

**Leçon de Physique n°17**  
**Interférences à deux ondes en optique**

Niveau : CPGE : 2ème année

Programme :

Notions et contenus

Capacités exigibles

**2. Superposition d'ondes lumineuses**

Superposition de deux ondes quasi-monochromatiques cohérentes entre elles : formule de Fresnel  $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \varphi$ .

Établir la formule de Fresnel.  
Citer la formule de Fresnel et justifier son utilisation par la cohérence des deux ondes.

Contraste.

Associer un bon contraste à des intensités  $I_1$  et  $I_2$  voisines.

Superposition de deux ondes incohérentes entre elles.

Justifier et utiliser l'additivité des intensités.

Superposition de N ondes quasi-monochromatiques cohérentes entre elles, de même amplitude et dont les phases sont en progression arithmétique dans le cas  $N \gg 1$ .

Utiliser un grapheur pour discuter l'influence de N sur la finesse sans calculer explicitement l'intensité sous forme compacte. Utiliser la construction de Fresnel pour établir la condition d'interférences constructives et la demi-largeur  $2\pi/N$  des franges brillantes.

**3. Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young**

Trous d'Young ponctuels dans un milieu non dispersif : source ponctuelle à grande distance finie et observation à grande distance finie. Champ d'interférences. Ordre d'interférences p.

Savoir que les franges ne sont pas localisées. Définir, déterminer et utiliser l'ordre d'interférences.

Variations de p avec la position du point d'observation ; franges d'interférences.

Interpréter la forme des franges observées sur un écran éloigné parallèle au plan contenant les trous d'Young.

**Comparaison entre deux dispositifs expérimentaux : trous d'Young et fentes d'Young.**

**Confronter les deux dispositifs : analogies et différences.**

Variation de p par rajout d'une lame à faces parallèles sur un des trajets.

Interpréter la modification des franges

Variations de p avec la position d'un point source ; perte de contraste par élargissement spatial de la source.

Utiliser le critère semi-quantitatif de brouillage des franges  $|\Delta p| > 1/2$  (où  $|\Delta p|$  est évalué sur la moitié de l'étendue spatiale de la source) pour interpréter des observations expérimentales.

Variations de p avec la longueur d'onde. Perte de contraste par élargissement spectral de la source.

Utiliser le critère semi-quantitatif de brouillage des franges  $|\Delta p| > 1/2$  (où  $|\Delta p|$  est évalué sur la moitié de l'étendue spectrale de la source) pour interpréter des observations expérimentales.  
Relier la longueur de cohérence,  $\Delta\lambda$  et  $\lambda$  en ordre de grandeur.

Observations en lumière blanche (blanc d'ordre supérieur, spectre cannelé).

Déterminer les longueurs d'ondes des cannelures.

Livres : Perez Optique, Tout-en-un PC DUNOD, Sextant Optique, Gié Tec&Doc MP, Faroux Renault Optique et physique ondulatoire, H prépa, Bellier, Sextant

Pré-requis : optique géométrique, optique expérimentale, physique des ondes, transformation de Fourier ?

MANIP Fentes d'Young : observer les franges et ce qu'il se passe et la majeure partie de la leçon autour de cette manip. Bellier p.186 et Sextant p.161

Intro sur le phénomène d'interférences => caractère ondulatoire de la lumière

## 1 – Phénomène d'interférences à deux ondes

a – Modèle scalaire de la lumière (sur transparent)

- La lumière est une onde EM (domaine de 4 à  $8 \times 10^{14}$  Hz), dans le cas de la lumière naturelle la direction du champ E change de manière aléatoire au cours du temps (lumière non polarisée)
- détecteurs : œil ( $\tau_r = 1/20$  s), cellules photoélectriques ( $\tau_r = 1 \times 10^{-6}$  s), ils opèrent sur un grand nombre de périodes une moyenne de la puissance reçue
- on définit l'éclairement  $\epsilon$  comme la puissance surfacique moyenne reçue par une surface :  $\epsilon = K \langle E^2 \rangle$  (on ne cherche pas à expliciter K car on exprime des contrastes ensuite)
- Les calculs d'optique ondulatoire consistent généralement à déterminer l'éclairement résultant de la superposition de plusieurs ondes : dans un grand nombre de situations on adopte un modèle scalaire pour la lumière (justifié lorsque les ondes non polarisées ont des directions de propagation voisines)
- Notations du Tec&Doc : on écrit les amplitudes sous la forme  $a(M,t)$ , additivité des amplitudes instantanées en un point, l'analyse de Fourier nous permet de considérer l'onde comme somme de fonctions sinusoïdales  $a(M,t) = A(M) \cos(\omega(t - \tau M) - \phi_s)$ , on note l'éclairement  $\epsilon(M) = 2 \langle a^2(M,t) \rangle$

*H prépa, Tout en un, Tec&Doc*

b – Superposition de deux ondes lumineuses

- On considère deux sources ponctuelles S1 et S2, en un point M on a  $\epsilon(M) = 2 \langle a^2(M,t) \rangle = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_{12}$ , si le terme  $\epsilon_{12}$  n'est pas nul les deux ondes sont dites cohérentes et donnent lieu à des interférences
- premier critère de cohérence : les deux ondes doivent avoir la même pulsation
- différence de marche  $\delta M$  :  $\phi_M = \phi_{S2} - \phi_{S1} + 2\pi \delta M / \lambda$ , la différence de marche dépend de M, on s'attend à observer un éclairement non uniforme, on définit les franges d'interférences comme le lieu des points M où  $\epsilon(M)$  est constant
- expérimentalement on observe que l'éclairement produit par deux sources monochromatiques distinctes est uniforme => sources incohérentes

*Tec&Doc*

c – Modèle du train d'onde

- En fait les sources lumineuses apparemment monochromatiques émettent des trains d'ondes : à l'intérieur de chaque train d'ondes, l'onde est bien représentée par une onde monochromatique mais la phase à l'origine varie aléatoirement d'un train d'ondes au suivant

- la durée moyenne d'un train d'ondes est supposée égale à la durée entre deux trains d'ondes vaut typiquement  $\tau = 10^{-11}$  s (très grand devant la période et très petit devant le temps  $\theta$  sur lequel on effectue la moyenne  $\epsilon(M) = 2 \langle a^2(M, t) \rangle$ )
- à l'échelle de  $\tau$  on a :  $4 \langle a_1(t) a_2(t) \rangle_{\tau} = 2 A_1 A_2 \cos(\varphi_{S2} - \varphi_{S1} + 2\pi \delta M / \lambda)$
- à l'échelle de  $\theta$  on a :  $4 \langle \langle a_1(t) a_2(t) \rangle_{\tau} \rangle_{\theta} = 2 A_1 A_2 \langle \langle \cos(\varphi_{S2} - \varphi_{S1} + 2\pi \delta M / \lambda) \rangle_{\theta} \rangle$  qui devient nulle car à l'échelle de  $\theta$   $\cos(\varphi_{S2} - \varphi_{S1} + 2\pi \delta M / \lambda)$  varie aléatoirement

=> nécessité d'un diviseur d'ondes : il faut que les 2 ondes qui se superposent soient issues d'une même source ponctuelle monochromatique, ex : lame d'air

d – Longueur de cohérence

Dès que la différence des chemins optiques dépasse une certaine valeur critique (longueur de cohérence) les franges se brouillent, interprétation avec le modèle des trains d'ondes: il faut que les deux ondes qui se superposent soient issues du même train d'ondes sinon la différence des phases à l'origine varie aléatoirement et  $\langle \langle \cos(\varphi_{S2} - \varphi_{S1} + 2\pi \delta M / \lambda) \rangle_{\theta} \rangle = 0$ , les deux ondes sont décorréélées, la longueur de cohérence vaut  $l^* = c\tau$

e – Bilan, aspect expérimental

Deux ondes sont cohérentes si elles sont issues de la même source et si la différence de marche  $\delta M$  est inférieure à la longueur de cohérence de la source  $l^*$

Franges brillantes, franges sombres, contraste

Cependant lorsque l'on réalise des phénomènes d'interférences on a deux causes d'affaiblissement du contraste : les ondes émises par S ne sont pas monochromatiques, S n'est pas ponctuelle

*Tec&Doc*

## 2 – Notion de cohérence spatiale

a – Trous de Young en lumière monochromatique

La diffraction permet le recouvrement des faisceaux, calcul de l'éclairement et de l'interfrange, *BFR p183-187*

b – Elargissement de la fente source

On somme les éclairagements dûs aux éléments de sources incohérents entre eux, on obtient une expression du contraste qui devient nulle puis s'inverse, attention : problème dans le BFR entre la définition du contraste qui doit être positif et le graphique où le contraste est positif puis négatif puis positif

=> l'élargissement de la source fait diminuer le contraste, pour s'affranchir de ce problème on utilise des interféromètres à division d'amplitude, *BFR, tout en un*

## 3 – Notion de cohérence temporelle

a – Polychromaticité de la source

Une source n'est jamais monochromatique, on a un élargissement dû à plusieurs causes, on a  $\Delta v \sim 1/\tau$  où  $\tau$  est la durée des trains d'ondes, on suppose un profil de raie rectangulaire, on somme les éclairagements et on trouve un nouveau contraste qui diminue (même erreur sur le signe du contraste), par contre à partir du moment où celui-ci s'annule on n'observe plus d'interférences, *BFR*

b – Longueur de cohérence

On retrouve le critère sur la différence de marche qui doit être inférieure à la longueur de cohérence

Conclusion : ouvrir sur les interférences à N ondes et aussi les interféromètres à division d'amplitude