le montage au maximum pour perdre

le moins de lumière possible : les bifentes doivent être aussi proche que possible de la fente source, la limite étant qu'elles doivent être toutes les deux éclairées. Le choix des filtres interférentiels à mettre devant la lampe QI est également critique : certains absorbent trop pour avoir une figure bien visible sur Caliens. Les plus récents semblent les mieux. Enfin Caliens est très sensible à la lumière parasite : il faudra le protéger au mieux, avec un tube de plexiglas ou un rouleau de sopalin.

En travaillant correctement, vous pouvez espérer quatre voire cinq points expérimentaux, et un de plus si vous rajoutez le laser. Les mesures peuvent être suffisamment précises pour se prêter à un calcul d'incertitudes.

#### Exp 2 : rôle de la fente source – cohérence spatiale

Cette expérience a pour objectif d'élucider le rôle de la fente source dans l'expérience des fentes d'Young. Elle ne sert pas à créer une figure de diffraction, mais à rendre l'éclairage de la QI spatialement cohérent. L'expérience montre aussi que le paramètre pertinent pour quantifier la cohérence spatiale n'est pas une longueur, mais un angle. On n'obtient ici que des ordres de grandeur.

Je vous propose ici une version complète de l'expérience, dont l'interprétation est un peu délicate. Vous pouvez évidemment vous contenter d'une partie seulement.

La réalisation est simple, il s'agit d'ouvrir progressivement la fente source. La discussion peut se faire à partir de Caliens, ou sur un écran. Montrer les variations du contraste et son inversion. Mesurer la largeur de la fente  $b_c$  donnant une figure de contraste nul, et en déduire l'angle critique  $\theta_c = \lambda/b_c$ . Il doit être approximativement égal à  $a/D$ .

Refermer la fente à  $b' < b_c$  puis la déplacer sur le banc optique. On retrouve l'inversion de contraste. Relever la distance critique  $D'_c$ . On peut refaire un calcul d'angle critique  $a/D'_c$ , qui doit être égal à  $\bar{\lambda}/b'$ .

On voit alors que le paramètre pertinent est le rapport  $b/D$ , dont la valeur critique vaut  $\bar{\lambda}/a$ . Il s'interprète comme étant l'angle sous lequel on voit la fente source depuis l'interféromètre.

Remarque : j'ai testé les deux méthodes de mesure de  $\theta_c$ , chacune donne un résultat cohérent. Par contre je n'ai jamais essayé de comparer les deux sur un même montage. Il y a peut être des écarts importants ? Si certains d'entre vous testent, je suis intéressé par la réponse.

### Interféromètre de Michelson

N'hésitez pas à toucher à l'interféromètre et à refaire des réglages devant le jury, afin de montrer votre (grande !) aisance dans le maniement du Michelson.

Dans chacune des expériences, n'oubliez pas de justifier la façon dont vous éclairez l'interféromètre.

#### Exp 3 : cohérence spatiale et localisation

Le but de cette expérience est de montrer le lieu de localisation des interférences dans les deux configurations lame d'air et coin d'air, et de montrer que l'on passe continuellement d'un régime d'interférences très bien localisées à

un régime d'interférences très peu localisées en diaphragmant progressivement la source. Cette expérience qualitative peut également être présentée dans la LP37 « interféromètres à division d'amplitude ».

Partir de la configuration lame d'air avec une lampe spectrale non diaphragmée. En utilisant une lentille de projection ou en déplaçant l'écran, montrer que le meilleur contraste s'obtient à l'infini. Placer la lentille à une position intermédiaire, puis diaphragmer la source. On observe visuellement que le contraste augmente. Cette partie de l'expérience n'est pas la plus spectaculaire.

Rejoindre le contact optique et passer en lumière blanche en configuration coin d'air. Répéter l'expérience précédente. Avec une lampe QI non diaphragmée, on perd très vite les franges rectilignes bien contrastées. Placer la lentille de projection à une position intermédiaire, puis diaphragmer la source. On observe très nettement que le contraste augmente. Attention à ne pas confondre le contraste et la luminosité de la figure d'interférences : évidemment la luminosité diminue lorsque l'on diaphragme la source.

#### Exp 4 : mesure de la largeur spectrale d'une raie

Cette expérience vise à mesurer la longueur de cohérence temporelle d'une raie de lampe spectrale, et d'en déduire sa largeur spectrale intrinsèque.

Rappelons que la signature de la cohérence temporelle est la perte de contraste d'une figure d'interférence lorsque la différence de marche devient trop grande. Ce phénomène est dû à la largeur finie des raies spectrales. Si les raies étaient de largeur nulle (pics de Dirac), on observerait des battements de contraste mais on pourrait avoir des franges parfaitement contrastées avec une différence de marche arbitrairement grande. En conséquence il ne faut **SURTOUT PAS** présenter la résolution du doublet du sodium comme une expérience de cohérence temporelle<sup>3</sup>, cf. rapport 2012.

Nous vous conseillons d'étudier la raie verte du mercure : elle est assez large, intense, et bien séparée des autres. Il faut l'isoler à l'aide d'un filtre interférentiel bien choisi (la largeur du filtre est nettement supérieure à la largeur de la raie), ou d'une gélatine verte. Un autre choix possible est d'étudier la largeur spectrale d'un filtre interférentiel. Je pense que c'est moins intéressant, mais vous pouvez garder cette possibilité en cas de souci avec la raie.

Partir du contact optique, chariotter à l'aide du moteur, et acquérir l'intensité à l'aide d'un photodétecteur (photodiode et Synchronie ou Caliens en mode Michelson). Calculer la FFT du signal obtenu, qui vous donne directement accès au profil spectral de la raie. En cas de problème avec le moteur, vous pouvez chariotter à la main, prendre les mesures d'intensité pour des ddm bien

choisies, et vous contenter d'une interprétation plus qualitative.

### Interférences en lumière polarisée

Cette partie est à présenter en fin de montage, pour servir de tampon pour gérer le chronomètre. Il vaut mieux la sacrifier et passer plus de temps sur votre avant-dernière expérience que de maltraiter les deux.

#### Exp 5 : expérience de Fresnel-Arago

Cette expérience a pour but de montrer qualitativement que deux ondes polarisées orthogonalement n'interfèrent pas.

Utiliser la table optique étiquetée « laser à gaz », un miroir et une lame semi-réfléchissante, et un laser. Faire se recouvrir les deux demi-faisceaux, puis projeter le champ d'interférences sur un écran à l'aide d'un objectif de microscope. Insérer ensuite des polariseurs sur le trajet des faisceaux.

Le choix de l'objectif de microscope est important : s'il est de grossissement trop petit, les franges d'interférences seront très peu visibles, mais il ne faut pas qu'il diaphragme les faisceaux. L'insertion des polariseurs n'est pas très pratique. Vous pouvez donc vous contenter d'insérer un seul polariseur au travers duquel passent les deux faisceaux (preuve que ce n'est pas la polarisation en soi qui empêche l'observation d'interférences), puis d'utiliser la diapositive contenant deux polariseurs croisés.

### Questions

Les questions à la suite d'un montage portent quasi-exclusivement sur les protocoles expérimentaux et les mesures que vous avez réalisées. Le jury est très sensible à la discussion sur les incertitudes, qui ne doivent être ni sous-estimées ni sur-estimées.

Si jamais vous avez d'autres questions, je pense qu'elles seront du même type que dans les leçons traitant d'interférences. Je vous laisse vous reporter aux corrigés que j'ai rédigés pour ces leçons.

### Conclusion

Ce montage est exigeant, et fait partie des sujets difficiles. Cependant si vous l'avez bien compris et que vous maîtrisez correctement les protocoles, il peut être très payant.

Si vous avez d'autres questions, nous restons à votre disposition par mail, en cours, en TP ou dans de futures séances de correction. N'hésitez pas !

3. Cette remarque s'applique aussi à la LP36 sur la cohérence : traiter un modèle de doublet à deux pulsations n'est pas une illustration correcte de la cohérence temporelle.