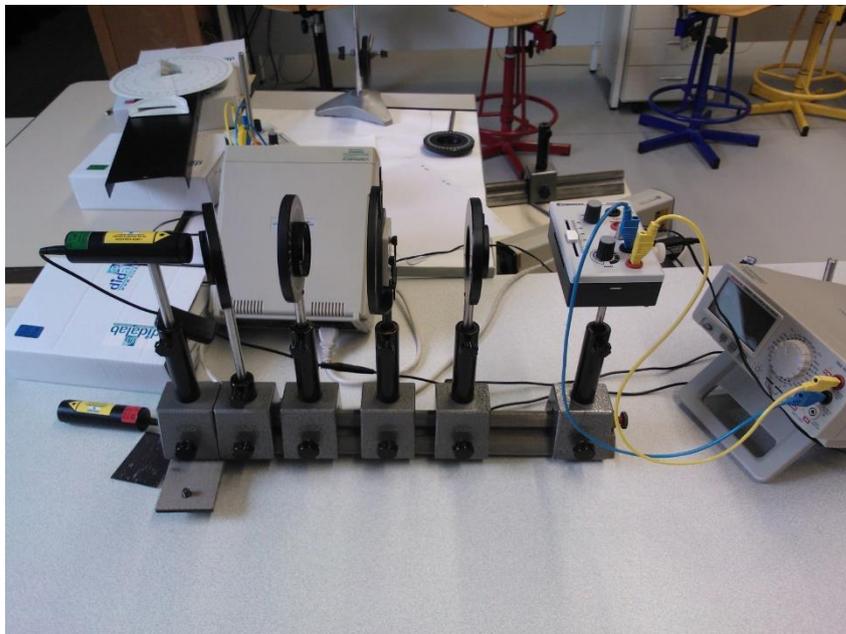


Polarisation de la lumière, polariseurs et lame cristallines



Etudiants :
Mihail BUZA
Nur ALI

Enseignant-responsable du projet :
François Guillotin

Cette page est laissée intentionnellement vierge.

Date de remise du rapport : **13/06/2016**

Référence du projet : **STPI/P6/2016 – 32**

Intitulé du projet : ***Polarisation de la lumière, polariseurs et lame cristallines***

Type de projet : ***Expérimental***

Objectifs du projet (10 lignes maxi) :

L'objectif de ce projet est d'étudier la polarisation de la lumière, polariseurs et lame cristallines. Nous allons faire des expériences surtout les polarisations circulaires et elliptiques de lame cristallines avec des lasers de couleurs rouge et vert. A la fin nous allons trouver qu'un de ces lasers est compatible avec lame cristalline mais l'autre n'est pas compatible.

Mots-clefs du projet (4 maxi) : ***Polarisation- lumière-lame cristallines***

TABLE DES MATIERES

1.	Introduction	6
2.	Méthodologie / Organisation du travail	7
3.	Travail réalisé et résultats	8
3.1.	La partie théorique	8
3.1.1.	La polarisation de la lumière.....	8
3.1.2.	Loi de Malus.....	10
3.1.3.	Biréfringence	12
3.1.3.1	Action d'une lame biréfringence à face parallèles	12
3.1.3.2	Action des lames quart d'onde sur une vibration polarisée rectilignement.....	12
3.2.	La partie expérimentale	14
3.2.1.	Vérification de la loi de Malus.....	14
3.2.2.	Repérage des axes de la lame	15
3.2.3.	Polarisation circulaire	16
3.2.4.	Polarisation elliptique	18
4.	Conclusions et perspectives.....	21
5.	Bibliographie	22
6.	Annexes (non obligatoire – exemples ci-dessous).....	23
6.1.	Documentation technique.....	Error! Bookmark not defined.
6.2.	Listings des programmes réalisés	23
6.3.	Schémas de montages, plans de conception.....	24
6.4.	Propositions de sujets de projets (en lien ou pas avec le projet réalisé)	24

NOTATIONS, ACRONYMES

1. INTRODUCTION

Tous les étudiants de deuxième année devaient choisir un sujet d'étude durant le dernier semestre de cycle préparatoire à l'INSA de Rouen. Nous avons choisi cinq sujets différents et avons tous été attribués sur un sujet. C'est ainsi que nous nous sommes retrouvés à travailler à deux sur le projet la polarisation de la lumière, polariseurs et lame cristallines avec M. Guillotin.

Le projet sur lequel notre groupe a travaillé est lié au domaine d'optique. L'optique est la branche de la physique qui traite de la lumière et de ses propriétés, du rayonnement électromagnétique, de la vision ainsi que les systèmes utilisant ou émettant de la lumière. Dans notre projet, nous avons travaillé beaucoup sur la polarisation de la lumière. La polarisation de la lumière est beaucoup utilisée dans la vie de tous les jours. Par exemple, les photographes ajoutent un polariseur devant l'objectif de la caméra pour éliminer les rayons réfléchis. On utilise aussi des lentilles fabriquées avec des polariseurs pour voir des films en trois dimensions.

Dans le cadre de notre projet, nous devons étudier également la polarisation de lame cristalline qui est lié au phénomène de biréfringence. Il s'agit d'une propriété physique d'un matériau dans lequel la lumière se propage de façon anisotrope. Dans un milieu biréfringent, l'indice de réfraction n'est pas unique, il dépend de la direction de la polarisation de l'onde lumineuse.

Pendant les séances de projet P6, nous devons étudier la polarisation de la lumière, polariseurs et lame cristallines. Nous avons fait quatre expériences principales qui sont tout d'abord, nous avons vérifié la loi de Malus, puis nous avons cherché les axes de lame cristalline. Après avoir trouvé ces axes, nous avons ensuite fait la polarisation circulaire de lame cristallines avec trois lasers de différent couleur qui sont vert, et rouge. Finalement, nous avons fait polarisation elliptique de lame cristalline avec lasers de différent couleur également.

Ce dossier s'articule donc autour de trois axes principaux. Tout d'abord, nous expliquerons la méthodologie et l'organisation interne mises en place pour l'élaboration du travail. Ensuite, nous mettrons la partie théorique en présentant le principe de polarisation, loi de Malus et biréfringence. Puis nous expliquerons la réalisation de notre expérience avec les résultats obtenus en comparant avec la théorie et les difficultés rencontrées.

2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Pour ce projet, nous avons plusieurs tâches à accomplir. Nous avons constaté que ce que nous avons à faire pouvait se diviser en deux parties : une partie théorique qui consistait à comprendre surtout le phénomène biréfringence qui est nouveau pour nous et une partie expérimentale pour valider la partie théorique. Comme nous avons travaillé à deux, donc nous avons fait toutes les tâches ensemble. Pendant les quatre premières semaines qui nous ont été accordées, nous avons commencé par la partie théorique et puis continuer par la partie expérimentale jusqu'à la fin du projet.

Pour la rédaction, nous avons réparti la rédaction du rapport en fonction des envies de chacun. Nur était chargée de rédiger l'introduction, la partie théorique et la conclusion de projet et Mihail était responsable de la rédaction de la partie expérimentale. Enfin, chacun a donné sa conclusion personnelle.

Tâches	Mihail	Nur
Recherche de la partie théorique	✓	✓
Réalisation de partie expérimentale	✓	✓

Table 1

Conception et rédaction de rapport :

Partie	Mihail	Nur
Introduction		✓
Méthodologie	✓	✓
Partie Théorique		✓
Partie Expérimentale	✓	
Conclusion	✓	✓

3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

3.1. La partie théorique

3.1.1. La polarisation de la lumière

La manifestation la plus simple de polarisation est celle d'une onde plane, qui est bonne approximation de la plupart des ondes. Comme toute onde électromagnétique qui se propage, elle est constituée d'un champ électrique et d'un champ magnétique tous deux perpendiculaires à la direction de propagation.

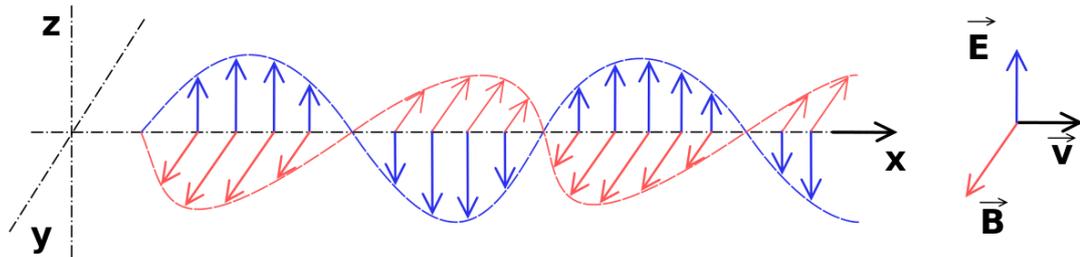
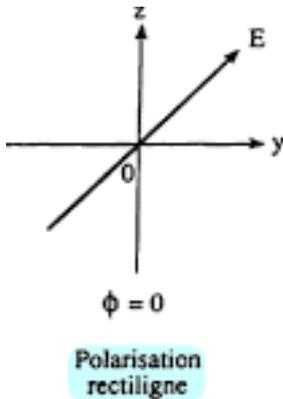


Figure 1: Polarisation de la lumière

Onde lumineuse avec champ magnétique \vec{B} et champ électrique \vec{E} à l'angle droit l'un de l'autre.

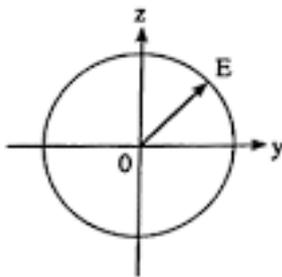
- Polarisation rectiligne



Lorsque la lumière est polarisée rectilignement on peut observer que les vecteurs du champ électrique ont tous la même direction, dans le cas de l'image les vecteurs ont comme direction l'axe x. Dans cette polarisation, l'intensité de l'éclairement peut varier mais pas la direction

Figure 2

- Polarisation circulaire



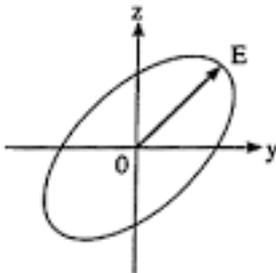
Dans la polarisation circulaire, contrairement à la polarisation rectiligne, l'intensité ne varie pas, il y a juste la direction des vecteurs qui est modifiée. Dans ce cas, l'angle que fait le vecteur avec l'axe Z varie de manière continue, on peut observer la formation d'un cercle formé par la trajectoire de la flèche du vecteur.

$$\varphi = \frac{\pi}{2} \text{ et } E_{0z} = E_{0y}$$

Polarisation circulaire

Figure 3

- Polarisation elliptique



Pour la polarisation elliptique, la norme et la direction des vecteurs peuvent varier. Mais comme pour la polarisation circulaire et rectiligne, l'angle qui détermine la direction et la norme des vecteurs doivent varier de manière continue pour pouvoir former une ellipse.

$$0 < \varphi < \frac{\pi}{2}$$

Polarisation elliptique

Figure 4

3.1.2. Loi de Malus

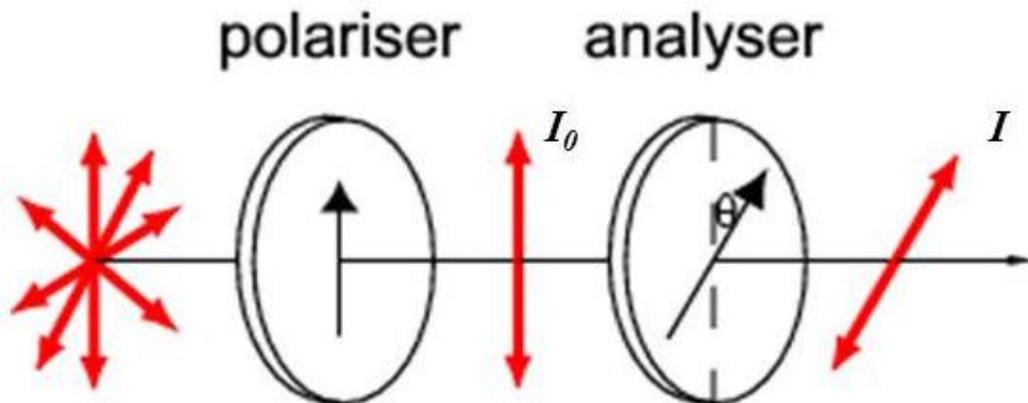
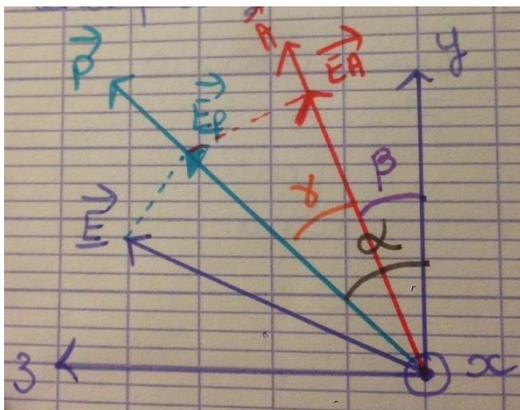


Figure 5: Loi de Malus

Le premier polariseur sert à générer la polarisation rectiligne de la lumière. Le deuxième polariseur sert à analyseur qui va analyser la lumière.



$$\vec{P} \begin{vmatrix} 0 \\ \cos\alpha \\ \sin\alpha \end{vmatrix} \quad \vec{A} \begin{vmatrix} 0 \\ \cos\beta \\ \sin\beta \end{vmatrix}$$

Figure 6

Première polariseur

$$\vec{E}_p = \|\vec{E}\|\vec{P} = E_0 \cos(\omega t - kr) \cdot \vec{P}$$

$$\underline{\vec{E}_p} = E_0 e^{j(\omega t - kr)} \cdot \vec{P}$$

$$\Rightarrow I_p = \frac{ae}{2} \underline{\vec{E}_p} \overline{\vec{E}_p^*}$$

$$\Rightarrow I_p = \frac{ae}{2} E_0^2$$

Deuxième polariseur (analyseur)

$$\vec{E}_A = \|\vec{E}_A\| \cdot \vec{A} = (\vec{E}_P \cdot \vec{A}) \cdot \vec{A}$$

$$\vec{E}_A = E_0 e^{j(\omega t - kr)} \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ \cos\alpha & \cos\beta \\ \sin\alpha & \sin\beta \end{vmatrix} \cdot \vec{A}$$

$$\vec{E}_A = E_0 e^{j(\omega t - kr)} (\cos\alpha \cos\beta + \sin\alpha \sin\beta) \cdot \vec{A}$$

$$\vec{E}_A = E_0 e^{j(\omega t - kr)} \cos(\alpha - \beta) \cdot \vec{A}$$

- $I_A = \frac{ae}{2} \vec{E}_A^* \vec{E}_A$

- $I_A = \frac{ae}{2} (E_0 e^{j(\omega t - kr)} \cdot \cos(\alpha - \beta) \cdot \vec{A}) (E_0 e^{-j(\omega t - kr)} \cos(\alpha - \beta) \cdot \vec{A})$

- $I_A = \frac{ae}{2} E_0^2 \cos^2(\alpha - \beta)$

- $I_A = I_P \cos^2\gamma$

Loi de Malus

3.1.3. Biréfringence

3.1.3.1 Action d'une lame biréfringente à face parallèles

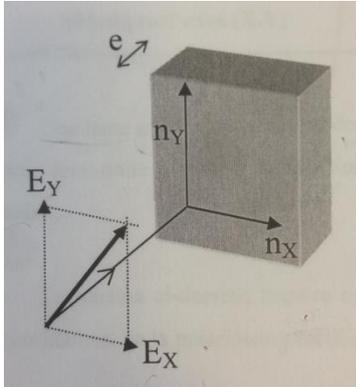


Figure 7 : lame biréfringence

Une lame biréfringente dont les faces d'entrée et de sortie sont parallèles entre elles ne produit pas de double réfraction (i.e. pas de séparation de la lumière en deux faisceaux de polarisation perpendiculaire) mais uniquement un déphasage de l'onde lumineuse dépendant de sa direction de polarisation (c'est pourquoi on appelle ces lames des lames à retard de phase). En effet, l'indice de réfraction dépend de la direction de polarisation de la lumière traversant la lame. On appelle axe rapide X (resp. lent Y) l'axe suivant lequel l'indice est le plus petit (resp. grand). Une lumière polarisée suivant l'un de ces deux axes se propagera

dans la lame comme dans un milieu homogène d'indice n_x ou n_y , sa direction de polarisation ne changera pas lors de traversée de la lame, c'est pourquoi on appelle ces axes les lignes neutres de la lame. En revanche, une lumière incidente polarisée rectiligne de biais par rapport à ces axes verra sa polarisation modifiée. En effet, les deux composantes E_x et E_y de l'onde ne se propagent pas à la même vitesse dans la lame.

3.1.3.2 Action des lames quart d'onde sur une vibration polarisée rectilignement

On caractérise une lame biréfringente soit par le déphasage $\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta n \times e$ qu'elle introduit entre les deux composantes de la polarisation suivant ses lignes neutres (X, Y), soit par la différence de marche $\delta = \Delta n \times e$. On appelle lame quart d'onde une lame pour laquelle $\delta = \frac{\lambda}{4}$.

Polarisation rectiligne incidente:

$$E_{X0} = E_0 \cos \alpha \cos \omega t$$

$$E_{Y0} = E_0 \sin \alpha \cos \omega t$$

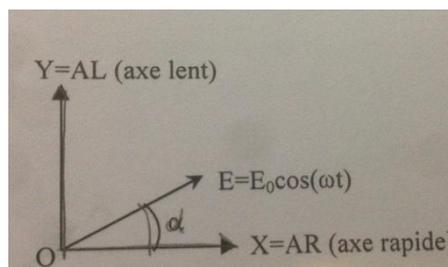


Figure 8.

Composantes de la vibration à la sortie d'une lame quarte d'onde

$$\delta = \frac{\lambda}{4} \text{ ou } \phi = \frac{\pi}{2}$$

$$E_x = E_0 \cos \alpha \cos \omega t$$

$$E_y = E_0 \sin \alpha \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

Soit

$$E_x = E_0 \cos \alpha \cos \omega t$$

$$E_y = E_0 \sin \alpha \sin \omega t$$

Elliptique d'axe (X, Y)

Une lame quart d'onde pourra donc servir à transformer une polarisation rectiligne en elliptique (ou l'inverse).

3.2. La partie expérimentale

3.2.1. Vérification de la loi de Malus

La vérification de la loi de Malus sera effectuée utilisant comme source de lumière un laser qui est monté sur un banc optique. Son faisceau est parallèle au banc et frappe la surface sensible d'un détecteur à photodiode, dont la tension fournie à la sortie est proportionnelle à la puissance lumineuse qu'il reçoit. Pour des mesures valables, on veillera à ce que le détecteur ne sature pas : la sortie ne doit pas approcher les 5V de la tension d'alimentation (pile interne au boîtier).

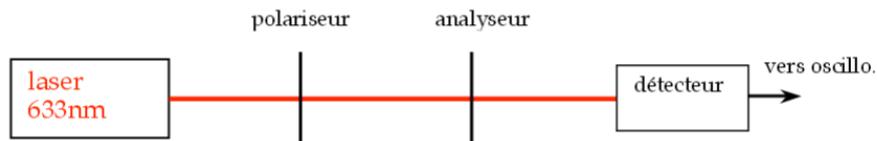
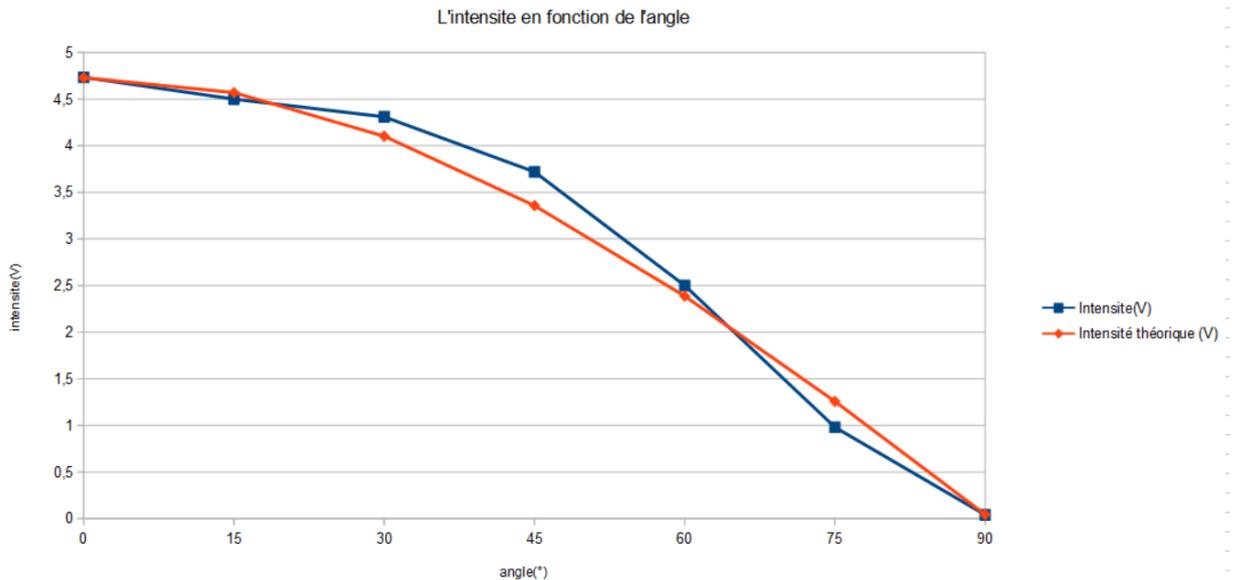


Figure 9 : Montage à réaliser

Les résultats expérimentaux sont affichés dans le graphique suivant ou on trace les courbes respectives :



D'après la courbe obtenue les valeurs théoriques et expérimentales sont en cohérence. L'erreur relative est assez faible.

Ainsi les résultats obtenus nous permettent de vérifier la loi de Malus.

3.2.2. Repérage des axes de la lame

Quand on veut déterminer les caractéristiques d'une lame retardatrice (de déphasage quelconque), il est très facile de trouver les directions de ses axes : il suffit de la placer entre polariseur et analyseur croisés, et de lui faire décrire un tour complet autour de la direction de propagation de la source incidente ; on constate alors qu'il se produit quatre extinctions successives de la lumière émergente, et qu'on passe de l'une à la suivante en tournant la lame de 90° ; lors de ces extinctions, les axes de la lame retardatrice sont parallèles à ceux du polariseur et de l'analyseur, qui sont orthogonaux entre eux puisqu'ils sont croisés.

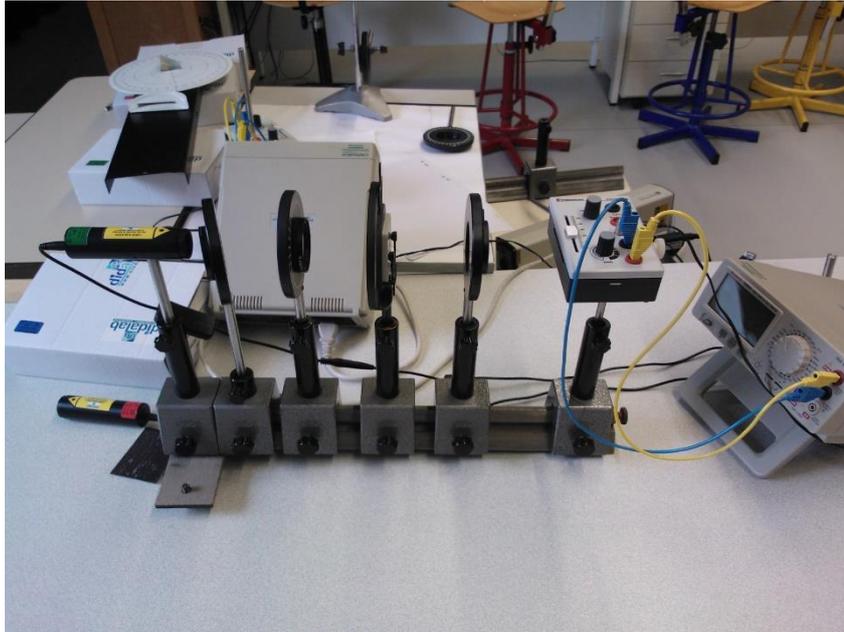
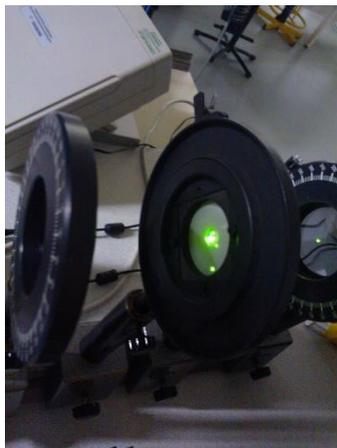


Figure 9 : Montage pour repérage des axes

On a utilisé 2 polariseurs parce que le laser est très puissant pour l'analyseur qu'on l'utilise et en plus le premier est incliné de façon à éviter la formation des plusieurs taches lumineuse car ça perturbe les résultats.



La formation de plusieurs taches lumineuse est à cause de l'épaisseur de polariseur qui fait d'avoir une réflexion de chaque côté.

Figure 9.2 : Réflexion de laser

3.2.3. Polarisation circulaire

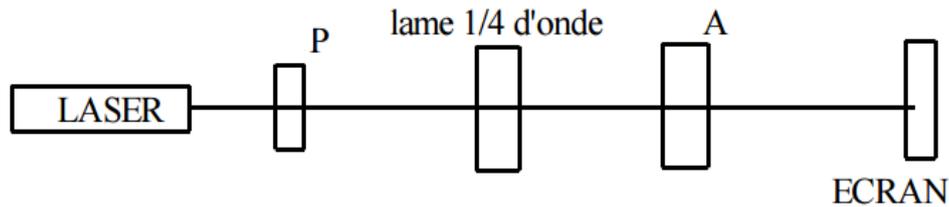


Figure 10 : Montage à réaliser

Pour avoir une polarisation circulaire il suffit tout simplement de tourner la lame quart d'onde à $\pm 45^\circ$ après le repérage des axes. Ensuite on utilise un laser rouge (Diode Laser Rouge POD 013 133, $\lambda=650\text{nm}$). Le tableau avec les mesures est affiché dans l'annexe. Dans le cas d'une polarisation circulaire quand on trace l'intensité en fonction d'angle de l'analyseur on ne doit pas avoir des changements, c'est-à-dire il faut obtenir une fonction constante.



Figure 10 : Fonction d'intensité pour le laser rouge

On observe donc sur le graphique (figure 10) qu'on n'a pas une fonction constante. Ce résultat est dû à l'utilisation d'un laser rouge (Diode Laser Rouge POD 013 133) qui a une longueur d'onde de 650nm mais la lame est conçue pour une longueur d'onde spécifique de 546 nm.

Ensuite on va refaire la manipulation mais en utilisant un laser vert (POD 013 132 Diode Laser Vert $\lambda=532\text{nm}$).

D'après l'expérience on obtient le graphique :(figure 12)



Figure 12 : Fonction d'intensité pour le laser vert

On peut observer une fonction presque constante ce qui est un résultat attendu parce que la longueur d'onde du laser vert (POD 013 132 Diode Laser Vert $\lambda=532\text{nm}$) et la lame quart-d'onde ($\lambda=546\text{nm}$) sont très proches. Ainsi on a obtenu une polarisation circulaire à l'aide d'une lame quart d'onde.

3.2.4. Polarisation elliptique

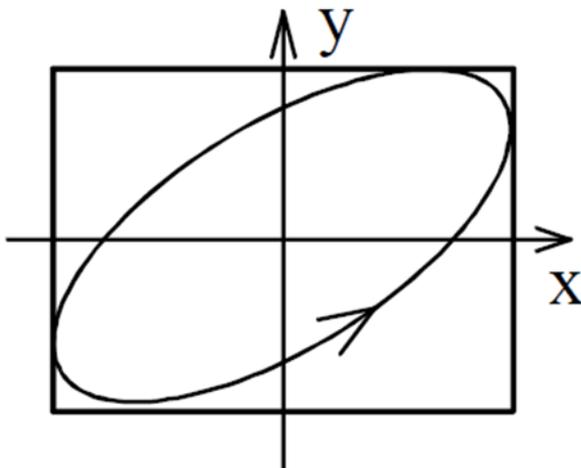
Pour avoir une polarisation elliptique il suffit de tourner la lame après le repérage d'axe à $\pm 30^\circ$, le signe vas nous indiquer si on a une polarisation elliptique droite ou gauche. On va aussi utiliser le laser (POD 013 132 Diode Laser Vert $\lambda=532\text{nm}$) pour obtenir des résultats plus cohérents car les longueurs d'onde sont très proches.

Ainsi on obtient les valeurs suivantes pour $+30^\circ$:

Intensité max (V) =0.80V	Angle d'analyseur ($^\circ$) =-60 $^\circ$
Intensité max (V) =0.798V	Angle d'analyseur ($^\circ$) =-240 $^\circ$
Intensité min (V) =0.295V	Angle d'analyseur ($^\circ$) =-150 $^\circ$
Intensité min (V) =0.292V	Angle d'analyseur ($^\circ$) =-330 $^\circ$

On déduit qu'on a une polarisation elliptique gauche:

elliptique gauche:

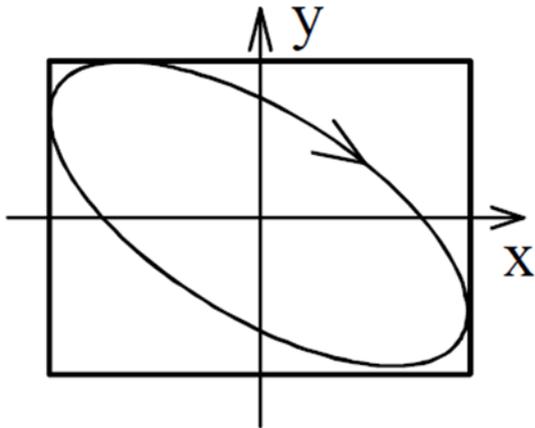


Si on tourne la lame à -30° on obtient le tableau suivant:

Intensité max (V) = 1.135V	Angle d'analyseur ($^\circ$) = $+50^\circ$
Intensité max (V) = 1.147V	Angle d'analyseur ($^\circ$) = -130°
Intensité min (V) = 0.413V	Angle d'analyseur ($^\circ$) = -220°
Intensité min (V) = 0.412V	Angle d'analyseur ($^\circ$) = -40°

Ainsi on obtient une polarisation elliptique droite:

elliptique droite:



Dans cette manipulation on a vu que grâce à une lame quart d'onde on peut obtenir une polarisation elliptique gauche ou droite qui est imposée en fonction que l'on tourne l'angle.

3.3. Applications à l'industrie

3.3.1. Lunettes 3D

Il existe différents types de lunettes 3D, parmi eux des lunettes avec des verres constitués d'un polariseur et d'une lame quart d'onde ce qui constitue une application industrielle des lames quart d'onde. Ces verres permettent de reconstituer une image 3D qui utilise la polarisation.

Lors de la prise des images, deux caméras sont utilisées, chacune ayant un polariseur devant son objectif, ces deux polariseurs ayant des directions de polarisation orthogonales l'une par rapport à l'autre, selon un axe x et un axe y. Les caméras enregistrent alors une lumière polarisée circulairement, la composante selon l'axe x représentant ce qui doit être vu par un des deux yeux lors de la projection et celle selon y devant être vue par l'autre œil.

Les lunettes 3D sont constituées d'une de deux verres contenant chacun un polariseur suivi d'une lame quart d'onde. L'un des polariseurs polarise la lumière selon une direction x et l'autre selon la direction y. Il faut alors régler le retard des lumières envoyées à l'aide de lames quart d'onde permettant de n'avoir pas de retard entre une lumière et l'autre par rapport au moment de l'enregistrement de l'image, c'est-à-dire qu'on déphase une des ondes de $\frac{\pi}{4}$ et l'autre de $-\frac{\pi}{4}$.



Figure 13. Lunettes 3D

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Tout d'abord, nous voudrions remercier notre professeur Monsieur Guillotin qui nous a beaucoup aidé tout au long de ce projet.

En débutant ce projet, nous nous étions fixés plusieurs objectifs à atteindre et compte tenu du travail réalisé pendant ce semestre, nous sommes maintenant capables d'établir un bilan de notre étude.

Pour réaliser notre projet, nous l'avons divisé en deux parties : une partie théorique et une partie expérimentale. Comme nous sommes à deux, nous avons travaillé tous ensemble depuis le début de projet jusqu'à la fin.

Pour la partie théorique, nous avons fait des recherches sur les phénomènes de biréfringence pour pouvoir comprendre mieux et puis Monsieur Guillotin nous a donné quelques exercices à résoudre pour maîtriser la connaissance sur ce sujet. Puis, nous avons cherché aussi la loi de Malus pour la partie théorique.

Pour la partie expérimentale, nous avons fait quatre expériences pendant le projet. Nous avons vérifié la loi de Malus, nous avons également cherché les axes de lames et après nous avons effectué les expériences de polarisation circulaire et elliptique pour lame cristalline avec trois lasers de différentes couleurs qui sont rouge et vert. Le fait de faire l'expérience avec deux lasers a démontré que la lame qu'on utilise est plus compatible avec le laser vert à cause de la longueur d'onde de la lame et celle de laser vert qui sont très proches.

1. Conclusion de chaque membre du projet

Nur ALI :

Notre projet est beaucoup lié aux connaissances de P4-2 apprises le semestre dernier. Donc, pendant ce projet, nous avons utilisé nos connaissances théoriques pour effectuer les expériences. Grâce au professeur et Mihail, j'ai réussi à mieux comprendre l'influence de la polarisation sur la lumière et la polarisation de la lame cristalline. Au début, j'étais un peu perdue car je n'ai pas bien compris ce qu'il faut faire dans ce projet. Puis, le professeur nous a expliqué patiemment quelles expériences qu'il faut faire et parfois nous avons rencontré des difficultés. Ce projet m'a apporté non seulement des connaissances scientifiques, mais il m'a aussi donné conscience de l'importance de l'esprit d'équipe pour le travail. Même si nous étions à deux personnes seulement, la communication est très importante. Enfin, je veux remercier mon professeur Monsieur Guillotin et mon binôme Mihail car ils m'ont énormément aidé pour réussir ce projet.

Buza Mihail:

De manière générale je peux dire que c'était mon premier projet assez sérieux. C'était très intéressant de revoir la correspondance entre la partie théorique et la partie expérimentale, de comprendre mieux la polarisation de la lumière et à quoi les lames cristallines servent.

5. BIBLIOGRAPHIE

https://fr.wikipedia.org/wiki/Lame_%C3%A0_retard

Polycopies du cours P4.2 de M. Guillotin

<http://jflemen.iutlan.univ-rennes1.fr/OPHPOL/pol.htm>

http://physique-eea.ujf-grenoble.fr/intra/Organisation/CESIRE/OPT/DocsOptique/TextesTP/TextesTP_L3PC/TP1-Polarisation.pdf

6. ANNEXES (NON OBLIGATOIRE – EXEMPLES CI-DESSOUS)

6.1. Tableaux des résultats

Tableaux des résultats pour une polarisation circulaire Laser Rouge :

Angle_analyseur (°)	Intensité(V)
-40	1,531
-30	1,671
-20	1,791
-10	1,873
0	1,931
10	1,911
20	1,852
30	1,761
40	1,643
50	1,479
60	1,369
70	1,219
80	1,149
90	1,122

Tableaux des résultats pour une polarisation circulaire Laser Vert:

Angle_analyseur(°)	Intensité(V)
20	1,088
40	1,143
60	1,148
80	1,127
100	1,092
120	1,052
140	1,012
160	1,013
180	1,038
200	1,093
220	1,144
240	1,143
260	1,106
280	1,052
300	1,017
320	0,992
340	0,982
360	1,002

- 6.2. Schémas de montages, plans de conception...**
- 6.3. Propositions de sujets de projets (en lien ou pas avec le projet réalisé)**