
TRAVAUX DIRIGÉS D'OPTIQUE 5 :

Interféromètres et cohérence spatiale

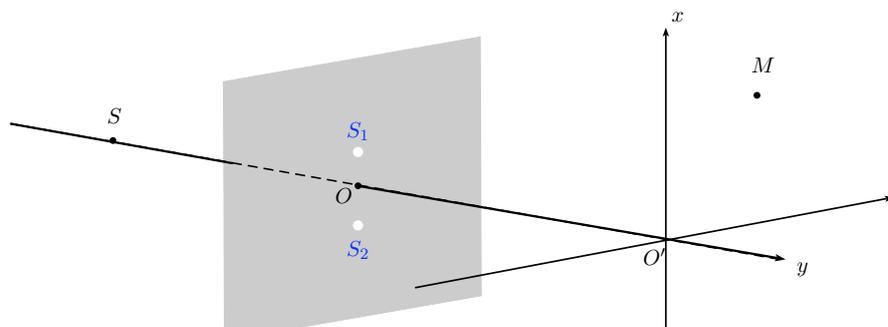
École Centrale Pékin

Année 3

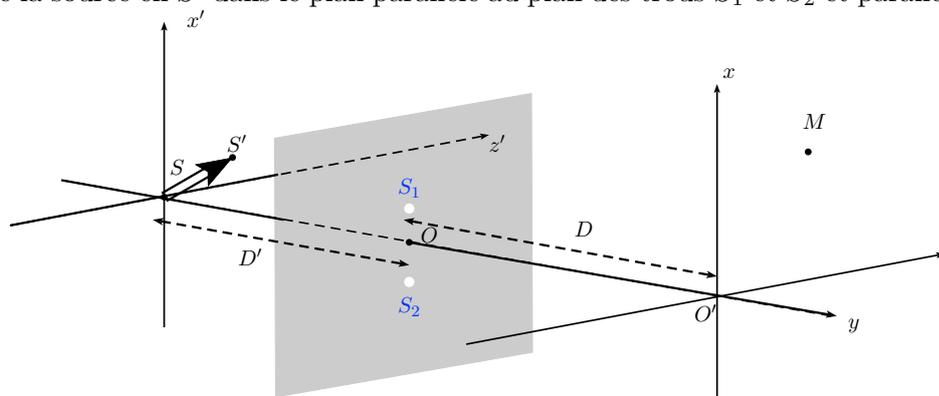
APPLICATION DU COURS

EXERCICE 1 : Trous d'YOUNG éclairés par une source étendue

Soit le dispositif des trous d'YOUNG S_1 et S_2 séparés d'une distance a placés à une distance D' d'une source lumineuse et à la distance D d'un écran. On considère que $D \gg a$, $D' \gg a$ et on regarde le phénomène d'interférence en un point $M(x, y, z)$ proche du centre de l'écran ($D \gg x$ et $D \gg z$). On notera \mathcal{E}_0 l'éclairement total émis par la source éclairant le dispositif.



1. Le dispositif est éclairé par une source ponctuelle S équidistante de S_1 et S_2 .
 - a) Faire un schéma du dispositif en traçant deux rayons (l'un passant par S_1 , l'autre par S_2) interférant en un point M quelconque sur l'écran.
 - b) Rappeler la différence de marche entre ces deux rayons arrivant au point M , puis l'éclairement en M , la forme des franges d'interférence sur l'écran ainsi que l'interfrange.
2. On déplace la source en S' dans le plan parallèle au plan des trous S_1 et S_2 et parallèle à l'écran.

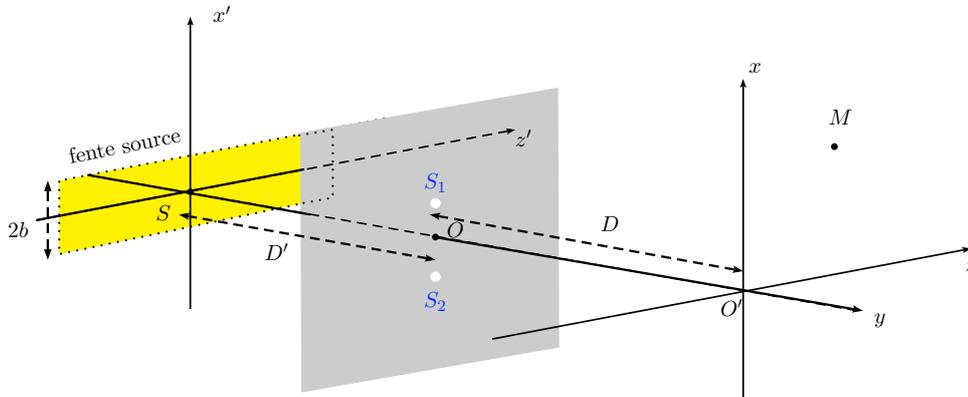


- a) Si la source S' est déplacée dans la direction orthogonale à S_1S_2 , comment est modifiée la figure d'interférence ?

La source S' est déplacée dans la direction parallèle à S_1S_2 .

- b) Représenter le dispositif sur un schéma ainsi que les rayons qui interfèrent en M . Déterminer la différence de marche supplémentaire introduite par le déplacement de la source.
- c) En déduire l'éclairement en M et les conséquences sur la figure d'interférence.

3. On considère maintenant les deux sources S et S' .
 - a) Ces deux sources sont-elles cohérentes entre elles ? Quelle est la conséquence pour l'éclairement en M ? Qu'observe-t-on sur l'écran ?
 - b) Discuter comment évolue le contraste de la figure d'interférence en fonction de la position de la source S' . Dans quel cas a-t-on brouillage ?
4. La source est maintenant une fente fine orthogonale à la direction S_1S_2 équidistante de S_1 et S_2 , d'éclairement total \mathcal{E}_0 uniforme sur toute la fente.

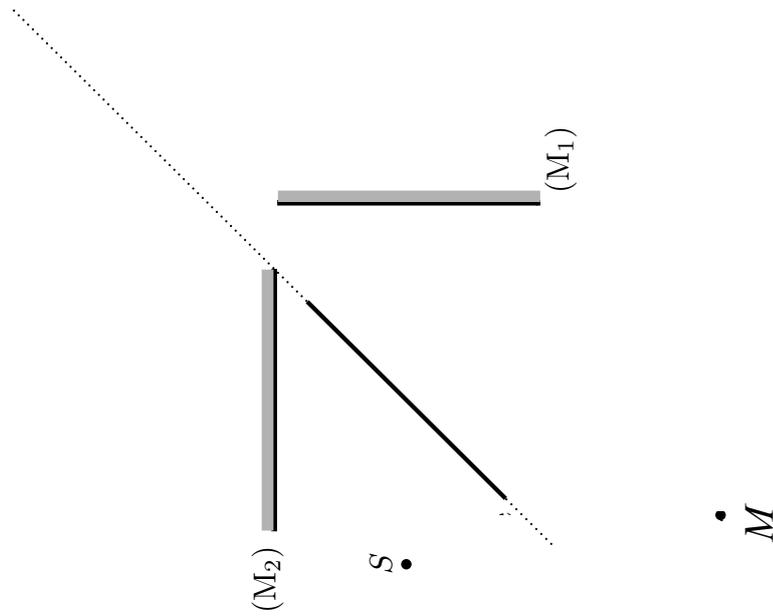
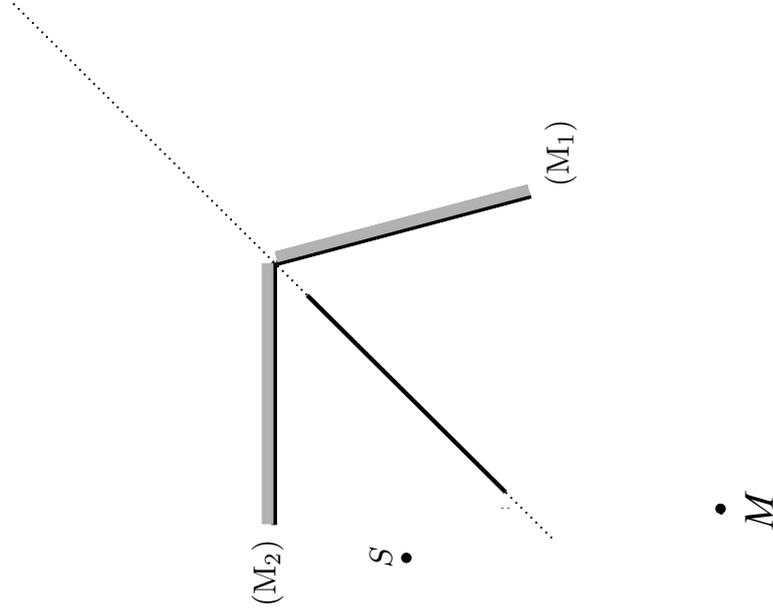


- a) Expliquer pourquoi le fait d'avoir remplacé la source ponctuelle S par cette fente infiniment fine ne change pas la figure d'interférence sur l'écran.
- On élargit la fente (largeur $2b$) de façon symétrique dans la direction parallèle à S_1S_2 .
- b) On considère une portion de la fente de largeur dx' situé en x' . Quel est l'éclairement émis par cette portion de fente ? Quel est alors l'éclairement reçu en M en considérant toujours cette portion de fente.
 - c) En déduire l'éclairement total reçu en M (en considérant la fente source en entier).
 - d) Déterminer l'évolution du contraste en fonction de la largeur de la fente source. Décrire alors ce qu'on observe sur l'écran quand on ouvre la fente.

EXERCICE 2 : Interféromètre de Michelson

Un interféromètre de MICHELSON est éclairé par une source monochromatique de longueur d'onde dans le vide λ_0 . On considèrera ici que l'indice optique de l'air est $n_{air} = 1$.

1. Quels sont les principaux éléments de l'interféromètre de MICHELSON et quel est leur rôle ?
2. **Source ponctuelle :**
 - a) Compléter les deux schémas de la page suivante :
 - placer les sources secondaires (symétriques de la source mère S par rapport aux différents éléments de l'interféromètre)
 - placer le miroir (M'_1), symétrique de (M_1) par rapport à la séparatrice
 - tracer la marche de deux rayons qui interfèrent au point M sur l'écran
 - b) Quel schéma correspond à la configuration en lame d'air ? en coin d'air ?
 - c) Pour chaque configuration, rappeler la forme et la localisation des franges d'interférences.
3. **Source étendue :**
 - a) La source est étendue spatialement : quelle est la conséquence sur la figure d'interférences ?
 - b) Représenter le schéma équivalent de la lame d'air et du coin d'air avec les miroirs (M_2) et (M'_1) et tracer les rayons qui interfèrent.
 - c) Dans chacun des cas, rappeler la différence de marche entre les deux rayons, la forme, les caractéristiques et la localisation des franges d'interférences. Comment les appelle-t-on ?
 - d) Comment doit-on éclairer l'interféromètre dans chacune de ces deux configurations ? Comment le réaliser en TP ?
 - e) Que doit-on ajouter en sortie de l'interféromètre pour observer les interférences sur un écran ?



S'ENTRAÎNER

EXERCICE 3 : Interféromètre de Michelson réglé en coin d'air

Un interféromètre de MICHELSON est éclairé avec une source à vapeur de sodium que nous assimilerons à une source monochromatique de longueur d'onde $\lambda_0 = 589$ nm spatialement étendue. Les deux miroirs ont un diamètre de 20 mm et l'interféromètre est réglé en *coin d'air*. L'écran est parallèle à un des deux miroirs et situé à 1,25 m de ce miroir.

1. Parmi les deux photos d'écran (figures 1 et 2), laquelle correspond au réglage effectué ?

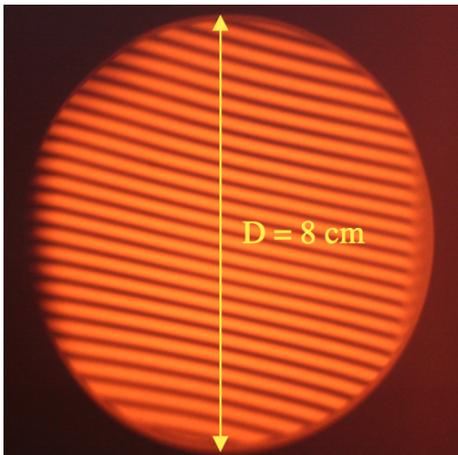


FIGURE 1

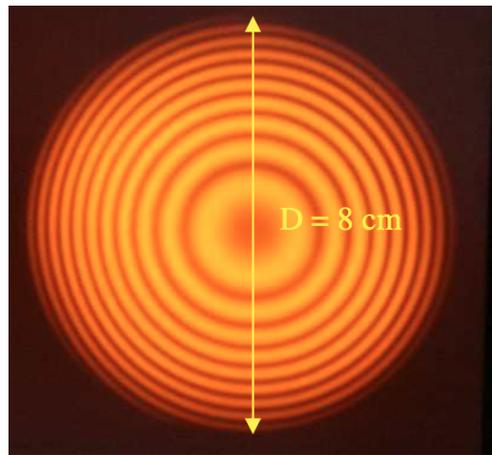


FIGURE 2

2. Quelle lentille est utilisée pour projeter les franges ? Préciser sa distance focale et sa position.
3. En exploitant la photo, évaluer l'angle α du coin d'air.
4. Un des miroirs présente un défaut de surface au milieu : une bosse de 4 mm de diamètre et d'épaisseur maximale $\frac{\lambda_0}{4}$. Détailler les conséquences de ce défaut sur la figure d'interférences.

Indication : commencer par considérer un défaut cylindrique de hauteur $\frac{\lambda_0}{4}$, puis en déduire qualitativement les conséquences pour un défaut en forme de bosse de hauteur maximale $\frac{\lambda_0}{4}$.

5. Une autre expérience est réalisée avec le même interféromètre et la même source et des réglages *a priori* différents. L'expérimentateur a placé un briquet devant un des deux miroirs et envoyé un jet de gaz d'indice optique n_{gaz} différent de l'indice optique n_{air} de l'air ; le jet est cylindrique de diamètre $d = 2,0$ mm. Une photo d'écran a été prise (cf. figure 3). Déterminer $|n_{\text{gaz}} - n_{\text{air}}|$.

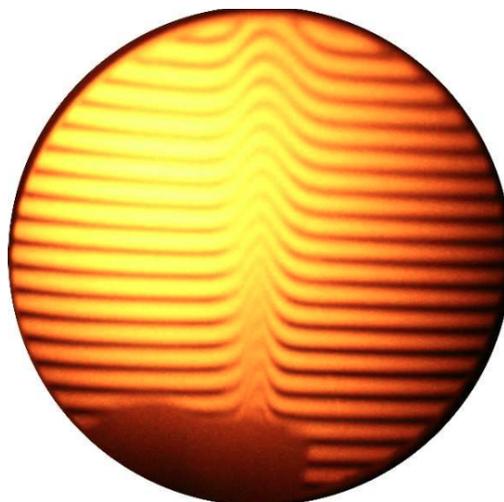


FIGURE 3

EXERCICE 4 : Cuve à vide

Sur un des bras d'un interféromètre de MICHELSON réglé en *lame d'air* et éclairé par un laser (longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 532 \text{ nm}$), on intercale une cellule (longueur interne : $\ell = 40,0 \text{ mm}$) traversée par la lumière *sous incidence normale* (photos 4 et 5).

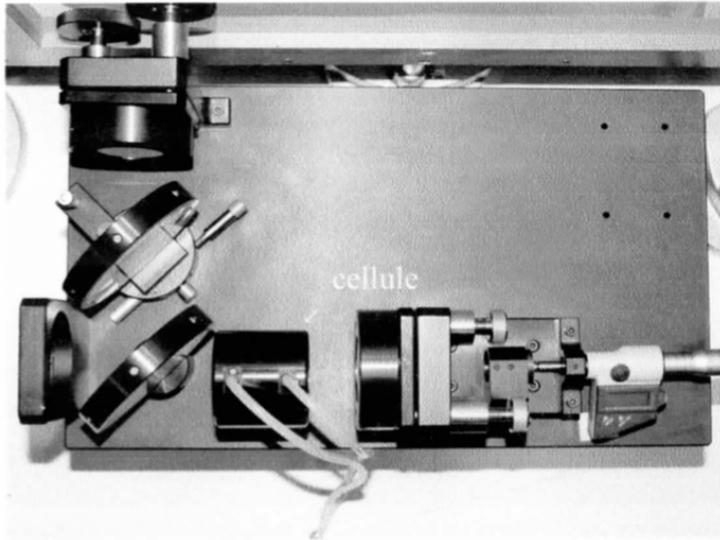


FIGURE 4 – Vue de haut du dispositif

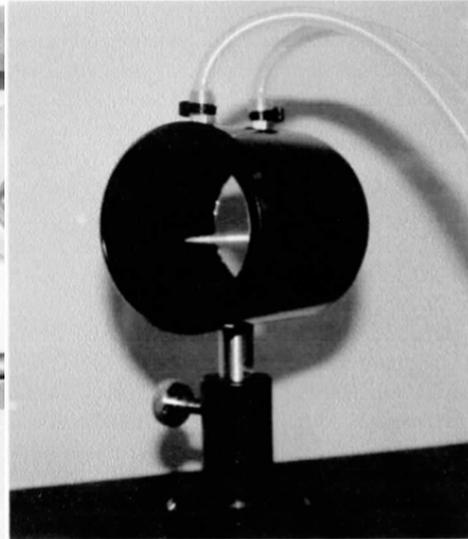
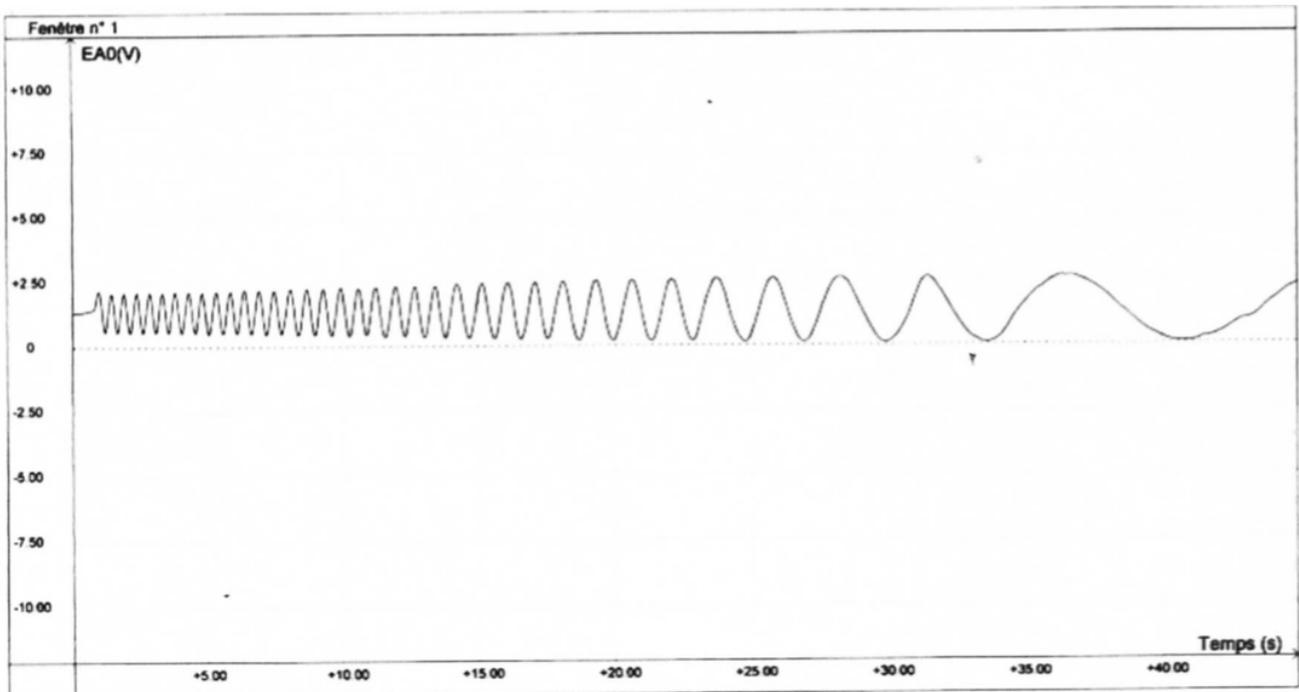


FIGURE 5 – Gros plan de la cellule

On crée dans cette cellule un vide partiel en aspirant par un des deux tubes tuyaux (visibles sur les figures 4 et 5), puis on laisse rentrer l'air progressivement (par l'autre tuyau). Un capteur d'éclairement donne une tension proportionnelle à l'éclairement en fonction du temps $U(t)$, représentée sur la figure 6 pour une valeur de la pression initiale dans la cellule égale à $P_1 = 0,10 \text{ bar}$.

FIGURE 6 – Courbe $U(t)$ pour une valeur de la pression initiale dans la cellule égale à $P_1 = 0,10 \text{ bar}$

1. Interpréter l'allure du graphe $U(t)$.
2. Une autre expérience est effectuée pour une pression initiale dans la cellule égale à $P_2 = 0,50$ bar. La fonction $U(t)$ est représentée sur la figure 7.
En admettant que l'écart $n - 1$ entre l'indice de l'air et celui du vide est, à température ambiante, proportionnel à la pression ($n - 1 \propto P$), en déduire une mesure de cet écart pour l'air de la pièce.

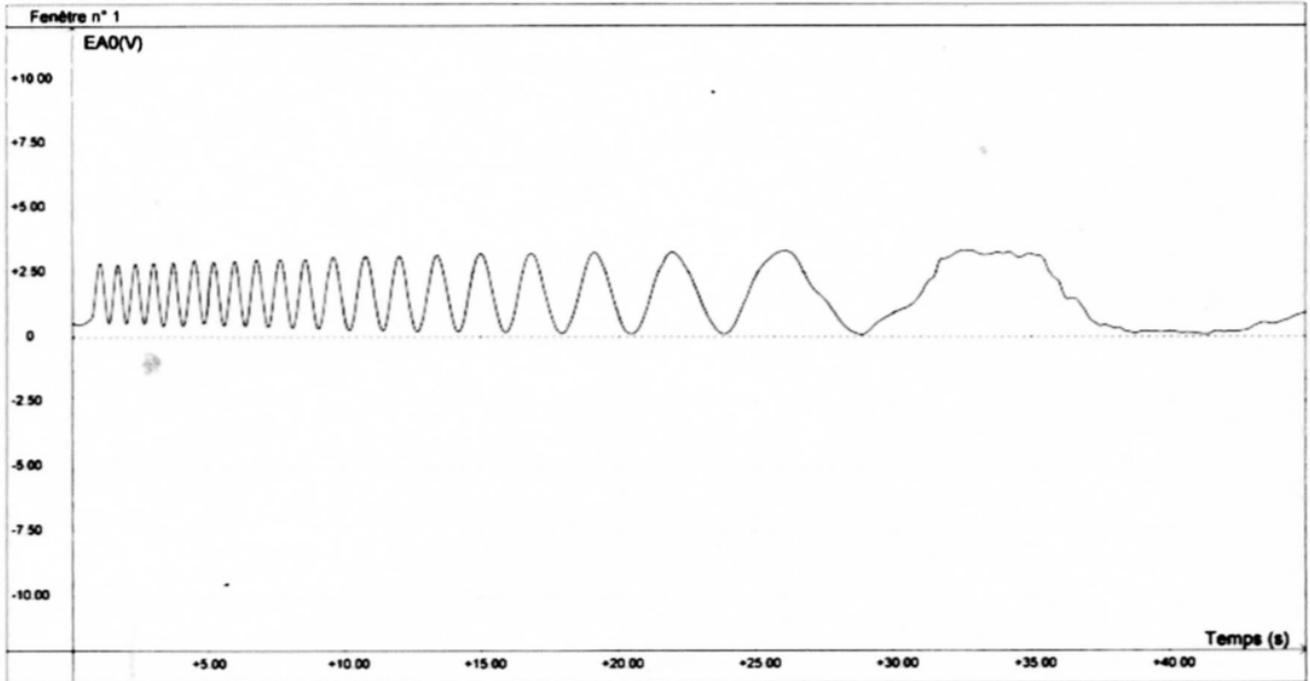


FIGURE 7 – Courbe $U(t)$ pour une valeur de la pression initiale dans la cellule égale à $P_2 = 0,50$ bar

EXERCICE 5 : Angle résiduel entre les deux miroirs

On règle l'interféromètre de MICHELSON en lame d'air avec une source étendue monochromatique ($\lambda_0 = 589$ nm dans le vide). On observe directement les interférences en plaçant l'œil à la sortie de l'interféromètre : on observe alors des anneaux d'égale inclinaison. Mais dès que l'on décale la ligne de visée du bord gauche au bord droit du miroir, on constate que l'éclairement au centre du champ d'interférences varie et que les anneaux rentrent vers le centre. En ajustant le réglage de l'interféromètre, on parvient à limiter ce phénomène pour avoir l'impression de ne plus voir les anneaux défilier.

1. Pourquoi observe-t-on directement à l'œil ? Quelles sont les précautions à prendre ?
2. Interpréter les observations et indiquer quels réglages ont été fait pour éviter le défilement des anneaux.
3. En raisonnant sur l'ordre d'interférences au centre du champ d'interférences, estimer l'angle résiduel entre les deux miroirs à la fin du réglage, sachant que les miroirs ont un diamètre égal à 40 mm.