

LP n° 33 Titre : Interférences à 2 ondes en optique

Présentée par : Théo Cartier Dit Moulin

Rapport écrit par : Rémi Armand

Correcteur : Agnès Maître

Date : 19/11/2018

### Bibliographie de la leçon :

Titre	Auteurs	Éditeur	Année
BFR Optique ondulatoire	BFR	Dunod	1984
J'intègre tout en un	Sanz	Dunod	2013

### Plan détaillé

Niveau choisi pour la leçon : CPGE

Pré-requis : Physique ondulatoire, modèle scalaire de la lumière, Modèle du train d'onde

Thomas Young -> observation des interférences à la lumière du Soleil

#### I. Calcul d'interférences

##### 1) Intensité résultante

Soit deux sources S1 et S2.

Définitions de l'amplitude de deux ondes monochromatiques de pulsations différentes et de l'intensité résultante.

Calcul de l'intensité des deux ondes :  $I = \langle I_{\text{tot}} \rangle$  ce qui amène à la moyenne de cosinus.

On voit que pour qu'il y ait interférences, il faut :  
-  $f_1 = f_2$   
- polarisation identique des deux sources

On observe alors l'apparition d'un terme d'interférence :  $I_{\text{tot}} = I_1 + I_2 + I_{12}$

##### 2) Influence de la position de l'observateur

Projection : graphe de l'allure obtenue dans le plan d'un écran

Calcul de la différence de phase contenant la différence de marche.

$I_{\text{max}}$  atteinte forme des interférences constructives.

$I_{\text{min}}$  atteinte forme des interférences destructives.

##### 3) Retour sur hypothèse

limites de l'obtention des hypothèses -> on ne devrait a priori pas remplir les deux hypothèses de la partie 1) et donc ne jamais observer d'interférences

C'est alors qu'intervient l'utilisation des trous d'Young pour contourner ce problème.

#### II. Trous d'Young

##### 1) Dispositif

Projection : schéma du montage utilisé

##### 2) Calcul de la différence de marche

Projection : calcul complet qui amène suite à un développement limité à  $S_2M - S_1M = ax/D$

A partir de ce calcul, on obtient  $I = 4I_0 \cos(\pi ax/(\lambda D))$

Pour l'instant, on n'a étudié les résultats obtenus pour une source ponctuelle, qu'en est-il des sources étendues.

Montage sur paillasse : LASER + Fente réglable (élargir faisceau) + Fentes d'Young de différentes largeurs -> Observation d'un brouillage d'interférences

#### III. Contraste, notion de cohérence

##### 1) Contraste

Définition du contraste, explication de sa répercussion sur l'observation d'interférences et donc de l'observation d'un brouillage observé sur la paillasse.

2) Cohérence spatiale

Schéma d'une source étendue et de deux fentes d'Young

Calcul de la nouvelle différence de marche obtenue et donc des nouvelles intensités résultantes pour deux sources ponctuelles provenant de la source étendue :

$$I_{\text{tot},i} = 2I_0 \cos(2\pi l / \lambda \cdot (ax/D + ax_l/D_s))$$

avec  $i$  associé à la source ponctuelle  $S_i$  provenant de la source étendue  $S$  et à distance  $l_i$  de l'origine

Calcul de la condition sur la largeur de la source étendue via l'interfrange pour que l'on puisse avoir cohérence spatiale.

Odg : largeur de la source = 0,1 mm

3) Cohérence temporelle

Définitions du temps de cohérence et de la longueur de cohérence pour un train d'onde

Condition : différence de marche < longueur de cohérence

Odg : pour un LASER, longueur cohérence = 100m – 10 km

-> tableau récapitulatif des conditions d'obtention d'interférences pour différentes hypothèses traitées au long de la leçon

### Questions posées par l'enseignant

- Autre système d'interférométrie que les fentes d'Young ?
- Fonctionnement du Michelson ?
- Quelle est la différence entre ces deux interféromètres ? Différence entre division d'amplitude et division du front d'onde ?
- Impact d'une source étendue sur l'observation au Michelson ? Il y a un moyen de contourner le problème de cohérence spatiale ?
- Sur l'expérience, y a-t-il une réelle utilité à utiliser une fente réglable ? Comment mieux mettre en évidence le phénomène de brouillage d'interférences ? Pourquoi vouloir élargir le faisceau ? La diffraction dispersant les photons sans en augmenter leur nombre, n'est-ce pas une méthode coûteuse ? Y a-t-il d'autres moyens moins coûteux d'élargir un faisceau ?
- Est-ce que le calcul présenté est fidèle à l'expérience réalisée ? Quelle est la différence ?
- Qu'est ce que le modèle des trains d'onde ? Est-ce que cela empêche d'observer des interférences ?
- Sur quel temps fait-on la moyenne pour calculer l'intensité ?
- De quels détecteurs plus performants que l'œil dispose-t-on ?
- Peut-on faire interférer deux LASERS différents mais travaillant à la même fréquence ?

### Commentaires donnés par l'enseignant

- il n'est pas possible de traiter entièrement les parties cohérence temporelle et cohérence spatiale, il faut donc faire un choix
- alternative de plan : introduire la notion avec les trous d'Young, puis présenter le calcul d'interférence directement avec l'exemple des trous d'Young, ce qui libère du temps pour les questions de cohérence à la fin
- prérequis « modèle du train d'onde » discutable car sous-entend d'avoir déjà traité la cohérence temporelle
- ne pas éluder le problème de la variation temporelle des phases des deux ondes monochromatiques
- pour le second calcul de différence de marche, éviter le transparent en raisonnant par analogie avec le premier
- éviter de chercher à montrer des incohérences avec un LASER qui est par nature très cohérent
- cohérence spatiale plus difficile à traiter que la cohérence temporelle, à cause de l'hypothèse des sources ponctuelles indépendantes qui forment une source étendue
- cette leçon appelle aux questions sur la cohérence de la part du jury
- il faut parler du temps de détection (=temps de mesure), qui doit être inférieur au temps de cohérence pour éviter d'observer un brouillage
- Un LASER possède une largeur en fréquence de l'ordre de 1GHz à 1kHz, ce qui donne un temps de cohérence  $\tau_c = e^{-9}$  à  $e^{-3}$ , d'où  $L_c = c \cdot \tau_c = 3e^{-1}$  à  $3e^5$  m
- Insister sur le fait que pour une source étendue + fentes d'Young, on additionne des intensités sur l'écran dont les ondes incidentes n'ont pas de relation de phase -> i.e. on cherche à faire des interférences avec des sources ponctuelles qui ne sont pas cohérentes
- Pour montrer expérimentalement l'apparition de brouillages, on utilise une source à laquelle on ne touche pas, et on utilise deux fentes d'Young dont on ne fait pas varier la largeur mais l'écartement entre elles. A partir d'un certain écartement des deux fentes, on n'observe plus d'interférences, ce qui constitue un brouillage. On détermine ainsi une distance limite
- Faire un choix : présenter avant tout la notion de cohérence temporelle avec une petite ouverture sur la cohérence spatiale (présentation naïve faite en TD) OU présenter la cohérence spatiale avant tout et finir par la cohérence temporelle (+ risqué et nécessite du recul)
- Pour observer des interférences initialement à l'infini, on les projette dans le plan focal d'une lentille