

MP14 – POLARISATION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

8 juin 2019

Lagoin Marc & Ramborghi Thomas

Commentaires du jury

- La loi de Malus est souvent mal réalisée et mal exploitée; les candidats gagneraient à réfléchir au choix de la source : spectrale, blanche avec filtre, laser polarisé ou non polarisé.
- Il faut connaître le principe des polariseurs utilisés, que ce soit des polariseurs dichroïques ou de simples grilles dans le cas des ondes centimétriques.

Bibliographie

- ✦ *Physique expérimentale*, **Jolidon** Voir page 250 pour la mesure de biréfringence avec un compensateur de Babinet.
- ✦ *Ondes lumineuses*, **R.-J. Champeau** Voir chapitre 16 page 749 pour un récap théorique sur la polarisation.

Expériences

- ☞ Vérification de la loi de Malus
- ☞ Détermination de l'angle de Brewster
- ☞ Détermination de la différence d'indice d'un milieu biréfringent à l'aide d'un compensateur de Babinet

Table des matières

1	Milieux biréfringents : chemin optique dépendant de la polarisation	2
2	Loi de Malus : tirer profil de la polarisation	2
3	Angle de Brewster : propriété de la réflexion	3

Introduction

Nous avons vu en cours qu'une onde électromagnétique était caractérisée par sa polarisation. Pour rappel, elle caractérise la direction des vecteurs champ électrique \vec{E} et champ magnétique \vec{B} le long de l'onde. Dans le vide ou dans les milieux isotropes infinis (ce qui exclut les guides d'ondes), ces vecteurs sont perpendiculaires au vecteur d'onde \vec{k} et perpendiculaire entre eux. Nous avons vu également que cette propriété cessait d'être valable pour les milieux dit biréfringents. Durant ce montage, nous allons vérifier expérimentalement un certain nombre de propriétés vu en cours.

1 Milieux biréfringents : chemin optique dépendant de la polarisation

Rappel : la biréfringence est la propriété de certains milieux transparents anisotropes dont l'indice de réfraction est différent pour les deux composantes linéaires de la polarisation. Nous allons calculer cette différence d'indice pour une lame biréfringente à faces parallèles (dont l'axe optique est dans le plan de la face d'entrée donc perpendiculaire à l'onde incidente). Pour cela, nous allons utiliser un compensateur de Babinet.



Détermination de la différence d'indice d'un milieu biréfringent

↗ Physique expérimentale, Jolidon page 250 ⊕ un certain temps

L'expérience est bien décrite dans le livre et je ne la recopierai donc pas ici.

Pour bien comprendre comment sont disposés les axes lent et rapide et comment l'axe rapide (réciproquement lent) d'un prisme coïncide à l'axe lent (réciproquement rapide) de l'autre prisme dans le compensateur de Babinet, nous pouvons nous aider de la figure 15.8 page 731 du livre ondes lumineuses ou voir le dessin se trouvant dans le montage MP13 : Biréfringence, pouvoir rotatoire.

Petite précision sur les lignes neutres : il s'agit des 2 directions propres de propagation dans un milieu biréfringent aux quelles nous associons l'indice ordinaire et extraordinaire. Croisons polariseur et analyseur. Dans ce cas la luminosité est nul en sortis. Si nous ajoutons un lame biréfringente entre les 2, la lumière réapparaît. Nous pouvons retrouver une extinction en la tournant. Ce moment correspond alors à un alignement d'une ligne neutre avec le polariseur. La polarisation n'est alors plus modifiée au cours de la propagation dans la lame. Dans l'expérience que nous réalisons ici nous plaçons les lignes neutres de la lame et du compensateur à 45°C correspondant à une luminosité maximale.

Nous avons pu, au cours de cette manip, quantifier cette propriété d'un milieu biréfringent. Insistons sur le fait que cet effet ne peut être expliqué qu'en considérant la polarisation de la lumière incidente. Il ne s'agit donc pas seulement de la mise en évidence d'une propriété du matériau mais également de l'onde électromagnétique incidente.

♪ Transition :

Maintenant que nous avons vu comment la polarisation d'une onde électromagnétique pouvait influencer sur sa propagation, Nous allons voir comment tirer profit de cette propriété pour faire varier facilement l'intensité de notre faisceau.

2 Loi de Malus : tirer profil de la polarisation

En réalité, nous avons déjà joué lors de la précédente manipulation avec le système permettant le contrôle de l'intensité : il s'agit des 2 polariseurs. Cette partie correspond donc plus à une description quantitative qu'à la mise en évidence du phénomène.

Rappel : le lien entre la différence d'angle entre le polariseur et l'analyseur et l'intensité du faisceau incident est donné par la loi de Malus :

$$I = I_0 \cos^2(\theta) \quad (1)$$

Nous allons vérifier expérimentalement la validité de cette loi à l'aide de nos 2 polariseurs. Pour cela, nous allons monter le dispositif expérimental représenté figure 1, qui peut être séparé en deux blocs de production puis d'analyse de la lumière polarisée. Le bloc de production se compose de la lampe QI et d'un polaroïd (P) jouant le rôle de

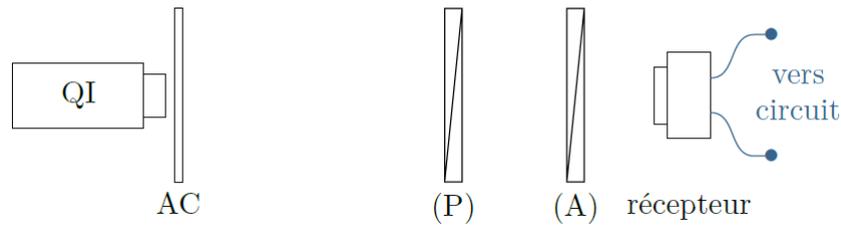


FIGURE 1 – Dispositif expérimental permettant de vérifier la validité de la loi de Malus. Cette figure, tout comme le protocole, est pris du poly de Jérémy Ferrand.

polariseur. La lumière polarisée rectilignement produite par le premier bloc est analysée par le second, qui se compose d'un autre polaroid (A) jouant le rôle d'analyseur et d'un photorécepteur linéaire, par exemple une photodiode¹.

Vérification de la loi de Malus

🔗 Issue du poly de Jérémy Ferrand^a

⊖ un certain temps

^a. retrouvable dans le Jolidon page 184

Placer la lampe source assez loin du photorécepteur, et le polariseur et l'analyseur proches du récepteur. On utilisera idéalement comme récepteur une photodiode munie d'un circuit intégré de polarisation, par exemple P18.35.

Placer l'analyseur sur la graduation 90° , puis tourner le polariseur afin de le placer dans la position où polariseur et analyseur sont croisés, correspondant au minimum de lumière transmise. Ne plus toucher au polariseur par la suite.

Relever la réponse du photorécepteur pour différents angles entre 90° et -90° . Pour s'affranchir de l'erreur systématique discutée par la suite, mesurer à la fois l'angle et son inverse, puis vérifier la loi de Malus par une régression linéaire. Comparer le résultat obtenu en considérant seulement $S(\theta)$ et la moyenne $\frac{S(\theta) + S(-\theta)}{2}$.

Considérer la moyenne entre $S(\theta)$ et $S(-\theta)$ permet de diminuer l'influence de l'erreur sur le repérage de la position où polariseur et analyseur sont croisés.

NB : On entend parfois qu'un montage utilisant des polariseurs doit s'utiliser en éclairage parfaitement parallèle, en plaçant un trou source au foyer d'une lentille convergente. Ce n'est pas nécessaire, et c'est même parfois contre-productif puisque cela réduit considérablement la luminosité des images. Cette précaution est liée à l'angle d'acceptance du polariseur, qui ne fonctionne " comme prévu " que pour des incidences suffisamment faibles, typiquement inférieures à cinq ou dix degrés. En pratique, placer la lampe source à une cinquantaine de centimètres en amont du polariseur suffit à vérifier cette condition.

🎵 Transition :

Au cours de cette manip, nous avons pu voir comment obtenir une source d'intensité variable et connu à partir de nos connaissances sur la polarisation de la lumière. Nous allons finalement nous en servir pour expliquer la réflexion d'un faisceau lumineux à l'interface entre 2 diélectrique.

3 Angle de Brewster : propriété de la réflexion

Positionnement du problème : le coefficient de réflexion à une interface entre deux diélectriques (ici l'air et le verre) dépend non seulement de l'angle d'incidence mais aussi de la polarisation de l'onde incidente. Pour une incidence particulière $iB = \arctan(n_{\text{verre}}/n_{\text{air}})$, le coefficient de réflexion correspondant à une polarisation dans le plan d'incidence s'annule.

1. nous utiliserons un appareil complet ici mais il faut savoir quel montage électronique utiliser si nous ne disposons que d'une photodiode nue. Voir partie 3 page 134 du Jolidon au besoin pour des rappels.

Pour en savoir plus sur l'origine physique du phénomène, je conseil de lire la sous partie 2.3 de la leçon LP30 – Rayonnement dipolaire électrique. Il est aussi possible de consulter le livre de S. Houard page 266 .

Détermination de l'angle de Brewster

↗ Réflexion avec Camille

⊖ un certain temps

Pour notre montage, nous utiliserons un laser (celui de couleur verte sans raison particulière) comme source lumineuse. Nous plaçons notre milieu diélectrique d'intérêt, ici une lame de verre, sur la partie centrale d'un goniomètre qui est pivotante. Il faut s'assurer de l'angle de rotation de cette pièce peut être mesurée avec précision sur le goniomètre que nous choisissons. Nous mesurons l'intensité de l'onde réfléchi en sortie à l'aide d'un capteur CDD que nous relierons à un ordinateur qui dispose de l'application CALIENS dont nous nous servirons. Nous choisissons ce capteur car il est très large et nous n'aurons ainsi pas le problème de le bouger lorsque nous modifierons l'angle incident.

Nous commençons de déterminer l'angle nul qui correspond à la configuration où la face de la lame de verre est normal au faisceau incident. Dans ce cas le faisceau doit, après réflexion, reprendre le même chemin et rentrer dans le laser. Nous pouvons relever ce qui nous semble être l'incertitude sur ce "zéro". Notons que cette partie peut-être réalisé sans le polariseur.

Ensuite nous prenons un angle non nul en faisant pivoter un peu la partie mobile sur laquelle repose la lame. Après avoir inséré le polariseur entre la lame et la barette CCD, nous regardons alors sur CALIENS pour quel angle nous avons l'extinction maximal. Elle n'est pas totale puisque nous ne sommes pas à l'angle de Brewster. L'incertitude associé à cette extinction n'est pas importante de manière absolue mais elle pourra jouer sur l'incertitude de l'angle de Brewster à la fin.

Une fois que nous sommes à ce minimal de luminosité, nous refaisons varier l'angle de la partie mobile du gonio jusqu'à minimisation de l'intensité du signal mesurée. Nous évaluons alors sur quelle plage d'angle, le signal mesuré semble rester minimal. Il s'agit de l'incertitude sur le résultat final.

Pour quelques info sur la barette CCD, nous pouvons lire le Jolidon page 116 traitant du sujet. Il peut être aussi intéressant de lire le début de la page [Wikipédia](#) associée.

Conclusion

Au cours de cette leçon, nous nous sommes intéressé à différents aspect de la polarisation d'une onde électromagnétique. Tout d'abord, nous avons vu que la polarisation d'une onde pouvait influencer sur sa propagation dans le cas de matériau biréfringent. Dans ces derniers, les 2 coordonnées de la polarisation évolue indépendamment l'une de l'autre en parcourant des chemins optiques différents que nous avons caractérisés avec la donnée de Δn .

Dans un second temps, nous avons montré de manière quantitative que nous pouvions contrôler l'intensité d'un faisceau incident à l'aide d'un polariseur et d'un analyseur en nous servant de nos connaissance sur la polarisation.

Enfin, nous avons vu que cette notion nous permet d'expliquer la présence d'un angle limite, appelé angle de Brewster, pour lequel l'onde en sortit possède une polarisation rectiligne normal au plan d'incidence.

Dans le cours sur les interférences, nous avons également vu que la polarisation pouvait restreindre l'obtention de cet effet comme la cohérence temporelle et spatiale. L'obtention d'une polarisation donnée peut s'avérer nécessaire dans certaines expériences. Avons-nous à notre disposition une méthode systématique pour obtenir une polarisation quelque conque.

Je conseil vivement après cette perche en ouverture de lire la partie 4 du chapitre 16 du livre Ondes lumineuses page 771-778 traitant du sujet.