

# OPTIQUE ONDULATOIRE

*L'optique ondulatoire est un des sujets les plus délicats à présenter à l'oral et donc un des sujets les plus sélectifs. Il faut donc travailler votre cours en profondeur & préparer vos explications sur les notions centrales : théorème de Malus et notion de chemin optique – phénomène d'interférences et principe d'un dispositif interférentiel – description de l'interféromètre de Michelson – notion de cohérence de deux ondes et explication par le modèle des trains d'ondes – principe du réseau.*

*Par ailleurs, les calculs de base doivent être parfaitement maîtrisés, en particulier les calculs de différences de marche pour les dispositifs classiques : trous / fentes d'Young avec ou sans lentille de projection, superposition de deux ondes planes, Michelson en lame d'air et en coin d'air, formule des réseaux.*

*Enfin, même si ce n'est pas explicitement demandé, commencez chaque exo en présentant bien le dispositif interférentiel étudié avant de vous jeter sur les calculs !! Et faites des schémas soignés et en couleurs !!*

**Revoir impérativement les exercices du cours et des feuilles d'exo faites pendant l'année : ils tombent à l'oral**

## **Questions de cours** :

- Chemin optique, déphasage d'une onde au cours de sa propagation, théorème de Malus.
- Cohérence en optique. Cohérence spatiale, cohérence temporelle.
- Interférences à 2 ondes cohérentes.
- Fentes d'Young et trous d'Young.
- Dispositif des trous d'Young ; influence de la source : ponctuelle monochromatique, élargie monochromatique, ponctuelle polychromatique.
- Dispositif des trous d'Young ; causes de perte de contraste.
- Interféromètre de Michelson. Présentation du dispositif. Etude en lame d'air.
- Interféromètre de Michelson en lame d'air ; influence du spectre de la source : monochromatique, doublet jaune du sodium, lumière blanche.
- Qu'est-ce qu'un réseau ? Utilisation ? Démonstration de la formule des réseaux. Ordres de grandeur. Utilisation d'un goniomètre.
- Démonstration de la formule de l'intensité diffractée par un réseau.

## **Opt 1** : Dispositif d'Young. (Centrale 1)

On considère une pupille diffractante constituée d'un écran opaque de centre  $O$  et de normale  $(Oz)$ , percé de deux fentes d'Young parallèles à  $(Oy)$ , de longueur  $l$  selon  $(Oy)$  et de largeur  $e$  selon  $(Ox)$  ; celles-ci sont placés symétriquement par rapport à  $(Oy)$  et sont séparés d'une distance  $a$ . Elles sont éclairées par une source ponctuelle placée sur l'axe  $(Oz)$  à la distance  $D_S$  de  $O$ , avec  $D_S \gg a$ . Un écran d'observation, de normale  $(Oz)$ , est placée en aval de la pupille à la distance  $D$  de  $O$ , avec  $D \gg a$ .

- 1- On suppose que la source est rigoureusement monochromatique. Décrire qualitativement puis quantitativement ce que l'on observe sur l'écran. Que se passe-t-il si on augmente  $e$  ?
- 2- On suppose maintenant que la source est un doublet, type doublet jaune du sodium. Décrire qualitativement puis quantitativement ce que l'on observe sur l'écran. Peut-on observer un brouillage ?
- 3- On suppose enfin que le spectre de la source est composé d'une unique raie, mais on tient compte de sa largeur spectrale  $\Delta\lambda$ . Décrire qualitativement puis quantitativement ce que l'on observe sur l'écran. On utilisera un modèle simple pour décrire le profil spectral de la raie.

**Opt 2 : Dispositif d'Young et observation à l'œil nu. (Mines)**

On dispose d'un système de trous d'Young éclairé par une source  $S$  monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$  située dans le plan focal objet d'une lentille ( $L_1$ ) ; on observe dans le plan focal image  $\Sigma$  d'une lentille ( $L_2$ ).

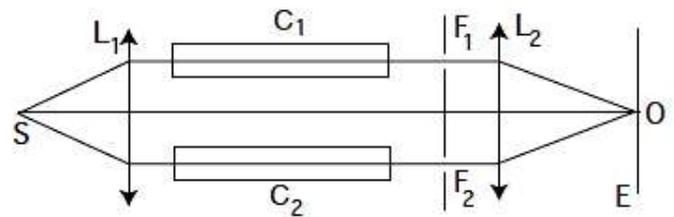
Donner les caractéristiques de la figure d'interférence (forme et interfrange).

Le système  $\{(L_2) + \Sigma\}$  représente l'oeil observant à l'infini sans accommoder, la rétine étant constituée de capteurs de longueur caractéristique  $g$  ; on considère que ces capteurs donnent un signal proportionnel à la moyenne (spatiale) de l'intensité lumineuse à leur interface.

Donner un ordre de grandeur de l'écartement maximal  $a_{\max}$  des trous d'Young tel que l'on puisse observer les interférences, puis faire le calcul en faisant une hypothèse simple sur la géométrie des capteurs.

**Opt 3 : Etude d'un réfractomètre. (CCINP, Centrale 1)**

Une source de lumière monochromatique ( $\lambda = 0,5893 \mu\text{m}$ ) est située au foyer objet d'une première lentille  $L_1$ . Un système de fentes d'Young est placé derrière deux cuves  $C_1$  et  $C_2$  identiques, de longueur  $L = 0,20 \text{ m}$ , initialement remplies d'air.



La figure d'interférence est observée sur un écran  $E$  dan centrale est en  $O$ .

- 1- Décrire la figure d'interférence.
- 2- On fait le vide dans la cuve  $C_1$ . Pendant le pompage, 99 franges brillantes défilent en  $O$  et, l'opération terminée, on y observe une frange obscure. En déduire l'indice  $n$  de l'air.
- 3- On reprend l'expérience avec des cuves de longueur  $L' = 1,90 \text{ m}$  et, au lieu de faire le vide dans la cuve  $C_1$ , on y remplace progressivement l'air présent par du monoxyde de carbone. En  $O$ , on observe alors 187 franges se translater vers le haut. Déterminer qualitativement si l'indice  $n$  du monoxyde de carbone est supérieur ou inférieur à celui de l'air, puis le calculer.

**Opt 4 : Trois fentes d'Young. (Mines)**

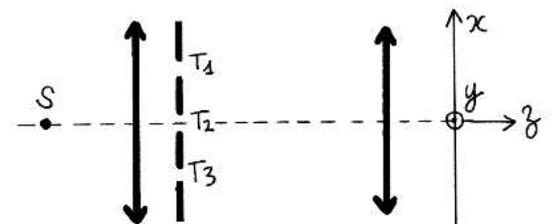
On étudie un dispositif interférentiel « à trois fentes d'Young », formé d'un diaphragme plan et opaque de normale ( $z$ ) percé de trois fentes transparentes identiques  $T_1, T_2, T_3$  ; les trois fentes, de largeur notée  $a$  et de hauteur  $b \gg a$ , sont toutes parallèles à l'axe ( $y$ ). Leurs centres  $O_1, O_2, O_3$  sont distants de  $4a$ .

Ce diaphragme est éclairé par une source ponctuelle monochromatique placée au foyer objet d'une lentille ( $L_1$ ) de distance focale  $f' = 50 \text{ cm}$ . On observe le tout sur un écran placé dans le plan focal image d'une lentille ( $L_2$ ) de même distance focale.

On s'intéresse à un point  $M$  de coordonnées  $(x, 0, 0)$  situé sur l'écran et on admet que l'amplitude complexe diffractée par la fente n°  $i$  dans une direction  $\theta$  quelconque du plan ( $xz$ ) est proportionnelle au facteur :

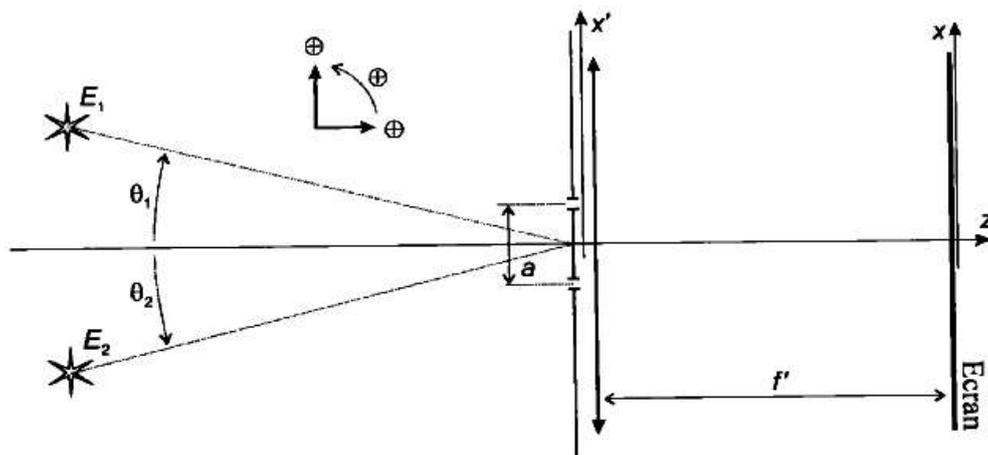
$$ab \operatorname{sinc}\left(\frac{\pi a \theta}{\lambda}\right)$$

Calculer l'éclairement  $I(x)$  en  $M$ , tracer  $I(x)$  et commenter.



**Opt 5 : Interférométrie et astronomie. (Centrale, Mines)**

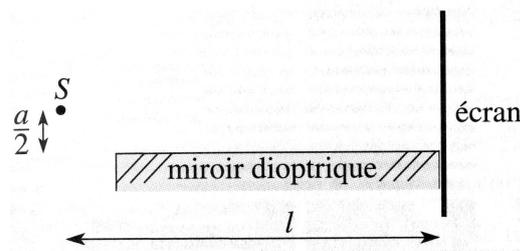
Un dispositif de trous d'Young est dirigé vers un système d'étoiles double, les deux étoiles étant supposées de magnitudes identiques et de même nature. Depuis la Terre, ces deux étoiles sont vues sous un angle  $2\theta$  trop faible pour être résolues par un télescope classique. Afin de détecter la présence de deux étoiles dans le système et de mesurer l'angle  $2\theta$ , on réalise dispositif interférentiel schématisé ci-dessous où la distance  $a$  entre les trous est supposée réglable ; l'observation est effectuée dans le plan focal image d'une lentille convergente et on suppose qu'un filtre interférentiel non représenté permet de n'éclairer le dispositif que par une onde quasi monochromatique de longueur d'onde  $\lambda = 550 \text{ nm}$ .



- 1- Calculer l'éclairement obtenu sur l'écran et montrer qu'en présence d'une étoile double le contraste des franges s'annule pour une valeur de  $a$  que l'on exprimera en fonction des données. Déterminer  $2\theta$  sachant que cette valeur de  $a$  vaut  $116,5 \text{ cm}$ .
- 2- Retrouver résultat sans calculer explicitement l'éclairement.
- 3- La réalisation d'interférences est-elle effectivement utilisée en astronomie pour étudier les étoiles de nos jours ? Si oui, pouvez-vous décrire le dispositif réellement utilisé ?

**Opt 6 : Miroir de Loyd ; extension de la source. (CCINP, Centrale)**

Une source ponctuelle quasi-monochromatique  $S$  de longueur d'onde  $\lambda$  est placée à une hauteur  $a/2$  au-dessus d'un miroir plan au bout duquel se trouve un écran d'observation ; on appellera  $l$  la distance source-écran (voir schéma ci-contre).



- 1- On observe sur l'écran la figure d'interférences représentée sur la figure 1 ci-dessous.  
Expliquer l'éclairement observé.
- 2- On éloigne la source du miroir (on augmente  $a$  à  $l$  constant) : décrire ce qui se produit à l'écran avec précision. Que peut-on déterminer si on constate une diminution de l'interfrange d'un facteur  $1,5$  après avoir déplacé la source ?
- 3- On remplace la source par une fente fine perpendiculaire au plan du schéma ci-dessus. Que devient la figure d'interférences ?

----- Question supplémentaire posée à Centrale mais pas à CCINP.

- 4- On élargit enfin la fente verticalement ; sa largeur est  $b$ , répartie symétriquement de part et d'autre de la position  $a/2$ . L'éclairement alors observé est donné sur les figures 2 à 4 ci-dessous : la figure 2 correspond à un faible élargissement, la figure 3 à un élargissement plus important et la figure 4 est une vue détaillée de l'éclairement de la figure 3.  
Expliquer ces observations, en particulier le contraste des figures observées.

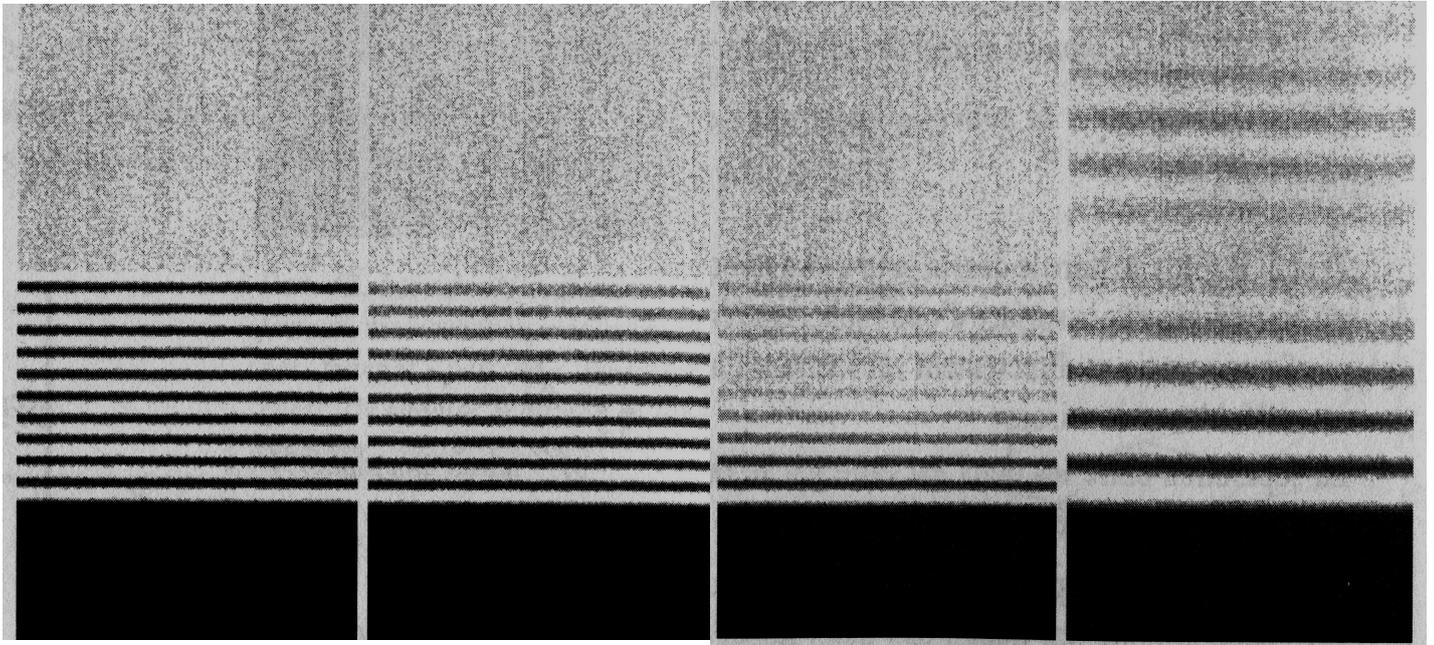


Figure 1

Figure 2

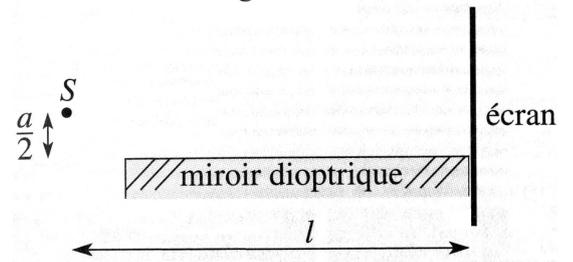
Figure 3

Figure 4

**Opt 7** : Miroir de Loyd. (CCINP, Mines)

Une source ponctuelle quasi-monochromatique S de longueur d'onde  $\lambda$  est placée à une hauteur  $a/2$  au-dessus d'un miroir plan au bout duquel se trouve un écran d'observation ; on appellera  $l$  la distance source-écran (figure 1 ci-contre).

Figure 1



1- On observe sur l'écran la figure d'interférences représentée sur la figure 2 ci-dessous.  
Expliquer l'éclairement observé.

2- On éloigne la source du miroir (on augmente  $a$  à  $l$  constant) :  
décrire ce qui se produit à l'écran avec précision. Que peut-on déterminer si on constate une diminution de l'interfrange d'un facteur 1,5 après avoir déplacé la source ?

3- On remplace la source par une fente fine perpendiculaire au plan du schéma ci-dessous. Que devient la figure d'interférences ?

----- Question supplémentaire posée aux Mines mais pas à CCINP.

4- On éclaire toujours le dispositif par une fente fine mais la source lumineuse monochromatique est remplacée par de la lumière blanche. On perce dans l'écran, à une hauteur  $h$  au-dessus du niveau du miroir, une ouverture sous forme de fine fente, perpendiculaire au plan de la figure 1. On récupère la lumière traversant cette fente et on en réalise le spectre (figure 3 ci-dessous).

Expliquer ce spectre et en déduire un ordre de grandeur de  $h$ .

Qu'observerait-on si la fente était percée à une hauteur  $h' < h$  ?

Figure 2

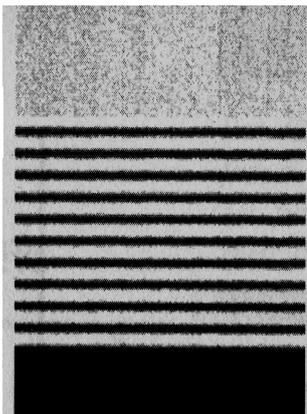
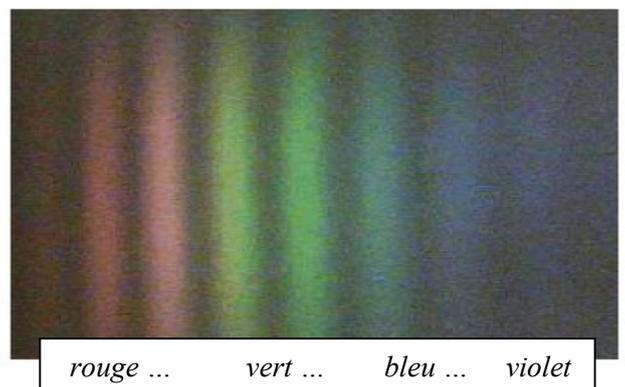


Figure 3

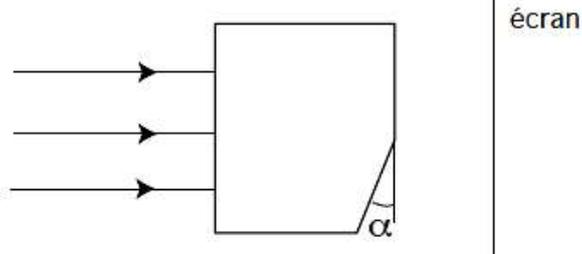


rouge ... vert ... bleu ... violet

**Opt 8 : Bloc de verre biseauté. (Mines)**

On envoie une onde plan monochromatique de longueur d'onde 500 nm en incidence normale sur un bloc de verre d'indice  $n$ , biseauté sur la moitié de sa hauteur avec un angle  $\alpha = 5.10^{-4}$  rad.

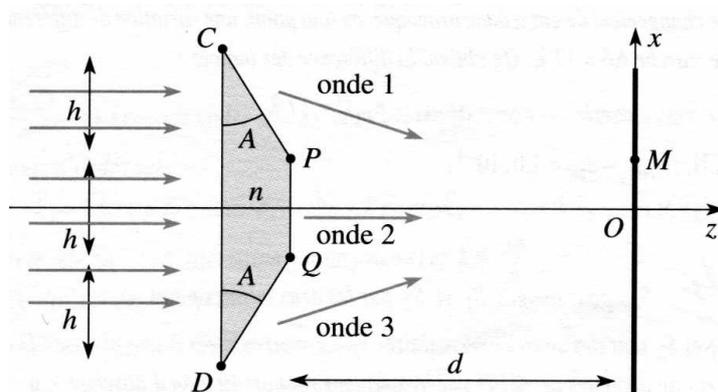
Qu'observe-t-on sur un écran placé derrière le bloc ?



**Opt 9 : Biprisme tronqué. (Centrale 2)**

On étudie le système d'interférences représenté ci-contre où un faisceau lumineux parallèle monochromatique arrive en incidence normale sur un biprisme d'indice  $n$  et d'angle  $A \ll 1$ , que l'on a tronqué de façon à faire apparaître trois « blocs » de même hauteur  $h$  qui séparent l'onde incidente en 3 ondes secondaires.

L'épaisseur du prime est  $\ll d$  (elle a été nettement exagérée sur le schéma !) et sera négligée.



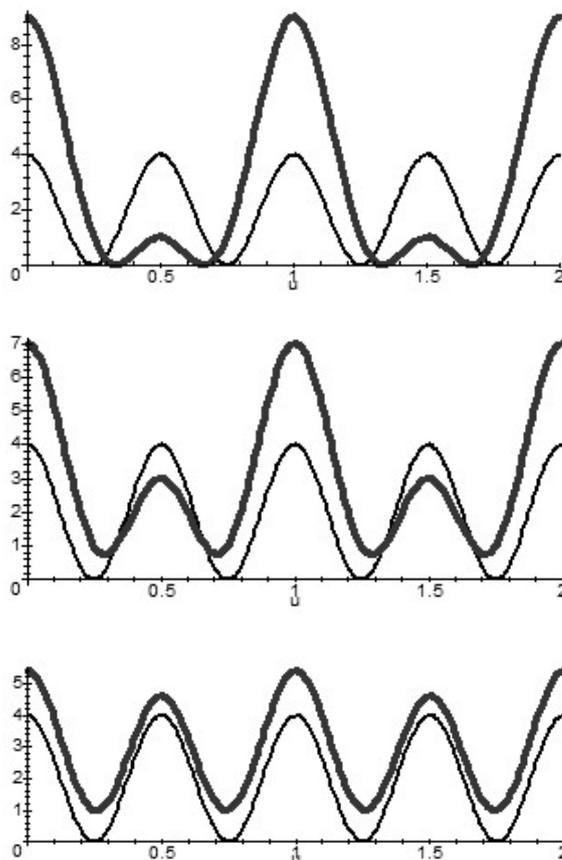
- 1- Donner les composantes dans le repère  $(Oxyz)$  des vecteurs dirigeant la propagation de chaque onde issue du biprisme.
- 2- Expliquer précisément pourquoi, selon la position de l'écran, on observera des figures d'interférences différentes. Dans tous les cas, quelle est la direction des franges ?

- 3a- Donner l'expression générale de l'amplitude de chacune des trois ondes issues du biprisme, en introduisant 3 phases à l'origine.
- 3b- Exhiber des points où certaines de ces ondes sont en phase et en déduire l'expression de ces amplitudes en fonction d'une unique phase à l'origine.

- 3c- Déterminer l'expression de l'intensité  $I$  en un point quelconque de l'espace où 2 des trois ondes interfèrent, puis en un point où les 3 ondes interfèrent.

- 3d- Commenter chacun des graphes ci-contre qui représente en coordonnées réduites, pour une valeur différente du rapport  $hA/\lambda$ , l'intensité  $I(x)$  dans le champ d'interférence des 3 ondes ;  $I(x)$  est la courbe en caractère gras et l'autre courbe correspond à ce que l'on obtiendrait en faisant interférer uniquement les ondes 1 et 3.

(Lors de l'épreuve il y avait un script python permettant de modifier le rapport  $hA/\lambda$  et de tracer ces courbes)



**Opt 10 : Interféromètre de Michelson en lame d'air. (Fusion CCINP-Mines)**

On considère un interféromètre de Michelson dont les deux miroirs plans  $M_1$  et  $M_2$ , de centres  $S_1$  et  $S_2$ , sont parfaitement orthogonaux entre eux, à  $45^\circ$  de la séparatrice et tels que  $OS_1 - OS_2 = e$ ,  $O$  étant le centre de la séparatrice. L'interféromètre est éclairé par une source ponctuelle  $A_0$  monochromatique ( $\lambda = 500 \text{ nm}$ ) située derrière une lentille convergente notée  $L_1$ , et confondue avec son foyer objet. L'intensité lumineuse sortant de l'interféromètre est mesurée par un détecteur situé au foyer image d'une lentille convergente notée  $L_2$ .

- 1- Effectuer un schéma du dispositif et tracer le parcours d'un rayon lumineux quelconque entre la source et le détecteur.
- 2- Exprimer l'intensité  $I$  mesurée par le détecteur, en appelant  $I_0$  l'intensité mesurée lorsqu'on occulte un des miroirs. Que vaut  $I$  ( $e = 0$ ) ?
- 3- Combien de minima d'intensité observe-t-on lorsque, à partir de  $e = 0$ , on décale l'un des miroirs de  $2 \mu\text{m}$  ?
- 4- Redessiner le parcours d'un rayon lumineux quelconque lorsqu'on décale la source dans le plan focal objet de la lentille d'entrée. Où doit-on alors placer le détecteur ?
- 5- Qu'observe-t-on dans le plan focal image de la lentille de sortie si on éclaire l'interféromètre avec une source étendue, toujours située dans le plan focal objet de la lentille d'entrée ?

----- Questions posées aux Mines.

- 6- On se place maintenant dans une situation où on observe des anneaux dans le plan focal image de la lentille de sortie. Donner l'expression des rayons des anneaux brillants en fonction des données.
- 7- La demi-largeur d'une frange brillante est la longueur qui sépare un point où l'intensité  $I_M$  est maximale du point le plus proche où l'intensité vaut  $I_M/2$ . Calculer la demi-largeur des anneaux brillants.

**Opt 11 : Interféromètre de Michelson en coin d'air. (Centrale 1)**

- 1- Décrire le réglage et le fonctionnement de l'interféromètre du Michelson en coin d'air et expliquer comment faire expérimentalement pour se positionner au contact optique.
- 2- On remplace désormais l'un des deux miroirs par un miroir sphérique légèrement convexe. Proposer un protocole permettant de montrer qu'il s'agit d'un miroir sphérique et de trouver son rayon de courbure.

**Opt 12 : Interféromètre de Michelson en lame d'air. (Centrale 2)**

On considère un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air. On note  $O$  le centre de la séparatrice,  $M_1$  et  $M_2$  les deux miroirs plans,  $S_1$  et  $S_2$  leurs centres et  $e = OS_1 - OS_2$ . L'interféromètre est éclairé par une source étendue monochromatique de longueur d'onde  $\lambda = 632 \text{ nm}$  et l'intensité lumineuse sortant de l'interféromètre est observée dans le plan focal image d'une lentille convergente de focale  $f'$ .

- 1- Justifier que l'on observe un système d'anneaux concentriques et discuter le choix du plan d'observation.

Montrer ensuite que les rayons des anneaux observés suivent une loi de la forme :  $R = f' \sqrt{\frac{\lambda}{e}(m - \varepsilon)}$  avec

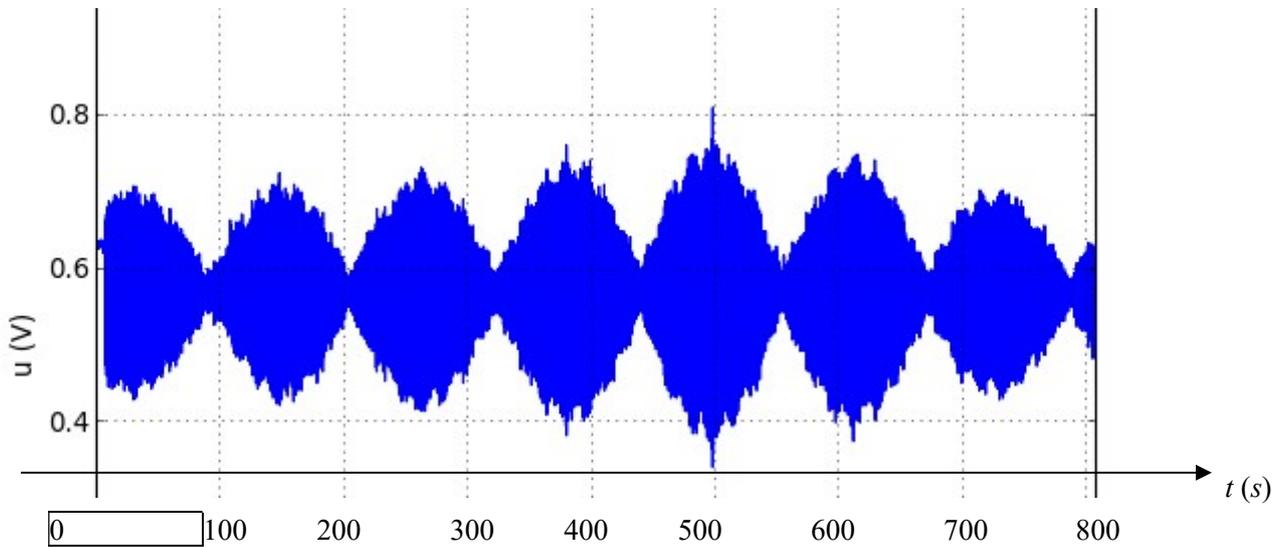
$$\varepsilon \in [0;1[ \text{ et } m \in \mathbb{N}$$

On fournit un tableau donnant les rayons des premiers anneaux observés en partant du centre de la figure. Comment exploiter ces données pour trouver  $e$  et  $\varepsilon$  ?

- 2- On conserve la configuration précédente et on éclaire maintenant l'interféromètre par une lampe à vapeur de sodium. Un des miroirs est alors translaté à une vitesse  $V$  constante grâce à un moteur. L'intensité lumineuse sortant de l'interféromètre est maintenant mesurée par un détecteur situé au foyer image de la lentille convergente de sortie du dispositif (figure ci-dessous).
- 2a- Rappeler comment fonctionne une lampe spectrale et ce qui différencie le spectre qu'elle émet de celui de la lumière blanche.

2b- Sachant que le spectre émis par le sodium est essentiellement constitué d'un doublet de longueurs d'ondes 589,0 et 589,6 nm, exprimer l'intensité lumineuse  $I(t)$  reçue par le capteur au cours du temps. Confronter à l'enregistrement fourni.

2c- Déterminer la vitesse  $V$  choisie dans l'expérience ayant donné lieu à l'enregistrement.



3- On éclaire enfin l'interféromètre par une source de lumière blanche suivie d'un filtre coloré ne laissant passer les fréquences optiques que sur une largeur  $\Delta\nu$  autour d'une valeur centrale  $\nu_0$ . Calculer la nouvelle intensité lumineuse  $I(t)$  reçue par le capteur au cours du temps et commenter. On s'intéressera en particulier au contraste de l'interférogramme.

### Opt 13 : Interféromètre de Michelson en coin d'air. (Mines)

On règle un interféromètre de Michelson en coin d'air d'angle  $\alpha$ . On observe la figure d'interférence par l'intermédiaire d'une lentille L, sur un écran E situé à 90 cm des miroirs. La source est monochromatique de longueur d'onde 589 nm.

- 1- Déterminer la nature, la distance focale et la position de la lentille L pour obtenir un grandissement égal à 2 en valeur absolue.
- 2- Déterminer l'angle  $\alpha$  sachant que l'on mesure sur l'écran un interfrange de 5 mm.
- 3- Un des miroirs avance maintenant à vitesse  $v$  constante. Un détecteur supposé ponctuel enregistre l'éclairement en un point de l'écran. Donner l'intensité relevée au cours du temps par le détecteur.
- 4- Sachant qu'en réalité le détecteur est un carré de côté égal à 2 mm, donner la condition sur  $\alpha$  pour que les franges soient correctement distinguées.

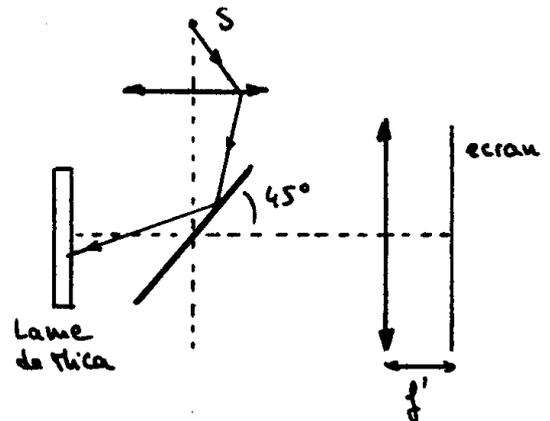
### Opt 14 : Détermination de l'épaisseur d'une lame de mica par spectroscopie. (CCINP, Mines)

On éclaire une lame de mica d'indice  $n$  et d'épaisseur  $e$  en incidences multiples, grâce à une lame semi réfléchissante. La source est quasi-monochromatique (longueur d'onde  $\lambda$ ) et on observe la lumière réfléchie dans le plan focal d'une lentille convergente de focale  $f'$  (figure ci-contre). On donne :

$$n = 1,57 - e = 8,0 \text{ mm}$$

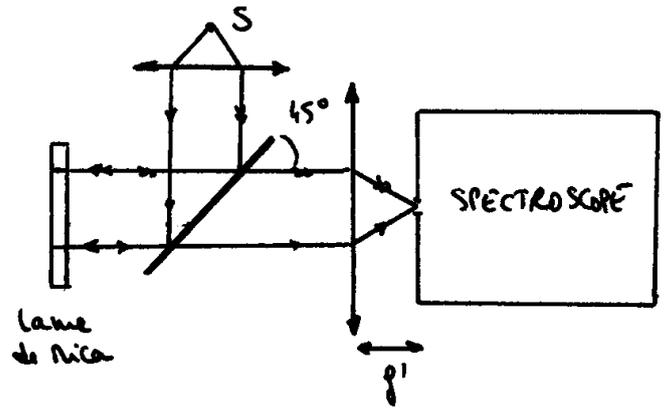
$$f' = 50 \text{ cm} - \lambda = 0,59 \mu\text{m}$$

- 1- Expliquer pourquoi on observe des interférences sur l'écran puis déterminer sans calcul la forme des franges. Calculer l'ordre au centre de la figure.



On reprend le même dispositif expérimental mais on étudie maintenant une lame de mica beaucoup plus fine, dont on cherche à mesurer l'épaisseur  $e$ . Pour cela on éclaire la lame en lumière parallèle avec une source de lumière blanche et on place, au foyer de la lentille d'observation, l'entrée d'un spectroscopie. On néglige la variation de l'indice  $n$  du mica avec la longueur d'onde.

On a toujours :  $n = 1,57$  -  $f' = 50$  cm .



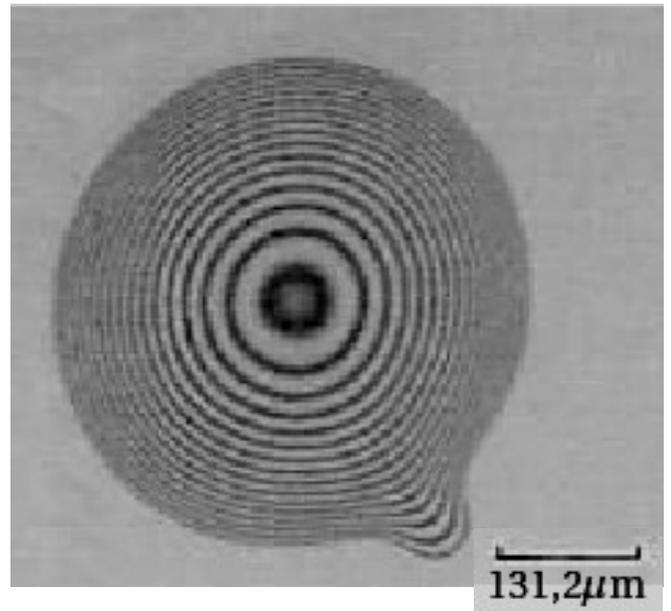
1- Comment réaliser un spectroscopie ? Quel type de spectre obtiendrait-on en envoyant directement la lumière blanche à l'entrée du spectroscopie ? Expliquer pourquoi, dans cette expérience, le spectre est cannelé, c'est-à-dire qu'il comporte des bandes sombres pour certaines longueurs d'onde.

2- Sachant qu'entre les longueurs d'onde  $\lambda_1 = 491$  nm et  $\lambda_2 = 659$  nm on observe 40 bandes sombres, dont une à  $\lambda_1$  et une à  $\lambda_2$ , déterminer l'épaisseur  $e$  de la lame.

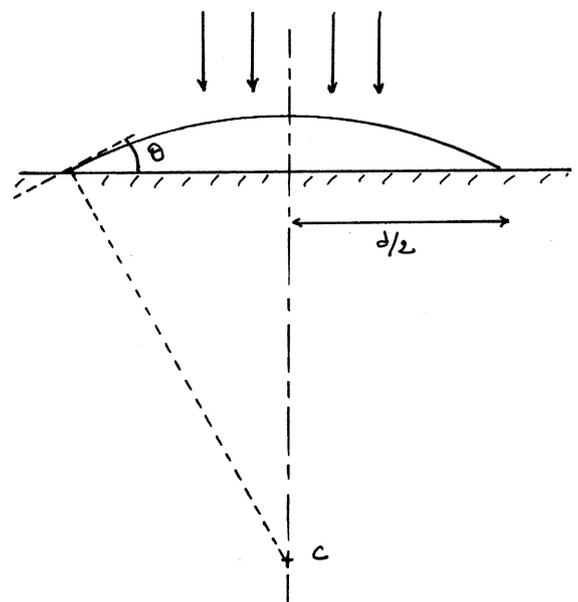
**Opt 15** : Mesure de l'angle de contact d'une goutte déposée sur un substrat. (Centrale) :

Une goutte de liquide (indice  $n = 1,4$ ) est déposée sur un substrat solide (pastille de silicium d'indice optique égal à 3,88), que l'on suppose parfaitement réfléchissant. La goutte est assimilable à une portion de sphère de centre  $C$  et, dans le plan de contact avec le solide, elle a un diamètre  $d$  de l'ordre de 0,5 mm. Son angle de contact avec le substrat est de l'ordre de  $\theta = 2^\circ$  ; comme cet angle de contact de la goutte est suffisamment faible, on peut supposer que, localement, la surface de la goutte est plane. La goutte est éclairée par un faisceau cylindrique de lumière monochromatique  $\lambda = 546,0$  nm. On donne ci-dessous :

- un schéma vu en coupe de la goutte sur le substrat, avec indication de l'angle  $\theta$ .
- une photo au microscope de la figure d'interférence observée en mettant au point sur la goutte.



- 1- Les interférences observées sont-elles des franges d'égale inclinaison ou des franges d'égale épaisseur ? Où sont-elles localisées ?
- 2- Justifier que la différence de marche caractéristique d'une frange circulaire de rayon  $r$  s'écrit :  $\delta(r) = 2n e(r)$  où  $e(r)$  est l'épaisseur locale de la goutte correspondant au rayon  $r$ .
- 3- Par des considérations géométriques simples, exprimer  $e(r)$  en fonction de  $r$ ,  $d$  et  $\theta$ .
- 4- Déterminer, en fonction des données, les ordres d'interférence au centre et au bord de la figure d'interférence, puis les évaluer à partir de la photo.
- 5- En déduire une estimation de l'angle de contact de la goutte sur le support et confronter à la valeur  $\theta = 2^\circ$  proposée plus haut.

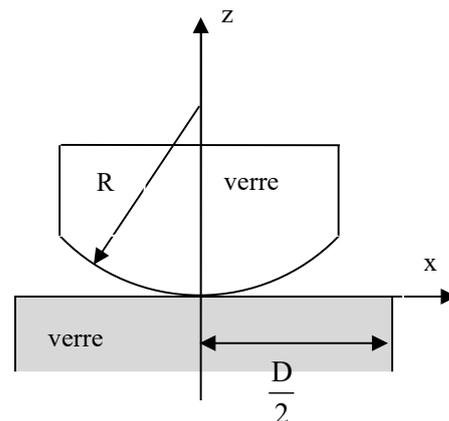


Remarque : une version plus brutale de cet exercice (sans le schéma ci-contre) a été donnée aux ENS

**Opt 16 : Anneaux de Newton. (Mines-Télécom, ENS dans une version ouverte)**

On considère le phénomène d'interférences donné par la lame d'air comprise entre une lentille plan-convexe et la surface plane d'une plaque de verre. La lentille a pour diamètre  $D$ , sa face courbée a pour rayon  $R$ . Le dispositif est éclairé en lumière monochromatique, avec un faisceau en incidence normale.

Données :  $R = 1 \text{ cm}$   
 $D = 2 \text{ cm}$   
 $\lambda = 590 \text{ nm}$



- 1- Expliquer pourquoi on observe des interférences à la surface convexe de la lentille. Faire un schéma.
- 2- Exprimer la différence de marche en  $M$ , situé à la surface convexe de la lentille.
- 3- Calculer les caractéristiques de la figure observée : nombre ; forme, interfrange.
- 4- La raie qui éclaire le dispositif est le doublet du sodium ( $589,0$  et  $289,6 \text{ nm}$ ). Expliquer pourquoi la non-concordance de ces deux longueurs d'onde n'affecte pas sensiblement la visibilité du phénomène observé.
- 5- En supposant l'éclairage monochromatique, expliquer avec un minimum de calcul l'évolution de la figure d'interférence observée lorsqu'on translate la lentille vers les  $z > 0$

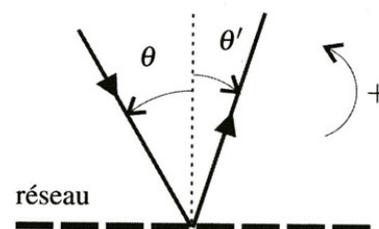
**Opt 17 : Spectroscopie à l'aide d'un réseau. (Mines)**

On éclaire un réseau plan comportant  $500$  traits/mm en incidence normale à l'aide d'une lampe spectrale. Avec un goniomètre, on repère, pour une raie particulière, l'ordre  $3$  à la graduation  $86^\circ 36'$  et l'ordre  $-3$  à  $346^\circ 36'$  (la graduation zéro a été fixée arbitrairement).

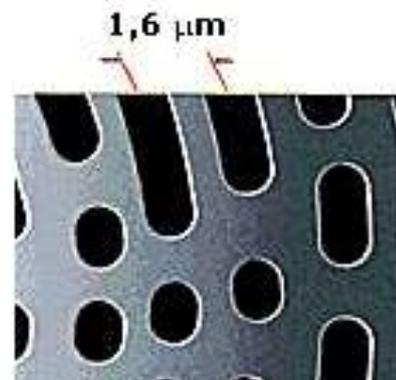
- 1- Décrire soigneusement le montage à l'aide d'un schéma.
- 2- Que signifient les termes « ordre 3 » et « -3 » ?
- 3- Quelle est la longueur d'onde de la raie étudiée ? Est-ce dans le visible ?
- 4- A quelle graduation correspond l'ordre zéro ?
- 5- Combien d'ordres peut-on voir au maximum ?

**Opt 18 : Réseau par réflexion. Capacité de stockage d'un CD. (CCINP, Centrale)**

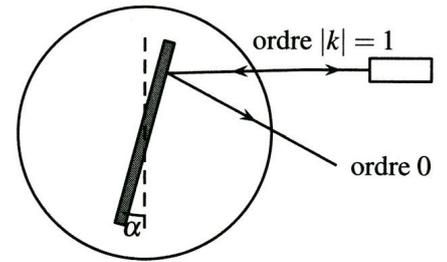
Dans un réseau plan par réflexion, les fentes transparentes sont remplacées par des bandes rectangulaire réfléchissantes séparées par des traits pratiquement non réfléchissants. Un faisceau parallèle, monochromatique de longueur d'onde  $\lambda_0$  tombe sur ce réseau avec un angle d'incidence algébrique  $\theta$



- 1- Déterminer les directions  $\theta'$  des pics d'intensité diffractés par le réseau.
- 2- On replace par le réseau par la surface gravée d'un CD et on constate un comportement similaire à celui d'un réseau par réflexion. Interpréter à l'aide de l'image ci-contre qui représente l'aspect typique de la surface d'un CD à l'échelle micrométrique, sachant que sur l'image la verticale est la direction orthoradiale (qui est la direction locale du sillon) et l'horizontale est la direction radiale. D'après cette image, à quelle distance correspond le pas  $a$  de ce « réseau » ?



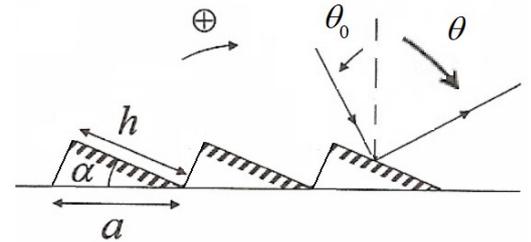
- 3- On éclaire la surface du CD en incidence normale par un laser de longueur d'onde  $650,0 \text{ nm}$  puis on fait tourner le CD d'un angle  $\alpha = 12^\circ 46'$  jusqu'à ce que l'ordre 1 soit réfléchi exactement dans la direction incidente.
- Déduire de cette expérience le pas  $a$  puis évaluer le nombre de bits stockés sur le CD ainsi que la durée totale de musique que l'on peut stocker en stéréo ; on précise que l'intensité sonore est codée sur 16 bits et que la fréquence d'échantillonnage lors de la numérisation est de  $44,1 \text{ kHz}$ .



### Opt 19 : Réseau à échelettes (Mines)

On étudie un réseau "à échelettes" formé par la répétition de  $N$  facettes diffractantes réfléchissantes, ayant la forme de marches d'escaliers inclinées d'un angle  $\alpha$  par rapport au plan du réseau (voir le schéma ci-contre).

Le réseau est de pas  $a = 91,25 \mu\text{m}$  et il est éclairé par une onde plane monochromatique de longueur d'onde  $\lambda = 431 \text{ nm}$ <sup>1</sup>, avec une incidence  $\theta_0$  par rapport à sa normale. On observe l'intensité diffractée à l'infini dans une direction  $\theta$  par rapport à cette normale.



- 1- On considère d'abord un unique motif, c'est-à-dire une unique facette réfléchissante.  
Quelle est la direction d'observation permettant d'obtenir une intensité lumineuse maximale ? Pour quelles valeurs de l'angle  $\theta$  l'observateur se trouve-t-il dans le champ de diffraction ? Dessiner qualitativement l'intensité diffractée en fonction de  $\theta$ .
- 2- On considère maintenant l'ensemble du réseau et on note  $O_k$  le point situé au centre de la facette réfléchissante n°  $k$ . Dans quelles directions obtient-t-on une intensité lumineuse maximale compte tenu du phénomène d'interférence entre les  $N$  ondes diffractées par le réseau ?
- 3- L'intérêt de ce réseau est d'obtenir un maximum d'intensité diffractée dans une direction qui ne correspond pas à l'ordre zéro du réseau. Pourquoi ceci est-il effectivement intéressant ?

A partir de maintenant, le réseau est éclairé **en incidence normale** :  $\theta_0 = 0$ .

- 4- On suppose que  $a = 91,25 \mu\text{m}$  et  $\alpha = 20^\circ$ . Déterminer l'ordre d'interférence donnant une intensité maximale. Combien d'ordres peut-on observer avec ce réseau ? Commenter.
- 5- Quel avantage et quel inconvénient y a-t-il à travailler dans un ordre aussi élevé ?
- 6- Calculer la longueur d'onde telle que le maximum d'ordre  $p = 136$  coïncide avec le maximum d'intensité dû à la diffraction. Faire de même pour les ordres 135 et 137 et commenter.
- 7- On utilise désormais ce réseau pour mesurer la vitesse d'éloignement  $V$  d'un corps céleste par effet Doppler. La longueur d'onde observée est donnée par la relation  $\lambda = \lambda_0(1 - V/c)$  où  $\lambda_0$  est la longueur d'onde émise par le corps dans son référentiel barycentrique, supposée égale à  $431 \text{ nm}$ , et  $c$  est la vitesse de la lumière dans le vide.  
Cette vitesse d'éloignement est-elle mesurable avec ce réseau ?

<sup>1</sup> De nombreux métaux ont une raie d'émission autour de cette longueur d'onde.