MP10 – Milieux optiquement actifs : biréfringence et pouvoir rotatoire

Jean-Baptiste Caussin et Etienne Thibierge

Mardi 29 novembre 2011

Bibliographie

- ⋆ Sextant
- ⋆ Duffait
- ⋆ JFLM tome 2

Rapports du jury

- ⋆ 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, lignes neutres, doit être connue. (2011)
- ⋆ Ce sujet a été moins souvent confondu avec le suivant (n°11 : Production et analyse d'une lumiere polarisée) cette année. Le candidat doit toutefois être capable d'expliquer le principe physique des protocoles utilisés pour l'étude de la biréfringence d'une lame mince. (2010)
- ⋆ Ce montage est souvent confondu avec le suivant (Production et analyse d'une lumière polarisée). Comme le titre l'indique, il s'agit d'étudier des propriétés de matériaux et non d'ondes lumineuses, même si ces dernières constituent l'outil principal permettant d'effectuer les mesures. (2009)
- ⋆ Les notions d'axe optique et de lignes neutres sont trop mal connues. (2008)
- ⋆ 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". (1982 ! ?)

Table des matières

1 Biréfringence 2
- 1.1 Mise en évidence . . . 2
- 1.2 Mesure de la biréfringence du quartz . . . 2
- 1.3 Application à la mesure de l'épaisseur d'une lame mince de quartz . . . 3
- 1.4 Biréfringence provoquée . . . 3

2 Polarisation rotatoire 4
- 2.1 Mise en évidence . . . 4
- 2.2 Dispersion rotatoire du quartz . . . 4
- 2.3 Polarisation rotatoire provoquée : effet Faraday . . . 5

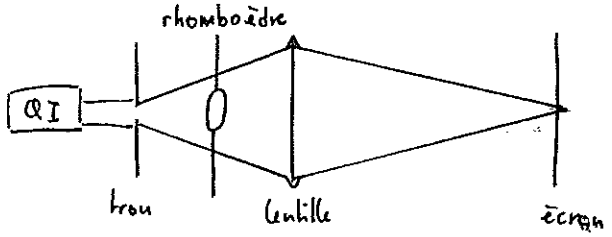
Introduction

- ⋆ « D'habitude » : travail avec des milieux linéaires, homogènes, isotropes.
- ⋆ Dans ce montage, on va étudier des milieux linéaires, homogènes mais plus isotropes : la réponse du milieu va dépendre de la polarisation de l'onde EM incidente. Ceci est dû à la structure cristalline microscopique du matériau, qui est elle-même anisotrope.
- ⋆ Objectifs du montage :
  - Mettre en évidence ces phénomènes
  - Caractériser quantitativement les grandeurs pertinentes pour les décrire

1 Biréfringence

1.1 Mise en évidence

⋆ *Manip (Duffait p. 143) :* rhomboèdre de spath d'Islande. On conjugue un diaphragme circulaire sur l'écran, et on interpose le rhomboèdre entre le diaphragme et la lentille de projection *(rq : dans la collection, un des deux rhomboèdres donne des résultats beaucoup plus jolis que l'autre !)*

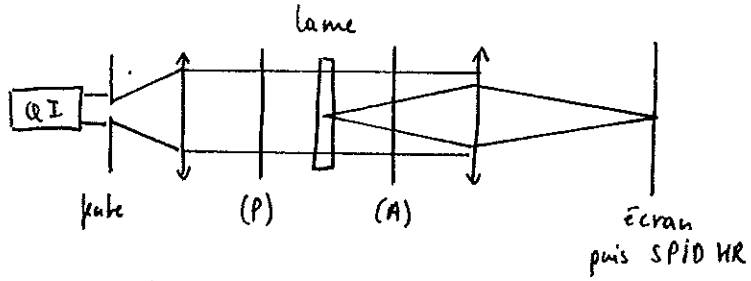


⋆ Observations :
- deux images : phénomène inhabituel !
- elles sont de polarisations croisées : la réponse du matériau dépend de la polarisation.
- l'une tourne autour de l'autre quand on fait tourner le rhomboèdre sur lui-même : image extraordinaire tourne autour de l'image ordinaire.

⋆ L'axe optique du rhomboèdre est dans une direction « quelconque », ce qui permet de voir tous les phénomènes à la fois *(a priori selon la plus petite diagonale du rhomboèdre, mais on n'a pas été vérifier !)*

1.2 Mesure de la biréfringence du quartz

⋆ On étudie une lame de quartz, épaisse ($e = 4$ mm) et taillée parallèlement à l'axe optique (attention, l'axe optique change de direction par rapport au rhomboèdre), placée entre polariseur et analyseur. Eclairage en lumière blanche.
Rq : tous les montages utilisant des polariseurs et/ou des matériaux anisotropes se font en éclairage parallèle, donc avec un point source au foyer d'une lentille. L'objectif est d'avoir une polarisation parallèle aux lames.



⋆ *Manip :* mise en évidence des lignes neutres, directions de polarisation pour lesquelles l'état de polarisation est inchangé à la sortie. En fait, une polarisation va se propager dans la lame en voyant un indice ordinaire n_o, l'autre un indice extraordinaire n_e.

⋆ *Manip (Sextant p. 291) :* on veut mesurer $\Delta n \equiv n_e - n_o$. Pour cela, on place polariseur et analyseur croisés et les lignes neutres de la lame à 45° des axes des polariseurs.

⋆ On observe du blanc d'ordre supérieur. Mise en évidence avec un PVD, et pour cela on ajoute une deuxième fente source et une deuxième lentille qui conjugue la fente sur l'écran juste derrière l'analyseur.

⋆ Etude quantitative avec SpidHR : on compte N canelures entre deux longueurs d'onde connues λ_1 et λ_2, et on va en déduire Δn.

$N =$

$\lambda_1 =$

$\lambda_2 =$

$$\Longrightarrow \Delta n = \frac{N\lambda_1\lambda_2}{(\lambda_1 - \lambda_2)e} =$$

$(\Delta n_{th} = 9,1.10^{-3})$

1.3 Application à la mesure de l'épaisseur d'une lame mince de quartz

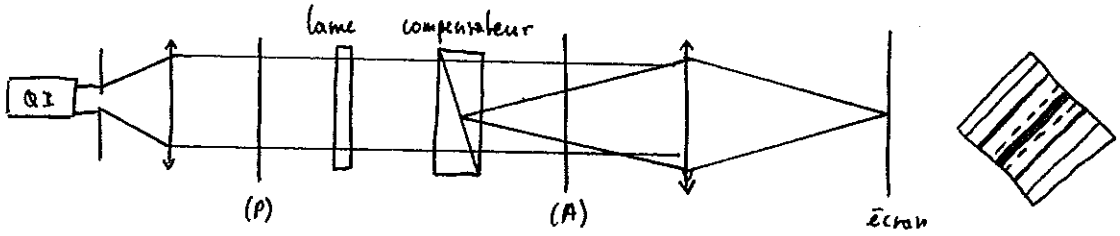
⋆ On étudie une lame de quartz, mince ($e = 60$ microns) et taillée parallèlement à l'axe optique, placée entre polariseur et analyseur croisés. Comme précédemment, les lignes neutres de la lame sont placées à 45° des axes des polariseurs.

⋆ Observation : maintenant on a des jolies couleurs, et plus du blanc d'ordre supérieur. Si on met polariseur et analyseur parallèles, on observe la couleur complémentaire à celle de polariseur et analyseur croisés.

⋆ Interprétation : les deux polarisations voient un indice différent, créant une différence de chemin optique entre elles. L'analyseur les projette toutes les deux sur son axe, les faisant interférer, d'où les jolies couleurs qui sont des teintes de Newton.

⋆ Ajout du PVD : plus qu'une seule canelure, la méthode précédente reliant Δn et e n'est donc plus applicable.

⋆ *Manip (Sextant p. 292) :* compensateur de Babinet. Pour les détails techniques du compensateur, cf. Sextant ! Eclairage en lumière blanche, polariseur et analyseur croisés. On fait l'image des deux réticules du compensateur sur l'écran.



- Enlever la lame et placer le compensateur à 45° des axes du polariseur. La luminosité est alors maximale.
- Réglage du zéro à la vis micrométrique : la frange noire centrale est maintenant bien centrée.
- Remettre la lame : la frange centrale s'est déplacée.
- Faire coïncider à nouveau la frange centrale avec le milieu des deux réticules : le déplacement est égal à la différence de marche entre les deux polarisations dans la lame cristalline.
- Attention, il faut étalonner le compensateur en préparation : un déplacement du vernier de 10 mm correspond à une différence de marche de 1096 nm (utilisation d'un filtre vert).

⋆ Dans le cas présent, on mesure un déplacement $d =$
d'où $\delta =$

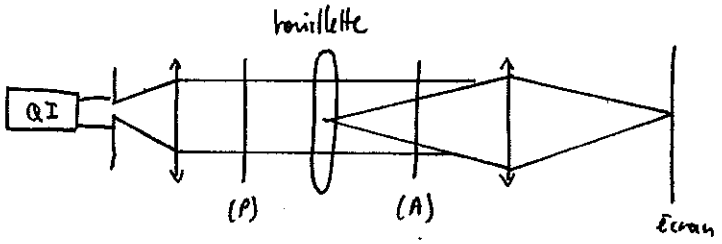
et enfin $e = \dfrac{\delta}{\Delta n} =$

⋆ Incertitudes :
- sur δ :
- sur Δn :
- donc sur e :

⋆ Comparaison à la valeur écrite sur la lame.

1.4 Biréfringence provoquée

⋆ *Manip :* touillette à café, placée entre polariseur et analyseur croisés, et dont on forme l'image sur un écran.



⋆ Observation : jolies couleurs ! Interprétation : la touillette est faite d'un matériau biréfringent. Cette biréfringence a été provoquée par les déformations qu'a subi le plastique constituant la touillette. Elle retranscrit l'histoire du matériau et les contraintes qu'il a subi.

⋆ On peut mentionner la photoélasticimétrie : utilisation de modèles en plexiglas, qui devient biréfringent sous contrainte, pour étudier lesdites contraintes s'exerçant sur une pièce dans un ouvrage de BTP par exemple.

⋆ On peut aussi citer l'effet Kerr : un matériau devient biréfringent sous l'action d'un champ électrique intense.

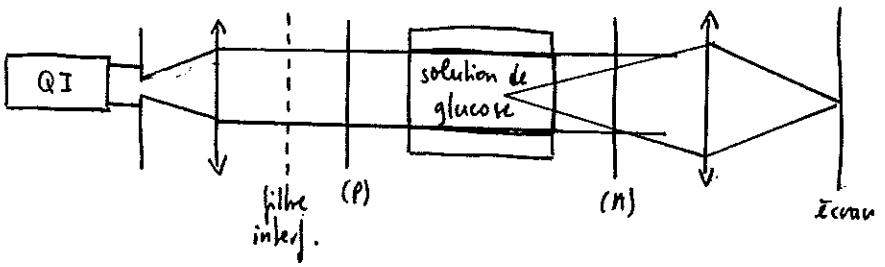
2 Polarisation rotatoire

⋆ *Rq 1 : le vrai nom du phénomène est bien polarisation rotatoire et non pas pouvoir rotatoire (qui est un nombre quantifiant justement la polarisation rotatoire), comme semble l'indiquer le titre du montage.*

⋆ *Rq 2 : c'est un phénomène différent de la biréfringence, qui est en général bien plus faible. En fait tout se passe comme en biréfringence, sauf que les polarisations propres ne sont plus rectilignes, mais circulaires.*

2.1 Mise en évidence

⋆ *Manip (JFLM tome 2 p. 19) :* solution de glucose placée entre polariseur et analyseur croisés. Eclairement en lumière blanche, d'abord avec un filtre vert puis sans.



⋆ Observation 1 : pour rétablir l'extinction en lumière monochromatique, il faut tourner le polariseur. Interprétation : la polarisation a tourné lors de sa traversée de la solution.

⋆ Observation 2 : en lumière blanche, on ne peut plus obtenir d'extinction. En revanche, on obtient des changements de couleur. Interprétation : on éteint tout de même certaines longueurs d'ondes, le phénomène est très chromatique.

2.2 Dispersion rotatoire du quartz

⋆ Le quartz est un matériau qui présente à la fois de la biréfringence et de la polarisation rotatoire. Cependant, pour pouvoir voir la polarisation rotatoire, il faut utiliser une lame taillée perpendiculairement à l'axe optique pour laquelle on ne peut pas voir les effets de biréfringence, ce qui nous arrange ici.

⋆ *Manip (Duffait p. 170) :* mesure du pouvoir rotatoire du quartz. On utilise une lame de quartz taillée perpendiculairement à l'axe optique, placée entre polariseur et analyseur croisés. On étudie la rotation de polarisation α pour différentes longueurs d'onde à l'aide d'un filtre interférentiel. Elle est proportionnelle à l'épaisseur de la lame e, le coefficient de proportionnalité étant le pouvoir rotatoire $\rho = \alpha/e$.

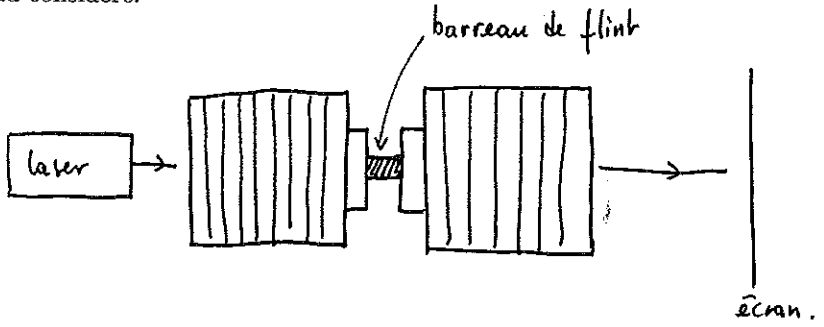
⋆ Relevé d'un point en direct :
- $\lambda =$
- $\alpha =$

⋆ On trace ρ en fonction de $1/\lambda^2$ avec Regressi, et on fitte par une droite d'équation $\rho = a + b/\lambda^2$. On obtient :
- Pente $b =$
- Ordonnée à l'origine $a =$

⋆ Pas vraiment de modèle théorique : d'après Duffait et Sextant, on doit avoir un comportement « à peu près linéaire ».

2.3 Polarisation rotatoire provoquée : effet Faraday

⋆ *Manip (Duffait p. 174) :* électroaimant et barreau de verre de Flint de longueur $d = 3$ cm, éclairé par un laser vert. On veut vérifier la loi de Verdet : $\alpha = VBd$, où V est la constante de Verdet, caractéristique du matériau considéré.



⋆ Etape 1 : étalonner l'électroaimant à l'aide de la sonde à effet Hall. Mesure pour des courants I et $-I$, en les faisant varier toujours dans le même sens (éviter l'hystérésis), et en retournant la sonde à effet Hall (tension parasite due à une mauvaise connectique). On observe que $B \propto I$ pour la gamme de courants accessible.

⋆ Etape 2 : mesure de α en fonction de I. Pour une meilleure précision, on mesurera $\alpha(I)$ et $\alpha(-I)$, dont on prendra la demi-différence que l'on associera au champ $|B|$.

⋆ Fit de la courbe $\alpha(I)$ par une droite et estimation d'un ODG de la constante de Verdet du flint : $V =$. La valeur tabulée est $V_{th} = 5$ deg.cm^{-1}.T^{-1}

⋆ Application aux commutateurs optiques.

⋆ *Rq sur la manip : c'est pas évident à réaliser !*
- *Utiliser les bonnes pièces polaires pour l'électroaimant : pièces plates percées. Les pièces tronconiques sont faites pour créer un gradient de champ dans l'entrefer, alors qu'ici on veut un champ uniforme.*
- *Mesure des angles d'extincition très compliquée : on atteint $\alpha \sim 5°$ pour le courant maximal à mettre dans l'électroaimant. C'est très difficile à mesurer à l'aide d'un polariseur.*
- *Il nous a semblé que nos yeux repéraient mieux l'extinction qu'une photodiode, qui est bornée inférieurement par le bruit ambiant, contrairement à nos yeux. L'usage du laser vert est donc recommandé.*

Conclusion

⋆ Etude de deux phénomènes à la fois différents et complémentaires : la biréfringence et la polarisation rotatoire.

⋆ Applications :
- Biréfringence : application à l'identification des cristaux composant un caillou en géologie.
- Polarisation rotatoire : identification de mélanges énantiomériques en chimie organique (deux énantiomères ont un pouvoir rotatoire opposé)

⋆ Ouverture sur l'optique non-linéaire : les milieux sont toujours homogènes et anisotropes, mais deviennent non-linéaires en raison de la forte énergie transportée par le champ électromagnétique.