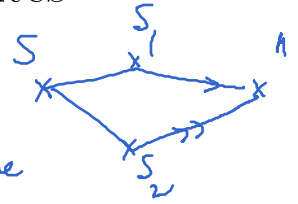


Chap OO3 : interférences à 2 ondes cohérentes

Les conditions d'obtention d'interférences à 2 ondes sont:

- Une source principale monochromatique S
- Deux sources secondaires S_1 et S_2 issues de S par un dispositif d'optique
- $\delta_{2,1}(M) < \lambda_c$ les ondes issues de S_1 et S_2 sont cohérentes



Ces conditions garantissent que les 2 trains d'ondes qui arrivent en M ont été émis par le même atome au même instant. Par conséquent le déphasage entre les deux trains d'onde ne dépend que de la différence de chemins optiques parcourus, appelée différence de marche. On dit que les 2 ondes sont cohérentes

La différence de marche en M s'écrit: $\delta_{2,1}(M) = (SS_2M) - (SS_1M)$

Le déphasage des ondes en M s'écrit: $\varphi_{2,1}(M) = \frac{2\pi \delta_{2,1}(M)}{\lambda}$

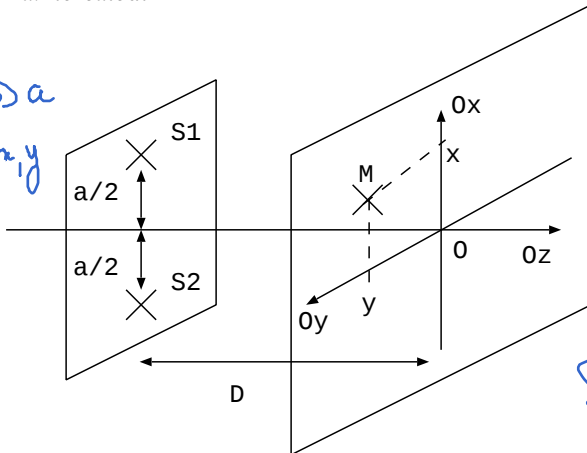
$$\begin{aligned} \varphi_{2,1} &\rightarrow 2\pi \\ \delta_{2,1} &\rightarrow \lambda \end{aligned}$$

I. Dispositif d'Young

1. Expression de la différence de marche

Par le calcul:

hyp: $D \gg a$
 $D \gg x, y$



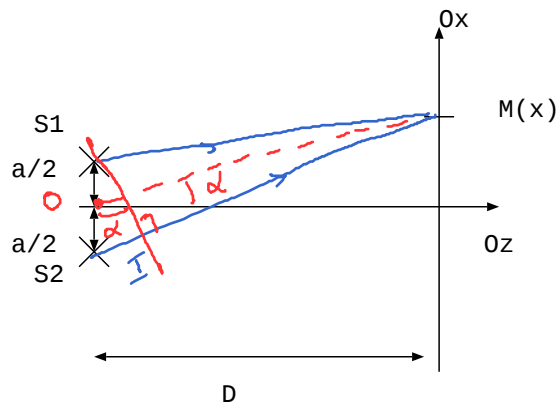
$$\begin{aligned} M &\begin{pmatrix} x \\ y \\ 0 \end{pmatrix} \quad S_1 \begin{pmatrix} a/2 \\ 0 \\ -D \end{pmatrix} \quad S_2 \begin{pmatrix} -a/2 \\ 0 \\ -D \end{pmatrix} \\ \vec{S_1 M} &\begin{pmatrix} x - a/2 \\ y \\ D \end{pmatrix} \quad \vec{S_2 M} \begin{pmatrix} x + a/2 \\ y \\ D \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$$\delta_{2,1}(M) = (S_2 M) - (S_1 M) = S_2 M - S_1 M \quad \text{pour } n=1$$

$$\begin{aligned} \delta_{2,1}(M) &= \left((x + a/2)^2 + y^2 + D^2 \right)^{1/2} - \left((x - a/2)^2 + y^2 + D^2 \right)^{1/2} \\ &= D \left[1 + \frac{y^2}{D^2} + \frac{(x + a/2)^2}{D^2} \right]^{1/2} - D \left[1 + \frac{y^2}{D^2} + \frac{(x - a/2)^2}{D^2} \right]^{1/2} \quad (1 + \varepsilon)^{1/2} \approx 1 + \frac{\varepsilon}{2} \\ &\approx D \left[1 + \frac{y^2}{2D^2} + \frac{(x + a/2)^2}{2D^2} \right] - D \left[1 + \frac{y^2}{2D^2} + \frac{(x - a/2)^2}{2D^2} \right] \quad \left. \begin{array}{l} \text{D.L. car} \\ x, y, a \ll D \end{array} \right\} \\ &\approx \frac{1}{2D} \left[\left(x^2 + ax + \frac{a^2}{4} \right) - \left(x^2 - ax + \frac{a^2}{4} \right) \right] \end{aligned}$$

$$\boxed{\delta_{2,1}(M) \approx \frac{ax}{D}}$$

Par une approche simplifiée:



$a = S_1 S_2 \ll D$ donc S_1 et S_2 sont quasi confondus avec 0

$$\begin{aligned} \delta_{2/1}(M) &= (S_2 M) - (S_1 M) \\ &= (S_2 I) + (\cancel{I M}) - (\cancel{S_1 M}) \end{aligned}$$

Par principe de retour inverse de la lumière, M se comporte comme une source. Entre la source M et la surface d'onde $S_1 I$ le chemin optique estcott.

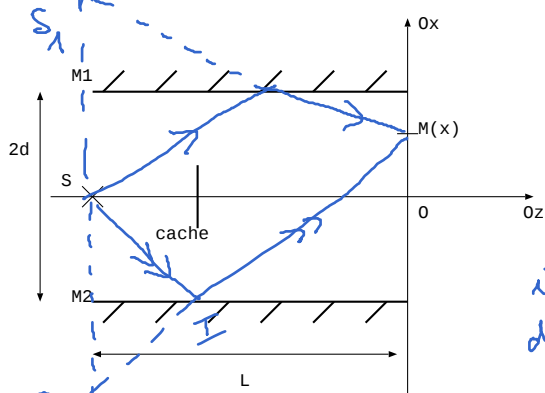
$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \frac{S_2 I}{a} \approx \alpha \\ \tan \alpha &= z/D \end{aligned}$$

$$\boxed{\delta_{2/1}(M) = S_2 I = a \alpha = \frac{a z}{D}} \quad \triangleright$$

2. Dispositifs type d'Young

Montrer que les dispositifs suivants sont équivalents au dispositif d'Young. Exprimer la différence de marche en M en utilisant l'analogie avec Young.

Deux miroirs parallèles



Miroir de Lloyd

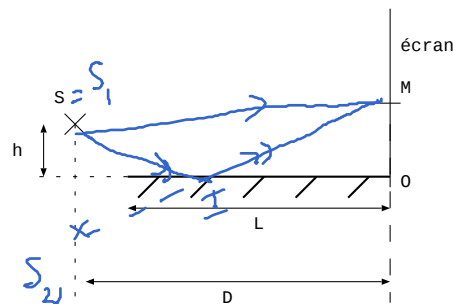
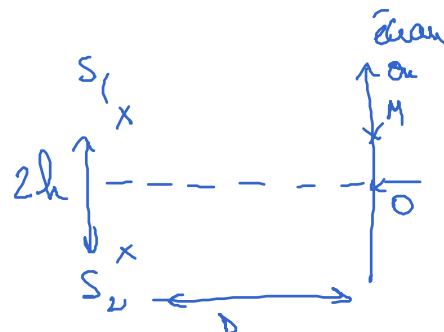


image S_2 de S par M

$$S_2 I = S_1 I \text{ par symétrie}$$

Les rayons qui arrivent en M semblent venir de S_1 et S_2 .



$$\delta_{2/1}(M) = \frac{2h z}{D}$$

image de S par M_1

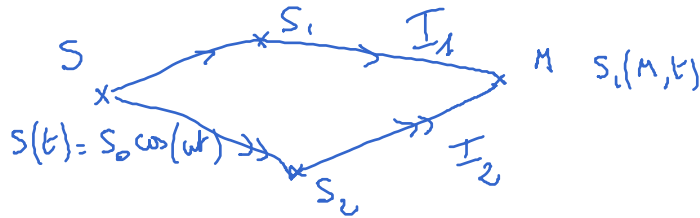
image de S par M_2

Par symétrie $S_1 I + I M = S_2 M$
Donc les rayons qui arrivent en M semblent venir de S_1 et S_2

$$\begin{aligned} a &= 4d \\ \delta_{2/1}(M) &= \frac{4d z}{L} \end{aligned}$$

II. Formule de Fresnel

1. Démonstration



La source S est monochromatique, elle émet donc un signal sinusoïdal de la forme $s(t) = s_0 \cos(\omega t)$.

On note $s_1(M, t)$ l'onde reçue en M à l'instant t après avoir emprunté le chemin 1 (soit le chemin de la source secondaire S_1). Cette onde s'écrit $s_1(M, t) = s_{01} \cos(\omega t - \varphi_1(M))$

$\varphi_1(M)$: déphasage de l'onde émise à l'instant t en S et reçue en M à l'instant $t_1 = t + \frac{SS_1M}{c}$ soit $\varphi_1(M) = \omega \frac{SS_1M}{c}$

L'intensité de cette onde en M est: $I_1(M) = K \langle s_1^2(M, t) \rangle = K \frac{s_{01}^2}{2}$

On note $s_2(M, t)$ l'onde reçue en M à l'instant t après avoir emprunté le chemin 2 (soit le chemin de la source secondaire S_2). Cette onde s'écrit $s_2(M, t) = s_{02} \cos(\omega t - \varphi_2(M))$

$\varphi_2(M)$: déphasage de l'onde émise à l'instant t en S et reçue en M à l'instant $t_2 = t + \frac{SS_2M}{c}$ soit $\varphi_2(M) = \omega \frac{SS_2M}{c}$

L'intensité de cette onde en M est: $I_2(M) = K \langle s_2^2(M, t) \rangle = K \frac{s_{02}^2}{2}$

Remarque: les ondes $s_1(M, t)$ et $s_2(M, t)$ ont la même pulsation que la source car les ondes sont cohérentes (elles sont émises par la source S monochromatique)

L'onde résultante en M s'écrit: $s(M, t) = s_1(M, t) + s_2(M, t)$

D'où l'intensité en M (on rappelle que $2 \cos a \cos b = \cos(a+b) + \cos(a-b)$):

$$\begin{aligned} I(M) &= K \langle s^2(M, t) \rangle = K \langle s_1^2(M, t) + 2s_1(M, t)s_2(M, t) + s_2^2(M, t) \rangle \\ &= K \langle s_1^2(M, t) \rangle + K \langle s_2^2(M, t) \rangle + 2K s_{02} s_{01} \langle \cos(\omega t - \varphi_1) \cos(\omega t - \varphi_2) \rangle \\ &= I_1 + I_2 + K s_{02} s_{01} \left[\langle \cos(2\omega t - \varphi_1 - \varphi_2) \rangle + \langle \cos(\varphi_2 - \varphi_1) \rangle \right] \\ &\quad \text{---} \text{valeur moyenne nulle} \quad \text{---} \text{cette donc sa valeur moyenne c'est elle m} \end{aligned}$$

$$= I_1 + I_2 + \underbrace{\sqrt{K} s_{02}}_{\sqrt{2I_2}} \times \underbrace{\sqrt{K} s_{01}}_{\sqrt{2I_1}} \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$$

$$\boxed{I(M) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\varphi(M))} \quad \text{avec } \varphi(M) = \varphi_2(M) - \varphi_1(M) = \frac{2\pi \delta_{21}(M)}{\lambda}$$

Conclusion:

Pour 2 ondes d'intensité I_1 et I_2 incohérentes qui arrivent en M . L'intensité en M s'écrit: $I = I_1 + I_2$

Pour 2 ondes d'intensité I_1 et I_2 cohérentes qui arrivent en M . L'intensité en M s'écrit:

avec interférences $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\varphi(M))$

Cas particulier: pour 2 ondes cohérentes de même intensité I_0 qui arrivent en M . L'intensité en M s'écrit:

$I = 2I_0 (1 + \cos(\varphi(M)))$ ♥

2. Notion d'ordre d'interférences

On définit l'ordre d'interférences par : $p(M) = \frac{\delta(M)}{\lambda}$ ♥

Remarque: en général, on ne précise pas si on calcule $p_{2/1}(M) = \frac{\delta_{2/1}(M)}{\lambda}$ ou $p_{1/2}(M) = \frac{\delta_{1/2}(M)}{\lambda}$, le signe de p est différent dans ces deux cas. Dans un énoncé de concours, il est d'abord demandé d'exprimer $\delta_{2/1}(M)$ puis d'en déduire $p(M)$, c'est sous entendu par conséquent que $p(M) = \frac{\delta_{2/1}(M)}{\lambda}$.

3. Etude de la fonction intensité en fonction de l'ordre d'interférences

$\varphi(M) = \frac{2\pi \delta_{2/1}(M)}{\lambda} = 2\pi p(M)$

La formule de Fresnel s'écrit en fonction de $p(M)$: $I(M) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(2\pi p(M))$

L'intensité est maximale pour $\cos(2\pi p) = +1$ soit $p = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ p entier

Pour deux ondes de même intensité I_0 : $I_{max} = 4I_0$

Pour deux ondes d'intensités I_1 et I_2 différentes: $I_{max} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}$

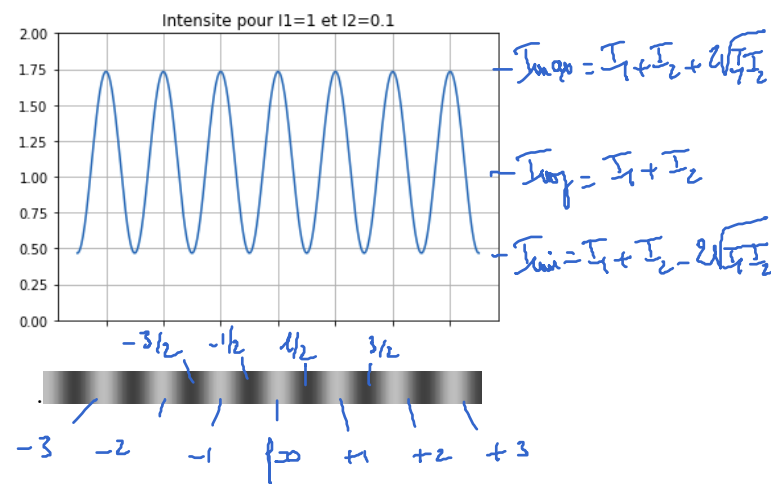
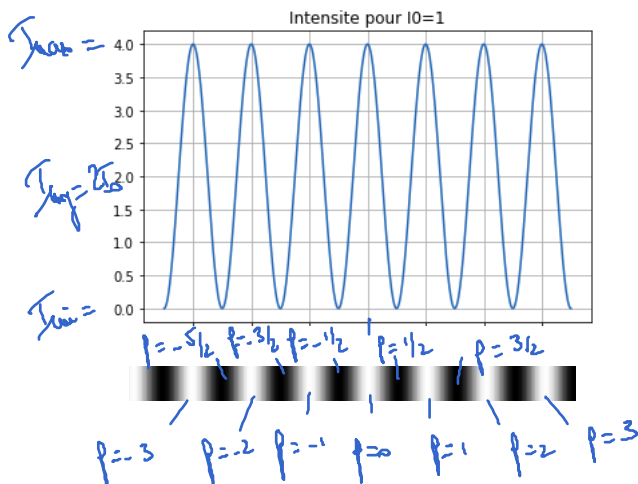
♥ || On retient: sur une frange brillante, l'intensité est maximale..... et l'ordre d'interférences est un entier.....

L'intensité est minimale pour $\cos(2\pi p) = -1$ $p = \pm 1/2, \pm 3/2, \dots$ demi-entier

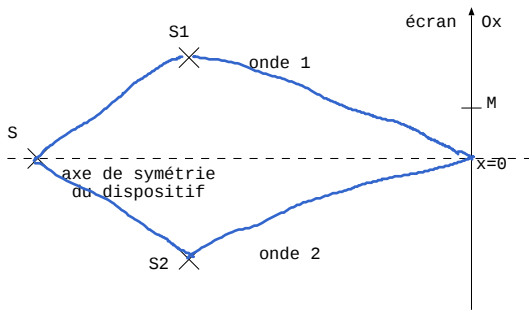
Pour deux ondes de même intensité I_0 : $I_{min} = 2I_0(1 - 1) = 0$

Pour deux ondes d'intensités I_1 et I_2 différentes: $I_{min} = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2}$

On retient: sur une frange sombre, l'intensité est minimale..... et l'ordre d'interférences est un demi-entier



Lien entre l'ordre d'interférences et le décalage des trains d'onde qui se rencontrent en M :



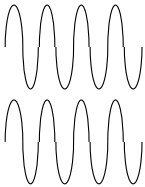
- $p=2$ $\delta_{2\lambda_1}(u) = 2\lambda$
- $p=1$ $\delta_{2\lambda_1}(u) = \lambda$
- $p=0$ $\delta_{2\lambda_1}(u) = 0$ frange centrale
- $p=-1$ $\delta_{2\lambda_1}(u) = -\lambda$
- $p=-2$ $\delta_{2\lambda_1}(u) = -2\lambda$

$\delta_{2\lambda_1}(u) > 0$ car l'onde passant par S_2 a un chemin + long à parcourir

$\delta_{2\lambda_1}(u) < 0$ car l'onde passant par S_2 a un chemin - long à parcourir

Lien avec les trains d'onde:

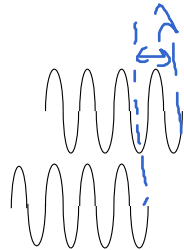
onde 1



les ondes ont parcouru le même chemin

$\delta_{2\lambda_1}(u) = 0$ et $p=0$

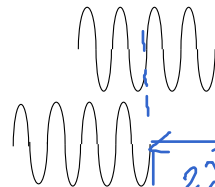
On se trouve sur l'écran en 0; c'est la frange centrale



les ondes sont décalées de λ : l'onde passant par S_1 est en avance

$$\delta_{2\lambda_1}(u) = \lambda$$

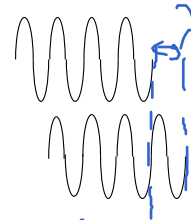
$$p = +1$$



les ondes sont décalées de 2λ l'onde passant par S_1 est en avance

$$\delta_{2\lambda_1}(u) = 2\lambda$$

$$p = +2$$

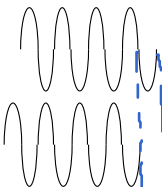


les ondes sont décalées de λ , l'onde passant par S_2 est en avance

$$\delta_{2\lambda_1}(u) = -\lambda$$

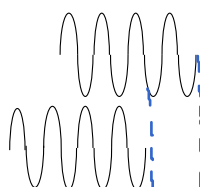
$$p = -1$$

onde 1



$$\delta_{2\lambda_1} = +\frac{\lambda}{2}$$

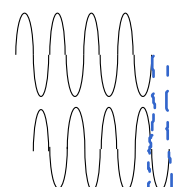
$$p = +\frac{1}{2}$$



$$\delta_{2\lambda_1} = \frac{3\lambda}{2}$$

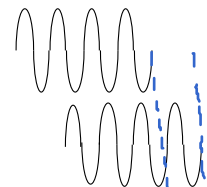
$$p = \frac{3}{2}$$

l'onde 1 arrive en avance car elle a parcouru un chemin + court: M se trouve au dessus de 0: $\delta > 0$



$$\delta_{2\lambda_1} = -\frac{\lambda}{2}$$

$$p = -\frac{1}{2}$$



$$\delta_{2\lambda_1} = -\frac{3\lambda}{2}$$

$$p = -\frac{3}{2}$$

l'onde 2 arrive en avance car elle a parcouru un chemin + court: M se trouve au dessous de 0: $\delta < 0$ et $p < 0$

Ici les ondes 1 et 2 arrivent en opposition de phase: M est sur une frange sombre p est en demi entier

4. Notion de contraste

Dans le cas où l'on réalise des interférences à 2 ondes d'intensités différentes, on observe que les franges sombres ne sont pas noires, elles sont gris foncé. Les franges brillantes peuvent aussi être peu brillantes. Dans ce cas, il peut se faire que l'on ne distingue pas les franges brillantes des franges sombres. On définit alors le contraste qui est un nombre qui permet de prévoir si les franges sont visibles ou non.

On définit le contraste par

$$C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

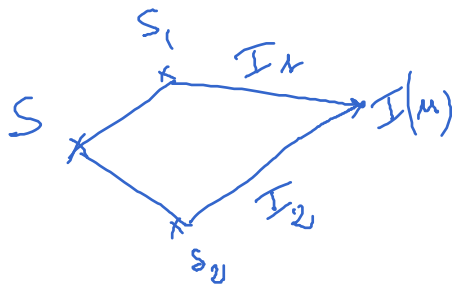
où $I_{\max}$ est l'intensité maximale ou l'écart (I sur les franges brillantes)
 où $I_{\min}$ est " minimale " " " (" " sombres)

La formule de Fresnel permet d'exprimer le contraste en fonction de I_1 et I_2 , les intensités des deux ondes issues de S_1 et S_2 :

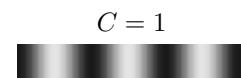
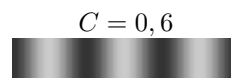
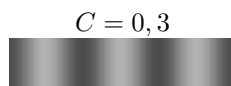
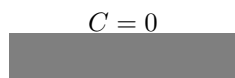
$$\begin{aligned} I_{\max} &= I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \\ I_{\min} &= I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} I_{\max} &= I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \\ I_{\min} &= I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2} \end{aligned}} \right) C = \frac{2\sqrt{I_1 I_2}}{I_1 + I_2}$$

pour $I_1 = I_2 = I$ on a : $C = 1$: les franges sombres sont noires
 le contraste est maximal

Attention de ne pas confondre:



$$I(u) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(2\pi p(u))$$



La valeur maximale du contraste est $C = 1$ pour $I_1 = I_2 = I$
 les franges sombres sont noires

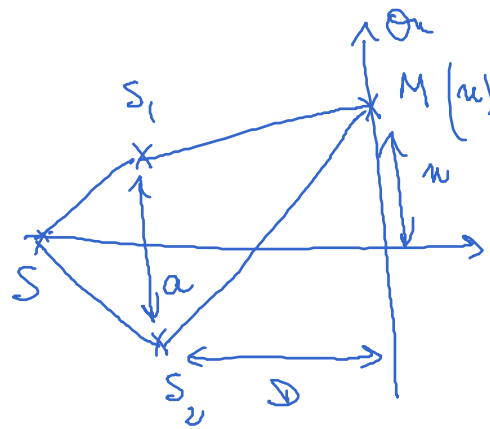
On estime que pour $C > 0,5$ on voit encore les franges
 Quand le contraste est trop faible, les franges sombres sont gris foncé, les franges brillantes sont gris clair, il peut se faire qu'on ne puisse plus les distinguer

III. Dispositif d'Young

1. Ordre d'interférences

L'ordre d'interférences est:

$$p(M) = \frac{\delta_{21}(M)}{\lambda} = \frac{a \pi}{\lambda D} u$$



On en déduit la forme des franges: les points qui sont sur une même frange ont la même valeur de p , or p ne dépend que de u donc les points sur une même frange sont tels que $u = \text{cte}$: ces points sont sur une droite $\perp$ à la direction $S_1 S_2$.

On retient: les franges sont rectilignes de direction $\perp$ à $S_1 S_2$.

On en déduit la position des franges brillantes: sur les franges brillantes, l'intensité est maximale ce qui correspond à un ordre d'interférences p entier relatif.

$$p = u \frac{a \pi}{\lambda D} = k \in \mathbb{Z} \quad \left[u_k = k \frac{\lambda D}{a} \right]$$

On en déduit la position des franges sombres: sur les franges sombres, l'intensité est minimale ce qui correspond à un ordre d'interférences p demi-entier.

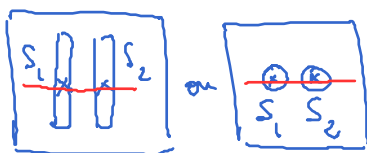
$$p = u \frac{a \pi}{\lambda D} = k + \frac{1}{2}, k \in \mathbb{Z} \quad \left[u_k = \left(k + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda D}{a} \right]$$

d'où l'interfrange:

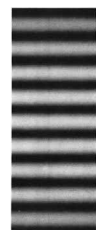
l'interfrange est la distance entre les centres de 2 franges brillantes ou 2 franges sombres consécutives: $\lambda = u_{k+1} - u_k = \frac{\lambda D}{a}$



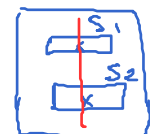
franges verticales $\perp$ à la direction $S_1 S_2$ horizontale



écran



franges horizontales $\perp$ à la direction $S_1 S_2$ verticale

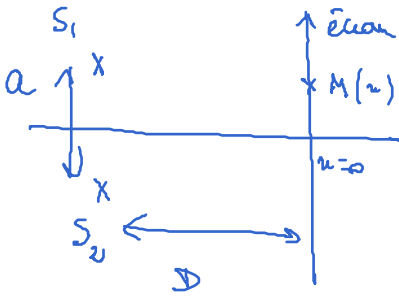


Remarque: si on définit l'ordre d'interférences par $p(M) = \frac{\delta_{1/2}(M)}{\lambda}$

$p(M) = \frac{\delta_{1/2}(M)}{\lambda} = - \frac{\delta_{21}(M)}{\lambda}$: les valeurs absolues des ordres d'interférences sont les mêmes, les signes changent

2. Utilisation de l'ordre d'interférences

Exemple 1: Soit le dispositif interférentiel des trous d'Young avec $a = 0,2 \text{ mm}$, distance entre les trous, $D = 2 \text{ m}$ (distance entre l'écran et le plan contenant les trous) et $\lambda = 632 \text{ nm}$. Calculer l'interfrange. Calculer l'ordre d'interférences en $x = 1,8 \text{ cm}$, $x = 2,2 \text{ cm}$ et $x = 5,1 \text{ cm}$. Commenter. On place entre $x = -4 \text{ cm}$ et $x = +3 \text{ cm}$ une barrette CCD. Prévoir le nombre de franges brillantes que l'on peut observer sur l'enregistrement de l'intensité sur la CCD.



$$i = \frac{\lambda D}{a} = \frac{632 \cdot 10^{-9} \times 2}{1 \times 10^{-4}} = 6,32 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

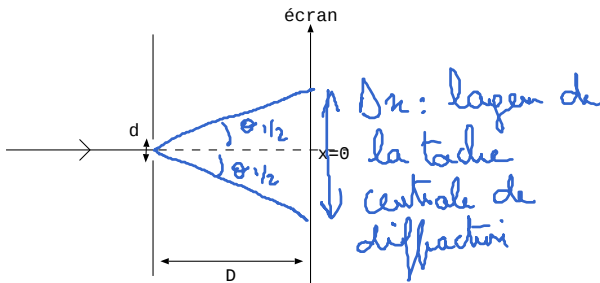
$$p(x) = n \frac{ax}{\lambda D}$$

pour $x = 1,8 \text{ cm}$: $p = 2,85$: frange grise
 pour $x = 2,2 \text{ cm}$: $p = 3,68$: frange sombre
 pour $x = 5,1 \text{ cm}$: $p = 8,07$: frange brillante

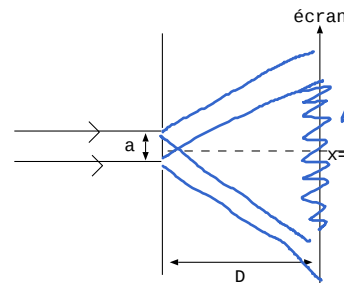
$$\begin{cases} p(x = -4 \text{ cm}) = -6,33 \\ p(x = +3 \text{ cm}) = +4,75 \end{cases}$$

les franges brillantes correspondent à des valeurs de p entières, sur la barrette CCD on voit les franges brillantes
 L'ordre: $-6, -5, \dots, -1, 0, 1, \dots, 4$ soit 11 franges brillantes

Exemple 2: Soit une fente fine de largeur $d = 40 \mu\text{m}$. La demi-largeur angulaire de la tache centrale de diffraction est donnée par $\theta_{1/2} = \frac{\lambda}{d}$. Déterminer la largeur de la tache centrale de diffraction sur l'écran à une distance $D = 1 \text{ m}$ de la fente. Donnée: $\lambda = 540 \text{ nm}$. On place maintenant deux fentes fines identiques distantes de $a = 110 \mu\text{m}$. Calculer le nombre de franges brillantes visibles dans la tache centrale de diffraction.



Δx : largeur de la tache centrale de diffraction



champ d'interférences à l'intersection des deux taches centrales de diffraction

$$\begin{cases} \tan \theta_{1/2} = \frac{\Delta x}{2D} \sim \theta_{1/2} \\ \theta_{1/2} = \frac{\lambda}{d} \end{cases}$$

$$\text{d'où } \Delta x = \frac{2\lambda D}{d} = 2,7 \text{ cm}$$

en réalité $a \ll D$ donc les 2 taches centrales de diffraction sont superposées
 le champ d'interférences a pour largeur

$$\Delta x = \frac{2\lambda D}{d} = 2,7 \text{ cm}$$

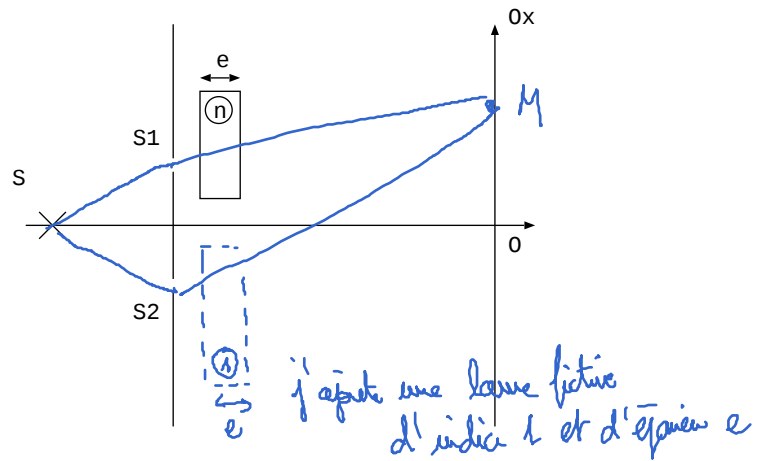
On calcule l'ordre d'interférences aux extrémités du champ d'interférences :

$$p(x = \frac{\Delta x}{2}) = n \frac{a \Delta x / 2}{\lambda D} = 2,91$$

$$p(x = -\frac{\Delta x}{2}) = -2,91$$

Les franges brillantes correspondent à des valeurs de p entières soit $p = -2, -1, 0, +1, +2$
 on voit 5 franges brillantes.

Exemple 3: Dans le dispositif des trous d'Young, on ajoute derrière le trou S_1 une lame de verre d'indice n et d'épaisseur e . On fait l'hypothèse selon laquelle les rayons lumineux sont peu inclinés par rapport à l'axe optique donc la lame est traversée en incidence quasi normale et les rayons qui traversent la lame ne sont pas déviés.



1- Sur l'écran, on observe que les franges ont translaté sans modification de l'interfrange. Justifier le fait que l'interfrange n'est pas modifié et prévoir sans calcul le sens de déplacement des franges (on pourra pour cela s'interroger sur la nouvelle position de la frange centrale).

2- Exprimer la différence de marche et l'ordre d'interférences en M en présence de la lame.

3- Calculer l'ordre d'interférences au point O en présence de la lame et en déduire le nombre de franges brillantes qui ont défilé au point O . Données: $e = 14 \mu\text{m}$, $\lambda = 540 \text{ nm}$ et $n = 1,63$.

1) L'interfrange est $i = \frac{\lambda D}{a}$ dans le dispositif d'Young, ici λ, D et a ne sont pas modifiés donc l'interfrange n'est pas modifié.

On cherche la frange centrale sur l'écran. On cherche donc le point que je note M_0 tel que $(SS_1, M_0) = (SS_2, M_0)$. Ici on a $(SS_1) = (SS_2)$ donc on cherche M_0 tel que $(S_1, M_0) = (S_2, M_0)$. On a cours de la lame, le rayon passant par S_1 est ralenti donc pour compenser ce ralentissement, le rayon doit parcourir un trajet + petit en distance. On doit avoir M_0 au dessus de O .

2) Méthode : $\delta_{2,1}(M) = \underbrace{\delta_{2,1}(M)}_{\text{sans lame}} + \underbrace{\delta_{2,1} \text{ de la lame}}_{\text{rayon après } S_2 \text{ dans la lame}} = \frac{ax}{D} + \underbrace{1 \times e}_{\text{rayon après } S_2 \text{ dans la lame}} - \underbrace{n \times e}_{\text{rayon après } S_1 \text{ dans la lame}} = \frac{ax}{D} + (1-n)e$

3) $p(M) = \frac{ax}{\lambda D} + \frac{(1-n)e}{\lambda}$

$p(M) = \frac{ax}{\lambda D}$ sans lame

$p_{\text{lame}}(M) = \frac{ax}{\lambda D} + \frac{(1-n)e}{\lambda}$

en $x=0$: $p_{\text{sans lame}} = 0$

$p_{\text{lame}}(x=0) = \frac{(1-n)e}{\lambda} = -16,33 < 0$

Sans la lame, la frange $p = -16,3$ se trouve en dessous de O .

avec la lame, la frange $p = -16,3$ se trouve en O donc les franges sont moquées.

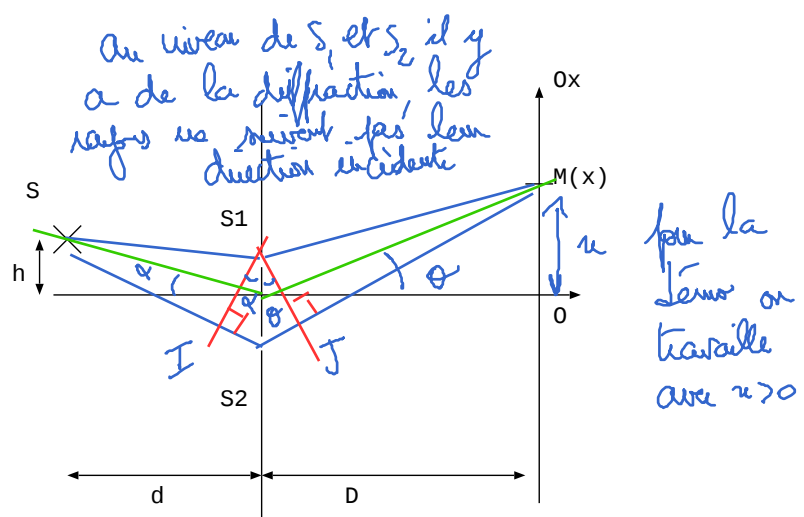
En O , en ajoutant la lame, on a en face les franges brillantes $p = -1, -2, \dots, -16$ soit un total de 16 franges brillantes

Exemple 4: dans le dispositif d'Young, on déplace la source principale S vers le haut.

1- On observe les franges se déplacer sans modification de l'interfrange. Justifier le fait que l'interfrange n'est pas modifié et prévoir sans calcul le sens de déplacement des franges (on pourra pour cela s'interroger sur la nouvelle position de la frange centrale).

2- Exprimer la différence de marche et l'ordre d'interférences en M .

3- Calculer l'ordre d'interférences au point O après avoir déplacé la source et en déduire le nombre de franges brillantes qui ont défilé au point O . Données: $a = 100 \mu\text{m}$, $\lambda = 632 \text{ nm}$, $d = 60 \text{ cm}$, $D = 1 \text{ m}$ et $h = 1,7 \text{ cm}$.



1) On cherche le point sur l'écran que je note M_0 et qui est sur la frange centrale, on a donc $(SS_2M_0) = (SS_1M_0)$. Avant les fentes, le trajet passant par S_2 est + long donc pour compenser il doit être + court après les fentes : M_0 se trouve en dessous de O .

2) M se compte comme une source par principe de retour inverse de la lumière. Entre une source et une surface d'onde, le chemin optique est égal donc :

$$(SS_1) = (SI) \text{ et } (S_1M) = (JM)$$

$$\delta_{21}(M) = (\cancel{SS_1}) + (IS_2) + (S_2J) + (\cancel{JM}) - (\cancel{SS_1}) - (\cancel{JM}) = IS_2 + S_2J$$

$$\tan \theta = \frac{u}{D} \approx \theta \quad \sin \theta = \frac{S_2J}{a} \approx \theta \quad \text{d'où } S_2J = \frac{au}{D}$$

$$\tan \alpha = \frac{h}{d} \approx \alpha \quad \sin \alpha = \frac{S_2I}{a} \approx \alpha \quad \text{d'où } S_2I = \frac{ah}{d}$$

$$\boxed{\delta_{21}(u) = \frac{au}{D} + \frac{ah}{d}}$$

$$3) \quad p(x) = \frac{ax}{2D} + \frac{ah}{2d}$$

en O ;

$$p(u=0) = \frac{ah}{2d} = +4,48$$

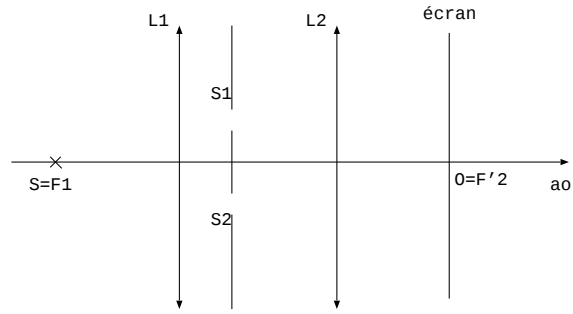
Lorsque S est sur l'axe optique, en O l'ordre d'interférences est nul et les ordres > 0 sont au dessus de O .

Lorsque S monte, la frange $p = 4,48$ descend au point O donc toutes les franges ont descendues, la nouvelle frange centrale se trouve comme prévu en dessous de O .

IV. Approche expérimentale : montage de Fraunhofer

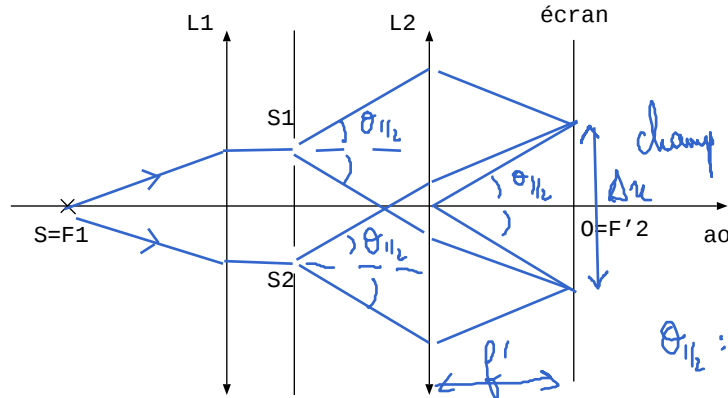
1. Le montage

Dans ce dispositif, la source principale est au plan focal objet d'une première lentille convergente L_1 . L'écran est dans le plan focal image d'une deuxième lentille convergente L_2 . La distance entre les lentilles est quelconque et l'on place entre les lentilles un plan percé de deux trous ou deux fentes d'Young, la position de ce plan est également quelconque.



2. Le champ d'interférences

est lié au phénomène de diffraction en S_1 et S_2 , je représente les rayons limites diffractés par S_1 et S_2 .



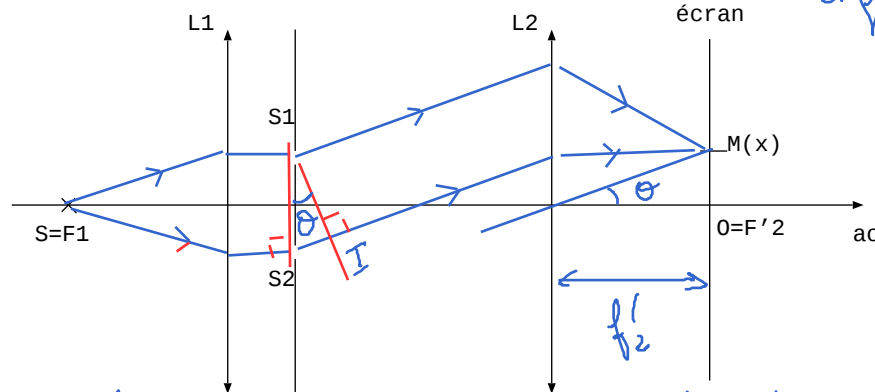
champ d'interférences à l'intersection des deux tâches centrales de diffraction. Ici les tâches de diffraction se superposent parfaitement

$\theta_{1/2}$: est la demi largeur angulaire de la tâche centrale de diffraction

$$\tan \theta_{1/2} = \frac{\Delta x/2}{f'} \approx \theta_{1/2} \quad (\text{angle petit aux lentilles}) \quad \text{d'où} \quad \boxed{\Delta x = 2f' \theta_{1/2}}$$

3. Différence de marche et interférence

ici je continue les deux rayons qui partent de S et qui arrivent sur l'écran au point M.



Il y a de la diffraction par les fentes S_1 et S_2 donc après les fentes les rayons sortent de leur direction incidente. On construit la surface d'onde la + loin de S avant les fentes, et la surface d'onde la + loin de M après les fentes.

M se comporte comme une source par principe de retour inverse de la lumière.

Entre une source et une surface d'onde le chemin optique est constant donc $(SS_1) = (SS_2)$ et $(S_1M) = (IM)$

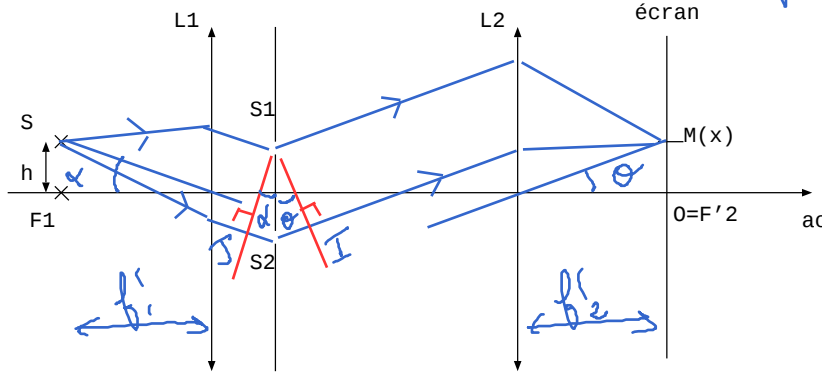
$$\delta_{211}(M) = (SS_2M) - (SS_1M) = (\cancel{SS_2}) + (S_2I) + (\cancel{IM}) - (\cancel{SS_1}) - (\cancel{S_1M}) = S_2I = \frac{ax}{f'_2}$$

$$\sin \theta = \frac{S_2I}{a} \approx \theta \quad (\text{angle petit aux lentilles})$$

$$\tan \theta = \frac{x}{f'_2} \approx \theta \quad \text{soit} \quad S_2I = a\theta = \frac{ax}{f'_2}$$

l'interfrange est défini par: $i = u_{k+1} - u_k$ où u_k est la position des franges brillantes ou sombres
 je cherche la position des franges brillantes: $p = \frac{a u_k}{2f'_2} = k \quad (k \in \mathbb{Z})$ d'où $u_k = k \frac{2f'_2}{a}$
 on a donc $i = (k+1) \frac{2f'_2}{a} - k \frac{2f'_2}{a} = \frac{2f'_2}{a}$

4. Influence du déplacement de la source principale



je cherche à tracer les deux rayons qui partent de S et qui arrivent en M.
 Après les fentes il y a diffraction donc les rayons après S_1 et S_2 ne suivent pas leur direction incidente pour arriver en M

Exprimer la différence de marche $\delta_{2/1}(M)$, l'interfrange, la position de la frange centrale et l'ordre d'interférences en O.

M se comporte comme une source par principe de retour inverse de la lumière.

Entre une source et une surface d'onde, le chemin optique est constant: $(SS_1) = (SM)$
 et $(IS_2) = (SM)$

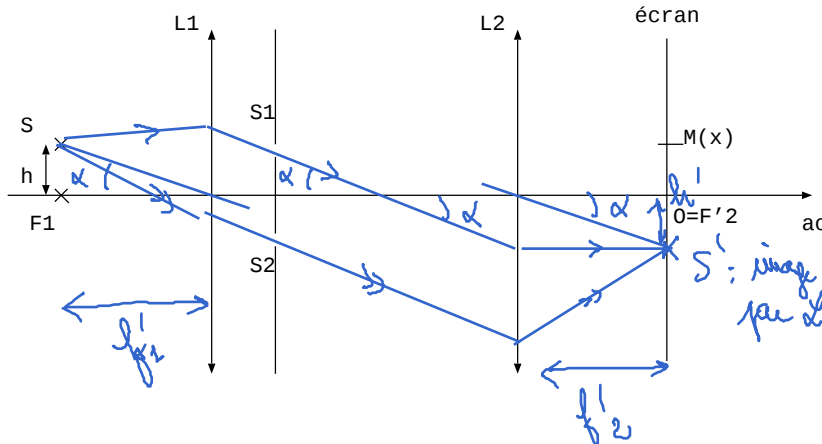
$$\delta_{2/1}(M) = \cancel{(SS_1)} + (JS_2) + (S_2I) + \cancel{(IM)} - \cancel{(SS_1)} - \cancel{(SM)} = JS_2 + S_2I = \frac{a h}{f'_1} + \frac{a x}{f'_2}$$

Interfrange: $i = u_{k+1} - u_k$ avec $p = \frac{a h}{2f'_1} + \frac{a u_k}{2f'_2} = k \in \mathbb{Z}$ $u_k = k \frac{2f'_2}{a} - h \frac{f'_2}{f'_1}$
 soit $i = \frac{2f'_2}{a}$ (interfrange inchangé)

La frange centrale se trouve pour $\delta = 0$ soit $\frac{a h}{f'_1} = -\frac{a x}{f'_2} \Rightarrow x = -h \frac{f'_1}{f'_2}$ position de la frange centrale (en dehors de O)

Remarque: lien avec l'image de S par les deux lentilles.

Ici on fait de l'optique géométrique, la lumière traverse S_1 et S_2 sans être déviée (pas de diffraction)



$$\tan \alpha = \frac{h}{f'_1} = \frac{h'}{f'_2}$$

$$\text{d'où } h' = h \frac{f'_1}{f'_2}$$

on remarque de la position de S' correspond à la position de la frange centrale trouvée précédemment