

MP 13 Biréfringence, pouvoir rotatoire

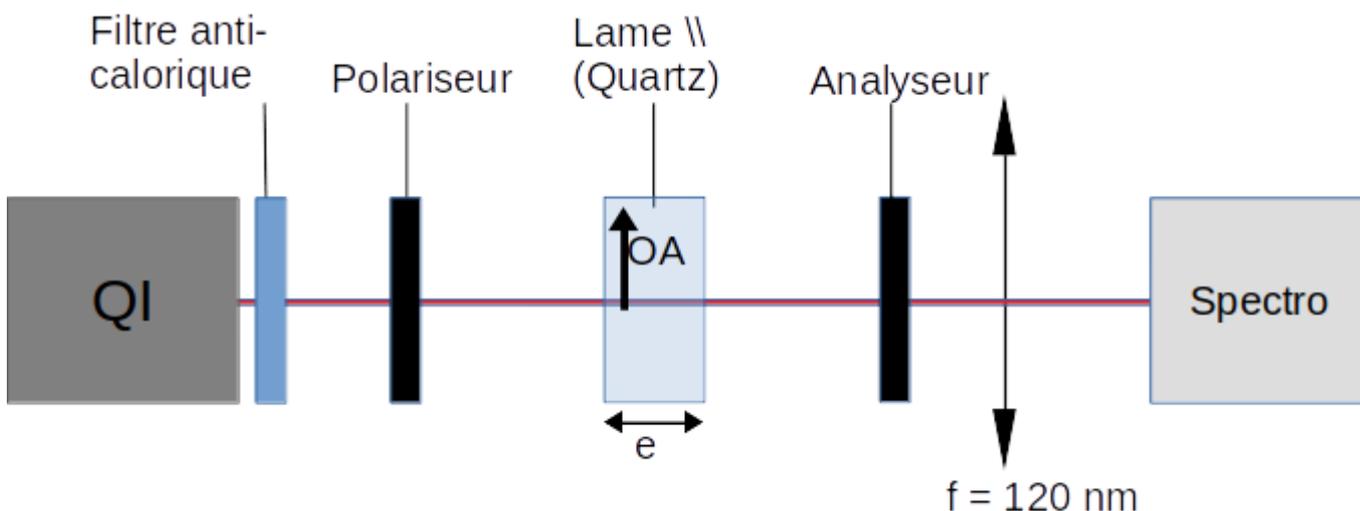
1 Mise en évidence de la Biréfringence

1.1 Biréfringence linéaire

1.1.1 Matériel

- Polariseur ($\times 2$)
- lame de quartz taillée parallèle 4 mm (et son support)
- lampe QI
- filtre anti-calorique (!)
- lentille convergente ($f = 120\text{ mm}$)
- support boy pour le spectro
- Spectromètre¹ (*Ocean optics HR 400*)
et un ordinateur avec *Spectra suite*

1.1.2 Principe



On éclaire un polariseur en lumière blanche avec la lampe QI. On obtient alors en entrée de la lame de quartz une onde polarisée rectilignement. On ajuste le condenseur de la lampe QI pour essayer d'arriver sur la lame en incidence normale.

Comme la lame taillée parallèlement à son axe optique (voir ellipsoïde des indices) est attaquée suivant l'un des axes de ellipsoïde des indices, les rayons incidents ne changent pas de direction lors de la traversée. Cependant, les rayons incidents non polarisés suivant un axe neutres de la lame sont séparés en deux parties (correspondant aux projections sur les axes neutres de la lame) :

¹Le spectromètre n'arrête pas de se débrancher alors il faut le calibrer (recopier les coefficients inscrits sur le spectro dans le logiciel) uniquement quand le reste du montage est prêt. Et prier pour qu'il ne se débranche pas durant la manip si non il faut quitter le logiciel, débrancher, rebrancher le spectro, et refaire la calibration.

- Un rayon ordinaire qui voit l'indice n_o
- Un rayon extra-ordinaire qui voit l'indice n_e

à la traversée de la lame, ces deux rayons ont donc acquis une différence de phase :

$$\delta = e \times (n_e - n_o) = e \times \Delta n \quad (1)$$

Où e est l'épaisseur de la lame. On utilise un analyseur pour projeter les polarisations sur un même axe et obtenir la figure d'interférence. Une lentille de $f = 120 \text{ mm}$ permet de focaliser la figure sur le spectromètre. On observe un spectre cannelé constitué d'une vingtaine de pics². On indexe alors les pics sur le spectre : Le pic d'indice n en λ_n est relié au pic d'indice $n - p$ en λ_{n-p} par :

$$\delta = e \times \Delta n = p \times \frac{\lambda_{n-p} \lambda_n}{\lambda_{n-p} - \lambda_n} \quad (2)$$

On trouve³ pour une lame de quartz d'épaisseur $e = 4 \text{ mm}$: $\lambda_9 = 674 \text{ nm}$, $\lambda_1 = 618 \text{ nm}$ donc $p = 8$ et donc $\Delta n = 7 \pm 2 \cdot 10^{-3}$

La valeur tabulée est à $T = 20 \text{ C}^\circ$: $\Delta n = 9 \times 10^{-3}$ (avec $n_o = 1.544$ et $n_e = 1.553$)
Pour ce calcul, on est obligé de faire confiance au constructeur sur la valeur de e .

1.2 Biréfringence circulaire

Ici, on s'intéresse à la biréfringence circulaire : la capacité qu'a le cristal de quartz à faire tourner une lumière rectilignement polarisée durant sa propagation.

Comme l'effet est petit devant les rotations que peuvent induire la biréfringence linéaire, il est nécessaire de faire arriver le rayon parallèle à l'axe optique. Ainsi, (voir ellipsoïde des indices en annexe), on n'observe plus la biréfringence linéaire et le milieu paraît isotrope d'indice n_o au rayon incident.

Dans un premier temps, on veut seulement mettre en évidence que l'angle extinction change entre sans et avec la lame.

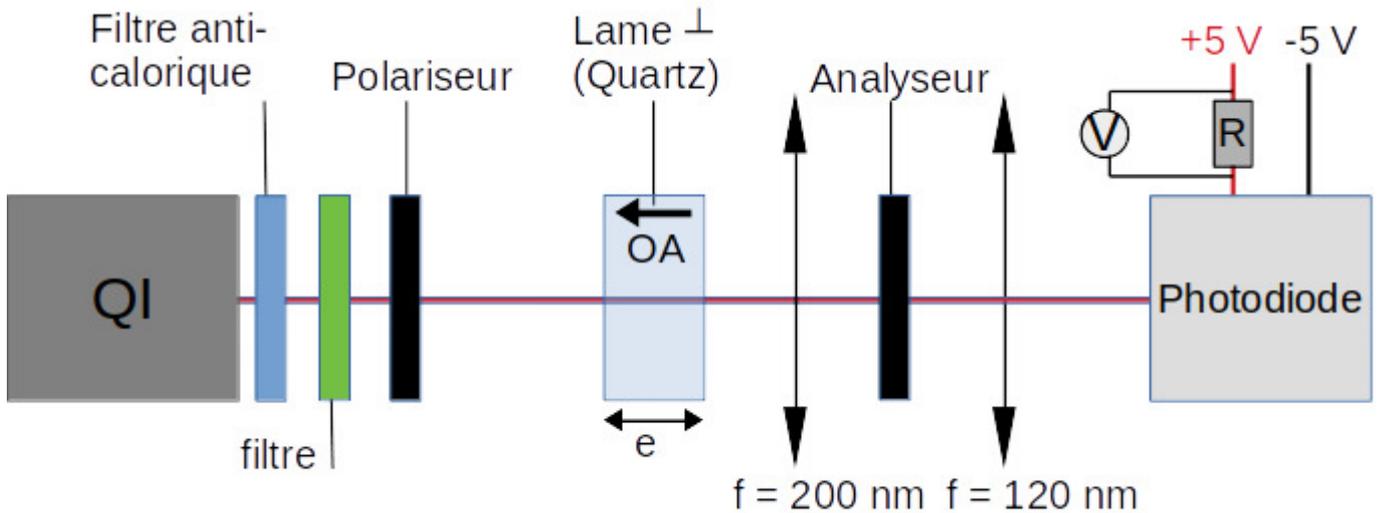
1.2.1 Matériel

- Les mêmes moins le spectro et son support boy.
- une photodiode et la lame.
- une lame de quartz taillée perpendiculairement à son axe ($e = 2 \text{ mm}$)
- lentille convergente ($f = 200 \text{ mm}$)
- un voltmètre une résistance ($R = 800 \text{ k}\Omega$)
- un générateur de tensions continues.

²Le contraste est maximal lorsque les analyseur et polariseur sont parallèles à 45° des axes neutres de la lame.

³je prends 0.5 nm d'incertitude sur chaque λ . En effet, le signal est bruité et le haut des pics est une sorte de plateau.

- une roue de filtre interférentiels. (On commence ici avec le vert $\lambda = 544 \text{ nm}$)



1.2.2 Principe

On croise analyseur et polariseur sans la lame de sorte à ce que le polariseur soit sur 0° . On ajoute alors la lame. On tourne alors le polariseur d'un angle θ et on note la tension correspondante U mesurée au Voltmètre. On trace $U(\theta)$. On fitte avec la loi de Malus pour trouver l'angle d'extinction θ_0 :

$$U(\theta) = U_0 \times \cos\left(\theta + \frac{\pi}{2} + \theta_0\right)^2 \quad (3)$$

Le terme $\frac{\pi}{2}$ est dû au fait qu'on cherche l'extinction. Neuf points suffisent (par 30° de -90° à $+30^\circ$ puis par 10° de 30° à 80°). On trouve un angle autour de 54° .

On définit alors le pouvoir rotatoire :

$$\alpha = \frac{\theta_0}{e} \quad (4)$$

La valeur théorique est $\alpha = -21.73 \cdot 10^{-3} / \text{m}$ à 20°C et 589 nm .

On peut ensuite s'en servir pour remonter à la différence d'indice que voient une onde circulaire gauche et droite :

$$\Delta n_{(g-d)} = \frac{\alpha \lambda}{\pi e} \quad (5)$$

La valeur théorique est $\Delta n_{(g-d)} = 7.2 \cdot 10^{-5}$.

2 Caractérisation du pouvoir rotatoire

2.1 Dispersion rotatoire

On reprend le même montage mais on fait tourner la roue de filtres pour changer la longueur d'onde (544 nm , 499 nm , 434 nm , 633 nm) et on note le nouvel angle extinction que l'on repérera à l'œil. Puis on change de filtre et donc de longueur d'onde et on recommence.

On peut essayer par analogie à la loi de Cauchy le fit :

$$\alpha(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2} \quad (6)$$

2.2 Loi de Biot

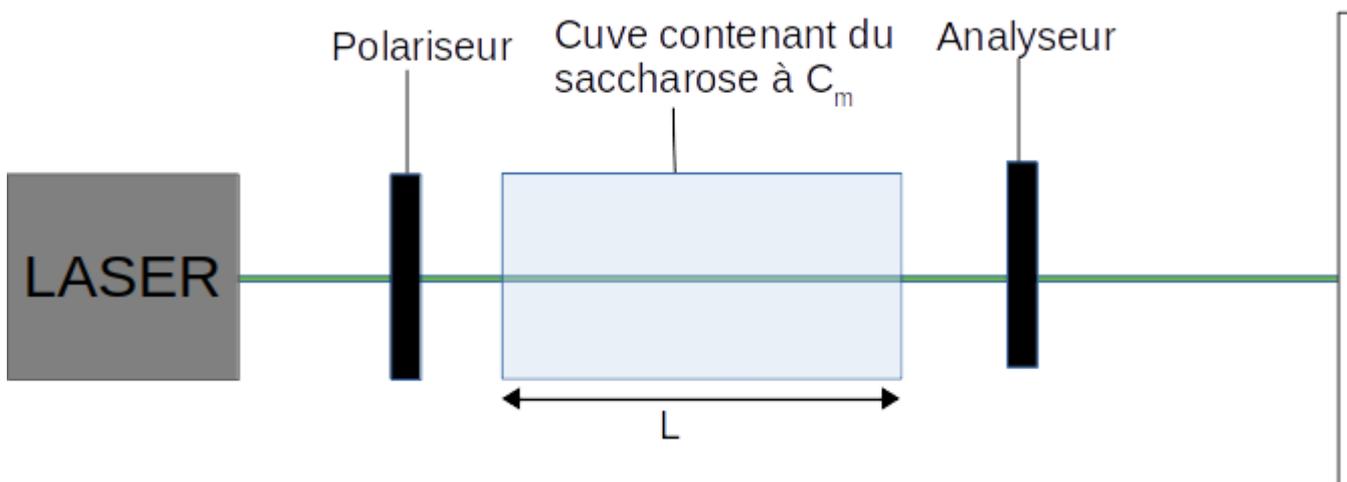
Pour des solutions assez diluées, où les constituants i sont optiquement actifs :

$$\alpha = L \times \sum_i [\alpha_i]_{\lambda}^T \times C_i \quad (7)$$

avec C_i , la concentration en l'espèce i , L la longueur de solution traversée par le rayon et $[\alpha]_{\lambda}^T$ le pouvoir rotatoire spécifique de l'espèce i à la température T et longueur d'onde λ . Ici, on veut déterminer $[\alpha_i]_{\lambda}^T$ pour le saccharose.

2.2.1 Matériel

- polariseur et analyseur
- laser vert ($\lambda = 532 \text{ nm}$)
- support boy
- cuve longue et peu haute
- thermomètre
- mètre ruban
- solutions de saccharose : 10 g, 20 g, 30 g, 40 g dans 100 mL d'eau distillée.



2.2.2 Principe

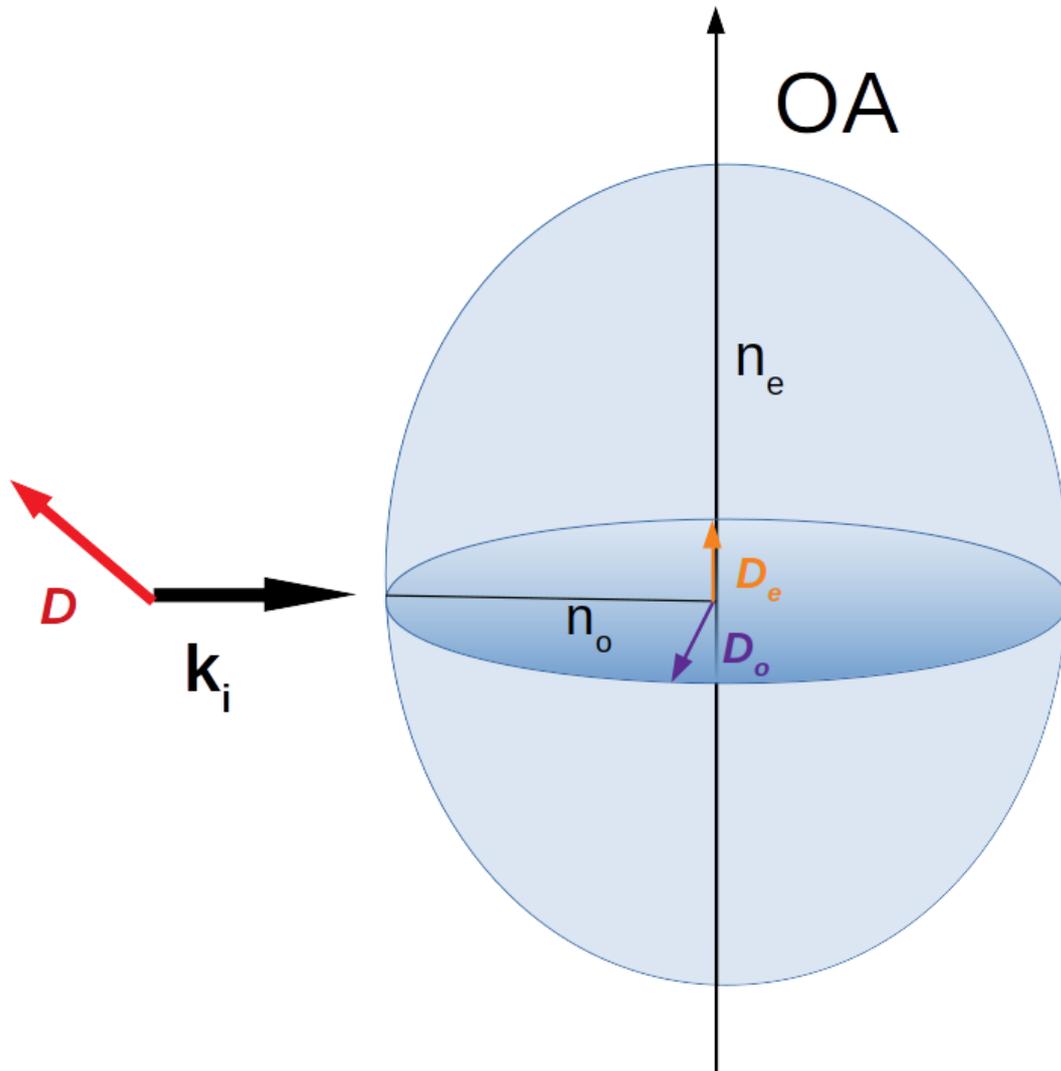
On suppose que le saccharose est seul en solution à avoir un pouvoir rotatoire⁴. On trace alors $\alpha(C_m)$ (on peut faire d'autres points en préparation). On note bien la longueur d'onde et la température.

Il est intéressant de décrire la zone où un fit linéaire est pertinent, et montrer les limites de la loi (passé les 500 g/L). On peut aussi déterminer la concentration d'une solution de saccharose mystère en utilisant cette courbe d'étalonnage.

La valeur tabulée est $[\alpha_{\text{saccharose}}]_{\lambda=589 \text{ nm}}^{T=25 \text{ C}^\circ} = 66.5^\circ \cdot \text{dm}^2/\text{g}$

⁴On est conscient que ce n'est pas le cas : le saccharose se hydrolyse en deux composés eux mêmes optiquement actifs. Mais cette réaction est très lente (plusieurs jours pour que la moitié du saccharose se transforme). Il semble donc légitime de faire cette approximation.

3 Annexe



Ellipsoïde des indices. On a représenté le cas de l'incidence de la première expérience. Les vecteurs D doivent être tangents à la surface