

Application directe du cours

**Exercice 1** Contraste d'une figure d'interférences

1 ) Rappeler la formule de Fresnel donnant l'intensité résultant de la superposition de deux ondes monochromatiques d'intensités  $I_1$  et  $I_2$ .

En considérant tous les points d'une figure d'interférences (alternance de franges brillantes et sombres), le déphasage  $\Delta\phi$  peut prendre toutes les valeurs entre 0 et  $2\pi$  (modulo  $2\pi$ )

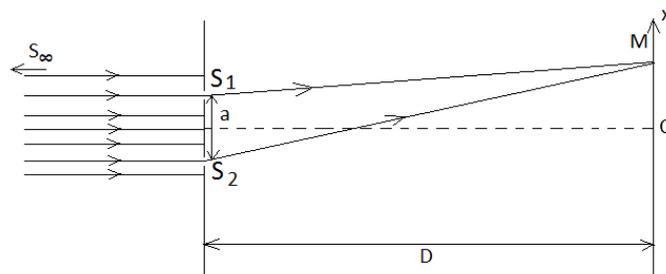
2 ) Exprimer l'intensité maximale  $I_{\max}$ , l'intensité minimale  $I_{\min}$  et le contraste  $C$  en fonction de  $I_1$  et  $I_2$

3 ) On note  $\alpha = I_2/I_1$  ; pour quelle valeur de  $\alpha$  obtient-on un contraste maximal ?

4 ) Pour observer des interférences avec des fentes d'Young, est-il préférable d'éclairer deux fentes de même largeur, ou de largeurs très différentes ?

**Exercice 2** Trous d'Young : source à l'infini

Deux trous d'Young d'écartement  $a$  sont éclairés par un faisceau monochromatique formé de rayons parallèles. On observe la figure d'interférences sur un écran placé à une distance  $D$ .



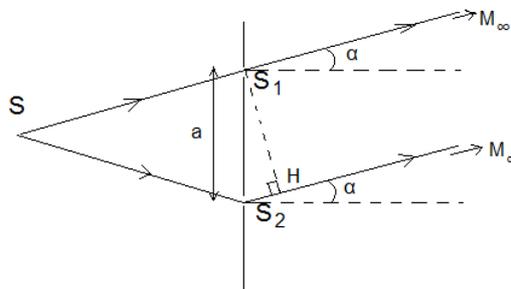
1 ) Représenter des surfaces d'onde à gauche des trous. Que peut-on dire des chemins optiques ( $SS_1$ ) et ( $SS_2$ ) ?

2 ) En réutilisant les résultats obtenus en cours, exprimer la différence de marche  $\delta(M)$  et le déphasage  $\Delta\phi(M)$ .

3 ) La figure observée est-elle différente de celle obtenue avec une source à distance finie ?

**Exercice 3** Trous d'Young : observation à l'infini

On observe la figure d'interférence sur un écran situé à très grande distance des trous ("à l'infini"). On note  $\alpha$  l'angle (faible) entre la normale au plan des trous et les deux rayons qui interfèrent en un point  $M$ .



1 ) Exprimer la différence de marche  $\delta(M)$  en fonction de  $\alpha$  et  $a$  (on simplifiera l'expression pour  $\alpha$  faible).

2 ) Exprimer le déphasage  $\Delta\phi(M)$ .

3 ) Pour quels angles  $\alpha$  observe-t-on une frange brillante sur l'écran ?

4 ) Si l'écran est situé à une distance  $D$  (très grande) des fentes, quelle est la position  $x_p$  (mesurée à partir du centre de l'écran) de la frange brillante d'ordre  $p$  ? Que vaut l'interfrange ?

5 ) Sur le schéma, la surface représentée en pointillés (contenant  $S_1$  et  $H$ ) est orthogonale à deux rayons. S'agit-il d'une surface d'onde ?

**Exercice 4** Réseau de diffraction

Un réseau utilisé en TP porte l'indication "300 traits par mm". On l'éclaire à incidence normale avec un faisceau issu d'un laser, considéré comme monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$ . Un écran est placé à une distance  $D = 1,50$  m du réseau, considérée comme très grande devant les dimensions du réseau. L'ordre 0 d'interférences se trouve en un point O de l'écran pris comme origine.

1) Réaliser un schéma de l'expérience. Qu'observe-t-on sur l'écran ?

Sur l'écran, la tache lumineuse correspondant à l'ordre 2 est située à 52,4 cm de l'ordre 0 (abscisse  $x_2 = 52,4$  cm)

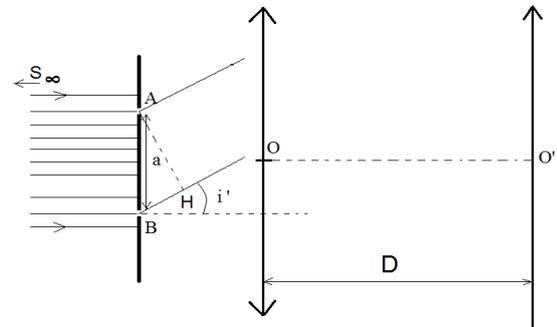
2) En utilisant la relation fondamentale des réseaux, déterminer  $\lambda$ . Quelle est la couleur du laser utilisé ?

3) Déterminer les abscisses  $x_1$ ,  $x_3$  et  $x_4$  des taches associées aux ordres 1, 3 et 4 sur l'écran.

4) A quelle distance de l'ordre 0 se situerait l'ordre 2 pour une longueur d'onde  $\lambda' = 632,8$  nm ?

**Exercice 5** Trous d'Young : observation à travers une lentille

On souhaite observer les interférences sur un écran grâce à une lentille de distance focale  $f' = 20$  cm. L'écran est placé à une distance  $D = f'$  (dans le plan focal image de la lentille). Le faisceau incident est monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$  (intensité  $I_0$ ).



1) Recopier le schéma et compléter le tracé des rayons pour l'angle  $i'$ .

On note M le point de l'écran où les deux rayons convergent.

2) Exprimer  $x = \overline{O'M}$  en fonction de D et  $i'$ .

3) Justifier l'égalité  $(AM) = (HM)$ . Exprimer la différence de marche  $\delta(M)$  en fonction de a et  $\sin i'$ .

4) En effectuant l'approximation des petits angles, exprimer  $\delta(M)$  en fonction de a, x et D. En déduire l'expression de l'éclairement  $I(x)$  sur l'écran. Calculer l'interfrange  $i$  pour  $\lambda = 580$  nm,  $a = 100$   $\mu$ m.

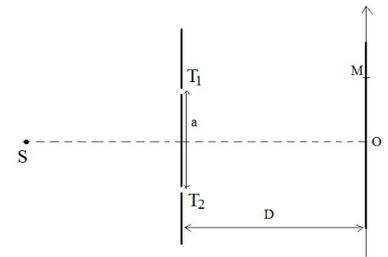
5) Pour un faisceau incident incliné d'un petit angle  $\alpha$ , exprimer l'intensité  $I'(x)$ . Où se trouve la frange d'ordre 0 ?

6) On superpose désormais deux faisceaux de même intensité, d'angles d'incidence respectifs 0 et  $\alpha$ . Exprimer l'intensité totale  $I''(M)$ . A quelle condition observe-t-on un contraste nul (éclairement uniforme) sur l'écran ?

Travaux dirigés

**Exercice 6** Trous d'Young

Deux trous  $T_1$  et  $T_2$  sont séparés d'une distance  $a = 0,200$  mm et sont éclairés par une source  $S$  de faibles dimensions, quasi-monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$ .



On observe les interférences grâce à une barrette CCD centrée sur le point  $O$  et située à une distance  $D = 1,25$  m du milieu des trous. On note  $x$  l'abscisse d'un point  $M$  de la barrette CCD.

Caractéristiques de la barrette CCD (le capteur correspond à la ligne située au milieu du composant)

Longueur du capteur:  $L = 40,0$  mm

Largeur du capteur :  $0,1$  mm

Nombre de cellules (photodiodes) :  $N = 1024$

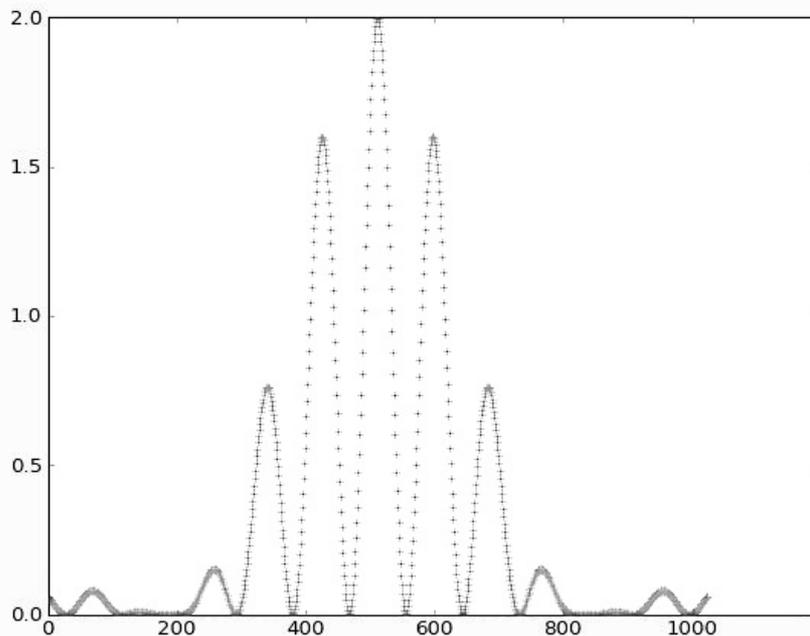
Bande passante :  $350$  à  $900$  nm

Chaque photodiode délivre un signal proportionnel à l'intensité lumineuse.



1 ) Décrire la figure observée si l'on remplace la barrette CCD par un écran. Comment s'exprime l'interfrange  $i$  en fonction de  $\lambda$ ,  $D$  et  $a$  ? Comment cette figure est-elle modifiée si l'on remplace les trous par des fentes de même espacement ?

La courbe ci-dessous indique pour chaque photodiode (repérée par son numéro) la valeur de son signal.



2 ) Déterminer l'interfrange  $i$  de la figure d'interférences. En déduire la longueur d'onde  $\lambda$  utilisée.

3 ) Evaluer le diamètre  $d$  des trous utilisés pour cette expérience (le rayon angulaire de la tache centrale de diffraction formée par un trou circulaire de diamètre  $d$  est donné par  $\theta = 1,22 \frac{\lambda}{d}$  )

4 ) Estimer l'incertitude absolue  $u(i)$  sur l'interfrange déterminé par cette méthode. En déduire  $u(\lambda)$  (on admet que  $\frac{u(\lambda)}{\lambda} = \frac{u(i)}{i} = \frac{u(n)}{n}$  où  $n$  est le nombre de photodiodes obtenu graphiquement)

5 ) Avec ce capteur, pourrait-on mesurer précisément l'interfrange si on augmente l'écartement des trous jusqu'à  $1,0$  cm en maintenant les autres paramètres constants ?

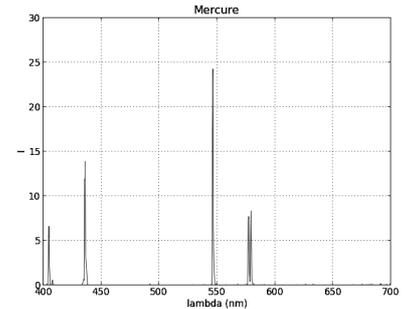
Utilisation d'une source polychromatique

On utilise une lampe à vapeur de Mercure pour éclairer un diaphragme de faible diamètre qui joue le rôle du point S dans le dispositif précédent. Les paramètres initiaux sont conservés ( $D = 1,25$  m,  $a = 0,200$  mm) mais on remplace la barrette CCD par un écran. De manière simplifiée, le spectre de la lampe à vapeur de Mercure présente 4 raies :

Couleur	violet	bleu	vert	jaune
Longueur d'onde	$\lambda_1 = 404,7$	$\lambda_2 = 435,8$	$\lambda_3 = 546,1$	$\lambda_4 = 578,0$ nm

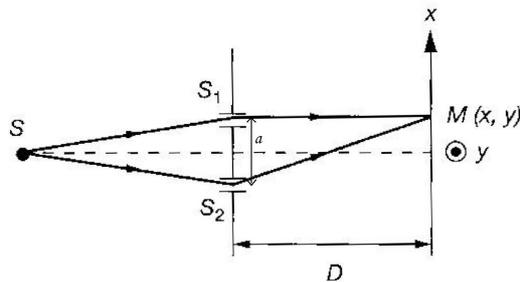
6 ) Pour une longueur d'onde  $\lambda_k$ , donner l'expression de l'intensité  $I_k(M)$  en fonction de l'abscisse  $x$  du point M sur l'écran.

7 ) A quelle abscisse  $x_{3,7}$  se trouve l'ordre 7 d'interférences pour la raie verte ? Calculer le déphasage en ce point pour les autres raies. Quelle est la teinte visible sur l'écran à cet endroit ?



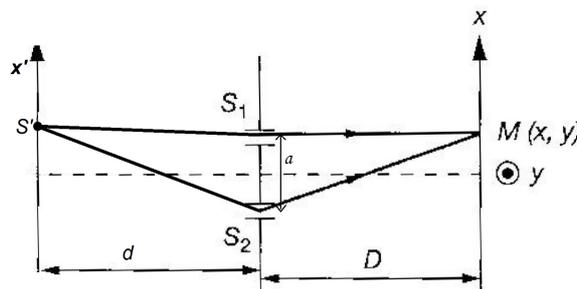
**Exercice 7** Utilisation d'une source étendue

On étudie une source étendue (non ponctuelle) et monochromatique placée face à deux trous d'Young. On s'intéresse d'abord à la figure formée par un point situé au centre de la source (point S).



- 1 ) Rappeler l'expression de la différence de marche  $\delta(M)$  entre les deux ondes issues de S qui atteignent M.
- 2 ) En déduire la position  $x_p$  de la frange brillante d'ordre p. Quelle est l'expression de l'interfrange  $i$  ?

On considère maintenant un point situé au bord de la source (point S'), situé à l'abscisse  $x'$ .



- 3 ) Exprimer la différence de marche  $\delta'(M)$  entre les deux ondes émises par S', en fonction de a, x, D, x' et d.
- 4 ) Exprimer la nouvelle position  $x_p$  de la frange brillante d'ordre p. Quel est l'interfrange  $i'$  de la figure formée par S' ?

Lorsque les franges brillantes formées par S se superposent aux franges sombres formées par S', les interférences ne sont plus visibles (la source est trop large).

- 5 ) Exprimer la plus petite distance  $x'$  qui provoque le brouillage des interférences.
- 6 ) Lors d'une expérience avec deux trous distants de 0,5 mm, on place une source ( $\lambda = 500$  nm) à 20 cm des trous. Evaluer sa largeur maximale acceptable pour observer des interférences.