

MP13 : BIRÉFRINGENCE, POUVOIR ROTATOIRE.

BRUNO PAGANI & BERTRAND FIRPO

4 décembre 2014

« *Qu'est-ce qu'ils ont tous les quatre à crier comme ça ?* »
Le Capitaine Haddock, à propos de Dupond et Dupont.

Références

- [1] Sextant. *Optique expérimentale*. Hermann, 1997.
- [2] R. Duffait. *Expériences d'optique à l'agrégation de sciences physiques*. Bréal, 1997.
- [3] J.-F. Le Maréchal and R. Barbe. *Chimie organique et minérale*, volume 2 of *La chimie expérimentale*. Dunod, 2007.

Table des matières

Introduction	1
1 Biréfringence	2
1.1 Mise en évidence de la biréfringence d'un rhomboèdre de spath	2
1.2 Mesure de la biréfringence d'une lame épaisse de Quartz	3
1.3 Mesure de l'épaisseur d'une lame mince de Quartz	5
1.4 Biréfringence provoquée	7
2 Polarisation rotatoire	8
2.1 Loi de Biot	8
2.2 Pouvoir rotatoire du Quartz	9
2.3 Pouvoir rotatoire provoqué : Loi de Faraday	10
2.4 Retour sur le pouvoir rotatoire du Quartz	11
Conclusion	12

Introduction

Habituellement en optique nous manipulons des milieux linéaires, homogènes et isotropes. Ici, nous allons nous intéresser à des milieux qui restent linéaires et homogènes, mais sont **anisotropes**. La réponse de ces milieux dépend alors de la direction de propagation et de la polarisation de l'onde incidente.

Nous allons étudier essentiellement deux propriétés de ces milieux :

- la **biréfringence**, phénomène désignant le fait que l'indice optique dépend de la direction de propagation et de la polarisation de la lumière incidente ;
- le **pouvoir rotatoire**, phénomène correspondant au fait que dans certaines conditions, la polarisation de l'onde incidente tourne en traversant le milieu.

1 Biréfringence

Références : Sextant [1, VI.3], Duffait [2, VII]

Dans cette première partie, nous allons nous intéresser au premier de ces deux phénomènes. Celui-ci a été découvert au XVII^e siècle, avec la découverte des cristaux de spath d'Islande. En s'interrogeant sur le phénomène de vision double observé, Huygens puis Malus mettront en évidence le caractère respectivement ondulatoire et polarisée de la lumière.

1.1 Mise en évidence de la biréfringence d'un rhomboèdre de spath

Références : Duffait [2, VII.2.2, p.143] et Sextant [1, VI.2.6, p.277]

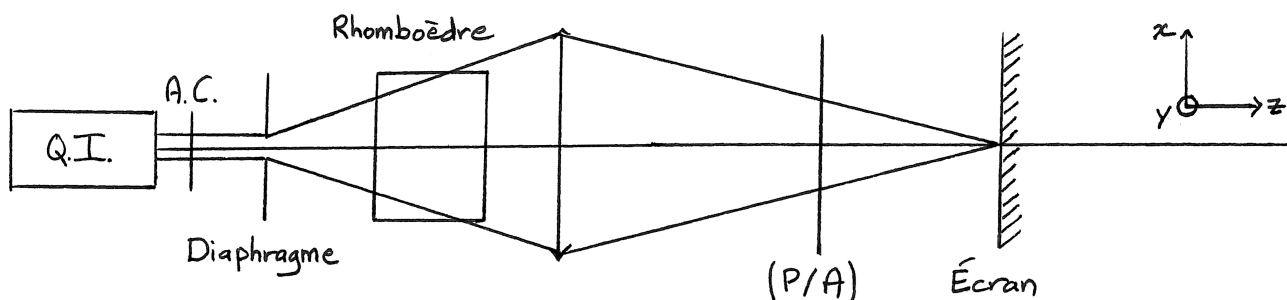


FIGURE 1 – Schéma de l'expérience de mise en évidence de la biréfringence à l'aide du rhomboèdre de spath.

Matériel :

- Lampe QI P6.8
- Filtre anti-calorique P126.4
- Diaphragme P114.6
- Rhomboèdre P7.53
- Lentille achromat de 100 mm P111.1/1
- Polariseur P119.1/12
- Écran

Note : la collection comporte deux rhomboèdres, l'autre est plus petit, n'a pas de numéro, l'étiquette « ENS Lyon » est faite à la main et une croix rouge est peinte sur son support, sûrement pour nous dissuader de l'utiliser, car il est peu démonstratif ; en effet, les deux images tournent autant l'une que l'autre, faisant plus penser à un système binaire équilibré qu'à un système planétaire.

L'image d'un diaphragme éclairé avec une lampe QI est réalisée sur un écran à l'aide d'une lentille de projection. Un rhomboèdre de spath est ensuite intercalé entre le diaphragme et la lentille, deux images du diaphragme sont alors observées sur l'écran (retoucher un peu la mise au point après l'introduction du rhomboèdre). En faisant tourner le rhomboèdre autour de l'axe optique, l'une des images reste — à peu près — fixe (celle qui correspond au rayon ordinaire), tandis que l'autre (celle qui correspond donc au rayon extraordinaire) tourne autour de celle-ci.

En ajoutant un analyseur entre la lentille et l'écran, il est mis en évidence que ces deux images correspondent à des rayons polarisés orthogonalement ; l'image ordinaire est polarisée orthogonalement au vecteur d'onde, i.e. direction de propagation, ainsi qu'à l'axe optique du rhomboèdre, celui-ci étant selon sa plus petite diagonale. L'image fixe (i.e. ordinaire) s'éteint donc lorsque l'analyseur est aligné avec l'axe optique, celle qui tourne lorsqu'il est orthogonal à ce dernier. Cela se vérifie en plaçant l'axe optique du rhomboèdre verticalement et/ou horizontalement.

Le schéma de ces expériences est présenté FIGURE 1.

Une expérience alternative et plus quantitative est la mesure des indices du spath en cherchant les minimum de déviations d'un prisme constitué de ce matériau à l'aide d'un goniomètre, mais cette manipulation prend donc pas mal de temps, or le timing est déjà relativement serré. Voir Duffait [2, VII.2.1, p. 141] pour cette expérience. Une autre alternative bien moins précise est de mesurer l'écartement entre les images, voir Sextant [1, VI.3.1.3, p.281].

1.2 Mesure de la biréfringence d'une lame épaisse de Quartz

Références : Duffait [2, VII.3.1, p.144 ; VII.3.2, p.145 ; VII.3.5, p.152] et Sextant [1, VI.3.2, p.283 ; VI.3.4.1, p.290]

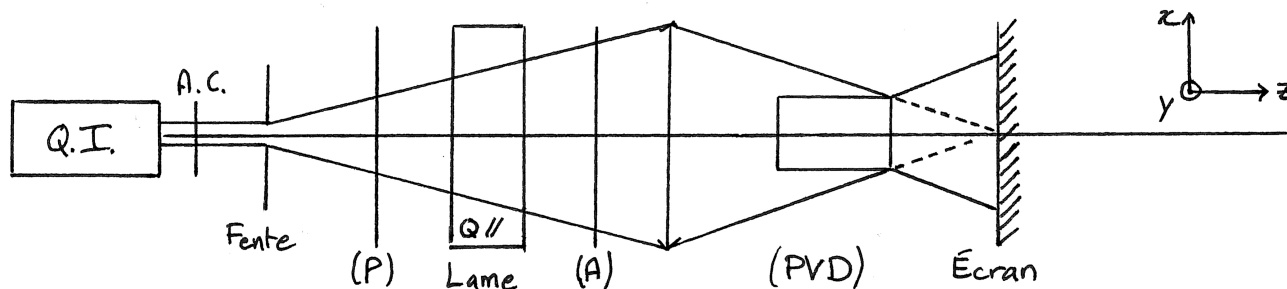


FIGURE 2 – Schéma de l'expérience de mesure de la biréfringence du Quartz

Matériel :

- Lampe QI P6.8
- Filtre anti-calorique P126.4/3
- Fente P115.1/4
- Polariseur P119.2/1
- Lames de Quartz Y-cut de 1.53 mm et 4 mm, lames parallèles numéros 1 et 2 de la boîte P7.14, ainsi que le support associé, présent dans cette même boîte
- Analyseur P119.2/2
- Lentille achromat de 400 mm P111.7/3
- PVD P122.1/4
- Spectromètre Ocean Optics HR2000+ P17.15 ou Ulice SPID-HR P17.16 et le matériel associé
- Écran

Note : pour être très rigoureux, il faudrait ajouter une lentille de sorte que la fente soit au foyer objet de celle-ci afin d'avoir un éclairage parallèle, et par conséquent mettre l'écran au foyer image de la lentille de projection. Enfin, pour la partie avec le PVD, il faudrait ajouter une deuxième fente après l'analyseur, et faire l'image de celle-ci sur l'écran. Dans les faits, si le condenseur de la lampe QI est bien réglé, l'éclairage est suffisamment parallèle pour pouvoir négliger ce problème.

L'image d'une fente est réalisée sur un écran à l'aide d'une lentille de projection. Puis sont placés entre la fente et la lentille un polariseur et un analyseur, qui sont ensuite croisés (pour une grande précision, avec un biquartz de Soleil[2, VIII.1.5, p.173], qui rentre par ailleurs parfaitement dans le cadre de ce montage, il y en a plusieurs dans la collection, notamment P7.29). Enfin, une lame épaisse de Quartz Y-cut (taillée parallèlement à l'axe optique) est intercalée entre le polariseur et l'analyseur. La lumière réapparaît sur l'écran, car la polarisation initiale est décomposée en deux polarisations particulières, orientées selon les lignes neutres du cristal. Ceci est mis en évidence en faisant tourner la lame autour de l'axe optique : deux positions orthogonales rétablissent l'extinction, puisque la polarisation n'est pas modifiée si une ligne neutre est alignée avec le polariseur en entrée.

Chacune des lignes neutres correspond à un indice optique différent, l'une correspond à l'indice ordinaire, l'autre à l'extraordinaire. Cette différence d'indice induit une différence de marche entre les deux composantes de la polarisation initiale (car la vitesse de propagation dépend de l'indice optique, les indices sont d'ailleurs également appelés lents et rapides). Pour maximiser la visibilité de cet effet, il faut diviser l'amplitude incidente équitablement entre les deux polarisation, c'est-à-dire qu'il faut orienter les lignes neutres à 45° des directions du polariseur et de l'analyseur. Cela donne alors lieu à des interférences facile à mettre en évidence en observant le spectre cannelé de la lumière en sortie à l'aide d'un prisme à vision directe (PVD).

Par ailleurs, en alignant polariseur et analyseur, le spectre complémentaire est obtenu (lors de la transition, il est mis en évidence que la luminosité des deux composantes du spectre est proportionnelle au sinus carré de l'angle polariseur/analyseur dans un cas et au cosinus carré dans l'autre : le spectre manquant devient de plus en plus clair tandis que le présent s'estompe, et à 45° le spectre est continu, d'intensité moitié moindre qu'en entrée du système). Pour mieux voir cet effet, il est préférable d'utiliser une lame d'épaisseur plus faible (par exemple 1.53 mm) pour obtenir moins de cannelures.

Le schéma de ces expériences est présenté FIGURE 2.

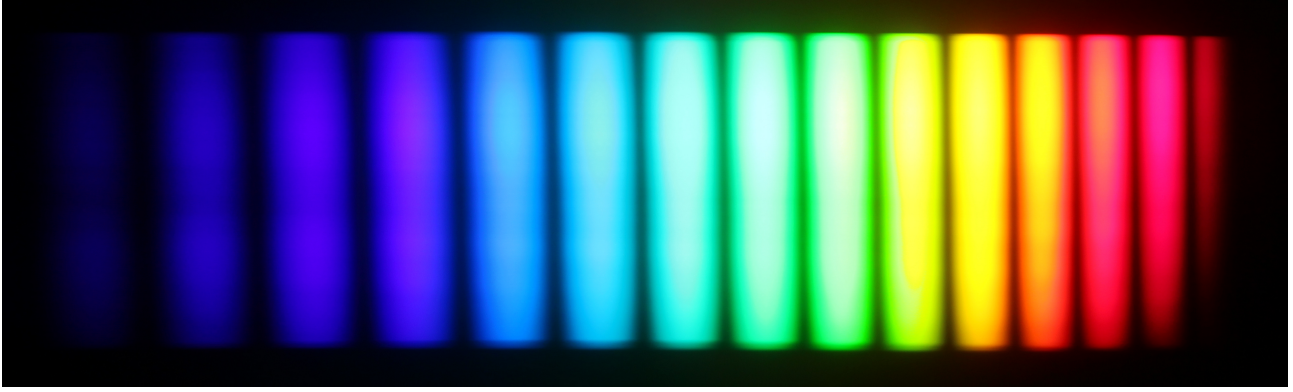


FIGURE 3 – Spectre cannelé obtenu pour la lame de 1.53 mm.

La différence de marche (1) est donnée par l'épaisseur de la lame et sa biréfringence $\Delta n = n_o - n_e$.

$$\delta = \Delta n e \quad (1)$$

En retirant la fente et la lentille et en remplaçant le PVD par un spectromètre, il est donc possible d'obtenir Δn en connaissant e , il faut pour cela compter p cannelures sombres entre deux longueurs d'ondes λ_1 et λ_2 , la biréfringence est alors obtenue grâce à l'équation (2). Il est cette fois judicieux d'utiliser une lame plus épaisse (par exemple 4 mm) afin d'observer un plus grand nombre d'ordres.

$$\Delta n = \frac{p}{e} \frac{\lambda_2 \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (2)$$

Note : il peut être nécessaire d'étalonner le spectromètre. Cela peut être fait en utilisant des filtres interférentiels de caractéristiques connues.

Pour calculer facilement l'incertitude, plutôt que de passer par la formule de propagation des erreurs et de calculer des dérivées, il est possible d'utiliser la dérivée logarithmique (3) (équivalente à condition de bien faire attention aux sommes et exposants).

$$\sigma_{\Delta n} = \Delta n \sqrt{\left(\frac{\sigma_e}{e}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\lambda_2}}{\lambda_2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\lambda_1}}{\lambda_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\lambda_2} + \sigma_{\lambda_1}}{\lambda_2 - \lambda_1}\right)^2} \quad (3)$$

Mesures :

- $p = 42$
- $\lambda_1 = 402.5 \pm 0.3 \text{ nm}$
- $\lambda_2 = 625 \pm 1 \text{ nm}$
- $e = 4.00 \pm 0.01 \text{ mm}$

Soit : $\Delta n = (1.131 \pm 0.008) \times 10^{-3}$

Valeur théorique :

- $\Delta n = 9.044 \times 10^{-3}$ à 700 nm
- $\Delta n = 9.504 \times 10^{-3}$ à 400 nm

L'ordre de grandeur est bon, mais la valeur n'est pas bonne. Cela dit, en préparation cette manipulation a été faite en dernière minute avec très peu de temps.

Cela peut être une méthode de mesure de l'épaisseur d'une lame de Quartz, étant donné que la biréfringence est connue. Si maintenant la lame épaisse est remplacée par une lame mince (par exemple de 60 μm), l'effet observé est différent : il n'est plus possible de retrouver l'extinction, et l'image prend tout un ensemble de couleurs selon les angles formés par le système et en fonction de l'épaisseur de la lame. Avec les lignes neutres à 45° , selon que polariseur et analyseur sont croisés ou alignés, deux teintes de Newton différentes sont observées : celles-ci permettent de remonter grossièrement à l'épaisseur. En revanche, au PVD, il n'y a plus qu'une seule cannelure, la méthode décrite dans cette partie ne fonctionne donc plus. Dans les faits, il reste possible de remonter à la différence de marche à partir du spectre, mais c'est plus compliqué. Par contre, la méthode des couleurs est très utilisée en géologie pour analyser les minéraux : cela permet de voir facilement les compositions, les défauts d'inclinaison (particulièrement visible avec les lames de Mica)... Il est également possible de mettre

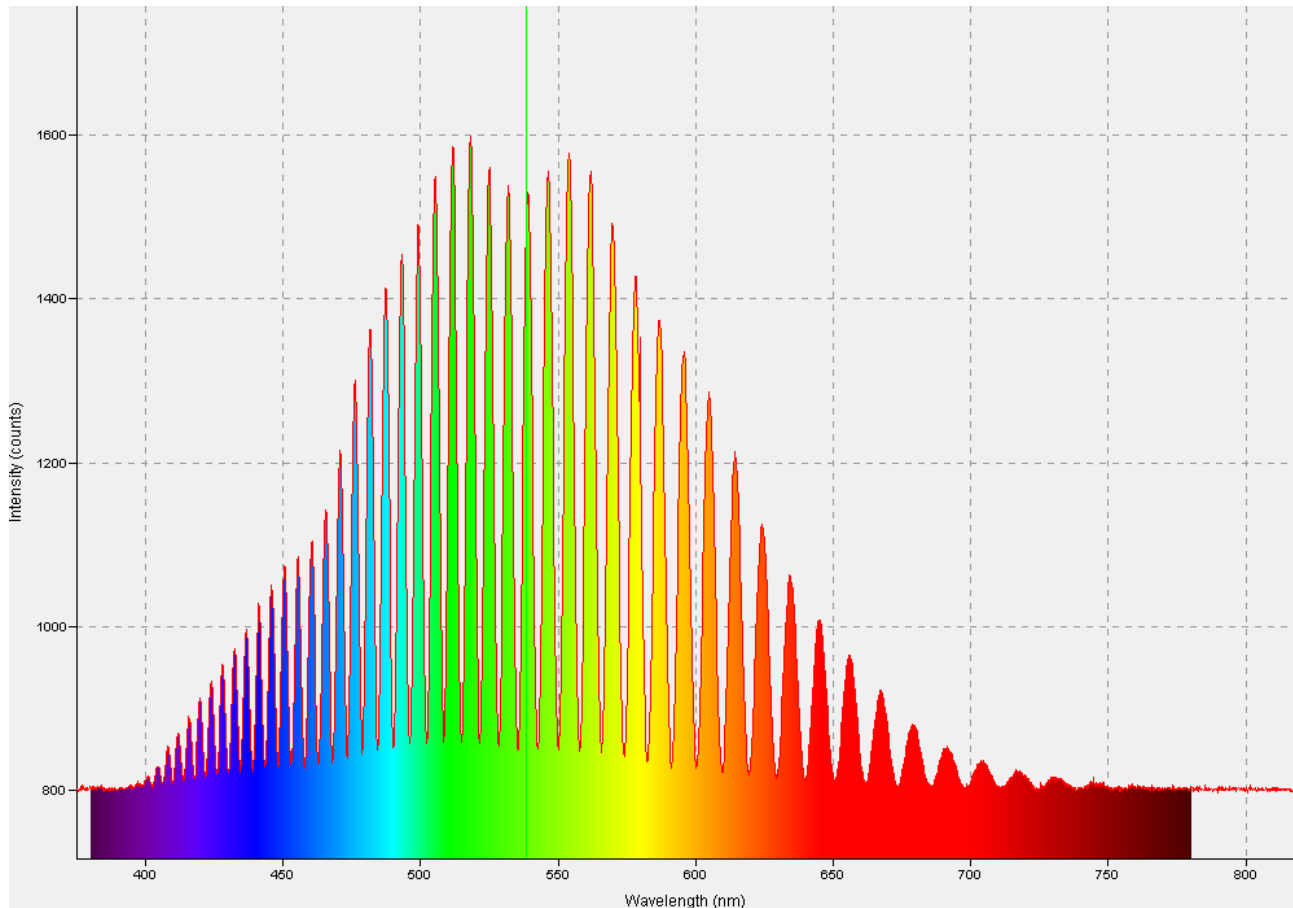


FIGURE 4 – Spectre cannelé obtenu pour la lame de 4 mm.

en lumière ce phénomène avec des superpositions de morceaux de scotch (pas celui du Capitaine Haddock, mais le ruban adhésif) d'épaisseurs et d'orientations variables, c'est très visuel sur un rétroprojecteur.

1.3 Mesure de l'épaisseur d'une lame mince de Quartz

Références : Duffait [2, VII.3.3, p.149] et Sextant [1, VI.3.4.2, p.291]

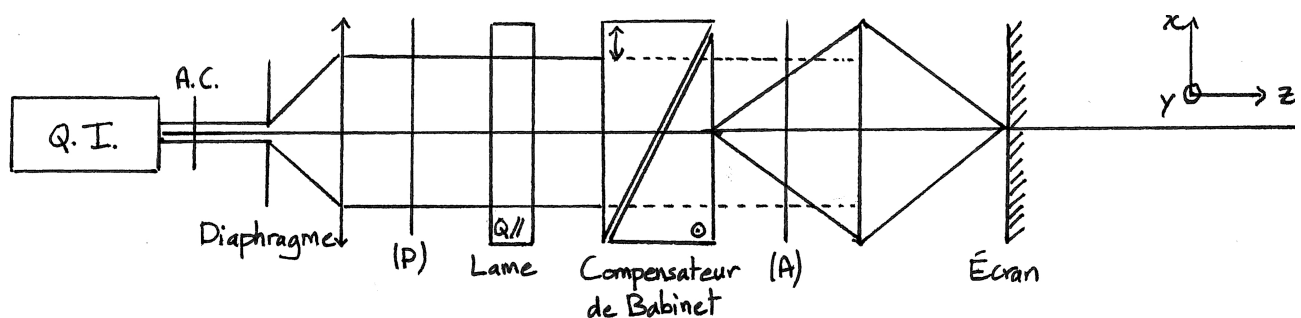


FIGURE 5 – Schéma de l'expérience de mesure d'épaisseur à l'aide du compensateur de Babinet.

Matériel :

- Lampe QI P6.8
- Filtre anti-calorique P126.4/5
- Diaphragme P114.5
- Filtre interférentiel P124.1/7
- Lentille achromat de 120 mm P111.2/6
- Polariseur P119.2/3
- Lame de Quartz Y-cut de 60 μm , disponible dans la boîte P7.67

- Compensateur de Babinet P8.1
- Analyseur P119.1/13
- Lentille achromat de 120 mm P111.2/4
- Écran

L'ajout d'un compensateur de Babinet dans le montage précédent va permettre de mesurer la différence de phase induite par la lame mince et par conséquent de remonter à son épaisseur en connaissant sa biréfringence ou réciproquement.

Cet appareil est constitué de deux lames de Quartz en forme de prismes à base identique de triangle rectangle, dont la face correspondant au plus grand côté est taillée parallèlement à l'axe optique, et de sorte que l'axe optique de l'une soit vertical (orthogonal au plan du rectangle de base) et celui de l'autre horizontal (dans le plan du triangle). Enfin, ces deux lames sont mises l'une contre l'autre tête-bêche, c'est-à-dire que leurs faces correspondant à leur hypoténuse sont en contact et que l'ensemble forme un parallélépipède rectangle. Ainsi, les lignes neutres sont croisées, et la différence de marche dépend de la distance traversée dans chaque milieu. Celle-ci est donnée par l'équation (4), en fonction des épaisseurs e_1 et e_2 traversées dans chaque milieu et des indices lents et rapides. Mais cela peut se réécrire sous la forme (5) en fonction de la distance x au petit axe de symétrie de la base rectangle reconstituée ou ligne médiane et de l'angle θ au sommet du triangle de base.

$$\delta = (n_l - n_r)e_1 + (n_r - n_l)e_2 \quad (4)$$

$$\delta = 2\Delta n x \tan(\theta) \quad (5)$$

L'un des deux prismes peut se déplacer selon le plan tangent, permettant ainsi de faire varier l'épaisseur dont il est traversé, modifiant dès lors la différence de marche. Avec les formules données, il est théoriquement possible de connaître la variation de différence de marche en fonction du déplacement mécanique d . Seulement en pratique, l'angle θ n'est pas forcément connu, de même que Δn . Il est donc nécessaire d'étalonner le Babinet pour avoir cette correspondance.

Dans les faits, un étalonnage est fourni pour $\lambda = 589.3 \text{ nm}$ (car les indices dépendant de la longueur d'onde, la différence de marche également, et par suite le déplacement correspondant, mais $\lambda/d = 2 \tan(\alpha) \Delta n$ est constant donné égal à 1.07×10^{-4}), mais il est toujours bien d'en refaire un soi-même, ne serait-ce que pour comparer ou vérifier.

Pour cela, il faut d'abord croiser le polariseur et l'analyseur, puis ajouter le compensateur de Babinet et faire l'image de ses réticules sur l'écran. Puis il faut effectuer le repérage des lignes neutre, celui-ci se fait de préférence en tournant polariseur et analyseur plutôt que compensateur afin de garder l'image verticale, mais c'est beaucoup plus fastidieux. Puis, il faut se placer à 45° de ces lignes neutres (même remarque que juste avant), et un système de franges d'interférences apparaît alors. Il est constitué d'une frange centrale sombre et de franges irisées de part et d'autre en suivant l'échelle des teintes de Newton (analogue à l'interféromètre de Michelson en coin d'air, sous éclairage en lumière blanche). Attention, à quelques degrés de cette position un autre système de frange d'interférences est observé, mais avec une frange centrale blanche, ne pas les confondre. Il est maintenant possible de faire le zéro en remplaçant la frange noire entre les réticules, bien centrée.

Il faut alors mesurer le lien entre différence de marche et déplacement en ajoutant un filtre interférentiel, puis en tournant la vis du compensateur de manière à faire défiler un nombre de frange p entier (le mieux est de commencer aussi loin que possible d'un côté des graduations puis d'aller aussi loin que possible de l'autre). La différence de marche est alors $\delta = p\lambda$.

Pour $\lambda = 546 \pm 5 \text{ nm}$, la mesure donne X franges entre $d_1 = 0.00 \pm 0.01 \text{ mm}$ et $d_2 = 0.00 \pm 0.01 \text{ mm}$, soit $d = 0.00 \pm 0.01 \text{ mm}$ (diviser par p) pour un interfrange et donc $\lambda/d = 1.00 \pm 0.01$ ce qui est très proche de la valeur donnée.

Le filtre interférentiel est ensuite retiré, la frange noire ramenée au centre, puis la lame d'épaisseur e est introduite (avant ou après le compensateur, cela n'a pas d'importance). Il faut alors aligner ses lignes neutres sur celles du compensateur. Un décalage du système de frange est alors observé, la mesure de la différence de marche δ_l est alors donnée par celle du déplacement d_l nécessaire pour ramener la frange noire au centre et la loi (6).

Le schéma de ces expériences est présenté FIGURE 5.

$$\delta_l = \frac{\lambda}{d} d_l \quad (6)$$

La mesure donne $d_l = 5.09 \pm 0.01 \text{ mm}$, soit $\delta_l = 546 \pm 1 \text{ nm}$, et donc $e = 60.7 \pm 1.0 \text{ }\mu\text{m}$, ce qui est très proche de la valeur indiquée dessus.

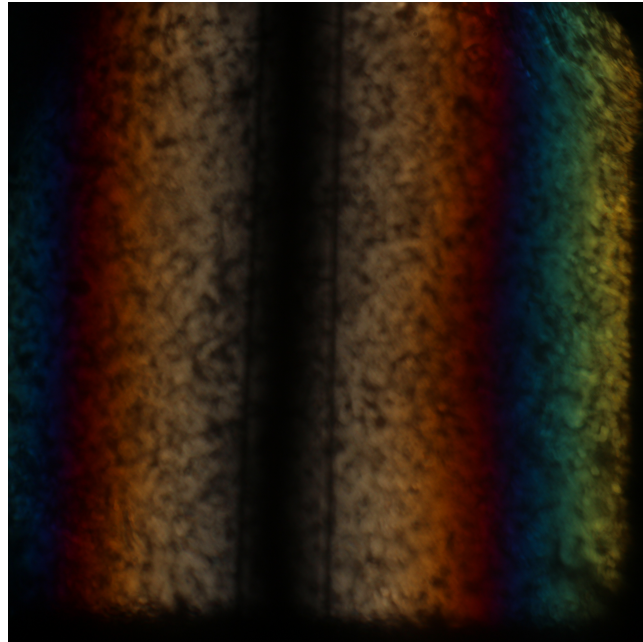


FIGURE 6 – Figure d'interférence du Babinet.

Note : il existe également le compensateur de Bravais où cette fois les axes optiques ne sont plus orthogonaux, et la différence de marche est donc constante sur toute la lame, et en fonction de la différence de marche totale, ce sont différentes teintes de Newton qui apparaissent à l'écran, comme dans le cas des lames minces. La mesure de la différence de marche se fait lorsque l'extinction revient, cela signifie que la différence induite par la lame est exactement compensée par celle induite par le compensateur de Bravais. Cette manipulation peut tout à fait être présentée dans un plan alternatif qui mettrait plus l'accent sur les teintes de Newton dans ce montage.

1.4 Biréfringence provoquée

Références : Duffait [2, VII.5.1, p.162]

Courte expérience qualitative, il s'agit juste de remplacer la lame et le Babinet de l'expérience précédente par une touillette à café placée entre polariseur et analyseur croisés et d'en faire l'image sur l'écran, de très nombreuses zones différemment colorées apparaissent alors, qui reflètent les contraintes de déformations subies par l'objet lors de sa fabrication. C'est une technique utilisée en géologie de nouveau, mais aussi en industrie.

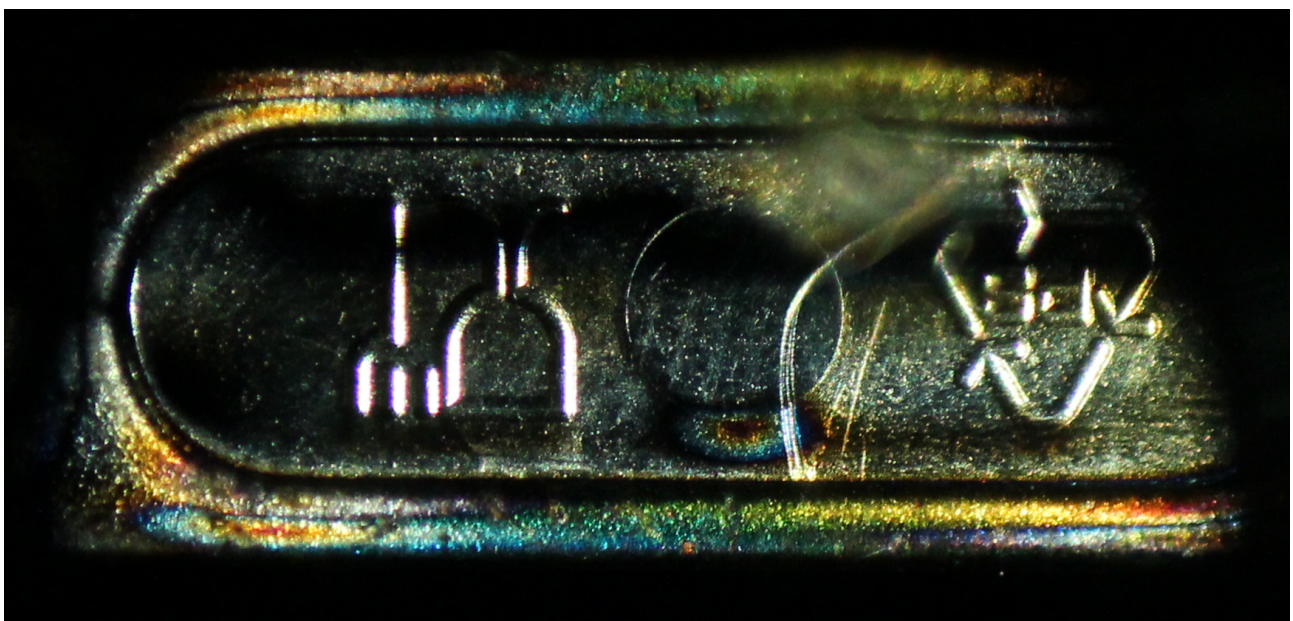


FIGURE 7 – Déformations sur une touillette.

2 Polarisation rotatoire

Références : Sextant [1, VI.6], Duffait [2, VIII]

Cet effet, qui porte aussi le nom d'**activité optique** est beaucoup plus faible que la biréfringence, dans le Quartz par exemple il faut utiliser des lames Z-cut (taillées perpendiculairement à l'axe optique) pour s'affranchir des effets de biréfringence et mesurer le pouvoir rotatoire.

Pour tous les systèmes étudiés, il va être mis en évidence une rotation de la polarisation incidente d'un angle dépendant de différents paramètres selon le type de système, mais également de la longueur d'onde. Un point commun est la proportionnalité en la longueur de milieu traversé.

En pratique, l'activité optique est un effet de chiralité, la lumière polarisée de manière rectiligne peut se décomposer en somme de polarisations circulaires, et chaque polarisation circulaire voit un indice différent, et a donc une vitesse différente, en recomposant ces polarisations (en sortie notamment), la lumière est de nouveau polarisée de manière rectiligne, mais sa polarisation a tourné d'un certain angle. Il faut bien voir que cette décomposition est une représentation mathématique de ce qu'il se passe, il n'y a pas ici deux ondes qui interfèrent en sortie comme dans le cas de la biréfringence, c'est une seule et même onde.

Si cet angle est compté positivement dans le sens trigonométrique du point de vue de l'observateur qui reçoit cette lumière, le milieu est dit « droit » ou *dextrogyre*, dans le cas contraire il est dit « gauche » ou *levrogyre*.

2.1 Loi de Biot

Références : Maréchal and Barbe [3, 2.2, p.17], Sextant [1, VI.6.3, p.319] et Duffait [2, VIII.1.3.2, p.168]

SCHÉMA

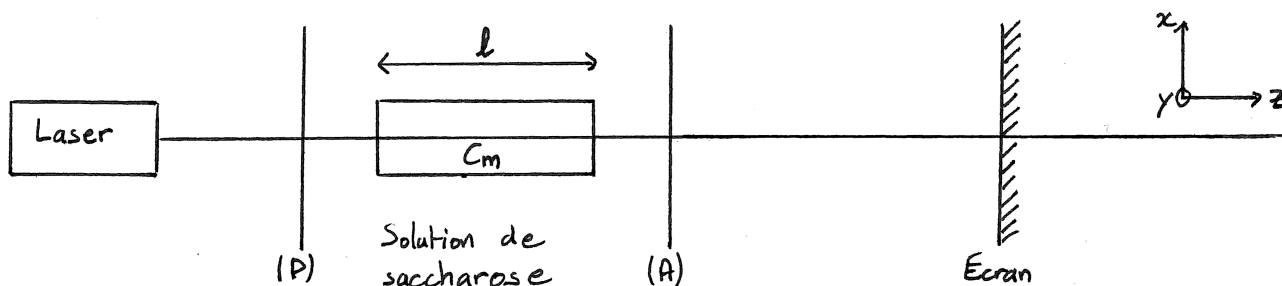


FIGURE 8 – Schéma de l'expérience de vérification de la loi de Biot.

Matériel :

- Laser vert non-polarisé à 543.5 nm P5.24
- Polariseur P119.1/14
- Support Boy
- Cuves P10.47
- Analyseur P119.1/15
- Écran

Note : Généralement, allumer un laser longtemps à l'avance est une bonne idée pour qu'il soit bien stable. Sur ce genre de laser et pour ce type de manipulation, ce n'est pas particulièrement nécessaire, mais le cas échéant, comme ce modèle ne dispose pas d'un obturateur (tout comme l'autre modèle de laser vert non polarisé de la collection, les P5.29), prévoir un écran ou une plaque pour jouer ce rôle.

L'activité optique a été découverte en 1812 par Biot pour des solides, puis en 1815 pour des composés organiques en solution. Pour ces derniers, elle est régie par la loi de Biot (7), qui exprime le pouvoir rotatoire en fonction de la longueur de solution traversée et de la concentration massique de celle-ci, le coefficient de proportionnalité étant appelé pouvoir rotatoire spécifique, exprimé généralement en $^{\circ} \cdot \text{dm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^3$ et dépendant de la température et de la longueur d'onde, ainsi que naturellement de l'espèce considérée.

$$\alpha = l C_m [\alpha]_s \quad (7)$$

Pour montrer cela, différentes concentrations d'une même solution sont placées entre un polariseur et un analyseur croisés, éclairés par une lumière monochromatique. L'extinction disparaît et se retrouve pour des angles différents à chaque fois.

Le schéma de ces expériences est présenté FIGURE 8.

La dépendance en l se montre facilement qualitativement en tournant la cuve, celle-ci étant rectangulaire.

Matériel pour préparer les solutions :

- Balance P97.23
- Éprouvette graduée de 100 ml
- Erlenmeyer de 250 ml + bouchon
- Spatule
- Entonnoir à poudre

Les formules donnant la concentration massique C_m en fonction de la masse m dissoute dans le volume V et l'incertitude sur celle-ci sont indiquées équations (8) et (9).

$$C_m = \frac{m}{V} \quad (8)$$

$$\sigma_{C_m} = C_m \sqrt{\left(\frac{\sigma_m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_V}{V}\right)^2} \quad (9)$$

Note : il est difficile de dissoudre rapidement 60 g de saccharose dans 100 ml sans accélérer en même temps l'hydrolyse, il vaut sans doute mieux faire 20 g, 30 g et 40 g.

Mesures :

- Longueur de la cuve : $l = 0.73 \pm 0.01$ dm
- Volume d'eau $V = 100.0 \pm 0.5$ ml
- $m_1 = 0$ g, donc $C_{m1} = 0$ g · ml⁻¹
- $m_2 = 20.00 \pm 0.01$ g, donc $C_{m2} = 0.200 \pm 0.001$ g · ml⁻¹
- $m_3 = 40.00 \pm 0.01$ g, donc $C_{m3} = 0.400 \pm 0.002$ g · ml⁻¹
- $m_4 = 60.00 \pm 0.01$ g, donc $C_{m4} = 0.600 \pm 0.003$ g · ml⁻¹

Pouvoirs rotatoires :

- $\alpha_1 = 0^\circ$
- $\alpha_2 = (9.0 \pm 0.5)^\circ$
- $\alpha_3 = (18.0 \pm 0.5)^\circ$
- $\alpha_4 = (27.0 \pm 0.5)^\circ$

Donc :

$$[\alpha]_s =$$

Valeurs théorique : $[\alpha]_s = 66.45^\circ \cdot \text{dm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^3$ pour $\lambda = 589.3$ nm (raie D du sodium) et à 25 °C

La loi de Biot ayant été découverte en 1815 pour les composés organiques comme le saccharose, les expérimentateurs ne disposaient pas à l'époque de laser pour ce genre de manipulation, et la source de lumière monochromatique par excellence de l'époque était la raie jaune du sodium, c'est pourquoi les valeurs tabulées sont données pour cette longueur d'onde. Il est possible théoriquement d'extrapoler à d'autres longueurs d'ondes en utilisant la loi de dispersion, mais cela ne semble pas marcher ici (cela donne $[\alpha]_s = 78.12^\circ \cdot \text{dm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^3$ pour $\lambda = 543.5$ nm à 25 °C). Les explications possibles sont une zone d'absorption du saccharose dans cette plage de longueur d'onde (auquel cas la loi de dispersion n'est pas valable), une dissolution seulement partielle du saccharose dans l'eau, une hydrolyse déjà avancée de ce dernier en glucose et fructose, une température différente (même si ce facteur influe peu, la température dans la salle n'étant probablement pas écartée de plus de 5 °C de 25 °C, et la littérature donne $67^\circ \cdot \text{dm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^3$ à 20 °C toujours pour la raie D du sodium)... Bref, il faudrait demander à des chimistes pour en savoir plus.

Il est également possible d'utiliser un polarimètre de Laurent pour faire les mesures, mais ce n'est pas vraiment l'esprit de ce montage que d'utiliser une « boîte noire » de ce style, c'est à réserver pour des manipulations de chimie plutôt.

2.2 Pouvoir rotatoire du Quartz

Références : Duffait [2, VIII.1.2, p.167 ; VIII.1.3.1, p.168 ; VIII.1.4.1, p.170] et Sextant [1, VI.6.1, p.316 ; VI.6.2, p.318]

Matériel :

- Lampe QI P6.8

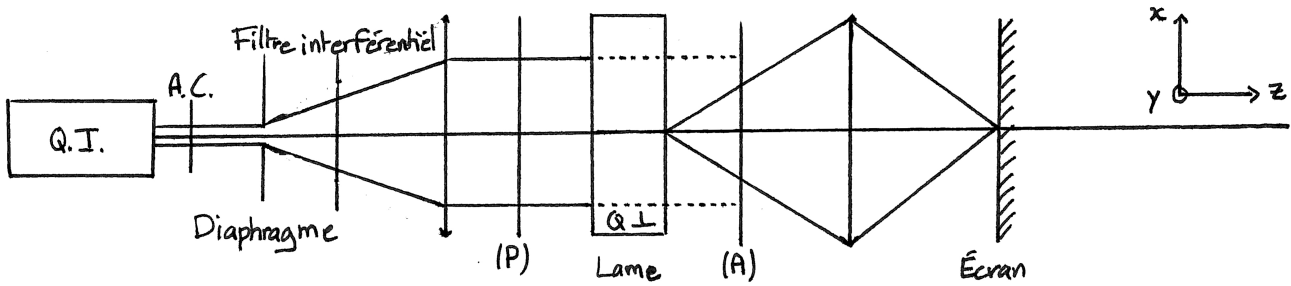


FIGURE 9 – Schéma de l'expérience de mesure de l'activité optique du Quartz.

- Filtre anti-calorique P126.4/5
- Diaphragme P114.5
- Filtre interférentiel P124.1/7
- Lentille achromat de 120 mm P111.2/6
- Polariseur P119.2/3
- Lames de Quartz Z-cut droites de 4 mm et 2 mm et gauche de 4 mm, lames perpendiculaires numéros 1, 2 et 3 de la boîte P7.14, ainsi que le support associé, présent dans cette même boîte
- Analyseur P119.1/13
- Lentille achromat de 120 mm P111.2/4
- Écran

En utilisant des lames taillées perpendiculairement (Z-cut), il est possible de mesurer l'activité optique du Quartz en fonction de λ et de l'épaisseur en plaçant celles-ci entre un analyseur et un polariseur croisés et en cherchant à rétablir l'extinction.

Le schéma de ces expériences est présenté FIGURE 9.

Normalement, la loi suivie est donnée par l'équation 10, en fonction de l'épaisseur e et de λ , où A est une constante.

$$\alpha = e \frac{A}{\lambda^2} \quad (10)$$

Mesures :

- $\alpha = (0 \pm 1)^\circ$ pour $\lambda = 405 \pm 5 \text{ nm}$
- $\alpha = (0 \pm 1)^\circ$ pour $\lambda = 436 \pm 5 \text{ nm}$
- $\alpha = (0 \pm 1)^\circ$ pour $\lambda = 490 \pm 5 \text{ nm}$
- $\alpha = (0 \pm 1)^\circ$ pour $\lambda = 546 \pm 5 \text{ nm}$
- $\alpha = (0 \pm 1)^\circ$ pour $\lambda = 633 \pm 5 \text{ nm}$

Mesure : $A = 0 \pm 1^\circ \cdot \text{nm}$

La littérature donne un pouvoir rotatoire de $18.8^\circ \cdot \text{mm}^{-1}$ à 632 nm et $21.7^\circ \cdot \text{mm}^{-1}$ à 589 nm , soit $A = 7.51^\circ \cdot \text{nm}$ dans le premier cas et $A = 7.53^\circ \cdot \text{nm}$ dans le second, la valeur obtenue expérimentalement est donc en accord.

Pour $\lambda = 546 \pm 5 \text{ nm}$:

- Quartz droit de 4 mm : $\alpha = (0 \pm 1)^\circ$
- Quartz droit de 2 mm : $\alpha = (0 \pm 1)^\circ$
- Quartz gauche de 4 mm : $\alpha = (0 \pm 1)^\circ$

Ces valeurs sont en accord avec la théorie.

2.3 Pouvoir rotatoire provoqué : Loi de Faraday

Références : Duffait [2, VIII.2.1, p.174] et Sextant [1, VI.6.4.1, p.320]

Matériel :

- Laser vert non-polarisé à 543.5 nm P5.24
- Polariseur P119.1/14
- Barre de Flint P7.50
- Électro-aimant P0.4 avec têtes creuses

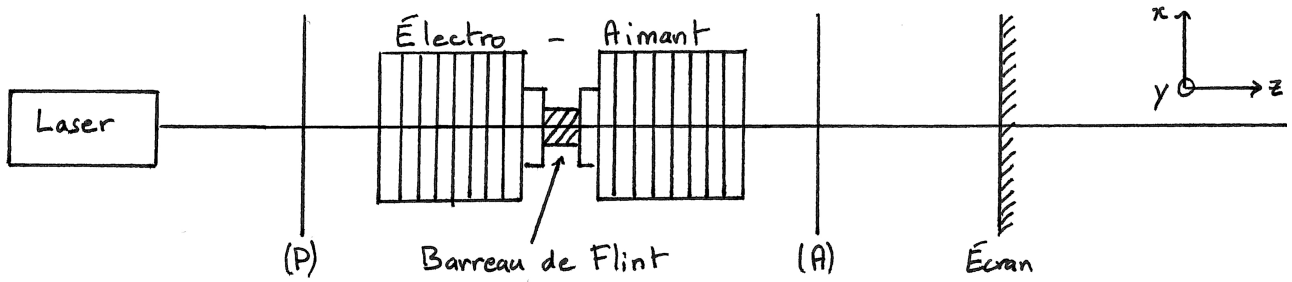


FIGURE 10 – Schéma de l'expérience de mesure de la constante de Verdet du flint.

- Support en bois pour l'électro-aimant
- Alimentation P53.13 pour l'électro-aimant
- Sonde à effet Hall P64.21/1
- Multimètre Fluke 85 P69.20
- Câbles de branchement
- Analyseur P119.1/15
- Écran

La loi de Faraday (11) donne le pouvoir rotatoire dans certain milieux en fonction du champ magnétique B dans le milieu, la longueur d de milieu traversée et la constante de Verdet V du milieu.

$$\alpha = VBd \quad (11)$$

Pour vérifier cela, il est possible de placer un morceau de flint dans l'entrefer d'un électro-aimant dont il est possible de faire varier le champ en modifiant le courant le traversant, et en plaçant le tout à la place des cuves de saccharose de l'expérience précédente.

Il est nécessaire dans un premier temps d'étalonner l'électro-aimant pour avoir $B(I)$. Étant donné la présence d'un hystérésis, il faut faire l'étalonnage et les mesures toujours dans le même sens en partant de zéro, allant au maximum d'intensité en module avant revenir à zéro, puis démarrer alors les mesures en module de I croissant. Ainsi, muni de la caractérisation de B en fonction de I , il est possible de procéder aux mesures du pouvoir rotatoire en fonction de B .

Le schéma de ces expériences est présenté FIGURE 10.

Mesure : $V = 4.74 \pm 0.09^\circ \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}$

La littérature donne $5.0^\circ \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}$, une fois de plus à $\lambda = 589.3 \text{ nm}$. C'est donc a priori le bon ordre de grandeur.

2.4 Retour sur le pouvoir rotatoire du Quartz

Références : Duffait [2, VIII.1.4.2, p.171 ; VIII.1.4.3, p.171]

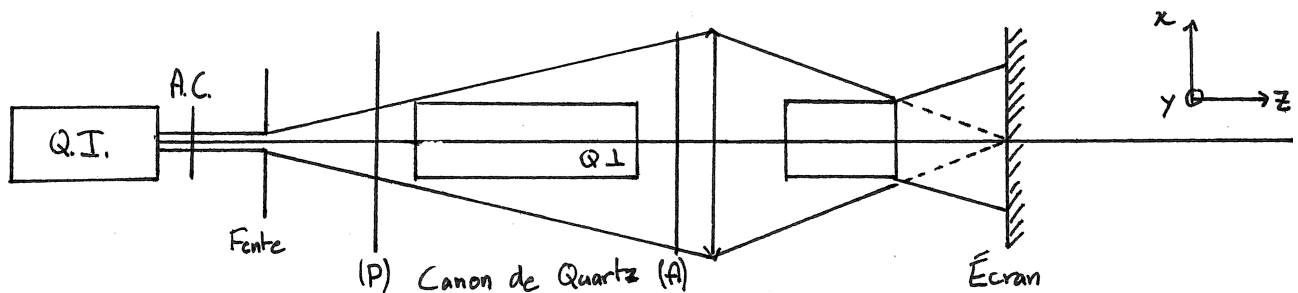


FIGURE 11 – Schéma de l'expérience avec le canon de Quartz.

Matériel :

- Lampe QI P6.8
- Filtre anti-calorique P126.4/3
- Fente P115.1/4

- Polariseur P119.2/1
- Lames de Quartz Z-cut utilisées précédemment
- Canon de Quartz de 61.3 mm P7.21, disponible dans la boîte P7.67
- Analyseur P119.2/2
- Lentille achromat de 400 mm P111.7/3
- PVD P122.1/4
- Écran

Il s'agit de reprendre l'expérience précédente mais en lumière blanche. Si la lame suffisamment mince (pour qu'à toute longueur d'onde dans le visible la rotation de polarisation associée soit inférieure à un tour), l'image en sortie est colorée, et la couleur dépend de l'angle entre polariseur et analyseur. Cette couleur dépend de la plage de longueur d'onde éteinte, ce qui peut se vérifier avec le PVD. Lorsque le jaune moyen est éteint, la couleur obtenue est appelée « lie de vin ». À partir de cette position, en tournant l'analyseur dans le sens horaire, la couleur vire au rouge si la lame est dextrogyre et au bleu sinon.

Si la lame est trop épaisse (canon de Quartz), la couleur obtenue est un blanc d'ordre supérieure car plusieurs longueurs d'ondes sont éteintes simultanément. Avec le PVD, il est alors possible de montrer le spectre cannelé correspondant et son déplacement dans la gamme de longueur d'onde en fonction de l'angle entre l'analyseur et le polariseur.

Le schéma de ces expériences est présenté FIGURE 11.

Conclusion

Deux aspects de l'optique anisotrope sont apparus dans ce montage :

- la biréfringence, nom du phénomène mais aussi de la grandeur associée Δn ;
- la polarisation rotatoire ou activité optique, dont le nom de la grandeur associée α est le pouvoir rotatoire.

Ils ne forment que la face visible de l'iceberg « Optique », et le domaine de l'optique non-linéaire qui est une extension naturelle de cette physique est particulièrement riche.

Note sur l'organisation des manipulations : Afin d'éviter un envahissement ingérable de la paillasse, il est suggéré de réfléchir à la disposition des manipulations afin de réutiliser au maximum chaque ligne d'optique tout en minimisant le nombre de changements à faire pour gagner du temps. Ici, les manipulations étaient organisées en 4 groupes :

- Groupe 1 : Rhomboèdre ;
- Groupe 2 : « Spectroscopie » (toutes les manipulations impliquant un PVD : biréfringence d'une lame épaisse et activité optique en lumière blanche des lames et du canon de Quartz)
- Groupe 3 : « Lumière blanche et interférentielle » (Compensateur de Babinet, touillette, activité optique du Quartz)
- Groupe 4 : « Laser vert » (Lois de Biot et Faraday, ce qui nécessite de prendre un boy qui monte beaucoup pour les cuves)



FIGURE 12 – Si vous n'aviez pas compris la citation.

Le mot de la fin :

« Quand on te donne le choix à 5 h du mat', quitte à travailler dans le noir pendant que tout le monde dort, autant que ce soit pour de l'optique plutôt que de devoir supporter en plus le bruit des moteurs. » — A. Bérut