

# ETUDE ELEMENTAIRE DE LA LUMIERE POLARISEE

## PARTIE THEORIQUE

### 1 - Les différentes sortes de vibrations lumineuses

#### 1.1 - Lumière naturelle et lumière polarisée rectilignement

Une onde lumineuse est une onde électromagnétique et se compose d'un champ électrique  $E = E_0 \cos \omega t$  et d'un champ magnétique  $H = H_0 \cos \omega t$  perpendiculaires entre eux et contenus dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation  $\vec{n}$ . Ce plan est appelé plan d'onde.

Le vecteur champ électrique  $\vec{E}$  caractérise l'état de polarisation de l'onde.

Une onde est non polarisée si  $\vec{E}$  a une direction qui varie aléatoirement dans le plan d'onde (P) (figure 1a) : c'est le cas de la lumière naturelle.

Une onde est polarisée rectilignement si  $\vec{E}$  a une direction bien définie dans l'espace (figure 1b). L'extrémité du vecteur  $\vec{E}$  décrit un segment de droite dans le plan d'onde (P).

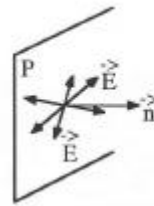


Figure 1a

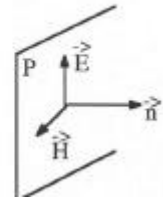


Figure 1b

#### Remarque

On peut décomposer le vecteur  $\vec{E}$  suivant deux axes orthogonaux Ox et Oy, contenus dans le plan d'onde (figure 2).

Si  $\alpha$  est l'angle que fait le vecteur  $\vec{E}$  avec l'axe Ox, les composantes x et y de E s'écrivent :

$$x = E \cos \alpha = E_0 \cos \alpha \cos \omega t$$

$$y = E \sin \alpha = E_0 \sin \alpha \cos \omega t$$

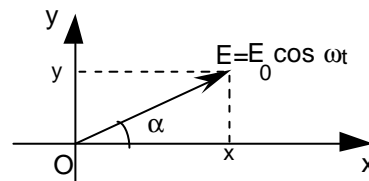


Figure 2

#### 1.2 - Lumière polarisée elliptiquement

##### a - Définitions

Une onde est polarisée elliptiquement si l'extrémité de son vecteur champ électrique  $\vec{E}$  décrit, au cours du temps, une ellipse dans le plan d'onde P. L'origine du vecteur  $\vec{E}$  est au centre de l'ellipse (figure 3).

##### Ellipticité

Si a et b sont les axes de l'ellipse, on définit l'ellipticité par :

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{b}{a} \text{ si } b < a$$

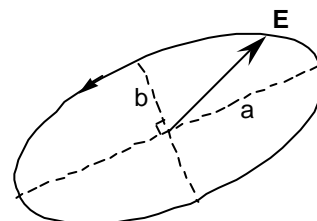


Figure 3

### Sens de parcours de l'ellipse

La lumière étant dirigée vers l'observateur, l'ellipse est dite gauche lorsqu'elle est décrite dans le sens trigonométrique. Elle est dite droite dans le cas contraire (la figure 3 représente une ellipse gauche).

### b - Cas d'une ellipse rapportée à ses axes

Soient Ox et Oy les axes de l'ellipse dans le plan d'onde. Les coordonnées x et y de l'extrémité du champ électrique  $\vec{E}$  peuvent s'écrire, a et b étant positifs :

$$x = a \cos \omega t \quad (1)$$

$$y = b \sin \omega t$$

Si on élimine t entre les deux équations, on obtient :

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

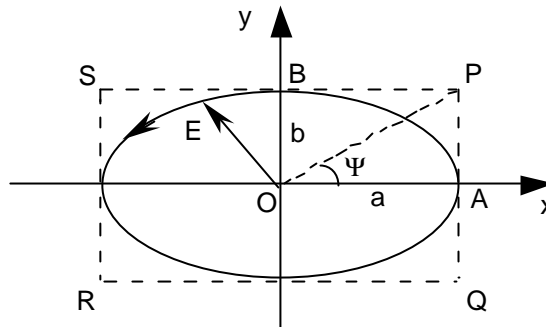


Figure 4

C'est bien l'équation d'une ellipse d'axes Ox et Oy. Les demi-longueurs de ses axes sont a et b (figure 4).

### Ellipticité

Sur la figure (4), on a  $\text{tg } \psi = \frac{b}{a}$

### Sens de parcours

Au temps  $t = 0$ , on a  $x = a$  et  $y = 0$  ; le vecteur  $\vec{E}$  est confondu avec  $OA$ . Calculons la dérivée de y au point A :

$$\left. \frac{dy}{dt} \right)_{t=0} = b \omega > 0$$

Cette dérivée est positive, donc y croît. Le système d'équations (1) représente une ellipse gauche.

On verrait de même qu'une ellipse droite est représentée par le système d'équations suivant :

$$\begin{aligned} x &= a \cos \omega t \\ y &= -b \sin \omega t \end{aligned}$$

### **1.3 - Cas particulier : lumière polarisée circulairement**

Si  $a = b$ , on obtient un cercle (figure 5).

Equation d'une vibration circulaire gauche :

$$\begin{aligned} x &= a \cos \omega t \\ y &= -a \sin \omega t \end{aligned} \quad (2)$$

Equation d'une vibration circulaire droite

$$\begin{aligned} x &= a \cos \omega t \\ y &= a \sin \omega t \end{aligned} \quad (3)$$

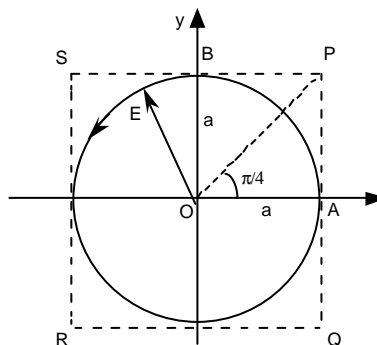


Figure 5

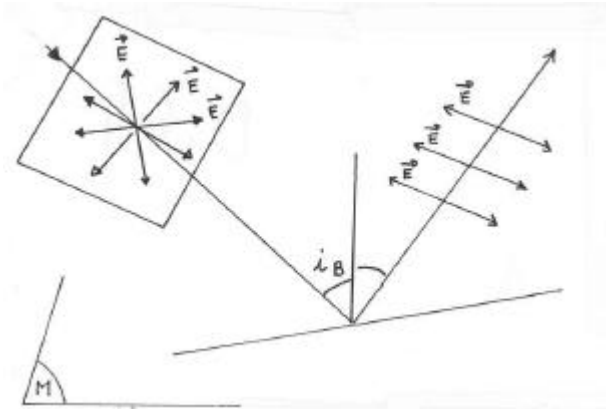
### Ellipticité

L'ellipticité d'un cercle est égale à 1 donc  $\psi = \pi/4$

## 2 - Production de lumière rectiligne, elliptique ou circulaire

### 2.1 - Production de lumière polarisée rectilignement

Si un miroir ( M ) d'indice n reçoit un faisceau de lumière naturelle sous une incidence  $i_B$  (dite de Brewster) telle que  $\text{tg } i_B = n$ , la lumière réfléchie est polarisée rectilignement et son vecteur champ électrique est perpendiculaire au plan d'incidence ( figure 6 ) .



a - Polarisation par réflexion

### b - Polarisation par transmission

Les polariseurs par transmission sont des systèmes optiques qui permettent de sélectionner dans la lumière naturelle (figure 1a) de la lumière polarisée rectilignement (figure 1b). Ils sont donc caractérisés par une direction privilégiée du vecteur de polarisation  $\vec{E}$  (figure 7 ).

Ils se présentent sous la forme de lames à faces parallèles et utilisent :

- soit la propriété de biréfringence
- soit la propriété de dichroïsme de certains cristaux.

Nous considérerons toujours des faisceaux lumineux perpendiculaires aux faces des polariseurs.

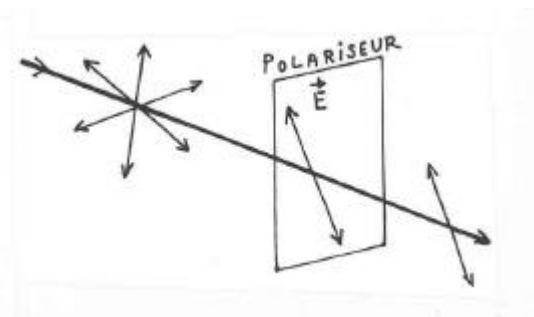


Figure 7

### 2.2 - Production de lumière elliptique ou circulaire

Pour produire de la lumière elliptique, nous utiliserons des lames biréfringentes.

Une lame biréfringente est une lame à faces parallèles taillée dans un milieu n'ayant pas les mêmes propriétés optiques selon toutes les directions et caractérisée par deux axes orthogonaux OX et OY parallèles aux faces de la lame.

Nous utiliserons toujours des faisceaux lumineux perpendiculaires aux faces de la lame ; le plan d'onde du faisceau lumineux sera confondu avec les faces de la lame.

Soit  $E = E_0 \cos \omega t$  le champ électrique d'une onde : il est parallèle au plan XOY et fait un angle  $\alpha$  avec l'axe OX (figure 8).

Décomposons  $\vec{E}$  suivant OX et OY :

$$X = E \cos \alpha = E_0 \cos \omega t \cos \alpha$$

$$Y = E \sin \alpha = E_0 \cos \omega t \sin \alpha$$

(5)

La propriété de biréfringence se traduit par le fait que les composantes X et Y de  $\vec{E}$  se propagent à des vitesses différentes dans la lame.

Soit  $V_X$  la vitesse suivant OX et  $V_Y$  la vitesse suivant OY. La vibration X voit un indice  $n_X = c/v_X$  et la vibration Y un indice  $n_Y = c/v_Y$ .

A la sortie de la lame, les deux composantes présentent un déphasage  $\phi$ . Elles s'écrivent par exemple

$$\begin{aligned} X_1 &= E_0 \cos \alpha \cos \omega t \\ Y_1 &= E_0 \sin \alpha \cos (\omega t - \phi) \end{aligned} \quad (6)$$

C'est l'équation d'une ellipse quelconque.

Dans le cas ci-dessus,  $Y_1$  présente un retard de phase par rapport à  $X_1$ . La composante Y de  $\vec{E}$  se propage plus lentement que la composante X.

Par conséquent, on appellera dans ce cas : OX l'axe rapide (AR)  
OY l'axe lent (AL)

En conclusion, si  $\Phi$  est quelconque, la vibration rectiligne est transformée en vibration elliptique par la lame biréfringente.

### 2.3 - Cas particulier important

Au cours de la manipulation, nous utiliserons une lame biréfringente particulière pour laquelle le déphasage est  $\phi = \pi/2$ . C'est une lame quart d'onde.

Si la lumière utilisée a une longueur d'onde  $\lambda$ , le déphasage s'écrit :

$$\phi = \frac{2\pi\delta}{\lambda} = \frac{\pi}{2} \quad \text{avec} \quad \delta = \lambda/4$$

$\delta$  est la différence de marche entre les deux composantes X et Y de  $\vec{E}$  et vaut un quart de longueur d'onde.

De même, une lame demi onde crée un déphasage  $\phi = \pi$  et une différence de marche  $\delta = \lambda/2$ .

## 3 - Utilisation du polariseur et des lames biréfringentes

### 3.1 - Utilisation du polariseur

On appellera  $\vec{P}$  la direction privilégiée définie par le polariseur. Si une vibration rectiligne incidente  $\vec{E}$  fait un angle  $\alpha$  avec  $\vec{P}$ , à la sortie du polariseur la vibration émergente  $E_1$  sera la projection de la vibration incidente sur la direction  $\vec{P}$ .

- Amplitude de la vibration transmise :  $E_1 = E \cos \alpha$
- Intensité de la vibration transmise :  $I_1 = E^2 \cos^2 \alpha = I \cos^2 \alpha$  (loi de Malus)

#### a - Action du polariseur sur la lumière naturelle

Un polariseur transforme de la lumière naturelle en lumière polarisée rectilignement. La direction du vecteur champ électrique  $\vec{E}$  de l'onde transmise est parallèle à la direction  $\vec{P}$  définie par le polariseur.

La lumière naturelle a une symétrie de révolution autour de son axe de propagation.

Si on fait tourner le polarisateur autour de cet axe, l'intensité transmise par celui-ci ne varie pas (figure 9)

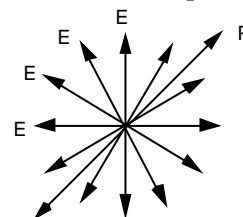


Figure 9

Remarque : Nous ferons toutes les figures dans le plan d'onde du rayon lumineux. La direction de propagation de la lumière sera perpendiculaire au plan de la figure.

**b - Action du polariseur sur la lumière polarisée rectilignement**

Une vibration rectiligne de direction  $\vec{E}$  tombe sur un polariseur caractérisé par sa direction  $\vec{P}$  telle que  $(\vec{E}, \vec{P}) = \alpha$  (figure 10)

La vibration émergente est :

$$E_1 = E \cos \alpha$$

Cas  $\alpha = 0 \rightarrow E_1 = E$

(vibration non modifiée)

Cas  $\alpha = \pi/2 \rightarrow E_1 = 0$

(pas de vibration émergente)

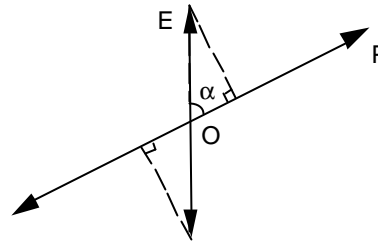


Figure 10

Si on tourne le polariseur autour de l'axe défini par le faisceau lumineux, l'intensité transmise passera par des maxima et par des minima nuls.

L'écart angulaire entre les maxima et les minima est égal à  $\pi/2$ .

**c - Action du polariseur sur la lumière elliptique**

Si une lumière elliptique arrive sur un polariseur de direction  $\vec{P}$ , la vibration émergente sera rectiligne et son amplitude égale à la projection de l'ellipse sur la direction  $\vec{P}$  (figure 11).

Si  $\vec{P}$  est parallèle au grand axe de l'ellipse, on a un maximum d'intensité transmise : point P' sur la figure 11

Si  $\vec{P}$  est parallèle au petit axe de l'ellipse, on a un minimum non nul d'intensité transmise : point P'' sur la figure 11

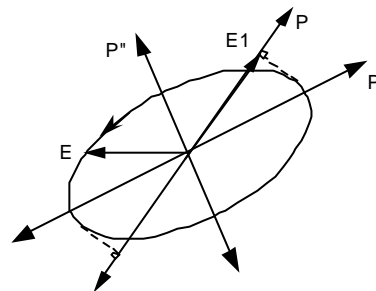


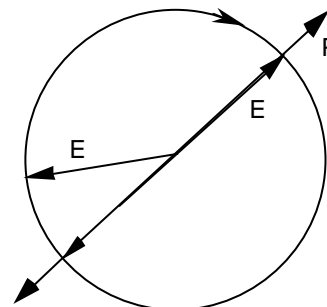
Figure 11

Si on tourne le polariseur autour de l'axe défini par le faisceau lumineux, l'intensité transmise passera par des maxima et par des minima non nuls

L'écart angulaire entre maxima et minima est aussi égal à  $\pi/2$

Quelle que soit l'orientation du polariseur la projection du cercle sur la direction  $\vec{P}$  sera égale à son diamètre (figure 12 ).

Si on tourne le polariseur autour de la direction définie par le faisceau lumineux, l'intensité transmise ne varie pas.



d- Cas de la lumière polarisée circulairement

### 3.2 - Utilisation de la lame quart d'onde

#### a - Action de la lame quart d'onde sur la lumière polarisée rectilignement

Soit OX l'axe rapide ( AR ) et OY l'axe lent ( AL ) de la lame. Un faisceau de lumière polarisée rectilignement tombe sur la lame, perpendiculairement à sa face d'entrée. Le champ électrique de l'onde (  $E = E_0 \cos \omega t$  ) et l'axe OX (AR) font un angle  $\alpha$  (figure 13).

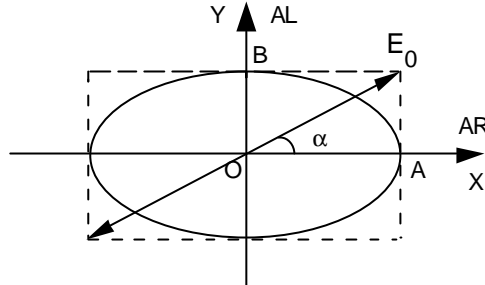


Figure 13

La vibration rectiligne à l'entrée de la lame a pour composantes ( voir paragraphe I-A ).

$$(7) \quad \begin{cases} x = E_0 \cos \alpha \cos \omega t \\ y = E_0 \sin \alpha \cos \omega t \end{cases}$$

La lame produit un déphasage  $\phi = \frac{\pi}{2}$  La vibration émergente a pour composantes :

$$(8) \quad \begin{cases} x_1 = E_0 \cos \alpha \cos \omega t \\ y_1 = E_0 \sin \alpha \cos \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right) = E_0 \sin \alpha \sin \omega t \end{cases}$$

En éliminant le temps t dans le système d'équations (8), on obtient :

$$\frac{x_1^2}{(E_0 \cos \alpha)^2} + \frac{y_1^2}{(E_0 \sin \alpha)^2} = 1 \quad (\text{équation d'une ellipse d'axes OX et OY})$$

Une lame quart d'onde transforme une vibration rectiligne en une vibration elliptique ayant mêmes axes qu'elle.

#### Ellipticité

C'est la tangente de l'angle (inférieur à  $\pi/4$ ) que fait la vibration rectiligne incidente avec l'un des axes de la lame (dans le cas de la figure 13 on a  $\psi = \alpha$  ).

#### Sens de parcours de l'ellipse

Il est déterminé par le signe de  $dy/dt$  pour  $t = 0$  .

#### Règle pratique

Le sens de parcours de l'ellipse est le sens suivant lequel il faut faire tourner la vibration rectiligne incidente pour l'amener sur l'axe lent (AL) par une rotation inférieure à  $\pi/2$  ( L'ellipse de la figure 13 est gauche ).

#### Valeurs particulières de $\alpha$

$$\begin{aligned} * \quad \alpha = 0 & \quad \text{ou} \quad \vec{E} // OX \rightarrow y = y_1 = 0 \\ ** \quad \alpha = \frac{\pi}{2} & \quad \text{ou} \quad \vec{E} // OY \rightarrow x = x_1 = 0 \end{aligned}$$

Une vibration rectiligne parallèle a l'un des axes de la lame n'est pas modifiée en traversant cette lame.

\*\*\*  $\alpha = \frac{\pi}{4} \rightarrow \sin \alpha = \cos \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2} \rightarrow$  l'ellipse a ses deux axes égaux. C'est un cercle d'équation :

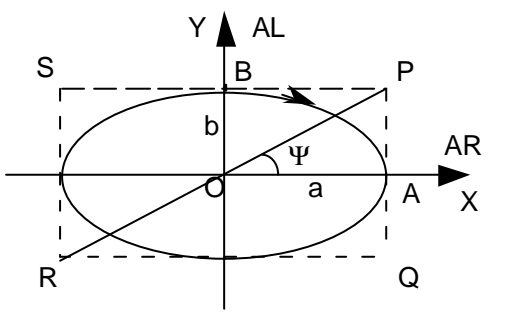
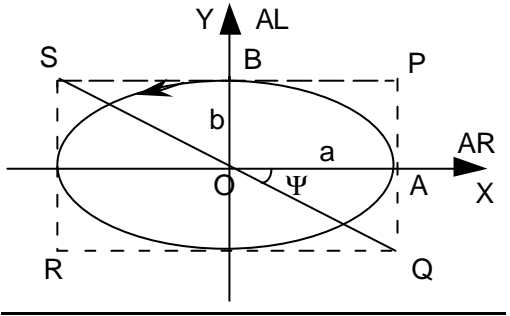
$$x_1^2 + y_1^2 = \frac{E_o^2}{2}$$

Une vibration rectiligne qui fait un angle égal à  $\pi/4$  avec les axes de la lame quart d'onde est transformée en une vibration circulaire.

b - Action de la lame quart d'onde sur une lumière elliptique ou circulaire

Nous ne considérerons que le cas où l'ellipse et la lame ont leurs axes confondus ( OX sera toujours l'axe rapide de la lame ).

b-1) Lumière elliptique

<u>Lumière elliptique droite</u>	<u>Lumière elliptique gauche</u>
<p>- <u>Vibration incidente</u> (ellipse droite)</p> <p>(9) <math>\begin{cases} x = a \cos \omega t \\ y = b \sin \omega t \end{cases}</math></p> <p>- <u>Vibration émergente</u></p> <p>(10) <math>\begin{cases} x_1 = a \cos \omega t \\ y_1 = -b \sin (\omega t - \frac{\pi}{2}) = b \cos \omega t \end{cases}</math></p> <p>En éliminant le temps t dans le système (10), on obtient l'équation de la droite PR de la figure 14 <math>y_1 = \frac{b}{a} x_1</math></p>  <p><b>Figure 14</b></p>	<p>- <u>Vibration incidente</u> (ellipse gauche)</p> <p>(11) <math>\begin{cases} x = a \cos \omega t \\ y = b \sin \omega t \end{cases}</math></p> <p>- <u>Vibration émergente</u></p> <p>(12) <math>\begin{cases} x_1 = a \cos \omega t \\ y_1 = b \sin (\omega t - \frac{\pi}{2}) = -b \cos \omega t \end{cases}</math></p> <p>Le système (12) donne l'équation de la droite SQ de la figure 15 : <math>y_1 = -\frac{b}{a} x_1</math></p>  <p><b>Figure 15</b></p>

Conclusion

Une lame quart d'onde transforme une vibration elliptique ayant mêmes axes qu'elles, en une vibration rectiligne qui est confondue avec l'une des diagonales du rectangle à l'intérieur duquel est inscrite l'ellipse.

Règle pratique

On construit le rectangle PQRS (figures 14 et 15) et on utilise la règle suivante :

La rotation nécessaire pour amener l'axe lent sur la vibration rectiligne émergente, en tournant dans le sens de parcours de l'ellipse, doit être inférieure à  $\pi/2$ .

Ellipticité de la vibration incidente

C'est la tangente de l'angle (inférieur à  $\pi/4$ ) que fait la vibration rectiligne émergente avec l'un des axes de la lame.

b-2) Lumière circulaire

Une vibration circulaire étant une vibration elliptique particulière, le paragraphe précédent est valable à condition de faire  $a = b$  (figure 16).

Une lame quart d'onde transforme une vibration circulaire en vibration rectiligne à 45 degrés de ses axes.

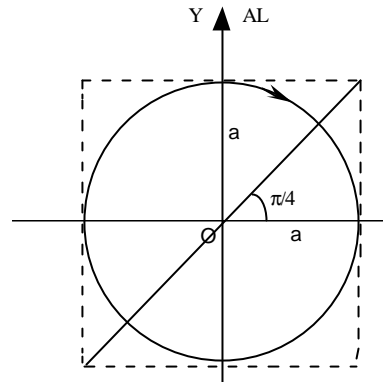


figure 16

c - Utilisation de la lame demi-onde

A titre d'exercice reprendre le paragraphe précédent (§b) et l'appliquer à la lame demi-onde.

**4 - Interférences produites par des lames biréfringentes d'épaisseur variable**

**Application au compensateur de Babinet**

Principe : il est composé de deux coins de quartz dont l'un est mobile par rapport à l'autre (figure 17).

En un point donné l'un des coins est assimilable à une lame biréfringente d'épaisseur  $e$ . Deux vibrations respectivement parallèles à l'axe lent (OX par exemple) et à l'axe rapide (OY), se propagent avec des indices différents  $n_x$  et  $n_y$ , d'où un déphasage  $\phi$  entre ces deux vibrations perpendiculaires :

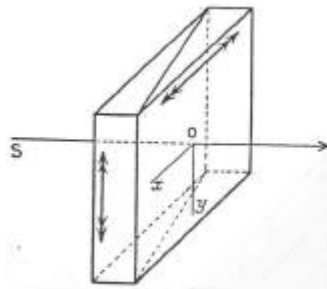


Figure 17

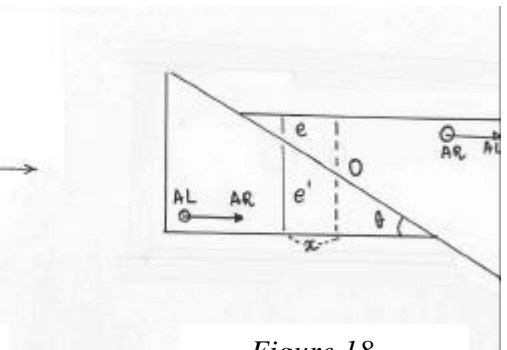


Figure 18

$$\phi = \frac{2\pi\delta}{\lambda} \text{ avec } \delta = (n_x - n_y) e$$

Les axes lents (ou rapides) des deux coins étant croisés les déphasages introduits sont de signes contraires. Le déphasage total entre les deux vibrations est donc :

$$\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} (n_x - n_y) (e - e')$$

Au centre O, les épaisseurs sont égales et  $\Phi = 0$ .

A une distance  $x$  de O (figure 18) :  $e - e' = 2x \text{ tg } \theta$  ( $\theta$  étant l'angle au sommet des coins de quartz). La différence de marche est donc en ce point :

$$\delta = 2 (n_x - n_y) x \text{ tg } \theta$$

Toute lame biréfringente, placée entre polariseur et analyseur, donne lieu à des interférences (cf. p. 14). Avec le compensateur, on peut observer sur sa face de sortie, des franges rectilignes ( $x = \text{Cte}$  pour  $\delta = \text{Cte}$ ) parallèles à l'arête des coins dont l'intervalle  $i = \Delta x$  correspond à une variation de différence de marche  $\lambda$ . Entre polariseur et analyseur croisés, le contraste est maximum lorsque les axes du compensateur sont à  $45^\circ$  de la vibration à analyser. La frange correspondant au point O est noire ( $\Phi = 0$ ) quelle que soit  $\lambda$ , ce qui permet de la repérer en lumière blanche.

En déplaçant l'un des coins, on fait varier la position du point O : les franges défilent devant un réticule sur le compensateur. Si l'on ajoute une lame cristalline, l'ensemble des franges se déplace : le compensateur permet alors de mesurer la différence de marche produite.

#### Remarques

- Les axes du Babinet sont verticaux et horizontaux : une vibration rectiligne incidente quelconque se décomposera suivant ces deux axes.

- Lorsqu'on déplace un coin du compensateur de longueur  $d$ , la frange centrale se déplace de O en O' (figure 19). L'ensemble des franges se déplace donc de la quantité  $OO' = d/2$

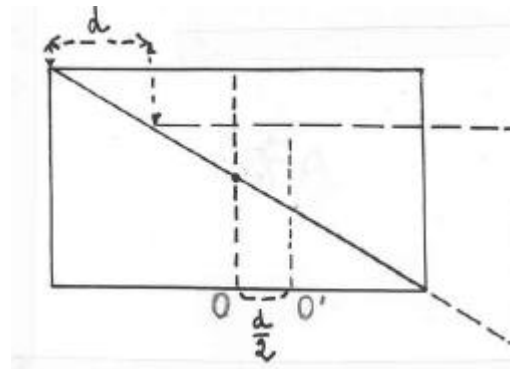
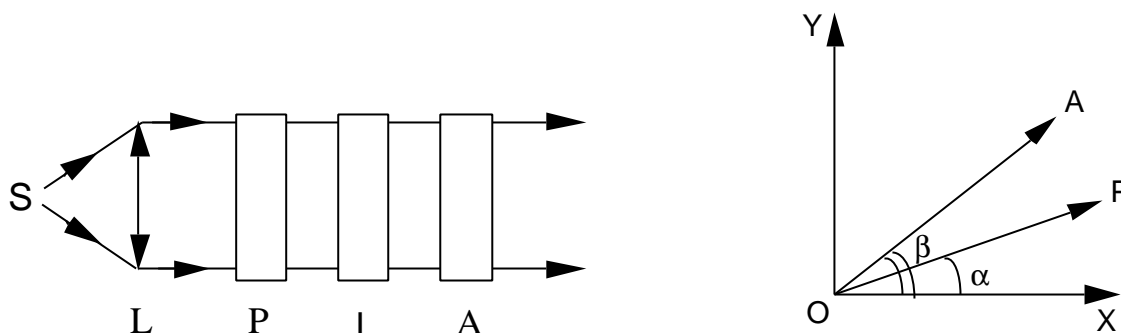


Figure 19

## RAPPEL DE COURS - Interférences entre les vibrations issues d'une lame



Une source ponctuelle S, monochromatique, est placée au foyer de la lentille L. Le faisceau de rayons parallèles traverse successivement : un polariseur P, une lame cristalline l (de lignes neutres OX, OY), un analyseur A.

On désire calculer l'intensité transmise par l'ensemble P, l, A.

Si la vibration transmise par P est  $a \cos \omega t$ , on aura :

$$\begin{array}{ll} x = a \cos \alpha \cos \omega t & \text{Sortie de (1)} \\ \text{entrée de (1)} & \\ y = a \sin \alpha \cos \omega t & y = a \sin \alpha \cos (\omega t - \phi) \end{array}$$

L'analyseur reçoit la projection de chaque vibration (x et y) transmise par la lame sur la direction de polarisation  $\vec{OA}$ , soit au total :

$$\begin{aligned} & a \cos \alpha \cos \beta \cos \omega t + a \sin \alpha \sin \beta \cos (\omega t - \phi) \\ & \text{qui peut s'écrire en développant } \cos (\omega t - \phi) : \\ & a (\cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta \cos \phi) \cos \omega t + a \sin \alpha \sin \beta \sin \phi \sin \omega t \\ & \text{expression de la forme : } A_1 \cos \omega t + B_1 \sin \omega t \end{aligned}$$

D'après la construction de Fresnel, l'amplitude résultante A est :

$$\boxed{A^2 = A_1^2 + B_1^2 = a^2 (\sin^2 \alpha \sin^2 \beta + \cos^2 \alpha \cos^2 \beta) + 2a^2 \sin \alpha \cos \alpha \sin \beta \cos \beta \cos \phi}$$

L'intensité transmise après l'analyseur est proportionnelle à  $A^2$

On peut en donner deux expressions équivalentes (à simplifier pour P, A croisés et P, A parallèles)

$$\begin{aligned} \text{ou} \quad \mathbf{I} &= \mathbf{I}_1 \left[ \cos^2(a-b) - \sin 2a \sin 2b \sin^2 \frac{f}{2} \right] \\ \mathbf{I} &= \mathbf{I}_1 \left[ \cos^2(a+b) + \sin 2b \sin 2b \cos^2 \frac{f}{2} \right] \end{aligned}$$

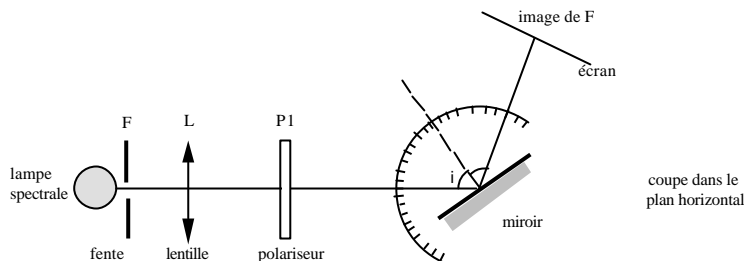
L'intensité résultante n'est donc pas la somme des intensités des deux vibrations transmises par la lame : on peut dire que ces deux vibrations déphasées de  $\phi$  "interfèrent" grâce à l'analyseur qui rend leurs directions parallèles.

**Remarque :** le principe des interférences s'applique indifféremment à la lumière polarisée et à la lumière naturelle (cf. Bruhat).

# PARTIE PRATIQUE I

## Etude en lumière monochromatique

### 1 - Polarisation par réflexion vitreuse



Réaliser un faisceau de lumière parallèle à l'aide de la lampe à vapeur de mercure (Hg), de la fente-source verticale et de la lentille de distance focale  $f = 10 \text{ cm}$  (former pour cela une image nette de la fente sur le mur).

Placer sur le trajet du faisceau : le polariseur  $P_1$  et le miroir de verre noir au centre du disque gradué horizontal.

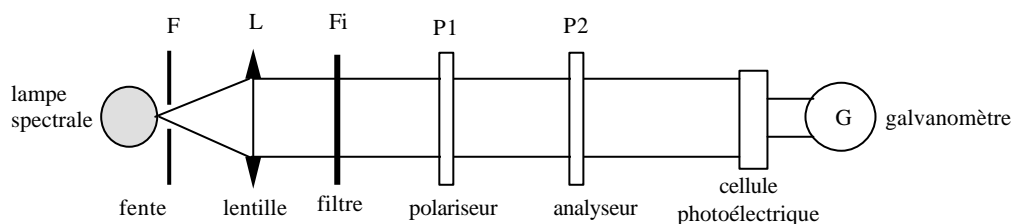
Rechercher l'incidence de Brewster  $i_B$  par approches successives en tournant tour à tour  $P_1$  et le disque gradué jusqu'à extinction totale du faisceau réfléchi.

Quel est, après ce réglage, la direction de polarisation de  $P_1$  ? Justifier votre réponse. Noter la graduation du support de  $P_1$ , ainsi que l'estimation de l'incertitude sur ce repérage.

Mesurer la valeur de  $i_B \pm \Delta i_B$  sur le disque gradué (enlever  $P_1$  pour la lecture des angles). En déduire la valeur de l'indice  $n$  et l'incertitude  $\Delta n$ .

Remplacer le miroir par le polariseur  $P_2$ . Régler ce polariseur de façon à ce que sa direction de polarisation soit verticale. Noter la graduation du support de  $P_2$  et l'incertitude sur ce repérage.

### 2 - Vérification de la loi de Malus



Effectuer le montage ci-dessus. La déviation du galvanomètre est proportionnelle à l'intensité de la lumière reçue par la cellule. Réglages et mesures devront être faits à l'abri de toute lumière parasite.

$P_1$  étant fixé à la graduation précédente, régler  $P_2$  de façon à obtenir le maximum de lumière sur la cellule (choisir le calibre optimum du galvanomètre, utiliser éventuellement un diviseur de tension).

Régler  $P_2$  de façon à obtenir une "quasi - extinction" du faisceau. Faire la correction de zéro sur le galvanomètre.

Tourner  $P_2$  de  $10^\circ$  en  $10^\circ$  et tracer la courbe  $I = f(\cos^2\theta)$  où  $\theta$  est l'angle entre les directions de polarisation de  $P_1$  et de  $P_2$ . Faire varier  $\theta$  de  $0$  à  $90^\circ$ . Conclusion.

### 3 - Interaction d'une lumière polarisée rectiligne avec une lame biréfringente

La lumière de la lampe au mercure est filtrée à  $\lambda = 0,56\mu$ , valeur pour laquelle les lames utilisées sont quart d'onde, demi-onde et onde. L'incidence du faisceau parallèle sur la lame sera toujours normale.

### 3.1 - Détermination de la direction des axes (ou lignes neutres) des lames quart d'onde et demi-onde

a)  $P_1$  et  $P_2$  sont croisés (extinction sur l'écran). Intercaler la lame à étudier entre  $P_1$  et  $P_2$ .

Donner l'expression de l'intensité  $I_\lambda$  transmise par l'ensemble [lame et  $P_2$ ],  $I_{\lambda 0}$  étant l'intensité du faisceau incident polarisé,  $\phi$  le déphasage entre les deux vibrations transmises par la lame et  $\alpha$  l'angle entre la direction de  $P_1$  et l'axe OX de cette lame.

Pour quelles valeurs de  $\alpha$ , l'intensité  $I_\lambda$  est-elle minimum ?

Pour quelles valeurs de  $\alpha$ , l'intensité  $I_\lambda$  est-elle maximum ?

Le vérifier expérimentalement pour chaque lame en relevant les graduations correspondantes et en précisant à l'aide de schémas la position des lignes neutres.

b)  $P_1$  et  $P_2$  sont parallèles. Faire l'étude précédente avec une seule lame. Comparer les résultats.

### 3.2 - Analyse de la lumière à la sortie d'une lame quart d'onde $Q_1(l/4)$

a) Tourner  $Q_1$  de  $45^\circ$  à partir de l'extinction entre  $P_1$  et  $P_2$  croisés.

Tourner  $P_2$ . Conclusion sur la nature de la lumière émergente.

Retrouver ce résultat à partir des formules (on supposera l'axe lent selon OY). Schéma.

b) Tourner  $Q_1$  de  $20^\circ$  à partir de l'extinction.

Tourner  $P_2$ . Définir la nature de la lumière émergente et ses directions caractéristiques.

Justifier ce résultat par les formules. Schéma.

### 3.3 - Analyse de la lumière à la sortie d'une lame demi-onde $Q(l/2)$

a) Tourner  $Q$  de  $\alpha = 20^\circ$  à partir de l'extinction entre  $P_1$  et  $P_2$  croisés.

De quel angle faut-il tourner  $P_2$  et dans quel sens pour retrouver l'extinction ? Conclusion sur la nature de la lumière émergente.

Schéma et formules explicatives.

b)  $P_1$  et  $P_2$  étant de nouveau croisés et  $Q$  en position d'extinction, tourner  $P_1$  de  $20^\circ$ .

De quel angle faut-il tourner  $P_2$  et dans quel sens pour rétablir l'extinction ? Schéma.

### 3.4 - Analyse de la lumière à la sortie d'une lame onde (l)

Tourner la lame entre  $P_1$  et  $P_2$  croisés.

Noter les observations faites sur l'écran avec et sans filtre. Les expliquer.

Même étude dans le cas de  $P_1$  et  $P_2$  parallèles.

## 4 - Applications des propriétés des lames biréfringentes (facultatif)

### 4.1 - Détermination de la nature des axes de $Q_2(l/4)$ à partir des axes connus de $Q_1(l/4)$

Régler  $Q_1$  et  $Q_2$  de telle sorte que leurs axes soient horizontaux et verticaux.

Tourner  $P_1$  de  $20^\circ$  et rétablir l'extinction en tournant  $P_2$ .

Déduire du sens de rotation de  $P_2$  (par rapport à celui de  $P_1$ ) la nature des axes de  $Q_2$  (par rapport à ceux de  $Q_1$ ).

Justifier cette méthode à partir des formules.

### 4.2 - Réalisation à l'aide de $P_1$ et $Q_1(l/4)$ :

- d'une lumière circulaire

- d'une lumière elliptique d'ellipticité  $\sqrt{3}/3$

Quelles sont les différentes façons de changer le sens de parcours de ces lumières ?

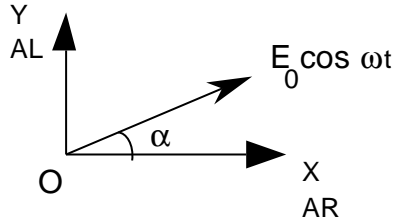
### 4.3 - Réalisation d'une lame demi-onde à l'aide des lames quart d'onde $Q_1$ et $Q_2$

#### 4.4 - Réalisation d'une lame onde à l'aide de deux lames quart d'onde et d'une lame demi-onde

# FORMULAIRE

## Action des lames quart d'onde, demi-onde et onde sur une vibration polarisée

### Vibration rectiligne



Composantes de la vibration incidente

$$x_0 = E_0 \cos \alpha \cos \omega t$$

$$y_0 = E_0 \sin \alpha \cos \omega t$$

Composantes de la vibration à la sortie d'une lame

$$\delta = \lambda/4 \quad \delta = \lambda/2 \quad \delta = \lambda$$

$$\phi = \pi/2$$

$$\phi = \pi$$

$$\phi = \pi$$

$$x = E_0 \cos \alpha \cos \omega t$$

$$x = E_0 \cos \alpha \cos \omega t$$

$$x = E_0 \cos \alpha \cos \omega t$$

$$y = E_0 \sin \alpha \cos (\omega t - \pi/2)$$

$$y = E_0 \sin \alpha \cos (\omega t - \pi)$$

$$y = E_0 \sin \alpha \cos (\omega t - 2\pi)$$

$$x = E_0 \cos \alpha \cos \omega t$$

$$x = E_0 \cos \alpha \cos \omega t$$

$$x = E_0 \cos \alpha \cos \omega t$$

$$y = E_0 \sin \alpha \sin \omega t$$

$$y = -E_0 \sin \alpha \cos \omega t$$

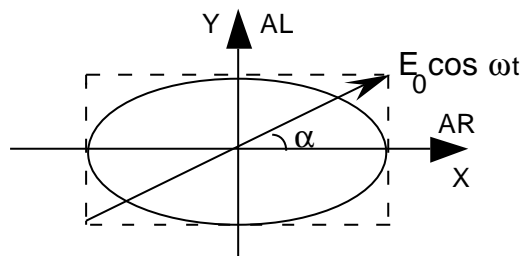
$$y = E_0 \sin \alpha \cos \omega t$$

elliptique gauche

rectiligne symétrique

rectiligne identique

### Vibration elliptique



Composantes de la vibration incidente

$$x_0 = E_0 \cos \alpha \cos \omega t$$

$$y_0 = E_0 \sin \alpha \sin \omega t$$

elliptique gauche

Composantes de la vibration à la sortie d'une lame

$$\delta = \lambda/4 \quad \delta = \lambda/2 \quad \delta = \lambda$$

$$x = E_0 \cos \alpha \cos \omega t$$

$$x = E_0 \cos \alpha \cos \omega t$$

$$x = E_0 \cos \alpha \cos \omega t$$

$$y = E_0 \sin \alpha \sin (\omega t - \pi/2)$$

$$y = E_0 \sin \alpha \sin (\omega t - \pi)$$

$$y = E_0 \sin \alpha \sin (\omega t - 2\pi)$$

$$x = E_0 \cos \alpha \cos \omega t$$

$$x = E_0 \cos \alpha \cos \omega t$$

$$x = E_0 \cos \alpha \cos \omega t$$

$$y = -E_0 \sin \alpha \cos \omega t$$

$$y = -E_0 \sin \alpha \sin \omega t$$

$$y = E_0 \sin \alpha \sin \omega t$$

rectiligne symétrique

elliptique droite

elliptique gauche

# PARTIE PRATIQUE II

## A - ETUDE EN LUMIERE BLANCHE

Les lames biréfringentes étudiées ici seront toujours éclairées normalement par un faisceau de lumière parallèle. Dans ce cas, les axes (lignes neutres) des lames seront dans un plan parallèle à leurs faces.

### 1 - Observations avec une lame onde

La lame est "onde" dans le domaine visible pour  $\lambda_j = 0,56\mu$  (couleur jaune-vert).

A l'aide du condenseur, réaliser un faisceau de lumière parallèle (à la hauteur de la fente d'entrée du spectroscopie).

Régler les polariseurs  $P_1$  et  $P_2$  "croisés" (extinction sur l'écran). Intercaler la lame  $\lambda$  entre  $P_1$  et  $P_2$ .

Donner l'expression de l'intensité  $I$  transmise par l'ensemble (lame,  $P_2$ ),  $I_{\lambda_i}$  étant l'intensité du faisceau incident polarisé de longueur d'onde  $\lambda_i$ ,  $\phi_i$  le déphasage entre les deux vibrations correspondantes transmises par la lame et  $\alpha$  l'angle entre la direction de  $P_1$  et l'axe OX de la lame.

\* Quelle est la contribution apportée par le faisceau de longueur d'onde  $\lambda_j$  ?

\* Pour quelles valeurs de  $\alpha$ , l'intensité  $I$  est-elle minimum ? En déduire un procédé pour repérer les axes de la lame et l'appliquer.

\* Pour quelles valeurs de  $\alpha$ , l'intensité  $I$  est-elle maximum ? En déduire un procédé pour obtenir un contraste maximum sur l'écran et l'appliquer.

Observer sur l'écran la "teinte sensible" (teinte qui vire très rapidement vers le rouge ou le violet pour de très petites variations de différence de marche). De quelles radiations est-elle composée ?

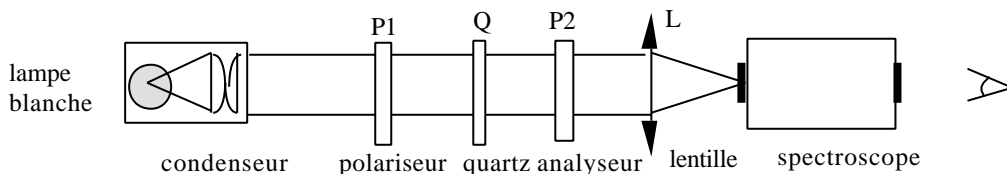
Tourner le polariseur  $P_2$  de  $90^\circ$ . Donner l'expression de  $I$  relative à cette nouvelle configuration pour les positions particulières définies précédemment.

Interpréter les observations correspondantes sur l'écran.

### 2 - Etude du spectre cannelé d'une lame de quartz

Le quartz étant taillé parallèlement à l'axe optique, la différence entre l'indice extraordinaire et l'indice ordinaire vaut :  $n_e - n_o = 9,2 \cdot 10^{-3}$  (biréfringence maximum).

Réaliser le montage ci-dessous :



Expliquer les réglages à effectuer sur : les polariseurs  $P_1$  et  $P_2$ , la lame de quartz  $Q$  et la lentille  $L$ .

Observer le spectre "cannelé" à la sortie du spectroscopie. Les cannelures correspondent aux radiations éteintes dans le spectre, donc à une différence de marche :

$$\delta = e(n_e - n_o) = k\lambda \quad k \text{ étant un entier (ordre d'interférence)}$$

Tout se passe comme si la lame de quartz était "onde" pour les valeurs de  $\lambda$  vérifiant cette relation.

#### Mesures. Détermination de l'épaisseur de la lame de quartz par une méthode graphique.

A l'aide d'une fente de sortie appropriée, repérer les différentes cannelures en balayant tout le spectre. Noter les longueurs d'onde des radiations éteintes et les incertitudes sur leur repérage.

Numéroter les cannelures à partir de la plus grande longueur d'onde observée :

$$\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_p > \dots > \lambda_N$$

$$e(n_e - n_o) = (k_0 + p)\lambda_p \quad k_0 \text{ étant l'ordre d'interférence pour } p = 0$$

Tracer la courbe  $1/\lambda_p = f(p)$

En déduire l'épaisseur  $e$  de la lame de quartz. Conclusion.

## **B - ETUDE DES INTERFERENCES PRODUITES PAR LE COMPENSATEUR DE BABINET**

*Voir le schéma du dispositif expérimental et le schéma détaillé du goniomètre dans la salle.*

### **1 - Etude en lumière monochromatique**

#### **Réglages pour l'observation des franges d'interférences**

Placer la lampe au sodium ( $\lambda = 589.3$  nm) à la bonne hauteur derrière la fente du collimateur.  
Escamoter le Babinet en débloquant la vis du côté gauche du collimateur.  
Enlever la bonnette (lentille convergente permettant de viser sur la face de sortie du Babinet).

#### **Réglage de la lunette par autocollimation**

Allumer la lampe de l'autocollimateur, levier à droite en position telle que le champ soit éclairé.  
Régler l'oculaire de façon à voir le réticule net.  
Placer le miroir de verre noir derrière la lunette (perpendiculairement à son axe).  
Régler le tirage de la lunette de manière à ce que l'image du réticule soit nette : la lunette est alors "réglée à l'infini".  
Eteindre la lampe de l'autocollimateur ou escamoter celui-ci en actionnant le levier.

#### **Réglage du collimateur**

Régler la largeur de la fente (vis à droite) afin d'observer une image assez fine dans la lunette.  
Régler le tirage du collimateur jusqu'à obtenir une image nette de la fente : le faisceau de lumière sortant du collimateur est alors parallèle.

#### **Réglage du polariseur P par réflexion vitreuse**

Placer le miroir au centre de la plateforme.  
Observer l'image réfléchie de la fente à travers le miroir. Par approches successives tourner le polariseur et la plateforme jusqu'à obtenir une quasi-extinction de cette image : l'angle d'incidence du faisceau est alors celui de Brewster et la direction de polarisation incidente est horizontale (cf. PARTIE PRATIQUE I).  
Noter le repère du polariseur P et enlever le miroir.

#### **Réglage de l'analyseur A**

Tourner l'analyseur jusqu'à extinction de l'image de la fente dans la lunette.  
Noter le repère de l'analyseur A : P et A sont alors croisés avec leurs directions de polarisation respectivement horizontale et verticale.

#### **Réglage de P et A croisés à 45° des axes du Babinet**

Tourner P et A de 45°. Justifier ce réglage (rappel : axes du Babinet horizontal et vertical).

#### **Observation des franges d'interférences**

Remettre le Babinet en place ainsi que la bonnette.  
Observer les franges d'interférences. Expliquer leur formation et les décrire.  
Tourner A de 90°. Que devient la "frange centrale" (encadrée par deux traits verticaux) ? Pourquoi ?

#### **Mesures entre P et A croisés**

Translater le coin de quartz mobile du Babinet de façon à obtenir le plus grand déplacement possible.  
Compter le nombre de franges noires passant au centre au cours de ce déplacement.  
Mesurer le déplacement à l'aide de la vis micrométrique.  
En déduire l'angle des coins de quartz. Précision.

### **2 - Etude en lumière blanche**

Focaliser la lumière blanche sur la fente. Remettre le Babinet dans sa position initiale (coins non décalés avec la "frange centrale" au milieu du champ). Décrire et expliquer les observations faites entre P et A croisés, puis entre P et A parallèles.