

Les ondes lumineuses :

Sources lumineuses :

* Emission spontanée (mvt des porteurs de charge)

Ex: lampe à incandescence (filament de tungstène) lumière blanche (spectre continu)

* Spectre discontinu : (vapeur monocatomique)

↳ spectre de raies.

(Raies fines $\Delta\lambda = 0,1 \text{ nm}$ (Effet Doppler + collisions))

Principe d'incertitude de Heisenberg impose $|\Delta U \Delta t| \geq 1$

→ Atome émet pendant une durée $T_0 \approx 10^{-10} \text{ s} \Rightarrow$ onde ≠ OPPM

Dans le visible : $T = \frac{1}{\Delta t} = \frac{30}{\Delta \lambda} \times 2 \cdot 10^{10} \text{ s} \ll T_0 = \Delta t \Rightarrow \Delta U = 100 \text{ GHz} \ll 5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

→ L'onde émise par 1 atome est quasi monochromatique

Onde = train d'ondes : sinusoidale lumineuse dans l'espace-temps.

↳ $I_0 = c T_0$ L'onde lumineuse = \sum des trains d'ondes émis par 1 grand nombre d'atomes.

* Emission cohérente, longueur de cohérence :

↳ source classique monochromatique : lampe à vap de Hg suivie d'un filtre interférentiel (rélectronne une raie)

→ Onde = succession ininterrompue de trains d'ondes de durée voisine T_0 dans relation de phase entre eux (cohérents)

Temps de cohérence : $T_c = T_0$

longueur de cohérence : $\lambda_c = c T_c$

$$\text{Hg ou Na} : T_c = 10^{-9} \text{ s}$$

\downarrow
 $\lambda_c \approx \text{nm}$

* Emission laser :

atome excité + OEM de fréquence ν tq $\hbar\nu = E_2 - E_1 \Rightarrow$ onde émise de m fr. que l'onde incident + m phase

Onde émise ≈ OPPM (He-Ne : $\lambda = 632,8 \text{ nm}$) $\Delta t = 10^{-7} \text{ s}$

$$\Rightarrow \Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{c\Delta t} = 10^{-3} \text{ nm}$$

Lumière blanche : $\Delta t = 3 \cdot 10^{-10} \text{ s}$ $\lambda_c \approx \mu\text{m}$

Intensité lumineuse :

Détecteurs sensibles à la puissance P rayonnée par l'OEM supposé en OPPM

$$P = \int_S \vec{I} \cdot d\vec{S}$$

Détecteurs ont un temps de réponse T_r : $I = \langle \frac{dP}{ds} \rangle$ $T_r(\text{œil}) = \frac{1}{20} \text{ s}$ $T_r(\text{diode}) = 10^{-9} \text{ s}$

$$I = \langle \frac{dP}{ds} \rangle = \langle I \vec{n} \cdot \vec{dS} \rangle$$

$$\text{OPPM PR} : I = \frac{k}{2} \vec{E} \cdot \vec{E}^* \rightarrow I = \vec{E} \cdot \vec{E}^* \quad (\text{pas homogène})$$

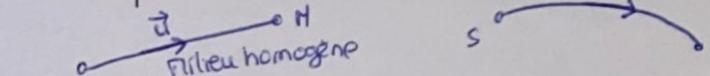
Représentation scalaire d'une onde lumineuse

Ondes électromagnétiques se superposent \Rightarrow champs s'ajoutent vectoriellement \Rightarrow on parle d'interférences

Si OPR : superposition scalaire où les directions de \vec{P} sont voisines

Si ONP (lumière naturelle) : pour les superposer scalairement il faut des directions de propagation voisines

Source ponctuelle monochromatique :



$$a(M, t) = A \cos(\omega(t - T_M) - \phi_s) \quad \text{train d'onde émis par S à } t - T_M$$

pour être reçu à t en M
déphasage relatif à la source

T_M ? (Supp pas de diffraction)

$$T_M = \int_0^{T_M} dt = \int_S^M \frac{dt}{ds} ds = \int_S^M \frac{m}{c} ds = \frac{1}{c} \int_S^M m(p) ds$$

(SM) : chemin optique

$$\phi_M = \omega T_M + \phi_s = \frac{\omega}{c} (SM) + \phi_s \Rightarrow \phi_M = \frac{2\pi}{\lambda} (SM) + \phi_s$$

$$a(M, t) = A \cos(\omega t - \phi_M)$$

Surface d'onde : (front d'onde) sens des pts pour lesquels $\phi_M = \text{cte} \Rightarrow (SM) = \text{cte}$

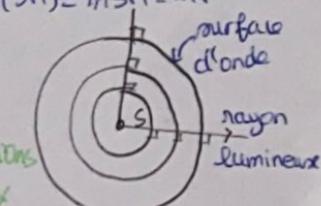
Entre 2 surfaces d'ondes, le chemin optique = de 1 rayon lumineux suivi

Si milieu homogène : ($n = \text{cte}$)

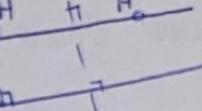
$$(SM) = \int_S^M m(p) ds = n \int_S^M ds = n SM \quad (\text{si mil. homogène les rayons lumineux sont des droites})$$

Onde sphérique : $a(M, t) = \underbrace{A(M)}_{\text{en } \frac{1}{r}} \cos(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} (SM) - \phi_s) / (SM) = n SM = nr$

$$= A(M) \cos(\omega t - \frac{2\pi r}{\lambda} - \phi_s)$$



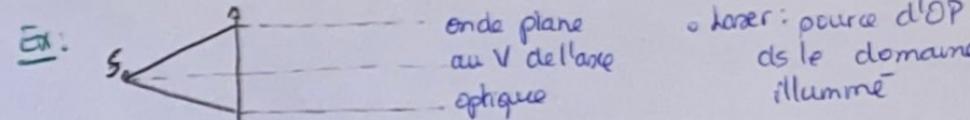
Réflexion : après un nb de réflections et de réfractions, les rayons lumineux issus d'une source ponctuelle S sont t-à-dos aux surfaces d'onde.

Ondes planes: S à l'infini 

$$\vec{m}_{\text{ds}} = \frac{2\pi}{\lambda_0} ((S\text{H}) - (\text{S}\text{O})) = \frac{2\pi}{\lambda_0} \underbrace{((S\text{H}) + (\text{HM}) - (\text{SO}))}_{0} = \frac{2\pi}{\lambda_0} (\text{HM})$$

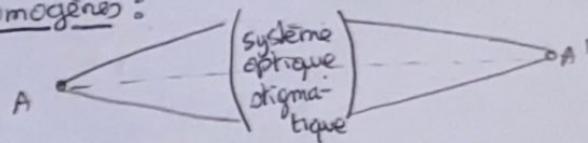
$$\phi_{\text{M}} = \phi_0 + \frac{2\pi}{\lambda_0} n \text{HM} = \phi_0 + \frac{2\pi}{\lambda_0} n \vec{u} \cdot \vec{OM} = \phi_0 + \vec{k} \cdot \vec{r}$$

donc $a(\text{M}, t) = A \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r} - \phi_0)$



domaine sources ponctuelles, onde S ≈ localement plane.

Multiples inhomogènes:



Le chemin optique entre 2 pts conjugués par un système optique stigmatique est indépendant du rayon qui les relie: $(AA') = 0$

Interférences de deux ondes cohérentes

Interférence de 2 ondes émises par deux sources ponctuelles :

$$\begin{aligned} S_1 &\rightarrow M \quad a_1(M, t) = A_1(M) \cos(w_1 t - \frac{2\pi}{\lambda_0} (S_1 M) - \varphi_{S1}) = A_1 \cos(w_1 t - \varphi_{1M}) \\ S_2 &\rightarrow M \quad a_2(M, t) = A_2(M) \cos(w_2 t - \frac{2\pi}{\lambda_0} (S_2 M) - \varphi_{S2}) = A_2 \cos(w_2 t - \varphi_{2M}) \\ \text{donc } a(M, t) &= a_1(M, t) + a_2(M, t) \quad [\text{Optique scalaire}] \end{aligned}$$

$$I = K \langle E^2 \rangle = K \langle a^2 \rangle = K \langle (a_1 + a_2)^2 \rangle$$

$$I(M) = I_1 + I_2 + 2K \langle a_1 a_2 \rangle$$

- $\langle a_1 a_2 \rangle \neq 0$: phénomène d'interférences (ondes corrélées)
- $\langle a_1 a_2 \rangle = 0$: ondes incohérentes pas d'interférence $I = I_1 + I_2$

$$\begin{aligned} 2K \langle a_1 a_2 \rangle &= 2K A_1 A_2 \langle \cos(w_1 t - \varphi_{1M}) \cos(w_2 t - \varphi_{2M}) \rangle \\ &= K A_1 A_2 \langle \cos((w_1 + w_2)t - (\varphi_{1M} + \varphi_{2M})) \rangle + K A_1 A_2 \langle \cos((w_1 - w_2)t - (\varphi_{1M} - \varphi_{2M})) \rangle \end{aligned}$$

$$\neq 0 \text{ si } w_1 = w_2$$

Deux ondes cohérentes ont nécessairement la même pulsation et donc la même longueur d'onde.

$$\begin{aligned} \varphi_M &= \varphi_{2M} - \varphi_{1M} = \varphi_{S2} - \varphi_{S1} + \frac{2\pi}{\lambda_0} [(S_2 M) - (S_1 M)] \quad w_1 = w_2 \Rightarrow \varphi_{1M} = \varphi_{2M} = \varphi_M \\ I_1 &= K \frac{A_1^2}{2} \Rightarrow A_1 = \sqrt{\frac{2}{K} I_1} \quad I(M) = I_1 + I_2 + 2 \sqrt{I_1 I_2} \langle \cos \varphi_M \rangle \quad \text{Formule de Fresnel} \\ \varphi_M &= \varphi_{2M} - \varphi_{1M} = \varphi_{S2} - \varphi_{S1} + \frac{2\pi}{\lambda_0} S_M \\ S_M &= (S_2 M) - (S_1 M) \end{aligned}$$

Ondes cohérentes :

- Deux ondes (sources distantes) : cohérentes
- $\varphi_{S1} = \text{cte}$ et $\varphi_{S2} = \text{cte}$ sur T_c mais la moyenne temporelle se fait sur une durée $\gg T_c$ pendant laquelle φ_{S1} et φ_{S2} varient aléatoirement
- Donc $\langle \cos(\varphi_M) \rangle \approx 0$
- Interférences \Rightarrow ondes issues d'une source ponctuelle monochromatique

$$\varphi_{S1} = \varphi_{S2}$$

Division de l'onde pour avoir $S_M \neq 0$

$$(S_1 M)_2 - (S_2 M)_2$$

Division du front d'onde

\hookrightarrow séparée géométriquement en 2 parties

Zone d'interférence : zone où les faisceaux se superposent.
(Ex: miroirs de Fresnel)

Division d'amplitude : Ex: lame d'air

Longueur de cohérence : $S_M \ll l_c$

Si $\Delta t > T_c \Rightarrow$ pas de cohérence \Rightarrow éclairage uniforme

$$w \Delta t = \varphi_n \Rightarrow \varphi_n = \frac{2\pi}{\lambda_0} w \Delta t = \varphi_n \text{ or } \varphi_n = \frac{2\pi}{\lambda_0} S_M \text{ si donc } S_M = c \Delta t$$

si $\Delta t \ll T_c$: ondes cohérentes \Rightarrow interférences + $\varphi_{S1} = \varphi_{S2}$

si $\Delta t \geq T_c$ soit $S_M \gg l_c$, on ne peut observer des interférences

EX : Lumière blanche : $l_c \approx \mu\text{m}$
Lampe spectrale : $l_c \approx \text{cm}$
Laser : $l_c \approx \text{m}$

Franges d'interférence :

$S_M = \text{cte}$: surface d'égal intensité \sim sur E_{max} : lignes d'égal intensité

$$I(M) = I_1 + I_2 + 2 \sqrt{I_1 I_2} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_0} S_M\right) \quad \frac{I(M)}{I_1 + I_2} = 1 + 2 \frac{\sqrt{I_1 I_2}}{I_1 + I_2} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_0} S_M\right)$$

Ondes en phase \Rightarrow interférences constructives
 \hookrightarrow intensité maximale

Ondes en opposition de phase \Rightarrow interférences destructives
 \hookrightarrow intensité minime

Onde d'interférence et franges :

$$\hookrightarrow p = \frac{S_M}{\lambda_0}$$

franges brillantes : $p \in \mathbb{Z}$

franges sombres : $p = \frac{1}{2} + \mathbb{Z}$

Entre une frange brillante et une frange sombre :

$$\Delta p = \frac{1}{2} \quad \Delta s = \frac{\lambda_0}{2} \quad \Delta \varphi_M = \pi$$

$$\text{Contraste : } C = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{max}} + I_{\text{min}}} = 2 \frac{\sqrt{I_1 I_2}}{I_1 + I_2} \in [0, 1] \quad \begin{cases} I_1 = I_2 \\ I_2 = 0 \text{ ou } I_2 \gg I_1 \end{cases}$$

Utilisation de la molécule complexe:

Ondes cohérentes = ✓ $\delta_1 \neq \delta_2$

✓ $\omega_1 \neq \omega_2$

✓ $\delta_M > \Delta$ avec $S(\delta_1, \delta_2)$ monochromatique

↳ on somme les intensités

Ondes cohérentes: on somme les amplitudes \Rightarrow déclinaison intensité

$$a_1(M, t) = A_1 \cos(\omega t - \phi_M)$$

$$\underline{a}_1(M, t) = A_1 e^{-j\phi_1 t} e^{j\omega t} = \underline{a}_1(M) e^{j\omega t} \quad \phi_{1n} = \frac{2\pi}{\lambda} (S_1 n) + \Psi_S$$

$$\underline{a}(M) = \underline{a}_1(M, t) + \underline{a}_2(M, t)$$

$$I = K \frac{1}{2} \underline{a} \underline{a}^* = \frac{K}{2} (A_1 e^{-j\phi_1 n} + A_2 e^{-j\phi_2 n}) (A_1 e^{j\phi_1 n} + A_2 e^{j\phi_2 n})$$

$$I(M) = I_1 + I_2 + 2 \sqrt{I_1 I_2} \cos(\phi_n)$$

Nondes cohérentes = $\underline{a}(M) = \sum_{i=1}^N \underline{a}_i(M) \quad I = \frac{K}{2} \underline{a} \underline{a}^*$

$$\boxed{I = \underline{a} \underline{a}^*}$$

Interférences par division du front d'onde

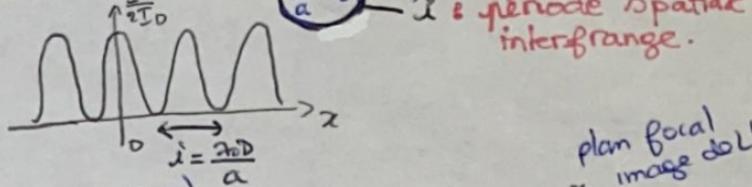
$S_M = d\theta \Rightarrow x = d\theta \Rightarrow$ droites $\perp (T_1 T_2)$
 $S_M = 0 \Rightarrow p = 0 \Rightarrow$ frange d'ordre 0 (droite $x=0 \in [T_1 T_2]$)
 (on trouve des segments (en théorie hyperbolique))

$$I = 2 I_0 \left(1 + \cos \left(\frac{2\pi d\theta}{\lambda} \right) \right) = 2 I_0 \left(1 + \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} \frac{x}{D} \right) \right)$$

$$S_H = T_2 \Pi - T_1 M = \frac{\alpha x k}{D} = k \frac{\lambda}{\lambda}$$

$$\Delta x = x_{k+1} - x_k$$

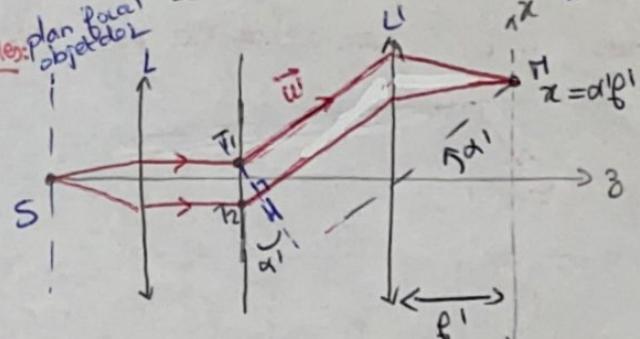
$$\Delta x = \frac{\lambda D}{a}$$



plan focal image de L'

λ

Montage avec des lentilles:



λ

λ

$$S_H = (ST_2 H) - (ST_1 M)$$

$$= (T_2 H) - (T_1 M)$$

$$= (T_2 H) - (H M) \quad (\text{Plan focal})$$

$$= T_2 H$$

$$= \tan(\alpha') \times a \approx a'$$

$$\tan(\alpha') \approx a' \approx \frac{x}{f'} \Rightarrow S_H = \frac{\alpha x}{f'}$$

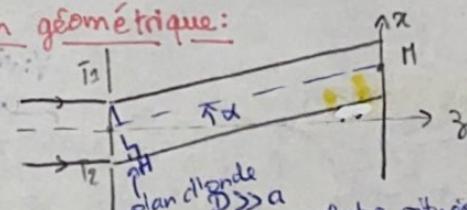
$$I = 2 I_0 \left(1 + \cos \left(\frac{2\pi S_H}{\lambda} \right) \right) = 2 I_0 \left(1 + \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\alpha x}{f'} \right) \right) \Rightarrow \Delta x = \frac{\lambda f'}{a}$$

$(T_1 H)$: plan d'onde pour l'onde issue de H (source fictive ponctuelle)

$(T_2 H)$: plan d'onde pour les ondes issues de S avant diffraction

jamais de plan d'onde dessiné sur une lentille

Interprétation géométrique:



$$S_H = T_2 \Pi - T_1 M = T_2 H$$

$$\approx ad \approx a \frac{x}{D}$$

plan d'onde pour une souris fictive entre M et S

$$S(x+i) - S(x) = \Delta \theta \Rightarrow a \frac{x+i}{D} - a \frac{x}{D} = \Delta \theta$$

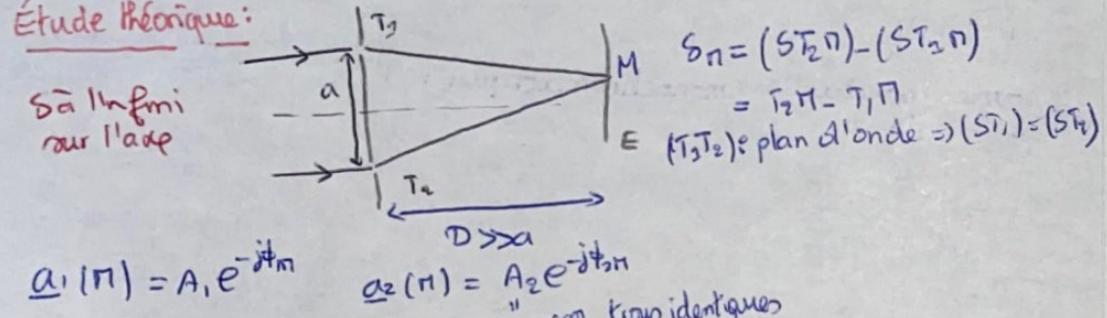
$$\Delta x = \frac{D \Delta \theta}{a}$$

$$\Delta x = \frac{D \Delta \theta}{a}$$

interfrange angulaire

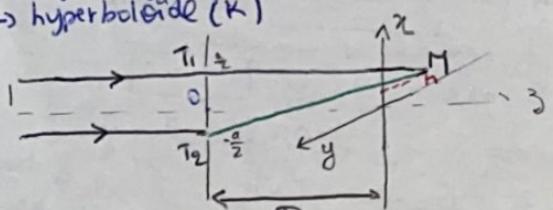
Distanse entre fente (ou trou) et écran $\approx m$

Étude théorique:



$$I = 2 I_0 (1 + \cos \phi_H) \quad \phi_H = \phi_{T_2} - \phi_{T_1} = \frac{2\pi}{\lambda} S_H = \frac{2\pi}{\lambda} (T_2 \Pi - T_1 M)$$

$I = \max \Rightarrow \phi_H \in 2\pi \mathbb{Z} \Rightarrow S_H \in \pi \mathbb{Z}$
 S_H surface d'égale $I = \max$ $M \in S$
 L'hyperboloid (K)

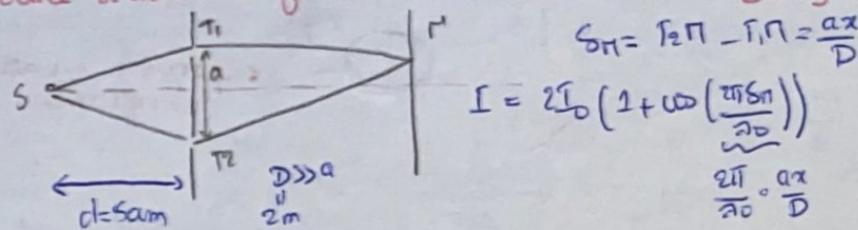


$$S_H = T_2 \Pi - T_1 M = \frac{\alpha x}{D}$$

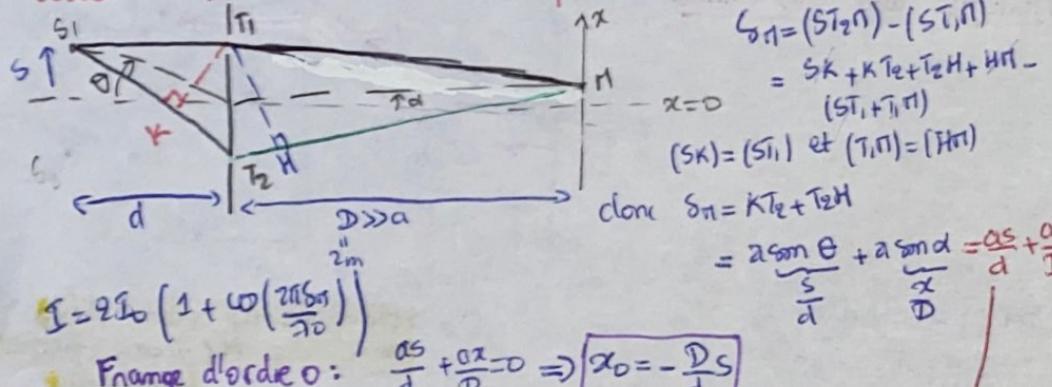
$$T_1 \left| \begin{array}{c} \frac{\alpha}{2} \\ 0 \\ 0 \end{array} \right. \quad T_2 \left| \begin{array}{c} -\frac{\alpha}{2} \\ 0 \\ 0 \end{array} \right. \quad M \left| \begin{array}{c} x \\ 0 \\ D \end{array} \right.$$

- > si fringe pas claire en milieu d'écran
- > fringe d'ordre zéro de la direction de l'optique géométrique

Source à distance finie sur la médiatrice de $[T_1 T_2]$



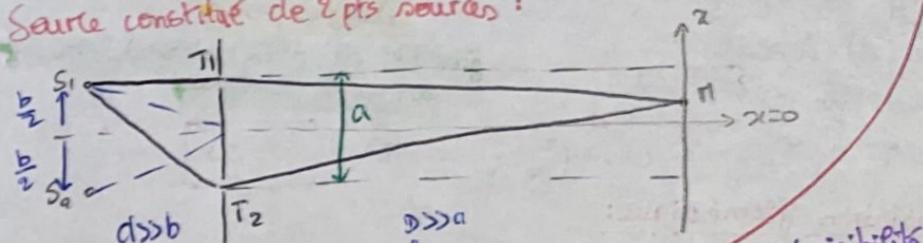
Source \parallel et en dehors du plan médiateur de $[T_1 T_2]$:



$$\text{Fringe d'ordre } 0: \frac{\alpha s}{d} + \frac{\alpha x}{D} = 0 \Rightarrow x_0 = -\frac{D s}{d}$$

translation de la fig d'interférence \Rightarrow interfringe inchangé

Source constituée de 2 pts sources:



S_1 et S_2 incohérents \Rightarrow intensités s'ajoutent

$$I_{12}(M) = 2I_0 \left(1 + \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \left(\frac{\alpha b}{2d} + \frac{\alpha x}{D} \right) \right) \right)$$

$$I_{21}(M) = 2I_0 \left(1 + \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \left(-\frac{\alpha b}{2d} + \frac{\alpha x}{D} \right) \right) \right)$$

$$C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = \left| \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\alpha b}{2d} \right) \right| = |V|$$

$$C = 0 \Leftrightarrow \frac{2}{\lambda} \cdot \frac{\alpha b}{d} = (k + \frac{1}{2})$$

Source étendue: "Longeur de cohérence spatiale":

- \hookrightarrow se décompose en n de sources ponctuelles
- \hookrightarrow o. incohérents \Rightarrow superposition des systèmes de franges
- \hookrightarrow en g^e brouillage

Brouillage semi-qualitatif de brouillage des franges:

$$|\Delta p| > \frac{1}{2} \Rightarrow \text{brouillage}$$

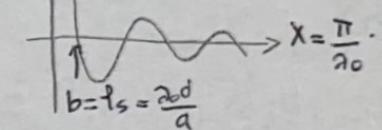
$$P_{A \rightarrow M} = \frac{1}{\pi} \frac{(ab)}{2d} + \frac{\alpha x}{D}$$

$$P_{B \rightarrow M} = \frac{1}{\pi} \frac{\alpha x}{2d}$$

$$\hookrightarrow b = P_S = \frac{\pi d}{\alpha} = \text{longueur de cohérence spatiale}$$

$$I = 2I_b \left(1 + \operatorname{sinc} \left(\frac{\pi}{\lambda} \cdot \frac{ab}{d} \right) \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\alpha x}{d} \right) \right) \quad |V| = \left| \operatorname{sinc} \left(\frac{\pi}{\lambda} \cdot \frac{ab}{d} \right) \right|$$

$$C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = |V| \quad i = \frac{2\pi D}{\alpha}$$



$$2 \text{ sources ponctuelles monochromatiques: } I = 4I_0 \left[1 + \cos \left(\pi S_M \frac{\Delta \tau}{\lambda^2} \right) \cos \left(\frac{2\pi S_M}{\lambda} \right) \right]$$

$$V = 0 \Rightarrow \pi S_M \frac{\Delta \tau}{\lambda^2} = \frac{\pi}{2} + n\pi$$

$$2\pi S_M \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) = (2k+1)\pi$$

$$1^{\text{er}} V = 0 \Rightarrow \pi \frac{\alpha x_0}{D} \cdot \frac{\Delta \tau}{\lambda^2} = \frac{\pi}{2}$$

Source ponctuelle à spectre continu, rectangulaire: longueur de cohérence temporelle:

$$\frac{dS}{dt} \xrightarrow{0} \text{Lumière quasi-monochromatique}$$

$$I = \int_{t_0 - \frac{\Delta t}{2}}^{t_0 + \frac{\Delta t}{2}} dI = \int 2A \left(1 + \cos \left(2\pi S_M \Delta \tau \right) \right) dt$$

$$\text{Long. de cohérence temp.} \quad I = 2A \Delta \tau \left(1 + \operatorname{sinc} \left(\pi S_M \Delta \tau \right) \cos \left(\frac{2\pi S_M}{\lambda} \right) \right)$$

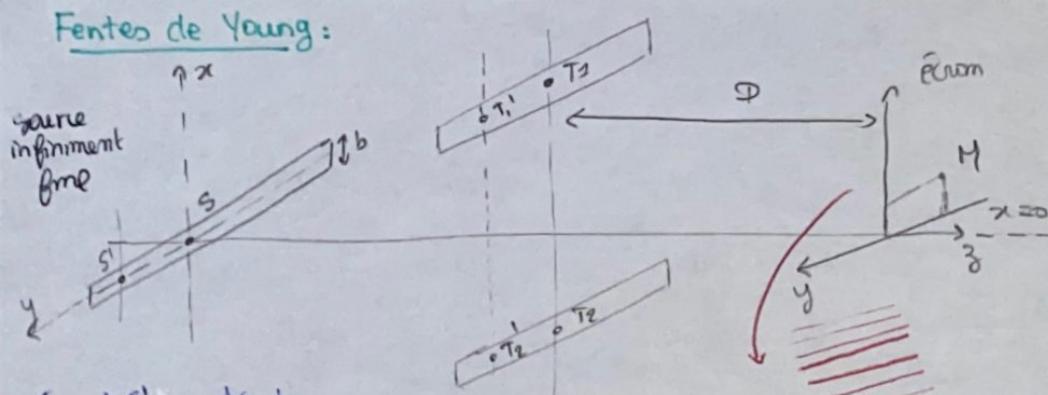
$$1^{\text{er}} \text{ val de } S_M \text{ qui annule } V: \pi S_M \Delta \tau = \pi \Rightarrow \Delta \tau = \frac{1}{\Delta \tau}$$

$$4 \frac{D}{\lambda} \frac{\Delta \tau}{\Delta \tau} = \frac{1}{C} \Rightarrow \Delta \tau = \frac{\Delta \tau}{C} \Rightarrow \Delta \tau \Delta \tau = 1$$

$$\Delta p = \frac{1}{2} \Rightarrow P_C = \frac{\pi^2}{\Delta \tau^2}$$

$$\Delta p > \frac{1}{2} \Rightarrow S_M > P_C \Rightarrow \text{brouillage des franges}$$

Fentes de Young :

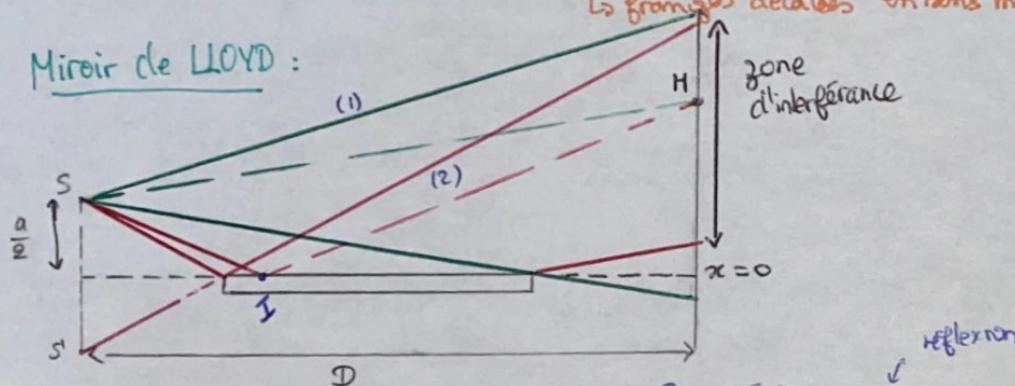


S_M et S'_M indép de y

$$(S_{T_2}M) - (S_{T_1}M) = (S'_{T_2}M) - (S'_{T_1}M) = \frac{a\pi}{D}$$

- > franges // à la fente source
- > si la fente déplacée selon oy rien ne passe
- > si la fente déplacée selon ox les franges décalées en sens inverse

Miroir de LLOYD :



$$S_M = (SM)_2 - (SM)_1 = S'_1 + \text{II} - SM = S'_M \cdot SM \quad \Phi_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0} (S_M - S'_M) + \pi$$

Phase continue : réfraction - réflexion ($n_2 > n_1$)

Phase discontinuité de π : réflexion ($n_2 < n_1$) - réflexion sur un métal
passage par un pt de CV

$$I = I_0 / \left(1 - \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda_0} \frac{a\pi}{D} \right) \right)$$

: frange centrale nomb

Réseaux plans :

* Réseau plan: N fentes (fentes) 500 traits/mm
de largeur a distantes de a

$M(\varphi)$

énon au foyer image de la lentille (M à φ_{100})
→ pour certaines directions θ : interférence destructive
rendu $O_1 O_2 \dots O_N$ point en phase 2 à 2
déphasage de 2π entre 2 fentes successives

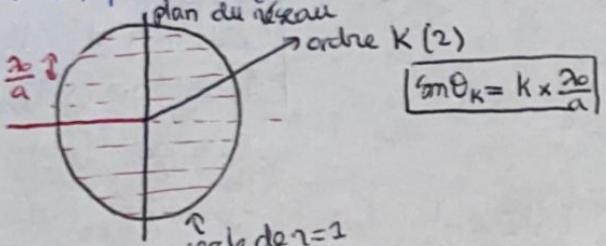
$$\phi_{O_1}(M) - \phi_{O_2}(M) = \frac{2\pi}{\lambda} S = 2K\pi \text{ donc } S = (\sin \theta_1 - \sin \theta_2) = K \frac{\lambda}{a}$$

$$\sin \theta_k - \sin \theta_i = K \frac{\lambda}{a} \quad \text{l'ordre}$$

→ $\lambda \rightarrow$ mème d'ordre
 $\rightarrow K=0 \Rightarrow \theta_i=\theta_k$ superposition des longueurs d'onde

→ si $K \neq 0$ $\theta_k(\lambda)$ = dispersion pour K donné
plan du réseau

rouge + bleu
que le violet
≠ prisme



$$g(M) = \sum_{n=1}^{N-1} a_n \quad \underline{a_i}(M) = A_0 e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} n} \quad \varphi = \phi_i(M) - \phi_{O_1}(M) = \frac{2\pi}{\lambda} S$$

$$\underline{a_i}(M) = a_1 \times e^{j(\frac{2\pi}{\lambda} n - \frac{2\pi}{\lambda} i)} \quad S = a(\sin \theta - \sin \theta_i)$$

$$\underline{a}(M) = \sum_{n=1}^N a_n = a_1 \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)\varphi} = \underline{a}_1(M) \frac{1 - e^{jN\varphi}}{1 - e^{j\varphi}}$$

$$I(M) = \underline{a}(M) \underline{a}(M)^* = A_0^2 \frac{(1 - e^{jN\varphi})(1 - e^{-jN\varphi})}{(1 - e^{j\varphi})(1 - e^{-j\varphi})} = A_0^2 \frac{2 - 2 \cos(N\varphi)}{2 - 2 \cos(\varphi)}$$

$$I(M) = I_0 \left(\frac{\sin \frac{N\varphi}{2}}{\sin \frac{\varphi}{2}} \right)^2$$

f^o d'interférence modulée
par une f^o de diffraction

$N\varphi \approx \pi$ lorsque $m \frac{S}{a}$

$$I(M) \sim N^2 I_0 \text{ pour } \varphi \rightarrow 0$$

Demi-largeur des pics principaux :
premier zéro de $I(M)$ $\frac{N\varphi}{2} = \pi$ soit $\varphi = \frac{2\pi}{N}$ donc $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{N}$

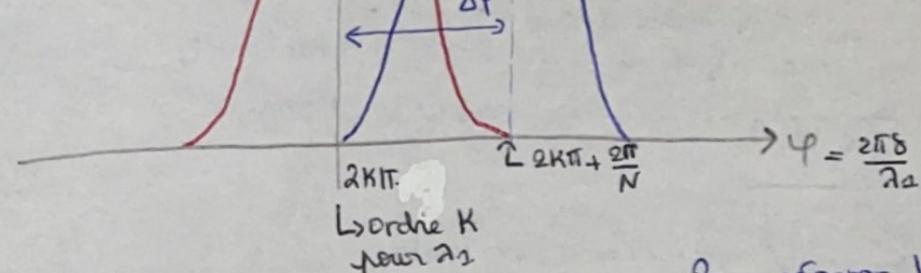
Complément :

Source : lampe à vapeur de sodium Na

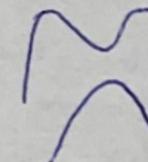
$$\lambda_2 = \lambda_1 + \frac{\Delta\lambda}{0,6 \text{ mm}}$$

on ne visualise que $I_{\lambda_1} + I_{\lambda_2}$ I_{λ_1}
source fixe M

max visible en $\theta_R + \Delta\theta_R$



si $\Delta > \frac{2\pi}{N}$ alors



si $\Delta < \frac{2\pi}{N}$ alors

$$\alpha(\sin(\theta_k) - \sin \theta_i) = k \alpha_1$$

$$\alpha(\sin(\theta_k + \Delta\theta_k) - \sin \theta_i) = k \alpha_2 = (k + \frac{1}{N}) \alpha_1$$

$$k \alpha_2 = k \alpha_1 + \frac{\alpha_1}{N} \text{ donc}$$

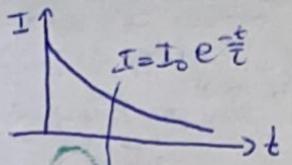
$$k \Delta \alpha = \frac{\alpha_1}{N}$$

$$\frac{\alpha_1}{\Delta \alpha} = \frac{Nk}{1}$$

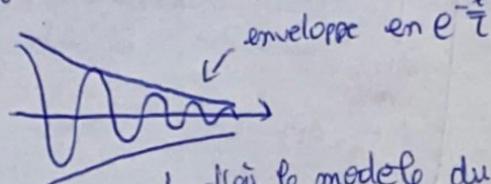
pouvoir de résolution d'un réseau

$$E_2$$

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \hbar U_0$$



f) onde liée au photon émis:

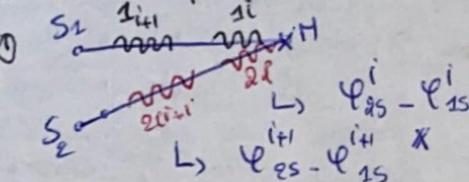


intensité mesurée en M lorsqu'une population d'atomes excités se désexcite

Le où le modèle du train d'onde pente significative prendant 1 dans la finie)

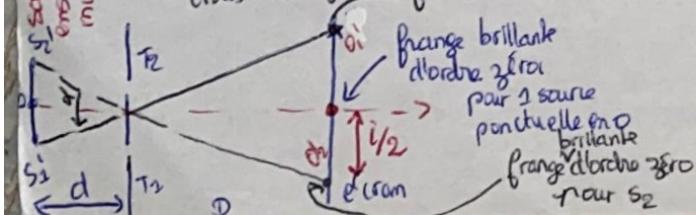
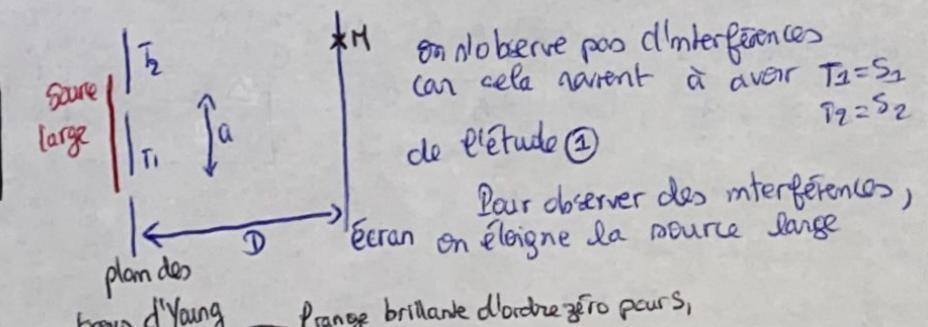
Wavy line: c'est la diffusio de "tronqué"

Cohérence temporelle ⁽¹⁾ et cohérence spatiale ⁽²⁾:



cette différence varie de manière aléatoire
↳ pas d'interférences
 S_1 et S_2 incohérentes temporellement

source large
ens. de sources ponctuelles entre elles



quand $\alpha l = \frac{i}{2}$ (i =interfrange) alors il y a brouillage.

$\left\{ \begin{array}{l} i = \frac{\pi a D}{\lambda} (\text{maur}=1) \\ \frac{d}{l} = \frac{S_1 S_2}{l} = \frac{i}{D} \end{array} \right. \Rightarrow d \text{ limite lorsqu'il y a brouillage}$

on a interférences pour $d < l$:

$\boxed{d_l = \frac{\lambda D}{a}}$

\downarrow Cg Conf $S_1 S_2 = l s = \frac{\lambda a l}{a}$

\uparrow longeur de cohérence spatiale

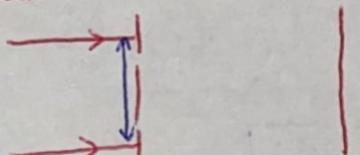
(Selon certains auteurs) on appelle l'angulaire de cohérence spatiale, la valeur limite de " a " :

Pour une largeur de source [$S_1 S_2$] donnée et une distance "d" donnée : $d_l = \frac{S_1 S_2}{d} \Rightarrow a_l = \frac{\lambda D}{d}$

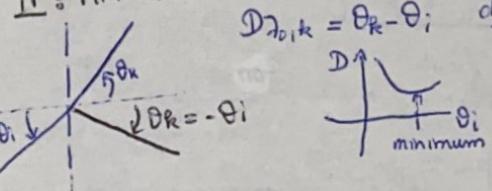
Avec $a < a_l$

$$\left| \begin{array}{l} S_1 S_2 = 5 \text{ mm} \\ d = 50 \text{ cm} \\ \alpha = 10^{-2} \text{ rad} \\ \lambda_0 = 589 \text{ nm (Na)} \\ a_l = \frac{\lambda D}{d} = 60 \mu\text{m} \end{array} \right.$$

Faisceau laser = très cohérent spatialement
↳ effet optique : Le speckle



θ_i^0 = Minimum de déviation



$D(\theta_{i0}) = 0$ traduit le minimum de déviation

au min de déviation $d\theta_{i0} = d\theta_i$
Formule du réseau :

$$a(\sin \theta_{k0} - \sin \theta_i) = k \lambda_0 \quad (1)$$

$$a \cos(\theta_i) d\theta_i = a \cos(\theta_{k0}) d\theta_k$$

$$\rightarrow \theta_{k0} = -\theta_i + ds \quad (2) \quad 2 \sin \theta_{k0} = \frac{k \lambda_0}{a}$$

$$D(\theta_{i0}, k) = 2 \theta_{k0 m} \Rightarrow \sin\left(\frac{D_m}{2}\right) = \frac{k \lambda_0}{2a}$$

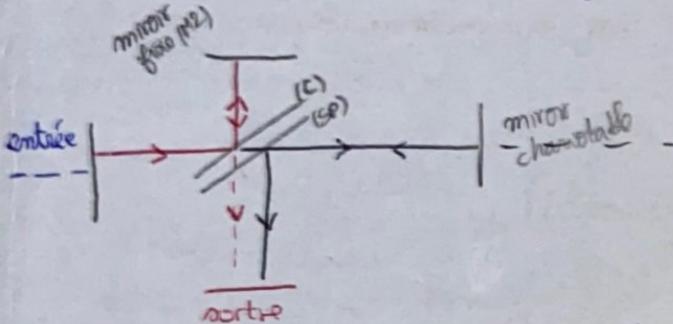
au min de déviation,

$$\cos \theta_{k0} = \cos \theta_i$$

$\theta_{k0} = \theta_i \Rightarrow k=0$ ordre pour

lequel l'on n'a pas de dispersion

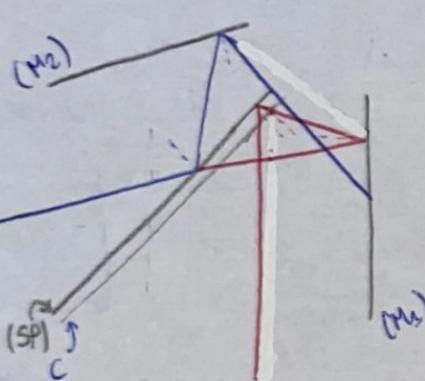
Interférences par division d'amplitude Interféromètre de Michelson



C: compensation

SP: à parallèle

$\rightarrow z$



rayon bleu traverse la lame (C) 1 fois
"rouge" " " " 3 fois
Linéarité de la compensation
* Division d'amplitude
* $I_0 = R T I_{\text{d}} = R(1-R) I_{\text{d}}$

S_{d}

S_{r1}

S_{r2}

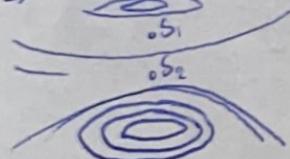
Utilisation en flamme d'air:

$$\Delta I = (S_{\text{M}})_1 - (S_{\text{M}})_2 = S_{\text{M}} \cdot S_{\text{M}} \Delta I$$

source ponctuelle: franges bien localisées

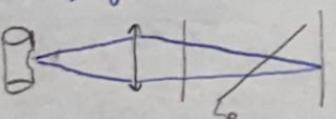
↳ sur toute la zone d'interférence

hyperbole: M est surface d'égal I_{max}
↳ de révolution autour de l'axe (S_1, S_2)



source étendue: franges localisées à ΔI
↳ sources ponctuelles incohérentes \Rightarrow ajoute I

differents angles i



$$S_1 S_2 = \overline{S_1} A + \overline{S_2} B = \overline{A} S^* + e + S^* B = 2e$$

\downarrow

$\overline{AB} + \overline{B} S_2$

$$\delta = (S_{\text{M}})_1 - (S_{\text{M}})_2 = S_{\text{M}} \cdot S_{\text{M}} \Delta I = S_{\text{M}} H = 2e \cos i$$

ou

$$\delta = 2 I_2 I^* - I_2 k'$$

$$= 2 \times \frac{e}{\cos i} - \sin i \times 2 \times \tan i \times e$$

$$= \frac{2e}{\cos i} (1 - \sin^2 i)$$

$$= 2e \cos^2 i$$

$i =$ des franges d'égale inclinaison

$$I = 2 I_0 \left[1 + (\cos i) \left(\frac{2\pi}{\lambda} \Delta e \cos i \right) \right]$$

$$i=0 \Rightarrow P_0 = \frac{2e}{\lambda}$$

$$\text{or } P_{\text{max}} = \frac{2e}{\lambda} = P_0$$

donc les anneaux \leftarrow ordres inférieurs à P_0

$$P = P_0 \cos i$$

$$= P_0 \left(1 - \frac{i^2}{2} \right) = P_0 \left(1 - \frac{\lambda^2}{2f^2} \right) \Rightarrow r^2 = 2f^2 \left(1 - \frac{P}{P_0} \right) \Rightarrow r = f \sqrt{2 - \frac{P}{P_0}}$$

$$P_0 = \underbrace{m_0 + \epsilon}_{E(\text{int}) \in [0,1]} \quad \begin{array}{l} \text{1er annneau brillant } P_1 = L P_0 = m_0 \\ K^{\text{em}} \quad \text{brillant } P_K = L P_0 - (K-1) = m_0 - (K-1) \end{array}$$

$$r_R = f \sqrt{2 - (m_0 - K + 1) \frac{\lambda^2}{2f^2}} = f \sqrt{2 - (P_0 - E - K + 1) \frac{\lambda^2}{2f^2}} = \frac{f \sqrt{(E + K - 1) \frac{\lambda^2}{2f^2}}}{P_0}$$

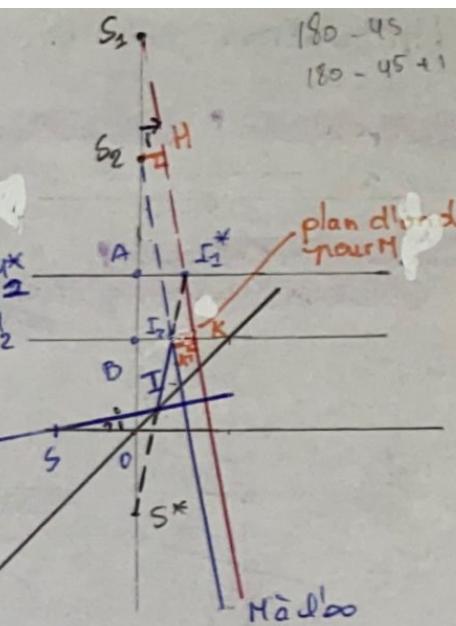
$$r_{R+1} - r_R = f \sqrt{\frac{\lambda^2}{2f^2}} \times \frac{1}{\sqrt{R+E} - \sqrt{R+E-1}} \quad \downarrow \text{ si } K \rightarrow \quad P_0 = \frac{2e}{\lambda}$$

Les anneaux sont de \oplus en \ominus sens horizontaux
du centre

si centre brillant $E=1$ $r_R = f \sqrt{\frac{\lambda^2}{2f^2}} \sqrt{R}$

$\delta = 2e \cos i \neq 0 \Leftrightarrow$ alors $i \neq 0 \Rightarrow$ les anneaux sortent
 $\rightarrow i \neq 0 \Rightarrow$ a rentrer

Contact optique: $e=0 \Leftrightarrow P=0$ en tout point + étalement uniforme
↳ surface plate



$$G = f^2 \frac{e}{\lambda}$$

Utilisation sur coin clair:

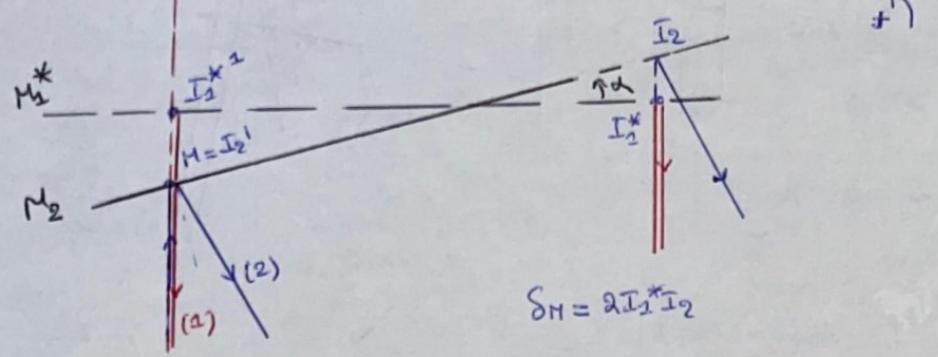
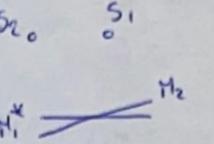
$$S = (SM)_2 - (SM)_1 = S_2 M - S_1 M$$

Source ponctuelle : franges non localisées

Réseau d'hyperboles = segments
droit // à l'axe

Source large à distance ∞ :

incident quasi normale \Rightarrow franges localisées
au V des miroirs
sur M_2



$$SM' = (SM)_2 - (SM)_1 = -2I_1^* I_2^* \text{ : franges d'égal épaisseur}$$

$$d = \delta M d = \frac{I_2 I_2^*}{I_1 I_1^*} \quad \delta M = 2d \text{ X algébrique}$$

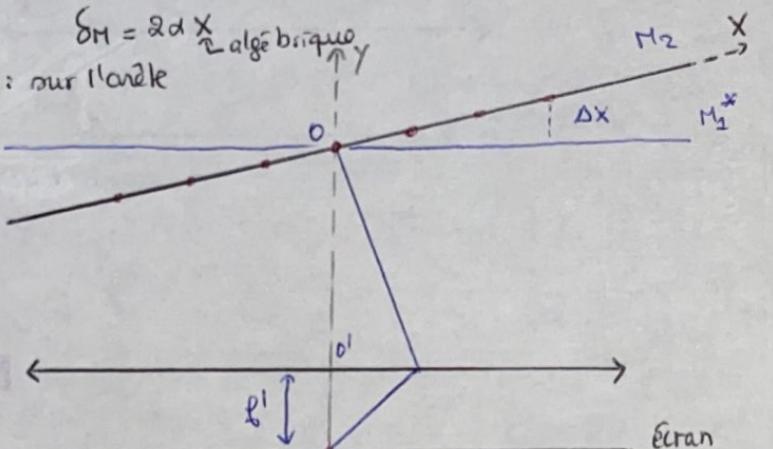
frange d'ordre 0 : sur l'axe

$$2dX_{k+1} - 2dX_k = \Delta x$$

$$(X_{k+1} - X_k = \frac{\Delta x}{2d})$$

M_2 -Ecran > $1/f$:
franges verticales
d'interfrange i'

$$i' = |x| / i$$



Si x varie de $\Delta x \Rightarrow$ franges défilent de
à cause de glissement de l'axe

introduction d'une lame d'épaisseur ϵ , d'indice n : (sur 1 trajet (1) ou (2))

$$SM = (SM)_2' - (SM)_1 = (SM)_2 - 2\epsilon + 2\epsilon(n) - (SM)_1 = 2dX + 2\epsilon(n-1)$$

frange d'ordre 0 translating de $X_0 = \frac{2\epsilon(n-1)}{d}$ < 0

On retrouve P_0 sur (Oy) \Rightarrow translate M_2 de $\Delta x = d|X_0| = \epsilon(n-1)$

\Rightarrow si l'axe sur le trajet (2) est changé donc pour rebrousser P_0 sur (Oy) il faut rallonger $(SM)_2$ (impossible) donc il faut raccourcir $(SM)_1 \Rightarrow$ translate M_2 vers la gauche $X_0 = \frac{\epsilon(n-1)}{d} > 0 \quad \Delta x = -dX_0 = \epsilon(n-1) < 0$

Interférences en lumière non monochromatique:

source étendue au sodium Na (λ_1 et $\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda$)

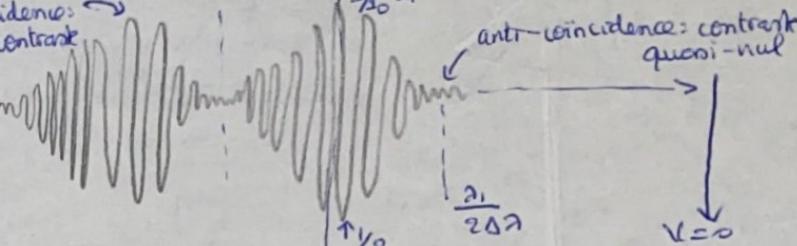
$$I_1 = 2I_0 \left(1 + \cos \left(\frac{\pi \delta_m \Delta\lambda}{\lambda_1} \right) \right) \quad I_2 = 2I_0 \left(1 + \cos \left(\frac{\pi \delta_m \Delta\lambda}{\lambda_2} \right) \right) \quad \delta_m = 2e \cos i$$

$$\delta_m \neq \text{cohérentes} \Rightarrow I = I_1 + I_2 : \text{avec } \frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_1^2}$$

$$I = 4I_0 \left(1 + \cos \left(\pi \delta_m \frac{\Delta\lambda}{\lambda_1^2} \right) \cos \left(\frac{\pi \delta_m \Delta\lambda}{\lambda_1} \right) \right) \quad \sqrt{\text{de période}} \quad \frac{2\pi}{\Delta\lambda} \quad \text{pour la variété} \quad \frac{\delta_m}{\lambda_1}$$

$$\text{enveloppe: } I' = 4I_0 \left(1 + \cos \left(\pi \delta_m \frac{\Delta\lambda}{\lambda_1^2} \right) \right)^2 \quad \text{.. " " "}$$

$$I'' = 4I_0 \left(1 - \cos \left(\pi \delta_m \frac{\Delta\lambda}{\lambda_1^2} \right) \right) \quad \text{coïncidence: bon entrée} \quad \frac{\delta_m}{\lambda_1^2} \quad \text{anticoïncidence: contrast quasi-nul}$$



$$\Delta e = \frac{\Delta x}{2\Delta\lambda}$$

$$\Leftrightarrow e_n = \frac{\Delta x}{4\Delta\lambda} + \frac{\Delta x}{2\Delta\lambda} \Leftrightarrow \pi \delta_m \frac{\Delta\lambda}{\lambda_1^2} = \frac{\pi}{2} + n\pi$$

Source à profil rectangulaire

$$I = 2A \Delta\sigma \left(1 + \sin \left(\pi \delta_m \Delta\sigma \right) \cos \left(\frac{\pi \delta_m \Delta\sigma}{\Delta\lambda} \right) \right) \quad \sqrt{(\delta_m)}$$

$$P_c = 1 \text{ val de } \delta_m \text{ (q.v. 0)}$$

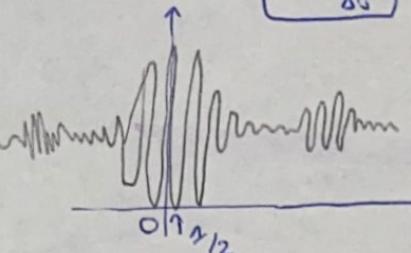
$$\pi \delta_m \Delta\sigma = \pi \Rightarrow P_c = \frac{1}{\Delta\sigma} \quad \Delta V T_c = 1$$

$$\Delta P = \frac{1}{2}$$

↓

$$\delta_m = P_c = \frac{c}{\Delta V}$$

$$\Leftrightarrow P_c = \frac{\Delta\lambda^2}{\Delta\sigma}$$



$$\frac{\delta_m}{\lambda_1}$$

Expérience: translate M_2 : contact optique \sim bruitage des franges
 $\delta_m = 2e = P_c$ au bruitage donc on peut déduire P_c et donc $\Delta\sigma$ pour la rareté du muraille

Interférences sur lumière blanche:

↳ com clair !

$$I = 2I_0 \left(1 + \cos\left(\frac{2\pi s_n}{\lambda}\right) \right)$$

$s_n = 2ax$ peut être nulle
(déphasage de π)

- > frange centrale (l'arête) blanche : achromatique
- > 2 franges sombres bordent la frange centrale
- > $s_n \gg$ \Rightarrow blanc d'ordre supérieur
↳ spectre cannelé