

## Leçon n°33 : Interférences à deux ondes en optique

Niveau	CPGE
Prérequis	Diffraction (lycée) Base électromagnétique (Poynting) Notion de chemin optique
Biblio	Perez, Optique
Plan	<ul style="list-style-type: none"><li>I. <u>Superposition de deux ondes lumineuses</u><ul style="list-style-type: none"><li>1. Détecteur éclairé</li><li>2. Formule de Fresnel-Cohérence</li></ul></li><li>II. <u>Exemples des trous d'Young</u><ul style="list-style-type: none"><li>1. Division du front d'onde</li><li>2. Différence de marche</li><li>3. Analyse de l'éclairement</li></ul></li><li>III. <u>Cohérences</u><ul style="list-style-type: none"><li>1. Cohérence spatiale</li><li>2. Cohérence temporelle</li></ul></li></ul>

### Remarques :

- Trouver des applications plus concrètes de physique moderne
- Interférences à deux ondes en optique et autre domaine / Interférences, .... ; cohérence

## Questions :

- La période de résolution de la photodiode  $10^{-6}$  secondes ?  
 $10^{-9}$  car dépend de la capacité équivalente de la photodiode.

- De quoi dépend ce temps de réponse de la photodiode ?  
Dépend du composant et du montage qu'il y a avec.  
Capacité équivalente de la photodiode.

- Un capteur optique de l'œil est sensible au champ E2 ou au champs B2 ?  
Ils sont sensibles au champ électrique.

- Comment on vérifie ça ?  
??

- $\phi_i$  dépend du temps ou pas ?  
Dans le cadre d'une onde monochromatique il ne dépend pas du temps.  
Mais sinon il dépend du temps.  
Par contre  $\Delta\phi$  ne dépend pas du temps.

- Schéma du Michelson éclairé par une source ponctuelle ?

Interfère et ce n'est pas localisé

Ce n'est pas parce que c'est à division du front d'onde que c'est forcément localisé.

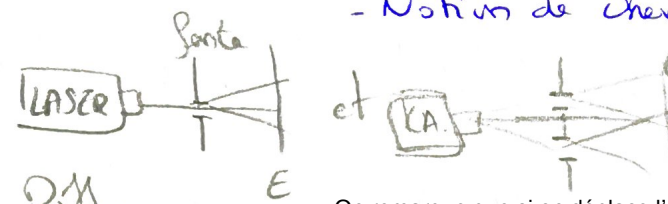

# LP33 : Interférences à deux ondes en optique

(1)

Niveau : CPGE

PR : - diffraction (lycée)  
- Base électromagnétique (Poynting)  
- Notion de chemin optique

Biblio : Perez

Introduction :  et  interférences (Cure à onde courbe)  
On remarque que si on déplace l'écran on a tjrs ces interf.

I. Superposition de deux ondes lumineuses

## 1. Détecteurs éclairément

Lumière OET de période  $T \approx 10^{-14}$  s visible.

Détecteurs sensible de  $\tau < \tau_{\text{résultant}}$

$\Rightarrow$  Moyenne :  $\frac{1}{\tau_{\text{res}}} \int_t^{t+\tau_{\text{res}}} f(t) dt$

	$\tau_{\text{res}} (s)$
oeil	$\frac{1}{24} \approx 10^{-1}$
CCD	$10^{-6}$
photo-diode	$10^{-7}$

$\gg 10^{-14}$  s

$\vec{E}$  champ électrique  
densité de courant d'énergie  $\vec{\Pi} = \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{\mu_0} = \epsilon_0 c \vec{E}^2 \vec{u}$

Éclairément = puissance lumineuse surfacique  $\propto \vec{E}^2$  [W/m<sup>2</sup>].

## 2. Formule de Fresnel - Chéreau

2 ondes monochromatique, planes rectilignes, ponctuelles

$$\vec{E}_i(m, t) = E_{i0} \cos(\omega_i t - \varphi_i(m)) \Rightarrow \xi \propto \langle (\vec{E}_1 + \vec{E}_2)^2 \rangle = \langle \vec{E}_1^2 \rangle + \langle \vec{E}_2^2 \rangle + \langle 2\vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2 \rangle$$

$$\text{or } \langle A^2 \cos^2(\omega t - \varphi) \rangle = \left(\frac{1}{2}\right)^2 \text{ et } \langle A \cos(\omega t - \varphi) \rangle = 0 \text{ si } \omega \neq 0.$$

$$\xi \propto \frac{E_{01}^2}{2} + \frac{E_{02}^2}{2} + 2 \langle \vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2 \rangle = \xi_1 + \xi_2 + \xi_{1,2} \leftarrow \text{terme d'interférence.}$$

$\xi_{\text{tot}} \neq \xi_1 + \xi_2$  : définition des interférence. si  $\xi_{1,2} \neq 0 \Rightarrow$  sources cohérentes  
sinon — incohérentes

$$\xi_{1,2} = 2 \vec{E}_{01} \cdot \vec{E}_{02} \langle \cos(\omega_1 t - \varphi_1) \cos(\omega_2 t - \varphi_2) \rangle$$

$$\text{or } \cos(a) \cos(b) = \frac{1}{2} (\cos(a+b) + \cos(a-b))$$

$$\text{Ainsi } \xi_{1,2} = 2 \vec{E}_{0,1} \cdot \vec{E}_{0,2} \left( \langle \cos((\omega_1 + \omega_2)t - (\varphi_1 + \varphi_2)) \rangle + \langle \cos((\omega_1 - \omega_2)t - (\varphi_1 - \varphi_2)) \rangle \right)$$

$$= 0 \text{ sauf si } \omega_1 + \omega_2 = 0 \text{ ou } \omega_1 - \omega_2 = 0 \rightarrow \boxed{\omega_1 = \omega_2}$$

1<sup>ère</sup> condition de cohérence:  $\omega_1 = \omega_2$ ; 2<sup>nd</sup> condition:  $\vec{E}_{0,1} \cdot \vec{E}_{0,2} \neq 0$  et  $\vec{E}_{0,1} \parallel \vec{E}_{0,2}$  superpos.

$$\text{Alors } \xi_{1,2} = 2 \sqrt{\frac{E_{0,1}^2}{2}} \sqrt{\frac{E_{0,2}^2}{2}} \cos(\Delta\varphi(n)) \text{ on a posé } \Delta\varphi(n) = \varphi_1 - \varphi_2$$

$$= 2 \sqrt{\xi_1 \xi_2}$$

$$\text{Formule de Fresnel: } \xi_{\text{tot}} = \xi_1 + \xi_2 + 2 \sqrt{\xi_1 \xi_2} \cos(\Delta\varphi)$$

$$\text{interférence constructive si } \xi_{\text{tot}} > \sqrt{\xi_1 \xi_2}$$

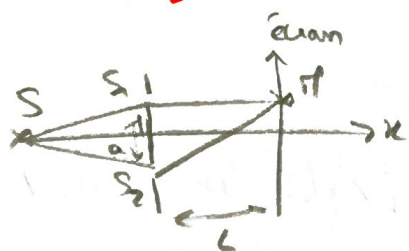
$$\text{destructive si } \xi_{\text{tot}} < \sqrt{\xi_1 \xi_2}$$

$$\Delta\varphi(n) = \frac{\omega}{c} ((S_1 n) - (S_2 n)) = \frac{\omega}{c} \delta \text{ où } \delta \text{ est la différence de marche.}$$

$$\text{on a } c = \frac{\xi_{\text{max}} - \xi_{\text{min}}}{\xi_{\text{max}} + \xi_{\text{min}}} \in [0, 1].$$

## II. Exemple des trous d'Young

### 1. Division du front d'onde



En fait, 2 rayons  $\neq$   $\rightarrow$  interférences à division du front d'onde.  
 $\Rightarrow$  interférence str. localisées.

$$n_{\text{air}} = 1$$

### 2. Différence de marche

$$\text{On trouve } \delta = (SS_1P) - (SS_2P) = n \overline{S_1P} - n \overline{S_2P} = \overline{S_1P} - \overline{S_2P}$$

$$\text{or } \overline{S_1P} = \sqrt{L^2 + (x + \frac{a}{2})^2} = L \sqrt{1 + \frac{x^2}{L^2} + \frac{ax}{L} + \frac{a^2}{4L^2}}$$

$$\text{on a } x \ll L \text{ et } a \ll L$$

$$\text{DL}_2: \overline{S_1P} \approx L \left( 1 + \frac{1}{2} \left( x + \frac{a}{2} \right)^2 \right) \text{ et } \overline{S_2P} \approx L \left( 1 + \frac{1}{2} \left( x - \frac{a}{2} \right)^2 \right)$$

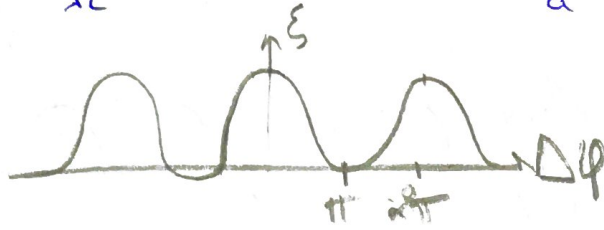
$$\text{Ainsi } \delta = 2 \left( \frac{ax}{2L} \right) = \frac{ax}{L}.$$



### 3. Analyse de l'éclairement

②

$$\xi = 2\xi_0 \left( 1 + \cos\left(\frac{2\pi ax}{\lambda L}\right) \right) \quad \text{la période } i = \frac{\lambda L}{a} \text{ de l'interférence}$$



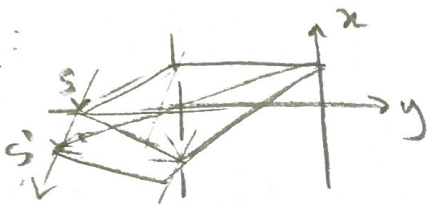
A.N:  $L = 2,0 \text{ m}$   
 $\lambda = 530 \text{ nm}$   
 $i = 2,7 \text{ mm}$   
 $\Rightarrow a = 0,46 \text{ mm}$   
 mesuré

### III. Cohérences

#### 1. Cohérences spatiales

Sources réelles et non ponctuelles: effet!

Cas 1:

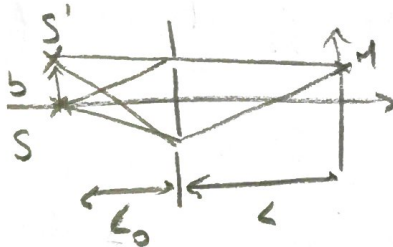


Supposons  $S$  et  $S'$  incohérentes

$$\xi_{\text{tot}} = \xi + \xi'$$

$\delta' = \delta \Rightarrow$  figure plus éclairée mais inchangée

Cas 2:



$S'$ :  $\delta'$  entre  $S'$  et les fentes

On trouve  $\delta' = \frac{ab}{L_0}$

$$\xi' = 2\xi_0 \left( 1 + \cos\left(\frac{2\pi ax}{\lambda L} + \underbrace{\frac{2\pi ab}{\lambda L_0}}_{=\text{cste}}\right) \right)$$

on observe un décalage des franges

$S$ : | | |  $\Rightarrow$  brouillage éventuel  
 $S'$ : | | |

Elargissement fente largeur finie: 
$$\xi = 2\xi_0 \left( 1 + \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \cos\left(\frac{2\pi ax}{\lambda L} + \frac{2\pi ab}{\lambda L_0}\right) ds \right)$$

$$= 2\xi_0 \left( 1 + \cos\left(\frac{2\pi ax}{\lambda L}\right) \text{sinc}\left(\frac{\pi ab}{\lambda L_0}\right) \right) \neq f(u).$$

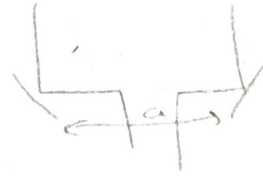
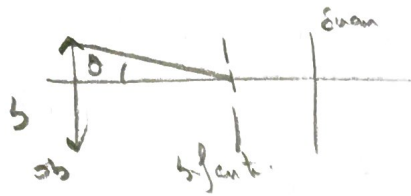
soit  $c = \left| \text{sinc}\left(\frac{\pi ab}{\lambda L_0}\right) \right|$



spatialement cohérent si  $\underline{ab \lesssim \lambda L_0}$

Si taille fixée de la source  $a < \frac{\lambda b}{L_0} = \frac{\lambda}{\theta}$  où  $\theta$  = diamètre apparent

Exemple étoile

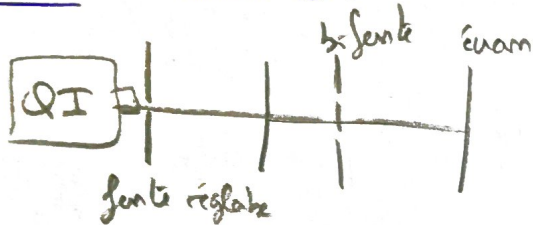


Si rayon trop séparés ( $\theta$  grand), plus d'interférences

A.N:  $\theta = \frac{1}{2}^\circ$   $\lambda = 500 \text{ nm} \Rightarrow a \approx 6.10^{-5} \text{ m}$

Rmq: on peut s'affranchir de la cohérence spatiale avec un interféromètre à division d'amplitude.

Appl. cat°: mesure  $\theta$ .



Expérience de brouillage

remplace écran par CCD.

## 2. Cohérence temporelle

Plus monochromatique mais à une largeur spectrale  $\xi_v = \frac{dS}{dE}$

$$\xi \propto \int_{\nu_0 - \frac{\Delta\nu}{2}}^{\nu_0 + \frac{\Delta\nu}{2}} \xi_v (1 + \cos(2\pi\nu\tau)) d\nu$$

$$\delta = c\tau$$



$$\propto \frac{(1 + \sin_c(\pi\Delta\nu\tau)) \cos(2\pi\nu\tau)}{f(u)}$$

Interprétation non quantique: modèle train d'onde. (pas le tps)

ou 1 doublet en source 2 freq  $\lambda$  et  $\lambda + \Delta\lambda$

ou interprète tr avec train d'onde.

ou exemple avec la cohérence tp.

Questions : Pourquoi 2 sources  $\frac{3.5}{x}$   $\frac{2.5}{x}$   $\frac{2.5}{x}$  éloigné & équivalent à 2 fentes + large de ce montage

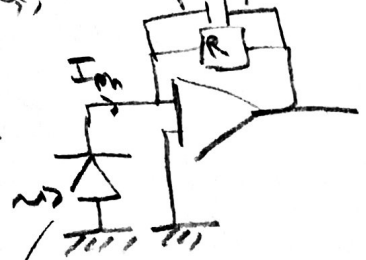
Pourquoi  $\vec{E}_1$  et  $\vec{E}_2 \parallel$  ? pour avoir  $\theta$  entre les 2  $\vec{E}_1$   $\vec{E}_2$

$$I = I_1 + I_2 + \sqrt{I_1 I_2} \cos(\Delta\phi) \cos(\theta)$$

\* Est-ce que  $\vec{E}_1 \perp \vec{E}_2$  ? Non utiliser un polariseur.

- Application à la physique moderne.  
 ↳ mesurer la rugosité d'une surface

- En optique, on ne peut pas mesurer la  $\phi$  de l'onde. On ne mesure que  $I$

Photodiode:  très long et dr - lt très rapide avec RV.

$\tau_{res} = 10^{-9} s$  limite par  $C$  et  $R$  équivalent à photodiode.

I. 1. + rapide. tableau

Détecteur sensible à  $E^2$  et pas à  $H$  ?  
 ↳ sensible vectoriel -

↳ pour dispositif à division de l'amplitude  
 2 sources ponctuelles interfèrent toujours mais interférence n. localise

pas d'appart' de  $x$  de  $\phi$    $\Rightarrow$  frange.

↳ du dispositif à division du front d'onde  $\neq$  de  $\phi$  dès le début.