

Exercice 1

On éclaire le dispositif des fentes d'Young avec une source quasiment ponctuelle et monochromatique, de longueur d'onde 680 nm. On obtient la figure d'interférences sur un écran situé à une distance égale à 1m des fentes (on considérera que c'est l'infini). La frange brillante d'ordre 4 se trouve à 28 mm de la frange centrale. Quelle est la distance entre les deux fentes (considérées comme infiniment fines) ?

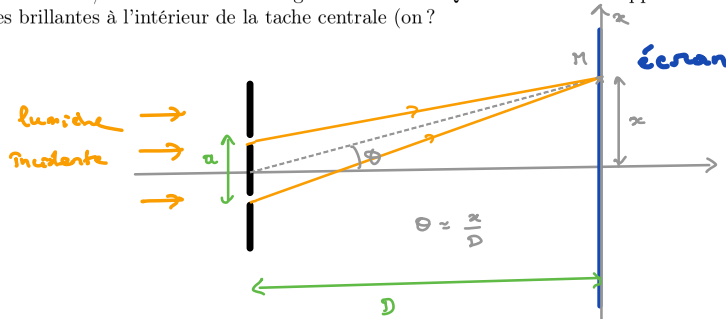
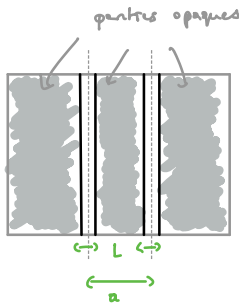
Les 28 mm représentent 4 interférences, donc $i = 7 \text{ mm}$.

Pour un écran "à grande distance", $i = \frac{\lambda D}{a}$ donc $a = \frac{\lambda D}{i}$

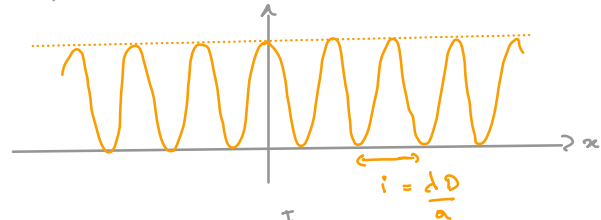
A.N : $a = 97 \mu\text{m}$

Exercice 2

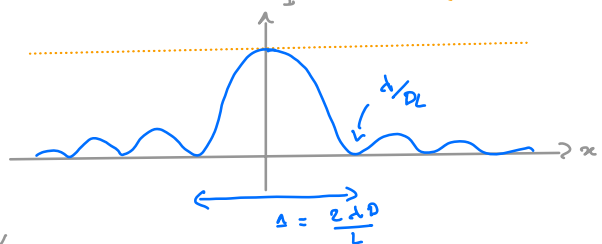
On considère deux fentes parallèles de hauteur infinie, de largeur L et distantes de a (leurs milieux sont distants de a). Donner l'allure de la figure d'interférence/diffraction obtenue à grande distance. Quelle doit être le rapport entre a et L pour qu'il y ait 10 franges brillantes à l'intérieur de la tache centrale (on ?



- Avec 2 fentes distantes de a et infiniment minces, obtient uniquement une figure d'interférences :



- Avec une seule fente de largeur L , on obtient une figure de diffraction :
la 1/2 largeur de la tache centrale est donnée par $\sin(\theta) = \frac{\lambda}{L}$
 $\Rightarrow \theta \approx \frac{\lambda}{L}$ si $\theta \ll 1 \Rightarrow x \approx \frac{\lambda D}{L}$

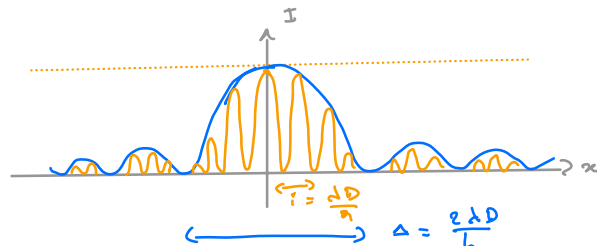


- Avec des fentes d'Young "de largeur finie", on obtient des interférences à l'intérieur d'une figure de diffraction :

il y a $\frac{\Delta}{i} = \frac{2a}{L}$ interférences à l'intérieur de

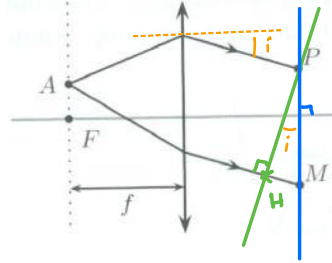
la tache centrale, d'où $\frac{2a}{L} = 10$

$\Rightarrow a = 5L$



Exercice 3

Calculer, dans le cas de la figure ci-dessous, la différence de chemin optique (différence de marche) entre le point A, situé dans le plan focal objet de la lentille, et les intersection P et M des deux rayons avec un plan perpendiculaire à l'axe optique. On introduira les données utilisées, notamment a, distance entre P et M.



On utilise le théorème de Malus :

$$(AP) = (AH)$$

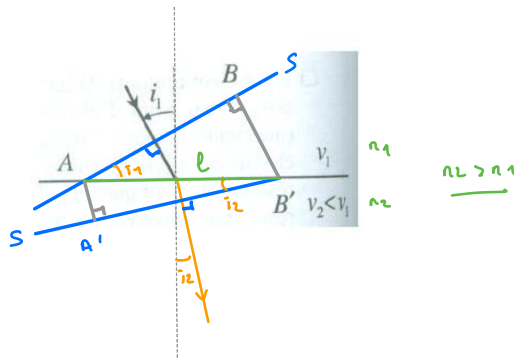
$$\text{Or, } (AM) = (AH) + (HM)$$

$$\text{Donc } \delta = (AM) - (AP) = \cancel{(AH)} + (HM) - \cancel{(AH)} = (HM)$$

En notant i l'angle que font les RL émergents de la lentille avec l'axe optique et a la distance PM, $\sin(i) = \frac{HM}{a} \Rightarrow HM = a \sin(i)$
Finalement, $(HM) = HM$ (propagation dans l'air, l'indice est égal à 1) et donc $\delta = a \sin(i)$

Exercice 4

Un dioptré plan AB' sépare deux milieux dans lesquels les célérités sont v_1 et $v_2 < v_1$. Sur le schéma ci-dessous AB est un plan d'onde dans le milieu 1 à l'instant t (A est sur le dioptré). Représenter le plan d'onde correspondant $A'B'$ dans le milieu 2 à l'instant $t + \Delta t$ (B' est sur le dioptré) en utilisant le théorème de Malus. Montrer que cela permet de retrouver la loi de la réfraction.



S et S' sont 2 surfaces d'onde (orthogonales aux rayons lumineux) et donc $(AA') = (BB')$. Donc $n_2 AA' = n_1 BB'$ (on peut aussi dire qu'il faut le même temps pour aller de A à A' et de B à B')
 $\Rightarrow \Delta t = \frac{AA'}{c/n_2} = \frac{BB'}{c/n_1} \Rightarrow n_2 AA' = n_1 BB'$

$$\text{Or, en notant } l = AB': \sin(i_1) = \frac{BB'}{l} \text{ et } \sin(i_2) = \frac{AA'}{l}$$

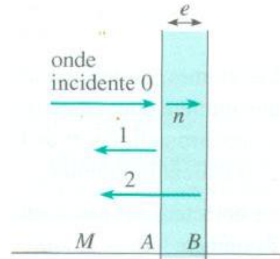
En combinant avec ce qui précède : $n_2 \cancel{\sin(i_2)} = n_1 \cancel{\sin(i_1)}$

$$\Rightarrow \underline{n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)}$$

Exercice 7

Une bulle d'eau savonneuse, d'épaisseur e et d'indice $n = 1,3$, est éclairée sous incidence normale. Le coefficient de réflexion est faible, et on néglige les intensités des ondes issues de deux réflexions ou plus.

1. Quel déphasage présentent entre elles les deux ondes réfléchies ?
2. A quelle condition une lumière de longueur d'onde dans le vide λ_0 est-elle réfléchie avec une intensité maximale ?
3. Pourquoi la bulle, éclairée en lumière blanche, prend-elle des reflets colorés lorsqu'elle devient très mince ? Donner un ordre de grandeur de l'épaisseur d'une bulle colorée.



①
$$\phi = \underbrace{\frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot 2ne}_{\text{du à la } \phi \text{ de marche}} + \underbrace{\pi}_{\text{du au déphasage lors de la réflexion pour l'onde (1)}}$$

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda_0} \delta$$

$$\delta = (AM)_2 - (AM)_1$$

$$= (AB) + (BA) - (AM)$$

$$= (AB) + (BA)$$

$$= 2ne$$

② intensité max : ondes (1) et (2) en phase.

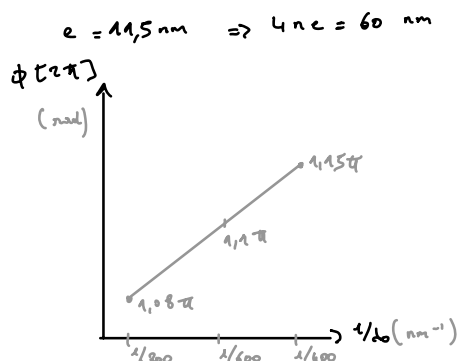
donc $\phi = 0 \text{ (ou } 2\pi)$

on prend $\phi = 2\pi$ pour avoir e minimale (et positive !):

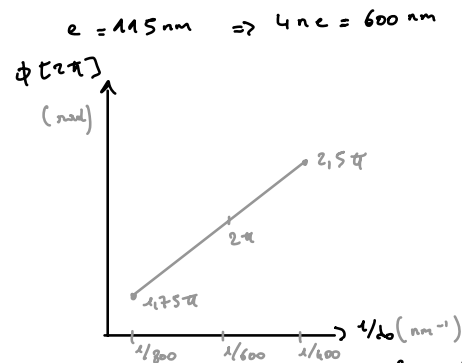
$$\frac{4\pi ne}{\lambda_0} + \pi = 2\pi \Rightarrow \frac{4ne}{\lambda_0} = 1 \text{ et donc } e = \frac{\lambda_0}{4n}$$

On prend $\lambda_0 = 600 \text{ nm}$. A.N : $e \approx 115 \text{ nm}$

③ On peut comprendre le rôle de l'épaisseur de la lame en traçant ϕ en fonction de $\frac{1}{\lambda_0}$ pour différentes épaisseurs :

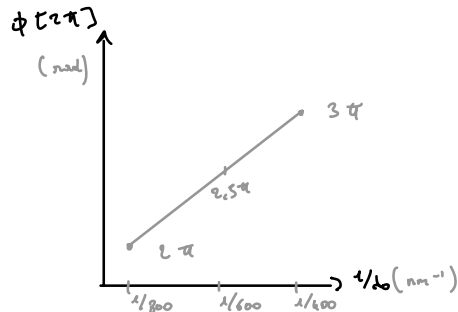


pour une épaisseur très mince, l'ensemble du spectre est essentiellement éliminé $\Rightarrow$ "couleur" sombre



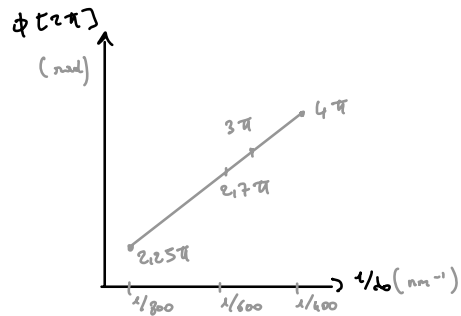
le milieu du spectre passe, les extrémités sont un peu atténuées (couleur +/- blanche)

$$e = 173 \text{ nm} \Rightarrow 4ne = 800 \text{ nm}$$



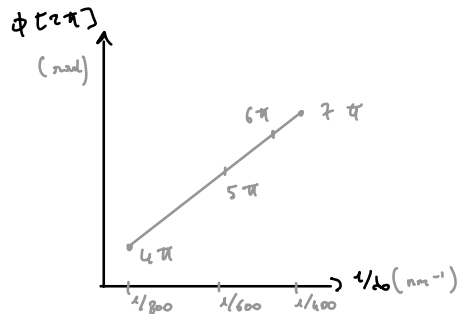
le rouge passe, le milieu du spectre est atténué, le bleu est coupé (couleur rouge sombre)

$$e = 192 \text{ nm} \Rightarrow 4ne = 1000 \text{ nm}$$



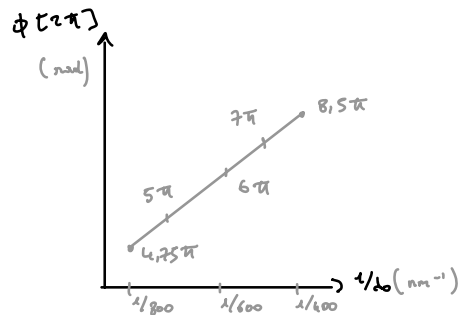
c'est principalement le bleu qui passe, le reste est atténué (couleur bleue)

$$e = 230 \text{ nm} \Rightarrow 4ne = 1200 \text{ nm}$$



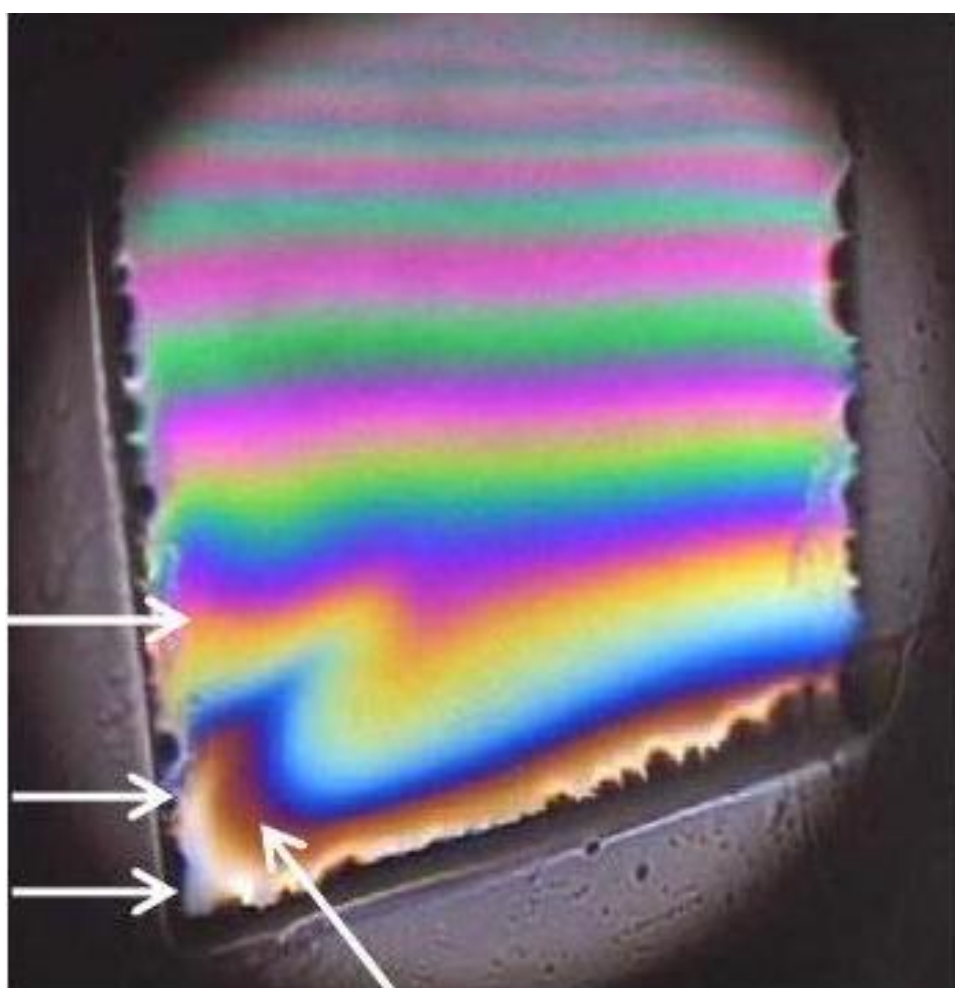
le rouge passe, ainsi qu'une bande dans le bleu → couleur "pourpre"

$$e = 290 \text{ nm} \Rightarrow 4ne = 1500 \text{ nm}$$



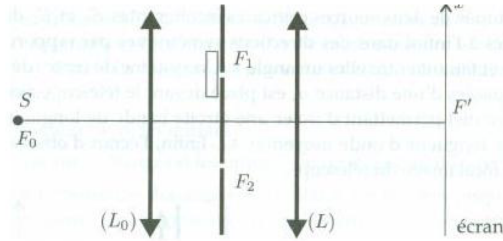
c'est principalement le milieu du spectre qui passe (couleur verte).

On observe ensuite, en augmentant l'épaisseur, des alternances de "vert" (le spectre est enrichi au milieu) et de pourpre (le spectre est enrichi sur les bords), voir page suivante. L'épaisseur d'une bulle colorée par les interférences est de quelques centaines de nm.



Exercice 8

On considère des fentes d'Young « très fines » d'écartement $a = 4\text{ mm}$ éclairées en lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 589\text{ nm}$. La source ponctuelle S est dans le plan focal objet de la lentille L_0 et l'écran est dans le plan focal image de la lentille L , de distance focale $f' = 3\text{ m}$.



1. Calculer l'interfrange et l'éclairement en un point de l'écran.
2. On ajoute une lame à faces parallèles transparente d'indice $n = 1,4$ et d'épaisseur e devant l'une des deux fentes. Dans quel sens sont décalées les franges ?
3. Le décalage sur l'écran est de 3 cm . Calculer e .

$$1. \delta = (SF_2)_2 - (SF_1)_1 =$$

$$\left((SF_2) + (F_2H) + (HM) \right) - \left((SF_1) + (F_1M) \right)$$

$$= (F_2H)$$

$$\text{car } (SF_1) = (SF_2)$$

$$(F_1M) = (F_2M) \quad (\text{mêmes})$$

$$\text{Donc, } (F_2H) = F_2H \quad \text{et} \quad \sin(\theta) = \frac{F_2H}{a}$$

$$\text{D'ici } \delta = a \sin(\theta) \quad \text{avec les petits angles, } \sin(\theta) \approx \theta = \tan(\theta) = \frac{x}{f'}$$

$$\text{et alors } \delta = \frac{ax}{f'}$$

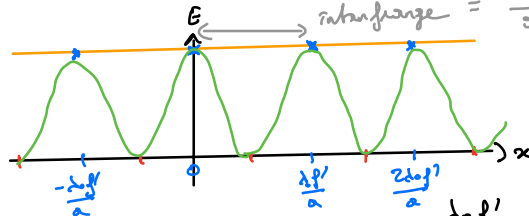
$$\text{D'ici le déphasage : } \phi = \frac{2\pi\delta}{\lambda_0} = \frac{2\pi ax}{\lambda_0 f'} \quad \text{et } p = \frac{\phi}{2\pi} = \frac{ax}{\lambda_0 f'}$$

$$\text{formule de Fresnel : } E = 2E_0 (1 + \cos(\phi))$$

$$\text{et donc } E = 2E_0 (1 + \cos(\frac{2\pi ax}{\lambda_0 f'}))$$

$$E_{\text{max}} = 4E_0$$

$$\text{interfrange} = \frac{\lambda_0 f'}{a}$$



$$\text{max. suivant : } \phi = \frac{2\pi ax}{\lambda_0 f'} = 2\pi \quad \text{donc } x = \frac{\lambda_0 f'}{a}$$

$$i = \frac{\lambda_0 f'}{a}$$

2. on peut raisonner sur la frange centrale ($\phi = 0$, donc $\delta = 0$): la lame augmente le chemin optique de l'onde (1), donc pour conserver $(S_1 M) = (S_2 M)$, il faut $(S_2 M) > (S_1 M)$ (sans la lame), donc décaler M vers le haut.
Les franges sont décalées vers le haut.

3. on considère la frange centrale ($\phi = 0$)

Si $\phi = 0$ au point M,

$$(S_1 M)_1 = (S_1 M)_2.$$

$$O_n, (S_1 M)_1 = (S_1 F_1) + \underbrace{(n - n_{air})e}_{\substack{\text{chemin optique} \\ \text{supplémentaire} \\ \text{du à la lame}}} + (F_1 M)$$

$$(S_1 M)_2 = (S_2 F_2) + (F_2 M) + (H M)$$

$$\text{Donc } \delta = (S_1 M)_2 - (S_1 M)_1 = (F_2 M) - (n - n_{air})e$$

On a donc, pour avoir $\delta = 0$ (frange centrale):

$$(F_2 M) = (n - n_{air})e$$

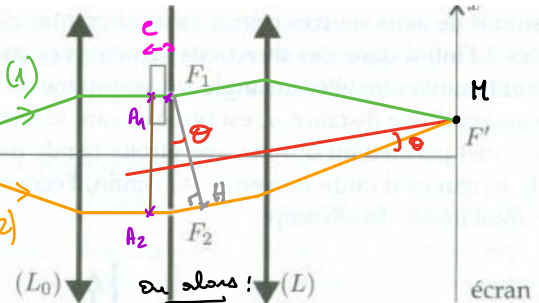
chemin optique sup. de (2) dû à la position de M
 chemin optique de (1) sup. dû à la lame

$$O_n, (F_2 M) = \frac{ax}{f'}$$

$$\text{donc } \frac{ax}{f'} = (n - n_{air})e \quad \text{d'où } e = \frac{ax}{f'(n - n_{air})}$$

et $x = 3 \text{ cm}$ (la frange centrale est maintenant à $x = 3 \text{ cm}$)

A.N: $e = 10^{-4} \text{ m}$ (0,1 mm)



$$(S_1 F_1) = (S_1 A_1) + (A_1 F_1) = (S_1 A_1) + n e$$

$$(S_2 F_2) = (S_2 A_2) + (A_2 F_2) = (S_2 A_2) + n_{air} e$$

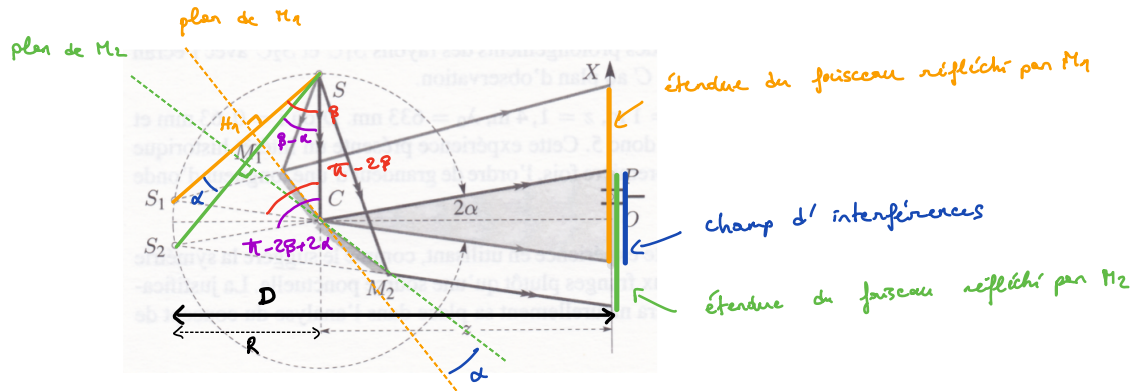
et ensuite:

$$\delta = (S_2 A_2) + n_{air} e + (F_2 M) + (H M) - ((S_1 A_1) + n e + (F_1 M)) = (F_2 M) - (n - n_{air})e$$

Exercice 9

Deux miroirs plans M_1 et M_2 , d'arête commune Δ (droite orthogonale au plan de la figure et passant par C), font entre eux un angle presque plat : $180^\circ - \alpha$ avec $\alpha = 0,069^\circ$. On considère une source ponctuelle en S à la distance $R = SC = 1m$, monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 633 \text{ nm}$. On observe les franges d'interférence sur un écran orthogonal à (OC) placé à la distance $z = 1,4m$ de C .

1. Identifier, en expliquant, le champ d'intérférences. A quoi correspondent S_1 et S_2 indiqués sur le schéma ?
2. On note $R = SC$. Montrer que $S_1C = S_2C = R$.
3. Montrer que, comme indiqué sur la figure, l'angle $\widehat{S_1CS_2}$ est égal à 2α .
4. En déduire que $a = S_1S_2 = 2\alpha R$.
5. Calculer numériquement a , quelle approximation peut-on faire ?
6. Exprimer et calculer l'interfrange sur l'écran compte-tenu de cette approximation.
7. Combien de franges sont visibles dans le champ d'intérférences ?



- Le champ d'interférences est la zone où les faisceaux réfléchis par M_1 et M_2 se recoupent. S_1 = symétrique de S / plan de M_1 et S_2 = sym S / plan de M_2 .
On peut voir S_1 et S_2 comme les sources secondaires dont les ondes interfèrent.
- SS_1C est isocèle (CH_1 est à la fois une hauteur et une médiane, puisque S et S_1 sont symétriques par rapport à (CH_1) , donc $(SS_1) \perp (CH_1)$ et $SH_1 = H_1S_1$).
Donc $SC = S_1C$. De même, SS_2C est isocèle, et donc $SC = S_2C$.
On a donc $S_1C = S_2C = R$.
- Notons $\beta = \widehat{CSS_1}$. Comme CSS_1 est isocèle, $\widehat{SCS_1} = \pi - 2\beta$.
On voit que $\widehat{CSS_2} = \beta - \alpha$, car $\widehat{S_1SS_2} = \alpha$ (on retourne entre (SS_1) et (SS_2) l'angle entre les plans des miroirs - donc α - car ce sont des angles à cotés perpendiculaires).
Alors, CSS_2 étant isocèle, $\widehat{SCS_2} = \pi - 2(\beta - \alpha) = \pi - 2\beta + 2\alpha$.
Enfin, $\widehat{S_1CS_2} = \widehat{SCS_2} - \widehat{SCS_1} = (\pi - 2\beta) - (\pi - 2\beta + 2\alpha) = 2\alpha$.
On a donc bien $S_1CS_2 = 2\alpha$.
- α étant "petit" ($\alpha \ll 1$ en radians), on a directement $a = 2\alpha R$.
- A.N : $\alpha = 0,063^\circ = 0,0012 \text{ rad}$ et $a = 0,0024 \text{ m} = 2,4 \text{ mm}$

6. On se retrouve dans une situation analogue à celle des fentes d'Young, avec $a = 2,4 \text{ mm}$ et $D = R + z = 2,4 \text{ m}$.

On peut faire l'approximation usuelle des fentes d'Young avec "écran à grande distance", car $D \gg a$.

En s'appuyant sur les résultats obtenus pour les fentes d'Young, $i = \frac{\lambda D}{a}$

A.N : $i = 0,63 \text{ mm}$

7. Le champ d'interférences a une largeur $l = 2\alpha z$: $l = 3,36 \text{ mm}$
Il y a donc $l/i \sim 5-6$ franges visibles dans le champ d'interférences -

Exercice 5

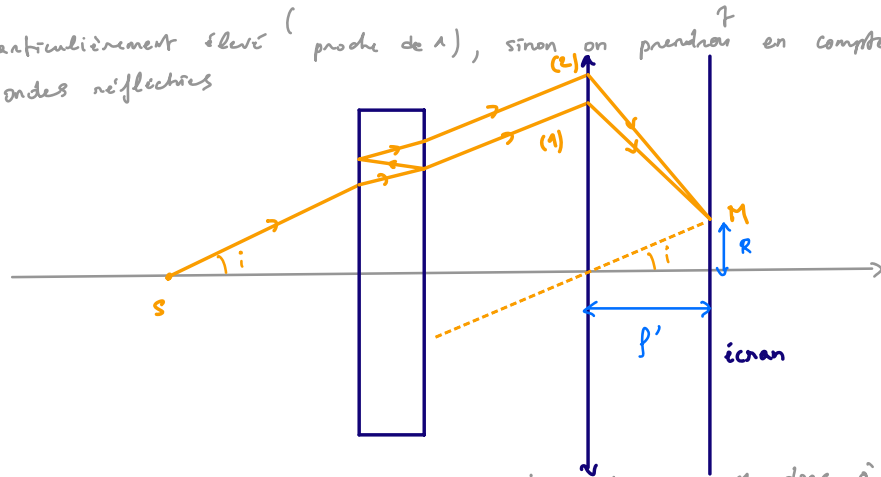
Une lame de verre cylindrique à face parallèles, d'épaisseur e et d'indice n est interposée entre une source ponctuelle S et un ensemble lentille convergente-écran (l'écran est dans le plan focal image de la lentille). On considérera que vont interférer les deux premières ondes :

- celle qui est transmise au travers des deux faces de la lame
- celle qui est transmise, réfléchiée, réfléchiée et enfin transmise

1. Que peut-on dire du coefficient de réflexion aux interfaces de la lame ?
2. Faire un schéma et tracer les rayons lumineux associés aux deux ondes qui vont interférer.
3. Expliquer pourquoi on observe des anneaux sur l'écran. Que peut-on dire de leur contraste ?
4. Montrer que la différence de marche entre les deux ondes qui vont interférer s'écrit $\delta = 2ne \cos(r)$ où r est l'angle entre la normale aux interfaces de la lame et le rayon lumineux à l'intérieur de la lame.
5. En déduire, en considérant l'approximation des petits angles, que $\delta \simeq 2ne \left(1 - \frac{i^2}{2n^2}\right)$ où i est l'angle d'incidence sur la lame.
6. La lumière incidente est monochromatique de longueur d'onde $\lambda_0 = 488 \text{ nm}$, $n = 1,66$ et $f' = 50 \text{ cm}$. Les deux premiers anneaux visibles ont pour rayons respectifs $R_1 = 2,5 \text{ cm}$ et $R_2 = 4,7 \text{ cm}$. Déterminer l'épaisseur de la lame.

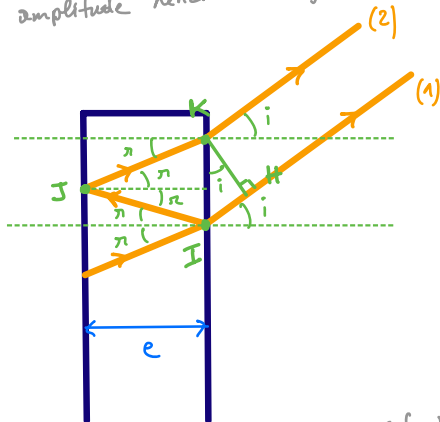
1. Il n'est pas particulièrement élevé (proche de 1), sinon on prendrait en compte davantage d'ondes réfléchies

2.



3. Le déphasage dépend de l'angle i , la figure d'interférences est donc à symétrie de révolution autour de l'axe optique $\Rightarrow$ anneaux. Le contraste n'est probablement pas très élevé, l'onde (2) ayant une amplitude nettement inférieure à celle de l'onde (1).

4.



$$\delta = (IH)_2 - (IH)_1$$

$$= (IJ) + (JK) + (KH) - (IH) - (HM)$$

$$\text{Or, } (KH) = (HM) \text{ d'après le th. de Malus}$$

$$\text{D'où } \delta = 2(IJ) - (IH) \quad (\text{car } (IJ) = (JK))$$

$$= 2n IJ - IH$$

$$\text{Or, } \cos(r) = \frac{e}{IJ} \Rightarrow IJ = \frac{e}{\cos(r)}$$

$$\text{et } \tan(n) = \frac{Ik/2}{e} \quad \text{et } \sin(i) = \frac{IH}{Ik}$$

$$\Rightarrow IH = Ik \sin(i) = 2e \tan(n) \sin(i)$$

$$\text{Donc } d = \frac{2ne}{\cos(n)} - 2e \tan(n) \sin(i)$$

$$= \frac{2ne}{\cos(n)} - \frac{2e}{\cos(n)} \sin(n) \sin(i)$$

$$\text{Or, } n \sin(n) = \sin(i) \quad (\text{loi de la réfraction en I ou en K})$$

$$\text{Donc } d = \frac{2ne}{\cos(n)} - \frac{2e}{\cos(n)} \sin(n) n \sin(n)$$

$$= \frac{2ne}{\cos(n)} (1 - \sin^2(n)) = \frac{2ne}{\cos(n)} \cos^2(n) = \underline{2ne \cos(n)} \quad \text{ouf!}$$

5. Petits angles : $\cos(n) \simeq 1 - n^2/2$ et $nn = i \Rightarrow \cos(n) \simeq 1 - \frac{i^2}{2n^2}$

$$\text{d'où } d = 2ne \left(1 - \frac{i^2}{2n^2}\right)$$

6. D'après la question 2, le rayon R d'un anneau est lié à l'angle i par $R = f'i$

$$\left(\tan(i) = \frac{R}{f'}, \text{ et petits angles} \right).$$

$$\text{On en déduit que } d = 2ne \left(1 - \frac{R^2}{2n^2 f'^2}\right) \text{ et donc } \frac{d}{2ne} = 1 - \frac{R^2}{2n^2 f'^2}$$

En notant d_1 et d_2 les d de marche associées à R_1 et R_2 :

$$\frac{d_1}{2ne} = 1 - \frac{R_1^2}{2n^2 f'^2} \quad \text{et} \quad \frac{d_2}{2ne} = 1 - \frac{R_2^2}{2n^2 f'^2}$$

$$\text{et on fait la différence : } \frac{d_1}{2ne} - \frac{d_2}{2ne} = \frac{R_2^2 - R_1^2}{2n^2 f'^2}$$

$$\text{Soit } d_1 - d_2 = \frac{e(R_2^2 - R_1^2)}{n f'^2}$$

Or, d_1 et d_2 correspondent à 2 franges brillantes consécutives, donc

$$d_1 - d_2 = d_0 \quad (\text{l'ordre } d \text{ en s'éloignant du centre}).$$

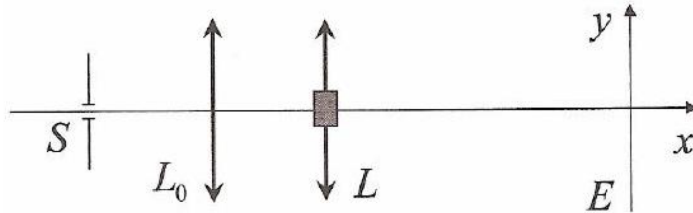
$$\text{D'où } d_0 = \frac{e(R_2^2 - R_1^2)}{n f'^2} \quad \text{et donc}$$

$$e = \frac{d_0 n f'^2}{R_2^2 - R_1^2}$$

A.N : $e = \underline{12,8 \text{ mm}}$

Exercice 6

Une fente source S fine, monochromatique ($\lambda = 589,3 \text{ nm}$) est placée dans le plan focal d'une lentille convergente L_0 . Un peu plus loin sont placées les deux moitiés d'une lentille convergente L de distance focale $f = 25 \text{ cm}$. Cette lentille a été scindée en deux suivant un diamètre; les deux moitiés sont écartées symétriquement d'une distance $2\varepsilon = 2 \text{ mm}$. L'intervalle ainsi créé entre les demi-lentilles est obturé par un cache opaque (parallèle à la fente S). On observe dans un plan de front yEz situé à $d = 50 \text{ cm}$ de L .



1. Expliquer pourquoi ce dispositif est équivalent à des fentes d'Young (préciser la distance entre les deux sources secondaires).

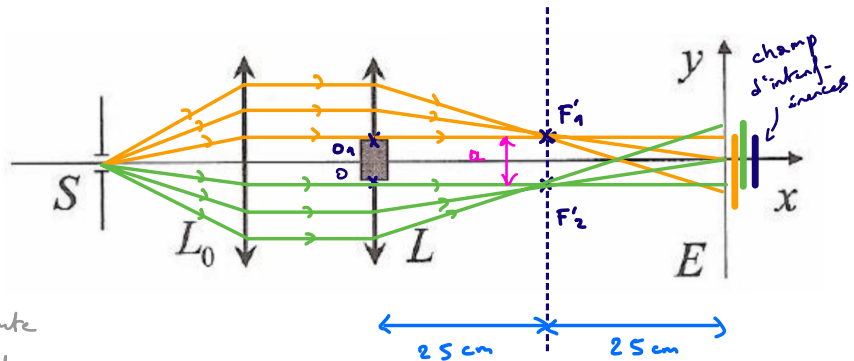
1. Décrire le système de franges et déterminer la largeur du champ d'interférence sur l'axe Ey . Quelle est l'intensité lumineuse en un point M du champ? L'interfrange? Combien y a-t-il de franges brillantes visibles?

2. On place entre les deux lentilles, perpendiculairement à l'axe (Sx) et au dessus de l'axe optique ($y > 0$), une lame à faces parallèles d'un verre d'indice $n = 1,52$. Déterminer son épaisseur e pour que la frange d'ordre 0 soit à la limite du champ d'interférences.

plan focal image de L

1. Le centre et le foyer image de la lentille sont dédoublés en O_1/O_2 et F'_1/F'_2 ,

l'un pour les RL passant par la partie haute de la lentille et l'autre pour les RL passant par la partie basse.



Finalement tout se passe comme si l'on avait des sources secondaires F'_1 et F'_2 , distantes de a (donc c'est analogue aux fentes d'Young)

2. On se ramène à des fentes d'Young $\Rightarrow$ franges rectilignes. La largeur du champ d'interférence correspond à la zone de l'écran où les 2 faisceaux se recoupent, donc longueur a .

$I(M) = I_0 (1 + \cos(\phi))$: $I_0/2$ pour la lumière passant par chaque partie de la lentille

et $\phi = \frac{2\pi}{\lambda_0} \delta$, avec $\delta = \frac{a y}{f'}$ (par analogie avec les fentes d'Young)

Donc $I(M) = I_0 \left(1 + \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda_0} \frac{a y}{f'} \right) \right)$

$$\underline{i = \frac{\lambda_0 f'}{a}} \quad (\text{toujours par analogie avec les fentes d'Young})$$

On peut voir $N = \frac{a}{i} = \frac{a^2}{\lambda_0 f'}$ franges. A.N: $N = 27$ franges visibles

3. Il faut décaler la frange centrale de $\frac{N}{2}$ interférences, et donc introduire avec la lame une $\neq$ de marche de $\frac{N}{2} \lambda_0$.

Donc, la $\neq$ de marche due à la lame est $\delta_{\text{lame}} = e(n-1)$

D'où $e(n-1) = \frac{N}{2} \lambda_0 \Rightarrow e = \frac{N \lambda_0}{2(n-1)} = \frac{a^2}{2 f' (n-1)}$ A.N: $e = 15,4 \mu\text{m}$