

MP 13 : Biréfringence, pouvoir rotatoire

Stéphanie Lockhart, Typhaine Déchelette

14/11/2013

Bibliographie

- [1] G. Bruhat. *G. Bruhat. Cours d'optique à l'usage de l'enseignement supérieur*. 1930.
- [2] R. Duffait. *Expériences d'optique : agrégation de sciences physiques*. Bréal, 1997.
- [3] J.F.L. Maréchal and R. Barbe. *La chimie expérimentale : Tome 2, Chimie organique et minérale*. CAPES et agrégation de sciences physiques. Dunod, 2007.
- [4] Sextant. *Optique expérimentale*. Collection Enseignement des sciences. Editions Hermann, 1997.

Rapports de jurys

- 2013** Le candidat doit être capable d'expliquer le principe physique des protocoles utilisés pour l'étude de la biréfringence d'une lame mince. Le jury attend des mesures quantitatives avec confrontation aux valeurs tabulées. Une connaissance minimale des milieux anisotropes est indispensable.
- 2012, 2011** Le jury a vu de bons montages sur ce sujet. Cependant, la signification de certains termes comme lame taillée parallèlement ou perpendiculairement à l'axe, ou encore lignes neutres, doit être connue.
- 2008** Les notions d'axe optique et de lignes neutres sont trop mal connues.
- 2002** Il ne suffit pas de connaître tous les gestes à effectuer et le matériel à utiliser. Par exemple, en optique cristalline, de beaux spectres cannelés ont été observés alors que le candidat avait du mal à différencier, au moins qualitativement, milieux uniaxes et milieux biaxes, et à donner un sens à la phrase « tailler dans un quartz parallèlement à l'axe ».

Table des matières

1	Biréfringence	2
1.1	Mise en évidence avec un rhomboèdre de spath	2
1.2	Mesure de la biréfringence d'une lame "épaisse" de quartz	2
1.3	Mesure de l'épaisseur d'une lame "mince" de quartz avec un compensateur de Babinet	5
2	Polarisation rotatoire	8
2.1	Mise en évidence	8
2.2	Dispersion rotatoire du quartz	9

Remarques générales :

- Attention, penser à rallumer la lumière une fois qu'on a manipulé, ne pas laisser tout le monde dans le noir pendant les explications...
- Organiser la paillasse de façon à ne pas manipuler dos au jury.

Introduction

On a l'habitude d'étudier les milieux linéaires, homogènes et isotropes. Dans ce montage, on s'intéresse aux milieux linéaires, homogènes mais **anisotropes**. La réponse du milieu dépend alors de la **polarisation de l'onde incidente**.

Nous allons étudier deux phénomènes :

- la **biréfringence** qui est une double réfraction de la lumière dans le milieu (l'onde voit deux indices optiques différents et se propage donc à deux vitesses différentes dans le milieu)
- la **polarisation rotatoire** qui se manifeste par une rotation de la direction de polarisation de l'onde incidente à la traversée d'un milieu ayant un pouvoir rotatoire.

Idées phares du montage :

- Caractéristiques des matériaux concernés, importance de la façon dont sont taillées les lames.
- Comprendre les différences et les similitudes entre les deux phénomènes.

Le fil conducteur que nous avons choisi est la comparaison entre les deux phénomènes : nous allons présenter la biréfringence et en arrivant à la polarisation rotatoire, nous reprendrons pas à pas chaque critère pour les comparer. C'est la raison pour laquelle nous travaillerons sur du quartz tout du long.

1 Biréfringence

1.1 Mise en évidence avec un rhomboèdre de spath

Un rhomboèdre de spath se présente comme une lame épaisse à faces parallèles ; l'axe optique est dirigé approximativement suivant la plus petite diagonale du cristal.

Expérience : [2, p. 143] Faire l'image d'un diaphragme sur l'écran et placer, avant la lentille de projection, le rhomboèdre.

- Utiliser le spath *p7.53* qui donne une image ordinaire plus "fixe" que l'autre rhomboèdre disponible dans la collection.
- Pour séparer les deux images, diminuer la taille du diaphragme.

Observations :

1. On observe deux images : inhabituel. La lumière "voit" deux indices optiques différents, il y a donc deux réfractions.
2. Faire tourner le rhomboèdre dans son plan. : une fixe correspondant au rayon ordinaire et une qui tourne autour de l'image fixe correspondant au rayon extraordinaire
3. Ajouter un analyseur et montrer que les deux images ont des polarisations croisées (on éteint une image puis l'autre 90° plus loin).

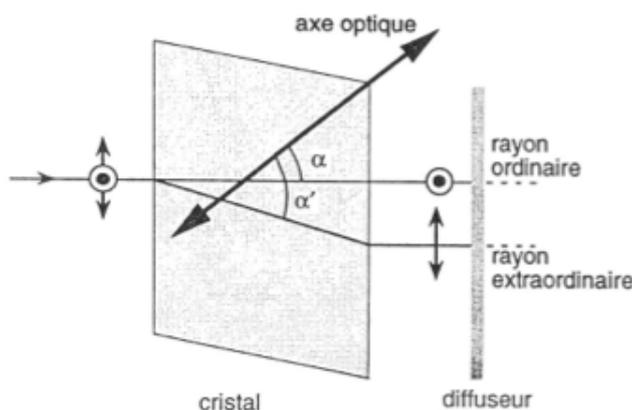


FIGURE 1 – Détermination des directions de propagation et de polarisation des faisceaux ordinaire et extraordinaire dans un cristal de spath. Source : [4]

1.2 Mesure de la biréfringence d'une lame "épaisse" de quartz

On parle de lame épaisse par opposition aux lames minces pour lesquelles la séparation spatiale entre rayon ordinaire et extraordinaire est négligeable (cf. [4, p. 285]). Une lame mince ne permettra d'observer un spectre cannelé tandis qu'une lame épaisse oui.

On travaille ici sur une lame de quartz taillée parallèlement à l'axe optique (i.e. l'axe optique est contenu dans un plan parallèle aux faces). On utilise un éclairage en lumière blanche parallèle. En effet, on se place ainsi à angle d'incidence constant ce qui simplifie le problème puisque les indices optiques vus par l'onde dans le milieu dépendent de sa direction d'incidence.

Expérience : Mise en évidence des lignes neutres ([2, p. 144])

1. Croiser (P) et (A), placer la lame entre (P) et (A), faire l'image de la lame sur l'écran.
2. Tourner la lame dans son plan.

Observations

1. On voit la lumière réapparaître.
2. Il existe deux positions perpendiculaires qui rétablissent l'extinction : ce sont les *lignes neutres* de la lame. Elles sont perpendiculaires entre elles.

Lorsqu'une ligne neutre de la lame est parallèle à la direction du polariseur, la polarisation de la lumière est inchangée par la traversée de la lame et est donc coupée par l'analyseur en sortie.

En général, l'onde incidente, polarisée rectilignement suivant la direction de (P) est décomposée en deux ondes de polarisations parallèles aux lignes neutres à l'entrée de la lame. Ces deux ondes voyagent dans la lame à des vitesses différentes puis leur polarisation est projetée sur la direction de (A) en sortie. D'où le fait qu'on observe de la lumière en introduisant la lame entre (P) et (A) croisés.

Expérience : Spectre cannelé ([4, p. 290])

1. Retirer la lame et mettre un PVD.
2. Remettre la lame en plaçant ses lignes neutres à 45° de (P) et (A).
3. Faire tourner la lame et observer.
4. Remettre la lame à 45° puis faire tourner l'analyseur et observer.

Recommandations :

- Utiliser les lames de quartz taillées parallèlement de 1,53mm ou de 4mm^a.
- Prendre une fente bien fine et bien plane.
- Former l'image de la fente sur un écran situé assez loin pour avoir une image bien grande.
- Pour obtenir un spectre cannelé de bonne intensité, jouer sur le réglage de la QI, la taille de la fente, la position des lignes neutres de la lame et celle du PVD.

a. C'est bien de mettre la 1,53 puis la 4mm. La première donne un très beau spectre cannelé avec le PVD, il est moins visible avec la seconde (cannelures plus serrées). Par conséquent, mettre rapidement en évidence les cannelures avec la lame de 4mm et tout de suite passer sur *Spid HR* et faire observer qu'en augmentant l'épaisseur de la lame on augmente le nombre de cannelures (sera repris en sens inverse dans la transition vers la mesure de l'épaisseur d'une lame mince)

Observations

1. On observe un magnifique spectre continu de la lumière blanche.
2. On observe un spectre cannelé c'est-à-dire un spectre continu dont certaines longueurs d'onde sont absentes.
3. Quand on tourne la lame, on joue sur le contraste de la figure obtenue. Si une des lignes neutres est parallèle à la direction passante de (P), on observe une extinction en sortie, si elle est parallèle à la direction de (A), on observe un spectre continu (un seul rayon en sortie).
4. Quand on tourne l'analyseur, on voit les cannelures se brouiller, disparaître pour une rotation de $\alpha = 45^\circ$ - (A) est alors parallèle à une des lignes neutres et on retrouve le spectre continu de la lumière blanche. Quand on continue à tourner, on voit des cannelures réapparaître avec un maximum d'intensité obtenu pour un angle de rotation de 90°. Ces cannelures ne sont plus à la même position : elles ont pris la place des raies colorées du spectre de départ et réciproquement.

Analyse La lumière entre dans la lame, polarisée rectilignement suivant la direction de (P). Elle est projetée sur les deux lignes neutres où elle voit deux indices différents (n_o et n_e). Cette différence d'indice crée un déphasage entre le rayon ordinaire et le rayon extraordinaire. La différence de marche introduite par la lame d'épaisseur e s'écrit ainsi :

$$\delta = (n_o - n_e).e = \Delta n.e \tag{1}$$

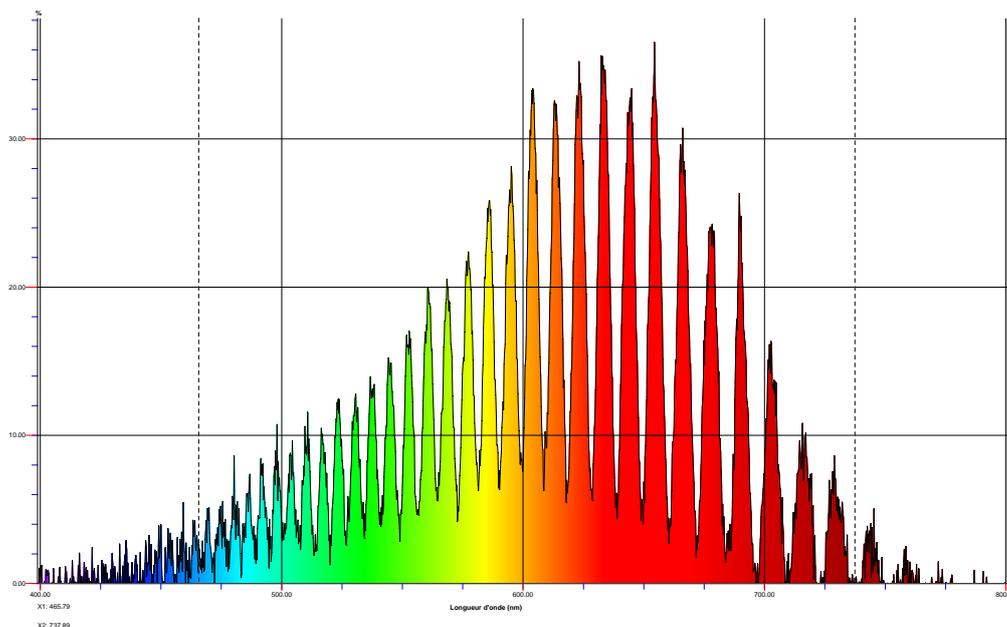


FIGURE 2 – Spectre cannelé obtenu avec une lame de quartz taillée parallèlement à l’axe optique d’épaisseur $e = 4mm$

L’analyseur reprojette ensuite les deux rayons suivant sa direction passante. L’amplitude résultante dépend donc du déphasage : il y a interférences. Il faut bien comprendre que deux vibrations de polarisations différentes ne pourront interférer que parce que l’analyseur les reprojette sur une même direction. On comprend donc que si l’une des lignes neutres est parallèle à la direction passante de (A), un seul rayon est transmis et il n’y a pas d’interférence, d’où le spectre continu observé. L’intensité obtenue en sortie s’écrit (cf. [2, p. 146] pour les calculs) :

$$I = I_0 \sin^2 \left(\frac{\phi}{2} \right) = I_0 \sin^2 \left(\frac{\pi \delta}{\lambda} \right) = I_0 \sin^2 \left(\frac{\pi \Delta n \cdot e}{\lambda} \right) \quad (2)$$

Les longueurs d’onde éteintes correspondent à des interférences destructives donc à un déphasage :

$$\frac{\pi \Delta n \cdot e}{\lambda} = p \cdot \pi \Leftrightarrow \boxed{\Delta n \cdot e = p \cdot \lambda} \quad p \in \mathbb{N} \quad (3)$$

Dans la configuration où on a fait tourner (A) d’un angle $\alpha = 90^\circ$ depuis la position croisée, on a un déphasage de π supplémentaire, les interférences qui étaient destructives initialement deviennent constructives et réciproquement. En effet on a alors $I = I_0 \sin^2((\phi + \pi)/2)$.

Transition : On souhaite mesurer la biréfringence Δn du quartz, connaissant l’épaisseur de la lame. Pour pouvoir mesurer des longueurs d’onde, nous allons utiliser *Spid HR*.

Expérience : Spectre cannelé (suite) ([4, p. 290]) Remplacer le PVD par *Spid HR* et utiliser les curseurs pour lire la longueur d’onde correspondant à deux longueurs d’onde éteintes λ_1 et λ_2 . Compter le nombre p de cannelures comprises entre ces deux longueurs d’onde (y compris celles correspondant aux longueurs d’onde repérées).

Remarque : Pour vérifier qu’il est étalonné prendre un spectre interférentiel connu et vérifier que le lambda mesuré est cohérent.

Si le spectromètre n’est pas étalonné, prendre deux filtres interférentiels de longueurs d’onde connues et superposer leurs spectres propres au spectre cannelé. La difficulté est alors que ces λ peuvent ne pas correspondre à des cannelures et leur comptage peut être un peu plus compliqué (cf. [4, p. 291] pour plus de détails).

Analyse Résultats obtenus en préparation : $p = 24$ $\lambda_1 = 710 \pm 1nm$
 $e = 4,00 \pm 0,25mm$ $\lambda_2 = 501 \pm 1nm$

On montre que la biréfringence Δn cherchée est donnée par :

$$\Delta n = \frac{p}{e} \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \quad (4)$$

L'incertitude dominante est celle sur l'épaisseur de la lame. On calcule donc ¹ :

$$\sigma(\Delta n) = \frac{\sigma(e)}{e} \Delta n \quad (5)$$

On obtient donc : $\Delta n = 0,0102 \pm 0,0006$. A comparer aux valeurs tabulées données par [2, p. 154] : $\Delta n = 0,009044$ à $700nm$ et $\Delta n = 0,009504$ à $400nm$. On a donc trouvé une valeur de la biréfringence différant de 10% de la valeur moyenne de ces deux valeurs tabulées.

Discussion sur les incertitudes

- La limite de résolution de *Spid HR* est de $\Delta\lambda = 1nm$. Suivant les cannelures considérées, l'incertitude sur la lecture de leur position peut être un peu plus grande (notamment dans le rouge).
- L'incertitude sur λ pour un filtre interférentiel est plutôt de l'ordre de $\Delta\lambda = 5nm$.
- L'épaisseur de la lame est la principale source d'incertitudes ici. On peut raisonnablement penser qu'elle est au moins de $\Delta e = 0,01mm$ vu le nombre de chiffres significatifs donnés sur les lames ($1,53mm$ par exemple). En réalité, nous nous sommes convaincues que l'incertitude devait être plutôt de l'ordre de $\Delta e = 0,25mm$.

Transition : Nous voulons à présent étudier des lames "minces" de quartz.

Expérience : lame mince de quartz ([2, p. 147])

1. Remplacer la lame épaisse de quartz par une lame mince (dans l'autre boîte de lames cristallines) de quartz, toujours taillée parallèlement à l'axe optique et d'épaisseur $e = 60\mu m$. Placer ses lignes neutres à 45° de (P) et (A). Observer.
2. Faire tourner l'analyseur jusqu'à obtenir la couleur complémentaire.

Observations :

1. On observe une couleur interférentielle correspondant aux teintes de Newton et plus du blanc d'ordre supérieur.
2. Si (P) et (A) sont parallèles au lieu d'être croisés, on observe la couleur complémentaire.

Si on place un PVD on n'observe qu'une seule cannelure dans le visible, la méthode utilisée ne peut fonctionner pour une lame "mince"

Transition : Il n'est plus possible d'obtenir un spectre cannelé pour déterminer les caractéristiques de la lame (épaisseur ou biréfringence). Nous allons présenter une autre méthode permettant de vérifier l'épaisseur de la lame mince de quartz, supposant sa biréfringence connue.

1.3 Mesure de l'épaisseur d'une lame "mince" de quartz avec un compensateur de Babinet

Un compensateur de Babinet est constitué de deux prismes de quartz taillés parallèlement à l'axe optique. Les axes optiques des deux quartz sont orthogonaux entre eux. La direction de polarisation ordinaire du premier prisme correspond ainsi à la direction de polarisation extraordinaire du second prisme.

Si on considère un rayon qui traverse les deux épaisseurs e_1 et e_2 , la différence de marche totale s'écrit :

$$\delta = (n_e - n_o)e_1 + (n_o - n_e)e_2 \quad (6)$$

Nous voyons ainsi que pour le rayon central, $e_1 = e_2$ et $\delta = 0$. Le déphasage entre le rayon ordinaire et le rayon extraordinaire introduit par le premier prisme est exactement compensé par le second si la lumière traverse la même épaisseur de chacun des blocs. Si on ajoute une lame mince sur le trajet de la lumière,

1. Des précédents rapports de leçon avaient laissé entendre qu'il convenait d'utiliser la formule complète de majoration de l'erreur faisant intervenir les dérivées partielles. On trouve bien entendu un résultat semblable en l'appliquant ici.

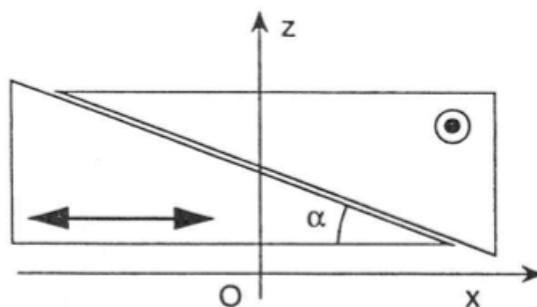


FIGURE 3 – Compensateur de Babinet. En pratique α vaut typiquement 1° . Source : [4]

on va pouvoir en déduire la différence de marche supplémentaire que cela crée...

Expérience : Compensateur de Babinet [2, p. 149] et [4, p. 292]

1. Eclairer le compensateur en lumière (monochromatique) parallèle et former son image sur l'écran.
2. Placer (P) et (A) croisés.
3. Tourner le compensateur pour trouver les directions des lignes neutres : à l'extinction, elles sont confondues avec les directions de (P) et (A).
4. Tourner le compensateur de 45° . (En fait, s'arranger pour avoir le compensateur horizontal et tourner l'ensemble (P) et (A), c'est un peu sportif!)

Recommandations :

- Utiliser l'écran dépoli millimétré pour avoir des repères verticaux sur lesquels aligner les franges d'interférence
- Ne pas placer le Babinet trop près du polariseur. Bloquer sa rotation en vissant la bague.
- Former l'image des réticules en lumière blanche sans l'analyseur et marquer la position des réticules au feutre sur le dépoli (il ne faut plus bouger les différents éléments conjugués ensuite, ce qui n'est pas évident...).

Observations : On observe des franges d'interférence rectilignes : la frange centrale est noire et, de part et d'autre, les franges sont irisées suivant les couleurs de l'échelle de Newton. Ce sont les franges d'égale épaisseur du compensateur, analogues aux franges du coin d'air. Elles sont localisées sur le compensateur, d'où la nécessité d'en former l'image.

Principe de la méthode : Si on ajoute une lame cristalline dont les axes sont dirigés suivant les lignes neutres du compensateur, on introduit une différence de marche supplémentaire : la figure d'interférence est déplacée. On translate alors une des lames du Babinet d'une distance d telle que l'on retrouve la figure d'interférence initiale i.e. telle que le Babinet "compense" la différence de marche introduite par la lame.

Transition : On a besoin de connaître la correspondance entre un déplacement mécanique d et la différence de marche δ .

Expérience : Etalonnage du compensateur ([2, p. 150])

1. Placer un filtre interférentiel de longueur d'onde λ_0 connue.
2. Amener un réticule sur le bord d'une frange sombre. Noter la position d_1 du vernier.
3. Translater une des lames (charioter) pour décaler le système de franges de quelques interfranges (en pratique 4 ou 5). Noter le déplacement d_2 lu sur le vernier.
4. Mesurer l'amplitude du déplacement pour lequel on juge avoir toujours atteint la frange suivante.

Recommandations :

- Utiliser le filtre interférentiel numéro 8 à $\lambda = 546 \pm 5nm$.
- La lecture sur le vernier est un peu sportive : lire de gauche à droite. A gauche du zéro, ce sont les valeurs négatives et le nombre de centième lu sur la molette est à retrancher à 100. En revanche, pas de problème pour les valeurs positives.



FIGURE 4 – Montage du compensateur de Babinet entre polariseur et analyseur croisés. La lentille ($f' = 20\text{cm}$) est un achromat pour former l'image des réticules sur l'écran.

Observations et résultats obtenus en préparation :

1. On observe des franges monochromatiques.
2. On note $d_1 = -17,16\text{mm}$.
3. On note $d_2 = 7,78\text{mm}$ pour un déplacement de 5 franges.
4. On mesure $\sigma(d) = 0,97\text{mm}$

Le déplacement d correspondant à une différence de marche $\delta = 5\lambda$ est donné par $d = |d_1 - d_2| = 24,94\text{mm}$. Pour une différence de $\delta = \lambda$, on trouve donc $d_{et} = d/5 \pm \sigma(d)/5 = 5,0 \pm 0,2\text{mm}$. Sur la boîte, l'étalonnage indiqué est $d'_{et} = 5,49\text{mm}$ pour $\lambda' = 589,3\text{nm}$. C'est un λ différent de celui que nous avons utilisé, on ne peut donc comparer que les rapports :

$$\frac{\lambda}{d_{et}} = 1,09 \times 10^{-4} \quad \frac{\lambda'}{d'_{et}} = 1,07 \times 10^{-4}$$

Notre étalonnage est donc en accord à 2% près avec celui indiqué sur la boîte.

Expérience : Mesure de l'épaisseur de la lame [2, p.150]

1. Enlever le filtre interférentiel et remettre la frange noire entre les réticules. Noter la valeur d_{ref} de la position sur le vernier.
2. Introduire la lame mince avant ou après le compensateur.
3. Faire tourner la lame dans son plan afin que les lignes neutres soient parallèles à celles du compensateur.
4. Charioter de manière à ramener la frange noire au centre et noter le déplacement d_{fin} correspondant.

Observations et résultats obtenus en préparation :

1. On note $d_{ref} = 1,36\text{mm}$. C'est la position correspondant à une différence de marche nulle.
2. Le système d'interférence doit se déplacer.
3. On observe plusieurs situations :
 - les lignes neutres de la lame sont parallèles ou perpendiculaires à (P) et (A) : les franges sont les mêmes qu'en l'absence de lame (la frange centrale noire reste entre les réticules).
 - les lignes neutres sont à 45° de (P) et (A) : les franges sont décalées d'un côté ou de l'autre des réticules suivant que les axes rapides (ou lents) de la lame et du Babinet coïncident ou non.
4. On note $d_{fin} = 7,07\text{mm}$.

On calcule donc un déplacement dû à la lame $d_L = d_{fin} - d_{ref} = 5,7 \pm 1mm$. L'épaisseur de la lame est alors donnée par :

$$e = \frac{\delta_L}{\Delta n} = d_L \frac{\lambda}{d_{et}} \frac{1}{\Delta n} = 61 \pm 17\mu m$$

On a pris ici la valeur de Δn mesurée expérimentalement. Si on prend la valeur théorique, on trouve $e = 67 \pm 18\mu m$. On obtient donc des valeurs compatibles avec l'épaisseur annoncée sur la lame. Il faut savoir que cette expérience est tout de même très sensible, tout bouge lorsqu'on s'appuie sur la table, la position des franges par rapport aux réticules artisanaux n'est pas évidente à déterminer, bref, on obtient des résultats étonnamment bons !

2 Polarisation rotatoire

La polarisation rotatoire (ou activité optique) est une propriété que possèdent certains composés (dits actifs) de faire tourner la direction de polarisation d'une onde lumineuse.

Remarques

1. C'est un effet BEAUCOUP plus FAIBLE que la biréfringence. Dans les matériaux où les deux effets se manifestent (le quartz par exemple), utiliser des lames taillées perpendiculairement à l'axe optique pour s'affranchir de la biréfringence.
2. Le *pouvoir rotatoire* est un nombre quantifiant un phénomène, la polarisation rotatoire.

2.1 Mise en évidence

Cette expérience peut être exploitée plus qu'elle ne l'a été pendant la présentation ou... abandonnée purement et simplement vu la densité de ce qui vient après !

Expérience : [3, p. 19]

1. Placer une solution de glucose dans une cuve transparente entre (P) et (A) croisés.
2. Eclairer en lumière blanche avec un filtre vert.
3. Retrouver l'extinction en tournant (A). Noter l'angle dont on tourne (A).
4. Pivoter la cuve d'un quart de tour et refaire la mesure.
5. Utiliser éventuellement des solutions de différentes concentrations et refaire la mesure.
6. Enlever le filtre et montrer qu'on ne peut plus retrouver l'extinction.

Recommandations :

- Attention, le sucre (si c'est du saccharose que l'on souhaite étudier) met beaucoup de temps à se dissoudre dans l'eau : anticiper !
- Penser à allumer le laser (si on ne souhaite faire l'expérience qu'en lumière monochromatique) en avance pour qu'il chauffe, sinon, on voit la polarisation des différents modes...

Observations qualitatives

1. On voit de la lumière réapparaître, comme en biréfringence.
2. La polarisation a tourné lors de la traversée de la solution.
3. On montre la dépendance dans la longueur ℓ de solution traversée.
4. On montre la dépendance dans la concentration c de solution traversée.
5. On ne peut plus obtenir d'extinction : le pouvoir rotatoire dépend de la longueur d'onde.

On met ici en évidence de manière qualitative la loi de Biot donnant le pouvoir rotatoire α (c'est-à-dire l'angle dont il faut tourner (A) pour rétablir l'extinction) en fonction de la longueur ℓ (en **dm**) de solution traversée et de sa concentration c (en g/mL) :

$$\alpha = \ell \times c \times [\alpha]_D^{25} \quad (7)$$

où $[\alpha]_D^{25}$ est le pouvoir rotatoire spécifique dépendant de la température (ici $25^\circ C$) et de la longueur d'onde (ici la raie D du sodium à $589,3nm$.)

2.2 Dispersion rotatoire du quartz

On utilise ici une lame épaisse de quartz taillée **perpendiculairement** à l'axe optique. On ne peut donc pas voir de biréfringence avec cette lame si elle est éclairée en incidence normale.

Expérience : Influence de la longueur d'onde ([2, p.170])

1. Eclairer en lumière à peu près parallèle (QI+AC) la lame de quartz entre (P) et (A) croisés et en former l'image.
2. Ajouter un filtre interférentiel (F) de longueur d'onde λ connue.
3. Mesurer l'angle α dont il faut tourner (A) pour rétablir l'extinction.
4. Recommencer la mesure pour d'autres filtres et tracer α en fonction de $1/\lambda^2$.

Remarques et résultats

1. Il est important de travailler en incidence normale pour ne voir QUE de la polarisation rotatoire.
2. Les longueurs d'onde des filtres interférentiels sont connues à $\Delta\lambda = 5nm$.
3. Si l'image est trop peu lumineuse, regarder à travers l'ensemble pour retrouver l'extinction.
4. On obtient une droite du type $\alpha = A/\lambda^2 + B$.

Voir dans [1, p. 607] pour une discussion sur ce résultat. Il ne s'agit pas d'une loi de Cauchy.

Expérience : Observation en lumière blanche ([2, p.171]) Enlever le filtre interférentiel et observer ce qui se passe en tournant (A), en tournant la lame.

Observations et analyse : On observe une image colorée dont la teinte change en tournant (A). La rotation du plan de polarisation dépend en effet de la longueur d'onde et l'analyseur éteint la vibration qui se trouve perpendiculaire à sa direction passante, donc une longueur d'onde particulière. En revanche, il ne se passe rien lorsqu'on tourne la lame autour de son axe, il n'y a pas de lignes neutres en polarisation rotatoire.

Mais que se passe-t-il en polarisation rotatoire ? *Nous nous sommes posé pas mal de questions pour lesquelles voici quelques éléments de réponse.*

Que se passe-t-il dans le cristal ? L'onde polarisée rectilignement par le polariseur (P) se propage dans le cristal en se décomposant suivant une circulaire gauche et une circulaire droite. Ces deux polarisations circulaires se propagent à des vitesses différentes **comme si** elles voyaient des indices optiques différents. A la sortie du cristal, on retrouve une onde polarisée rectilignement mais dont la direction a tourné d'un certain angle. Ce comportement est dû à une anisotropie du cristal, tout comme en biréfringence. Les indices vus ne semblent pour autant pas avoir de réalité physique.

Y a-t-il des interférences ? **Il n'y a pas d'interférences ici**, contrairement à la biréfringence. Pour s'en convaincre, tourner légèrement la lame sur son axe, de sorte qu'elle ne soit plus éclairée en incidence normale et observer les franges d'interférences créées par le phénomène de biréfringence dont on ne s'affranchit plus. En théorie, il n'y a pas d'interférences parce qu'il n'y a qu'un seul rayon en sortie du cristal (contrairement à la biréfringence)! Cela semble évident dit comme ça mais l'explication par la décomposition en polarisations circulaires nous avait induites en erreur... D'ailleurs nous avons écrit le contraire dans notre précédent poly : *nostra culpa* !

Revenons à nos moutons

- Si la lame est assez mince (la rotation des directions de polarisation pour les différentes longueurs d'onde est inférieure à un tour), on fait varier la couleur en tournant l'analyseur : on éteint une longueur d'onde donnée et on observe une "somme pondérée" de celles qui restent.
- Si la lame est épaisse (plusieurs centimètres), les rotations des directions de polarisation peuvent atteindre plusieurs tours : plusieurs longueurs d'ondes sont alors simultanément éteintes.

C'est ce que nous allons montrer avec un *canon de quartz*.

Expérience : Spectre cannelé ([2, p.172])

1. Remplacer la lame par un canon de quartz entre (P) et (A) croisés. Vérifier qu'il ne se passe rien en tournant la lame dans son plan.
2. Placer une fente après l'analyseur et en former l'image sur l'écran.
3. Placer un PVD après la lentille de projection. S'émerveiller puis observer ce qui se passe quand on tourne (A).



FIGURE 5 – Montage de l'étude de la polarisation rotatoire dans un canon de quartz. De droite à gauche : QI+AC, polariseur, canon de quartz, analyseur, fente, achromat de $f' = 20cm$, PVD

Observations et analyse

1. Un canon de quartz fait $4,27cm$ d'épaisseur. Il va donc éteindre un certain nombre de longueurs d'ondes. Il faut s'assurer d'avoir toujours un éclairage qui soit bien en incidence normale. Dans ce cas, lorsqu'on tourne le canon dans son "plan", il ne se passe rien, il n'y a pas de "lignes neutres" en polarisation rotatoire contrairement à la biréfringence.
2. On prend une fente pour avoir une géométrie d'image adaptée au PVD.
3. On observe (voir figure 6) à nouveau un magnifique spectre cannelé... Quand on tourne l'analyseur, on voit les cannelures se déplacer, c'est normal puisque chaque longueur d'onde voit sa polarisation tourner d'un angle différent. En biréfringence, on modifiait le contraste jusqu'au brouillage puis on retrouvait un spectre cannelé "inversé" : la position des cannelures et des raies étaient échangées (cf. la partie I).

Conclusion

Il faut bien distinguer les deux phénomènes que nous avons étudiés. Ils n'apparaissent pas nécessairement dans les mêmes milieux :

Matériau	Biréfringence	Polarisation rotatoire
Spath	oui	non
Solution de glucose	non	oui
Quartz	oui	oui

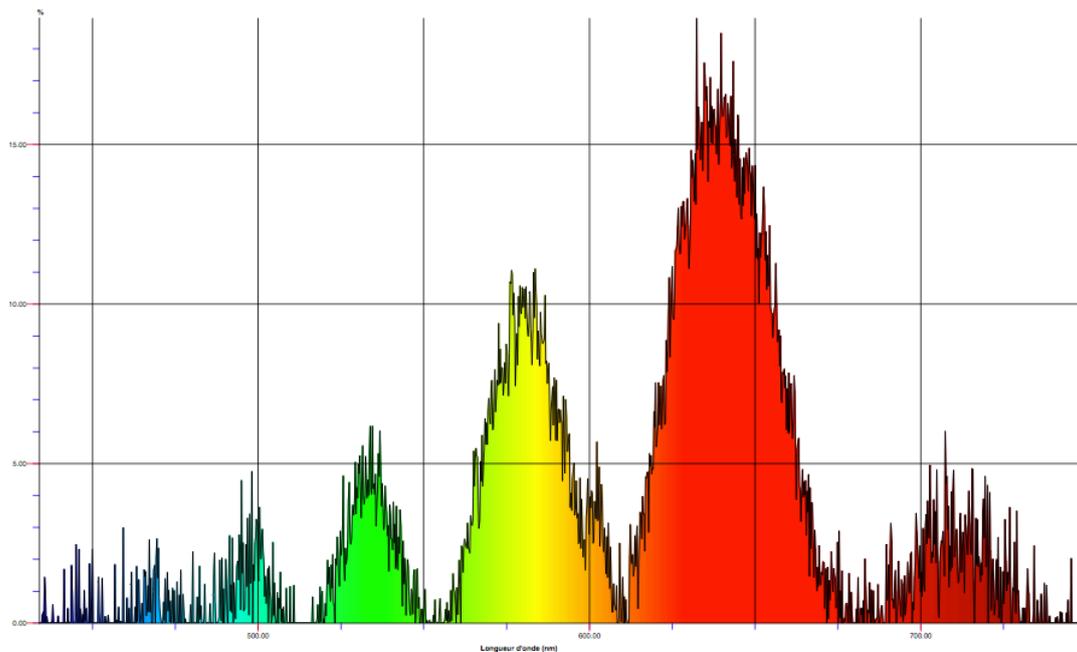


FIGURE 6 – Spectre cannelé obtenu avec une lame de quartz taillée perpendiculairement à l'axe optique d'épaisseur $e = 42,7\text{mm}$

Le tableau suivant permet de récapituler leurs caractéristiques :

Propriétés	Biréfringence	Polarisation rotatoire
Nombre d'images	2	1
Polarisation de sortie	rayons polarisés orthogonalement	direction de polarisation modifiée
Lignes neutres	oui	non
Quantité associée	biréfringence Δn	Pouvoir rotatoire α
Dépendance en λ	$\delta \propto 1/\lambda$	$\alpha \propto 1/\lambda^2$
Décomposition dans le cristal	rectilignes	circulaires
Interférences	oui	non
Lames de quartz utilisées	taillées // à l'axe optique	taillées \perp à l'axe optique
Spectre cannelé	interférences destructives	λ éteintes par (A)

Nous n'avons présenté dans ce montage que de la biréfringence et de la polarisation rotatoire "naturelles" créées par les anisotropies du milieu. Il est possible de faire apparaître ces phénomènes de manière "forcée" :

- En biréfringence : en appliquant des contraintes mécaniques sur un matériau ou sous l'action d'un champ électrique, c'est *l'effet Kerr*.
- En polarisation rotatoire : en plongeant le matériau dans un champ magnétique, c'est *l'effet Faraday*. On présente ce dernier s'il reste du temps ([2, p. 174]).