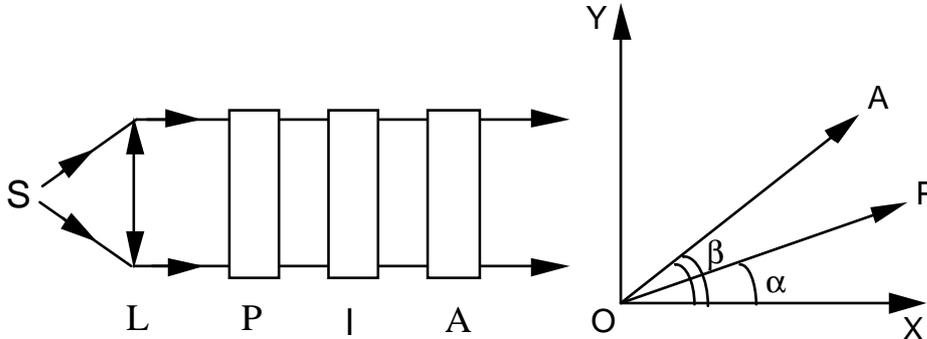


TP 5 Interférence en lumière polarisée

I. Interférences entre les vibrations issues d'une lame

Pour la théorie se reporter aux rappels sur la polarisation et la biréfringence.



Une source ponctuelle S, monochromatique, est placée au foyer d'une lentille L. Le faisceau de rayons parallèles traverse successivement : un polariseur P, une lame cristalline I (de lignes neutres OX, OY, d'épaisseur e et de biréfringence $\Delta n = n_x - n_y$, apportant un déphasage $\phi = 2\pi/\lambda \delta$, où $\delta = \Delta n e$), un analyseur A. On désire calculer l'intensité transmise par l'ensemble P, I, A.

Si la vibration transmise par P (incliné de α par rapport à X) est $a \cos(\omega t)$, on aura :

Entrée de la lame biréfringente I	$X = a \cos \alpha \cos \omega t$	et	$Y = a \sin \alpha \cos \omega t$
Sortie de la lame biréfringente I	$X = a \cos \alpha \cos \omega t$	et	$Y = a \sin \alpha \cos (\omega t - \phi)$

L'analyseur reçoit la projection de chaque vibration (X et Y) transmise par la lame sur la direction de polarisation \vec{OA} inclinée de β par rapport à X, soit au total :

$$a \cos \alpha \cos \beta \cos \omega t + a \sin \alpha \sin \beta \cos (\omega t - \phi)$$

D'après le principe de superposition des ondes, l'amplitude A de l'onde résultante est :

$$A^2 = a^2 (\sin^2 \alpha \sin^2 \beta + \cos^2 \alpha \cos^2 \beta) + 2a^2 \sin \alpha \cos \alpha \sin \beta \cos \beta \cos \phi$$

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

$$I = I_0 \left[\cos^2(\alpha - \beta) - \sin 2\alpha \sin 2\beta \sin^2 \frac{\phi}{2} \right] \text{ (***) vérifiez que vous savez le démontrer avant la séance)$$

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 ϕ "interfèrent" grâce à l'analyseur qui rend leurs directions parallèles.

Un cas particulier important : si $\alpha = 45^\circ$ et $\beta = -45^\circ$ (polariseur et analyseur croisés, à 45° de la lame) :

$$I = I_0 \sin^2 \phi / 2$$

L'état d'interférences est constructif ($I = I_0$) ou destructif ($I = 0$) suivant la valeur de ϕ . Comme ϕ dépend de λ , pour une lame donnée certaines λ donnent des interférences constructives, d'autres destructives. Si la lumière incidente est blanche, la lumière transmise sera colorée, d'une teinte caractéristique de l'épaisseur et de la biréfringence de la lame.

II. Compensateur de Babinet

A. Principe :

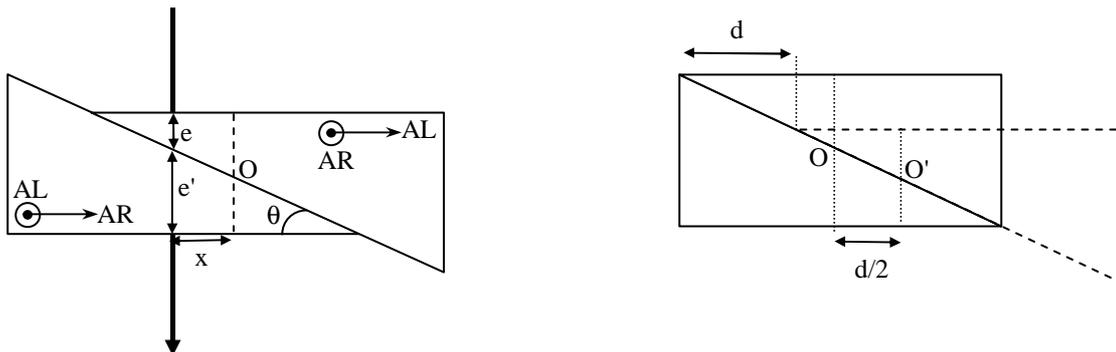
Le compensateur de Babinet permet de mesurer par compensation la différence de marche produite par une lame biréfringente. Il est composé de deux coins de quartz identiques mais avec leurs axes lent et rapide inversés. L'un est mobile par rapport à l'autre.

En un point donné, l'un des coins est assimilable à une lame biréfringente d'épaisseur e et l'autre à une lame biréfringente d'épaisseur e' . Le déphasage total entre deux vibrations orthogonales parallèles aux axes du compensateur de Babinet est donc : $\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} (n_X - n_Y)(e - e')$. A une distance x du point O ($e=e'$) la différence d'épaisseurs des deux coins de quartz est donnée par $e - e' = 2x \operatorname{tg} \theta$, θ étant l'angle au sommet des coins de quartz.

Toute lame biréfringente placée entre polariseur et analyseur croisés donne lieu à des interférences. Avec le compensateur de Babinet, on peut observer sur sa face de sortie des franges rectilignes ($x = \text{Cte}$ pour $\Delta\phi = \text{Cte}$) parallèles à l'arête des coins dont l'intervalle Δx correspond à une variation de différence de marche λ . En déplaçant l'un des coins, on fait varier la position du point O où les épaisseurs e et e' sont égales : les franges défilent 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.

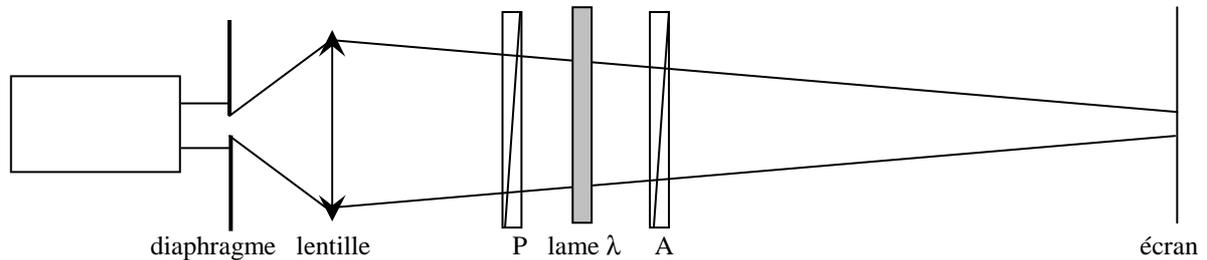
Remarques

- Les axes du Babinet sont verticaux et horizontaux : une vibration rectiligne incidente quelconque se décomposera suivant ces deux axes (en pratique, on polarisera l'onde incidente à 45° de l'horizontale).
- Lorsque l'on déplace l'un des coins du compensateur de Babinet d'une longueur d , la frange centrale se déplace de O en O' (cf figure). L'ensemble des franges se déplace donc de la quantité $OO' = d/2$
- Entre polariseur et analyseur croisés, la frange correspondant au point O (où les épaisseurs e et e' sont égales) est noire ($\Delta\phi = 0$) quelle que soit λ , ce qui permet de la repérer en lumière blanche.



III PARTIE PRATIQUE– Interférences en lumière polarisée

III.1 - lame onde (λ dans le vert)



Faire le montage schématisé ci-dessus.

- Régler les polariseurs P et A croisés. Intercaler la lame λ entre P et A. Faire tourner la lame. Noter les observations faites sur l'écran (teintes) et les expliquer.
- Mêmes questions avec P et A parallèles.

B. Lames quelconques ($\delta = \Delta n e$)

Observer les différents objets sur la table lumineuse, entre P et A parallèles ou croisés. Interpréter les couleurs observées. A quoi est due la biréfringence de ces différents objets ? Applications ?

Un exemple d'application : étude de roches. Observer une lame de roche volcanique (basalte à olivine et pyroxène) avec le microscope Leica, entre polariseur et analyseur parallèles ou croisés (demander à l'enseignant). Tourner aussi la lame dans son plan. Quelles informations peut-on déduire des teintes observées ? (Consulter l'échelle des teintes de Levy).

C. Spectre cannelé d'une lame de quartz

Dans le montage ci-dessus, remplacer la lame λ par la lame de quartz épaisse. Quelle teinte observez-vous en transmission ? Pourquoi ?

On va analyser cette teinte à l'aide d'un spectromètre (utiliser le spectromètre à CCD avec PC) :

- Expliquer les réglages à effectuer sur : les polariseurs P et A, la lame de quartz Q (comment doit-on les orienter ?)
- Observer le spectre "cannelé" à l'aide du spectromètre. Les cannelures correspondent aux radiations λ éteintes dans le spectre. Tout se passe donc comme si la lame de quartz était "onde" pour ces radiations (si P est perpendiculaire à A). Comment s'expriment les valeurs de λ éteintes en fonction des paramètres de la lame ? (***) **y réfléchir avant la séance**)
- Repérer les différentes cannelures en balayant tout le spectre. Noter les longueurs d'onde des radiations éteintes et les incertitudes sur leur repérage
- Connaissant que l'épaisseur e de la lame de quartz (noté dessus), en déduire une mesure de sa biréfringence Δn . Précision. Conclusion.

D. Utilisation du compensateur de Babinet

a) - Etude en lumière quasi-monochromatique (lampe blanche + filtre vert)

- Observer les franges d'interférences en réglant le polariseur et l'analyseur croisé à 45° des axes du Babinet (qui sont horizontal et vertical), dont on projette à l'aide d'une lentille convergente l'image sur un écran. Expliquer la formation des franges et les décrire. Que se passe-t-il si on tourne la vis ?
- Tourner l'analyseur A de 90° . Interpréter les changements observés.

b) Etude en lumière blanche

Retirer le filtre vert. Régler le Babinet 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.

c) Application : mesure de biréfringence

Toujours en lumière blanche, le Babinet placé à 45° de P et A croisés.

- Ajouter une lame onde (pour le vert) entre P et A. La tourner dans son plan. Qu'observez-vous ? Interprétez. Placez un filtre coloré vert et comparez la valeur de l'interfrange au décalage de la frange noire observé précédemment. Interprétez.
- Recommencez la même expérience avec une lame demi-onde (pour le vert). Interprétez.
- Proposez maintenant une méthode de mesure de la biréfringence d'une lame quelconque. Appliquez cette méthode à une lame de mica : mesurez la valeur de $\Delta n \times e$. Précision.