

# OPTIQUE

## EXERCICES

### O1 Mesure interférentielle de l'indice d'un gaz

On réalise le dispositif d'Young en lumière parallèle: une source  $S$  monochromatique de longueur d'onde dans le vide  $\lambda = 589,3 \text{ nm}$ , est placée au foyer d'une lentille mince convergente  $L_1$  de distance focale  $30 \text{ cm}$  et éclaire deux fentes fines  $S_1$  et  $S_2$ , parallèles entre elles et placées symétriquement de part et d'autre de l'axe optique de  $L_1$ . La distance qui sépare celles-ci est  $e = 1 \text{ mm}$ .

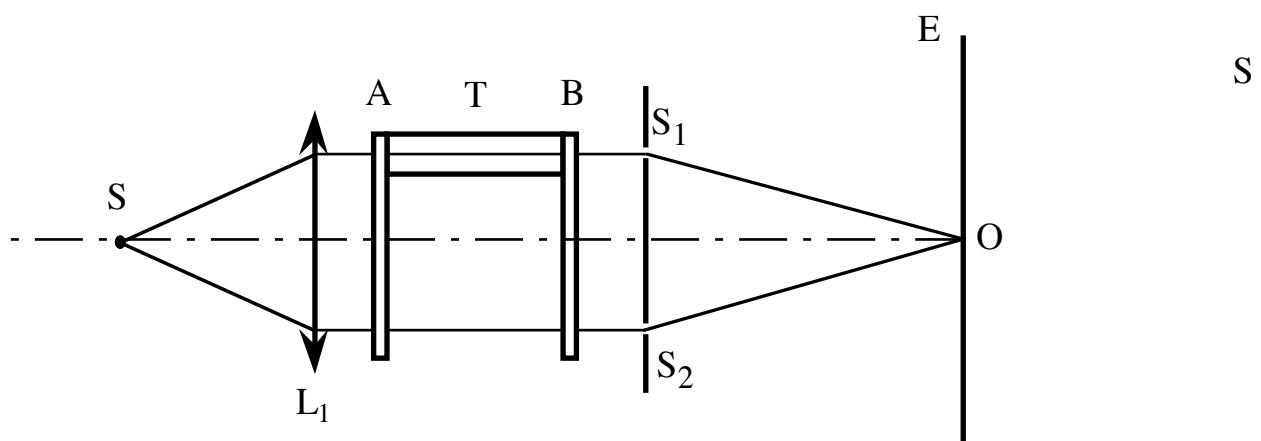
1°) On observe des franges d'interférence sur un écran  $E$ , perpendiculaire à l'axe optique et situé à  $2 \text{ m}$  de  $S_1$  et  $S_2$ . Quelle est la valeur de l'interfrange?

2°) On introduit sur le trajet avant  $S_1$  un tube fermé par deux glaces plan-parallèles  $A$  et  $B$ , de dimensions telles qu'elles soient aussi traversées par les rayons allant en  $S_2$  (voir figure ci-dessous).

a) Le tube  $T$  étant en communication avec l'extérieur, qu'observe-t-on sur l'écran  $E$ ?

b) On fait le vide dans le tube  $T$ . Comment se modifie le système de franges précédent?

c) La longueur du tube  $T$  étant de  $20 \text{ cm}$ , déterminer la valeur de l'indice absolu de l'air, sachant que, pendant le pompage, on a vu défiler  $99$  franges brillantes au centre  $O$  de la figure d'interférences initiale et que, l'opération terminée, on observe en ce point une frange sombre.



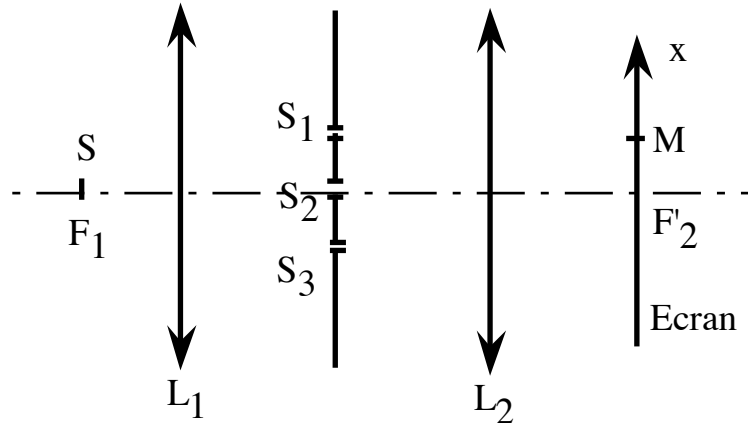
3°) On place en  $S$  une source de lumière blanche. On fait le vide dans  $T$  et on suppose que l'indice de l'air est pratiquement indépendant de la longueur d'onde.

a) Quelles sont les longueurs d'onde éteintes en  $O$ ?

b) A quelle distance  $X$  la plus proche de  $O$  observe-t-on l'extinction de  $\lambda = 754,9 \text{ nm}$ ?

## O2 Finesse des franges dans un dispositif à trois fentes

On considère le système interférentiel ci-contre, où  $S$  est une fente source monochromatique placée au foyer de  $L_1$ . L'écran est placé dans le plan focal image de  $L_2$ .  $S_1, S_2, S_3$  sont trois fentes identiques parallèles à  $S$ .



Tracer les rayons parvenant en un point  $M$  de l'écran, d'abscisse  $x$ .

1) Déterminer l'intensité lumineuse  $I(x)$ . L'interfrange est ici défini comme la distance entre deux maxima principaux d'intensité. On définit également la largeur de frange comme l'intervalle  $\Delta x$  associé à la valeur  $\frac{I_{\max}}{2}$  de part et d'autre d'un maximum principal (largeur à mi-hauteur). Comparer interfrange et largeur de frange pour un dispositif à 2 fentes et un dispositif à 3 fentes.

2) Reprendre cette dernière comparaison avec un dispositif à  $N$  fentes. Quel peut être l'intérêt d'un tel dispositif ?

## O3 Miroirs de Fresnel

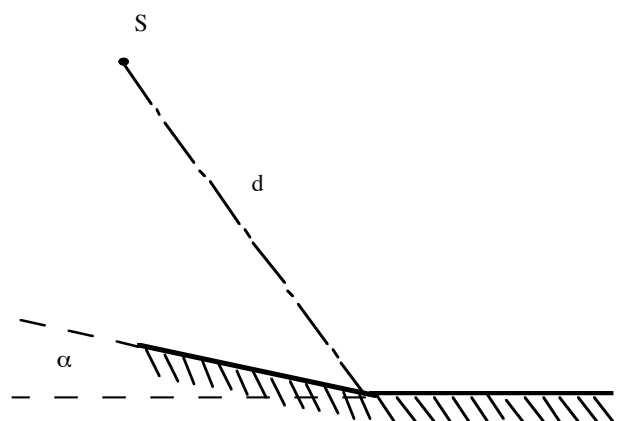
Le dispositif interférentiel des miroirs de Fresnel est formé de 2 miroirs présentant une arête commune et faisant entre eux un angle très faible. Il est éclairé par une source ponctuelle  $S$  placée à une distance  $d$  de l'arête commune :

1) Déterminer l'écartement entre les deux sources  $S_1$  et  $S_2$  images de  $S$  dans les miroirs.

On place un écran  $E$ , parallèlement à l'axe des 2 sources, à une distance  $L$  de l'arête commune.

2) Quelle est la forme des franges observées ? Combien observe-t-on de franges sombres et brillantes ?

On donne :  $\lambda_0 = 490 \text{ nm}$ ,  $d = 20 \text{ cm}$ ,  $L = 1,8 \text{ m}$ ,  $\alpha = 0,1^\circ$



La source contient à présent deux longueurs d'onde très voisines  $\lambda_0$  et  $\lambda_0 + \Delta\lambda$ , avec  $\Delta\lambda \ll \lambda_0$ .

3) Déterminer l'intensité  $I(x)$  en un point de l'écran. Montrer alors que le contraste s'annule périodiquement. Quel est l'ordre d'interférences pour la première annulation du contraste ?

Montrer qu'on peut le retrouver très simplement en comparant les systèmes de franges associés à chaque longueur d'onde.

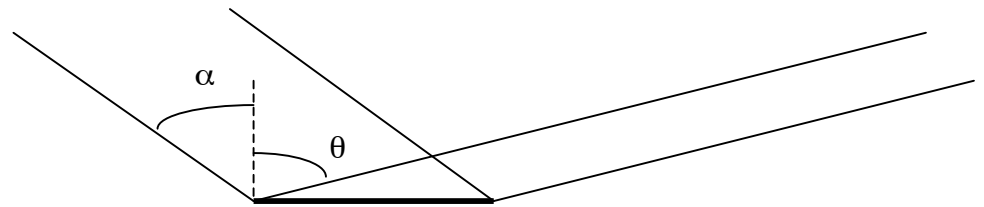
**A.N.**  $\lambda_0 = 577 \text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda = 2,1 \text{ nm}$  (doublet jaune du mercure). Quel est le numéro de la première frange où s'annule le contraste ?

## O4 Réseau à échelle

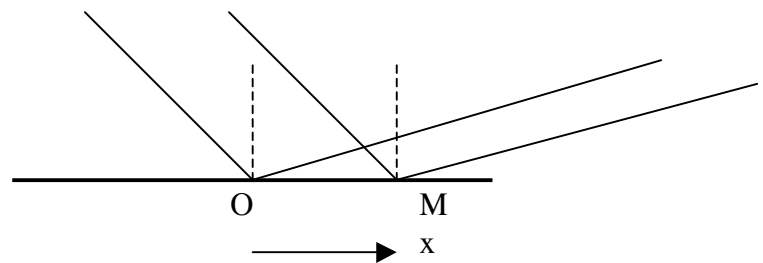
### 1°) Diffraction par réflexion

Un miroir plan rectangulaire, de largeur  $l$  faible devant sa longueur, est éclairé par un faisceau de lumière parallèle monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$ , sous une incidence  $\alpha$ .

Si  $l$  n'est pas grand devant  $\lambda$ , le miroir diffracte par réflexion : il ne renvoie pas un faisceau parallèle dans la direction symétrique à la direction incidente suivant les lois de Descartes, mais une infinité de faisceaux dans toutes les directions. On cherche à déterminer l'amplitude et l'intensité diffractées dans la direction  $\theta$  variable :



Déterminer la différence de marche entre le rayon diffracté au point  $M$  dans la direction  $\theta$  et le rayon diffracté en  $O$  centre du miroir.



Par application du principe d'Huygens Fresnel, en déduire l'amplitude et l'intensité diffractées dans la direction  $\theta$ . Dans quelle direction cette intensité est-elle maximale ? Commenter.

### 2°) Réseau par réflexion

De la même façon un réseau par réflexion est constitué de traits diffractants parallèles espacés de  $a$  (pas du réseau) qui réfléchissent la lumière. Le réseau est éclairé sous incidence normale, par un faisceau monochromatique parallèle, et on considère le faisceau parallèle réfléchi dans la direction  $\theta$ . Déterminer la différence de marche entre les rayons réfléchis par deux traits successifs. En déduire la formule fondamentale des réseaux par réflexion.

### 3°) Réseau à échelle

Il est constitué de miroirs identiques de largeur  $l$ , inclinés d'un angle  $\alpha$  par rapport à l'horizontale :



Le réseau est éclairé en incidence normale par un faisceau parallèle monochromatique.

Dans quelle direction le maximum d'intensité diffractée se trouve-t-il pour chaque miroir ?

Dans quelle direction les pics d'intensité du réseau se trouvent-ils pour la longueur d'onde  $\lambda$  dans un ordre donné  $p$  ?

En déduire qu'on peut choisir l'angle  $\alpha$  pour que cet ordre soit le plus éclairé .

## O5 Interférences à 4 ondes

Une source  $S$  ponctuelle monochromatique éclaire un plan opaque percé de quatre trous identiques placés aux sommets d'un carré. L'axe issu de  $S$  et orthogonal au plan passe par le centre du carré. On note  $2a$  la distance entre deux trous opposés.

Un écran est placé parallèlement au plan, à une distance  $D$  de celui-ci. Déterminer l'intensité sur l'écran en un point  $M(x,y)$ . On supposera que  $D$  est très grande devant  $a, x, y \dots$

## O6 Biprisme de Fresnel - Spectre cannelé

Un biprisme de Fresnel est constitué de deux prismes identiques d'angle  $A = 0,01$  radian, d'indice de réfraction  $n = 1,5$ . Ils donnent deux images nettes  $F_1$  et  $F_2$  d'une fente  $F$  très fine, disposée à  $20$  cm de l'arête centrale du biprisme.

1°) La base commune des prismes ayant une épaisseur négligeable, faire un schéma montrant les régions où pourront apparaître des interférences. Sur quelle largeur  $2x_0$  les interférences se verront-elles sur un écran  $E$  placé à  $180$  cm des prismes?

2°) La fente  $F$  étant éclairée par une lumière monochromatique de longueur d'onde  $\lambda = 0,6 \mu\text{m}$ , décrire la forme des franges qui apparaissent sur l'écran. Calculer l'interfrange et le nombre total  $N$  de franges noires qu'il contient.

3°) La fente  $F$  est éclairée en lumière blanche.

a) Décrire l'aspect des franges.

b) Soit  $L$  le point de l'écran situé à  $3,3$  mm de la frange centrale. On analyse la lumière présente en ce point à l'aide d'un spectromètre. Combien de cannelures observe-t-on ?

4°) On recouvre la face de l'un des prismes constituant le biprisme ( cette face étant supposée perpendiculaire à la base commune) par un film transparent à faces parallèles dont l'indice est  $n = 1,6$ . La frange centrale se déplace d'une distance  $d = 6,72$  mm.

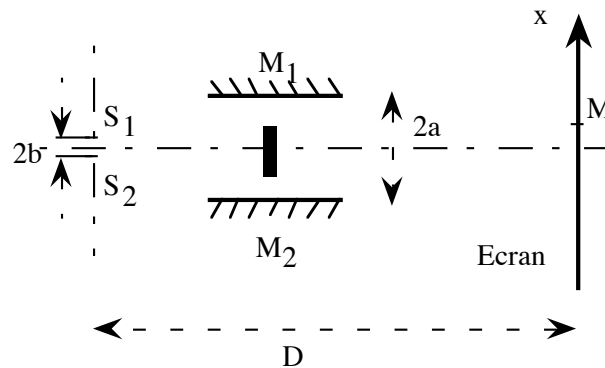
a) Dans quel sens se fait ce déplacement?

b) Quelle est l'épaisseur  $e$  du film?

5°) Le biprisme est maintenant éclairé en lumière parallèle, sous incidence normale. Déterminer la zone d'interférences, l'interfrange du système. On place l'écran là où le champ d'interférences est le plus large. Sachant que la hauteur totale du biprisme est  $2h = 16$  mm, combien de franges brillantes observe-t-on ?

## O7 Sources corrélées ou non corrélées

On considère le dispositif interférentiel suivant, éclairé par deux sources  $S_1$  et  $S_2$ , **indépendantes**, de même longueur d'onde  $\lambda$  :

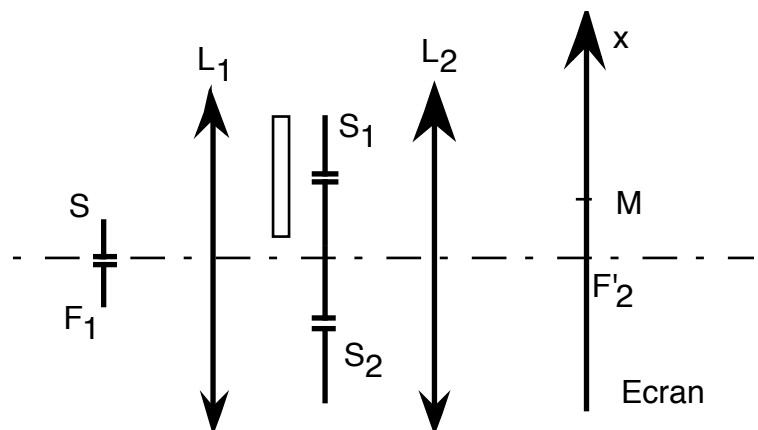


Un rayon parvenant en  $M$ , d'abscisse  $x$ , ont été réfléchis soit par  $M_1$ , soit par  $M_2$ , un cache interdisant l'accès de rayons directement issus des sources. déterminer l'intensité  $I(x)$  et commenter. On pourra considérer que  $a, x \ll D$ .

## O8 Mesure de l'indice d'une lame

On considère le système interférentiel ci-contre, où  $S$  est une fente source monochromatique placée au foyer de  $L_1$ . L'écran est placé dans le plan focal image de  $L_2$ .  $S_1, S_2$  sont deux fentes parallèles à  $S$ .

Tracer les rayons parvenant en un point  $M$  de l'écran, d'abscisse  $x$ .



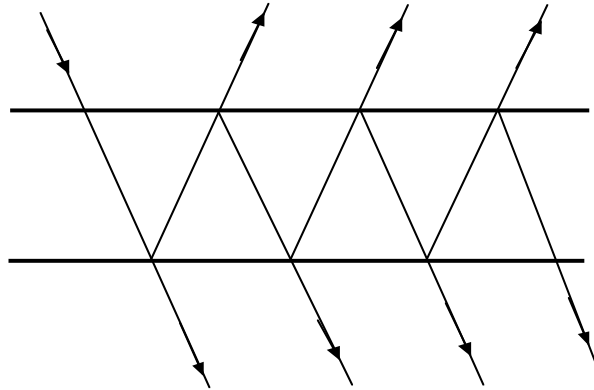
On interpose devant  $S_1$  une lame à faces parallèles d'épaisseur  $e$  et d'indice  $n$ . On note alors un déplacement  $x_1$  du système de franges. En déduire, pour cette longueur d'onde, l'indice de la lame.

A.N.  $S_1S_2 = a = 0,8 \text{ mm}$  ;  $f' = 1 \text{ m}$  ;  $\lambda_0 = 0,55 \text{ } \mu\text{m}$  ;  $e = 40 \text{ } \mu\text{m}$  ;  $x_1 = 29,4 \text{ mm}$

Avec quelle précision peut-on en fait positionner la lame perpendiculairement au faisceau en supposant que l'on peut détecter un déplacement minimum d'un demi interfrange ?

## O9 Filtre interférentiel

Dans le dispositif ci-dessous,  $L_1$  et  $L_2$  sont deux lames minces identiques parallèles et distantes de  $e$ . Chaque lame possède un pouvoir de réflexion  $R$  et de transmission  $T$  pour l'intensité lumineuse ( $R + T = 1$ ). Un rayon incident, d'intensité  $I_0$ , donne alors naissance à une infinité de rayons transmis notés (1), (2) .....(k) ... et une infinité de rayons réfléchis (1'), (2'), ... (k'), ....



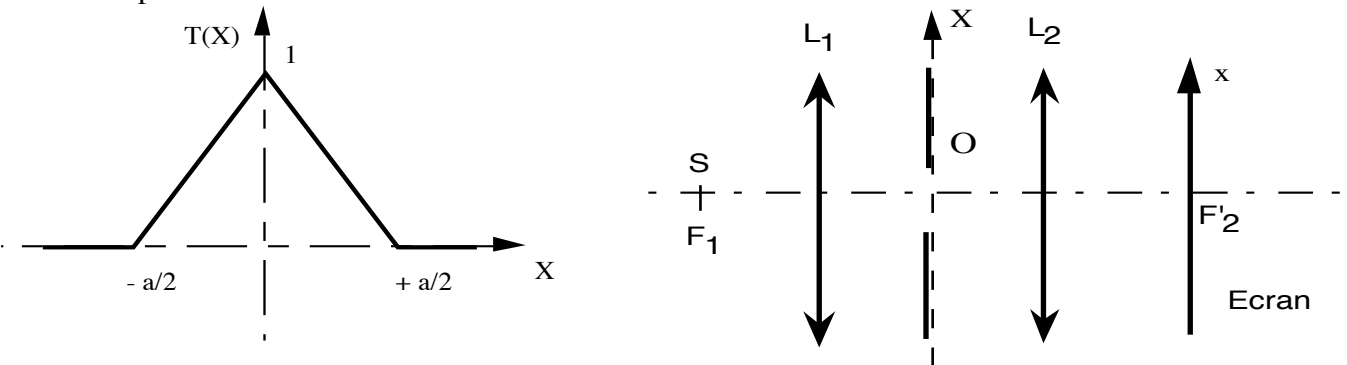
- 1) Calculer les intensités propres de tous ces rayons en fonction de  $I_0$ ,  $R$  et  $T$ .
- 2) Les lames sont non traitées de sorte que  $R = 0,1$  et  $T = 0,9$ . Quels sont les rayons qui interfèrent avec un bon contraste ?
- 3) Les lames sont maintenant traitées de sorte que  $R = 0,9$  et  $T = 0,1$ . Quels sont alors les rayons qui interfèrent avec un bon contraste ?
- 4) On s'intéresse dans ce dernier cas aux rayons transmis. On note  $\phi$  le déphasage entre le premier et le second rayon transmis. En appelant  $a_0$  l'amplitude du premier rayon transmis, déterminer l'amplitude du  $k$ ème rayon transmis
- 5) En déduire l'amplitude et l'intensité associées au faisceau de lumière transmis.
- 6) Représenter l'intensité  $I(\phi)$  et déterminer la largeur à mi-hauteur de chaque pic d'intensité
- 7) Le système est éclairé sous incidence normale par un faisceau parallèle de lumière blanche. Montrer qu'on peut choisir l'épaisseur  $e$  de sorte que pratiquement une seule longueur d'onde  $\lambda_0$  soit transmise par le système alors appelé filtre interférentiel. Définir et calculer la « largeur spectrale »  $\Delta\lambda$  du filtre.

## O10 Résolution d'un doublet

Un réseau comportant 500 traits par mm est éclairé en incidence normale par un faisceau de lumière blanche. Combien d'ordres complets observe-t-on ? On éclaire le réseau par le doublet 600-610 nm et on observe dans le plan focal image d'une lentille de 2 m de focale. De quelle distance les deux raies observées sont-elles séparées dans le premier ordre ? Dans le troisième ordre ?

## O11 Apodisation

On considère le montage classique permettant d'observer la figure de diffraction à l'infini d'une ouverture plane :



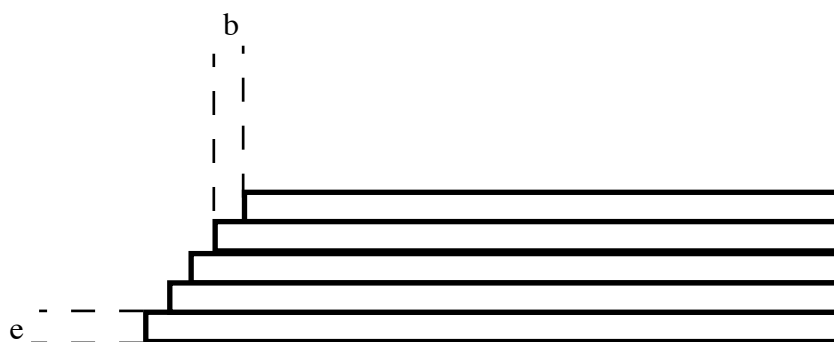
L'ouverture est une fente mince  $F$  qui possède un coefficient de transparence  $T(X)$  donné par le graphe ci-dessus.

Déterminer  $I(x)$  et comparer avec le cas d'une fente parfaitement transparente.

L'ouverture a une forme quelconque. Que se passe-t-il si on la remplace par son complémentaire (écran opaque de même forme et de mêmes dimensions que l'ouverture). Le résultat constitue le théorème de Babinet

## O12 Echelon de Michelson

Le réseau représenté ci-dessous, constitué d'un empilement de lames de verres de même épaisseur, est appelé échelon de Michelson :



On a  $e = 1 \text{ mm}$ ,  $b = 1 \text{ mm}$  et le réseau comporte  $n = 50$  échelons. Le réseau est éclairé en incidence normale, par une radiation monochromatique  $\lambda_0 = 500 \text{ nm}$  et on observe la lumière diffractée par réflexion dans la direction d'incidence  $i$ .

Déterminer l'intensité diffractée dans cette direction et commenter.

Montrer que pour une  $\lambda$  donnée, on peut choisir  $e$  pour qu'à la direction  $i = 0$  corresponde un maximum d'ordre  $K$ . Qu'en est-il des autres maxima si  $e = b$  ? . Conclure pour les valeurs numériques proposées ici.

**O13 Anneaux de Newton**

Une lentille plan convexe L est en contact par sa face sphérique, de rayon  $R = 2 \text{ m}$ , avec une glace plane P. Le rayon de la face plane circulaire de L est  $y = 1 \text{ cm}$ .

Imaginer un dispositif optique permettant d'éclairer le système par un faisceau parallèle monochromatique en incidence normale, et d'observer l'image de la lame d'air comprise entre L et G.



Montrer qu'on observe, au voisinage de cette lame, des anneaux d'interférences.

Calculer le nombre d'anneaux sombres observables pour  $\lambda = 589 \text{ nm}$ .

Que se passe-t-il si le contact entre L et G n'est pas parfait ?