

LE QUARTZ : BIREFRINGENCE et ACTIVITE OPTIQUE

Durée: 3H. Ce T.P. comporte 6 pages.

1. MATERIEL / LOGICIELS DOCUMENTATION

Lampe à incandescence – Laser He-Ne rouge – Laser He-Ne vert – lame de Quartz Q biréfringent (4 mm) – 2 lames de quartz dextrogyre QD (recht, 1,5 mm) – Quartz lévogyre QL (links, 1,5 mm) – Polariseurs - Condenseur - Diaphragme à iris – Lentille 100 mm - Monochromateur Chromex - Micro-ordinateur avec carte d'acquisition - Logiciel Chromex – Logiciel Excel – SimulPhy.

2. INTRODUCTION

Le quartz présente une **biréfringence naturelle** $\Delta n = n_E - n_O$ qui se manifeste particulièrement lorsque la lame a été taillée parallèlement à l'axe optique (Cadre 1 faisceau 1).

Elle est responsable de la différence de marche $\delta = e\Delta n$ entre les faisceaux **ordinaire** (o) et **extraordinaire** (e) qui traversent la lame.

Si la lumière incidente est blanche, δ se manifestera par des interférences constructives (cannelures claires) ou destructives (cannelures sombres) : on observe un **spectre cannelé**.

Nous allons étudier les conditions expérimentales d'obtention d'un spectre cannelé et mesurer la biréfringence Δn .

On explique la biréfringence par l'**anisotropie** du milieu cristallin : des vibrations (o) et (e) de polarisations orthogonales rencontrent des indices de réfractions n_O et n_E différents.

La biréfringence du quartz masque parfois son **activité optique**. Celle-ci se manifeste lorsque la lame est taillée perpendiculairement à l'axe optique (Cadre 1 faisceau 2).

Les corps optiquement actifs (certains cristaux et quelques liquides ou solutions) sont des substances qui, traversées par la lumière polarisée rectilignement, ont la propriété de **faire tourner le plan de polarisation** de la lumière incidente.

Si la lumière incidente est blanche l'activité optique provoque une rotation croissante du plan de polarisation du rouge au violet : on observe une **dispersion rotatoire**.

Nous allons mesurer l'activité optique du quartz pour différentes longueurs d'onde.

On explique l'activité optique des cristaux par l'**asymétrie** de structure (structure hélicoïdale droite ou gauche du quartz), asymétrie moléculaire dans certains liquides (isomères optiques).

Contrairement à la biréfringence (substances anisotropes uniquement), l'activité optique peut affecter des substances isotropes.

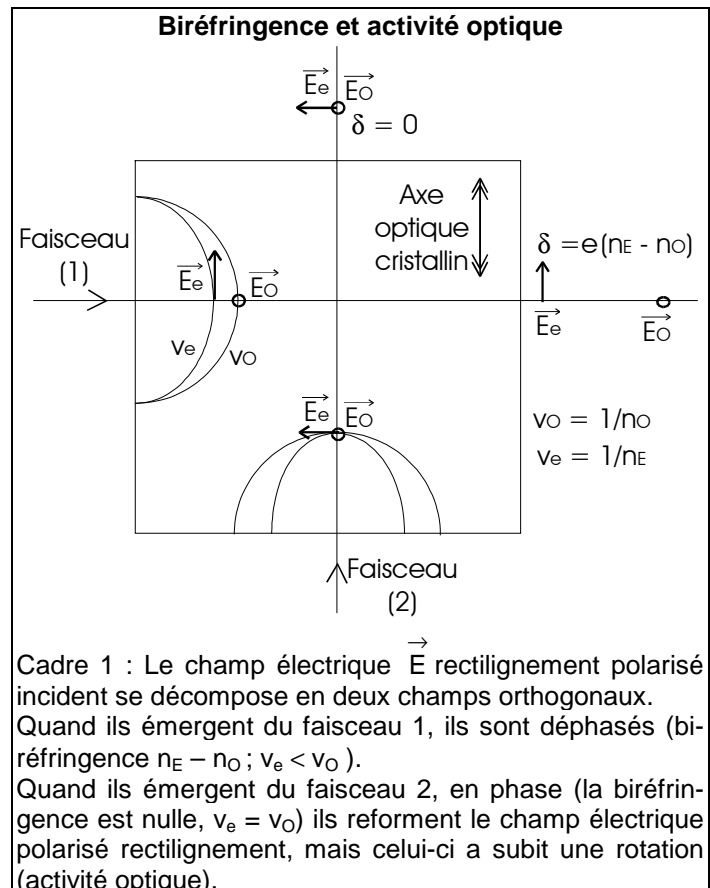
3. BIREFRINGENCE

3.1 Principe :

Entre polariseurs croisés l'intensité lumineuse transmise par un biréfringent (épaisseur $e = 4\text{mm}$, biréfringence Δn) dont les **lignes neutres** sont à 45° des axes des polariseurs, est donnée par:

$$\frac{I}{I_0} = \sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)$$

où $I_0 = I_{\text{MAX}}$ est l'intensité incidente pour la longueur d'onde λ et où $\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} e\Delta n$ est le déphasage entre les deux ondes ordinaire (o) et extraordinaire (e). On peut



exprimer φ en fonction du **nombre d'onde** $\sigma = \frac{1}{\lambda}$:

$$\frac{I}{I_0} = \sin^2(\pi\sigma\delta)$$

On en déduit que les radiations éteintes $I = 0$, sont définies par $\pi\sigma\delta = p\pi$ (p entier), c'est à dire pour les radiations de nombre d'onde :

$$\sigma = \frac{p}{\delta}$$

Ce sont les "**cannelures**" sombres. Deux cannelures successives sont donc caractérisées par des nombres d'onde distants de $1/\delta$.

Conclusion: dans le domaine où la biréfringence peut être considérée comme constante, l'intervalle ou **période** entre deux cannelures sombres (ou claires) successives est :

$$\Delta\sigma = \frac{1}{\delta} \text{ (en mm}^{-1}\text{)}$$

son inverse, la différence de marche δ (en mm), est donc la **fréquence** d'apparition des cannelures sombres (ou claires).

Après acquisition du spectre de la lumière blanche utilisée, pour définir I_0 pour chaque radiation σ , nous ferons l'acquisition de la lumière I transmise par le quartz pour ces mêmes radiations.

Le rapport $\frac{I}{I_0} = \sin^2(\pi\sigma\delta)$ doit apparaître sinusoïdal, périodique, de fréquence δ .

L'analyse de Fourier par **transformation de Fourier rapide** (FFT) donne le spectre en fréquence d'une fonction.

Il nous donnera ici directement la différence de marche $\delta = e\Delta n$ et par suite la biréfringence Δn .

3.2 Acquisition du spectre de la lumière blanche.

Réaliser le montage du Cadre 3.

S : Lampe à incandescence avec condenseur C ;

I : iris; L : lentilles (100 mm);

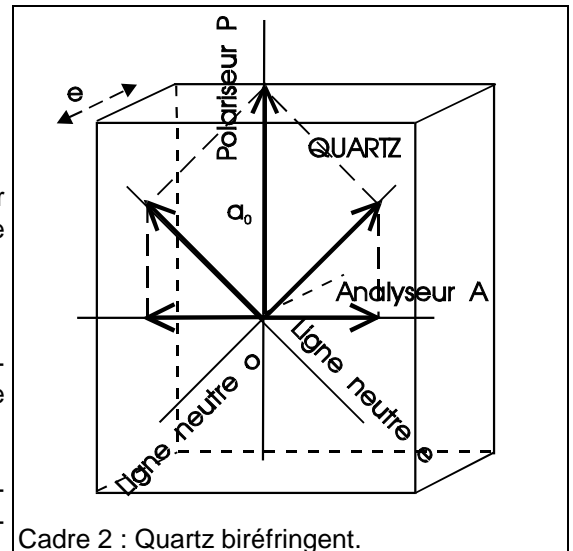
F_E : fente d'entrée du monochromateur.

P et A: polariseurs; Q :lame de quartz (faces parallèles; épaisseur 4mm; axe optique parallèle aux faces);

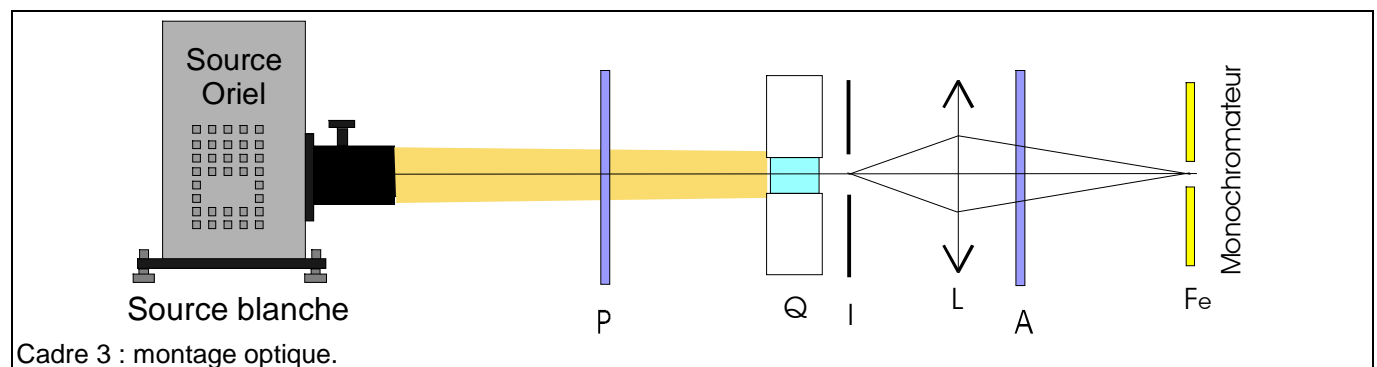
Initialiser le monochromateur. Ajuster la source de lumière blanche et son condenseur pour que le faisceau converge vers Q en restant presque parallèle. P et A sont parallèles pour laisser passer la lumière.

Retirer le quartz. Lancer le logiciel Chromex afin de faire les acquisitions en nombres d'onde. Options: Type d'acquisitions: "biréfringence".

Choisir les paramètres puis enregistrer le spectre de la lumière blanche de $\sigma_1 = 1488 \text{ mm}^{-1}$ ($\lambda_2 = 0,67 \mu\text{m}$ de longueur d'onde) à $\sigma_2 = 2000 \text{ mm}^{-1}$ ($\lambda_1 = 0,50 \mu\text{m}$) au pas (période d'acquisition ou période d'échantillonnage) $d\sigma =$



Cadre 2 : Quartz biréfringent.



Cadre 3 : montage optique.

0,5 mm⁻¹.

On enregistre ainsi 1024 acquisitions.

Pour chaque radiation σ_i , on obtient une tension U_i délivrée par l'amplificateur.

On obtient un fichier A de 1024 points (σ_i, U_i).

Observer le **spectrogramme** $U = f(\sigma)$ construit à partir de ces 1024 points.
Commenter l'allure de ce graphe. Acquisition du spectre cannelé

Insérer la lame de quartz.

Q doit être éclairé par un faisceau incident presque parallèle, en incidence normale.

Rechercher les lignes neutres du quartz : la lumière transmise par Q entre P et A croisés, s'éteint quand les lignes neutres sont parallèles aux "axes" des polariseurs.

Tourner alors les polariseurs de 45° dans le même sens.

Enregistrer le spectre de la lumière transmise entre σ_1 et σ_2 avec le même pas $d\sigma$ que précédemment.

On obtient le fichier B des points (σ_i, U'_i) avec $i = 1$ à 1024.

Observer le spectrogramme $U' = f(\sigma)$.

Montrer et commenter oralement les spectres U et U' :

- Retrouve-t-on dans U le spectre d'émission voisin du corps noir, caractéristique des lampes à incandescence?
- U' est-elle périodique ? Les cannelures dans U' sont-elles bien équidistantes ? Evaluer la période d'apparition des cannelures ; la fréquence.

3.3 Traitement des résultats.

Réaliser le fichier calculé C = B/A des points (σ_i, u_i) avec $u_i = \frac{U'_i}{U_i}$ et $i = 1$ à 1024.

Observer $u = f(\sigma)$. En faire une sortie imprimante.

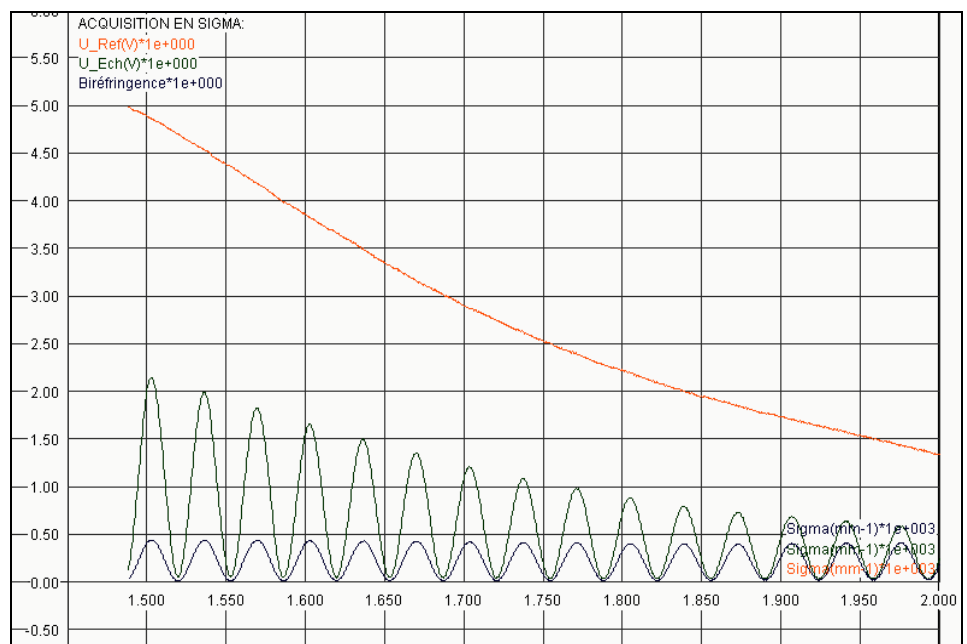
Commenter le graphe. La courbe est-elle sinusoïdale ?

Demander le calcul de la FFT

de la fonction $u = f(\sigma)$. Il permet de trouver (en utilisant l'algorithme FFT) les fréquences δ de la fonction u , ainsi que leur importance relative m .

On obtient le fichier D = FFT(C) des 1024 points (δ_i, m_i).

Rq.: Le tableau D range les 1024 valeurs successives de m . Le 1024^e point correspond à la fréquence d'échantillonnage $\delta_{1024} = 2$ mm. Le premier point correspond à $\delta_1 = \frac{2}{1024}$ mm. m_i est le "poids" de chaque fréquence δ_i comprise entre δ_1 et δ_{1024} .



Cadre 4 : exemple d'acquisition

Représenter $m = f(\delta)$ (appelée FFT = $f(\delta)$).

Faire une sortie imprimante.

Enregistrer votre fichier *BirQ_Nom du groupe.mon*.

En déduire la fréquence δ du principal pic (on cherchera l'abscisse des points qui l'encadrent = les deux points les plus élevés).

Calculer un encadrement pour la biréfringence Δn du quartz.

Pourquoi faut-il faire l'acquisition du spectre de référence en présence des polariseurs et des lentilles ?

4. ACTIVITE OPTIQUE

4.1 Lois de Biot.

L'angle α de rotation du plan de polarisation (Cadre 5) est proportionnel à l'épaisseur e traversée :

$$\alpha = [\alpha]e \quad (1^{\text{ère}} \text{ loi})$$

$[\alpha]$ est le pouvoir rotatoire spécifique (en rad/m ou d°/mm ou d°/dm).

En outre, Biot a montré que le pouvoir rotatoire spécifique dépend fortement de la longueur d'onde : il y a **dispersion rotatoire**.

$$[\alpha] = \frac{A}{\lambda^2} \quad (2^{\text{ème}} \text{ loi})$$

Enfin, le sens de rotation du plan de polarisation ne dépend pas du sens de propagation de la lumière dans le milieu (« effet symétrique ou réciproque »).

Remarques importantes :

1) Dans le cas de solutions diluées, l'angle α est proportionnel à la concentration C (en kg/m^3 ou g/cm^3) de la solution :

$$\alpha = [\alpha_c]eC \quad (3)$$

$[\alpha_c]$ est le pouvoir rotatoire du soluté

2) Le plan de polarisation de la lumière qui traverse certains matériaux (flint, eau, chlorure de sodium, quartz) peut tourner lorsqu'ils sont soumis à un fort champ magnétique longitudinal. C'est l'**effet Faraday**, sorte d'activité optique provoquée. (Applications importantes dans les isolateurs optiques et modulateurs optiques.)

L'effet Faraday est asymétrique (non réciproque).

3) Il ne faut pas confondre l'activité optique ou l'effet Faraday avec l'action d'une **lame $\lambda/2$** liée à la biréfringence de la lame demi-onde.

4) On convient de dire que le matériau Q est **dextrogyre** si l'observateur qui reçoit la lumière voit tourner la vibration dans le sens des aiguilles d'une montre ou "à droite" (Cadre 6). Dans le cas contraire il est **lévogyre**.

4.2 Principe de la mesure

On étudie le coefficient de transmission du quartz dextrogyre placé entre P et A. Initialement P et A sont croisés ($A \perp P$).

Les radiations λ incidentes sont polarisées par P, une radiation qui ne tourne pas, après passage à travers QD, est croisée avec A et ne passera pas (absorbée par A).

Si on tourne A d'un angle α , c'est la radiation qui a tourné de α qui sera arrêtée par A (Cadre 5).

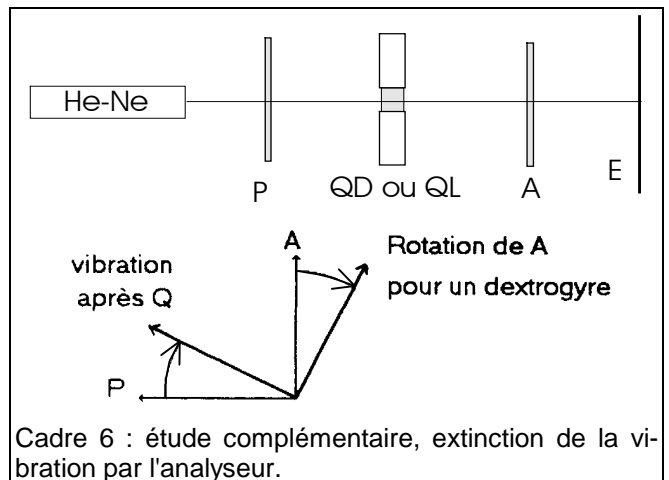
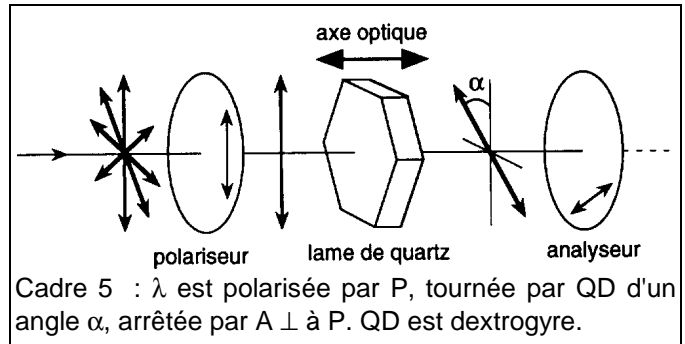
Partant de $A \perp P$, on donnera à α différentes valeurs entre 50 et 100°. On représentera dans chaque cas le graphe du coefficient de transmission en fonction de λ . On en déduira pour chaque valeur de α , la radiation λ arrêtée par A.

4.3 Acquisition du spectre de la lumière blanche.

Le logiciel Chromex fera les acquisitions en longueurs d'onde. (Options: Type d'acquisitions : D.O et Coef d'absorption). Reprendre le montage du Cadre 3. En l'absence du quartz, P et A étant parallèles, enregistrer la référence (lumière blanche). La tension U en fonction de λ sera enregistrée dans le fichier "référence" pour un scan entre 430 et 730 nm par pas de 1 nm (fentes larges ≈ 150 ou $200\mu\text{m}$).

QD est formé de **deux lames** de quartz dextrogyres ("recht") chacune d'épaisseur 1,5 mm ($e = 3$ mm) dont les faces sont perpendiculaires à l'axe optique.

Placer QD entre P et A croisés ($A \perp P$).



Veillez à placer QD **normalement au faisceau incident** (on peut se servir du faisceau réfléchi par QD pour bien le positionner).

Faire une acquisition dans les mêmes conditions du fichier "échantillon".

Demander le calcul du **coefficient de transmission**. Observer les graphes, quelles sont les couleurs les moins bien transmises ?

Montrer le montage et les acquisitions.

4.4 Etude de la dispersion rotatoire.

Tourner l'analyseur d'un angle $\alpha = 50^\circ$ dans le **sens dextrogyre** par rapport à la position initiale.

Réaliser le scan de 430 à 730 nm.

Enregistrer le fichier *QD50_Nom groupe.mon*.

Rechercher sur le graphe du coefficient de transmission la longueur d'onde λ dont la transmission est minimum.

Recommencer pour d'autres valeurs de α entre 50 et 100° (attention au sens de rotation).

Compléter le tableau de résultats :

α (°)	50°	60°	70°	80°	90° *	100°
λ (µm)						
Couleur						

* quand A a tourné de $\alpha = 90^\circ$, il est // à P.

Rq : on prendra 25°, 30°, 40°, 50° et 60° si on travaille avec une seule lame (1,5 mm d'épaisseur).

Faire une sortie imprimante d'un exemple bien choisi de courbe de transmission.

Tracer α en fonction de $1/\lambda^2$. Tracer la DMC.

Rechercher la pente a et son intervalle de confiance. Montrer que $a = Ae$. En déduire la constante A (2ème loi). On prendra $e = 3,0$ mm (2 lames).

Calculer $[\alpha]$ à 589 nm. Comparer à la valeur $21,5^\circ$ par mm (pour le jaune du sodium) trouvée dans les livres.

4.5 Etude complémentaire : le pouvoir rotatoire (facultatif).

Réaliser un deuxième montage optique comme indiqué Cadre 6.

Utiliser un laser rouge (632,8 nm) et deux polariseurs P et A croisés ($A \perp P$).

QD ou QL est une lame de quartz de 1,5 mm d'épaisseur dont les faces sont perpendiculaires à l'axe optique.

Assurez-vous que **l'incidence est normale**.

Tourner QD sur lui-même (P et A toujours croisés). Peut-on obtenir l'extinction ?

Tourner A d'un angle α_R pour retrouver une extinction (presque totale). Mesurer α_R avec précision. α_R est-il droit ou gauche ?

Retourner la lame QD face pour face. L'angle α_R a-t-il changé de sens ? a-t-il changé de valeur ?

Recommencer avec un laser vert (543,5 nm). Mesurer α_V . Vérifier que : $\frac{\alpha_V}{\alpha_R} = \left(\frac{\lambda_R}{\lambda_V}\right)^2$.

Utiliser deux lames QD en série. Mesurer α_V .

Remplacer la lame QD par une lame QL. Mesurer α_V .

Y a-t-il des lignes neutres ?

La rotation du plan de polarisation est-elle symétrique (quand on retourne la lame) ?

Les lois de Biot sont-elles vérifiées ?

Calculez $[\alpha]$ pour $\lambda = 543,5$ nm.

En déduire $[\alpha]$ à 589 nm.

NOMS :

Date :

.....

.....

FEUILLE A RENDRE AVEC LE COMPTE-RENDU

BAREME CORRECTION

§	Travail à faire	A noter sur place	A noter à l'écrit
3.2	Montage	___/4	
	Spectre de la lumière blanche – Spectre cannelé.		
3.2 et 3.3	BirQ.mon		___/2
	Exploitation des résultats – Réponses aux questions		___/4
4.2 et 4.3	Montage	___/4	
	Acquisitions		
4.4	QD50.mon		___/2
	Tableau des résultats – Exploitation – réponse aux questions		___/4
4.5	Etude complémentaire (facultative)		___/2
<p>Le travail « à noter sur place » doit être impérativement montré avant la fin de la séance. Le compte-rendu doit être présenté lors de la prochaine séance de TP Remarques:</p>		Total	___/20