

Travaux Dirigés : Optique Ondulatoire

Parcours RTEL 2

Fiche série 1&amp;2 : polarisation lumineuse et interférences à deux ondes

Exercice 1 : lame anisotrope

On considère une onde lumineuse monochromatique, qui se propage dans le vide suivant l'axe  $Ox$  d'un repère orthonormé direct  $(Oxyz)$  de vecteurs de base  $(\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$ . En  $x = 0$ , le champ électrique de cette onde s'exprime par :

$$\vec{E} = E_1 \sin(\omega t) \vec{e}_y + E_2 \cos(\omega t) \vec{e}_z$$

où  $E_1$  et  $E_2$  sont des constantes positives telles que  $E_2 > E_1$ .

- 1) Établir l'équation qui traduit la relation entre les composantes  $E_y$  et  $E_z$  du champ  $\vec{E}$ .
- 2) Représenter la courbe  $E_z = f(E_y)$ . En déduire la nature de l'onde considérée.
- 3) Représenter le vecteur champ électrique  $\vec{E}(\frac{\pi}{\omega})$  à l'instant  $t = \frac{\pi}{\omega}$
- 4) Calculer le vecteur vitesse de rotation du champ électrique à l'instant  $t = \frac{\pi}{\omega}$  et représenter le sur la même figure (de la question 3). Déduire le sens de rotation du champ électrique.
- 5) S'agit-il d'une lumière polarisée droite ou gauche ? Justifiez votre réponse.
- 6) Déterminer le déphasage de  $E_z$  par rapport à  $E_y$ . En déduire la réponse de la question 5 en la justifiant.

On place dans le trajet de l'onde lumineuse considérée une lame quart d'onde. La face d'entrée (face par laquelle rentre la lumière incidente) de cette lame est située en  $x = 0$ .

- 7) Quel est le déphasage introduit par la lame lors de sa traversée par l'onde incidente ?

- 8) Que deviennent les expressions des composantes du champ électrique à la sortie de la lame ?
- 9) Déduire la nature de l'onde transmise par la lame en justifiant votre réponse.

**Exercice 2 : analyse de la transmission d'un faisceau lumineux à travers deux filtres Polaroids en polarisation aléatoire**

Un faisceau lumineux de polarisation aléatoire et d'intensité  $I_0 = 10 \text{ W/m}^2$  traverse deux filtres Polaroids : un premier d'axe vertical et un second dont l'axe fait un angle  $\alpha = 60^\circ$  avec la verticale. On note  $I_1$  l'intensité en sortie du premier filtre et  $I_2$  l'intensité en sortie du second filtre.

- 1) Exprimer l'intensité  $I_2$  en sortie du second filtre en fonction de  $I_1$ .
- 2) Exprimer  $I_1$  en fonction de  $I_0$ .
- 3) En déduire  $I_2$  en fonction de  $I_0$ .

**Exercice 3 : détermination de l'angle entre deux filtres Polaroids pour une réduction d'intensité**

Un faisceau lumineux non polarisé qui passe à travers deux filtres Polaroid voit son intensité se réduire d'un facteur  $p$  égal à 90 %. Quel est l'angle entre les axes des filtres

**Exercice 4 : étude de la transmission de lumière blanche à travers des polariseurs croisés et une lame biréfringente**

Un faisceau de lumière blanche traverse un ensemble de deux polariseurs croisés  $P$  et  $A$ . Entre  $P$  et  $A$ , on place une lame biréfringente, les faces étant perpendiculaires au faisceau incident et l'axe optique  $Ox$  étant disposé par rapport à  $P$  comme indiqué ci-contre. L'épaisseur de la lame est  $e = 0,25 \text{ mm}$  ; les indices ordinaires  $n_o$  et extraordinaire  $n_e$  sont tels que :  $n_e - n_o = -0,173$ . On considère l'intervalle de longueurs d'onde comprises entre  $0,550$  et  $0,581 \mu\text{m}$  et on admet que  $\Delta n = n_e - n_o$  est indépendant de  $\lambda$  dans l'intervalle.

- 1) Quelles sont les longueurs d'onde pour lesquelles aucune lumière n'émerge de  $A$ .
- 2) Quelles sont les longueurs d'onde pour lesquelles la lumière sortant de  $A$  a même intensité que celle issue de  $P$ .

- 3) Quelles sont les longueurs d'onde pour lesquelles la position de  $A$  n'influe pas sur l'intensité émergente, c'est-à-dire qu'une rotation quelconque de  $A$  ne modifie pas cette intensité issue de  $A$ .

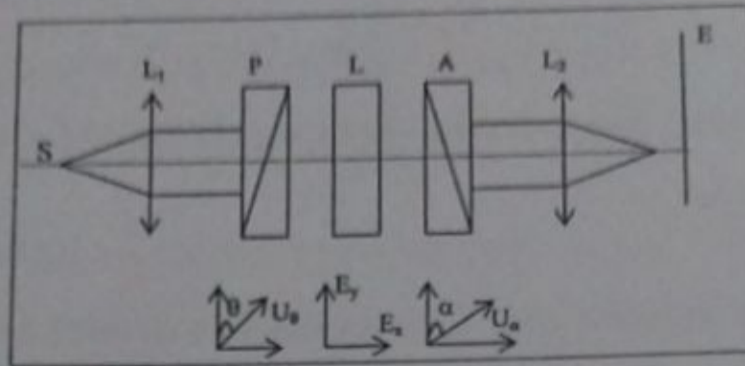


Figure 1 : système optique

### Exercice 5 : analyse de la polarisation de la lumière à travers un système optique

Une source ponctuelle  $S$  (voir figure 1) fournit, grâce à une lentille  $L_1$ , un faisceau de lumière parallèle qu'un polariseur  $P$  de direction  $U_\theta$  transforme en lumière polarisée rectilignement. Le système à étudier est représenté sous forme d'une lame à faces parallèles  $L$ . Les indices de la lame suivant les deux lignes neutres  $Ox$  et  $Oy$  (perpendiculaires entre elles et parallèles à la face d'entrée), sont :  $n_1 = 1,587$  et  $n_2 = 1,336$  et d'épaisseur  $e$ . Un analyseur  $A$  de direction  $U_\alpha$  reçoit ensuite la lumière qui émerge de  $L$  et une lentille  $L_2$  fournit une image de la lame  $L$  sur un écran  $E$  comme le montre la figure suivante.

- 1) Il s'agit de quel type d'onde. Donner l'expression du vecteur champ électrique  $\vec{E}$  décrivant l'onde étudiée. Justifier.
- 2) En déduire l'expression de l'intensité lumineuse  $I$ .
- 3) On suppose qu'un des axes de la lame est parallèle à l'axe du polariseur. L'analyseur tourne la lumière d'entrée d'un angle  $\alpha$ . Donner l'expression de l'intensité  $I'$  à la sortie de l'analyseur en fonction de  $I$ ,  $\alpha$  et de  $\theta$  en précisant le rôle de la lame  $L$ .
- 4) Les axes de la lame ne sont plus parallèles à l'axe du polariseur. Le déphasage induit par la lame est donné par  $\varphi = 2\pi(n_1 - n_2)\frac{e}{\lambda}$ . Donner l'expression des composantes  $E_x$  et  $E_y$  du champ électrique après la lame.

- 5) Pour quelles valeurs de  $e$  la direction de polarisation de la lumière après la lame est égale à  $2\theta$ . De quel type de lame s'agit-il ? On donne  $\lambda = 589 \text{ nm}$ .
- 6) Pour quelle valeur de  $e$  l'analyseur n'aura aucun effet sur la direction de polarisation de la lumière. De quel type de lame s'agit-il ?

### Exercice 6 : analyse des interférences lumineuses : étude du dispositif des trous de Young

On considère le dispositif des trous de Young ci-dessous permettant d'obtenir des sources en phase. La source principale est équidistante des deux trous considérés comme quasi-ponctuelles, situés dans le même plan vertical, et distants de  $S_1S_2 = a$ . La source émet une lumière monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$ . À la distance  $D \gg a$  du plan des trous, on place un écran, également vertical. On donne  $a = 6 \text{ mm}$ ;  $D = 1,5 \text{ m}$ ;  $SO' = 0,5 \text{ m}$ .

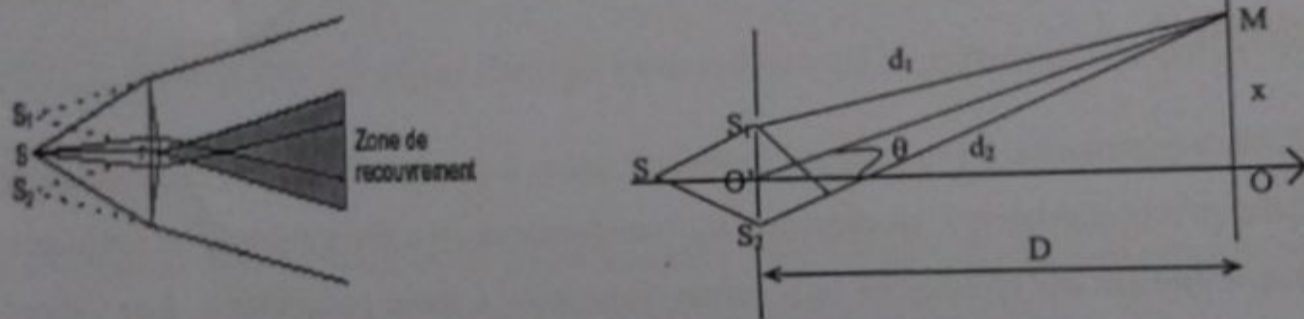


Figure 2 : dispositif des trous de Young

- 1) Soient deux rayons issus de la source et arrivant sur l'écran à une distance  $x$  de  $O$ , après être passés respectivement par  $S_1$  et  $S_2$ . Déterminer la différence de marche et le déphasage entre ces rayons.
- 2) Qu'observe-t-on sur l'écran ?
- 3) En déduire la valeur de l'interfrange  $i$ .
- 4) La troisième frange brillante est située à une distance  $x = 0,625 \text{ mm}$  du centre, déterminer la longueur d'onde  $\lambda$  de la source.
- 5) On introduit devant la fente  $S_2$  une lame d'épaisseur  $e$  et d'indice  $n = 1,5$ . Déterminer la nouvelle différence de marche optique en un point  $M$  d'abscisse  $x$  sur l'écran  $E$ . En déduire la nouvelle position de la frange centrale.

**Exercice 7 : étude de l'interfrange en milieu aqueux : application de l'expérience de Young**

On réalise une expérience d'interférences avec des fentes d'Young dans l'air. On obtient une interfrange  $i_0 = 2 \text{ mm}$ . Le dispositif est alors immergé totalement dans de l'eau d'indice  $n = 4/3$ . Quelle est la nouvelle valeur de l'interfrange ?

**Problème : impact de l'inclinaison sur les interférences dans un interféromètre de Michelson**

Un interféromètre de Michelson dont la séparatrice « plaque bakélite  $B$  » est inclinée de  $45^\circ$  sur l'axe d'émission  $Oz$ , est éclairé par une source  $S$  de lumière monochromatique de longueur d'onde  $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$ .  $P_1$  et  $P_2$  sont deux miroirs de réflexion totale. On place un détecteur (récepteur  $R$ ) à une distance  $L'$  du centre de la séparatrice (voir la figure 3). L'interféromètre est placé dans l'air et réglé **préalablement** en contact optique  $\delta = 0$ .

On translate le miroir  $P_1$  parallèlement à son plan de manière à former une lame d'air à faces parallèles d'épaisseur  $e_0 = 7,5 \text{ mm}$ .

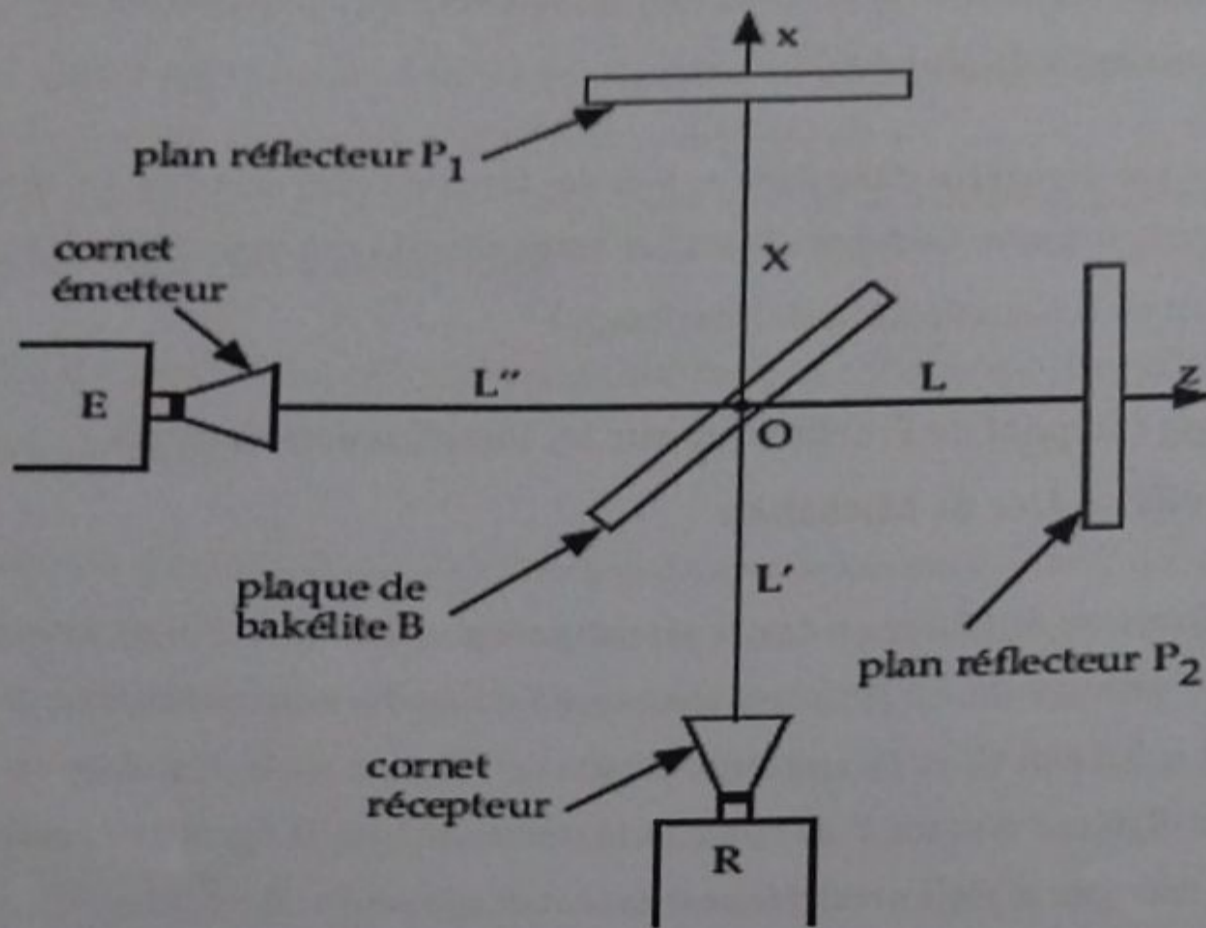


Figure 3 : dispositif d'interféromètre de Michelson

- 1) Décrire le phénomène observé sur le détecteur ? Justifier.
- 2) Comparer le phénomène observé dans le cas d'une source ponctuelle et dans le cas d'une source étendue.
- 3) Déterminer numériquement le retard optique (différence de marche)  $\delta_0$  (en  $\mu m$ ) entre les deux faisceaux lumineux de l'interféromètre.
- 4) En déduire l'ordre d'interférence  $P_0$  au centre.
- 5) Si on place, sur l'un des deux bras de l'interféromètre, perpendiculairement sur le faisceau, une lame mince en verre d'indice  $n = 1,5$  et d'épaisseur constante  $e$ , l'ordre d'interférence varie de  $\Delta P = 15$ . Déterminer l'épaisseur de la lame  $e$ .
- 6) On déplace un miroir d'un des deux bras d'une distance  $x$  (voir le schéma). Donner la nouvelle différence de marche  $\delta$  et le déphasage  $\varphi$  en fonction de  $x$ .
- 7) Donner l'expression de l'intensité  $I$  en fonction de  $x$ .
- 8) Donner les positions des franges sombres et brillantes.
- 9) Tracer la courbe de  $I$  en fonction de  $x$  en précisant les positions des minimums et des maximums.