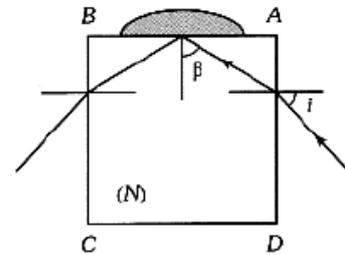


# 1 Réfraction

## 1.1 Mesure d'un indice par réfractométrie

On veut mesurer l'indice de réfraction  $n$  d'un liquide. On dépose une goutte de ce liquide sur un cube de verre transparent d'indice  $N = 1,50$ . On éclaire ce cube par un faisceau lumineux d'incidence  $i$  variable sur la face d'entrée  $AD$ . On mesure la valeur de l'angle limite d'incidence  $i_l$  pour lequel la goutte apparaît lumineuse.



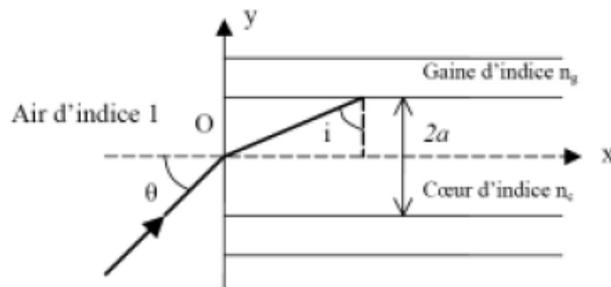
1) Justifier pourquoi, pour  $i > i_l$ , la goutte est si lumineuse.

2) Déterminer alors l'indice de réfraction  $n$  en fonction de  $N$  et  $i_l$ .

3) Montrer que ce réfractomètre mesure des indices  $n$  compris entre deux valeurs à déterminer.

## 1.2 Fibre optique à saut d'indice

Une fibre optique à saut d'indice est formée d'un cœur cylindrique en verre d'axe  $Ox$ , de diamètre  $2a$  et d'indice  $n_c$ , entouré d'une gaine optique d'indice  $n_g$  légèrement inférieur à  $n_c$ . Un rayon situé dans le plan  $Oxy$  entre dans la fibre au point  $O$  avec un angle d'incidence  $\theta$ .



1) A quelle condition sur  $i$ , angle d'incidence à l'interface cœur/gaine, le rayon reste-t-il confiné à l'intérieur du cœur ? On note  $i_L$  l'angle d'incidence limite. Faire un dessin du trajet ultérieur du rayon en faisant apparaître plusieurs réflexions.

2) Montrer que la condition précédente est vérifiée si l'angle d'incidence  $\theta$  est inférieur à un angle limite  $\theta_L$  tel que  $\sin \theta_L = n_c \cos i_L$ . En déduire l'expression de l'ouverture numérique  $ON$  de la fibre, définie par  $ON = \sin \theta_L$ , en fonction de  $n_c$  et  $n_g$  uniquement.

3) Donner la valeur numérique de  $ON$  pour  $n_c = 1,500$  et  $n_g = 1,470$ .

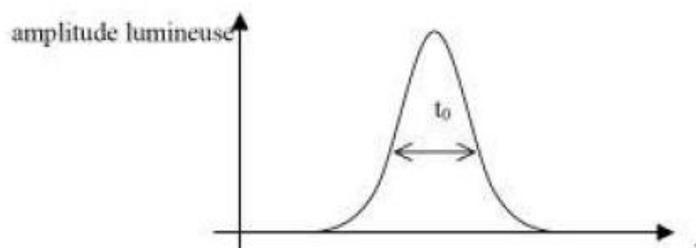
4) Exprimer la vitesse de propagation de la lumière dans le cœur de la fibre en fonction de la vitesse de la lumière dans le vide, notée  $c$ , et l'indice  $n_c$  du cœur.

5) Quel est le rayon qui traverse le plus rapidement la fibre ? Calculer la durée de parcours  $\tau_1$  de ce rayon.

6) Quel est le rayon qui met le plus de temps à traverser la fibre ? Calculer la durée de parcours  $\tau_2$  de ce rayon en fonction de  $L$ ,  $c$ ,  $n_c$  et  $\sin i_L$ .

7) En déduire l'intervalle de temps  $\delta\tau$  entre le temps de parcours minimal et maximal en fonction de  $L$ ,  $c$ ,  $n_c$  et  $n_g$ .

On injecte à l'entrée de la fibre une impulsion lumineuse de durée  $t_0$  formée par un faisceau de rayons ayant un angle d'incidence compris entre 0 et  $\theta_L$ . La figure ci-dessous représente l'allure du signal lumineux en fonction du temps.



8) Reproduire la figure en ajoutant à la suite l'allure du signal lumineux à la sortie de la fibre. Quelle durée a approximativement l'impulsion lumineuse en sortie de fibre ?

Si le rayon de la fibre est trop petit, le modèle de l'optique géométrique, utilisé jusqu'à présent, n'est plus valable : on ne peut plus décrire la propagation de la lumière avec de simples rayons lumineux. Il faut alors traiter la lumière comme une onde.

9) Indiquer un phénomène relatif à la lumière mettant en évidence son caractère ondulatoire.

## 2 Lentilles minces

### 2.1 Lunette de Galilée

1) Question de cours : décrire une façon de déterminer la distance focale d'une lentille à l'aide d'un miroir.

2) La lunette de Galilée est formée d'une lentille objectif ( $(L_1)$  :  $O_1$ ,  $f_1 = 20$  cm) et d'une lentille oculaire divergente ( $(L)$  :  $O$ ). Le foyer objet  $F$  de  $(L)$  coïncide avec le foyer image  $F'_1$  de  $(L_1)$ . La longueur  $l = O_1O$  vaut 15 cm. Au départ, on pointe un objet  $AB$  de 2 cm à 30 cm devant l'objectif.

a) Construire l'image  $A'B'$  de  $AB$ . Est-elle réelle ou virtuelle ?

b) Calculer  $p' = \overline{OA'}$  et  $\overline{A'B'}$ .

Cet appareil est destiné à voir des objets éloignés. on appelle  $\alpha$  le diamètre angulaire apparent d'un objet à l'infini et  $\alpha'$  celui de son image.

c) Calculer le grossissement de cette lunette.

### 2.2 Modélisation d'un photocopieur

Un photocopieur permet la reproduction d'un document original, avec un grandissement réglable. Le système optique, qui comprend plusieurs lentilles dont on peut modifier les positions respectives, forme une image de l'original sur un tambour photosensible. La distance entre le document et ce tambour est fixe, de valeur  $d = 384$  mm.

Le système optique est en fait équivalent à une unique lentille mince convergente  $L$ , de centre  $O$ , dont on peut ainsi régler la position et la distance focale  $f'$ . On se propose de déterminer, pour un grandissement  $\gamma$  voulu, la position et la distance focale  $f'$  nécessaires.

L'image d'une portion  $AB$  du document sera désignée par  $A'B'$ . Le point  $A$  est sur l'axe optique.

1) Exprimer les distances  $AO$  et  $f'$  en fonction de  $d$  et de  $\gamma$ .

2) Effectuer l'application numérique dans les 3 cas suivants :

- A4 reproduit en A4 (grandeur nature)
- A4 reproduit au format A3 (surface double)
- A4 reproduit au format A5 (surface moitié)

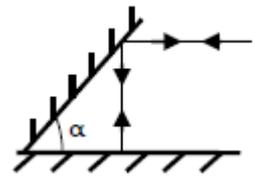
## 3 Miroir plan

### 3.1 Taille minimale d'un miroir

Quelle taille minimale doit avoir un miroir pour qu'un homme de 1,80 m puisse s'y voir entièrement ?

### 3.2 Réflexion sur deux miroirs

Un système optique est constitué de deux miroirs plans, formant entre eux un angle  $\alpha$ , tel qu'un rayon lumineux incident parallèle à l'un des deux miroirs repart en sens inverse (même support) après avoir subi trois réflexions.

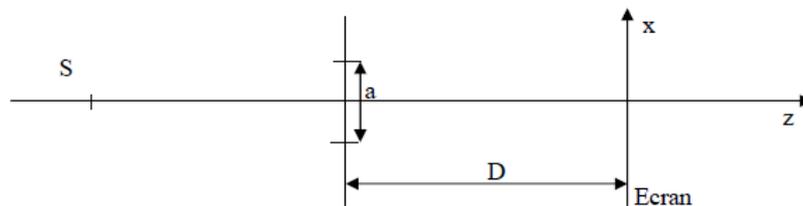


- 1) Que vaut l'angle d'incidence sur le 1<sup>er</sup> miroir ?
- 2) En déduire la valeur de l'angle  $\alpha$ .

## 4 Trous d'Young

### 4.1 ENSSAT 2011

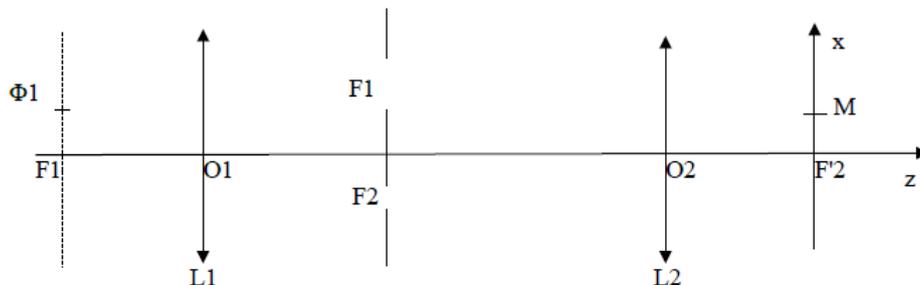
On considère un dispositif de fentes d'Young, formé de deux fentes fines parallèles distantes de  $a$  et situées de part et d'autre de l'axe ( $Oz$ ), éclairé par une source ponctuelle  $S$  monochromatique de longueur d'onde  $\lambda_0$ . La figure d'interférences est observée sur un écran parallèle aux deux fentes distant de  $D$  du plan contenant les deux fentes. L'ensemble est placé dans l'air d'indice  $n=1$ .



- 1) La source ponctuelle est située sur l'axe ( $Oz$ ). Définir et donner l'expression de l'interfrange d'interférences  $i$  visualisé sur l'écran.
- 2) Comment est modifiée la figure d'interférences lorsque la source ponctuelle  $S$  est décalée transversalement d'une distance  $b$  de l'axe ( $Oz$ ).
- 3) La source est à nouveau sur l'axe ( $Oz$ ). Une fine lame de verre d'indice  $n$  et d'épaisseur  $e$  est placée devant l'une des deux fentes. Comment évolue la figure d'interférences lorsque la lame de verre est mise en place ?

### 4.2 ENSSAT 2012

1) Soient deux fentes  $F_1$  et  $F_2$  infiniment fines, distantes de  $a$ , éclairées par une source ponctuelle monochromatique  $\Phi_1$  de longueur d'onde  $\lambda$ , placée dans le plan focal objet d'une lentille convergente  $L_1$  de distance focale  $f'$  à la distance  $d$  de l'axe ( $z'z$ ). Déterminer l'éclairement en un point  $M$  du plan focal image de la lentille convergente  $L_2$  de distance focale  $f'$ . Caractériser précisément le système de franges obtenu.



- 2) On place dans le plan focal de  $L_1$ , une deuxième source  $\Phi_2$ , de même longueur d'onde et de même intensité que la précédente.  $\Phi_2$  est symétrique de  $\Phi_1$  par rapport à l'axe ( $z'z$ ). Déterminer

l'éclairement  $E(M)$  produit en  $M$  par l'ensemble de ces deux sources en faisant apparaître un terme d'interférence et un facteur de visibilité.

3) Les deux sources se déplacent dans le plan focal objet de  $L_1$ , symétriquement l'une par rapport à l'autre à la vitesse  $v_0$  constante. Montrer qu'il y a périodicité du brouillage des franges et déterminer la période  $T$  de ce brouillage.

## 5 Interféromètre de Michelson

### 5.1 Interféromètre en lame d'air

On éclaire en incidence normale un interféromètre de Michelson réglé en configuration lame d'air par une source spectrale supposé monochromatique.

- 1) Donner le principe, décrire le montage et faire un schéma
- 2) Décrire le protocole expérimental et le dispositif expérimental pour obtenir des franges d'interférences sous forme de franges circulaires. Où placer l'écran en sortie de l'interféromètre ?
- 3) Montrer que ce système est équivalent à deux sources ponctuelles monochromatiques ( $S_1$ ) et ( $S_2$ ) distantes de  $a$ , dont les interférences sont observées dans un plan perpendiculaire à la droite ( $S_1S_2$ ) situé à une distance  $d \gg a$  du milieu de  $[S_1S_2]$ .
- 4) Justifier que l'on observe sur l'écran des franges circulaires, que l'on nomme « anneaux » d'interférences.
- 5) Calculer l'éclairement en un point  $M$  situé à une distance  $r$  du centre de l'écran.
- 6) Rappeler la définition de l'ordre d'interférence  $p$ , puis calculer le rayon de l'anneau d'ordre  $p$ .
- 7) Calculer l'ordre d'interférences au centre de l'écran. Commenter le résultat.
- 8) On suppose que l'écran est un carré de côté  $L$ , Combien d'anneaux brillants observe-t-on ?
- 9) On modifie le réglage de l'interféromètre en « chariotant » le miroir déplaçable. Comment savoir à partir de la figure d'interférence si on a diminué ou augmenté la différence de longueur entre les deux bras ?

### 5.2 ENSSAT 2010

Un interféromètre réglé en lame d'air (d'épaisseur  $e$ ) est éclairé par une source ponctuelle de longueur d'onde  $\lambda_0 = 632 \text{ nm}$ .

On place à la sortie une lentille convergente de distance focale  $f' = 10 \text{ cm}$  et un écran dans son plan focal image.

On repère alors sur l'écran des anneaux brillants dont les rayons sont comptés en partant du centre :

<i>anneau brillant</i>	1	2	3	4	5
<i>r (mm)</i>	5,02	7,11	8,7	10	12

- 1) Quelle est la différence de marche entre deux rayons interférant un en point  $M$  de l'écran distant de  $r$  de l'axe optique ? (exprimer  $\delta$  en fonction de  $f'$ ,  $e$  et  $r$ )
- 2) Dédire des données l'épaisseur  $e$  de la lame d'air.
- 3) Quel est l'ordre d'interférence au centre ?

### 5.3 Michelson en coin d'air

Un interféromètre de Michelson en coin d'air est éclairé par une source étendue monochromatique de longueur d'onde  $\lambda_0$ . On note  $\alpha$  l'angle entre les deux miroirs. On veut observer les interférences sur un écran situé à  $d = 90 \text{ cm}$  du système grâce à une lentille de projection. Le grandissement de la lentille est  $|\gamma| = 2$  et l'interfrange mesurée sur l'écran est  $i = 5 \text{ mm}$ .

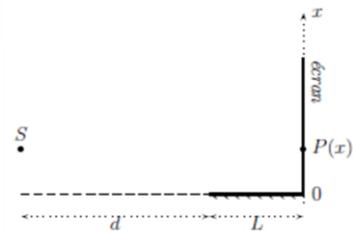
- 1) A quelle distance doit-on placer la lentille et quelle focale choisir pour voir la figure d'interférences sur l'écran ?
- 2) Calculer  $\alpha$  à partir de l'interfrange mesurée sur l'écran.
- 3) On remplace l'écran par un photo-détecteur. On translate un des miroirs à la vitesse  $v = 1$  mm/minute. Le photo-détecteur délivre une intensité électrique proportionnelle à l'intensité lumineuse qu'il reçoit. Quel est le profil de l'intensité délivrée par le photo-détecteur ? Donner la période de la sinusoïde.

## 6 Autre interféromètre

### 6.1 ENSSAT 2012

Un miroir plan de longueur  $L = 10$  cm est éclairée sous une incidence rasante par une source ponctuelle  $S$  placée à une faible distance  $h = 1$  mm au-dessus du plan de la lame et à une distance  $d = 20$  cm en avant de celle-ci. Cette source émet une lumière monochromatique de longueur d'onde  $\lambda_0 = 0,546$   $\mu\text{m}$ .

En un point  $P$  de l'écran interfèrent le rayon issu directement de la source  $S$  et celui issu de  $S$  par réflexion sur le miroir.



On rappelle que la réflexion entraîne un retard de phase de  $\pi$ .

- 1) Déterminer la différence de phase  $\Delta\phi(P)$  des deux rayons interférant en  $P(x)$  sur l'écran.
- 2) On considère l'amplitude des vibrations égales en  $P$  pour les deux ondes. Exprimer l'intensité lumineuse en  $P$  en fonction de  $\lambda_0$ ,  $d$ ,  $L$ ,  $h$  et  $x$ . Observera-t-on en  $x = 0$  une frange brillante ou sombre ?
- 3) Représenter la zone d'interférence sur l'écran. En déduire le nombre de franges brillantes observées.

## 7 Réseau de diffraction

### 7.1 ENSSAT 2010

Trouver le nombre de traits par millimètre  $n$  d'un réseau éclairé en incidence normale pour lequel la déviation à l'ordre 2 de la raie verte  $\lambda = 540$  nm est  $D = 38^\circ$ .

### 7.2 Réseau plan

Un réseau plan, utilisé par transmission, est formé de traits fins parallèles et équidistants de  $a$ , gravés sur un support en verre. Le pinceau incident a une direction fixe et fait l'angle variable  $i_0$  avec la normale au réseau qui peut tourner autour d'un axe parallèle aux traits.

- 1) Le réseau est éclairé en lumière monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$ . On observe les maxima de lumière diffractée d'ordre  $k$  dans la direction qui fait l'angle  $i$  avec la normale au réseau. Exprimer  $\sin i$  en fonction de  $i_0$ ,  $k$ ,  $\lambda$  et  $a$ .
- 2) On mesure avec ce réseau la déviation minimale  $D_{m0} = 31^\circ 42'$  de la raie verte du mercure ( $\lambda_0 = 546,1$  nm) pour le spectre d'ordre 2, puis la déviation minimale  $D_{m1} = 18^\circ 32'$  pour la raie rouge du cadmium au premier ordre. Calculer :
  - a) L'angle d'incidence  $i_0$  correspondant à la déviation minimale de la raie verte ;
  - b) La longueur d'onde de la raie rouge du cadmium ;
  - c) Le nombre  $n$  de traits par millimètre et le pas du réseau utilisé.