

# MP13 – BIRÉFRINGENCE, POUVOIR ROTATOIRE

13 avril 2020

Aurélien Goerlinger & Yohann Faure

## Ce qui s'est mal passé

- La manip de détermination de l'indice extraordinaire a raté, on a trouvé une valeur trop grande de 0.1.
- On a perdu beaucoup de temps sur les allumages et éteignages de lampes.
- "le Babinet", non, "le compensateur de Babinet", oui.
- On a fait la première mesure sur le compensateur à 15mn, c'est un peu tard. Fin de l'expérience de Babinet à 22mn.
- le temps manque avant la dernière manip.

## Commentaires du jury

### Les questions :

- *Il y a des matériaux avec plus qu'un rayon ordinaire et un extraordinaire ?* Oui, les matériaux biaxes, dont la constante diélectrique dépend de tous les axes.
- *Est-ce que Babinet c'est vraiment des interférences ?* C'est un système de différence de marche entre les rayons ordinaires et extraordinaires, et l'analyseur recombine les deux composantes, permettant de faire interagir les deux rayons.
- *De quand date la loi de Biot ?* Début du 19eme.
- *Quels sont les types de glucose qui existent ?* Le D-glucose et le L-glucose, mais ici on a 94% de D environ. C'est du sucre commercial.

### Conseils et remarques.

- Il faut bien tronquer ses incertitudes.
- gestion du temps assez aléatoire, il ne faut pas hésiter à couper la variation en  $\lambda$ .
- Il faut préparer les mesures et ne faire que quelques points pendant le montage.
- Il faut faire une jolie conclusion :)
- C'est bien de décrire le matériel et d'expliquer ce qu'il fait. Sur une manip pas classique, il faut décrire en détail.

## Niveau : L2

## Bibliographie

- ↗ *Optique expérimentale*, **Sextant** → Presque tout
- ↗ *Expériences d'optique*, **Duffait** → Expérience de Babinet

## Expériences

- Biréfringence d'un cristal de spath
- Mesure d'épaisseur d'une lame de quartz avec le compensateur de Babinet
- Pouvoir rotatoire du saccharose
- Dépendance du pouvoir rotatoire en longueur d'onde

## Table des matières

<b>1 Biréfringence linéaire</b>	<b>3</b>
1.1 Mise en évidence du phénomène . . . . .	3
1.2 Différence d'indice optique pour une lame épaisse de quartz. PAS LE TEMPS . . . . .	4
1.3 Mesure de l'épaisseur d'une lame mince de quartz . . . . .	4
<b>2 Polarisation rotatoire</b>	<b>5</b>
2.1 Loi de Biot . . . . .	6
2.2 Dépendance en Longueur d'Onde . . . . .	6

La biréfringence est une propriété optique de certains matériaux à posséder des indices optiques différents selon la direction dans laquelle on les traverse. Les exemples typiques sont les cristaux non cubiques, comme les spath et les quartz.

## 1 Biréfringence linéaire

Il s'agit de jouer avec des polarisations linéaires, la théorie derrière pouvant se réécrire de manière matricielle.

### 1.1 Mise en évidence du phénomène



#### QUALITATIF - Biréfringence d'un cristal de spath

**matériel** : rhomboèdre de spath taillé parallèle à l'AO, QI + anticalorique, polariseurs x2, diaphragme, dépoli, lentille de 20cm.

**Protocole** :

- Vérifier les polariseurs
- Monter : QI - antica - (dépoli) - trou - rhombo - lentille - écran
- Voir deux images, qui tournent, et qui sont polarisées, et définir ordinaire et extraordinaire.

On met en évidence l'existence de deux rayons, avec deux indices différents, que l'on va essayer de caractériser.



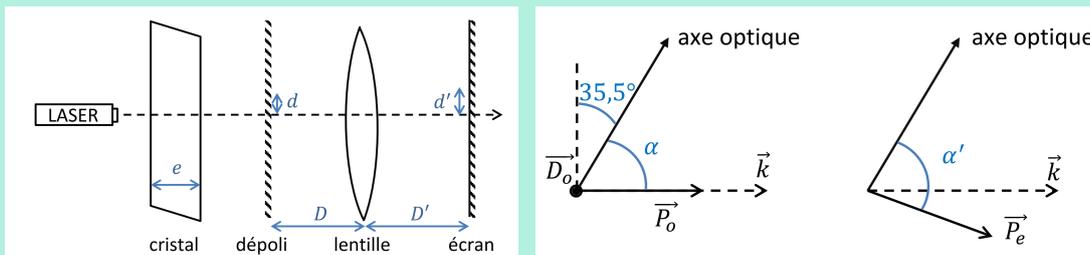
#### Calcul des indices du spath (calcite)

☞ Sextant - p. 281

⊖ n minutes

On va prendre un laser, de préférence non polarisé ou polarisé à  $45^\circ$  de l'axe optique du spath, en incidence parallèle, et le faire passer au travers du spath. Cela va donner deux taches écartées de  $d$ . On fait ensuite l'image de ces taches sur un dépoli, puis sur un écran par lentille, et cela donne une distance mesurable  $d'$ , qui nous permet de remonter à l'écart d'indice.

Il est à noter que la géométrie du cristal de spath donne un angle entre la face d'entrée et l'axe optique de  $35,5^\circ$ .



**Théorie** :

$$\varepsilon_e \tan(\alpha') = \varepsilon_o \tan(\alpha) \quad (1)$$

**Protocole** :

- Faire l'image des deux points du dépoli sur un écran
- Mesurer  $d'$  sur l'écran
- Donner  $\gamma = \frac{D'}{D}$  et en déduire  $d = d'/\gamma$ .
- La déviation entre les 2 rayons est  $\tan(\theta) = d/e$ , avec  $e$  l'épaisseur du cristal.
- $\theta = \alpha - \alpha'$ , avec  $\alpha = 54,5^\circ$ , on en déduit  $\alpha'$ .
- (1) donne  $n_o/n_e = \sqrt{\tan \alpha' / \tan \alpha}$

Pour déterminer les deux indices, il faut maintenant utiliser les valeurs tabulées, trouvable dans des livres spécialisés ou sur internet.

Spath :  $n_o = 1,658$  et  $n_e = 1,486$

Quartz :  $n_o = 1,54425$  et  $n_e = 1,55338$  @590nm

Analyser la cohérence du résultat.

## 1.2 Différence d'indice optique pour une lame épaisse de quartz. PAS LE TEMPS

Duffait p150 On parle de lame épaisse lorsque les rayons ordinaires et extraordinaires ont une séparation spatiale qui n'est plus négligeable. Dans ces conditions, on peut alors observer des spectres cannelés.

### Lignes neutres d'une lame épaisse de quartz

↗ Sextant - p. 283 ; Duffait p.152

⊖ 4 minutes

**Matériel :** QI+AC, lentille CV 10 cm, lame épaisse, écran, 2 polariseurs

Conjuguer la lame et l'écran avec la lentille. Ajouter les polariseurs croisés. Tourner la lame pour rétablir l'extinction (2 positions).

### Interférences en lumière polarisée et spectre cannelé de biréfringence

↗ Sextant p.290 ; Duffait p.152

⊖ 5 minutes

**Matériel :** cf expérience précédente, prisme à vision directe, Spectro Spid HR

Placer le prisme à vision directe après A. Tourner la lame de sorte à ce que les lignes neutres fassent un angle de  $45^\circ$  avec P et A. Tourner ensuite de nouveau la lame pour observer le spectre cannelé.

Remplacer le prisme à vision directe par le spectromètre Spid HR. On doit repérer sur le spectre deux longueurs d'onde éteintes  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$ . Calculer le nombre p d'extinctions (cannelures) entre ces deux longueurs d'onde. On remarque que  $e\Delta n = K\lambda_1 = (K + p)\lambda_2$  donc  $K = p\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$  On obtient alors

$$\Delta n = \frac{p}{e} \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

## 1.3 Mesure de l'épaisseur d'une lame mince de quartz

↗ Duffait p150

Le compensateur de Babinet est composé de 2 prismes ayant pour base un triangle rectangle et couissant l'un sur l'autre selon leur hypothénuse. L'axe optique du premier prisme est vertical, l'axe optique (a.o.) du second est horizontale. L'idée est d'envoyer un onde polarisée à  $45^\circ$  par rapport à ces axes optiques. Cette onde peut être décomposée en 2 ondes : la première onde polarisée verticalement qui arrive parallèle à l'a.o. du premier prisme et qui verra l'indice  $n_e$  et ensuite perpendiculaire à l'a.o. du second prisme et qui verra  $n_o$ . La seconde onde, polarisée horizontalement, verra d'abord  $n_o$  puis  $n_e$ . On a alors une différence de marche entre les deux ondes. Si on les reprojette sur une même polarisation avec un analyseur, elles vont interférer.

### Etalonnage du compensateur de Babinet

↗ Duffait - p. 150

⊖ 6 minutes

**Matériel :** Laser+objectif de microscope, compensateur de Babinet, lentille conv de 10 cm, 2 polariseurs, filtre interférentiel, écran.

Dans un premier temps, placer P (polariseur) puis A (analyseur) et les croiser. Il ne faut alors plus toucher les orientations de P et A

Ensuite, retirer A et placer le Babinet. Avec la lentille, faire l'image du réticule du Babinet sur l'écran. Replacer derrière la lentille l'analyseur A et un filtre interférentiel  $\lambda_0$  (le laser n'est pas parfaitement monochromatique). Le but de l'analyseur est de projeter les 2 ondes sur la même direction de polarisation (car deux ondes de polarisation différente ne peuvent interférer). On voit apparaître des franges.

Placer une frange claire entre les réticules, lire la valeur du vernier  $d_0$ . Déplacer 3 franges, noter la nouvelle valeur du vernier  $d_3$ . On obtient alors  $d_0 = \frac{d_2 - d_1}{3}$  qui est la distance entre deux franges claires consécutives.

**Cette distance correspond à une différence de marche de  $\lambda_0$ , le compensateur est alors étalonné.**

### Mesure de l'épaisseur d'une lame mince de quartz

↗ Duffait - p150

⊖ 6 minutes

On utilise cette fois une lampe QI avec un anticalorique. On voit alors apparaître des franges irisées. Placer la frange sombre centrale entre les réticules du compensateur. Noter la valeur  $d_{\text{ref}}$  du vernier.

Placer la lame mince de quartz (la lame de  $60 \mu\text{m}$  taillée parallèlement à l'axe optique marche bien pour l'expérience). La faire tourner pour obtenir un contraste de franges maximal (lorsque les lignes neutres de la lame sont à  $45^\circ$  par rapport à P et A). Replacer la frange noire entre les réticules et noter la nouvelle valeur  $d_{\text{mes}}$ . On a déplacé le vernier d'une distance  $d$  qui correspond à une différence de marche  $\delta = \Delta n \cdot e$ . On obtient  $\delta$  grâce à l'étalonnage effectué au préalable :

$$\delta = \lambda_0 \frac{d}{d_0}$$

On connaît  $\Delta n$  grâce à la partie précédente, on en déduit l'épaisseur  $e$  de la lame.

Incertitude :

$$u(\delta) = \delta \sqrt{\left(\frac{u(\lambda_0)}{\lambda_0}\right)^2 + \left(\frac{u(d)}{d}\right)^2 + \left(\frac{u(d_0)}{d_0}\right)^2}$$

## 2 Polarisation rotatoire

Lorsqu'une lumière polarisée entre dans un milieu avec un pouvoir rotatoire, sa polarisation change. Elle va tourner, au fur et à mesure de sa progression dans le milieu. Ce phénomène peut s'observer facilement en polarisant de la lumière à l'aide d'un polariseur, et en l'analysant en sortie avec un analyseur. C'est le principe de la lumière polarisée analysée dans les microscopes.

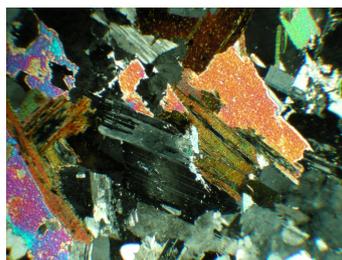


FIGURE 1 – Lame de quartz en lumière polarisée analysée au microscope

**Mise en évidence par le quartz, Sextant - p. 318**

**Possibilité 1 :**

Lumière polarisée analysée sur une lame de Quartz (très joli). On remarque des extinctions de certaines zones, preuve de la biréfringence et du pouvoir rotatoire du quartz.

**Possibilité 2 :**

Montage : Lumière - polariseur - quartz - analyseur - écran/capteur d'intensité.

On remarque que les polariseurs sont décalés pour un max et un min d'intensité.

Cette capacité qu'on certains matériaux à tourner la lumière est fort utile pour déterminer des concentrations ou des proportions en Chimie.

## 2.1 Loi de Biot

Dans cette section nous allons tacher d'utiliser a loi de Biot pour mesurer un pouvoir rotatoire, et remonter à une concentration.

$$\alpha = [\alpha]_s(T, \lambda) \times \ell \times c \quad (2)$$

$\alpha$  : angle de rotation observé [°]

$[\alpha]_s$  : pouvoir rotatoire spécifique (à T et  $\lambda$  donnés) [mL g/dm]

$\ell$  : longueur de la cuve [dm]

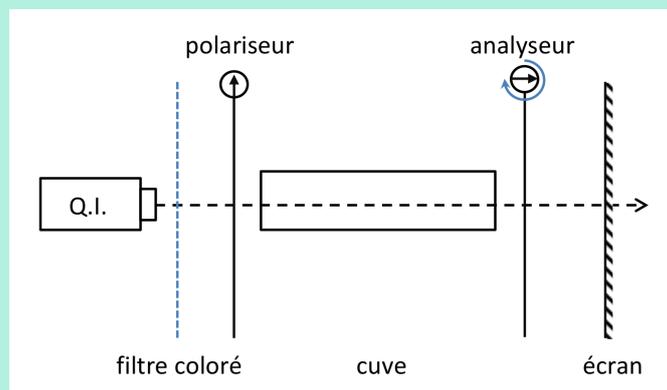
$c$  : concentration [g L<sup>-1</sup>]



### Concentration en Glucose

☞ Sextant - p. 318

⊖ n minutes



**Matériel** : Q.I., filtre anti-calorique, filtre interférenciel, diaphragme, 2 polariseurs, lentille CV, 4 cuves P10.47, sucre en poudre, balance, écran.

**Remarque** : La solubilité du sucre dans l'eau étant énorme (2 kg L<sup>-1</sup> à 25°C), la seule chose qui limite vraiment les concentrations des cuves et le temps nécessaire à la dissolution.

**Protocole** :

- 4 cuves (P10.47, contenance d'environ 35 mL) de concentrations massiques en sucre différentes (0/200/400/600 g L<sup>-1</sup>). Pour cela diluer 60 g de sucre dans 100 mL d'eau, agiter un certain temps avec un agitateur magnétique puis effectuer les dilutions correspondantes.
- Polariser le faisceau en sortie de la QI.
- Mettre un analyseur orthogonal pour éteindre la lumière et intercaler la cuve.
- Mettre en évidence le pouvoir rotatoire, et la dépendance en  $\lambda$  (apparition de couleurs lorsqu'on est proche de l'extinction de lumière).
- Quantifier à l'aide d'un détecteur lumineux sensible.
- tracer  $\alpha(c)$ . On a un étalon

On peut maintenant remonter à la concentration en sucre de mon thé de ce matin ! En supposant qu'il n'y a que le glucose qui est optiquement actif, on a :

- Mettre le thé, trouver  $c$ .

Mais mon thé est chaud, et il y a potentiellement une dépendance en température. Il faut donc faire attention.

L'autre dépendance que l'on peut mettre en avant est la dépendance en longueur d'onde.

## 2.2 Dépendance en Longueur d'Onde



## Dépendance en lambda

☞ Ma pensée

⊖ n minutes

Reprendre la cuve de  $600 \text{ g L}^{-1}$ . On utilise des filtres interférentiels pour faire la dépendance en longueur d'onde.  
On ne s'attend à rien en particulier, mais ça permet d'étalonner.

## Conclusion

Phénomène de biréfringence into matériaux biaxes into traitement matriciel des rayonnements. Pouvoir rotatoire into caractérisation chimique de solutions.