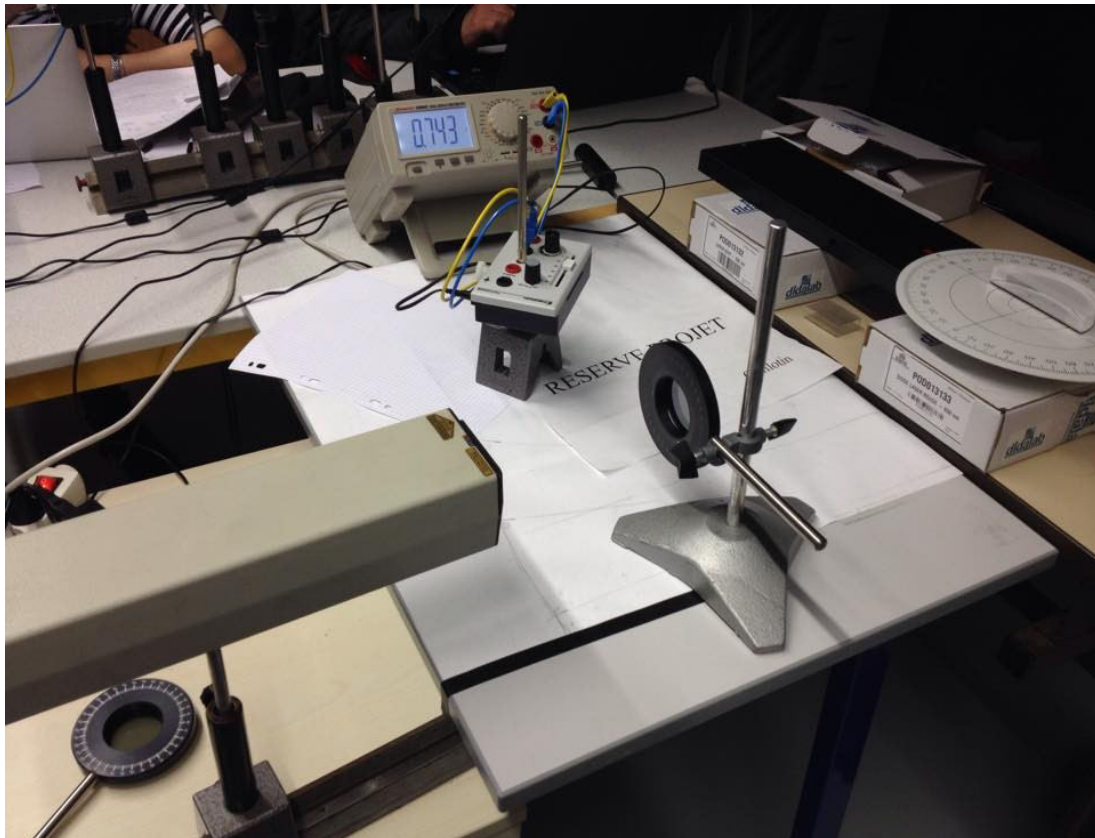


Réflexion de la lumière et polarisation



Étudiants :

Mengru Gao

Mengyue Wang

Moraru Octavian

Enseignant-responsable du projet :

Francois Guillotin

Date de remise du rapport : 13/06/2016

Référence du projet : **STPI/P6/2016 – 33**

Intitulé du projet : **Réflexion de la lumière et polarisation**

Type de projet : ***expérimental***

Objectifs du projet :

L'objectif de ce projet est de connaître la polarisation par réflexion de l'angle de Brewster et le coefficient de Fresnel. Ce sont les phénomènes particuliers induit par la polarisation de la lumière.

Mots-clefs du projet : coefficient de Fresnel, Snell-Descartes ,angle de Brewster, polarisation .

Table des matières

1.Introduction.....	5
2.METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL.....	6
3.Travail réalisé et résultats.....	7
3.1.Partie théorique.....	7
3.1.1.Loi de Snell-Descartes.....	7
3.1.2.Angle de Brewster.....	8
3.1.3.Formules des Fresnel.....	10
3.1.3.1.Onde polarisée perpendiculairement au plan d'incidence.....	10
3.1.3.2.L'onde est polarisée dans le plan d'incidence:.....	12
3.2.Partie expérimentale.....	13
3.2.1.L'expérience de l'angle de Brewster.....	13
3.2.1.1. Introduction d'une machine.....	13
3.2.1.2.Introduction d'une machine.....	14
3.2.1.3.Manipulations et travail réalisé.....	14
3.2.1.4.Résultat d'expérience.....	17
3.2.2.Coefficient de Fresnel.....	18
3.2.2.1.Installation de dispositif.....	18
3.2.2.2.Manipulations et travail réalisé.....	18
3.2.2.3.Résultats.....	21
3.2.2.4.Courbes des coefficients.....	22
4.Conclusions et perspectives.....	23
5.Bibliographie.....	24
6. Annexes	25
6.1.Schémas de montages.....	25

1. INTRODUCTION

Au cours de cette semestre, nous avons réalisé notre projet de P6 pendant treize semaines. Notre groupe de projet consiste 3 personnes et nous avons choisi <<réflexion de la lumière et polarisation>> comme notre sujet dans le cadre de projet P6.

Normalement, réflexion de la lumière est partiellement l'état polarisé, et la direction de polarisation de la lumière sont souvent incertaines. Ce type de polarisation est courant car, il est engendré par la simple réflexion de la lumière sur une surface réfléchissante : verre, eau, glass... Pour comprendre son mécanisme de manière intuitive, il faut revenir à des notions basiques concernant l'interaction entre une onde plane électrique et une molécule. On ne peut pas appliquer la polarisation par réflexion dans la vie réelle parce qu'il faut avoir une certaine direction de polarisation. Selon la loi de Brewster, on peut obtenir une direction de polarisation spécifique de la lumière naturelle par utiliser l'angle de Brewster.

L'objectif de ce projet est de connaître la polarisation par réflexion essentiellement l'angle de Brewster et le coefficient de Fresnel. Ce sont les phénomènes particuliers induit par la polarisation de la lumière. Afin de réaliser le projet bien, nous avons étudié les connaissances théoriquement et aussi fait les expériences. Nous allons essayer de démontrer les deux phénomènes et des expliquer au travers notamment de graphique, de tableau de valeur et des photos d'expériences dans le rapport.

Pendant notre cours de P4, nous avons déjà appris les connaissance sur le réflexion et la polarisation. Et grâce à ce projet nous avons pu approfondir nos connaissances dans les domaines et puis il nous permet d'élever l'esprit de travailler en coordination.

2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Notre projet est constitué de 2 principale expérimentations, des analyses théorique et les calculs de théorème. Pour les deux expérimentation, on a aussi besoin de préparer et tester les équipements afin d' obtenir la data plus précis. En partie d'analyse théorique, nous lisons des documents pertinentes et ensuite connaissons des théorèmes. Ainsi nous pouvons faire l'analyse comparative entre le théorème et l'expérimentation plus tard. En partie des calculé de théorème, le professeur prépare des exercices pour nous. Nous connaissons bien le théorème ainsi que nous comprenons la démonstration.

Notre groupe était constitué de 3 personne, Octavian, Mengyue et Mengru. Nous avons partagé le travail dépend l'idée de chaque personne et considéré le point fort différent de chacun. Octavian a lit le plus des documents, à la fois Mengyue et Mengru vont préparé les petits outils pour les expériences. En partie des calculés de théorème, nous travail ensemble pour discuter. Pendant les expériences, Merengue et Mengru vont opéré les étapes de mesure, Octavian a noté les valeurs mesurées et fait le schéma et la tableau. Aussi nous avons travaillé tous ensemble par fois afin d'analyser des mesures expérimentales, voir le résultat d'expérience et comparer avec la valeur théorique. Quoique notre groupe était seulement constitué de 3 personnes, nous sommes assez solitaire car nous communiquons et discutons beaucoup pendant et après le cours.

En ce qui concerne la rédaction du rapport, Mengru s'est chargée la partie d'introduction et d'organisation, aussi la première expérience de l' angle de Brewster. Mengyue a rédigé la partie de la deuxième expérience du coefficient de Fresnel et la conclusion. Octavian s'est chargé la partie théorique et le travail d'intégrer les parties de personne dans le rapport.

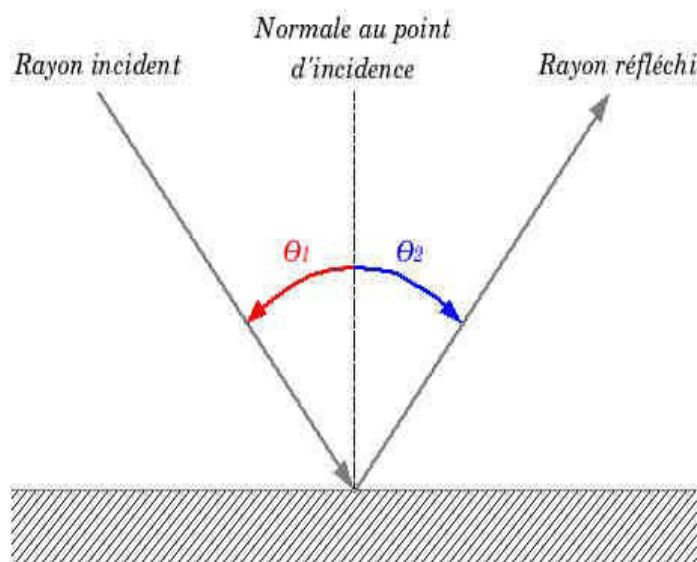
3. TRAVAIL RÉALISÉ ET RÉSULTATS

3.1. Partie théorique

3.1.1. Loi de Snell-Descartes

Les lois de Snell-Descartes décrivent le comportement de la lumière à l'interface de deux milieux. Ces lois sont au nombre de deux, une pour la réflexion et une pour la réfraction. Avec la propagation rectiligne de la lumière dans les milieux homogènes et isotropes.

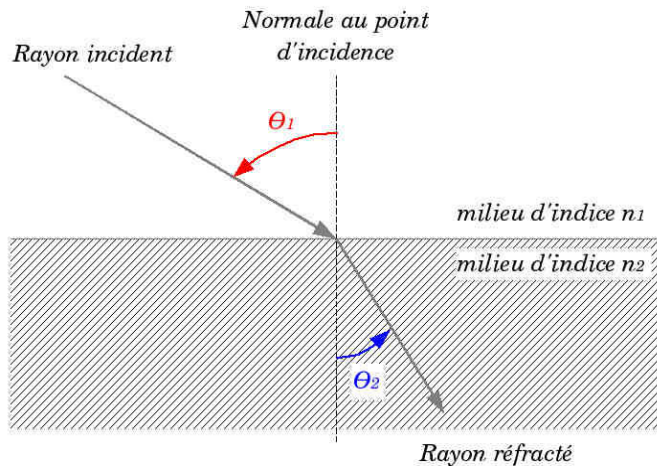
La première loi de Descartes nous apprend que le rayon réfracté est dans le plan d'incidence.



La loi Descartes pour la réflexion :

- les angles incidents et réfléchis sont égaux en valeurs absolues ; θ_1 et θ_2 vérifient : $\theta_2 = -\theta_1$

La loi de Snell-Descartes de la réfraction exprime le changement de direction d'un faisceau lumineux lors de la traversée d'une paroi, séparant deux milieux différents. Chaque milieu est caractérisé par sa capacité à « ralentir » la lumière.



La loi Descartes pour la réfraction :

- le rayon réfracté est dans le plan d'incidence
- la relation liant les indices de réfraction n_1 et n_2 de chacun des milieux et les angles incident θ_1 et réfracté θ_2 .

$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

3.1.2. Angle de Brewster

L'angle de Brewster est un angle d'incidence particulier pour lequel la lumière réfractée et réfléchi possède des propriétés de polarisation particulières. Lorsqu'un faisceau lumineux est incident sur un dioptre à cet angle, s'il est polarisé dans le plan d'incidence il est alors totalement transmis (pas de réflexion).

À l'angle de Brewster, le rayon réfracté et la direction attendue pour le rayon réfléchi forment un angle droit.

La formule de Snell-Descartes permet de prévoir facilement l'angle de Brewster si l'on connaît les indices de réfraction n_1 et n_2 des milieux.

Écrivant

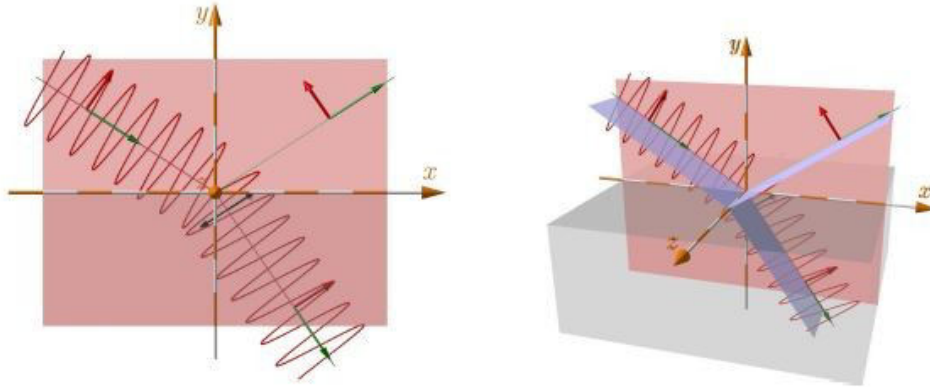
$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$$

et

$$\sin(\theta_2) = \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta_1\right) = \cos(\theta_1)$$

on obtient :

$$\theta_1 = \arctan\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

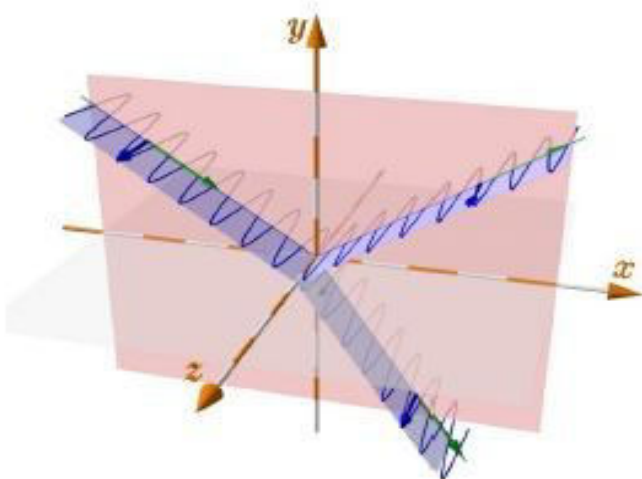


L'angle de Brewster correspond à la situation où l'onde réfléchi et l'onde transmise sont perpendiculaire . L'onde réfléchi dans le milieu 1 est due a l'émission des dipôles du milieu 2. A l'angle de Brewster , lorsque l'onde incidente est polarisée dans le plan d'incidence , les dipôles induits dans le milieu 2 sont alignes avec la direction de l'onde réfléchi . Puisqu'un dipôle n'émet pas selon son axe, cela signifie que la puissance reblanchie est nulle.

Lorsque de la lumière arrive de l'air sur une surface d'eau (indice $n=1,5$) l'angle de Brewster est

$$\theta_B = \arctan(1.5) = 56,3^\circ$$

En revanche pour la même angle d'incidence , lorsque la polarisation est perpendiculaire au plan d'incidence , la réflexion se fait sans problème .



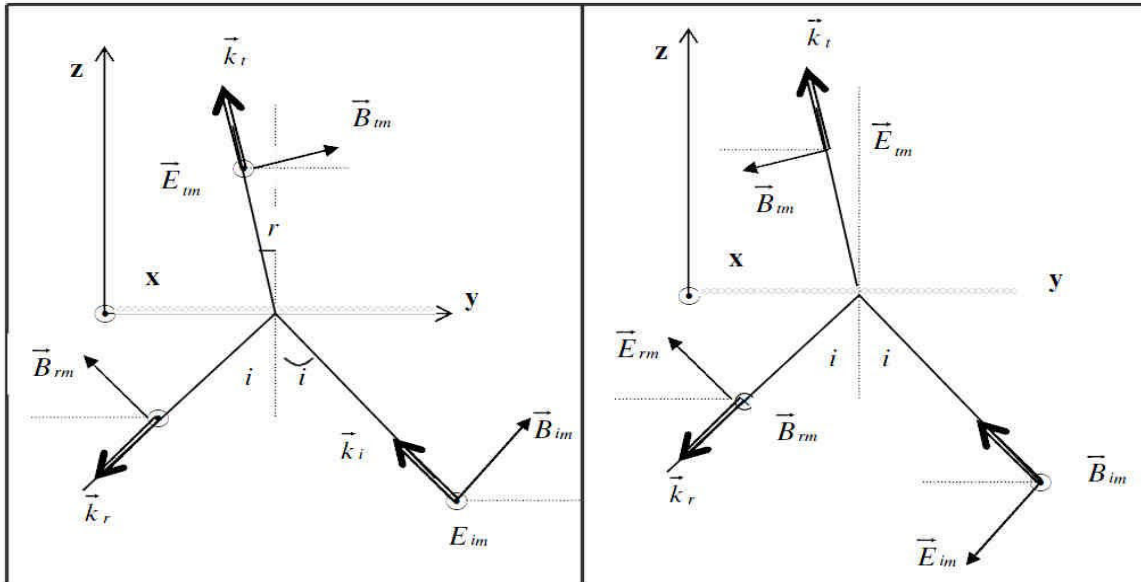
Réflexion d'une onde polarisée perpendiculairement au plan d'incidence à l'angle de Brewster.

3.1.3. Formules des Fresnel

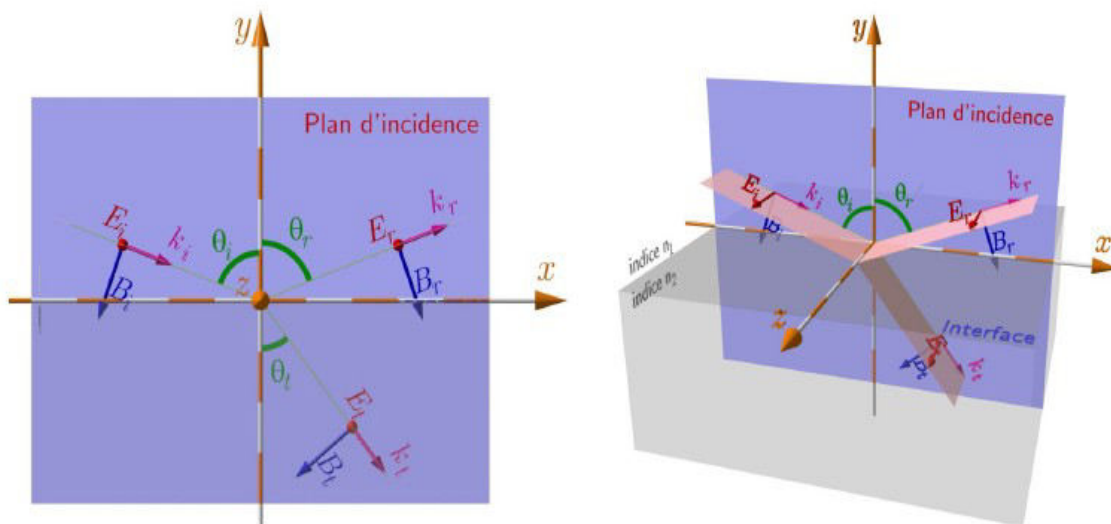
On définit les coefficients de transmission et de réflexion en amplitude par:

$$r = \frac{E_r}{E_i} \quad \text{et} \quad \tau = \frac{E_t}{E_i}$$

Ces coefficients, à priori complexes, dépendent de l'état de polarisation de l'onde incidente.



3.1.3.1. Onde polarisée perpendiculairement au plan d'incidence



La continuité de la composante tangentielle de \vec{E} donne: $\underline{E}_i + \underline{E}_r = \underline{E}_t$

en utilisant les coefficients: $1 + r_{\perp} = t_{\perp}$ et la continuité de \vec{B} tangentielle donne:

$$\vec{B}_i \cdot \vec{e}_x + \vec{B}_r \cdot \vec{e}_x = \vec{B}_t \cdot \vec{e}_x$$

puisque l'onde est une onde plane:

$$\left(\frac{\vec{k}_i \wedge \vec{E}_i}{\omega} \right) \cdot \vec{e}_x + \left(\frac{\vec{k}_r \wedge \vec{E}_r}{\omega} \right) \cdot \vec{e}_x = \left(\frac{\vec{k}_t \wedge \vec{E}_t}{\omega} \right) \cdot \vec{e}_x$$

$$-\frac{k_i E_i}{\omega} \cos \theta_i + \frac{k_r E_r}{\omega} \cos \theta_i = -\frac{k_t E_t}{\omega} \cos \theta_r$$

Donc avec $k_i = k_r = n_1 \frac{2\pi}{\lambda_0}$ et $k_t = n_2 \frac{2\pi}{\lambda_0}$ et en introduisant les coefficients de réflexion et de réfraction en amplitude:

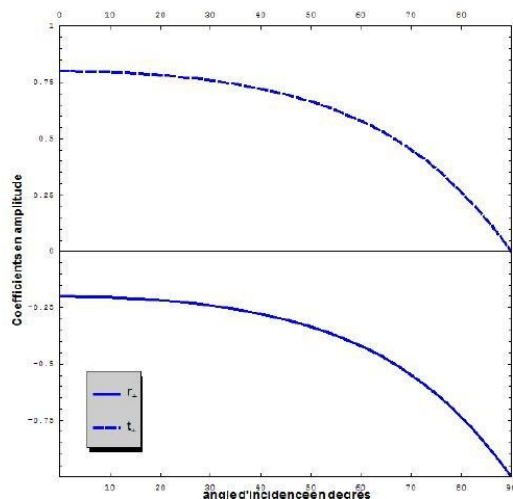
On en tire alors directement l'expression des *coefficients de Fresnel*:

$$r_{\perp} = \frac{n_1 \cos \theta_i - n_2 \cos \theta_r}{n_1 \cos \theta_r + n_2 \cos \theta_i} \quad t_{\perp} = \frac{2n_1 \cos \theta_i}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \cos \theta_r}$$

Formules valables pour tout milieux, les valeurs complexes des indices traduisant les déphasages subit lors de la réflexion et de la réfraction.

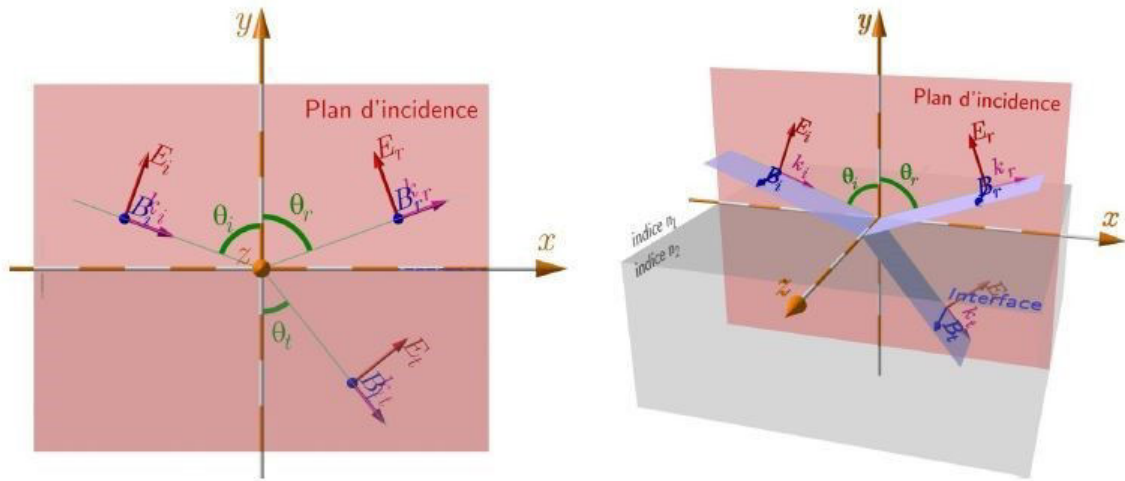
Si le milieu est non absorbant, et en utilisant alors $n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r$, on obtient

$$r_{\perp} = \frac{\sin(\theta_r - \theta_i)}{\sin(\theta_r + \theta_i)} \quad t_{\perp} = \frac{2 \sin \theta_r \cos \theta_i}{\sin(\theta_r + \theta_i)}$$



Coefficients de réflexion et de transmission en amplitude lorsque la polarisation est perpendiculaire au plan d'incidence.

3.1.3.2. L'onde est polarisée dans le plan d'incidence:



Si la polarisation de l'onde incidente est dans le plan d'incidence, le champ magnétique est perpendiculaire à ce plan $\vec{B}_{im} = B_{im} \cdot \vec{e}_x$

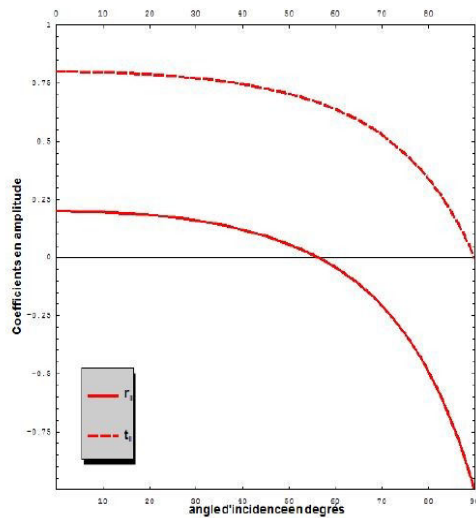
Les milieux étant isotropes, ce plan est plan de symétrie pour le système ; par conséquent les vecteurs \vec{B}_{rm} et \vec{B}_{im} sont aussi dirigés suivant \vec{e}_x et les vecteurs \vec{E}_{rm} et \vec{E}_{im} sont contenus dans le plan Oyz .

En effectuant le même raisonnement, on obtient

$$r_{//} = \frac{n_1 \cos \theta_r - n_2 \cos \theta_i}{n_1 \cos \theta_r + n_2 \cos \theta_i} \quad \tau_{//} = \frac{2n_1 \cos \theta_i}{n_1 \cos \theta_r + n_2 \cos \theta_i}$$

et en milieu non absorbant:

$$r_{//} = \frac{\tan(\theta_r - \theta_i)}{\tan(\theta_r + \theta_i)} \quad \tau_{//} = \frac{2 \sin \theta_r \cos \theta_i}{\sin(\theta_r + \theta_i) \cos(\theta_i - \theta_r)}$$



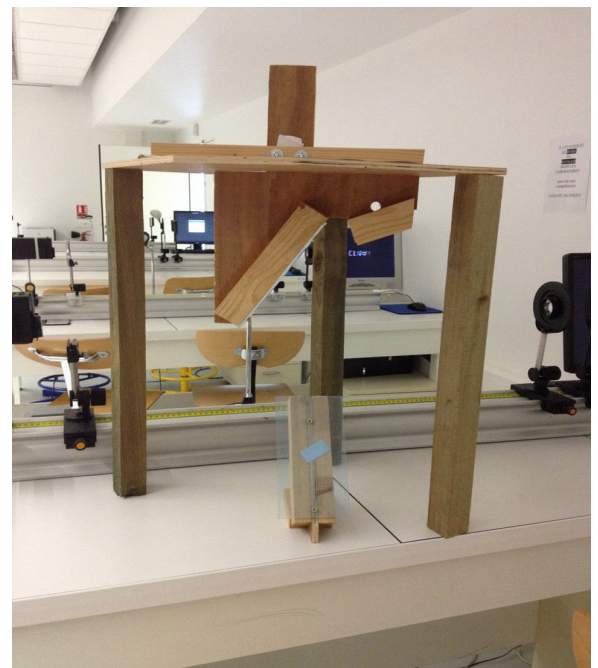
Coefficients de réflexion et de transmission en amplitude lorsque la polarisation est perpendiculaire au plan d'incidence.

3.2. Partie expérimentale

3.2.1. L'expérience de l'angle de Brewster

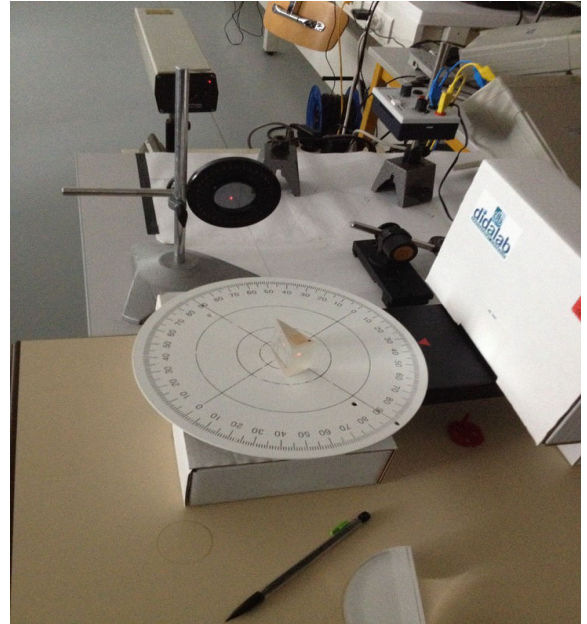
3.2.1.1. Introduction d'une machine

Notre professeur Monsieur Guillotin nous a donné une machine en dessous qui a deux miroirs pour le principe de double réflexion. Le premier miroir est pour la polarisation qui correspond l'angle de Brewster. Et le deuxième miroir est pour vérifier lois de malus. Puis, il a une angle de mettre le lampe donc le lumière est réfléchi verticalement.



3.2.1.2. Introduction d'une machine

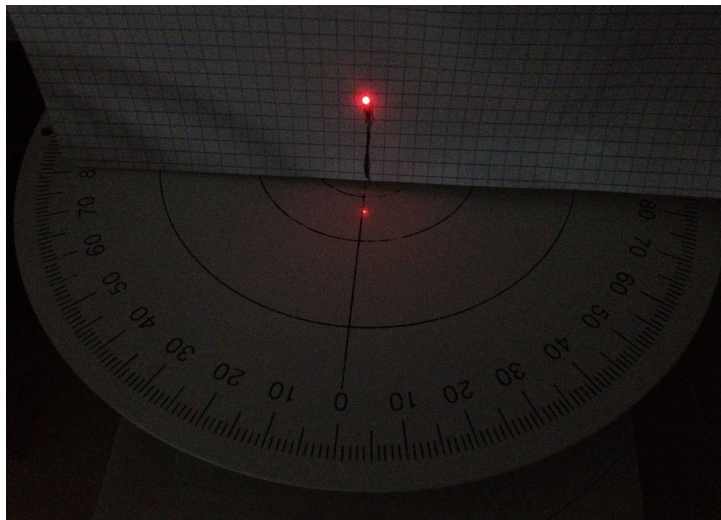
L'objectif de cette expérience est de trouver l'angle de Brewster avec matériaux de miroir différents et les lumières des fréquences différentes. Afin de observer le phénomène de polarisation de la lumière par réflexion, nous avons besoin de un laser, une polarisateur, un miroir pour réflexion.



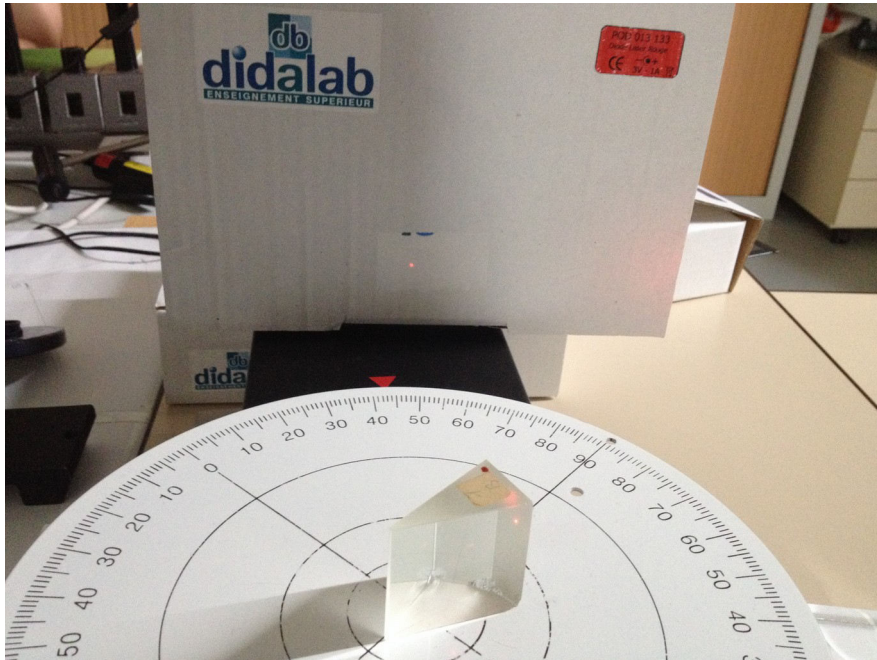
3.2.1.3. Manipulations et travail réalisé

Après préparer installer les dispositifs précédents, on commence la mesure.

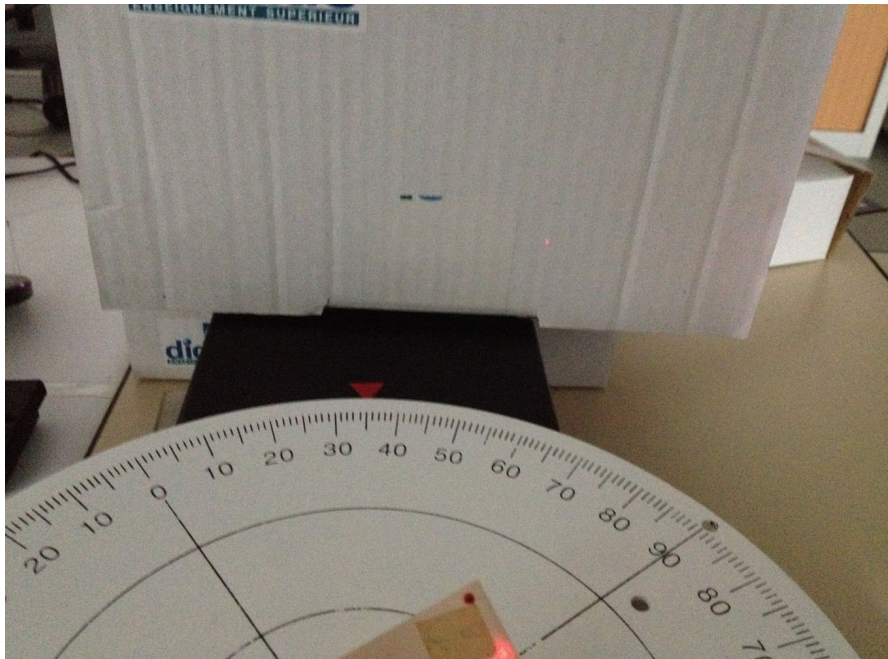
Premièrement, on ajuste la position du laser et le rapporteur pour confirmer que le faisceau lumineux est strictement vertical au miroir .

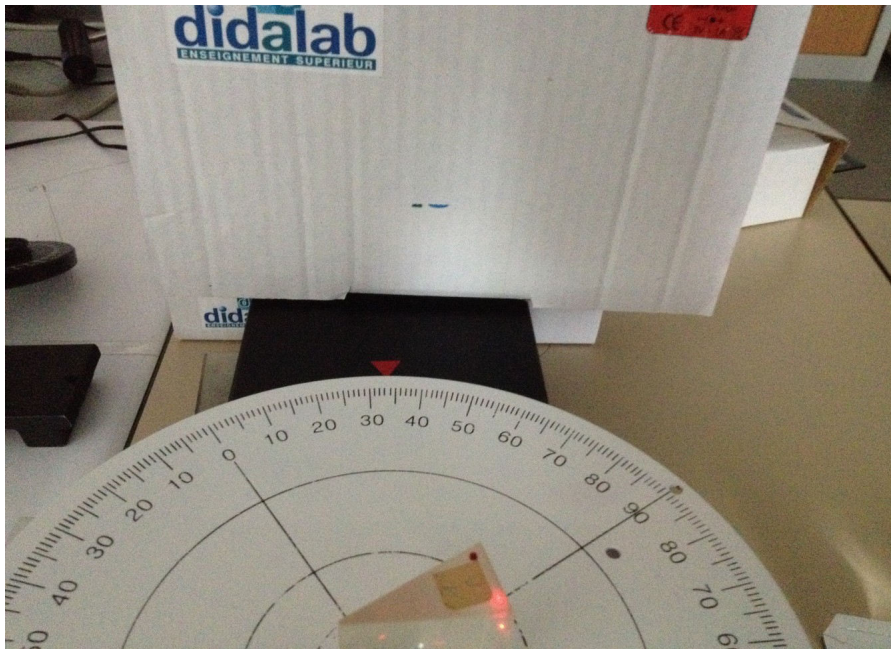


Ensuite, on tourne le rapporteur avec le miroir au dessus et nous pouvons observer clairement le changement de l'intensité de la lumière de réflexion. Puis, on tourne doucement afin de trouver la position pour avoir l'intensité de la lumière la plus faible. On tourne la polarisateur jusqu'à le point à lequel on ne peut pas observer de lumière, en ce moment, on peut lire la valeur de l'angle sur le rapporteur. C'est l'angle de Brewster. On aussi observe la polarisateur est horizontale · ainsi on vérifie que l'angle de Brewster seulement existe dans la polarisation horizontale.

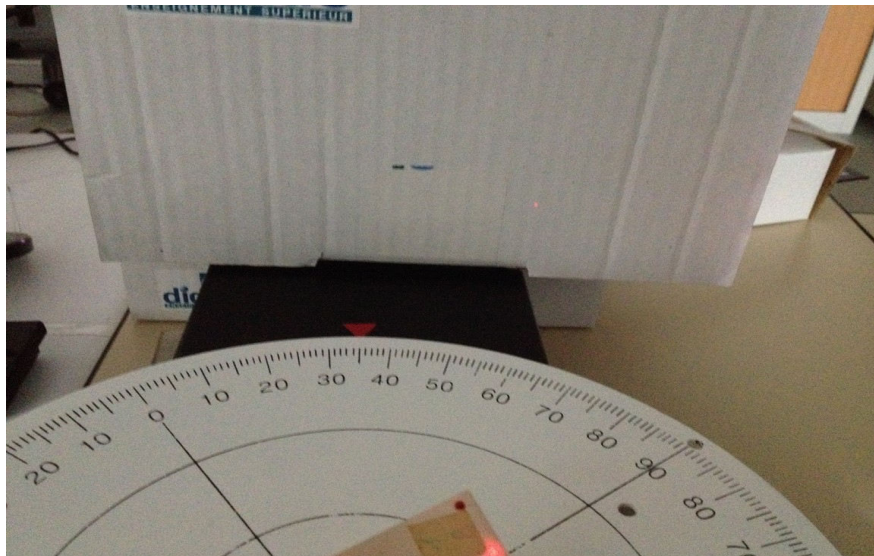


L'intensité de la lumière est moins forte.

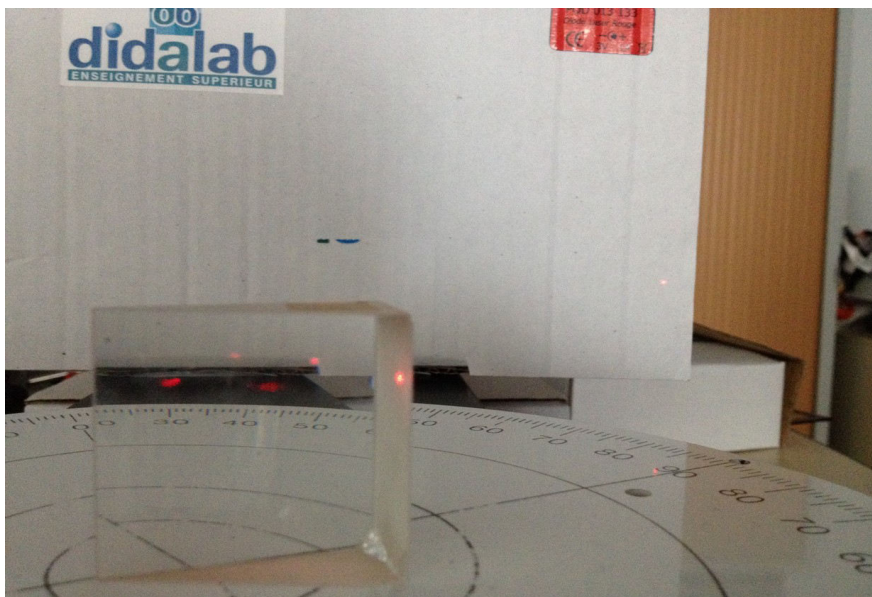




On ne peut pas voir le point en ce moment.



L'intensité de la lumière est plus forte.



Ensuite on change le miroir de matériau différent pour réflexion et puis répète les manipulations précédentes. En plus, nous change le lumière aussi, nous utilisons le lumière rouge et vert afin d'avoir les fréquences différentes

3.2.1.4. Résultat d'expérience

Après la mesure de l'angle de Brewster avec matériaux différents et les lumières des fréquences différentes, on obtient les valeurs dans le tableau suivante

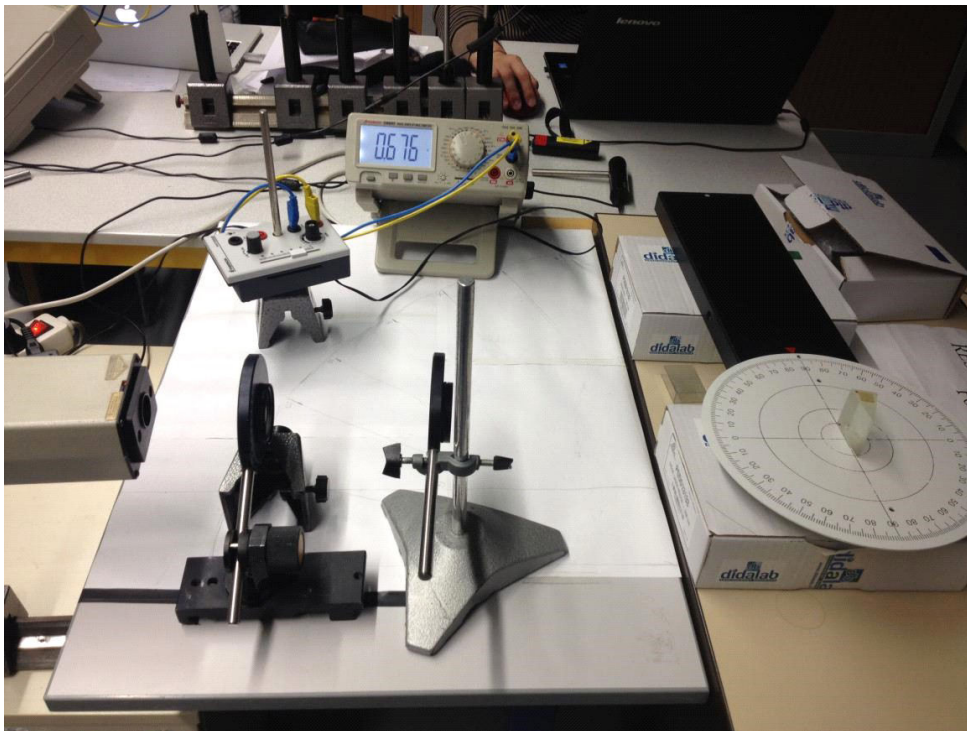
Lumière	Matériaux des miroirs	L'angle de Brewster mesuré	L'indice expérimental
Laser rouge	Polycarbonate	$\theta=55^\circ$	1.428
	Plexiglas	$\theta=56.5^\circ$	1.510
Laser vert	Polycarbonate	$\theta=55^\circ$	1.428
	Plexiglas	$\theta=56^\circ$	1.483

Dans ce tableau on peut voir que les angles de Brewster est environ de 56° comme l'angle théorique. Notre machine pour mesurer n'est pas assez précis, c'est pourquoi on ne peut pas observer la différence de l'angle de Brewster entre les lumières clairement.

3.2.2. Coefficient de Fresnel

3.2.2.1. Installation de dispositif

Pour accomplir cette expérimentation et obtenir les coefficients de réflexion en puissance nous avons d'abord installé le dispositif suivant :

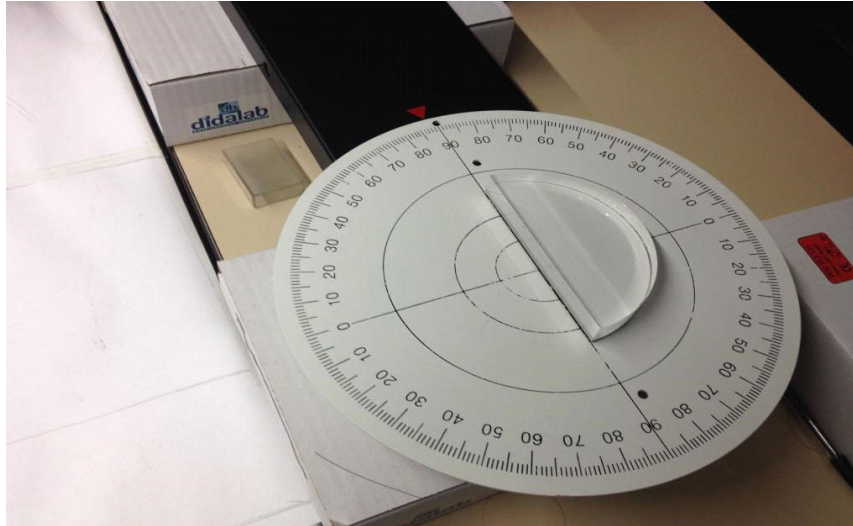


Ce dispositif est formé essentiellement de six parties : un laser · deux polarisateurs (le premier pour diminuer l'intensité de la lumière et le deuxième pour polariser le rayon incident) · un plastique glace · un rapporteur · un multimètre et un capteur ·

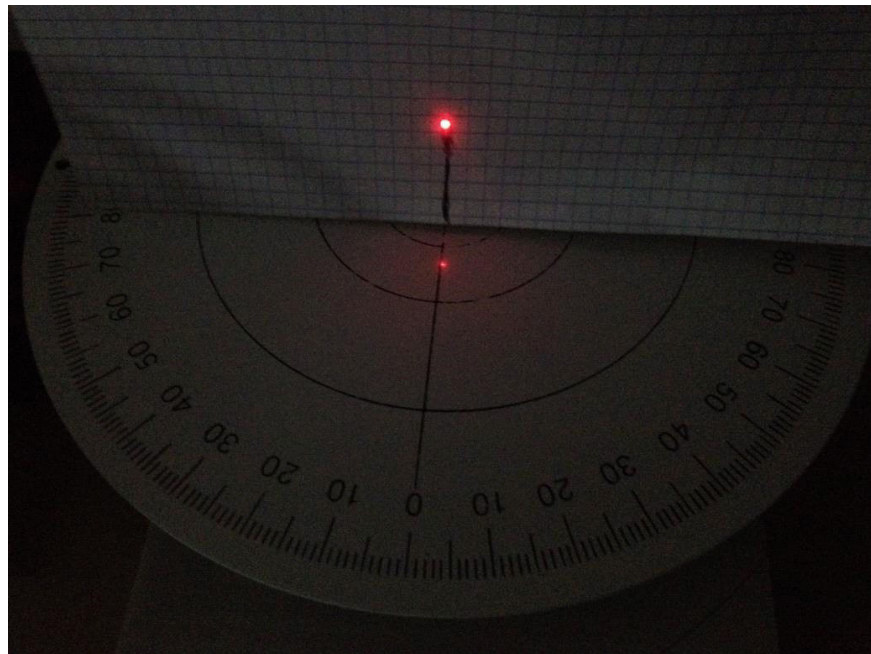
Après une fois d'échec · on trouve que le premier polarisateur est nécessaire parce que la gamme de mesure du multimètre est de 0 à 5 volts ·

3.2.2.2. Manipulations et travail réalisé

A l'aide du dispositif présenté ci dessus · on commence par les ajustements · On aligne la bordure du dioptré avec la division de 0 ou 90 degrés sur le rapporteur ·



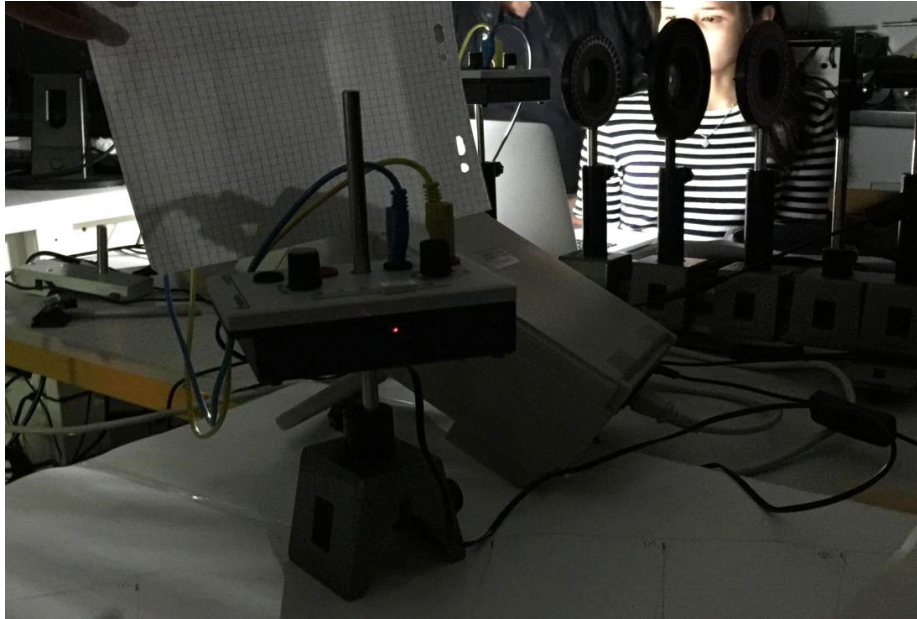
Puis on aligne le laser et les polarisateurs · on confirme que le faisceau lumineux est strictement vertical au dioptré ·



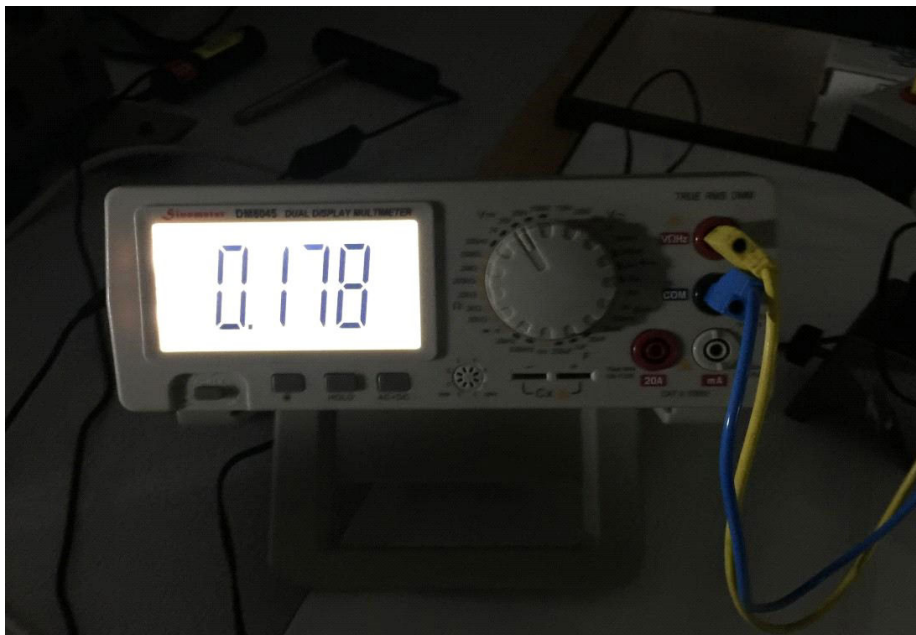
Après les préparations · on part pour mesurer respectivement la tension tous les 10 degrés pour onde polarisé perpendiculaire au plan d'incidence et parallèle ·

On d'abord règle le premier polarisateur pour la diminution appropriée de l'intensité · puis règle le deuxième polarisateur perpendiculaire ou parallèle au plan d'incidence · Lors de la situation parallèle · l'angle de Brewster existe · C'est à dire que la réflexion partielle disparaît à condition que le faisceau soit incliné de cet angle ·

Ensuite on mesure l'intensité du rayon incident après polarisations et celle de réflexion pour les distincts angles d'incidence · Pour mesurer la puissance · on place le capteur devant le rayon réfléchi perpendiculairement à celui ci · Puis on règle la position du capteur et permet de recevoir tout rayon comme la photo ci dessous :



En même temps , on observe la variation de valeur sur l'écran et enregistre le maximum .



On fait la sauvegarde de toutes les données sur ordinateur . Enfin , après le calcul des coefficients , on trace les courbes et on compare avec celles théoriques sur Internet .

3.2.2.3. Résultats

En mesurant les tensions tous les 10 degrés et la tension d'incidence on obtient les valeurs suivantes :

Onde polarisé perpendiculaire au plan d'incidence

Θ (en degrés)	Uexp (en mV)	U incident (en mV)	R \perp
10	203	3263	0,0622
20	225	3263	0,0689
30	255	3263	0,0781
40	306	3263	0,0937
50	384	3263	0,1176
60	564	3263	0,1728
70	1109	3263	0,3398
80	1887	3263	0,5783
90	3263	3263	1

Pour calcule R \perp on a utilisé la formule suivant $R_{\perp} = U_{exp} / U_{incident}$

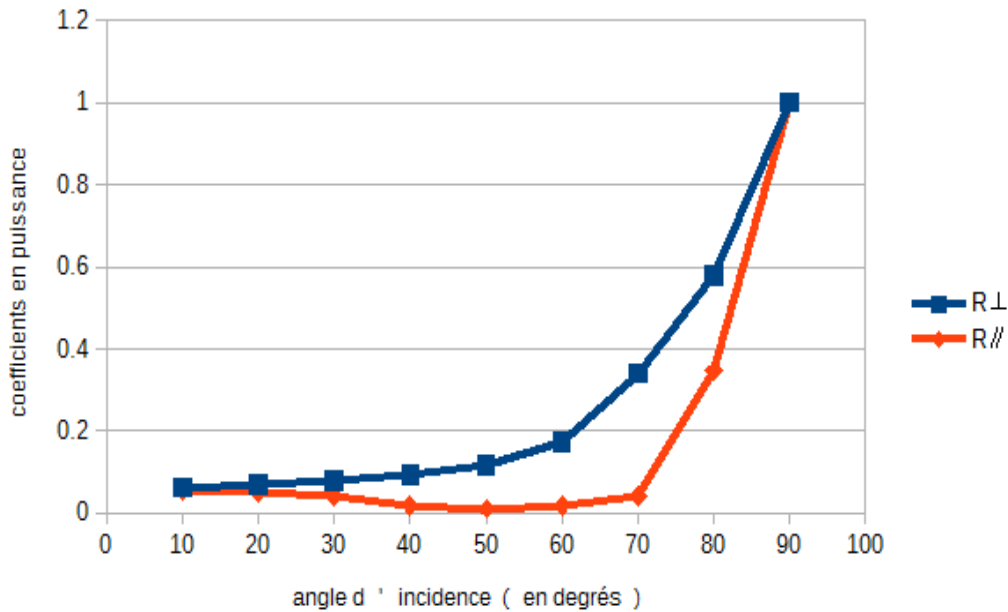
Onde polarisé parallèle au plan d' incidence

Θ (en degrés)	Uexp (en mV)	Uincident (en mV)	R \parallel
10	227	4236	0,0535
20	214	4236	0,0505
30	172	4236	0,0406
40	77	4236	0,0181
50	43	4236	0,0101
60	72	4236	0,0169
70	172	4236	0,0406
80	1468	4236	0,0365
90	4236	4236	1

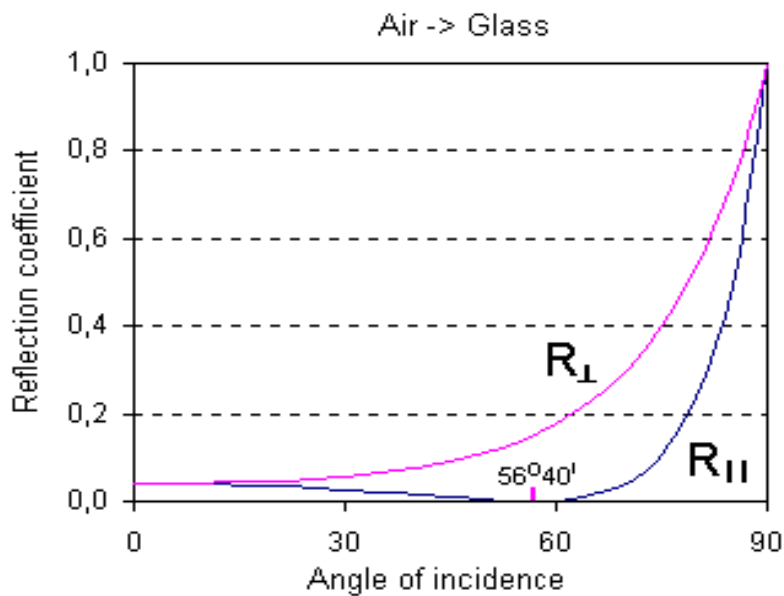
Pour calcule R \parallel on a utilisé la formule suivant $R_{\parallel} = U_{exp} / U_{incident}$

3.2.2.4. Courbes des coefficients

Courbes expérimentales:



Courbes théoriques:



Les courbes expérimentales correspondent bien aux celles théoriques. Selon notre graphe , on observe que l'angle de Brewster (soit l'abscisse du point d'intersection de la courbe R_∥ avec l'axe \vec{x}) est de 55 degrés , ce qui est presque même que la valeur qu'on obtient directement par la rotation du dioptre jusqu'au rayon réfléchi disparaît , cette valeur est aussi proche à celle qu'on calcule par la formule : $\theta_b = \arctan(\frac{n_2}{n_1})$; ici on a $n_2 = 1.509$ et $n_1 = 1$ alors, $\theta_b = 56^\circ 46'$.

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Tout d'abord ,nous tenons à remercier notre enseignant responsable ,François GUILLOTIN pour son aide précieuse tout au long de ce projet.

Pendant ces 13 semaines de cours ,notre projet est divisé en deux parties:une partie théorique et une partie expérimentale ce qui comporte 2 expériences.

Pour la partie théorique ,nous avons appris la réflexion partielle ,la définition et les applications de l'angle de Brewster et les formules de Fresnel, puis on a fait quelques exercices pour comprendre mieux.

Pour la partie expérimentale,nous avons réalisé une expérience sur l'angle de Brewster et une autre sur les coefficients de Fresnel. Nous avons installé le dispositif nous-même et le perfectionné graduellement selon les problèmes et échecs qu'on a rencontrés. Par exemple : on a ajouté un polarisateur à cause du dépassement de la limite du voltmètre et on a changé plusieurs fois de laser pour obtenir les résultats les plus précis .

Pendant la durée des travaux ,nous avons bien avancé devant les problèmes grâce à la collaboration d'équipe qui permet une confrontation des idées et points de vue et est donc très enrichissant pour chacun . Même si ce n'est pas toujours évident de travailler en groupe ,cela reste très important pour notre avenir en tant qu'ingénieurs. Nous avons aussi obtenu à la fois les connaissances physiques et beaucoup d'expériences de ces expérimentations intéressantes.

5. BIBLIOGRAPHIE

lien internet :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Coefficient_de_Fresnel

https://fr.wikipedia.org/wiki/Angle_de_Brewster

<https://www.gatinel.com/recherche-formation/la-nature-de-la-lumiere-approche-historique/polarisation-de-la-lumiere/>

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/freseq.html>

https://fr.wikiversity.org/wiki/Polarisation_de_la_lumi%C3%A8re/Polarisation_par_r%C3%A9flexion

<http://refractiveindex.info/?shelf=glass&book=SCHOTT-K&page=K7>

(valide à la date du 4/06/2016).

6. ANNEXES

6.1. Schémas de montages

