⚠ ⚠ ⚠ Définition de l'interférence [M.-N. Sanz / Physique - Tout-En-Un, Chapitre 21 (Superposition d'ondes lumineuses), p. 713]

« On dira qu'il y a interférences à chaque fois que la superposition de plusieurs ondes électromagnétiques diffère de la superposition des intensités »

IL Y A INTERFÉRENCE EN OPTIQUE QUE LORSQUE LES ONDES SONT COHÉRENTES

D'après CHAT GPT :

les champs électromagnétiques $(\vec{E}, \vec{B})$ interfèrent toujours !!!

$$\begin{cases} \vec{E}_{TOT} = \vec{E_1} + \vec{E_2} & \text{avec } \langle \vec{E_1} \rangle_\tau = \langle \vec{E_2} \rangle_\tau = \vec{0} \\ \vec{B}_{TOT} = \vec{B_1} + \vec{B_2} & \text{avec } \langle \vec{B_1} \rangle_\tau = \langle \vec{B_2} \rangle_\tau = \vec{0} \end{cases}$$

MAIS CE N'EST PAS CE QU'ON APPELLE UNE INTERFÉRENCE EN OPTIQUE !!!

L'INTERFÉRENCE EN OPTIQUE CORRESPOND À LA SOMME DE L'ÉNERGIE CAPTÉE (MOYENNE TEMPORELLE) DE 2 CHAMPS QUI NE CORRESPOND PAS À L'ÉNERGIE ÉMISE (MOYENNE TEMPORELLE) PAR LES 2 CHAMPS SÉPARÉMENT !!!

⇒ L'INTERFÉRENCE EST UNE NOTION PUREMENT

$$\langle E_{TOT} E_{TOT}^* \rangle_\tau = \langle E_1 E_1^* \rangle_\tau + \langle E_2 E_2^* \rangle_\tau + \text{Interférence !!!}$$

$$\equiv \quad I_{TOT} = I_1 + I_2 + \text{Interférence}$$

$$\Rightarrow I_{TOT} = I_{10}+I_{20} + \underbrace{2\left\langle \vec{E}_{10}\cdot\vec{E}_{20} \cos\left((\omega_1+\omega_2)t-(\phi_1+\phi_2)\right)\right\rangle_\tau + 2\left\langle \vec{E}_{10}\cdot\vec{E}_{20}\cos\left((\omega_1-\omega_2)t+\phi_1-\phi_2\right)\right\rangle}_{\text{TERME D'INTERFÉRENCE}}$$

INTERFÉRENCES POSSIBLES $\Leftrightarrow$ ONDES COHÉRENTES

DÉF: LES INTERFÉRENCES SONT VISIBLES SI ET SEULEMENT SI LE TERME D'INTERFÉRENCE EST NON NUL, DANS CE CAS ON DIT QUE LES ONDES SONT COHÉRENTES

- 1ère condition de cohérence :

$$\langle \vec{E}_{10}\cdot\vec{E}_{20}\rangle_\tau \neq \vec{0}$$ $\Rightarrow$ la polarisation de $\vec{E}_{10}$ et $\vec{E}_{20}$ ne doit pas être orthogonale (sinon loi de Malus : $I = I_0\cos^2(\widehat{\vec{E}_{10},\vec{E}_{20}})$)

- 2ème condition de cohérence :

Pour que la moyenne temporelle (l'intervalle minimal de mesure temporelle du détecteur optique impose un moyennage temporel sur le signal détecté)

$\omega_1 = \omega_2$

$$\Rightarrow I_{TOT} = I_{10}+I_{20}+ \underbrace{2\langle E_{10}E_{20}\cos(2\omega t-\phi_1+\phi_2)\rangle_\tau}_{=0} + 2\langle E_{10}E_{20}\cos(\overbrace{\phi_1-\phi_2}^{\Delta\phi})\rangle_\tau$$

$$\Rightarrow I_{TOT} = I_{10}+I_{20}+2E_{10}E_{20}\cos(\Delta\phi)$$

$$\boxed{\Rightarrow I_{TOT} = I_{10}+I_{20}+\underbrace{2\sqrt{I_{10}I_{20}}\cos(\Delta\phi)}_{\text{Terme d'interférence}}}$$ (Formule de Fresnel)

$$I_{TOT}^{moy} = \frac{I_{10}+I_{20}}{2?}$$

- Interférences constructives, valeur de l'intensité maximale $I_{TOT}^{max} = I_{10}+I_{20}+2\sqrt{I_{10}I_{20}}$

- Interférences destructives, valeur de l'intensité minimale $I_{TOT}^{min} = I_{10}+I_{20}-2\sqrt{I_{10}I_{20}}$

contraste

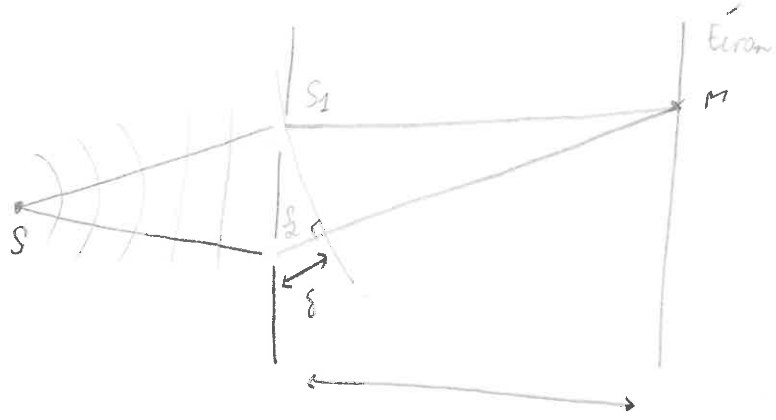
$$\mathcal{C} = \frac{I_{TOT}^{max}-I_{TOT}^{min}}{I_{TOT}^{max}+I_{TOT}^{min}} = \frac{2(I_{10}+I_{20}+\sqrt{I_{10}I_{20}})}{2(I_{10}+I_{20})} = \frac{1+2\frac{\sqrt{I_{10}I_{20}}}{I_{10}+I_{20}}}{1}$$

$I_{TOT}^{max}+I_{TOT}^{min} = I_{moy}$

$$\boxed{\Rightarrow I_{TOT} = (I_{10}+I_{20})(1+\mathcal{C}\cos(\Delta\phi))}$$

Trous de Young . cas idéal :

- Source ponctuelle
- Ondes purement monochromatiques



On se place en champ lointain (condition de Fraunhofer)

$$\vec{E}_{TOT} = \vec{E}_{S_1} + \vec{E}_{S_2}$$

mais

$$I_{TOT} \sim \langle \vec{E}_{TOT} \vec{E}_{TOT}^* \rangle_\tau$$

$$= \langle (\vec{E}_{S_1} + \vec{E}_{S_2})(\vec{E}_{S_1}^* + \vec{E}_{S_2}^*) \rangle_\tau$$

$$= \langle E_{S_1} E_{S_1}^* + E_{S_2} E_{S_2}^* + \vec{E}_{S_2} \vec{E}_{S_1}^* + \vec{E}_{S_1} \cdot \vec{E}_{S_2}^* \rangle_\tau$$

" le cos est raciste et menteur " :

$$\cos(a+b) = \cos(a)\cos(b) - \sin(a)\sin(b)$$
$$\cos(a-b) = \cos(a)\cos(b) + \sin(a)\sin(b)$$
$$\sin(a+b) = \cos(a)\sin(b) + \sin(a)\cos(b)$$
$$\sin(a-b) = \cos(a)\sin(b) - \sin(a)\cos(b)$$

$$\Rightarrow \cos(a)\cos(b) = \cos(a+b) + \cos(a-b)$$

En supposant que $\vec{E}_{S_1}$ et $\vec{E}_{S_2}$ peuvent être décrites par des ondes planes monochromatiques (approximation de Fraunhofer car l'écran est loin de la source secondaire

$$\vec{E}_{S_1} = \mathrm{Re}\left[\vec{E}_{10} e^{i(\omega_1 t - \phi_1)}\right] = \vec{E}_{10} \cos(\omega_1 t - \phi_1)$$

$$\Rightarrow I_{TOT} \sim \langle E_{10}^2 \cos^2(\omega_1 t - \phi_1) + E_{20}^2 \cos^2(\omega_2 t - \phi_2) + 2\vec{E}_{10} \cdot \vec{E}_{20} \cos(\omega_1 t - \phi_1)\cos(\omega_2 t - \phi_2) \rangle_\tau$$

$$\sim \langle \frac{E_{10}^2}{2}(1 + \cos(2\omega_1 t - 2\phi_1)) \rangle_\tau + \langle \frac{E_{20}^2}{2}(1 + \cos(2\omega_2 t - 2\phi_2)) \rangle_\tau + 2\langle \vec{E}_{10} \cdot \vec{E}_{20} \cos(\omega_1 t - \phi_1)\cos(\omega_2 t - \phi_2) \rangle_\tau$$

$$\sim I_{10} + I_{20} + \langle 2 \vec{E}_{10} \cdot \vec{E}_{20} \cos(\omega_1 t - \phi_1)\cos(\omega_2 t - \phi_2) \rangle_\tau$$

$$\sim I_{10} + I_{20} + 2\langle \vec{E}_{10} \cdot \vec{E}_{20} \left(\cos((\omega_1 + \omega_2)t - (\phi_1 + \phi_2)) + \cos((\omega_1 - \omega_2)t + \phi_2 - \phi_1) \right) \rangle_\tau$$

Phase et différence de marche :

Phase des ondes à l'origine (sources secondaires)

$$\Delta\phi(M) = \left(\varphi(S_2M) + \varphi_{02}\right) - \left(\varphi(S_1M) + \varphi_{01}\right)$$

En supposant que les sources secondaires sont créées par la même source primaire (ce qui est généralement le cas) : $\varphi_{01} = \varphi_{02} = \varphi_0$

$$\Rightarrow \Delta\phi(M) = \left(\varphi(S_2M) - \varphi(S_1M)\right)$$

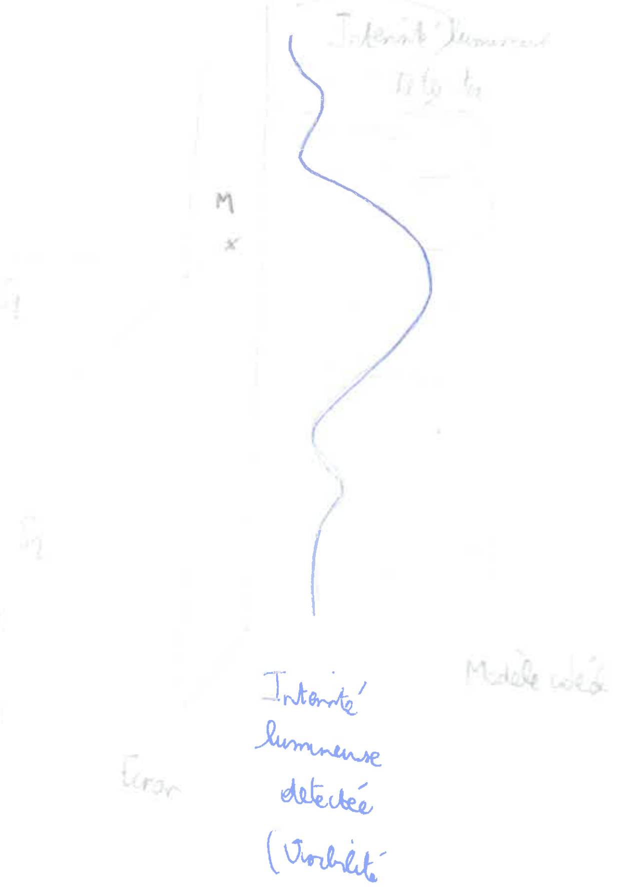
Différence de marche

$$\Rightarrow \Delta\phi(M) = \frac{2\pi}{\lambda}\left(S_2M - S_1M\right) = \frac{2\pi}{\lambda}\,\delta_{12}(M)$$

⚠⚠⚠ UNE DIFFÉRENCE DE MARCHE SE MESURE PAR RAPPORT À UN POINT M DE RÉCEPTION (ENTRE 2 SOURCES) !!!

Définition de l'ordre d'interférence :

$$p(M) = \frac{\Delta\phi(M)}{2\pi} = \frac{\delta_{12}(M)}{\lambda}$$



Lorsque p est entier ($\in \mathbb{Z}$) : $I_{TOT} = I_{max}$ (frange brillante)

Lorsque p est un demi-entier : $I_{TOT} = I_{min}$ (frange sombre)

Que vaut la différence de marche :

car la source principale est supposée équidistance des sources secondaires S_1 et S_2

$$\delta(M) = n\Big((SS_2 + S_2M) - (SS_1 + S_1M)\Big) \overset{\uparrow}{=} n\,(S_2M - S_1M)$$

$$S_1M = \sqrt{\|\overrightarrow{S_1M}\|^2} = \sqrt{\|\overrightarrow{S_1O} + \overrightarrow{OM}\|} = \sqrt{S_1O^2 + OM^2 + 2\,\overrightarrow{S_1O}\cdot\overrightarrow{OM}}$$

En posant $r = OM$ pour alléger les notations :

$$S_1M = \sqrt{\frac{a^2}{4} + r^2 + 2\,\overrightarrow{S_1O}\cdot\overrightarrow{OM}}$$

$$= \sqrt{r^2\left(1 - 2\,\underbrace{\frac{\overrightarrow{OM}\cdot\overrightarrow{OS_1}}{r^2}}_{\simeq \frac{a}{D}} + \underbrace{\frac{a^2}{4}\times\frac{1}{r^2}}_{\frac{a^2}{D^2}}\right)}$$

Comme $r = OM = D \gg a$, alors le D.L. de la racine carré autour de 1 donne

Terme négligeable devant les autres termes

$$S_1M \simeq r\left(1 - \frac{\overrightarrow{OM}\cdot\overrightarrow{OS_1}}{r^2} + \frac{a^2}{8r^2}\right)$$

$$\Rightarrow S_1M \simeq r\left(1 - \frac{\overrightarrow{OM}\cdot\overrightarrow{OS_1}}{r^2}\right)$$

$$\Rightarrow S_1M \simeq r - \frac{\overrightarrow{OM}}{\|\overrightarrow{OM}\|}\cdot\overrightarrow{OS_1} = r - \overrightarrow{u_{OM}}\cdot\overrightarrow{OS_1}$$

De la même manière :

$$S_2M \simeq r - \overrightarrow{u_{OM}}\cdot\overrightarrow{OS_2}$$

$$\Rightarrow S_2M - S_1M = \overrightarrow{u_{OM}}\cdot\left(\overrightarrow{OS_1} - \overrightarrow{OS_2}\right) = \overrightarrow{u_{OM}}\cdot\overrightarrow{S_2S_1}$$

Ainsi : $\delta(M) = n\,(S_2M - S_1M) = n\,\overrightarrow{u_{OM}}\cdot\overrightarrow{S_2S_1}$

$$\Rightarrow \Delta\phi(M) = \left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\,n\,\overrightarrow{u_{OM}}\right)\cdot\overrightarrow{S_2S_1} = \overrightarrow{k_{OM}}\cdot\overrightarrow{S_2S_1}$$

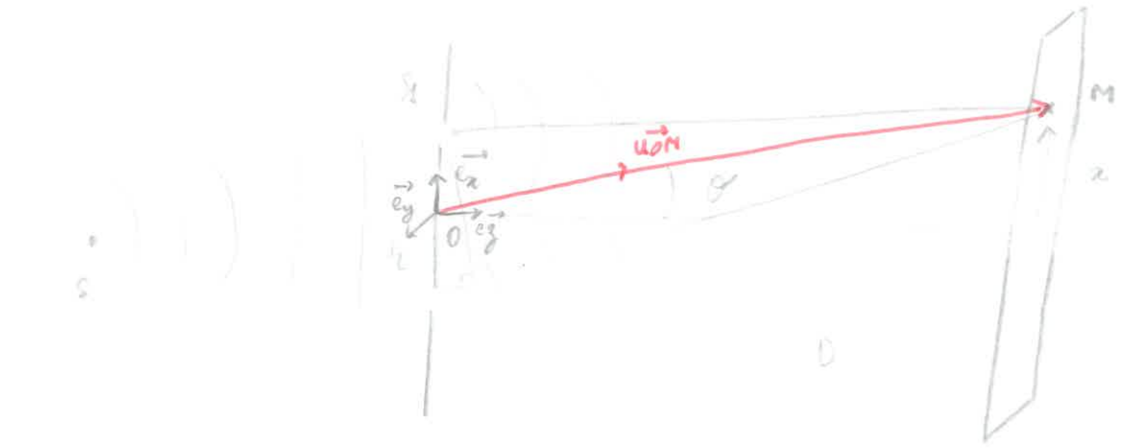
Démonstration rigoureuse et simple de la différence de Marche. [Elearning-Physique / la différence de marche calculée par 3 manières différentes]

Autre démonstration (la plus rapide et la moins rigoureuse).

Principe de retour inverse de la lumière, théorème de Malus

$$\tan\theta = \frac{\delta}{a} \qquad \tan\theta = \frac{x}{D} \implies \boxed{\delta = \frac{a x}{D}}$$

Application concrète aux trous d'Young



$\tan \theta = \frac{x}{D}$

D'après la formule de Fresnel:

Approximation petits angles : $\theta \approx \frac{x}{D}$

$$I(M) = I_{moy}\left(1 + \mathcal{C} \cos\left(\phi(M)\right)\right)$$

et en utilisant la différence de marche (vectorialisée):

$$\phi(M) = \underset{u_{OM}}{\vec{k}} \cdot \vec{S_2 S_1}$$

il ne s'agit pas de n'importe quel $\vec{k}$ mais du $\vec{k}$ moyen projeté suivant $\vec{u_{OM}}$ (le milieu des deux sources secondaires)

⇒ UNE DÉFINITION PLUS PRÉCISE EST : $\phi(M) = \frac{2\pi}{\lambda}\, \delta(M) = \frac{2\pi}{\lambda_0}\, n\, \delta(M) = \frac{2\pi}{\lambda_0}\, n\, \vec{u_{OM}} \cdot \vec{S_2 S_1}$

POUR UN CALCUL PRÉCIS DE $\phi(M)$, IL FAUT PROJETER $\vec{u_{OM}}$ ET $\vec{S_2 S_1}$ DANS LA BASE CARTÉSIENNE :

$$\vec{OM} = \begin{vmatrix} x \\ y \\ D \end{vmatrix} \qquad \underset{\underset{\frac{\vec{OM}}{\|\vec{OM}\|}}{\parallel}}{\vec{u_{OM}}} = \begin{vmatrix} x/D \\ y/D \\ 1 \end{vmatrix} \qquad \vec{S_2 S_1} = \begin{vmatrix} -\frac{2a}{2} = -a \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

$$\|\vec{OM}\| = \sqrt{x^2 + y^2 + D^2} \simeq D$$

$$\delta(M) = \vec{u_{OM}} \cdot \vec{S_1 S_2} = -\frac{ax}{D}$$

$$\Rightarrow \phi(M) = -\frac{2\pi}{\lambda}\frac{ax}{D}$$

$$\Rightarrow I = I_{moy}\left(1 + \mathcal{C} \cos\left(\Delta\phi\right)\right)$$

$$= I_{moy}\left(1 + \mathcal{C} \cos\left(-\frac{2\pi}{\lambda}\frac{ax}{D}\right)\right)$$

$$\boxed{= I_{moy}\left(1 + \mathcal{C} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}\frac{ax}{D}\right)\right)}$$

$x(M)|_{\text{ordre } p+1} = (p+1)\dfrac{\lambda_0 D}{n a}$

$\lambda =$

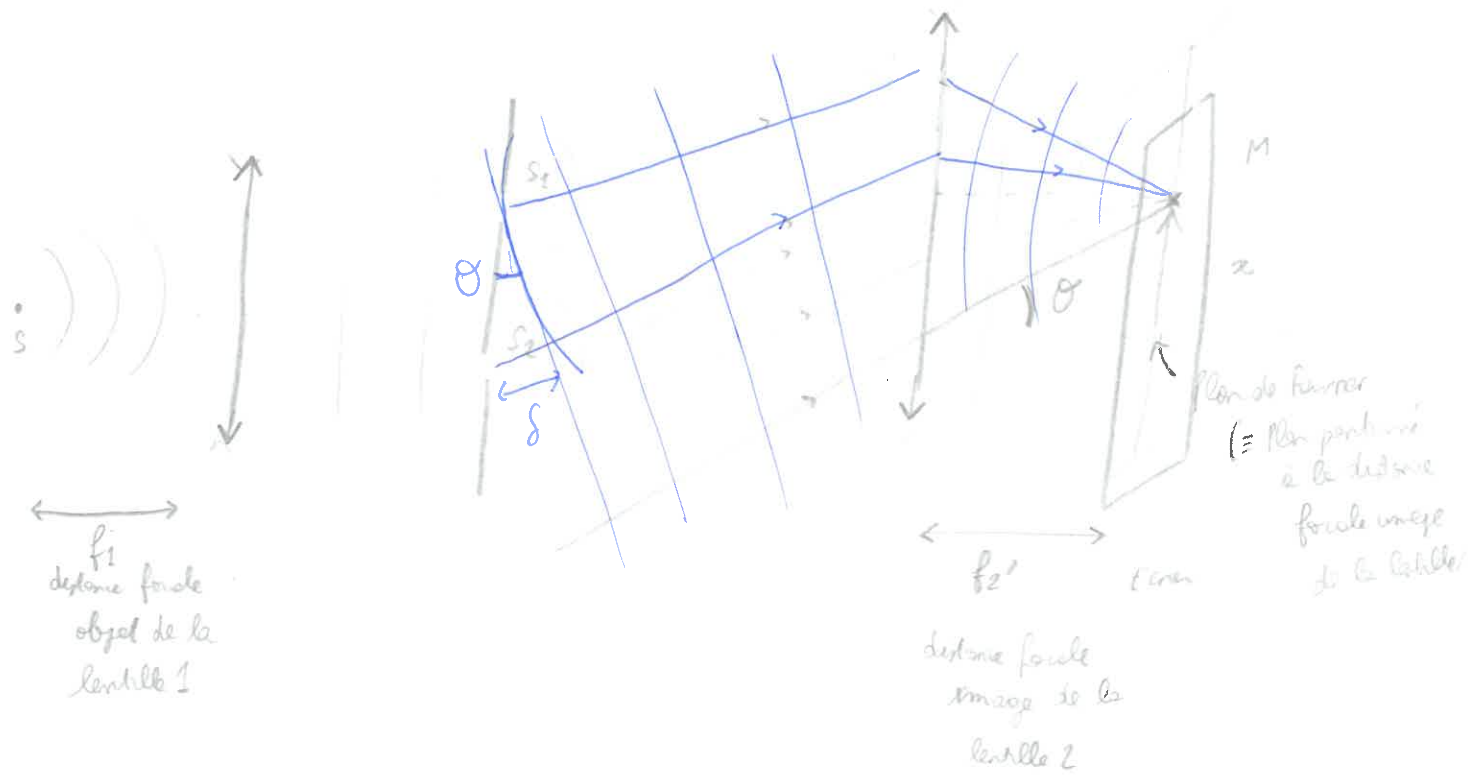
$x(M)|_{\text{ordre } p} = p\,\dfrac{\lambda_0 D}{n a}$

Mesure quantitative :

interfrange = périodicité spatiale des interférences sur l'écran

1) $i = \dfrac{\lambda_0}{n}\dfrac{D}{a} = \lambda \dfrac{D}{a}$

Application concrète aux trous d'Young avec lentilles (diffraction à l'infini) (montage de Fraunhofer) :



⚠ ⚠ ⚠ CETTE FOIS LA TAILLE DE LA TACHE NE DÉPEND PLUS DE LA DISTANCE [Elearning - Physique / Diffraction à l'infini]

- PRINCIPE DE RETOUR INVERSE DE LA LUMIÈRE + THÉORÈME DE MALUS
- STIGMATISME APPROCHÉ DE LA LENTILLE (≡ LENTILLE TRÈS FINE, LES RAYONS QUI PASSENT PAR DEUX ENDROITS DIFFÉRENTS DE LA LENTILLE, S'ILS PARTENT DU MÊME POINT ARRIVENT TOUS DEUX EN UN SEUL AUTRE POINT

$\delta = \tan(\theta) \times a$

Approximation petits angles ≡ Conditions de Gauss ≡ Approximation paraxiale

$\delta \sim \theta \times a$

D'autre part, $\tan(\theta) = \frac{x}{f_2'} \Rightarrow \theta \sim \frac{x}{f_2'}$

$\boxed{\Rightarrow \delta \sim \frac{x \times a}{f_2'}}$

$$\Delta\phi(M) = \frac{2\pi\,\delta(M)}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda}\,\frac{n a}{f'}$$

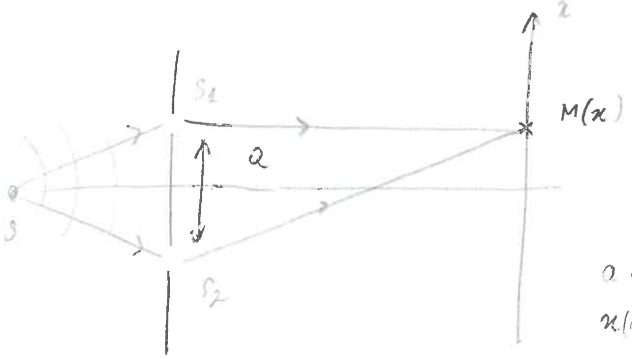
$$p(M) = \frac{\delta(M)}{\lambda} = \frac{n a}{f'}$$

$$I(M) = 2I_{moy}\left(1 + \mathcal{C}\cos\left(\frac{2\pi\, a x}{\lambda f'}\right)\right)$$

$$\Rightarrow I(M) = 2I_{moy}\left(1 + \mathcal{C}\cos\left(2\pi\, i\, x\right)\right) \qquad \Rightarrow i = \frac{\lambda f'}{a}$$

interfrange (= périodicité spatiale)

Source réelle : cohérence temporelle

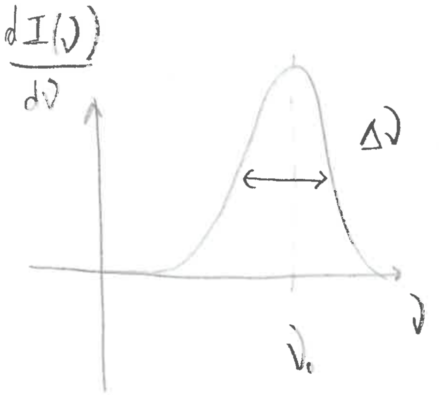


$a \ll D$

x (du point M) $\ll D$

Pour une lumière polychromatique

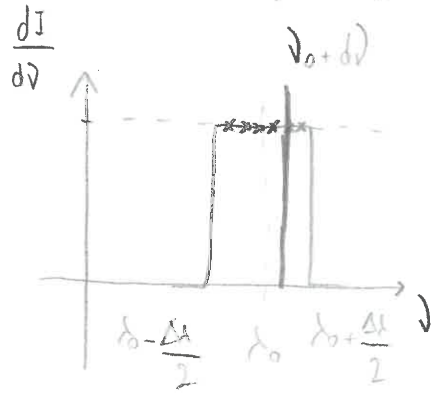
Densité spectrale



$$I(x) = 2I_0\left(1 + \mathcal{C}\cos\left(\frac{2\pi\delta}{\lambda}\right)\right)$$

$\mathcal{C} = 1$ (s'il s'agit de la même source)

modélisé par



⚠ ⚠ ⚠ LA LUMIÈRE POLYCHROMATIQUE EST MODÉLISÉE PAR UNE INFINITÉ DE SOURCE MONOCHROMATIQUES NON COHÉRENTES CAR ASYNCHRONES !!!

$$I(x) = \sum_i I(x;\omega_i) \qquad \text{en continu} \qquad I(x) = \int \frac{dI(x)}{d\nu}$$

$$\frac{dI(x)}{d\nu} = 2I_0\, d\nu\left(1 + \cos\left(\frac{2\pi\nu}{c}\delta\right)\right)$$

Comme il s'agit de sources incohérentes :

$$I(x) = \int dI(x) = \int \frac{\partial I(x,\nu)}{\partial \nu} d\nu = \int_{\nu_0 - \frac{\Delta\nu}{2}}^{\nu_0 + \frac{\Delta\nu}{2}} 2I_0\left(1 + \cos\left(\frac{2\pi\nu}{c}\delta\right)\right) d\nu$$

$$\Rightarrow E(x) = 2E_0 \left[\nu + \frac{c}{2\pi\delta} \sin\left(\frac{2\pi\nu\delta}{c}\right)\right]_{\nu_0 - \frac{\Delta\nu}{2}}^{\nu_0 + \frac{\Delta\nu}{2}}$$

$$= 2E_0 \left[\Delta\nu + \frac{c}{2\pi\delta}\left(\sin\left(\frac{2\pi\left(\nu_0 + \frac{\Delta\nu}{2}\right)}{c}\delta\right) - \sin\left(\frac{2\pi\left(\nu_0 - \frac{\Delta\nu}{2}\right)\delta}{c}\right)\right)\right]$$

$$\sin(p) - \sin(q) = 2\cos\left(\frac{p+q}{2}\right)\sin\left(\frac{p-q}{2}\right)$$

$$= 2E_0\nu \left[1 + \frac{c}{2\pi\delta\nu} \sin\left(\frac{2\pi\delta\Delta\nu}{c}\right)\cos\left(\frac{2\pi\delta\nu_0}{c}\right)\right]$$

$$= 2E_0\nu \left[1 + \underbrace{\mathrm{sinc}\left(\frac{2\pi\delta\Delta\nu}{c}\right)}_{v(\delta)} \underbrace{\cos\left(\frac{2\pi\delta\nu_0}{c}\right)}_{\text{Pattern}}\right]$$

$v(\delta)$ (facteur de visibilité (ou de brouillage)) (Enveloppe)

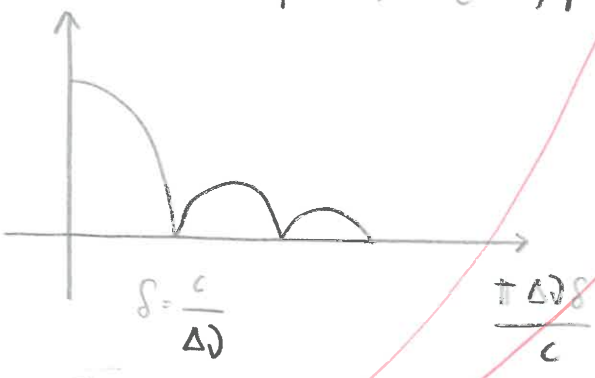
⚠⚠⚠ SI À LA PLACE D'UNE FONCTION PORTE, AVEC UN PROFIL GAUSSIEN IL N'Y AURAIT PLUS D'INTERFÉRENCE POUR $\delta > l_{\text{TEMPORELLE}}$

$\mathcal{C} = |v|$

$$\mathcal{C} = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} = \frac{1 + |v| - (1 - |v|)}{1 + |v| + (1 - |v|)} = \frac{2|v|}{2}$$

⚠⚠⚠ IL N'Y A PRESQUE PLUS D'INTERFÉRENCE (= BROUILLAGE TOTAL) LORSQUE $\delta > l_{c_{\text{Temporelle}}}$

$$\mathcal{C} = |v| = \left|\mathrm{sinc}\left(\frac{\pi\Delta\nu\delta}{c}\right)\right|$$

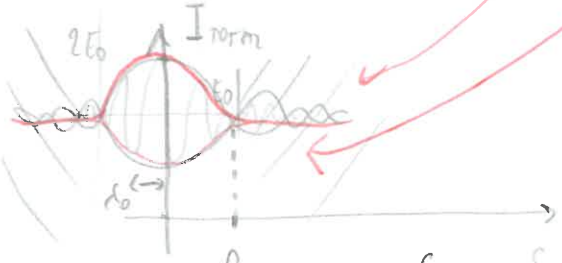


Pour une transformée de Fourier :

$$\Delta f \cdot \Delta T = 1$$

Similairement :

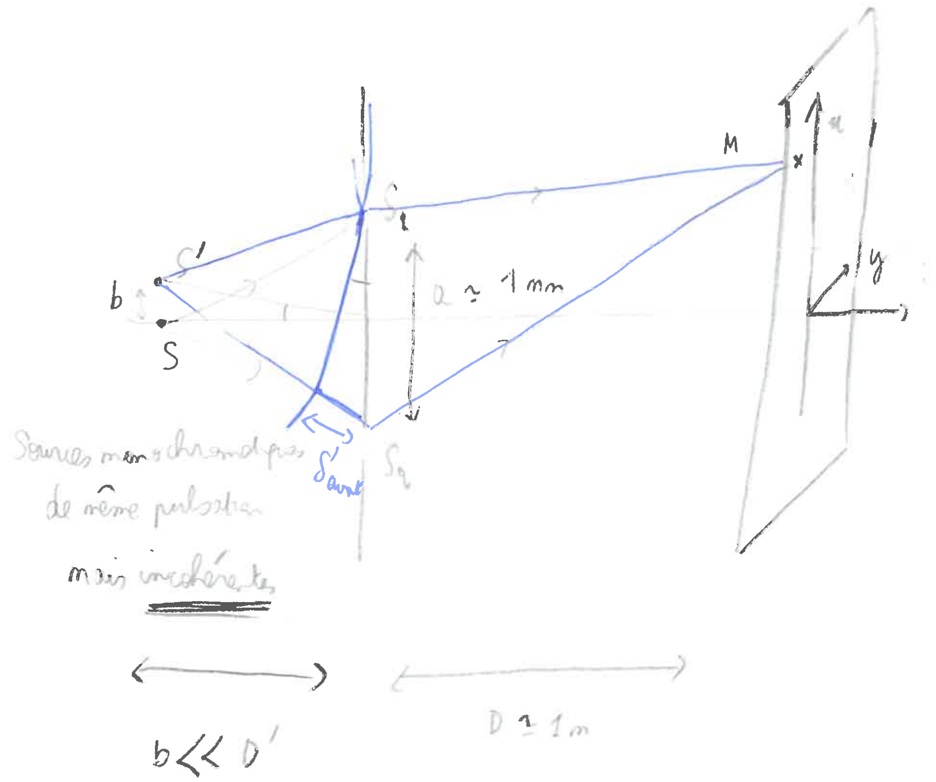
$$\underset{\text{largeur spectrale}}{\Delta\nu} \times \underset{\text{largeur temporelle}}{\tau_c} = 1$$



$$l_{c_{\text{temporelle}}} = \frac{c}{\Delta\nu}$$

$$\Rightarrow l_{c_{\text{Temporelle}}} = c \times \tau_c$$

Cas réel : cohérence spatiale



$I_{TOTAL} = I_S(M) + I_{S'}(M)$ (Source S et S' incohérentes)

$$I_{TOTAL}(x) = 2E_0\left(1+\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}\frac{ax}{D}\right)\right) + 2E_0'\left(1+\cos(\phi')\right)$$

$$\phi' = \frac{2\pi}{\lambda}\delta'_{2/1} = \frac{2\pi}{\lambda}\left(\delta'_{avant} + \delta'_{après}\right) = \frac{2\pi}{\lambda}\left((S'S_2 - S'S_1) + \frac{ax}{D}\right)$$

$$\begin{cases} \tan(\theta') \simeq \dfrac{b}{D'} \\ \tan(\theta') \simeq \dfrac{\delta'_{avant}}{a} \end{cases} \Rightarrow \delta'_{avant} = \frac{ba}{D'}$$

$$\Rightarrow \phi' = \frac{2\pi}{\lambda}\left(\frac{ba}{D'} + \frac{ax}{D}\right)$$

En supposant que $E_0' = E_0$:

$$I_{TOTAL}(x) = 2E_0\left(2 + \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}\frac{ax}{D}\right) + \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}\left(\frac{ab}{D'} + \frac{ax}{D}\right)\right)\right)$$

$$I_{TOTAL} = 4E_0\left(1+\cos\left(\frac{\pi a b}{\lambda D'}\right)\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}\frac{ax}{D}+\frac{\pi a b}{\lambda D'}\right)\right)$$

$$= 4E_0\left(1+\mathcal{V}\cos\left(\phi_{après}+\phi_{avant}\right)\right)$$

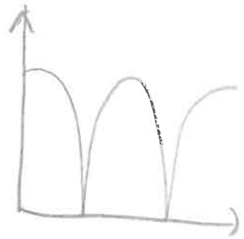
les franges sont décalées par rapport à une seule source

$$I_{max} = 4E_0\left(1+|v|\right)$$

$$I_{min} = 4E_0\left(1-|v|\right)$$

De plus : $\mathcal{C} = \dfrac{I_{max}-I_{min}}{I_{max}+I_{min}} = |v|\cos\left(\dfrac{\pi a b}{\lambda D'}\right)$

$\mathcal{C} = |v|$

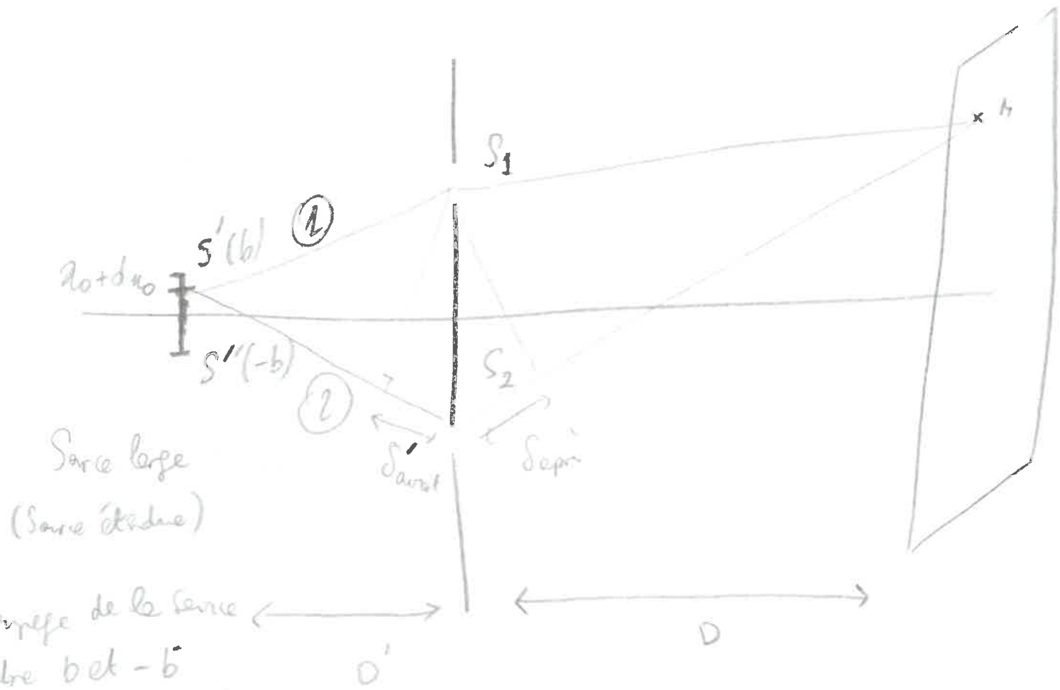


$\frac{D'\lambda}{2a}$ b (distance entre les 2 sources)

Annulation du contraste $\Rightarrow$ Brouillage si $b = \dfrac{D'\lambda}{2a}$ (anti-coïncidence)

LONGUEUR DE COHÉRENCE SPATIALE : TAILLE DE LA SOURCE QUI VA PRODUIRE UN BROUILLAGE COMPLET DES INTERFÉRENCES

Source étendue : [Elearning-Physique / Optique Ondulatoire : cohérence spatiale et baisse de contraste]



=D Découpage de la source entre b et -b en une infinité de sources de bande de largeur x_0+dx (avec $x_0 \in [-b, b]$)

$$\delta'_{avant} = \frac{a x_0}{D'}$$

$$\delta_{après} = \frac{a x}{D}$$

$$\delta_{TOTAL\,2/1} = \delta'_{avant} + \delta'_{après}$$

$$\delta_{TOTAL\,2/1} = \frac{a x_0}{D'} + \frac{a x}{D}$$

1 (car il s'agit de la même source)

$$dI_{source\ ponctuelle}(x) = 2E_0 dx_0 \left(1 + \overset{1}{\underset{\shortparallel}{}}\mathcal{C} \cos(\Delta\phi(x))\right) = 2E_0 dx_0 \left(1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}\left(\delta_{avant} + \delta'_{après}\right)\right)\right)$$

$$= 2E_0 dx_0 \left(1 + \cos\left(\frac{a x_0}{D'} + \frac{a x}{D}\right)\right)$$

⚠⚠⚠ LES SOURCES PONCTUELLES DE LA SOURCE ETENDUE FORMENT DES SOURCES MUTUELLEMENT INDÉPENDANTES, ON PEUT AJOUTER LEUR INTENSITÉ DIRECTEMENT

$$I_S(x) = \sum I_{sources\ ponctuelles}(x) \quad \left(\text{en continu} : I_S(x) = \int dI_S(x) = \int \frac{\partial I_S(x, x_0)}{\partial x_0} dx_0\right)$$

⚠ ⚠ ⚠ LES DIFFÉRENCES DE MARCHE NE DÉPENDENT QUE DE LA DIRECTION x (LA DIRECTION DE COMPRESSION DU RAYON LUMINEUX).

AINSI ÉTENDRE LA SOURCE DANS LA DIRECTION y OU z NE MODIFIE PAS LA FIGURE DE DIFFRACTION MAIS AUGMENTE LA LUMINOSITÉ

$$\Rightarrow I(x) = \int_{-b}^{b} 2E_0 \, dz \left(1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}\left(\frac{ax}{D} + \frac{ax_0}{D'}\right)\right)\right)$$

$$= 2E_0 \left[X + \frac{\lambda D}{2\pi a} \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}\left(\frac{aX}{D'} + \frac{ax}{D}\right)\right)\right]_{-b}^{b}$$

$$= 4E_0 b \left(1 + \frac{\lambda D}{2\pi a 2b}\left(\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}\left(\frac{ab}{D'} + \frac{ax}{D}\right)\right) - \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}\left(-\frac{ab}{D'} + \frac{ax}{D}\right)\right)\right)\right)$$

$$= 4E_0 b \left(1 + \frac{\cancel{2}\lambda D}{2\pi a \cancel{2} b} \sin\left(\frac{2\pi ab}{\lambda D'}\right) \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \frac{ax}{D}\right)\right)$$

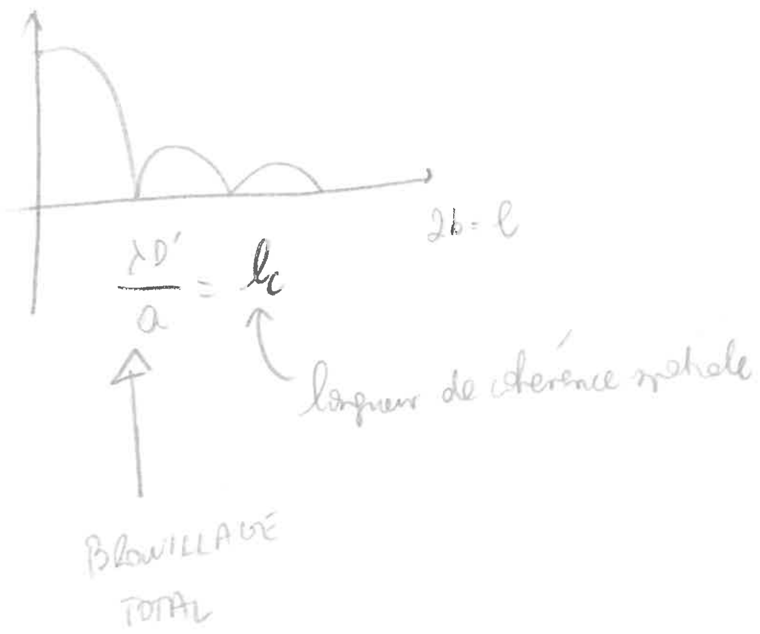
$$= 4E_0 b \left(1 + \underbrace{\mathrm{sinc}\left(\frac{2\pi ab}{\lambda D'}\right)}_{\text{Visibilité } (v)} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \frac{ax}{D}\right)\right)$$

$(C = |v|)$

(TERME DE BROUILLAGE)

$$C = |\nu| = \left|\operatorname{sinc}\left(\frac{\pi a (2b)}{\lambda D'}\right)\right|$$

ℓ



Pour qu'il y ait interférence il faut que $\delta_{\text{TOTALE}} < l_c$

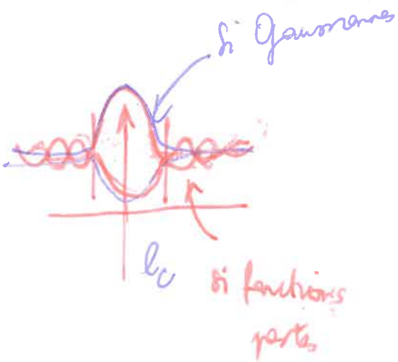
AINSI LES PHÉNOMÈNES DE BROUILLAGE PEUVENT EMPÊCHER LES PHÉNOMÈNES D'INTERFÉRENCES (MALGRÉ QUE LES MULTIPLES sources SPATIALES SOIENT INCOHÉRENTES ET LES MULTIPLES SOURCES TEMPORELLES SOIENT INCOHÉRENTES)

$$I(x) = 2I_0\left(1 + \underbrace{\mathrm{sinc}\left(k\frac{a}{2}\theta_x\right)}_{\text{BROUILLAGE DUE À LA SOURCE SECONDAIRE}} + \underbrace{\mathrm{sinc}\left(\frac{2\pi ab}{\lambda D'}\right)}_{\text{BROUILLAGE SPATIAL}}\ \underbrace{\mathrm{sinc}\left(\frac{\pi \Delta\nu \delta}{c}\right)}_{\text{BROUILLAGE TEMPOREL}}\cos\left(\frac{2\pi\delta}{\lambda}\right)\right), \quad \delta = \frac{ax}{D}$$

BROUILLAGE DUE À LA SOURCE SECONDAIRE (≡ DIFFRACTION 1D (PAR FENTE ET NON PAS PAR TROUS))

BROUILLAGE SPATIAL (≡ SOURCE ÉTENDUE)

BROUILLAGE TEMPOREL (DENSITÉ SPECTRALE QUI N'EST PAS UN DIRAC)



longueur de cohérence spatiale

$$l_{cs} = \frac{\lambda D'}{a}$$
$$\parallel$$
$$2b\ !!!$$

longueur de cohérence temporelle

$$l_{ct} = \frac{c}{\Delta\nu}$$
$$\parallel$$
δ pour lequel le sinc s'annule $= c \cdot \Delta\tau$

⚠ ⚠ ⚠ EN RÉALITÉ LE SINC APPARAIT CAR IL S'AGIT DE FONCTIONS FONCTIONS PORTES (ÉQUIPROBABLES) POUR MODÉLISER LA SOURCE ÉTENDUE ET LA LARGEUR SPECTRALE

⇒ EN RÉALITÉ IL EST PLUS PROBABLE QUE CE SOIT DES GAUSSIENNES

⇒ DANS LE CAS DE GAUSSIENNES, BROUILLAGE TOTAL SI :

$$\delta > l_{cs} \text{ OU } l_{ct}\ !!!$$

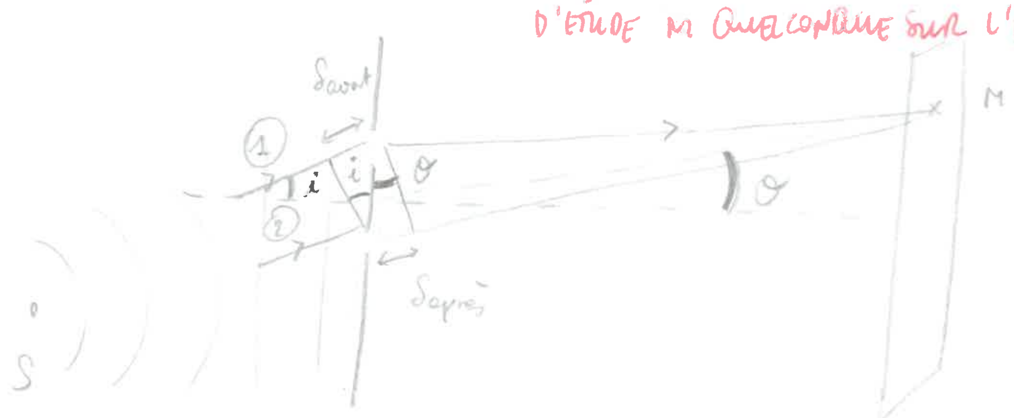
⚠ ⚠ ⚠ IL NE FAUT PAS CONFONDRE INTERFÉRENCES ET BROUILLAGE :

- INTERFÉRENCES : UNIQUEMENT POUR DES SOURCES COHÉRENTES (≃ LA MÊME ONDE QUI PREND DIFFÉRENTS CHEMINS POUR ARRIVER D'UN MÊME POINT DE DÉPART À UN MÊME POINT D'ARRIVÉE))

PLUS PRÉCISÉMENT QUI SONT GÉNÉRÉES PAR DES SOURCES (PRIMAIRES OU SECONDAIRES) PUREMENT PONCTUELLES ET MONOCHROMATIQUES !!!

⇒ LES ONDES COHÉRENTES PEUVENT AVOIR OU NON UNE DIFFÉRENCE DE MARCHE δ

⇒ CETTE DIFFÉRENCE DE MARCHE DANS LE CAS GÉNÉRAL DÉPEND DE L'ANGLE ENTRE LA SOURCE PRIMAIRE ET LA SOURCE SECONDAIRE (= SOURCE DIFFRACTANTE) ET ÉGALEMENT DE L'ANGLE ENTRE LA SOURCE SECONDAIRE (SOURCE DIFFRACTANTE) ET LE POINT D'ÉTUDE M QUELCONQUE SUR L'ÉCRAN

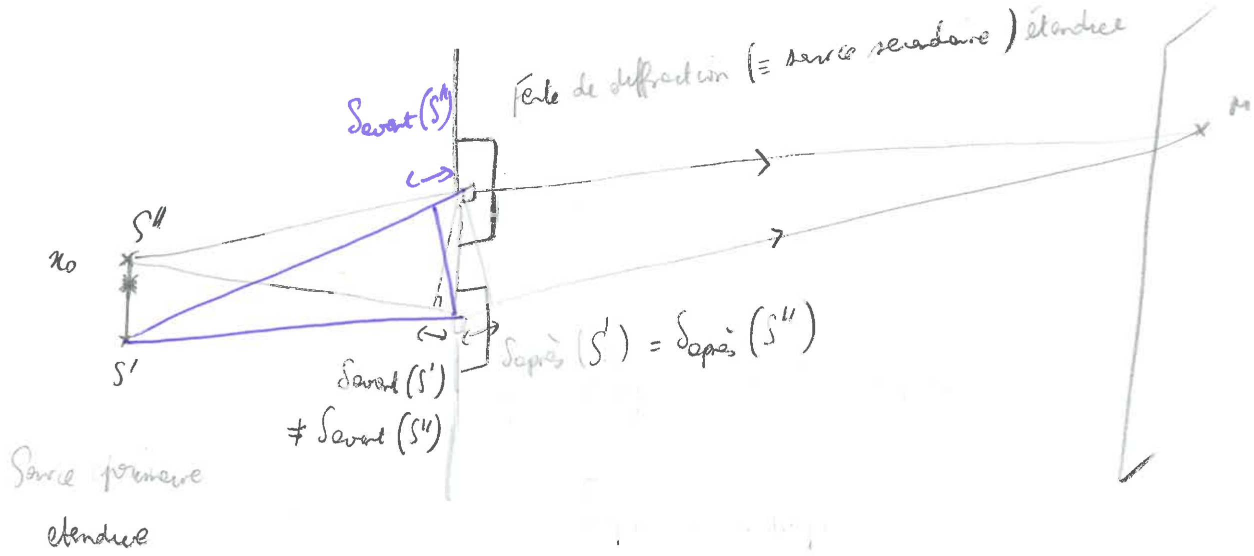


$$\delta_{total} = \delta_{avant} - \delta_{après}$$

$$\delta_{total} = f(i, \theta)$$

AVEC BROUILLAGE QUI DIMINUENT LA VISIBILITÉ DU PHÉNOMÈNE DU À DES NON-IDÉALITÉS

⚠⚠⚠ MÊME SI DES ANGLES SONT INTRODUITS DANS LES PHÉNOMÈNES DE BROUILLAGE (ILS SONT CONVERTIS DANS LA VARIABLE MODÉLISANT LA NON IDÉALITÉ) ET INTÉGRÉS SUR TOUTE LA NON IDÉALITÉ PRODUISANT DES FONCTIONS sinc ( )



=> δ_{avant} dépend de la position sur la source étendue : $\delta_{avant}(x_0)$

=> l'éclairement associé est : $2I_0\left(1+\cos\left(\delta_{TOTAL}\right)\right) = 2I_0\left(1+\cos\left(\delta_{avant}(x_0)+\delta_{après}\right)\right)$

⚠⚠⚠ COMME IL S'AGIT D'UN PHÉNOMÈNE DE BROUILLAGE

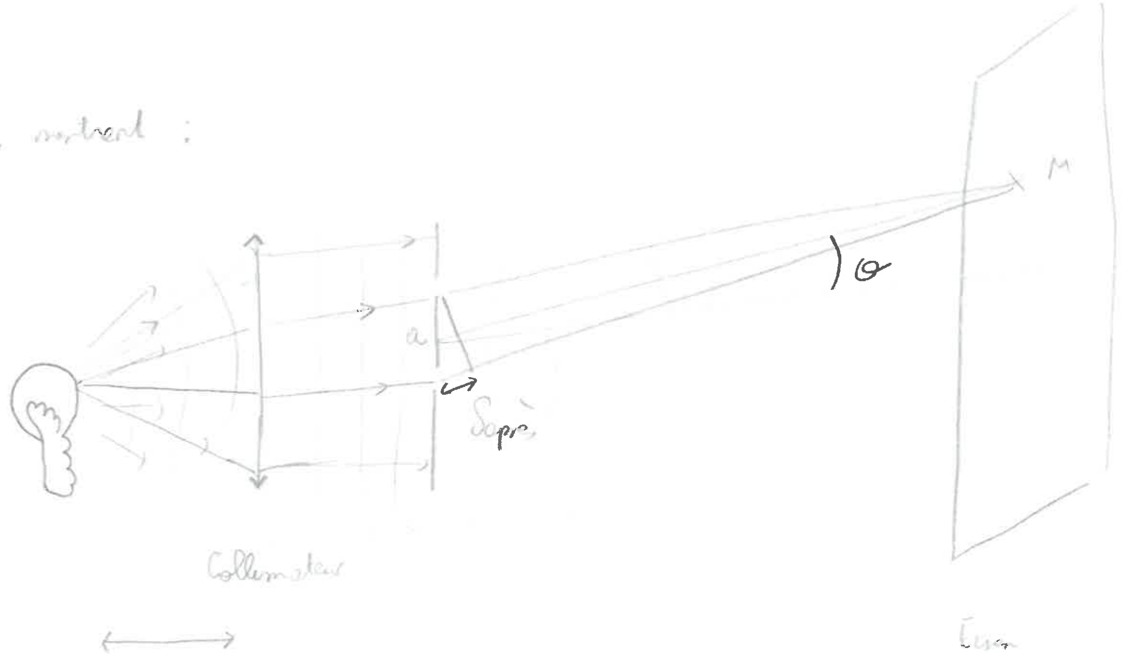
$I_{TOTAL} = \sum I(x_0)$ => EN CONTINU : $I_{TOTAL} = \int \frac{\partial I(x_0)}{\partial x_0}\, dx_0$

(LES SOURCES PONCTUELLES QUI DÉFINISSENT LA SOURCE ÉTENDUE PRIMAIRE $S'S''$ N'INTERFÈRENT PAS !!!)

=> $I_{TOTAL} = \int_{S'}^{S''} 2 I_0 \left(1+\cos\left(\underbrace{\delta_{avant}(x_0)}_{\text{TERME QUI DISPARAÎT}} + \underbrace{\delta_{après}}_{\text{TERME D'INTERFÉRENCE}}\right) dx_0\right)$

Fente de Young et lumière blanche :

Les expériences montrent :



f_1 : distance focale objet du collimateur

En prenant une source ponctuelle sur l'axe optique δ avant est nul

REMARQUE 1 : LES TROUS D'YOUNG (ET LES INTERFÉRENCE EN GÉNÉRALE) DISPERSE LA LUMIÈRE ($\equiv$ SÉPARE LA LUMIÈRE EN SES DIFFÉRENTES LONGUEUR D'ONDE)

LE TERME D'INTERFÉRENCE EST :

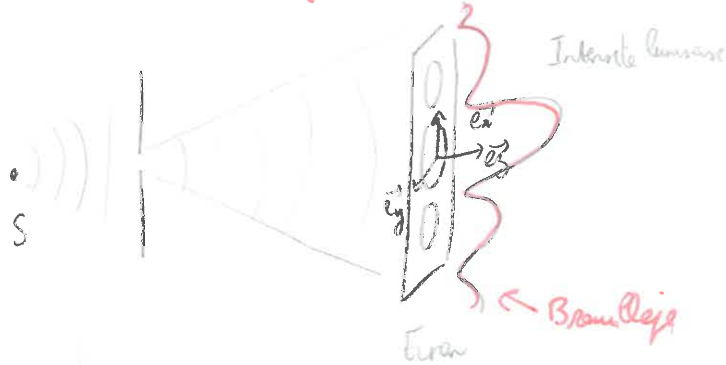
$$2I_0\left(1+\nu\cos\left(2\pi\frac{\delta}{\lambda}\right)\right)$$

TERME DE BROUILLAGE

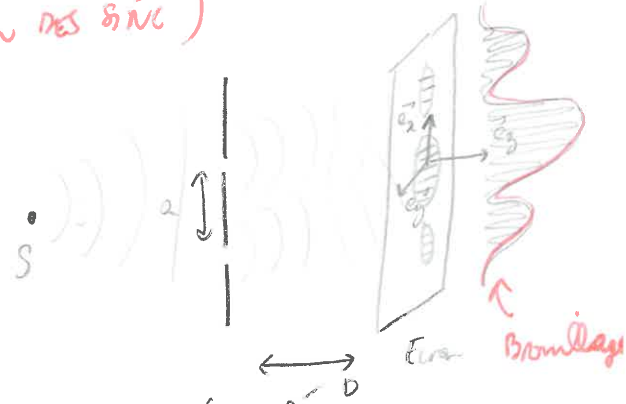
TERME MODÉLISANT L'INTERFÉRENCE PLUS PARTICULIÈREMENT

LA PHASE CHANGE POUR CHAQUE INTERFÉRENCE (DONC LA POSITION x SUR L'ÉCRAN) À CAUSE DU TERME λ

⚠ ⚠ ⚠ L'ORDRE D'INTERFÉRENCE p $\left(= \frac{\Delta\Phi}{2\pi}\right)$ NE DOIT PAS ÊTRE CONFONDU AVEC LA VALEUR D'ANNULATION DU BROUILLAGE (≡ LA VALEUR D'ANNULATION DES SINC)

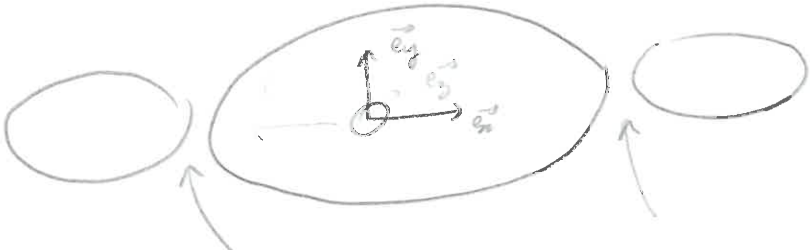


Un seul trou



2 trous de Young (Interférences à sources cohérentes) EN CHAMP LOINTAIN (FRAUNHOFER) $D \gg a$)

Sur l'écran :

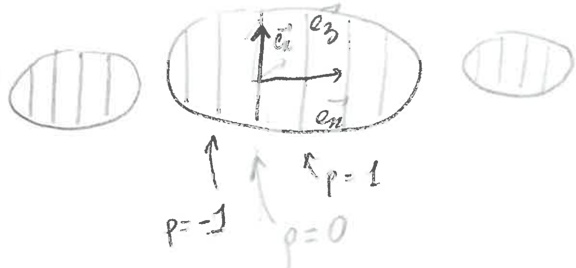


VALEURS D'ANNULATION DE LA VISIBILITÉ

(≡ VALEURS D'ANNULATION DU SINC $\left(\frac{2\pi}{\lambda}\int\right.$ introduite par la non cohérence$\left.\right)$

l'intégration de $\int$ introduite par la non cohérence donne le sinc

Sur l'écran :



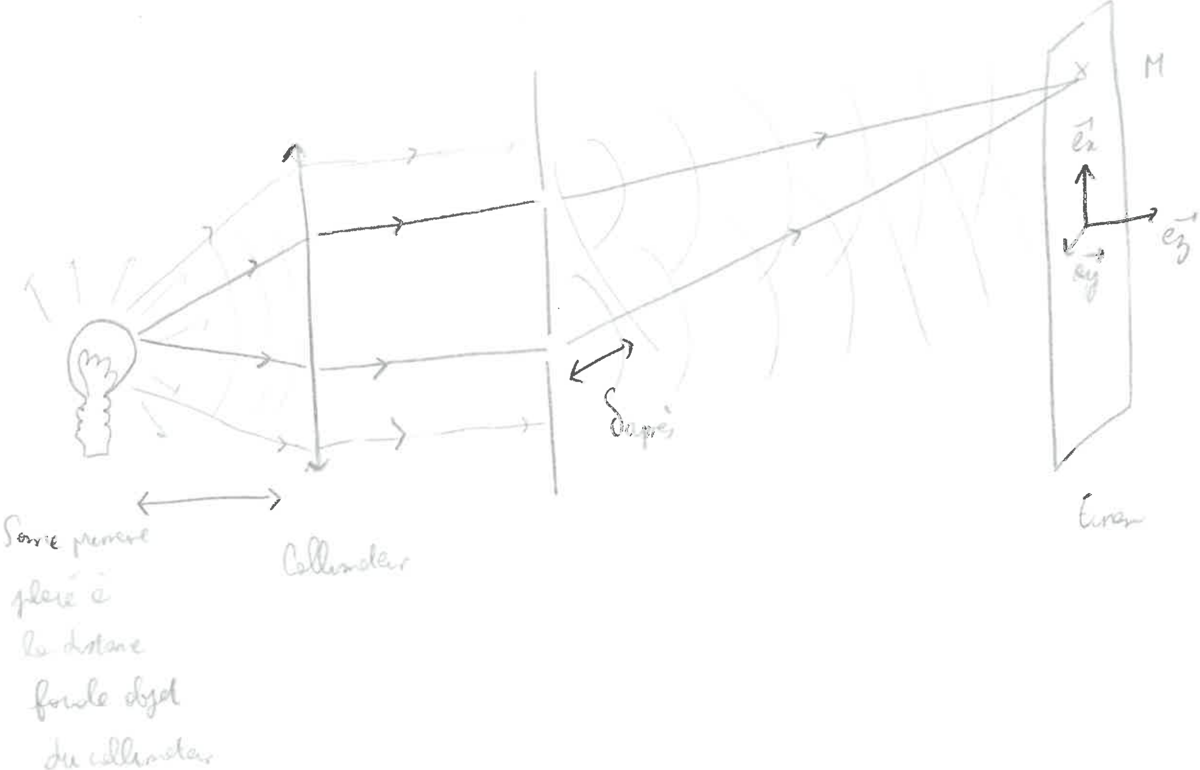
⚠ ⚠ ⚠ L'ORDRE D'INTERFÉRENCE PERMET DE DÉFINIR LES INTERFÉRENCES (LES TRAITS NOIRS)

$p=0$ CORRESPOND À L'ORDRE 0

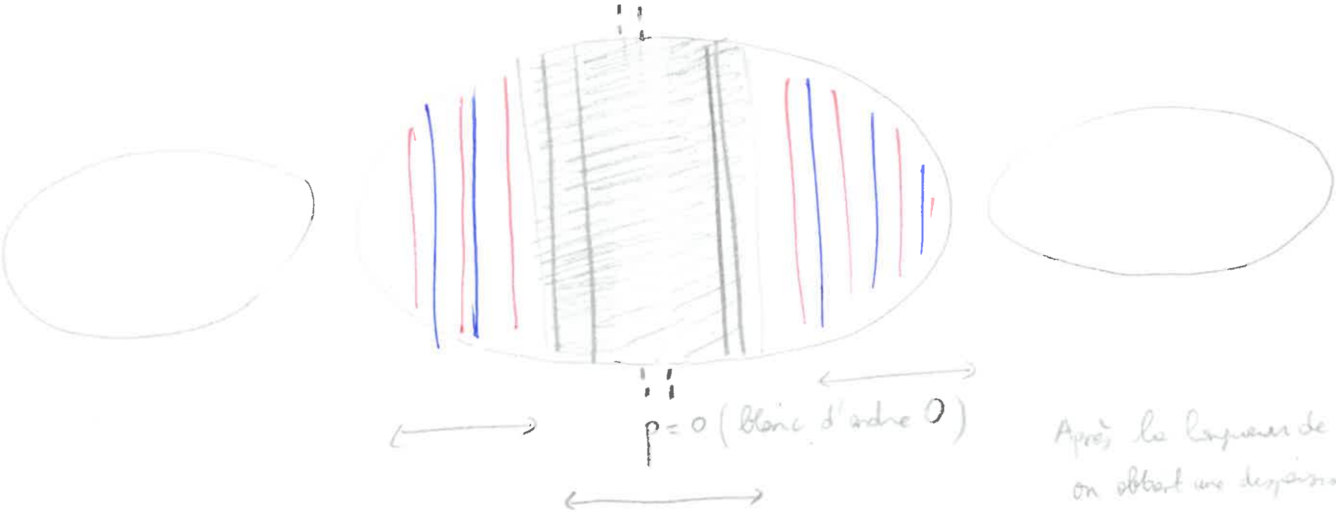
$p \neq 0$ CORRESPOND AUX ORDRES SUPÉRIEURS

Pour une source de lumière blanche :

la longueur de cohérence spatiale est d'environ 0,1 mm (très difficile d'obtenir des interférences avec une source de lumière blanche)



Sur l'écran, on observe



Après la longueur de cohérence on obtient une dispersion de couleurs (couleurs de l'arc en ciel) avec cannelures (= interférences)

Jusqu'à la longueur de cohérence on a du blanc mais il est cannelé, il y a des interférences destructives à certains endroits

$\Rightarrow$ les blancs d'ordre supérieur ($p \neq 0$) sont cannelés