

LP n° 34 **Titre : Interférométrie à division d'amplitude**

**Présentée par :** Nathan VAUDRY

**Rapport écrit par :** Florian POYDENOT

**Correcteur :** Agnès MAITRE

**Date :** 13/11/2018

### Bibliographie de la leçon :

Titre	Auteurs	Éditeur	Année
Toute la physique en fiches - PC/PC*	Fredon, Margail, Magloire	Dunod	2014
Physique PC	Vidal et al.	Ellipses	2014

### Plan détaillé

Niveau choisi pour la leçon : CPGE

Pré-requis : optique géométrique, optique ondulatoire, fentes d'Young

Plan :

- 1. Interférences : phénomènes, critères**
- 2. Division d'amplitude, interféromètre de Michelson**
- 3. Sources non-monochromatiques**

Introduction : les interférences caractérisent le caractère ondulatoire de la lumière ; valable aussi pour les ondes sonores (casque antibruit) (1min)

#### 1. Interférences : phénomènes, critères

##### 1.1. Définition (3min)

$$E_1 = E_0 \cos(\omega_1 t + \phi_1(t))$$

$$E_2 = E_0 \cos(\omega_2 t + \phi_2(t))$$

Manip : superposer sur un écran deux sources différentes : rien ne se passe

##### 1.2. Critères (11min)

$$I = \langle |E|^2 \rangle = \langle |E_1 + E_2|^2 \rangle = I_1 + I_2 + 2 \sqrt{I_1 I_2} \langle \cos(\dots) \cos(\dots) \rangle$$

$$I = I_1 + I_2 + 2 \sqrt{I_1 I_2} (\langle \cos((\omega_1 + \omega_2)t + \phi_1 + \phi_2) \rangle + \langle \cos((\omega_1 - \omega_2)t + \Delta\phi) \rangle)$$

$$I = I_1 + I_2 + 2 \sqrt{I_1 I_2} \langle \cos((\omega_1 - \omega_2)t + \Delta\phi) \rangle$$

$$\omega_1 = \omega_2$$

$\Delta\phi$  ne varie pas trop : une source unique

Cohérence temporelle : train d'onde de durée  $\tau$ ,  $\Delta\tau = 1/\tau \Rightarrow l_c = c \tau = \lambda_0^2 / \Delta\lambda$

$\Delta$  différence de marche  $< l_c$

Cohérence spatiale : longueur de cohérence spatiale liée à l'étendue transverse de la source.

Tableau récapitulatif des différences division du front d'onde/division d'amplitude

#### 2. Division d'amplitude, interféromètre de Michelson

##### 2.1. Présentation

Historique et schéma

## 2.2. Configuration lame d'air (13min)

M1 parallèle à M2' (symétrique de M2 par rapport à la séparatrice/compensatrice) (épaisseur  $e$  entre les deux)

Calcul de la différence de marche :  $\Delta = 2e \cos(\theta)$

Manip : anneaux ( $\theta = \text{constante}$ )

Interférences localisées à l'infini : lentille de focale 1m en sortie du Michelson

Calcul du rayon des anneaux :  $\cos(\theta) = 1 - \frac{\theta^2}{2}$

$R = f \theta = \sqrt{N \lambda_0 / e}$  ;  $N$  entier

OdG :  $f = 1\text{m}$  ;  $\lambda_0 = 638\text{nm}$  ;  $e = 4\text{mm}$  ;  $N = 1$  d'où  $R = 1\text{ cm}$ .

$e = 0 \Rightarrow \Delta = 0$

## 2.3. Coin d'air (4min)

$\Delta = 2 \alpha x$

Pas de manip par manque de temps : photo sur slide

Calcul de l'interfrange :  $i = \lambda_0 / 2 \alpha$

Tableau récapitulatif coin d'air/lame d'air : orientation des miroirs,  $\Delta$ , forme de la figure d'interférences, formules caractéristiques (rayon et interfrange), localisation

## 3. Sources non-monochromatiques

### 3.1. Sources spectrales

Source de largeur spectrale  $\Delta\lambda$ , centrée en  $\lambda_m$ .  $\Delta\lambda = \Delta\lambda_m$

Franges complémentaires  $\Delta\lambda = 1/2$

$\lambda_m^2 / \Delta\lambda = l_c$

OdG : raie jaune du mercure  $\lambda_m = 578\text{ nm}$  ;  $\Delta\lambda = 2\text{ nm}$  ;  $l_c = 0,2\text{ mm}$

### 3.2 Source blanche

Photo sur slides des interférences en lumière blanche

Conclusion : intérêt pratique du Michelson : mesure de  $n$  très précise

Interférences à  $N$  ondes : Fabry-Perot

## Questions posées par l'enseignant

Questions sur la manip du Michelson :

- Pourquoi est-ce que ça bouge ?
- Qu'est-ce qu'il se passe quand on enlève la lentille de sortie ?  
Elle ne change rien pour le laser
- Qu'est-ce qu'il se passe quand on bouge l'écran ?  
On voit des interférences tout le temps.
- Si on met pas de lentille boule, qu'est-ce qu'il se passe ?
- Pourquoi le faisceau diverge ?
- Photos des interférences en lumière blanche : quelle configuration pour le coin d'air/lame d'air ?
- Est-ce que c'est vraiment une source étendue ?
- Qu'est-ce que ça veut dire des franges localisées ? Dans quel cas cette question se pose (par exemple pour une source ponctuelle) ? Aide : faire le schéma au tableau pour trouver la réponse. L'approche source est très puissante pour comprendre. Le Michelson se résume alors à l'interférence de deux sources ponctuelles.
- À quoi sert la compensatrice ?
- Qu'est-ce que vous pouvez me dire sur le Fabry-Perot ? À quoi ça sert ?

## Commentaires donnés par l'enseignant

La leçon s'appelle interférométrie et pas interférences : on peut mettre les interférences en prérequis pour passer plus de temps sur les appareils (et pas les phénomènes d'interférences). Parler de la division d'amplitude, de la localisation, puis de deux ouvertures : le Michelson et le

Fabry-Perot (difficile de faire les deux à la fois de manière approfondie).

Incontournables : division d'amplitude, localisation des interférences, source (ponctuelle ou spatialement étendue, monochromatique ou large spectralement). Pour une source ponctuelle il n'y a pas de localisation ; pour une source étendue si. Dans un interféromètre il y a l'appareil et la source, il faut parler des deux.

Interféromètres à deux ondes : le Michelson est un bon choix. Le choix du laser n'est pas très judicieux : le laser sert à régler le Michelson, mais les phénomènes intéressants apparaissent avec les lampes spectrales.

Attention à bien placer le Michelson sur la table pour ne pas trop gêner.

On peut demander aux techniciens de régler le Michelson.

Notion de cohérence : difficile d'en parler dans cette leçon (elle est abordée dans la leçon LP33).

Le calcul en coin d'air qui a été fait est en ondes planes : la notion de la source est très importante.

Différence de marche sans compensatrice :  $2e(n-1)$  ; mais  $n(\lambda)$  : en chariotant on pourra compenser cette différence de marche pour un  $\lambda$  mais pas pour tous. La compensatrice est donc indispensable à partir où on utilise une source large spectralement.

### Partie réservée au correcteur

#### Avis sur le plan présenté

La première partie consacrée aux interférences est presque hors sujet dans un sujet sur la spectrométrie donc plus orienté vers l'interférométrie. De même la notion de cohérence n'est pas centrale dans cette leçon

Il aurait peut être mieux valu faire le plan suivant

- 1) Division d'amplitude et localisation
- 2) Michelson
- 3) applications

#### Concepts clés de la leçon

Interférométrie à division d'amplitude et à division du front d'onde. Localisation des franges pour une source étendue dans un interféromètre à division d'amplitude

Interféromètre à 2 ondes de Michelson. lame d'air et coin d'air. Figures d'interférence

Eventuellement le Fabry Pérot, interféromètre à N ondes. Finesse

#### Concepts secondaires mais intéressants

Le Michelson comme instrument spectroscopique

Application du Michelson à la mesure de faibles indices, à la planéité de surface, (même si ce n'est pas strictement de spectrométrie ça utilise des méthodes spectroscopiques)

Le Fabry Perot comme analyseur de mode. Le filtre interférentiel, le Fabry Perot comme cavité dans un laser. Attention les deux derniers points ne relèvent pas strictement de la spectrométrie

#### Expériences possibles (en particulier pour l'agrégation docteur)

Interféromètre de Michelson en lame d'air et en coin d'air. Localisation des franges pour une lampe spectrale, ou mesure d'une largeur spectrale

Savoir expliquer à quoi sert la compensatrice

#### Points délicats dans la leçon

La localisation des franges en source étendue est un concept subtil.

Penser à bien expliciter ce qu'est la source (différente de l'interféromètre) : ponctuel, étendue, faisceau parallèle, cohérente (laser) ou incohérente.... Préciser où sont localisées les franges pour une source étendue.

Il est bien de parler de Michelson et de Fabry Perot même s'il est difficile de parler à fond des deux. Donc en privilégier un.

#### Bibliographie conseillée

Maurel, Perez, Francon. C'est un sujet classique bien traité dans beaucoup d'ouvrages