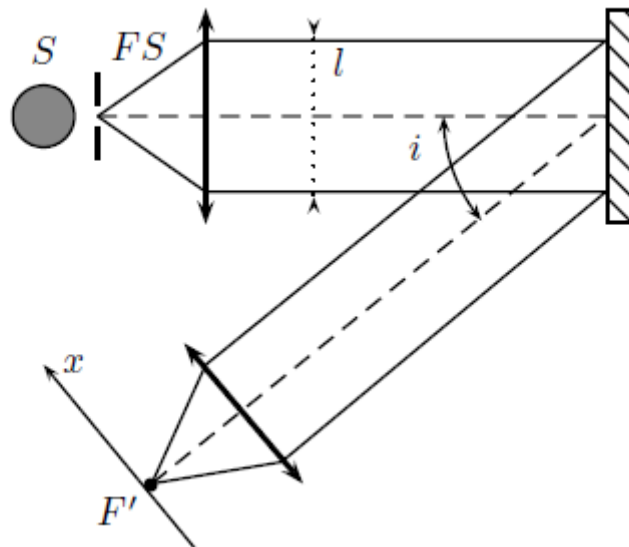


## DM SCIENCES PHYSIQUES N°9

**Problème 1 :**

Un réseau de diffraction par réflexion est constitué de traits fins parallèles, réfléchissants, très fins, distants de  $a$ , perpendiculaires au plan de la figure. Il est utilisé dans les conditions de la figure ci-dessous.

Eclairé en lumière parallèle par une source quasiment monochromatique  $S$ , placée au foyer principal objet d'une lentille sphérique mince convergente de distance focale  $f$ , on observe la lumière renvoyée à l'infini au moyen d'une seconde lentille sphérique mince convergente de même distance focale image  $f = 50$  cm. Les axes optiques des deux lentilles sont inclinés l'un par rapport à l'autre de  $i = 30^\circ$ . Enfin, la fente source  $FS$  disposée devant la source est très fine, parallèle aux traits du réseau, qui sont eux-mêmes perpendiculaires au plan de figure. On appelle  $a$  le pas du réseau (distance entre deux traits consécutifs qui sont supposés infiniment fins). Le réseau est éclairé sur une largeur totale  $\ell$ , réglable au moyen d'un diaphragme. On pose  $\ell = Na$ .

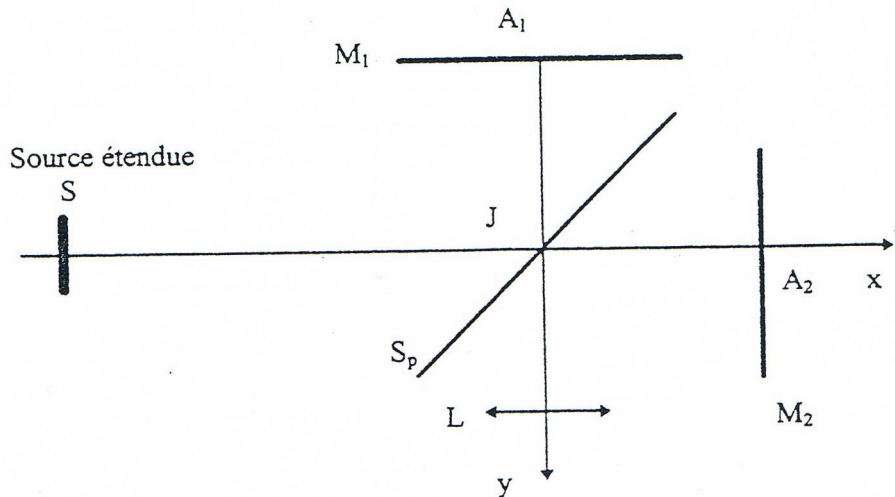


- 1- Déterminer l'éclairement  $E(x)$  envoyé par le réseau en un point d'abscisse  $x$  du plan d'observation, dans le cas d'un éclairage monochromatique à la longueur d'onde  $\lambda = 589$  nm. On supposera que les lentilles sont utilisées dans les conditions de Gauss.
- 2-  $a = 2,4 \mu\text{m}$ . Combien d'ordre au maximum pourrait-on observer avec ce dispositif sur l'écran ? Déterminer les directions, par rapport à la normale au réseau, des ordres visibles. Déterminer à quel abscisse  $x_2$  sur l'écran se trouve le maximum d'ordre 2.
- 3- Déterminer la demi-largeur angulaire  $\epsilon$  à la base du pic d'éclairement correspondant à l'ordre  $k$  en fonction de  $\lambda, N, a$  et  $k$ .

**Problème 2 :**

Un interféromètre de Michelson est constitué par une lame semi réfléchissante, non absorbante, appelée séparatrice  $S$ , dont les facteurs de transmission et de réflexion valent  $1/2$ , et de deux miroirs plans  $M1$  et  $M2$ : perpendiculaires l'un à l'autre. La lame  $S$ , est inclinée à  $45^\circ$  par rapport aux normales à  $M1$  et  $M2$ . L'interféromètre est plongé dans l'air dont on prendra l'indice égal à 1.

Dans tout le problème; on ne tiendra compte, ni des inconvénients liés à l'épaisseur non négligeable de la séparatrice (qui sont supposés parfaitement corrigés grâce à une lame compensatrice), ni d'éventuels changements de phase par réflexion.



On utilise comme source étendue S une lampe spectrale de symétrie de révolution autour de l'axe SJ.

I- On observe en lumière monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$ .

L'écran d'observation est placé en arrière d'une lentille mince convergente L d'axe optique Jy et de distance focale image  $f' = 1$  m.

1- On part de la situation où les deux bras sont égaux ( $JA_1 = JA_2$ ). Qu'observe-t-on sur l'écran ? Comment s'appelle cette position ?

2- On déplace  $M_2$  normalement à son plan de  $e = 1,1$  mm dans la direction des x positifs.

a- Où doit-on placer l'écran pour voir une figure d'interférence nette ? Quelle est la forme des franges observées ?

b- Déterminer, en la justifiant, la différence de marche entre deux rayons venant interférer en un point de l'écran en fonction de e et de i angle d'inclinaison des rayons qui interfèrent.

On se place dans la suite dans le cadre de l'approximation de Gauss, l'angle i sera donc supposé petit.

c- La longueur d'onde  $\lambda$  est égale à 546,1 nm. Calculer l'ordre d'interférence au centre. Déterminer l'ordre d'interférence et le rayon du troisième anneau brillant.

3- On déplace le miroir  $M_2$  dans le sens des x positifs. Comment évoluent les rayons des anneaux visibles sur l'écran ? Les anneaux semblent-ils rentrer ou sortir du centre de la figure ?

4- On place sur le bras  $JA_1$  et parallèlement au miroir  $M_1$ , une lame d'épaisseur  $e' = 9,6$   $\mu\text{m}$  et d'indice  $n = 1,517$ . Calculer la variation de l'ordre d'interférence au centre. Combien d'anneaux brillants ont défilés au centre de la figure d'interférence.

5- On utilise un photodétecteur que l'on place au foyer image  $F'$  de la lentille L pour enregistrer l'éclairement  $E(F')$  en ce point. On ne place aucun objet sur les bras, on se place au contact optique, puis on translate le miroir ( $M_2$ ) de e.

On éclaire par une vibration monochromatique de longueur d'onde  $\lambda_0$ . On point  $F'$ , on obtient un maximum d'intensité.  $e = 4,83$  cm

La longueur d'onde de la source subit une faible variation  $\Delta\lambda \ll \lambda_0$  et prend la valeur  $\lambda_0 + \Delta\lambda$ .

a- Montrer que la variation  $\Delta\lambda$  de  $\lambda_0$  provoque un défilement de N franges, déterminer l'expression de N.

b-  $\lambda_0 = 775$  nm la fréquence d'émission diminue de 100 GHz. Déterminer  $\Delta\lambda$ . Application numérique.

c- Déterminer le nombre de franges brillantes qui défilent en  $F'$  suite cette variation de fréquence.

II- A partir de la situation où les deux bras sont égaux ( $JA_1 = JA_2$ ), on fait tourner le miroir  $M_2$  d'un angle  $\alpha$  très faible autour d'un axe perpendiculaire au plan  $JA_1A_2$  et passant par  $A_2$ .

1- Comment éclairer le coin d'air sous incidence quasi-normale ?

2- Comment faut-il placer la lentille L pour observer les interférences sur un écran?

3- On éclaire par une source monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$ . Caractériser le système de franges et donner la valeur de l'interfrange  $i$  sur l'écran, sachant que la valeur absolue du grandissement de la lentille est 4.

Application numérique:  $\alpha = 1$  minute d'arc,  $\lambda = 546,1$  nm Donner la valeur de  $i$ .

4- On déplace le miroir 2 de  $d = 1$  mm dans le sens  $x$  positif. Dans quel sens et de combien se déplace le système de franges sur l'écran ?

### III- Surveillance sismique d'un site nucléaire

Un sismomètre est destiné à mesurer les mouvements du sol. Il est constitué d'un bâti fixé au sol dans lequel une masse peut osciller en cas de sollicitation sismique. Dans le cas d'un sismomètre classique une bobine solidaire de la masse mobile est plongée dans un champ magnétique ce qui permet de détecter ses mouvements et de mesurer leur vitesse. Pour améliorer la précision, des capteurs optiques peuvent être utilisés. Les plus précis sont les capteurs interférométriques, qui sont plutôt utilisés en laboratoire et servent aussi d'étalon pour les chaînes de mesure de déplacement ou de vitesse d'un sismomètre mécanique plus classique. L'objet en mouvement ou le capteur à étalonner est muni d'un réflecteur qui est inclus dans un interféromètre (type Michelson). Le déplacement de l'objet est donc transformé en déplacement de franges d'interférence et un compteur de franges permet de connaître le déplacement dû aux vibrations avec une très grande précision. Un schéma simplifié de ce genre de dispositif est représenté sur la figure 9 où O est un point fixe du laboratoire et O' est lié à la table.

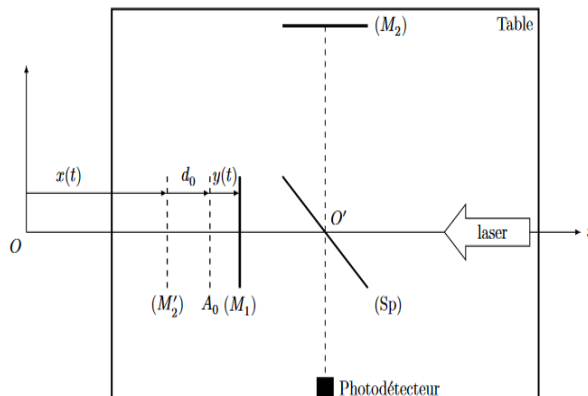


Figure 9 Interféromètre de Michelson dans un sismomètre optique

La lame séparatrice (Sp) a un facteur de réflexion en énergie égal à  $1/2$  et un facteur de transmission en énergie égal à  $1/2$  également. Elle est supposée infiniment fine (compensée par une lame compensatrice adéquate).

Le dispositif est éclairé par un laser hélium-néon : la lumière issue de ce laser est assimilée à une onde plane monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$ , se propageant selon  $\vec{u}_x$ . L'interféromètre est fixé sur une table horizontale. Le miroir ( $M_2$ ) est fixe par rapport à cette table alors que le miroir ( $M_1$ ) est libre de se déplacer le long de l'axe ( $Ox$ ). Les deux miroirs ( $M_1$ ) et ( $M_2$ ) forment un angle de  $\frac{\pi}{2}$ .

On note ( $M_2'$ ) le symétrique du miroir ( $M_2$ ) par rapport à la séparatrice (Sp).

La position de la table, suivant l'axe ( $Ox$ ), par rapport au laboratoire est repérée par l'abscisse  $x(t)$  de ( $M_2'$ ).

Au repos, en l'absence de vibration de la table, cette abscisse vaut  $X_0$  et le miroir ( $M_1$ ) est situé en  $A_0$  (point fixe dans le référentiel de la table) à une distance  $d_0$  de ( $M_2'$ ).

On impose à la table une vibration sinusoïdale dans la direction ( $Ox$ ), d'amplitude  $X_M$  de pulsation  $\omega$ . Cette vibration provoque un déplacement  $y(t) = Y_M \cos(\omega t)$  du miroir ( $M_1$ ) par rapport à la table. On admet que la connaissance de  $y(t)$  permet de déterminer  $x(t)$ . L'objectif de cette partie est de déterminer  $Y_M$  (on ne cherchera pas à établir le lien entre  $Y_M$  et  $X_M$ ).

1- Exprimer la différence de marche  $\delta(t)$  entre l'onde lumineuse reçue par le photodétecteur et ayant été réfléchiée par le miroir ( $M_2$ ) et l'onde ayant été réfléchiée par le miroir ( $M_1$ ).

2- Le photodétecteur délivre un courant d'intensité  $I(t)$  proportionnelle à la puissance lumineuse

reçue. Montrer que  $I(t) = \frac{I_{max}}{2}(1 + \cos(\Phi(t)))$  avec  $\Phi(t) = \Phi_0 + \frac{4\pi}{\lambda}y(t)$ . Exprimer  $\Phi_0$ .

3- La détermination de  $y(t)$  est liée à la mesure sans ambiguïté et avec une bonne sensibilité de la phase  $\Phi(t)$ . La phase  $\Phi(t)$  du signal reçu est composée d'un terme constant  $\Phi_0$  et d'un terme harmonique. Le terme continu rend compte de la configuration de l'interféromètre en l'absence de secousse sismique. La sensibilité de la détermination de  $\Phi(t)$  sera liée à la valeur de  $\Phi_0$ , comme le montre la figure 10, où figurent deux points particuliers Q et R (dont la position est liée à la valeur de  $\Phi_0$ ).

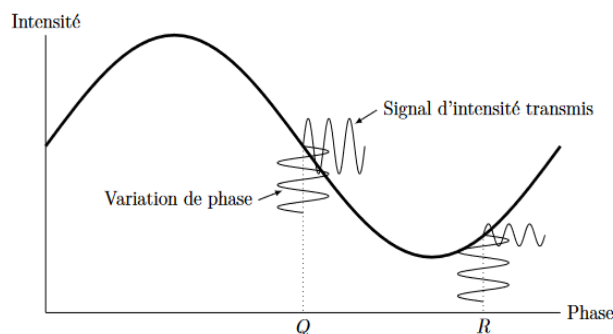


Figure 10

Pour quelle(s) valeur(s) de  $\Phi_0$  la sensibilité  $\frac{dI}{d\Phi}$  de la mesure sera-t-elle optimale ?

4- On choisit pour toute la suite un réglage tel que  $d_0 = \frac{\lambda}{8}$ . La figure 11 donne les enregistrements

$\frac{I(t)}{I_{max}}$  obtenus pour une vibration de la table de fréquence  $f$ . Les deux graphes correspondent à la même expérience, celui du bas présente un agrandissement d'une partie de celui du haut.

Dans cette sous-partie, on détaillera les raisonnements suivis.

a- Aux points A et B, le miroir mobile (M1) rebrousse chemin. De quelle quantité  $\Delta\delta$ , en fonction de  $Y_M$ , a varié la différence de marche  $\delta$  entre les instants  $t_A$  et  $t_B$  correspondant à ces deux points ?

b- Déterminer la fréquence  $f$  de la vibration appliquée au système.

c- Exprimer  $\Delta\delta$  en fonction de  $\lambda$ .

d- Donner alors la valeur de  $Y_M$ .

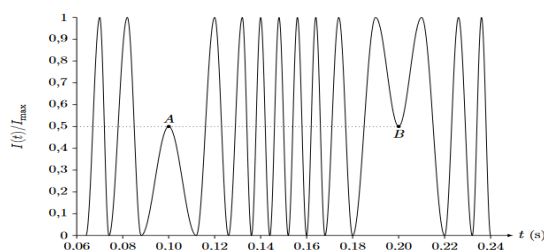
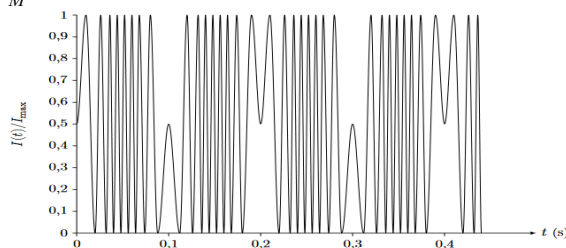


Figure 11

5- Les figures 12 et 13 donnent les enregistrements  $\frac{I(t)}{I_{max}}$  obtenus pour des vibrations de la table de

fréquence  $f$  identique à la précédente, mais d'amplitudes légèrement différentes.

a- Donner la valeur de  $Y_M$  dans le cas de la figure 12.

III.E.2) Donner la valeur de  $Y_M$  dans le cas de la figure 13.

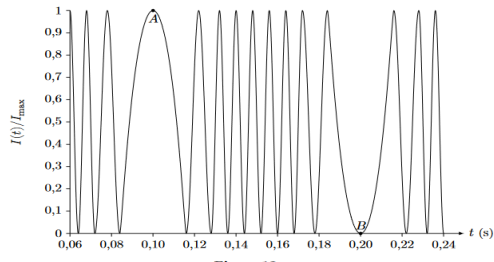


Figure 12

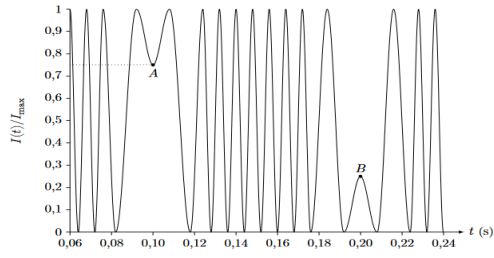


Figure 13