

## TDO2 – Interférences par division du front d’onde

### 0 Exercices classiques vus en cours sur le dispositif des trous d’Young :

**A.2.a** : Expressions de  $\delta(M)$ ,  $p(M)$ ,  $I(M)$ ,  $i$  et  $C$  pour une source monochromatique et ponctuelle sur l’a.o. et un point M à grande distance du plan des trous

**A.3** : Expressions de  $\delta(M)$  pour une source monochromatique et ponctuelle sur l’a.o. et un point M dans le PFI d’une lentille

**B.2.a-b** : Expressions de  $\delta(M)$  et  $p(M)$  pour une source monochromatique et ponctuelle hors de l’a.o. selon la direction de l’axe des trous – Expression de  $\Delta p$  variation de  $p$  due à l’élargissement angulaire de la source

**B.2.c** : Dédire du critère semi-quantitatif de brouillage des franges la longueur de cohérence spatiale de la source

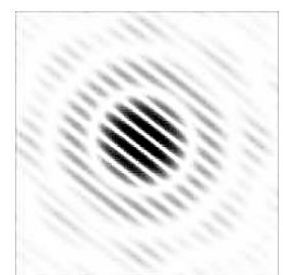
**C.1.c** : Expression de  $\Delta p(M)$  variation de  $p$  due à la largeur spectrale de la source

**C.2.b** : Dédire du critère semi-quantitatif de brouillage des franges, un critère portant sur la différence de marche et la longueur de cohérence temporelle de la source

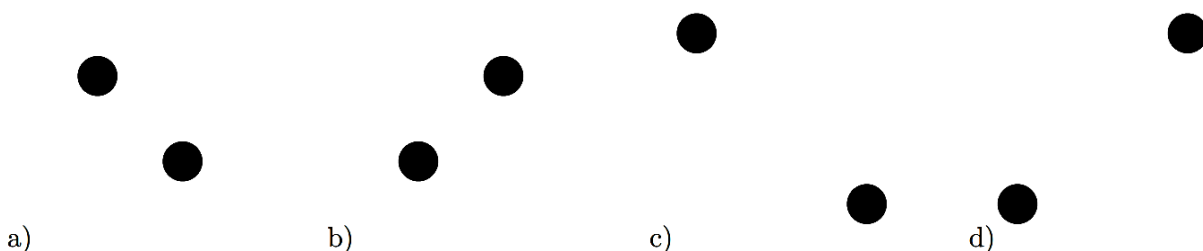
Capacités exigibles	Ch O2	Ex 1-3	Ex 4	Ex 5-7	Ex 6	TP 11B
<b>Trous d'Young ponctuels dans un milieu non dispersif : source ponctuelle à distance finie et observation à grande distance. Champ d'interférences. Ordre d'interférences.</b> Définir, exprimer et utiliser l'interfrange et l'ordre d'interférences. Justifier que les franges ne sont pas localisées.	•	•	•	•	•	•
<b>Variations de l'ordre d'interférences avec la position du point d'observation. Franges d'interférences.</b> Interpréter la forme de franges observées.	•	•	•	•		•
<b>Variations de l'ordre d'interférences avec la position d'un point source. Perte de contraste par élargissement angulaire de la source.</b> Utiliser un critère de brouillage des franges portant sur l'ordre d'interférences.	•		•		•	
<b>Variations de l'ordre d'interférences avec la longueur d'onde. Perte de contraste par élargissement spectral de la source.</b> Utiliser un critère de brouillage des franges portant sur l'ordre d'interférences.	•			•		

### 1 Origine d’une figure

Sur un écran placé à grande distance d’un plan de trous d’Young, on observe la figure ci-contre :



Parmi les propositions faites ci-dessous, quelle est la bonne configuration ?



## 2 Observation de franges d'interférences

On place une source ponctuelle monochromatique (de longueur d'onde  $\lambda = 500 \text{ nm}$ ) au foyer objet d'une lentille ( $L_0$ ). On éclaire des fentes d'Young, distantes de  $b = 1 \text{ mm}$ , par le faisceau émergent de ( $L_0$ ). On place un écran à distance  $D = 10 \text{ cm}$  des fentes.

On considère un observateur sans défaut de vision.

1) Peut-il distinguer la figure d'interférences sur l'écran à l'œil nu ?

On place une lentille de distance focale  $f'$  entre l'œil et l'écran. La lentille est placée pour que les rayons lumineux en sortent à l'infini.

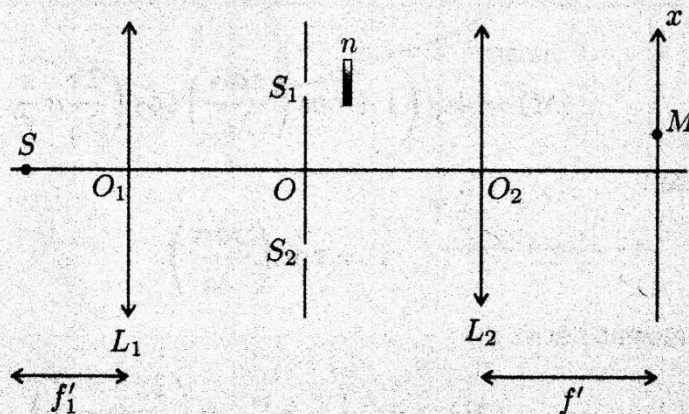
2) Etablir une inégalité sur  $f'$  pour que l'observateur puisse voir les franges.

## 3 « lame de phase » dans le dispositif des fentes d'Young – Montage de Fraunhofer

On réalise l'expérience des fentes d'Young sur la figure 1 sans la lame d'indice  $n$ .  $S_1$  et  $S_2$  sont deux fentes fines identiques. La source  $S$  monochromatique (de longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0 = 0,6 \mu\text{m}$ ) est elle aussi une fente fine parallèle à  $S_1$  et  $S_2$  et coïncide avec le foyer objet de la lentille  $L_1$  ; l'écran d'observation se trouve dans le plan focal image de la lentille  $L_2$  de distance focale  $f' = 1,0 \text{ m}$ . La distance  $S_1 S_2$  est égale à  $a = 1 \text{ mm}$ . L'indice de l'air vaut 1,0.

1. Calculer l'interfrange  $i$  sur l'écran.

2. Sur le trajet des rayons issus de  $S_1$ , on place une lame d'épaisseur  $e$  et d'indice  $n$ . Calculer le déplacement des franges pour  $n = 1,5$  et  $e = 0,01 \text{ mm}$ .

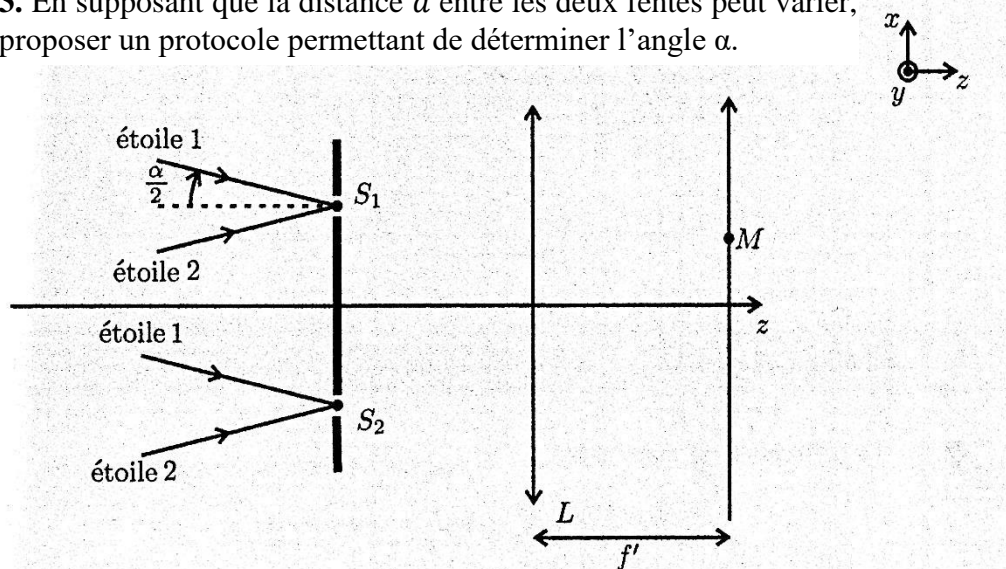


*Rq* : Cet exercice porte sur le montage de Fraunhofer pour les fentes d'Young :  $S$  dans le PFO de  $L_1$  et  $M$  dans le PFI de  $L_2$ .

#### 4 ✂ Principe de l'interférométrie stellaire avec les fentes d'Young (*Cohérence spatiale*)

On considère deux étoiles à l'infini faisant entre elles un angle  $\alpha$  très faible, de même éclairement  $\epsilon_0$ , de même longueur d'onde. La lumière est diffractée par deux fentes  $S_1$  et  $S_2$  identiques, distantes de  $a$  et très fines. Un écran est placé dans le plan focal d'une lentille convergente de distance focale  $f'$  située après les fentes d'Young.

1. Calculer l'éclairement dû à chaque étoile en un point  $M$  de l'écran.
2. Déterminer le contraste de la figure d'interférences et en déduire pour quelles valeurs de  $a$  on observe un brouillage.
3. En supposant que la distance  $a$  entre les deux fentes peut varier, proposer un protocole permettant de déterminer l'angle  $\alpha$ .



#### 5 ✂ Fentes d'Young éclairées par un doublet spectral (*cohérence temporelle*)

Considérons un dispositif de fentes d'Young éclairé par une lampe à vapeur de mercure assimilée à une source ponctuelle située sur l'axe optique du montage, dont on isole le doublet jaune par un filtre approprié. Ce doublet est formé de deux raies très rapprochées, modélisées par deux raies monochromatiques de même intensité  $I_m$  et de longueurs d'onde  $\lambda_1 = 577 \text{ nm}$  et  $\lambda_2 = 579 \text{ nm}$ .

Les fentes d'Young sont séparées d'une distance  $a$  et ont pour largeur  $a/10$ . Sur l'écran placé à la distance  $D \gg a$  des fentes, on observe de longues franges rectilignes dans la direction  $(Oy)$  et réparties périodiquement le long de l'axe  $(Ox)$ .

1 - Pour une seule radiation monochromatique de longueur d'onde  $\lambda_0$ , rappeler sans démonstration l'expression de l'ordre d'interférences au point de l'écran d'abscisse  $x$  puis celle de l'intensité. Définir l'interfrange. Pour laquelle des longueurs d'onde  $\lambda_1$  ou  $\lambda_2$  est-il le plus grand ?

2 - Les ondes issues de la raie 1 et celles issues de la raie 2 interfèrent-elles ? Montrer que l'intensité totale se met sous la forme

$$I(x) = I_{\text{moy}} \left[ 1 + \cos \left( 2\pi \frac{\Delta\lambda}{2\lambda^2} \frac{ax}{D} \right) \cos \left( 2\pi \frac{ax}{\lambda D} \right) \right]$$

avec  $I_{\text{moy}}$  une constante de proportionnalité dépendant de l'intensité  $I_m$  des raies ;  $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$  la séparation du doublet et  $\lambda = (\lambda_1 + \lambda_2)/2$  sa longueur d'onde moyenne. Comme les deux longueurs d'onde sont très proches, on approximera  $\lambda_1\lambda_2 \simeq \lambda^2$ .

3 - Déterminer la période spatiale des deux cosinus. En déduire que l'un d'eux s'interprète comme un terme d'interférences et l'autre comme un facteur de contraste dépendant du point d'observation. Représenter alors schématiquement l'allure de  $I(x)$ .

4 - Pour deux fentes d'Young de largeur égale à  $\frac{a}{10}$ , estimer la taille de la figure d'interférences sur l'écran et le nombre de franges observables. Qu'observe-t-on réellement sur l'écran ?

## 6 Miroir de Lloyd (Cohérence spatiale)

Le dispositif de Lloyd permet d'obtenir des interférences à deux ondes. Il consiste en un miroir plan et un écran, éclairés par une source  $S$  supposée ponctuelle et monochromatique de longueur d'onde  $\lambda_0$  placée très près du miroir. On indique que la réflexion sur le miroir entraîne un déphasage de  $\pi$  de l'onde réfléchie.

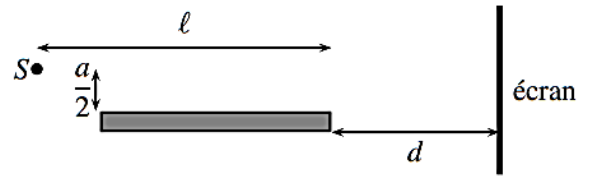


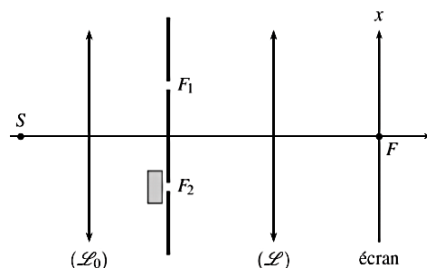
Figure 8.17 – Dispositif interférentiel du miroir de Lloyd.

1. Les interférences sont obtenues par superposition de l'onde issue directement de  $S$  et de celle réfléchie par le miroir. Représenter la marche des deux rayons lumineux qui interfèrent en un point  $M$  de l'écran, on introduira pour cela l'image  $S'$  du point source  $S$  par le miroir. En déduire que le dispositif est équivalent à des trous d'Young.
2. Décrire le champ d'interférences.
3. L'écran est placé à la distance  $d$  du bord droit du miroir. La source est à la distance  $a/2$  du miroir et la distance entre la source et le bord droit du miroir est notée  $\ell$ . Déterminer la différence de marche  $\delta(M)$ , l'ordre d'interférences  $p(M)$  et l'intensité en un point  $M$  de l'écran. Quelle est la forme géométrique des franges d'interférences ? Exprimer l'interfrange  $i$ .
4. Peut-on remplacer la source ponctuelle par une fente lumineuse allongée dans la direction orthogonale au plan de la figure 8.17 sans dégrader la visibilité des franges ?
5. On élargit maintenant la fente source dans la direction orthogonale aux franges. Sa largeur  $b$  est répartie également de part et d'autre de la position  $a/2$ . En utilisant le critère semi-quantitatif de visibilité des franges, estimer l'extension spatiale de la figure d'interférences où les franges restent visibles. On l'exprimera en fonction de  $i$ , de  $a$  et  $b$ .

## 7 Frange achromatique

On considère le dispositif des fentes d'Young en lumière monochromatique avec observation dans le plan focal image d'une lentille  $\mathcal{L}$ , la source étant placée au foyer objet d'une lentille  $\mathcal{L}_0$ .

1. Décrire la figure d'interférence observée ainsi que la répartition de l'intensité  $I(x)$  sur l'écran. Calculer l'interfrange pour  $F_1 F_2 = a = 1 \text{ mm}$ ,  $\lambda_0 = 600 \text{ nm}$  et  $f' = 50 \text{ cm}$ .
2. Une lame de verre d'épaisseur  $e$ , d'indice  $n$ , est placée devant  $F_2$  (voir figure). Déterminer la nouvelle position de la frange centrale. De combien d'interfranges s'est-elle déplacée ? Faire l'application numérique pour  $n = 1.50$  et  $e = 0.01 \text{ mm}$ .



On remplace désormais la source monochromatique par une source de lumière blanche. L'indice du verre varie avec la longueur d'onde dans le vide selon la loi de Cauchy

$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2} \quad \text{où} \quad A = 1.489 \quad \text{et} \quad B = 0.004 \mu\text{m}^2.$$

On appelle frange achromatique celle pour laquelle  $\frac{\partial \Delta\varphi}{\partial \lambda}(\lambda_0) = 0$  pour  $\lambda_0 = 600 \text{ nm}$ , longueur d'onde moyenne du spectre visible, et avec  $\Delta\varphi$  le déphasage entre les deux ondes qui interfèrent.

3. Déterminer la position de la frange achromatique. Donner, en interfrange, l'écart entre la frange achromatique et la frange centrale trouvée à la question précédente
- Pour mesurer l'épaisseur  $e$  d'une lame à faces parallèles d'indice  $n$ , on mesure l'écart entre les positions, sur l'écran, de l'unique frange blanche (qui est aussi la mieux contrastée) avant et après l'introduction de la lame.
4. Quelle erreur relative commet-on sur la mesure de  $e$  si on considère  $n = 1.500$  indépendamment de la longueur d'onde ?