

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Interférences à deux ondes en optique</b>	<b>2</b>
I	Interférences à deux ondes . . . . .	3
I.1	Superposition de deux ondes . . . . .	3
I.2	Conditions d'interférence, notion de cohérence . . . . .	3
II	Exemple d'interféromètre : les trous d'Young . . . . .	4
III	Effet de largeur de la source : cohérence spatiale . . . . .	4
III.1	Présentation du problème . . . . .	4
III.2	Cône de cohérence . . . . .	5
IV	Conclusion . . . . .	5

# Leçon 1

## Interférences à deux ondes en optique

### Bibliographie de la leçon :

Titre	Auteurs	Editeur (année)	ISBN
Physique Spé MP-MP*	Olivier, Gié, Sarmant	Tec & Doc	
Sextant		Hermann	
Tout-en-un, MP	M.-N. Sanz.	Dunod	
Optique	S. Houard	de Boeck	
Optique Physique	R. Taillet	de Boeck (2006)	

### Commentaires des années précédentes :

- **2016** : Les approximations mises en oeuvre dans les calculs de différence de marche doivent être justifiées a priori,
- **2015** : L'exposé doit permettre de préciser clairement les contraintes particulières que l'optique impose aux dispositifs interférentiels par rapport à d'autres domaines,
- **2014** : Un interféromètre comportant une lame séparatrice n'est pas obligatoirement utilisé en diviseur d'amplitude. La notion de cohérence et ses limites doivent être discutées.

### Plan détaillé

**Niveau choisi pour la leçon** : CPGE

**Prérequis** : Modèle scalaire d'une onde, chemin optique, différence de marche,

intensité lumineuse, formules trigonométriques

### Déroulé détaillé de la leçon :

**Manip introductive** : si on superpose deux lasers, il ne se passe rien. Si on les fait passer à travers un dispositif qui élargit le faisceau + une fente source + une bifente : on voit une figure d'interférence.

## I Interférences à deux ondes

**Définition** : cf Taillet Dictionnaire de physique. Phénomène ondulatoire qui résulte d'une interaction entre deux ondes (lumineuses) qui produit une intensité totale qui diffère de la somme des intensités individuelles.

### I.1 Superposition de deux ondes

On considère deux sources ponctuelles  $S_1$  et  $S_2$  et des amplitudes vibratoires  $a_i(M, t) = A_i \cos\left(\omega_i t - \phi_{S_i} - \frac{2\pi[S_i M]}{\lambda_0 i}\right)$ . L'amplitude totale est :  $a(M, t) = a_1(M, t) + a_2(M, t)$ . L'intensité est :  $I(M, t) = \langle a^2(M, t) \rangle$ .

En développant, on obtient :

$$I = I_1 + I_2 + I_{1,2} \quad (1.1)$$

avec  $I_{1,2} = 2A_1 A_2 \cos(\omega_1 t - \phi_1(M)) \cos(\omega_2 t - \phi_2(M))$

### I.2 Conditions d'interférence, notion de cohérence

- $I_{1,2} \neq 0$ , dans ce cas on dit que les ondes sont cohérentes,
- si  $\omega_1 \neq \omega_2$ ,  $I_{1,2} = 0$

**Condition 1** : deux ondes de pulsations différentes sont incohérentes.

Présentation du modèle du train d'onde : paquet d'onde séparés par un temps  $\tau$ . Comme  $\phi_{S1}$  et  $\phi_{S2}$  varient aléatoirement, on obtient  $I_{1,2}$  non nulles sur le détecteur si :

**Condition 2** : Il faut que les deux ondes soient issus du même train d'onde.

On obtient alors la formule de Fresnel :

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\phi(M) \quad (1.2)$$

où  $\Delta\phi(M) = \frac{2\pi([S_2 M] - [S_1 M])}{\lambda_0}$

## II Exemple d'interféromètre : les trous d'Young

$$I = 2I_0 \left[ 1 + \cos \left( \frac{2\pi ax}{\lambda D} \right) \right] \quad (1.3)$$

Succesion de franges brillantes et de franges sombres. La distance entre deux franges brillantes est appelée **interfrange** notée  $i$  qui vaut ici :  $i = \frac{\lambda_0 D}{a}$ .

**Manipulation quantitative** : Mesure de l'interfrange de la figure d'interférences pour en déduire  $a$ . Pour cela on a besoin :

- barette CCD + logiciel MHTEX + filtre de densité
- double fentes d'Young dont la longueur entre les fentes est donnée
- 
- 

. On mesure  $a = 0.16 \pm 0.04 \text{ mm}$  à comparer avec la valeur  $a_{\text{fabricant}} = 0.2 \text{ mm}$ .

**Transition** : Pour l'instant, on est resté sur le fait qu'on avait deux sources cohérentes produisant des interférences non localisées. Que se passe-t'il si on élargi la source ?

## III Effet de largeur de la source : cohérence spatiale

### III.1 Présentation du problème

Voir Dunod p733 en **prenant bien un élargissement de la source dans une direction parallèle à  $S_1 S_2$** , sinon ça ne change rien à la différence de marche. Effet de la largeur de la source en reprenant le problème avec deux

sources séparées par une distance  $b$  (voir Dunod 2022 p733). On somme leur intensité. On obtient à l'aide des formules obtenues dans la partie précédente :

$$I_{tot} = 4I_0 \left[ 1 + \cos \left( \frac{\pi ab}{\lambda D} \right) \cos \left( \frac{2\pi ax}{\lambda D} + \frac{2\pi ab}{\lambda D} \right) \right] \quad (1.4)$$

### III.2 Cône de cohérence

Voir Dunod p738-739. Expérience de Grimaldi qui voulait voir des interférences par deux trous de la lumière du soleil.

## IV Conclusion

Ouverture sur les dispositifs à division d'amplitude qui permettent de ne pas avoir de problème de cohérence spatiale mais dont le prix à payer est la localisation des franges d'interférences.

### Questions posées par l'enseignant (avec réponses)

**C : D'autres phénomènes d'interférences autres que lumineuses ?** Oui, exemple de la cuve à onde. Qu'est-ce qui fait la spécificité des interférences des ondes lumineuses ? On peut faire des mesures super précises.

**C : Conditions de cohérence pour l'eau ?** On somme directement les amplitudes, il n'y a pas de notion de cohérence pour une onde mécanique.

**C : Dépendance de la durée d'intégration ?** Ordre de temps de réponse d'un détecteur ? Période de la lumière :  $10^{-15}$ s, œil :  $10^{-2}$ s, photorésistance  $10^{-2}$ s, photodiode (standard) :  $10^{-6}$ s, thermopile : 1s

**C : lien entre intensité  $I$  et éclairement  $\epsilon$  ?** On a  $\epsilon = KI = K \langle s^2(M, t) \rangle$ , où  $\langle \dots \rangle$  représente la valeur moyenne temporelle,  $K$  est une constante qui dépend du détecteur et  $s(M, t)$  représente une composante du champ électrique de la lumière par rapport à un axe perpendiculaire à sa direction de propagation. L'éclairement est la puissance surfacique moyenne de l'onde lumineuse (autrement dit la valeur moyenne temporelle du vecteur de Poynting).

**C : Pourquoi il faut un vide entre deux trains d'ondes ?** Lié à la désexcitation de l'atome, la durée de vie d'un niveau d'énergie. Un train d'onde c'est un photon du coup ? C'est l'aspect ondulatoire du photon.

**C : C'est quoi la cause de l'incohérence spatiale ?** Emission de trains d'onde de phase à l'origine aléatoire suivant l'atome émetteur.

**C : Différences/avantages interférométrie à division d'amplitude/division du front d'onde?** Division du front d'onde : on fait interférer de la lumière provenant de deux sources différentes. Les interférences ne sont pas localisées mais il y a un problème de brouillage du fait de la cohérence spatiale des sources. Division d'amplitude : on fait interférer de la lumière provenant d'un même faisceau incident dont on a séparé en deux (au moins) l'amplitude. Il n'y a pas de problème lié à la cohérence spatiale de la source mais le prix à payer est la localisation des interférences (à l'infini pour une lame d'air, à distance finie pour un coin d'air). L'avantage est de pouvoir utiliser des sources de lumière très étendues, on gagne en luminosité.

**C : Stratégies à mettre en œuvre pour éviter 20% d'erreur sur les mesures?** Caméra CCD, mettre une lentille pour agrandir l'image Ca change quoi avec une lentille? On remplace  $D$  par  $f'$  dans la formule de  $I_{tot}$ . C'est mieux du coup? On peut mesurer  $f'$  de façon assez précise Quoi d'autre? Pied à coulisse, banc optique, ...