

MP8 – INTERFÉRENCES LUMINEUSES

30 novembre 2021

Nathan Berit & Juliette Colombier

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

↗ *Optique*, **Sextant**¹

↗ *Optique*, **Houard**

↗ *Jolidon*,

→ Manip trous d'Young p.174 doublet du sodium p.239

→ Toujours utile.

→ Pour la biréfringence

Prérequis

Table des matières

1	Interférences par division du front d'onde	2
2	Interférences par division d'amplitude	3
3	Interférences en lumière polarisée	4
4	Montage surprise passage 25/10	4
5	Questions	5
6	Remarques	5

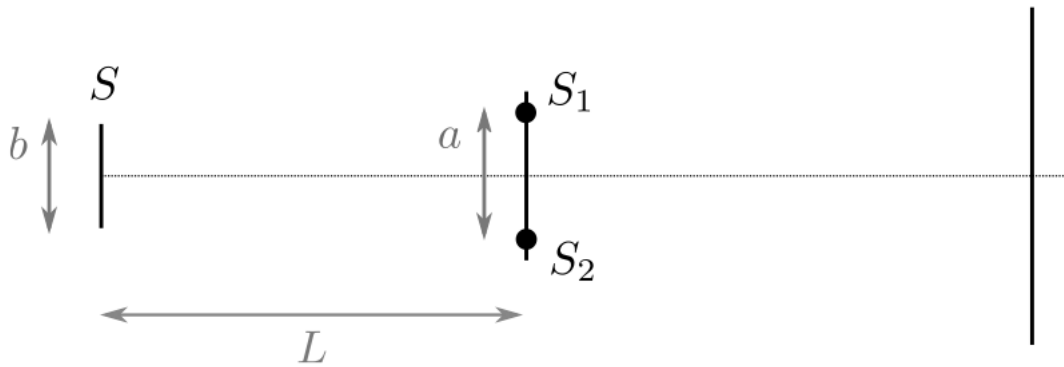


FIGURE 1 – Schéma du problème

Introduction

Souvent, on a plusieurs lumières dans la même pièce et on observe que leurs intensités s'additionnent. Cependant, dans certaines conditions, on peut voir des interférences. Pour cela, il faut que les deux sources lumineuses aient la même pulsation, soient cohérentes spatialement et ne soient pas polarisées orthogonalement.

On va présenter dans la suite trois types d'obtention d'interférence : par division du front d'onde, division d'amplitude et en milieu biréfringent. Ces trois manipulations nous permettront de mettre en avant les trois types de cohérence : spatiale, temporelle et de polarisation.

1 Interférences par division du front d'onde

☞ Sextant

On va présenter ici l'expérience des fentes d'Young (1801).

On sait que pour une source ponctuelle, la différence de marche en un point d'abscisse x est $\delta(x) = \frac{ax}{D}$.

Cependant en réalité on a une source étendue et donc des problèmes de cohérence spatiale, ce qui donne une intensité en x

$$I(x) = 2I_0 \left(1 + \sin c \left(\frac{\pi ab}{\lambda L} \right) \cos \left(\frac{2\pi ax}{\lambda D} \right) \right) \quad (1)$$

On peut ainsi définir le contraste comme

$$C = \left| \sin c \left(\frac{\pi ab}{\lambda L} \right) \right|$$

→ Le but de cette partie est de vérifier la loi du contraste en mesurant la première annulation de contraste $L_1 = \frac{ab}{\lambda}$.



Fentes d'Young

☞ Sextant p 174

⊖ 10 min

Le but de la manip est de vérifier la loi du contraste et de mesurer la largeur de la fente source.

- Matériel : lampe QI, filtre AC, filtre interférentiel (P124.1/4 : les autres sont trop petits pour avoir un signal propre), fente (P115.9) sur environ 500 μm , bifentes (P116.1/2 sur $a = 200\mu\text{m}$), tube noir de 15 cm, caméra CCD Caliens.
- On se place initialement à $L = 30\text{cm}$. Pour chaque filtre on rapproche la fente source des bifentes et on mesure L à la première annulation de contraste.
- Puis régression linéaire de L_1 en fonction de a/λ : on trouve b .

INCERTITUDES

- Sur L_1 : incertitude de l'oeil sur l'annulation de contraste de $\sim 1,5\text{cm}$ + incertitude de la règle (montage pas très droit etc...) de $0,5\text{cm}$. D'où $u(L_1) = 2\text{cm}$.
- Sur λ : incertitude type du filtre interférentiel $u(\lambda) = 10\text{nm}$.

2 Interférences par division d'amplitude

Ici on va utiliser une deuxième façon d'obtenir des interférences : la division d'amplitude. Pour cela on va se servir d'un Michelson réglé en lame d'air pour mesurer la l'écart spectral du doublet du sodium.

On rappelle la longueur d'onde moyenne du doublet du sodium : $\lambda_0 = 589,3\text{nm}$, et on notera $\Delta\lambda$ l'écart du doublet.

La différence de longueur d'onde entre le doublet du sodium va créer un problème de cohérence temporelle : deux rayons associés aux deux doublets vont être incohérents et donc leur figure d'interférences vont s'additionner. On obtient alors l'intensité au centre de la figure

$$I = 2I_0 \left(1 + \cos \left(\frac{2\pi\Delta\lambda e}{\lambda_0^2} \right) \cos \left(\frac{2\pi 2e}{\lambda_0} \right) \right) \quad (2)$$

Et donc le contraste :

$$C = \left| \cos \left(\frac{2\pi\Delta\lambda e}{\lambda_0^2} \right) \right|$$

En chariotant pour modifier e , on va donc observer une succession d'annulations du contraste. Si on note n l'ordre d'annulation et x_n la position du vernier (donc l'épaisseur à une constante près), on a :

$$x_n = \frac{\lambda_0^2}{2\Delta\lambda} n + cste \quad (3)$$

La mesure de la position du vernier pour plusieurs annulations permet donc de remonter à $\Delta\lambda$.



Doublet du sodium

☞ Sextant p. 239

⊗ 10 min

- Régler le michelson en lame d'air.
- Matériel : lampe Na, condenseur en entrée, lentille de grande focale en sortie, écran.
- On se place assez loin du contact optique mais pas trop car sinon brouillage partiel de la figure. On chariotte progressivement jusqu'au contact optique en repérant la position du vernier aux annulations de contraste.
- Régression linéaire pour obtenir $\Delta\lambda$ et comparaison avec la valeur théorique $\Delta\lambda_{th} = 0,597\text{nm}$.

Rq : ce n'est pas la manière la plus précise de mesurer le doublet du sodium avec un michelson : on n'atteint vraiment pas sa résolution maximale. Des manip plus précises sont décrites dans le Houard. Cependant le résultat obtenu est cohérent et les incertitudes raisonnables.

INCERTITUDES

- Sur x_n : incertitude sur l'oeil (détection de l'annulation) et sur le vernier.
 $u(x_{vernier}) = 0,005\text{mm}$ et $u(x_{oeil}) = 0,01\text{mm}$. On rentre ça dans regressi qui nous donne l'incertitude sur la pente a .
- Sur λ_0 : $u(\lambda_0) = 0,1\text{nm}$.
- Propagation des incertitudes : $u(\Delta\lambda) = \Delta\lambda \sqrt{2 \left(\frac{u(\lambda_0)}{\lambda_0} \right)^2 + \left(\frac{u(a)}{a} \right)^2}$

3 Interférences en lumière polarisée

Principe de la mesure : obtenir des interférences en lumière polarisée et illustrer la cohérence de polarisation. On envoie un faisceau de lumière blanche sur un polariseur ($\mathcal{P}$) puis une lame à faces parallèles ($\mathcal{L}$) et enfin un analyseur ($\mathcal{A}$). On note θ_p , θ_a l'angle entre l'axe rapide de la lame et respectivement l'axe du polariseur et de l'analyseur. Pour travailler avec un bon contraste, on croise polariseur et analyseur. On a alors l'intensité en un point, en fonction de l'épaisseur e de la lame et de sa biréfringence Δn :

$$I = \frac{1}{2} I_0 \sin^2 2\theta_p (1 + \cos(2\pi \Delta n e / \lambda)) \quad (4)$$

On va faire le spectre cannelé de biréfringence de la lame.

Si λ_1 , λ_2 correspondent à deux minima d'intensité alors :

$$p_1 + \frac{1}{2} = \delta / \lambda_1 p_2 + \frac{1}{2} = \delta / \lambda_2 \quad (5)$$

d'où

$$\Delta n = (p_2 - p_1) \frac{\lambda_1 \lambda_2}{(\lambda_1 - \lambda_2) e} \quad (6)$$



Spectre cannelé biréfringence

✈ Jolidon

⊗ 10 min

- Matériel : lampe QI, filtre AC, diaphragme (p114.6), polariseur (P119.1/12), lame de quartz à face parallèle avec $e = 1,53\text{mm}$, analyseur (P119.1/9), Spectromètre SpidHR.
- Faire le montage, mettre dans un premier temps un prisme en sortie pour que le jury puisse voir les réglages et ce qu'il se passe.
- Rajouter le spectro et faire l'acquisition du spectre, puis des mesures en prenant deux longueurs d'onde assez éloignées pour diminuer les incertitudes mais pas trop car pics moches à la fin.
- En déduire Δn et le comparer à la valeur théorique de 0,01.

Rq : Les cannelures sont de plus en plus épaisses quand on va vers le rouge à cause de l'indice variable de la lame.

Rq2 : On mesure donc une valeur moyenne de la biréfringence sur toutes les longueurs d'onde considérées.

INCERTITUDES

- Sur λ_1 , λ_2 : estimer avec le spectre et le pointeur : $u(\lambda) = 2\text{nm}$.
- Sur e : regarder l'incertitude constructeur.
- $u(\Delta n) = \Delta n \sqrt{2 \left(\frac{u(\lambda_1)}{\lambda_1} \right)^2 + 2 \left(\frac{u(\lambda_2)}{\lambda_2} \right)^2 + \left(\frac{u(e)}{e} \right)^2}$

Conclusion

On a donc vu différents moyens d'obtenir des interférences et les différents problèmes de contraste.

Ouverture : Mesures interférométriques....

4 Montage surprise passage 25/10



Mesure de la longueur d'onde du son dans l'air à 40kHz

Emetteur/ Récepteur d'ultra sons avec un banc de mesure et un moteur pour traduire le récepteur. On envoie un signal sinusoïdal avec le GBF sur l'émetteur, et on regarde sur un oscillo le signal en entrée et en sortie. On observe une translation lorsqu'on déplace le récepteur, avec une atténuation du signal avec la distance. Il suffit de compter le nombre de périodes qui défilent entre deux alignements de maxima (plus on en prend, plus on diminue l'erreur sur la mesure) et de diviser la longueur de translation du récepteur par ce nombre. On voit donc l'intérêt potentiel

du moteur, pour faciliter le comptage.

5 Questions

- Est-ce que le doublet du sodium est parfait ? Quel est l'étalement spectral de chaque doublet ? *En fait non, il y a un étalement qui en plus varie au cours du temps à cause de l'élargissement Doppler. Pour le mesurer, on peut isoler un doublet et faire une mesure précise des annulations de contraste (par exemple montage de Maud sur la spectroscopie).*
- Quand tu chariottes pour t'approcher du contact optique, les anneaux rentrent ou sortent ? *Ils rentrent. rq : c'est le cas dans les deux sens car évolution en $\cos(e)$ donc par de différence quand on change le signe de e .*
- Il se passe quoi si tu utilises une source ponctuelle en entrée du Michelson ? *Plus de localisation.*
- Pourquoi on ajoute une compensatrice ? *En fait une seule face de la séparatrice est réfléchissante, donc c'est pour faire en sorte que chaque rayon traverse le même nombre de fois la séparatrice pour ne pas induire de déphasage supplémentaire.*
- Comment tu estimes les incertitudes sur les points de brouillage ?
- À quoi sert un filtre anticalorique ?
- D'où sort le sinus au carré dans l'expression de l'intensité pour la biréfringence ? *Si on écrit l'expression de l'intensité en fonction des angles entre l'axe rapide de la lame et les axes des polariseurs/analyseurs, on se rend compte qu'en les mettant en croisés (ou parallèles d'ailleurs) on peut factoriser par un sinus carré et on a alors toujours un contraste de 1 quelque soit l'angle global.*
- Qu'est-ce qu'un spectre cannelé ?
- Pourquoi la largeur des cannelures varie ? *Parce que l'indice de la lame varie avec la longueur d'onde.*

6 Remarques

- Faire des petites colonnes aide à garder un tableau plus ordonné.
- Ne pas s'appropriier le matériel (ex mon condenseur), ça revient chaque année dans les rapports de jury.
- C'est important d'expliquer ce que tu fais avant de le faire.
- C'est toujours mieux de mesurer des choses qui ont un sens physique.
- Attention aux unités ! Une erreur d'homogénéité c'est vraiment grave.
- Quand c'est possible prendre un banc optique.
- Le schéma des doublets de sodium en dirac, c'est dangereux.. la question de leur largeur est presque obligée après
- Pas besoin d'expliquer d'où viennent les formules d'incertitudes mais c'est bien de les noter.
- Ce serait mieux de rajouter un peu de qualitatif (j'ai rajouté l'étape du prisme dans le CR mais je ne l'avais pas fait sur le moment).
- C'est toujours plus précis de mesurer des annulations sur le cannelé plutôt que des maximas.
- Si tu maîtrises le Michelson, le régler en direct c'est très bien.

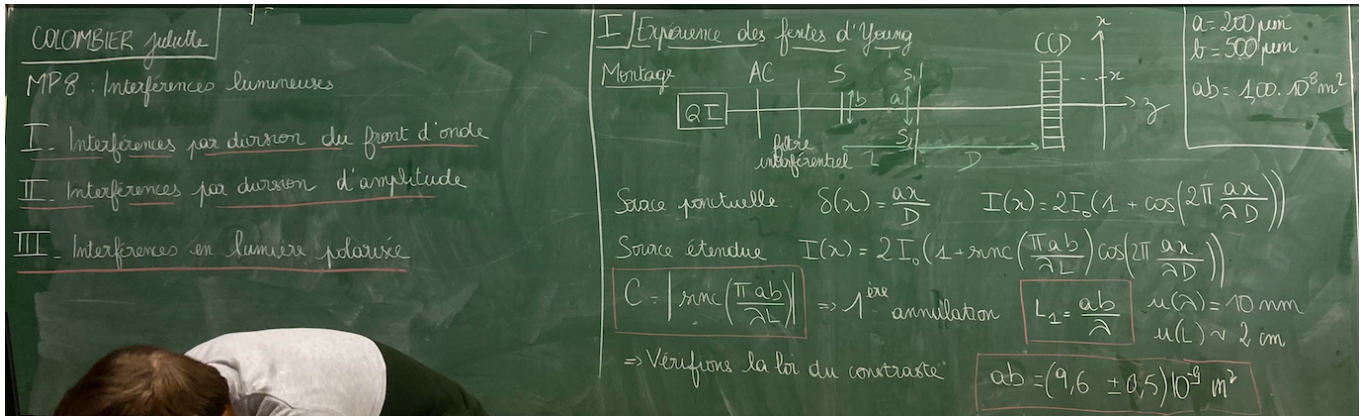


FIGURE 2 – Tableau 1 passage du 25/11

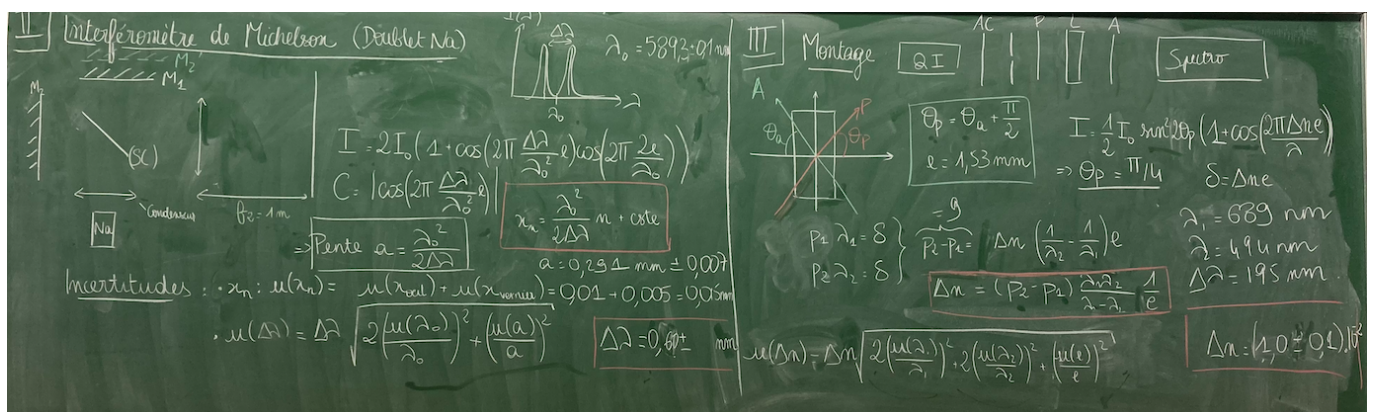


FIGURE 3 – Tableau 2 passage du 25/11