
POLARISATION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Niveau

Commentaires du jury

- 2017 : L'analyse d'une lumière polarisée quelconque par utilisation d'une lame quart d'onde dans un cas quel-conque, sans comparaison avec rien de connu présente peu d'intérêt.
- 2014-2016 : Ce montage permet d'explorer les ondes électromagnétiques au-delà de la gamme spectrale de l'optique. Le jury constate que 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. Enfin, il faut connaître le principe des polariseurs utilisés, que ce soit des polariseurs dichroïques ou de simples grilles dans le cas des ondes centimétriques.
- 2010-2013 : Il s'agit ici d'étudier les propriétés des ondes lumineuses. Il est indispensable de différencier, si possible par des expériences, polarisation partielle et polarisation elliptique, même remarque pour la lumière naturelle et polarisation circulaire. La loi de Malus est souvent mal réalisée et mal exploitée : réfléchir au choix de la source : spectrale, blanche avec filtre, laser polarisé ou non polarisé. Il faut connaître le principe de fonctionnement du détecteur utilisé (photodiode, luxmètre).
- 2009 : La confusion entre polarisation partielle et polarisation elliptique n'est pas acceptable.
- 1999 : Il est intéressant d'analyser la lumière produite dans des conditions non artificielles : réflexion sur un miroir métallique, sur un dioptre en incidence quelconque .

Bibliographie

—

pré-requis

Expériences

—

Table des matières

1	Polarisation des ondes centimétriques	2
1.1	Description du banc :	2
1.2	Mesure	2
2	Réflexion vitreuse	3
2.1	Angle de Brewster	3
2.2	Coefficient de réflexion	4
3	Photoélasticimétrie	5

Introduction

1 Polarisation des ondes centimétriques

On part sur le banc hyper fréquence! **But** : Remonter à la loi de Malus.

Pourquoi le banc ? Parce qu'il permet d'avoir des ondes polarisées rectilignement dans un domaine autre que l'optique.

1.1 Description du banc :

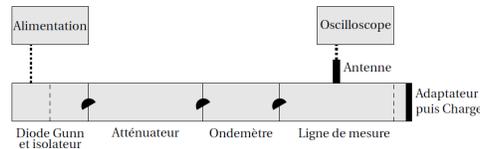


FIGURE 1 – Schéma du banc (poly de TP)

- Diode Gunn : Générateur d'ondes hyperfréquences. Ceci est possible grâce à l'effet Gunn qui repose sur l'oscillation de certains semis-conducteurs soumis à un champ électrique. Ce n'est pas une jonction PN mais $N(++)N(+)N(++)$. Il existe une "résistance négative différentielle dans les semis conducteurs comme AsGa", qui apparait pour une certaine tension. (diminution de la mobilité et donc des porteurs lorsque le champ électrique augmente). Il y a alors une instabilité en courant qui entraîne l'oscillation et l'émission des ondes hyperfréquences.
- Isolateur : Protège la diode gun des ondes retours.
- Atténuateur : Partie étalonner (Voir doc). Et fait ce qu'indique sont nom
- Ondemètre : Fréquence mètre. Correspond à une cavité résonnante pour les ondes. Si la cavité est à la bonne fréquence, elle pique toute l'intensité et le sigal baisse fortement en sorti
- Antenne : Il semblerait que ca en soit vraiment une finalement... mais l'élément important c'est que c'est pas linéaire. Donc on ne peut pas remonter facilement à la vrai amplitude, on ne peut faire que des rapports (grâce à l'atténuateur).

Ondes centimétrique : $f \in [300MHz, 300GHz]$. Le guide impose la relation de dispersion :

$$\frac{\omega^2}{c^2} = k^2 + \left(\frac{n\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{m\pi}{b}\right)^2 = k^2 + \frac{\omega_{n,m}^2}{c^2}$$

En pratique les fréquences sont :

$$f_0 = 6.5 \text{ GHz}, \quad f_1 = 15.0 \text{ GHz}, \quad f_2 = 16.4 \text{ GHz}, \quad f_3 = 13.0 \text{ GHz}, \dots$$

FIGURE 2 – frequencies

On travail entre 8.5 et 9GHz, donc on n'a que le mode $n = 1, m = 0$ C'est un mode TE polarisé rectilignement.

1.2 Mesure

On veut vérifier pour une onde incidente I_0 et de sortit d'un polariseur I_s :

$$I_s = I_0 \cos^2(\alpha)$$

Loi de Malus :

- On monte le banc
- On se place à 9GHz parce que c'est tabulé. Pour cela on ferme le banc et on vérifie à l'ondemètre qu'on est à la bonne fréquence avec les courbes d'étalonnage (la tension chute quand on a réglé l'ondemètre a la bonne fréquence) Penser a dérégler l'ondemètre après le mesure.
- On met les cornet et on branche le récepteur. Le recepteur est non linéaire donc relever la tension ne servirait à rien. On aurait pas la dépendance de Malus. Pour avoir les vrai variation d'intensité en fonction de l'angle, on utilise l'atténuateur. On prend une référence (par exemple émetteur et récepteurs croisés). Puis pour toutes les mesure on fait varier l'atténuateur pour retrouver la même valeur de tension du récepteur. On a la relation :

$$U = U_{ref} 10^{\frac{A - A_{ref}}{20}}$$

- (La valeur de U_{ref} n'est pas importante, tout ce qui nous importe c'est la proportionnalité à $\cos^2(\alpha)$)
- On trace U en fonction de $\cos^2(\alpha)$ (On fait en vrai la mesure de $S = (U(\theta) + U(-\theta))/2$ pour limiter tuer les erreurs au première ordre du a une imprécisions sur l'angle pour $\theta = 0$ (et donc avoir une mesure précise à l'ordre 2). Pour le voir il faut développer $\cos^2(\theta + \epsilon)$)

Attention : Il y a de l'hystérésis dans l'atténuateur. Donc faire les mesures toujours de la même manière (en descente par exemple). De plus il faut compter que les incertitudes sont assez grandes.

De plus ce qui est important en faisant la moyenne pour un angle et sont opposé c'est qu'on se place bien autour de l'annulation. Donc même si c'est embêtant, si on trouve que l'annulation est à 5° il faut tout faire par rapport à 5°

Enfin, bien faire attention a l'alignement du montage ! c'est pas de l'optique mais presque :) Aussi il me semble que c'est problematique de baser la référence de l'amplitude sur une annulation ... Il faut faire en sorte que l'on voit au maximum tous les point donc il faut prendre la référence (Atténuation nulle) près de l'annulation mais même si on a pas vraiment une annulation la prendre comme référence je pense que c'est problématique par rapport au modèle que l'on fait (En effet, on aimerait que $U = 0$ soit dans l'incertitude de notre ordonné à l'origine, donc prendre ce U comme référence c'est bizarre car on devrait avoir une atténuation infini pour le récupérer théoriquement). On peut repérer l'annulation et faire des mesure qu'a partir d'angle non nulle proche

2 Réflexion vitreuse

La lumière du soleil est non polarisée. Mais il est possible de la polariser. Par exemple, la diffusion de Rayleigh est un phénomène qui conduit à une lumière polarisée. Ici on s'intéresse à la polarisation due à une réflexion sur du verre, c'est à dire un diélectrique.

2.1 Angle de Brewster

Les matériaux diélectrique se comportes quand ils sont excité comme des dipôles électriques, qui émettent des ondes dans toutes les direction sauf dans l'axe où ils ont été excité. Si on se place suffisamment loin, on peut considérer que ce sont des ondes planes ($a \ll \lambda$).

L'angle de Brewster est celui pour lequel les directions du rayon réfléchi et du rayon transmis forment un angle droit. En effet, les dipoles excités par le rayonnement dans le diélectrique se mettent à rayonner à leur tour, mais pas dans la direction orthogonale à leurs oscillations. Le rayon réfléchi n'a alors pas de composante de polarisation orthogonale à cette direction. Si la lumière polarisée incidente est à polarisation rectiligne parallèle au plan du dioptre, il n'y a pas de rayon réfléchi.

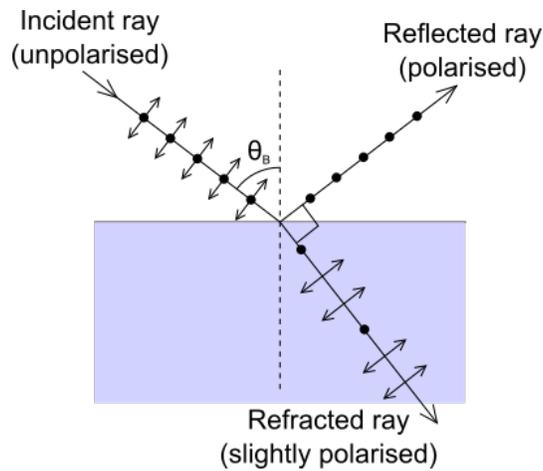


FIGURE 3 – Angle de Brewster (source wikipedia)

Les constatations géométriques + les lois de Snell-Descartes permettent d'aboutir à l'expression :

$$\theta_B = \arctan \frac{n_2}{n_1}$$

Mise en évidence de l'angle de Brewster :

- Faire l'image d'une fente à l'aide d'une lentille sur un prisme, avec QI+AC.
- Placer un écran dans la direction de réflexion du prisme.
- faire l'image de la fente sur l'écran.
- **Pour repérer l'angle de Brewster** : placer le polariseur entre la lentille et le prisme, dans la direction parallèle au plan d'incidence.
- Bouger le prisme (et l'écran pour l'image de la fente n'en sorte pas) jusqu'à observer l'extinction. On est à l'angle de Brewster.
- **Pour montrer en direct** : Un fois que l'on est vers l'angle de Brewster, placer le polariseur entre le prisme et l'écran. Sans P : lumière. Avec P : pas de lumière.
- Tourner le prisme pour trouver l'angle où l'annulation est la meilleure.

On attend $\theta_B \approx 56^\circ$.

Application : appareil de Nörremberg, permettant de réaliser des polarisations rectilignes en utilisant l'angle de Brewster.

2.2 Coefficient de réflexion

On montre dans un cadre plus général que la composante parallèle au plan d'incidence de l'onde incidente est réfléchié avec un coefficient de réflexion en puissance :

$$R_{||} = |\rho_{||}|^2 = \left| \frac{\tan(i - r)}{\tan(i + r)} \right|^2$$

i est l'angle d'incidence et r l'angle réfléchié. Donc on a

$$R_{||} = |\rho_{||}|^2 = \left| \frac{\tan\left(i - \arcsin\left(\frac{\sin(i)}{n}\right)\right)}{\tan\left(i + \arcsin\left(\frac{\sin(i)}{n}\right)\right)} \right|^2$$

On retrouve que pour $i + r = \pi/2$, ce coefficient tend vers 0.

Coefficient de réflexion :

- On utilise un goniomètre.
- En entrée : Lampe QI avec AC, et un polariseur parallèle au plan d'incidence. Mettre un filtre interférentiel (Si on en met pas, on a une plus grosse tension à la photodiode, mais on aura pas une annulation complète et donc difficile de l'ajuster au modèle.)
- En sortie on place une photodiode (polarisé avec une tension de -5V et une résistance de charge de 10k par exemple ou plus pour avoir beaucoup de signal!! Clément a eu des tension de l'ordre du Volt!). Il faut rendre la photodiode solidaire de la lunette autocollimatrice au mieux. Pour cela utiliser noix et tige de la lier à la tige du goniomètre si c'est possible. (sinon scotch j'imagine...). Ce réglage est subtil, et mieux on fixe et plus la mesure sera précise.
- Pour facilité la mesure des angles, on peut placer le collimateur (partie du côté de la lampe) au niveau du 0° en la visant avec la lunette (qui sera donc à 180°). Un fois que le collimateur est bien placé, il ne faut plus y toucher. Prendre la mesure de U sans le prisme pour pouvoir ensuite tout normaliser par celle-ci.
- On choisit une valeur d'angle en déplaçant solidairement l'ensemble (Lunette + Photodiode). On tourne le prisme (ou n'importe quelle autre objet plan en verre d'indice connu si possible) de sorte que la photodiode détecte de la lumière.
- On relève l'angle θ et la tension U au borne de la résistance de charge de la photodiode (ce qui est proportionnel à l'intensité i et donc au flux ϕ cf montage photorecepteurs) pour différents angles (attention on mesure 2θ).

On place une photodiode à pile à la sortie du gonio, avec du scotch ? On mesure une tension proportionnelle à l'intensité lumineuse. On normalise les valeurs par la tension maximale mesurée (à 90° ?), et on trace les valeurs en fonction de l'angle d'incidence. On retrouve la courbe théorique (tracer son expression sur python ?) et l'angle d'annulation de Brewster.

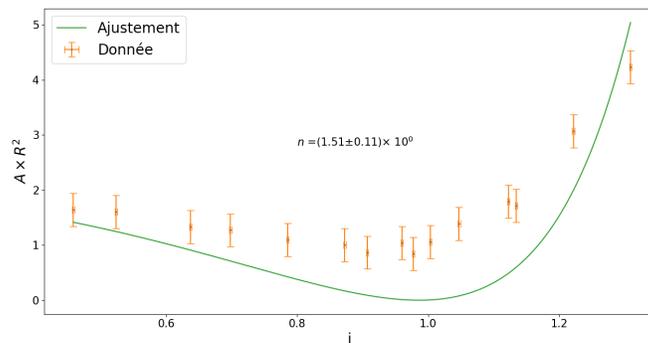


FIGURE 4 – Le code python permet d'avoir ce type de courbe... On observe que c'est pas ouf parce qu'on a pas mis de filtre interférentiel, du coup pas d'annulation totale. De plus on avait pas pris la valeur de tension à vide donc on a pas pu normaliser. Espérons que avec ceci rectifier les résultats soient plus probants... Il n'en reste pas moins que l'allure correspond à celle attendu et que l'on connaît les sources expliquant les écarts au modèle...mais bon

On a parlé du cas très particulier de la lumière polarisée rectilignement. On va considérer à présent une polarisation elliptique.

3 Photoélasticimétrie

Pour les manips, tout est là. Aller voir le Fruchard. Utiliser la mallette P74 sur la biréfringence, et privilégier les tiges de PDMS molles qui ont l'air d'être plus élastiques.

Pour des explications sur le phénomène : La photoélasticité est un phénomène permettant de visualiser les contraintes au sein d'un matériau. Sous l'application de contraintes, un matériau dit photoélastique acquiert des propriétés de biréfringence : à cause des contraintes, les 2 composantes de l'onde polarisée elliptiquement ne perçoivent

pas le même indice lors de la traversée du milieu, ce qui conduit à l'apparition d'une différence de phase entre les 2 composantes.

$$n_1 - n_2 = C(\sigma_1 - \sigma_2)$$

La différence de phase relative entre les deux direction de polarisations propre du matériaux s'écrit :

$$\alpha = \frac{2\pi C d}{\lambda} (\sigma_1 - \sigma_2)$$

L'examen des interférences ainsi produites permet de remonter aux lignes de contrainte dans le matériau.

Photoélasticimétrie :

On mesure l'interfrange pour différentes masses accrochés en bout de poutre. La poutre étant du PDMS. Avoir une poutre assez souple permet de se placer facilement dans le domaine d'élasticité (linéaire?? pas sûr)... Une poutre plus rigide et on est pas sur de ne pas faire des déformations plastiques... Le montage est constitué dans l'ordre

- Lampe QI et AC
- Filtre interférentiel
- Diaphragme
- Lentille (Cette lentille sert à mettre le diaphragme à l'infini, ie avoir un éclairage parallèle)
- Un polariseur
- Une $\lambda/4$ à 45°
- La poutre (PDMS bien attaché)
- Une $\lambda/4$ à 45° du premier polariseur
- Un polariseur aligné avec la premier
- Une lentille de projection :fait l'image de la poutre sur un écran ou CCD (attention a bien faire l'image de la zone d'intérêt)
- Camera CCD et ordi

On remarque que le montage peut aussi s'effectuer sans les deux lames $\lambda/4$. Pour cela on enlève les $\lambda/4$ et on croise les polariseurs.

La formule qui nous intéresse est la suivante (a vérifier dans le Fruchart)

$$i = \frac{\lambda h^3}{12Cg(L-x)} \frac{1}{m}$$

Avec i l'interfrange, λ la longueur d'onde, h la hauteur, C le coefficient de photoélasticité que l'on cherche à déterminer, g champ de pesanteur, L Longueur de la poutre (entre l'extrémité et le point de fixation), x Longueur entre le point de fixation et le point de mesure.

Explication d'Alizée : " La lumière incidente il faut qu'elle file autant d'amplitude sur chacun des axes propres de la polarisation. Il faut donc, si tu travailles en polarisation linéaire, impacter la barre de PDMS avec un lumière polarisé linéairement selon $e_x + e_y$ (à 45° quoi) . Tu met ton analyseur en sortie du montage, tu peux le mettre soit en croisé soit en colinéaire avec le polariseur d'entrée.

Tes champ électrique selon E_x et E_y sont donc en sortie déphasés de $2\pi\delta/\lambda$.

Là tout ça marche bien si tu connais parfaitement les axes propres du tenseur des contraintes. Comme en entrée de barre tu a un champ avec une composante $E_x = E_y$ ton contraste est max. Imagine un empilement de sphère ou tout autre système où les axes propres du tenseur des contraintes ne sont pas aussi faciles à déterminer, et bien il te faut une stratégie pour tout de même obtenir un contraste maximale en filant autant de sous à toutes les directions. Et c'est là que la polarisation circulaire te sauve la vie! Il te faut un polisseur linéaire disons que tu le met à 0° ensuite un $\lambda/4$ à 45° en sortie tu a une circulaire (droite ou gauche je ne sais plus) ça te donne un champ qui va "échantillonner" de la même façon toutes les directions d'étirement de ton système. En sortie pour analyser il faut faire un polariseur circulaire gauche, donc une $\lambda/4$ à -45° et un analyseur à 90° "

Conclusion

On n'oublie pas que la lumière naturelle est non polarisée! On a parlé de polarisation rectiligne, elliptique : la polarisation circulaire est quant à elle utilisée dans les cinéma 3D : les lunettes 3D sont en fait constitués de lames

quart-d'onde et de polariseur, permettant de voir 1 image différente à chaque oeil (prévue pour donner l'impression de 3D).