

INTERFERENCE À DEUX ONDES

1

- Notion de cohérence

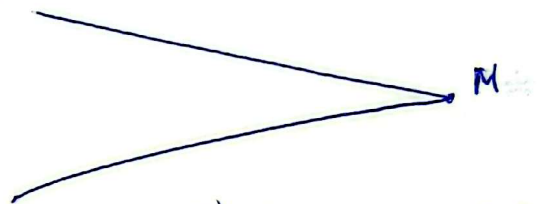
- Application aux systèmes à $\left\{ \begin{array}{l} \text{division de front d'onde} \\ \text{division d'amplitude} \end{array} \right.$

- On va considérer la caractéristique vectorielle de l'onde lumineuse $\rightarrow$ on regarde le champ $\vec{E}$

$$S_1 \quad \vec{E}_1(M) = \vec{E}_1 \cos(\omega_1 t + \phi_1(M))$$

- PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE

On veut calculer l'éclairement $S_2 \quad \vec{E}_2(M) = \vec{E}_2 \cos(\omega_2 t - \phi_2(M))$



- éclairement
 $\downarrow$
- Sources incohérentes $\Rightarrow I(M) = I_1(M) + I_2(M)$

(exemple: deux lampes dans une pièce)

$\rightarrow$ Pas d'interférence $\Rightarrow$ on additionne les éclairements
(car pas terme d'interférence)

- Sources cohérentes $S_1, S_2 \Rightarrow I(M) \neq I_1(M) + I_2(M)$

= Cas général : $\vec{E} = \vec{E}_1(M) + \vec{E}_2(M)$

- Détecteurs : sensibilité à l'énergie $|\vec{E}|^2$ (Poynting)
(à la puissance)

Détecteurs: sensibles à $\langle I(M) \rangle = \langle (\vec{E}_1(M) + \vec{E}_2(M))^2 \rangle$

$\langle \rangle$ car le temps de repose des detecteurs est beaucoup plus long de la periode de l'onde

$T_{\text{onde optique}} \sim 10^{-14} \text{ s}$

Σ detecteurs : photodiode 10^{-6} s

• oeil $\sim 0,1 \text{ s}$

(persistance retinienne de l'oeil $\rightarrow \frac{24}{1000} \text{ image/s}$
au cinema)

• CCD (capteurs) 10^{-2} s

Eclairement : $I(M)$

$$I(M) = \left\langle E_1^2 \cos^2(\omega_1 t - \phi_1(M)) + E_2^2 \cos^2(\omega_2 t - \phi_2(M)) + 2 \vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2 \cos(\omega_1 t - \phi_1(M)) \cos(\omega_2 t - \phi_2(M)) \right\rangle$$

Termine d'interference

$$= \frac{E_1^2}{2} + \frac{E_2^2}{2} + \left\langle \vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2 \left(\cos((\omega_1 + \omega_2)t - \phi_1(M) - \phi_2(M)) + \cos((\omega_1 - \omega_2)t - \phi_1 + \phi_2) \right) \right\rangle$$

$$= I_1(M) + I_2(M) + \text{TERME D'INTERFERENCE}$$

On reconstruit I_1 et I_2 et on voit ~~l'origine~~ des interference

= Terme d'interference :

$$\underbrace{\langle \vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2 \rangle}_{(1)} = \underbrace{\cos((\omega_1 + \omega_2)t - \phi_1 - \phi_2)}_{(2)} + \underbrace{\cos((\omega_1 - \omega_2)t - \phi_1 + \phi_2)}_{(3)}$$

② $\omega_1 + \omega_2$ est petit $\sim 10^{-14}$ s $\Rightarrow$ terme oscillante
donc l'intégral sur le temps de réponse
du détecteur est nul ($\tau_{\text{détecteur}} > 10^{-14}$ s)

③ $\omega_1 - \omega_2$ aussi rapidement oscillante sauf si $\omega_1 = \omega_2 = \omega$
 $\Rightarrow$ SOURCES SYNCHRONES

Cette condition est nécessaire pour avoir des
interférences (sources cohérentes) mais elle n'est
pas suffisante

④ ~~Le~~ problème de la polarisation :

$\vec{E}_1$ et $\vec{E}_2$ avec des polarisation // au
au moins proches pour avoir interférences

$$\vec{E}_1 \perp \vec{E}_2 \Rightarrow I(M) = I_1(M) + I_2(M)$$

$\Rightarrow$ On se place dans l'approximation scalaire $\vec{E}_1 // \vec{E}_2$

NOTION DE COHÉRENCE TEMPORELLE

5

Longueurs / TEMPS COHÉRENCE

- Train d'onde émis par désexcitation des atomes de la source (émission de durée finie)

→ Toute raie spectrale possède une largeur de fréquence pour 3 raisons :

1) Durée finie train d'onde : τ

~~provenant~~ D'après la relation d'Heisenberg $\Delta E = \overset{\substack{\text{constant de} \\ \text{Planck}}}{h} / \tau$

$$\Rightarrow \Delta \nu = 1/\tau = \Delta E/h$$

2) Effet Doppler : lumière émise par des atomes en mouvement avec différents vitesses par rapport à l'observateur

3) Collision entre atomes : elles peuvent stopper l'émission donc diminuer τ

- Emission de la lumière:

Trajet d'onde émise par des excitations des atomes
dans la source avec des déphasages aléatoires

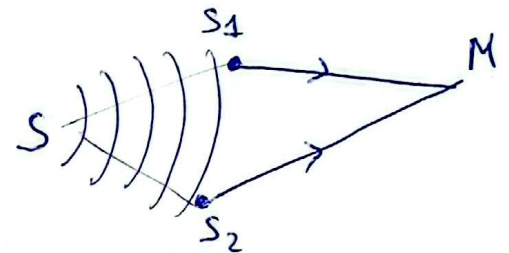
$\Rightarrow \langle \cos(\varphi_1(M) - \varphi_2(M)) \rangle$ peut être non nul

que si on considère la interférence
d'un même train d'onde.

C'est pour ça qu'on travaille

soit en division d'amplitude (Michelson)

soit en division de ~~front~~ ^{front} d'onde (Young)



En ce cas le terme $\varphi_1(M) - \varphi_2(M)$ se réduit

à la différence de marche δ

$$\delta = (S_2M) - (S_1M)$$

ONDES COHERENTES : la différence de phase est

une constante, indépendante du temps.

• Pour ça il faut s'abstenir des termes de
déphasage à la source et considérer même train d'onde
(COMMENTAIRE SUR MICHELSON SOURCE ETENDUE)

OBS: Dans la démonstration on est parti avec des ondes monochromatiques pour simplicité mais ça n'existe pas en nature

• On voit aussi : $I_i = \frac{E_i^2}{2} \Rightarrow E_i = \sqrt{2} I_i$

• FORMULE DE FRESNEL : pour l'éclairement

$$I(M) = I_1(M) + I_2(M) + 2\sqrt{I_1 I_2} \langle \cos \phi(M) \rangle$$

- Donc en addition toujours les amplitudes sauf que ~~seulement~~ quand le terme d'interférence est nul ça se réduit à additionner les intensités
- IMPORTANT: il faut toujours partir du même train d'onde pour avoir des interf.f. pour s'affranchir du terme de déphasage à la source

Condition pour des ondes cohérentes

- Synchrones = même pulsation
- Polarisation des champs proche
- Déphasage constante (partis d'un même train d'onde)

- Formule de Fresnel en complexe
(avec hypothèse de cohérence)

- Approximation scalaire (vibration lumineuse)

$$s(M,t) = s_1(M,t) + s_2(M,t) \simeq s_{20} \cos(\omega t - \varphi_1(M)) + s_{20} \cos(\omega t - \varphi_2(M))$$

complexe

$$\underline{s}(M,t) = s_{01} e^{j(\omega t - \varphi_1)} + s_{02} e^{j(\omega t - \varphi_2)}, \quad \varphi_1 - \varphi_2 = \text{cte}$$

(il faudra que considérer les parties réelles)

$$\text{En } \mathbb{R} : I_i(M) = \langle s_i^2(M) \rangle = \frac{s_{01}^2}{2}$$

$$\text{En } \mathbb{C} : I_i(M) = \langle \underline{s}_i \cdot \underline{s}_i^* \rangle \cdot \frac{1}{2}$$

En Complexe : $\underline{\Delta}(M) = \lambda_{01} e^{j(\omega t - \varphi_1)} + \lambda_{02} e^{j(\omega t - \varphi_2)}$ 9

$$I(M) = \frac{1}{2} \langle \underline{\Delta}(M) \cdot \underline{\Delta}(M)^* \rangle$$

$$= \frac{1}{2} \left(\lambda_{01}^2 + \lambda_{02}^2 + \lambda_{01} \lambda_{02} (e^{j(\varphi_2 - \varphi_1)} + e^{-j(\varphi_2 - \varphi_1)}) \right)$$

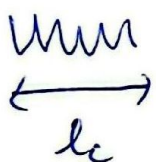
$$= \frac{1}{2} \lambda_{01}^2 + \frac{1}{2} \lambda_{02}^2 + 2 \lambda_{01} \lambda_{02} \langle \cos(\varphi_2 - \varphi_1) \rangle$$

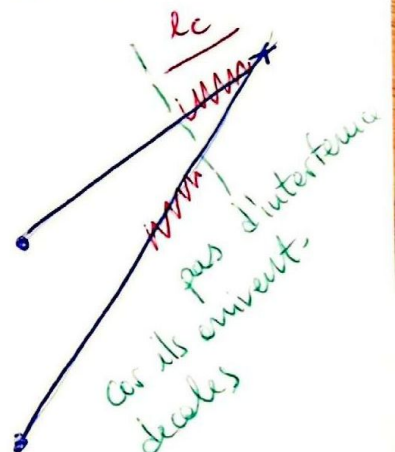
$$= I_1 + I_2 + 2 \sqrt{I_1 I_2} \cos \varphi$$

IMPORTANT : $\varphi = \text{cte} \Rightarrow$ interference issue par même train d'onde

• Différence de marche pas trop importante

$$\varphi_2 - \varphi_1 = \frac{2\pi \delta}{\lambda_0} = \frac{2\pi}{\lambda_0} [(S_2 M) - (S_1 M)]$$


 lc
 Zc finie et donc train d'onde de longueur finie



$\delta < lc$

il faut toujours faire interférer la lumière produite dans une unique excitation d'atomes

→ EXEMPLE : Traits jaunes : on prends la interference loin de axe 0