

# DS 3 de physique

Le sujet comprend deux problèmes et un exercice à traiter dans l'ordre de votre choix. Il est demandé de numéroter les pages au format  $i/N$  où  $i$  est le numéro de la page et  $N$  le nombre de pages.

Tous les résultats doivent être encadrés et justifiés. Quand vous utilisez une loi il faut donner le nom de la loi et préciser les hypothèses d'application.

## I. Interféromètre de Michelson

Le schéma de principe d'un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air est donné en annexe. On note  $Ox$  et  $Oy$  deux axes perpendiculaires définissant les directions des deux bras de l'interféromètre.  $S$  est une source lumineuse ponctuelle située sur  $Ox$ .  $M_1$  et  $M_2$  sont deux miroirs plans parfaitement réfléchissants, disposés perpendiculairement à  $Ox$  en  $H_1$  et respectivement à  $Oy$  en  $H_2$ . Le trait incliné à  $45^\circ$ , noté  $Ls$ , schématise un groupe de deux lames semi-réfléchissantes à faces parallèles. Ce groupe est supposé n'introduire aucune différence de marche sur les trajets lumineux.  $Lp$  désigne une lentille mince convergente placée à la sortie de l'interféromètre de manière à ce que son axe optique soit confondu avec l'axe  $Oy$ . Un écran  $E$  est placé dans le plan focal image de  $Lp$ . On note  $C$  le foyer image de  $Lp$ .

1. Nommer les lames qui composent  $Ls$ . Qu'est-ce qui les distingue ? Expliquer la nécessité pratique d'utiliser deux lames.

2. Un rayon lumineux, noté  $(r)$ , émis par  $S$ , a été représenté. Sur l'annexe (à détacher et à rendre avec la copie), compléter le schéma en faisant un tracé soigné des deux rayons  $(r_1)$  et  $(r_2)$  (réfléchis respectivement sur  $M_1$  et  $M_2$ ) qui émergent de l'interféromètre après division de  $(r)$ . On laissera apparent tout élément de construction (traits, prolongements de rayons, points remarquables, etc.) justifiant d'un tracé raisonné sans utilisation d'aucun rapporteur d'angle. Tout élément explicatif (noms, positions des points, constructions réalisées...) sera également mentionné.

Sur ce même schéma positionner le miroir fictif  $M'_2$  justifiant de la dénomination lame d'air en faisant apparaître le point  $Q_2$  intersection de  $M'_2$  avec le prolongement fictif de  $(r_2)$  et le point  $Q_1$ , intersection de  $M_1$  avec le rayon  $(r_1)$ .

Enfin, terminer le tracé des rayons  $(r_1)$  et  $(r_2)$  après la lentille  $Lp$  jusqu'à l'écran  $E$ . Ces rayons se rencontrent en  $M$  sur l'écran.

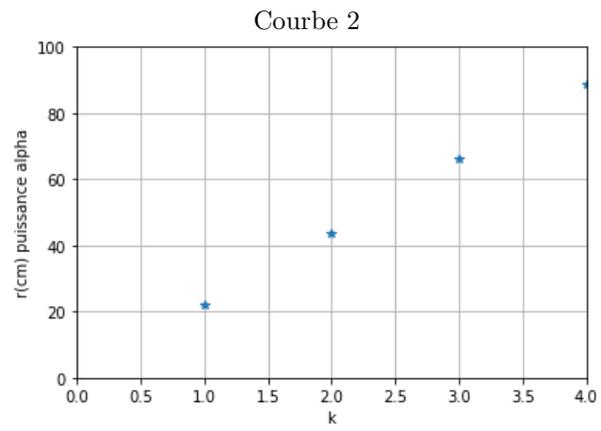
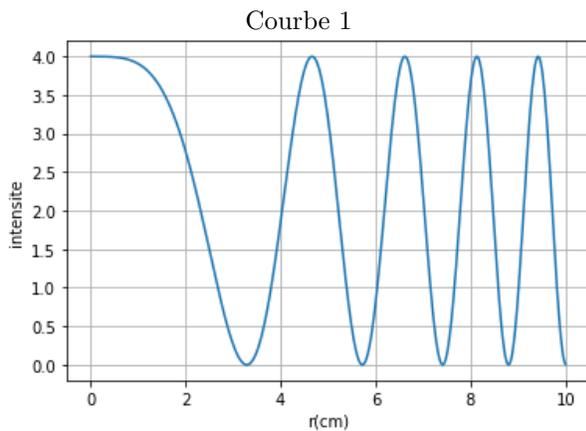
3. En appelant  $e$  l'épaisseur de la lame d'air et en prenant l'indice optique de l'air égal à 1, démontrer l'expression de la différence de marche en  $M$  notée  $\delta(M)$ . Rappel:  $1 + \cos(2i) = 2 \cos^2 i$ .

4. Indiquer, en justifiant, quelle est la forme des franges d'interférences observées sur l'écran. Comment nomme-t-on ces franges? Où sont-elles localisées?

5. On donne la courbe 1 représentant l'intensité sur l'écran en fonction de  $r$  en centimètre ( $r$ : distance entre  $M$  et le centre  $C$  de l'écran). Données:  $f' = 50 \text{ cm}$  et  $\lambda = 632 \text{ nm}$ .

5.a. Déduire de cette courbe les rayons des 2ième et 4ième anneaux brillants et le rayon du 1er anneau sombre.

5.b. On note  $p_k$  l'ordre d'interférences du kième anneau brillant et  $p_0$  l'ordre d'interférence en  $C$ . Que peut-on dire de  $p_0$  d'après la courbe? En déduire l'expression de  $p_k$  en fonction de  $p_0$  et  $k$ .

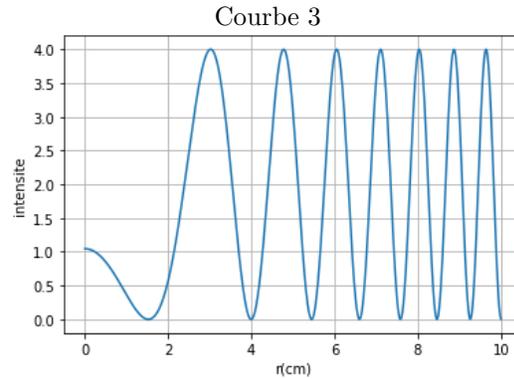


**5.c.** On note  $r_k$  le rayon du  $k$ ème anneau brillant. Montrer que dans l'approximation des petits angles on a  $r_k = f' \sqrt{\frac{2k}{p_0}}$ .

**5.d.** Sur la courbe 2, on trace  $r_k^n$  en fonction de  $k$  ( $r_k$  en centimètre). Donner en justifiant les résultats, la valeur numérique de  $n$ . Déduire de la courbe, la valeur numérique approchée de  $p_0$  et l'épaisseur  $e$  de la lame d'air pour  $\lambda = 632 \text{ nm}$ .

**5.e.** On chariote le miroir mobile. Qu'observe-t-on si l'on augmente l'épaisseur  $e$  de la lame d'air? si l'on diminue  $e$ ?

Déduire de la courbe 3 donnant l'intensité en fonction de  $r$  après chariotage si l'on a augmenté ou diminué l'épaisseur  $e$  de la lame d'air.



**6.** Dans cette question, le Michelson est réglé en coin d'air.

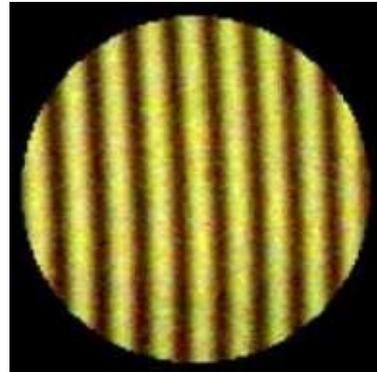
**6.a.** Donner, sans justification, la forme et la localisation des franges et préciser comment on doit éclairer les miroirs.

Pour observer les franges sur un écran, on utilise une lentille convergente de focale image  $f' = 20 \text{ cm}$ . On donne la photo de l'écran.

**6.b.** Le diamètre des miroirs du Michelson est  $d = 2 \text{ cm}$ . Déduire de la photo le grandissement du dispositif et la distance entre la lentille et l'écran ainsi que la distance entre le miroir  $M_2$  et la lentille.

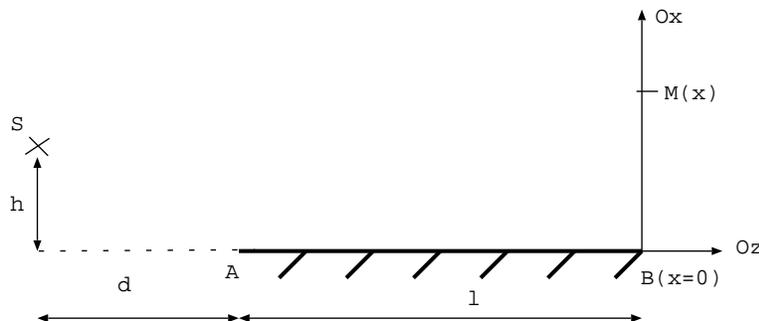
Rappel:  $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$  et  $\gamma = \frac{OA'}{OA}$ .

**6.c.** Déduire de la photo, l'angle  $\alpha$  du coin d'air en radian et en seconde d'arc. Donnée:  $\lambda = 632 \text{ nm}$ .



## II. Miroir de Lloyd

**1.** On considère le dispositif du miroir de Lloyd, composé d'un miroir plan  $AB$  de largeur  $l$  et d'un écran placé en  $B$ , orthogonalement au miroir. Une source ponctuelle  $S$  monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$ , située à une hauteur  $h$  au dessus du plan du miroir, et à une distance  $d$  de l'extrémité  $A$  du miroir, éclaire celui-ci sous incidence rasante ( $h \ll l + d$ ). Les faisceaux, direct et réfléchi par le miroir, contribuent aux interférences observées en un point  $M$  de l'écran.



**1.a.** Tracer les deux rayons qui arrivent en  $M$  et montrer qu'ils proviennent en ligne droite de deux sources secondaires  $S_1$  et  $S_2$  dont on précisera les positions. Démontrer l'expression de la différence

de marche  $\delta(M)$  au point  $M(x, y)$  de l'écran en fonction de  $x, h, l, d$  et  $\lambda$  (on supposera que  $\frac{|y|}{l+d} \ll 1$  et  $\frac{x}{l+d} \ll 1$ ).

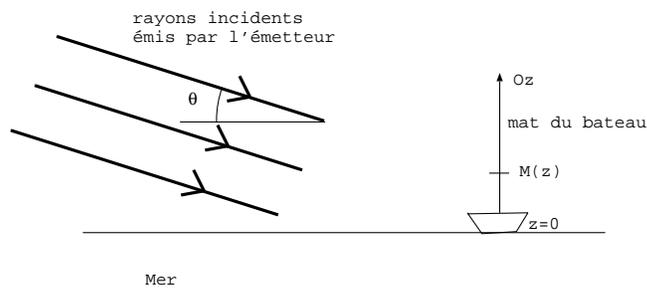
On admet que la différence de marche ondulatoire est  $\delta_O(M) = \delta(M) + \frac{\lambda}{2}$ .

**1.b.** Exprimer l'ordre d'interférences en  $M$ , en déduire la forme des franges. A-t-on en  $x = 0$ , une frange brillante ou une frange sombre?

**1.c.** Délimiter le champ d'interférences. Exprimer la hauteur du champ d'interférences notée  $h_i$  en fonction de  $h, l$  et  $d$ . Calculer le nombre  $N$  de franges brillantes observées sur l'écran pour  $h = 1 \text{ mm}$ ,  $l = 30 \text{ cm}$ ,  $d = 50 \text{ cm}$  et  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ .

**1.d.** Démontrer l'expression de l'interfrange  $i$  et calculer  $i$  pour  $h = 1 \text{ mm}$ ,  $l = 30 \text{ cm}$ ,  $d = 50 \text{ cm}$  et  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ .

**2.** Un bateau en mer à  $D = 10 \text{ km}$  de la côte veut capter une émission radio FM de fréquence  $100 \text{ MHz}$ . Le faisceau parallèle (comprenant une infinité de rayons), provenant de l'émetteur situé sur la côte se réfléchit en partie sur la mer et le dispositif s'identifie ainsi au miroir de Lloyd. Les rayons incidents font un angle  $\theta$  par rapport à l'horizontale.



Par mer calme, la mer se comporte comme un miroir parfait : on cherche à savoir pourquoi l'émission de radio est mal perçue quand l'émetteur se situe sur la côte à une hauteur  $H = 10 \text{ m}$ , et la perception bien meilleure lorsque l'émetteur est sur la côte sur une colline à  $H = 700 \text{ m}$  d'altitude. On propose de suivre la démarche suivante pour comprendre le phénomène observé.

**2.a.** Tracer sur votre copie les deux rayons du faisceau incident parallèle qui interfèrent en  $M$  (on pourra avantageusement utiliser le symétrique de  $M$  par rapport à la surface de la mer).

**2.b.** Montrer que la différence de marche géométrique entre les deux rayons lumineux parallèles entre eux qui se rencontrent en  $M$  (point du récepteur placé à la hauteur  $z$  sur le mat du bateau) s'écrit:

$$\delta'(M) = 2z \sin \theta$$

La différence de marche ondulatoire  $\delta'_o(M)$  est égale à  $\delta'(M) + \frac{\lambda'}{2}$ .

**2.c.** Le récepteur capte-t-il l'émission si il est placé sur le plancher du bateau (en  $z = 0$ )?

**2.d.** Exprimer l'interfrange  $i'$  au niveau du mat du bateau.

**2.e.** Exprimer  $\theta$  en fonction de  $H$ . Faire l'application numérique de  $\theta$  puis de l'interfrange pour un émetteur situé à  $10 \text{ m}$  d'altitude sur la côte et un émetteur situé à  $700 \text{ m}$  d'altitude sur la côte. Expliquer, en vous appuyant sur les valeurs numériques obtenues, le fait que la réception est meilleure lorsque l'émetteur est sur la colline à  $700 \text{ m}$  d'altitude.

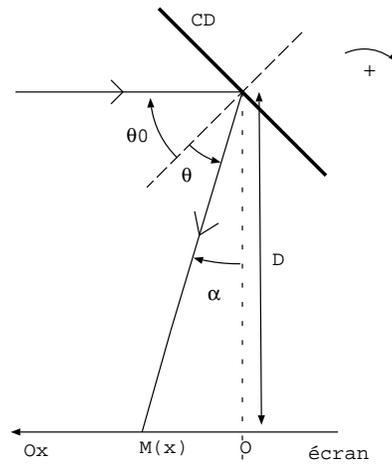
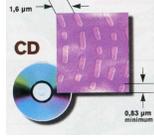
**3.** Par mer agitée, celle-ci se comporte comme un miroir imparfait : la réflexion sur le miroir se fait avec un coefficient de réflexion  $R = 0,8$  en énergie. On note  $I'_1$ , l'intensité du faisceau direct et  $I'_2$ , l'intensité du faisceau réfléchi.

**3.a.** Ecrire la relation entre  $I'_1, I'_2$  et  $R$ .

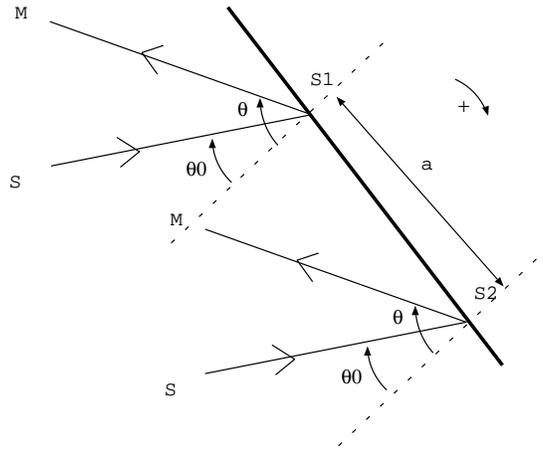
**3.b.** Exprimer l'intensité lumineuse en  $M$  en fonction de  $I'_1, I'_2$  et  $\phi$  (déphasage entre les deux rayons en  $M$ ). En déduire le contraste en fonction de  $R$ . Faire l'application numérique. La perception des ondes est-elle bien contrastée lorsque le récepteur se déplace sur le mat du bateau?

### III. Diffraction par un CD

Un CD sur lequel sont gravées des pistes concentriques resserrées peut être modélisé par un réseau plan en réflexion de pas  $a$ . On considère le montage schématisé ci-contre où le CD, utilisé comme réseau par réflexion, est éclairé par un laser He-Ne de longueur d'onde  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$  avec  $\theta_0 = 45^\circ$ .



1. Sur le schéma ci-contre, on a représenté deux rayons réfléchis sur des motifs voisins (pour la démonstration on a pris soin de choisir des angles  $\theta_0$  et  $\theta_p$  positifs). Exprimer la différence de marche entre deux rayons successifs  $\delta(M) = (SS_2M) - (SS_1M)$ . En déduire que la formule des réseaux en réflexion s'écrit  $\sin \theta_p + \sin \theta_0 = p \frac{\lambda}{a}$  où  $p$  est l'ordre d'interférences et  $a = S_1S_2$  est le pas du réseau.



2. Sur un écran placé à la distance  $D = 1 \text{ m}$  du CD on a relevé la position des quatre premières taches lumineuses :  $x = 0 \text{ cm}$  -  $x = 50,5 \text{ cm}$  -  $x = 118 \text{ cm}$  et  $x = 243 \text{ cm}$ . En déduire le pas  $a$  du CD.

NOM:

Annexe:

