

Titre : Biréfringence, Pouvoir rotatoire

Présentée par : Julie SEGUIN

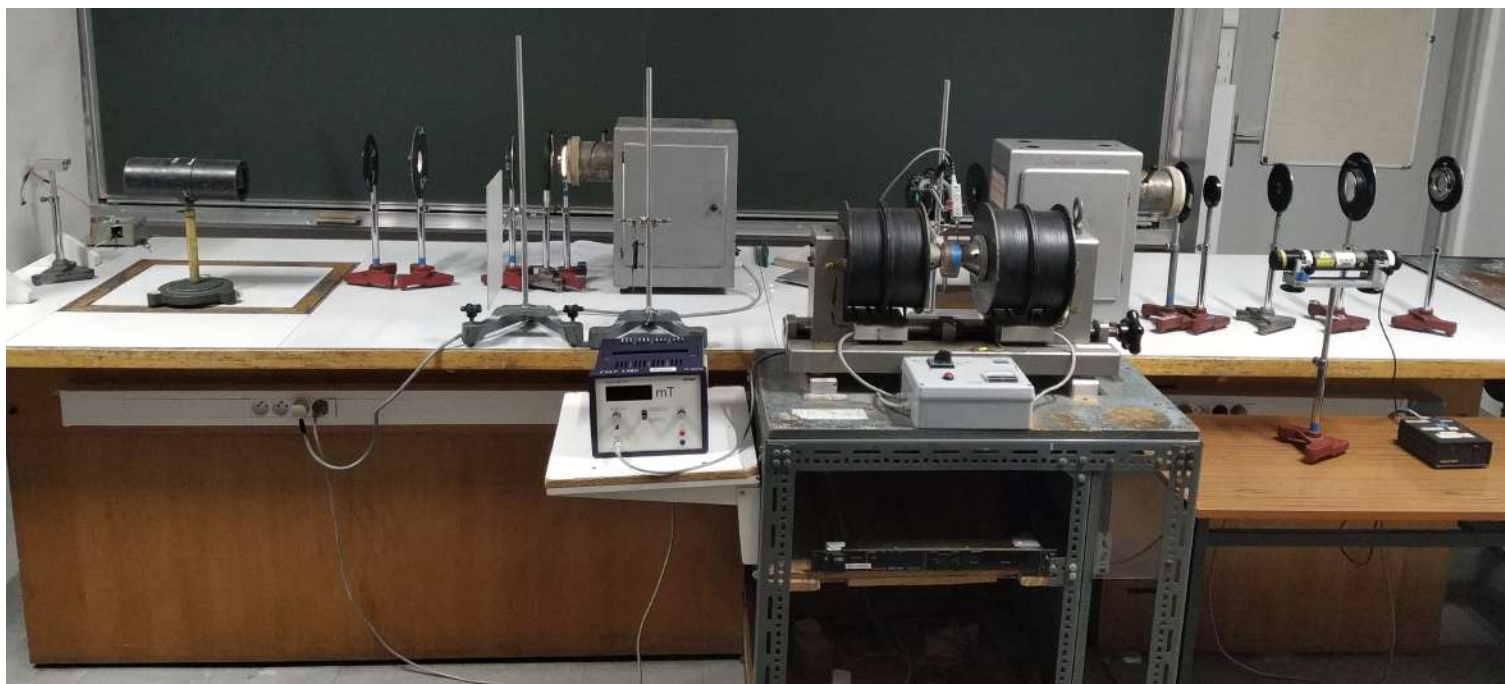
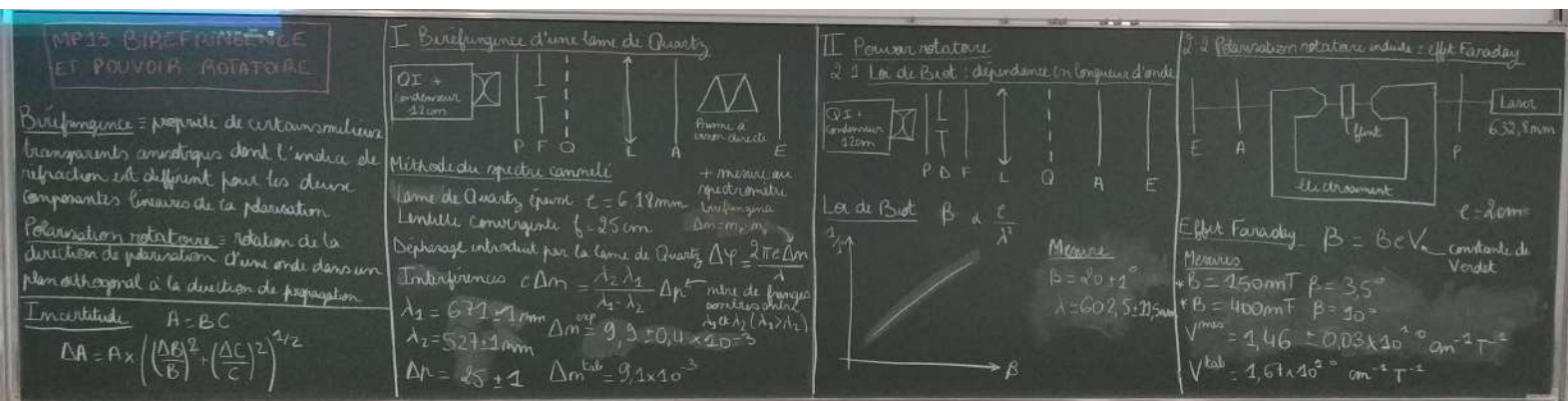
Rapport écrit par : Margot LEPAGNOL

Correcteur : Pauline YZOMBARD et Alexis BRES

Date : 30/03/2021

Bibliographie

Titre	Auteurs	Éditeur
SEXTANT, Optique Expérimentale		
Optique : Fondements et Applications	Perez	Dunod
Poly de TP Polarisation II		



Expérience 1 : Spectre cannelé

Référence : Poly de TP Polarisation II et Sextant p 290

Temps consacré : 10 min

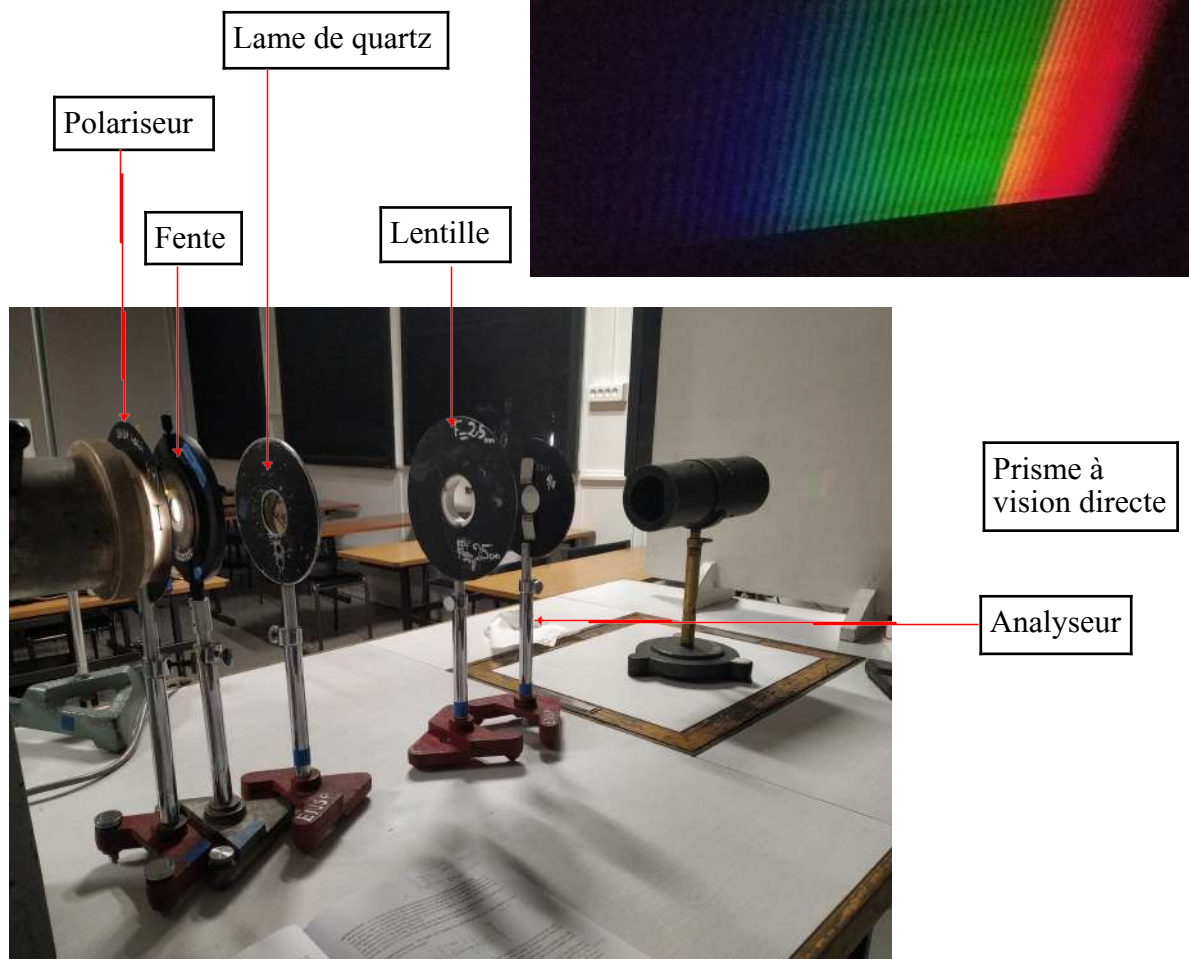
But de la manip : Calculer la biréfringence d'une lame de quartz épaisse.

On utilise une lame de quartz parallèle d'épaisseur $e = 6,18 \text{ mm}$. La biréfringence de la lame induit un déphasage $\Delta\phi = (2\pi \Delta n e)/\lambda$. La condition d'interférence constructive donne :

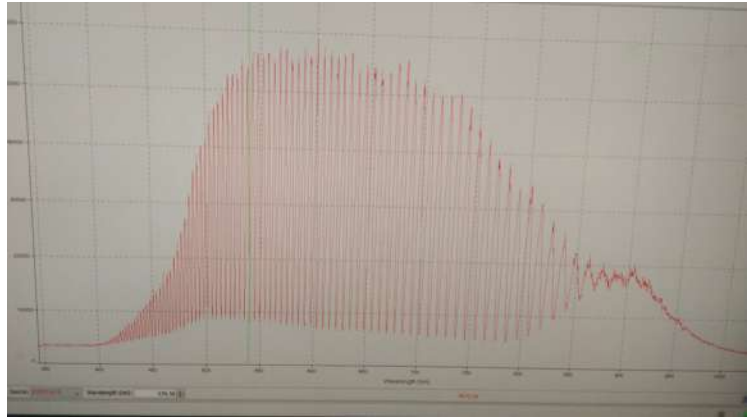
$$e \Delta n = \Delta p \lambda_1 \lambda_2 / (\lambda_1 - \lambda_2) \quad \text{avec } \lambda_1 > \lambda_2 \text{ et } \Delta p \text{ est le nombre de franges sombres entre les deux longueurs d'onde } \lambda_1 \text{ et } \lambda_2.$$

Mesure présentée devant le jury :

Construction complète du montage optique : on utilise une lampe Quartz-Iode avec un condenseur de 12 cm. On réalise l'image d'une fente par une lentille de focale 25 cm sur un écran. On ajoute un polariseur entre la lampe et la fente, et un analyseur après la lentille. On veille à les croiser afin d'observer l'extinction du faisceau arrivant sur l'écran. On intercale la lame de quartz entre la fente et la lentille, dans notre cas entre la fente et la lentille : il n'y a plus extinction du faisceau. On tourne la lame de quartz de sorte à obtenir l'image la plus éclairée possible sur l'écran. Pour un aspect pédagogique, on place le prisme à vision directe devant l'analyseur et on observe le spectre cannelé sur l'écran :



Puis, pour la mesure, on introduit un spectromètre USB à la place du prisme à vision directe et on observe le spectre sur SpectraSuite.



Entre $\lambda_1 = 671,1 \text{ nm}$ et $\lambda_2 = 527,1 \text{ nm}$, on relève 25 franges sombres.

Ainsi $\Delta n^{\text{exp}} = 9,9 \times 10^{-3}$ sachant que $\Delta n^{\text{théo}} = 9,1 \times 10^{-3}$.

Expérience 2 : Loi de Biot

Référence : Poly de TP Polarisation II

Temps consacré : 8 min

But de la manip : Mise en valeur de la relation de proportionnalité entre l'angle de rotation de la polarisation linéaire et l'inverse du carré de la longueur d'onde.

On réalise le montage suivant :

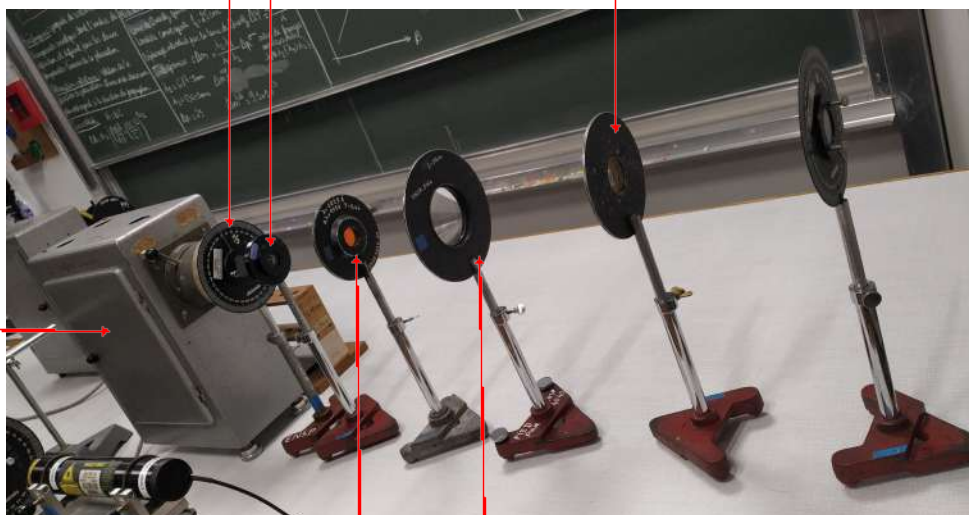
Polariseur

Diaphragme

Lame de quartz
perpendiculaire de 1 mm

Analyseur

Lampe QI
avec
condenseur
de 12 cm



Filtre
interférentiel

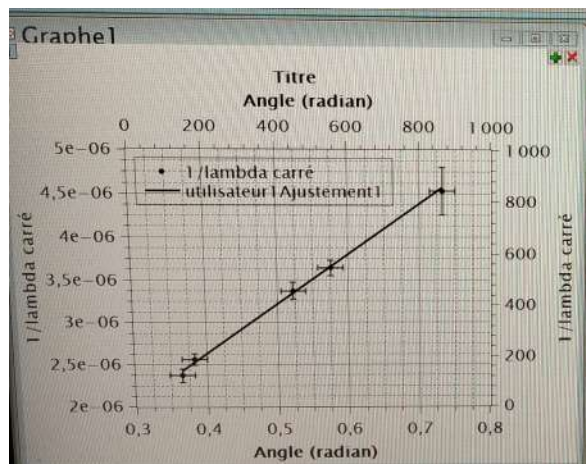
Lentille de
focale 30 cm

On réalise l'image d'un trou par une lentille. On ajoute un polariseur et un analyseur, on les croise pour établir l'extinction du faisceau. On intercale ensuite la lame de quartz entre l'analyseur et la lentille et on constate qu'il n'y a plus d'extinction. Pour différents filtres interférentiels, on mesure l'angle α nécessaire pour rétablir l'extinction : c'est l'angle de rotation de la polarisation linéaire. On trace ensuite $1/\lambda^2$ en fonction de cet angle et on cherche à vérifier la formule de Biot : α est proportionnel à e/λ^2 où e est l'épaisseur de la lame.

Mesure présentée devant le jury :

Pour le filtre interférentiel $\lambda = 602,5 \text{ nm}$, on mesure $\alpha = 24$ degrés.

On obtient alors le graphe ci-dessous : c'est une droite et la formule de Biot est vérifiée.



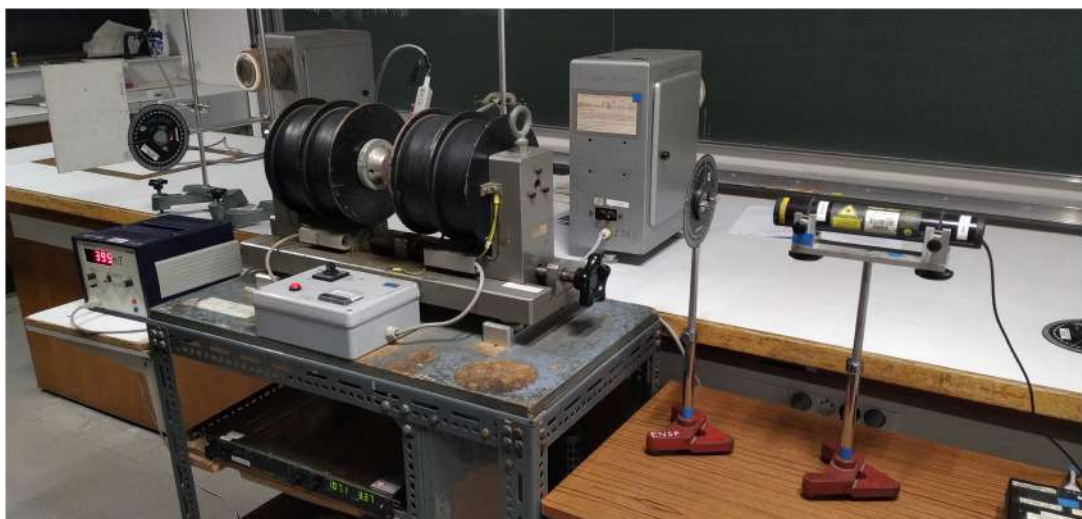
Expérience 3 : Effet Faraday

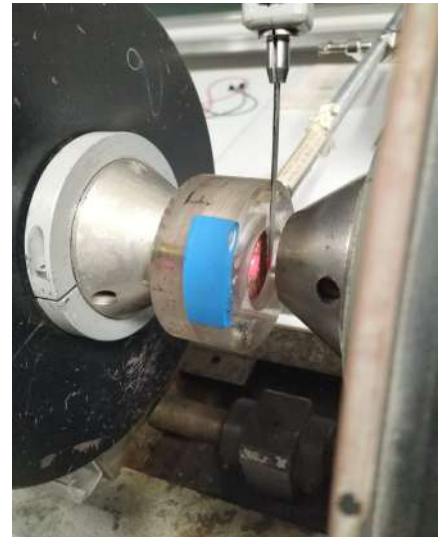
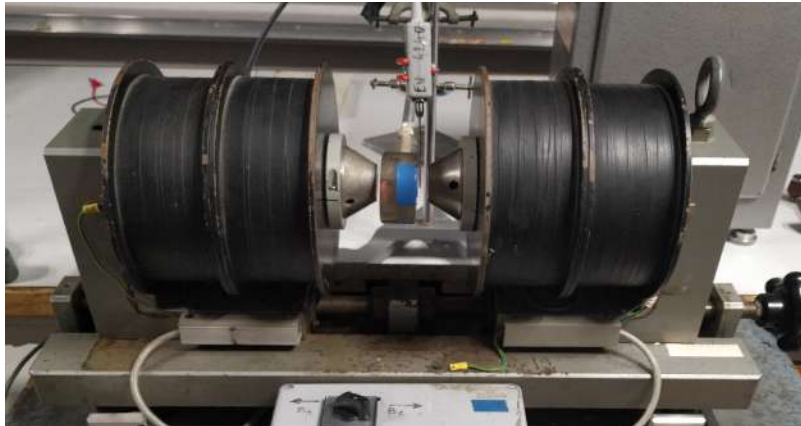
Référence : Poly de TP Polarisation II et Sextant p 320

Temps consacré : 10 min

But de la manip : Calculer la constante de Verdet du verre flint.

Le faisceau du laser traverse l'électroaimant (on utilise les pièces tronconiques percées). Il y a un polariseur devant le laser et un analyseur devant l'écran d'observation. On établit l'extinction du faisceau laser en croisant le polariseur et l'analyseur. Puis on insère le verre flint et la sonde à effet Hall entre les pièces tronconiques de l'électroaimant :





En l'absence de champ magnétique, le verre flint est inactif. Par contre en présence de champ magnétique, le verre flint a la capacité de faire tourner d'un angle β la direction de polarisation de l'onde incidente polarisée rectilignement. Il faut donc tourner l'analyseur de β pour observer à nouveau l'extinction. Cet angle varie en fonction du champ magnétique appliqué suivant la relation :

$\beta = V B e$ où e est l'épaisseur du verre flint et V est la constante de Verdet que l'on cherche à déterminer ici.

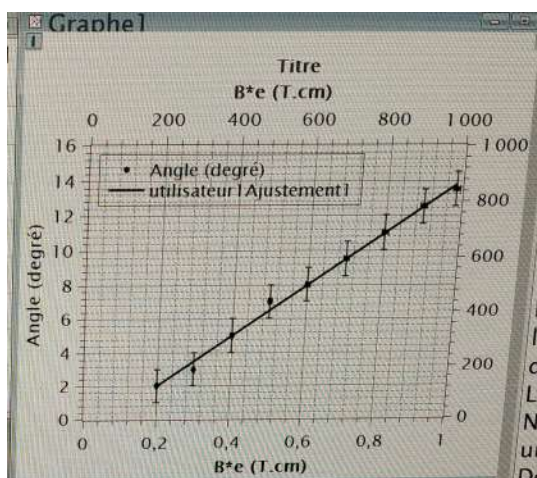
Ainsi, pour différentes valeurs de B , on mesure β et on trace β en fonction de $B e$.

Mesure présentée devant le jury :

Pour $B = 150 \text{ mT}$, on mesure $\beta = 3,5$ degrés.

Pour $B = 400 \text{ mT}$, on mesure $\beta = 10$ degrés.

On trace β en fonction de $B e$ et on obtient la courbe ci dessous :



La pente de la courbe est la constante de Verdet : $V^{\text{exp}} = 14,6 \text{ } ^\circ \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}$

La valeur théorique est $V^{\text{théo}} = 16,7 \text{ } ^\circ \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}$

Questions posées par l'enseignant (avec réponses)

Questions générales :

1. *Comment définit-on la polarisation d'une onde électromagnétique ?*

On considère le plan orthogonal à la direction de propagation de l'onde. La polarisation est définie par la courbe suivie par le champ électrostatique E en fonction du temps dans ce plan.

2. *En dehors de la physique, pourquoi la pouvoir rotatoire est-il important ?*

En chimie, il est possible de distinguer deux molécules chirales énantiomères l'une de l'autre grâce à leur pouvoir rotatoire.

Questions manip 1 :

3. *Comment as-tu choisi la taille de la fente source ?*

La largeur de la fente va jouer sur le netteté du spectre cannelé, je l'ai donc choisie afin d'avoir la meilleure observation possible sur l'écran.

4. *Le choix de la taille de la fente n'a pas été fait suivant des considérations d'optique géométrique ?*

Il faut prendre une fente suffisamment large pour avoir assez de luminosité sur l'écran.

5. *Si la fente est trop fine, que se passe-t-il ?*

Il y aura des phénomènes de diffraction parasites.

6. *La position du polariseur par rapport à la fente a-t-elle une importance ?*

Non, on peut placer le polariseur avant ou après la fente, cela ne change rien.

7. *Comment faire en sorte que les cannelures soient plus larges ?*

Il faut jouer sur l'épaisseur de la lame et la largeur de la fente.

8. *Quelle grandeur est la plus grande source d'incertitudes dans ce type de montage en optique ?*

La plus grande source d'incertitudes réside dans la mesure des angles de polarisation sur l'analyseur.

9. *Au lieu de l'estimer à l'oeil nu, comment peut-on améliorer la détermination de l'extinction lorsqu'on croise le polariseur et l'analyseur ?*

On peut utiliser une photodiode.

10. *Comment as-tu évalué ton incertitude de 1 nm sur λ_1 et λ_2 ?*

Cette incertitude correspond à l'incertitude de lecture de la longueur sur le logiciel SpectraSuite. En d'autres termes, il s'agit de la largeur à mi-hauteur d'un pic.

11. *Ducoup, tu n'as pas tenu compte de la résolution du spectromètre dans tes incertitudes ?*

Non, mais il faudrait le faire.

12. *En dehors des cannelures, à quel phénomène est dû la forme du spectre ?*

C'est dû au rayonnement du corps noir.

13. Est-ce que les minima sont équi-répartis sur le spectre ? Les pics semblent plus resserrés pour les petites longueurs d'onde et plus espacés pour les grandes longueurs d'onde, est ce que cela a un impact sur les incertitudes ?

Oui mais je ne sais pas comment.

14. Est ce que Δn dépend de la longueur d'onde ?

Oui mais c'est difficile de déterminer à quel point exactement. Pour simplifier, on peut considérer que si on prend des mesures pour λ_1 et λ_2 aux extrémités du spectre, l'erreur sur Δn est de 10%.

15. Pourquoi les minima du spectre cannelé ne sont pas à zéro ?

J'ai oublié d'enlever le bruit ambiant en faisant le noir sur le logiciel SpectraSuite.

16. Et dans les conditions idéales où on a pensé à faire le noir sur SpectraSuite, pourquoi les minima ne sont quand même pas au zéro ?

C'est dû au fait que la polarisation n'est pas parfaite, elle est elliptique.

17. Est-ce qu'on est si déçu de la différence entre la valeur de Δn théorique et expérimentale ?

On est à 2σ , ce qui est raisonnable finalement.

Questions manip 2 :

18. Tu as fait le choix d'utiliser une lampe QI avec un filtre interférentiel. Pourquoi ce choix ? Est-ce qu'on n'aurait pas pu utiliser une source lumineuse moins dispersée en longueurs d'onde ?

C'est un choix pédagogique pour bien montrer le phénomène de polarisation avec le pouvoir rotatoire avant de faire les mesures. On aurait pu utiliser des lasers mais il n'y a pas beaucoup de choix de longueurs d'onde. Enfin, on aurait pu utiliser une lampe spectrale.

19. Est-ce que tu aurais une incertitude sur la longueur d'onde plus intéressante avec une lampe spectrale ?

Oui, sûrement.

20. Quelles seraient les limitations de l'utilisation d'une lampe spectrale ?

On aurait une grosse perte de luminosité par rapport à l'utilisation de la lumière blanche.

21. Dans le spectre de la lumière blanche, qu'y a-t-il d'autre que le domaine visible ?

Il y a des infrarouges, le boîtier métallique de la lampe est chaud.

22. Quelle précaution aurait-on pu prendre concernant cette chaleur dégagée par la lampe QI ?

On aurait pu utiliser un filtre antithermique pour protéger le filtre interférentiel. Ce n'est pas grave de ne pas l'avoir fait ici mais y penser le jour des oraux !

23. Quel commentaire peut-on faire sur la valeur du χ carré réduit ? Est-ce que c'est satisfaisant ?

Il est égal à 0,13 donc légèrement inférieur à 1. C'est une valeur satisfaisante, on peut valider le modèle.

24. Tu as fait un ajustement linéaire ou affine ? Pourquoi ?

Affine mais l'ordonnée à l'origine est très faible donc on aurait pu faire un ajustement linéaire.

25. L'ordonnée à l'origine est très faible par rapport à quoi ? A quoi faut-il comparer ?

Je ne sais pas.

Questions manip 3 :

26. *Comment justifies-tu le choix des pièces de l'électroaimant ?*

On utilise des pièces percées pour laisser passer le faisceau laser, et les pièces sont tronconiques pour réaliser des mesures avec un champ suffisamment intense.

27. *C'est quoi e dans la formule ?*

C'est l'épaisseur de la lame de verre flint.

28. *Où as-tu trouvé la valeur théorique de la constante de Verdet ? En quelles unités était-elle donnée ?*

C'est une valeur fournie par le constructeur, elle est inscrite sur l'objet. Elle n'était pas en unité du système international (oersted ou $\text{min.Gauss}^{-1}.\text{cm}^{-1}$), il faut faire la conversion.

29. *Comment-as-tu évalué les incertitudes sur le champ B ?*

On utilise les données du constructeur pour le teslamètre : l'incertitude est de 2% sur la mesure.

30. *N'y a-t-il pas une autre source d'incertitudes ?*

Il y a le fait que la sonde est décalée entre chaque mesure. Pour évaluer l'incertitude qui en découle, on peut réaliser deux fois la même mesure en bougeant la sonde entre les 2 et en déduire la différence due à ce décalage.

31. *L'incertitude sur V paraît un peu faible étant donné les incertitudes sur la mesure des angles à l'analyseur...*

Oui, je les ai sous-estimées.

32. *Quelle est l'incertitude sur la lecture des angles au polariseur ?*

J'ai pris une incertitude de 1 degré.

Manipulation supplémentaire durant l'entretien

But de la manip : Illustrer les oscillations d'un diapason

Matériel : Un diapason et son marteau, un amplificateur, un oscilloscope, un micro, des câbles

Les grandeurs qui caractérisent un oscillateur sont la fréquence de résonance et le facteur de qualité.

On place le micro dans la caisse de résonance du diapason, on le branche à l'oscilloscope. On visualise le signal en frappant le diapason avec le marteau. Pour donner le facteur de qualité, on compte le nombre d'oscillations avant d'atteindre le régime stationnaire. Or le diapason est un très bon oscillateur, il faudrait compter 1000 oscillations au moins... Pas adapté ici.

Pour caractériser le signal, faire la FFT sur l'oscilloscope et donner la fréquence de résonance.

S'attendre à des questions sur la FFT concernant les réglages, la finesse du pic...

Commentaires lors de la correction

C'est un bon montage ! Bon choix des manips, on peut les conserver pour les oraux. C'est une bonne idée d'avoir montré le spectre cannelé avec le prisme à vision directe avant de faire la mesure avec le spectromètre. C'est bien aussi d'avoir varié les sources : lumière blanche et laser.

De manière générale, pour les montages d'optique, s'attendre aux questions classiques sur le choix des lentilles, sur l'alignement... Il faut également connaître le fonctionnement des appareils de mesure et être conscient de leurs limitations.

Effectivement, utiliser une lampe spectrale sera un problème vis-à-vis de la luminosité. Et le choix de la taille de la fente est un compromis entre résolution et diffraction.

Attention, pour la manip 1 et l'évaluation de Δn , la mesure doit être faite pour une longueur d'onde donnée. Donc bien justifier que la dépendance de Δn en λ est négligeable sur une certaine plage (avec un développement limité en $1/\lambda$ par exemple) et également justifier le choix de Δp .

Il faut également insister sur le fait que les mesures des angles sur l'analyseur sont les plus grosses sources d'incertitudes, et que donc on néglige les autres.

Ne pas oublier de faire le noir (ie. s'affranchir du bruit ambiant) et de faire le blanc (ie. s'affranchir des autres fonctions de transfert) sur SpectraSuite. Par exemple ici, le spectre était modulé par le rayonnement du corps noir, faire le blanc permetta d'obtenir un spectre donc l'amplitude des pics est constante.

Attention au choix entre ajustement affine ou linéaire : la présence de l'ordonnée à l'origine doit être bien justifiée, il ne faut pas ajouter des paramètres dans l'ajustement juste pour qu'il soit plus beau.

Attention à la conversion de la constante de Verdet en USI. Elle a bien été effectuée ici.

Concernant l'ajustement, il faut mieux soigner la validation du modèle, notamment en commentant la valeur du χ carré réduit.

Il faut être plus confiant sur les barres d'incertitudes : ce n'est pas dramatique si les barres d'erreur ne permettent pas d'atteindre la valeur théorique, et ce n'est pas mauvais d'être à 2σ !

Pour rappel : dans le cas de l'électroaimant, on utilise les pièces tronconiques lorsqu'on a besoin d'un champ intense, et les pièces cylindriques lorsqu'on a besoin d'un champ homogène.

Autres manips possibles : Compensateur de Babinet, barreau d'altugas, loi de Biot avec l'épaisseur de la lame.