

Compte-rendu TP confinés : POLARISATION DE LA LUMIÈRE



Introduction

La polarisation est une manifestation de la nature vectorielle des ondes lumineuses due à une répartition privilégiée de l'orientation des vibrations du champ E et B qui les composent.

En étant affectée par la traversée de certains matériaux, l'étude de la polarisation de la lumière permet de déterminer certaines caractéristiques de ceux-ci, tels que leur concentration en une espèce donnée ou leur indice de réfraction.

I/ Vérification de la loi de Malus

Lorsqu'on fait passer de la lumière polarisée à travers un polariseur, il laisse passer plus ou moins d'intensité selon l'angle que font la direction de polarisation de la lumière et l'axe de polarisation du polariseur. La loi de Malus permet de rendre compte de ce phénomène :

$$\text{Loi de Malus} : I = I_0 \cos^2(\theta)$$

où I : luminosité transmise

I_0 : luminosité incidente

θ : angle polarisation de la lumière - axe de polarisation

➤ Protocole expérimental

Pour vérifier la loi de Malus, on a pris un polariseur d'une calculatrice, qu'on a fixé au téléphone. L'application Phyphox permet de mesurer l'intensité reçue.

On a comme lumière incidente celle de l'ordinateur, car elle est polarisée. Pour avoir l'angle entre l'axe du polariseur et la direction de polarisation de la lumière, on a affiché sur l'ordinateur un

rapporteur. On a pris la valeur $=0^\circ$ quand le polariseur est horizontal, et que toute la lumière est transmise. [figure 1.1]

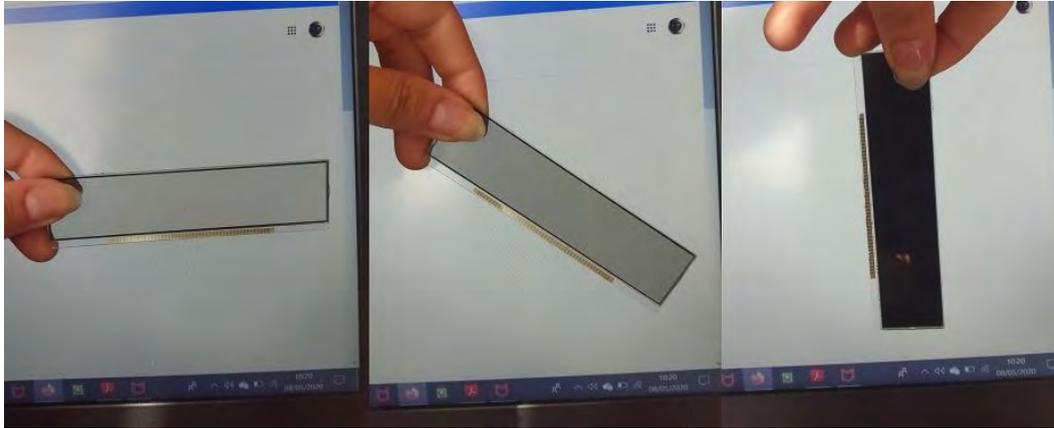
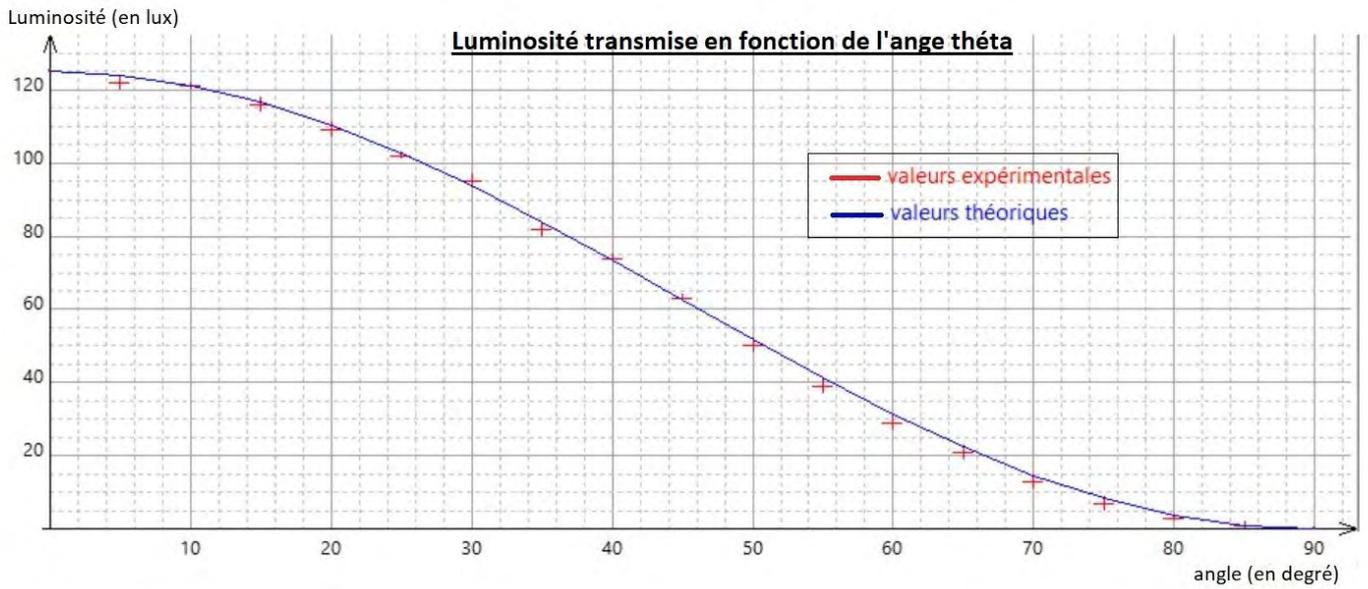


figure 1.1

➤ Mesures expérimentales

angle en degrés	I expérimentale (en lux)	Incertitude	I théorique (en lux)
0	125	1	125
5	122	1	124
10	121	1	121
15	116	2	116
20	109	2	110
25	102	1	103
30	95	2	94
35	82	2	84
40	74	1	73
45	63	1	62
50	50	2	52
55	39	2	41
60	29	2	31
65	21	2	22
70	13	2	15
75	7	2	8
80	3	1	4
85	1	1	1
90	0	0	0



Afin de vérifier le comportement en \cos^2 , on trace le $\ln(I/I_0)$ en fonction de $\ln(\cos(\theta))$, et avec une régression linéaire, on obtient un coefficient directeur qui vaut 2.05, ce qui valide bien le comportement en \cos^2 . [figure 1.2]

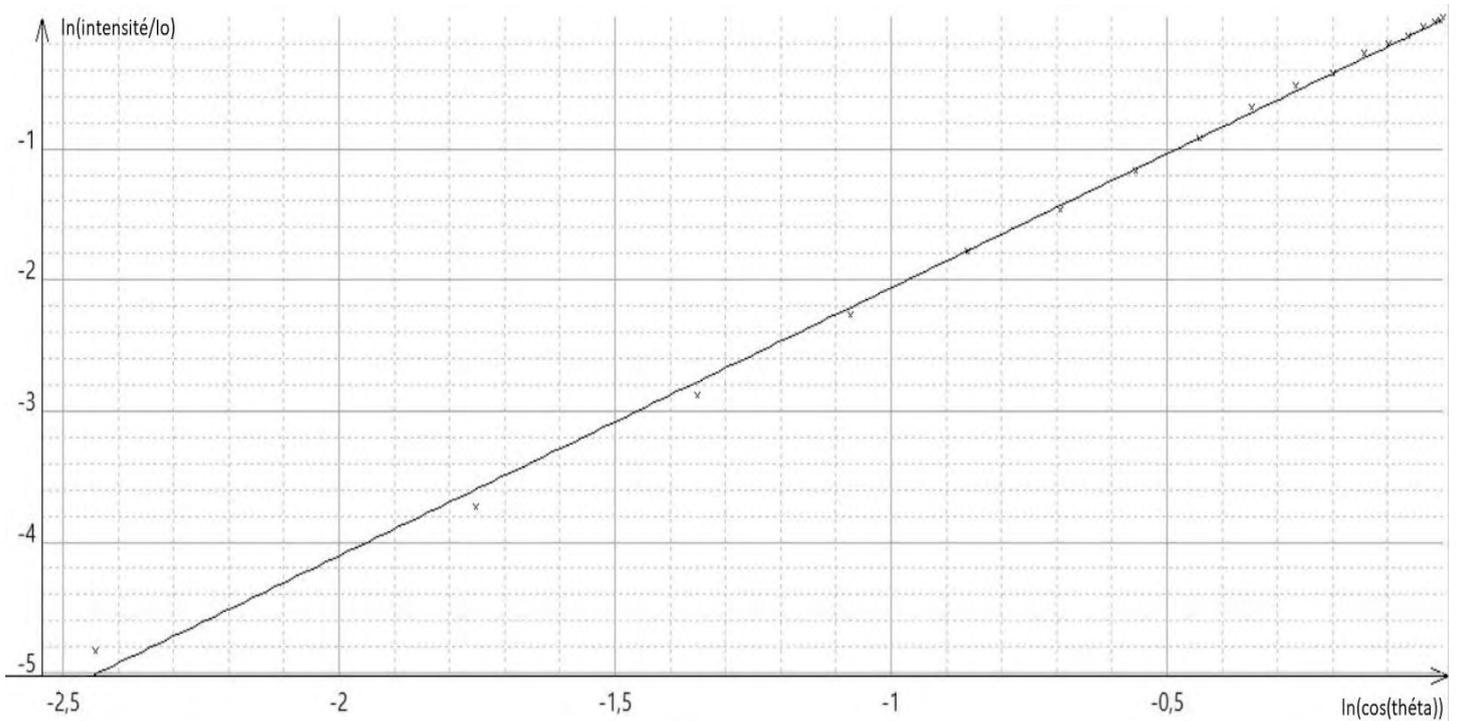


figure 1.2

II/ Polarisation par réflexion et refractometrie

Dans cette partie du tp, on s'intéresse au phénomène de polarisation de la lumière par réflexion.

On considère un dioptre horizontal séparant deux milieux d'indice $n_1 < n_2$ [figure 2.1]

Dans ce cas, il existe un certain angle i_B tel que la composante verticale de l'onde réfléchi est complètement atténuée. Cet angle, appelé angle de Brewster, est tel que $i + r = 90^\circ$.

➤ Interprétation physique

Supposons que la lumière incidente est polarisée verticalement. Ainsi, au dioptre les molécules vibrent uniquement selon la direction verticale perpendiculaire au champ E réfracté. A l'angle de Brewster, les molécules se retrouvent donc à vibrer selon la direction de l'onde réfléchi. Or, une molécule (i.e. un dipôle électrique) n'émet pas dans son axe de vibration, d'où l'atténuation observée de l'onde réfléchi [figure 2.2].

➤ Théorie

Grâce aux lois de Snell-Descartes, on peut, à partir d'une mesure de l'angle de Brewster déterminer l'indice de réfraction d'un milieu transparent :

$$n_1 \sin(i_B) = n_2 \sin(r_B)$$

$$\text{Or, } i_B + r_B = 90^\circ \Rightarrow \boxed{n_2 = n_1 \tan(i_B)}$$

L'objet d'étude de cette partie est de déterminer l'indice de réfraction de différents milieux à partir d'une mesure de i_B .

➤ Montage expérimental

Le montage expérimental consiste à mesurer de manière indirecte l'angle de Brewster, en mesurant la hauteur H tel que le reflet de la source dans le dioptre disparaît.

Juste en face de la source, on a placé un polariseur de façon à ce que en sortie, la lumière soit polarisée verticalement [figure 2.3].

Le plastique noir permet de voir de manière plus claire la lumière réfléchi et de mesurer ainsi plus simplement la

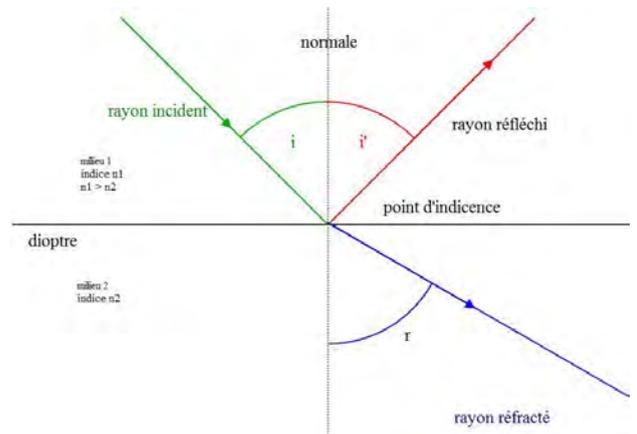


figure 2.1

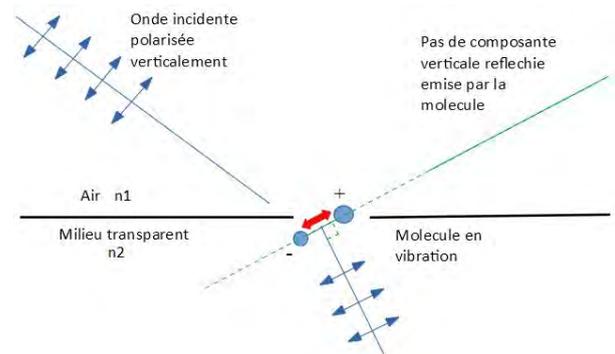


figure 2.2

- Source (LED)
- Polariseur en position verticale
- Regle permettant de mesurer l'hauteur H
- Milieu 2 (eau dans ce cas)
- Plastique noir permettant de voir la lumière réfléchi plus clairement



hauteur H pour laquelle le reflet disparaît [figure 2.4].

figure 2.3



Reflet à l'angle de Brewster



Reflet en dehors de l'angle de Brewster

figure 2.4

Après calculs, on détermine l'angle de Brewster à partir de H grâce à la formule suivante [figure 2.5]:

$$i_B = 90^\circ - \arctan\left(\frac{h_{source} - h_{diopre}}{1 + \frac{H - h_{diopre}}{h_{source} - h_{diopre}} \frac{1}{D}}\right)$$

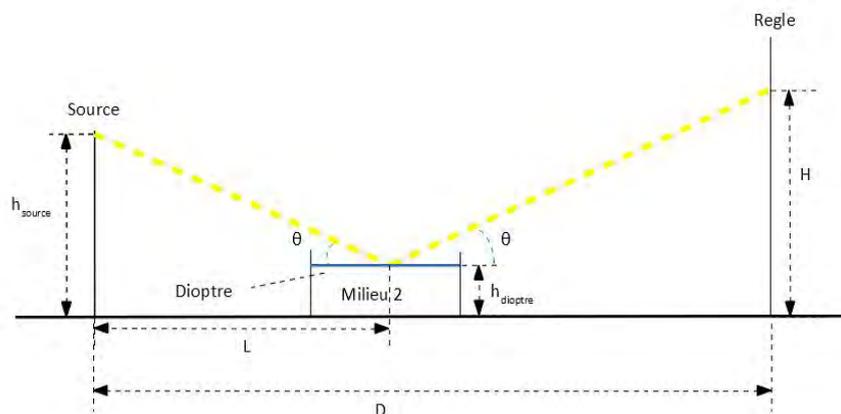


figure 2.5

➤ Résultats expérimentaux:

Pour chaque milieu, on mesure à chaque fois la hauteur H ainsi que h_{diopre}

Incertitude de mesure des hauteurs : $\delta h = \pm 0.2 \text{ cm}$

Milieu 2	Hauteur H (en cm)	Hauteur h_{diopre} (en cm)	Angle de Brewster i_B	Indice de réfraction (valeur exp)	Indice de réfraction à $\lambda = 589,32 \text{ nm}$ (valeur théorique)
Eau à 20°C (température ambiante)	14.3	4.4	$53.4^\circ \pm 1^\circ$	1.35 ± 0.05	1,33298
Eau à 70°C	11.8	2.8	$52,8^\circ \pm 1^\circ$	1.32 ± 0.05	1.32559
Eau à 90°C	12.0	2.8	$52,6^\circ \pm 1^\circ$	1.31 ± 0.05	1.32109
Verre crow (Prisme)	16.5	7.0	$56,5^\circ \pm 1^\circ$	1.51 ± 0.05	1.50-1.54

Huile de tournesol	5.8	1.5	$55,9^{\circ} \pm 1^{\circ}$	1.48 ± 0.05	1.461-1.468
Eau salée à C = 1.2 g/L	8.0	1.2	$53,4^{\circ} \pm 1^{\circ}$	1.35 ± 0.05	
Eau salée à C = 4 g/L	7.5	1.2	$53,8^{\circ} \pm 1^{\circ}$	1.37 ± 0.05	Variation de $\Delta n = 0.00097$
Eau salée à C = 50 g/L	7.7	1.2	$53,6^{\circ} \pm 1^{\circ}$	1.36 ± 0.05	Variation de $\Delta n = 0.00185$
Eau + 1 gouttes d'encre	8.0	1.2	$53,4^{\circ} \pm 1^{\circ}$	1.35 ± 0.05	
Eau + 2 gouttes d'encre	8.0	1.2	$53,4^{\circ} \pm 1^{\circ}$	1.35 ± 0.05	

Paramètres secondaires : $h_{source} = 24.9 \text{ cm}$, $D = 41.0 \text{ cm}$

N.B: N'ayant pas de thermomètre mesurant les hautes températures, la température de l'eau a été déterminée à l'oeil nu : lorsqu'il y a apparition des premières petites bulles $\rightarrow 70^{\circ}\text{C}$

Lorsque ces dernières deviennent assez grandes pour qu'elles remontent à la surface $\rightarrow 90^{\circ}\text{C}$

➤ Discussions et conclusion

Les valeurs de l'indice de réfractons des différents matériaux obtenus par mesure de l'angle de Brewster sont cohérents avec ceux qu'on trouve dans les tables de valeurs. On a ainsi une méthode efficace qui permet de connaître l'indice d'un matériaux sans utiliser le rayon réfracté et sans passer par une fatigante mesure de la transmission.

On a essayé aussi de voir s'il y avait une relation de type Gladstone entre l'indice d'un milieu liquide (dans ce cas l'eau) et sa température, mais au vu de la faible précision des résultats expérimentaux, il nous est impossible d'établir une quelconque relation entre la salinité de l'eau et son indice de réfraction : la méthode ci-dessous est trop imprécise et ne permet pas d'aller trop loin dans les ordres de grandeur.

III/ Activité optique et saccharimétrie

Le but de cette partie est de déterminer par exemple la concentration en sucre dans de l'eau. Pour cela, on réalise un polarimètre. Un polarimètre est constitué d'une source de lumière, que l'on polarise avec un premier polariseur. On place ensuite l'objet à étudier, puis un analyseur [figure 3.1]

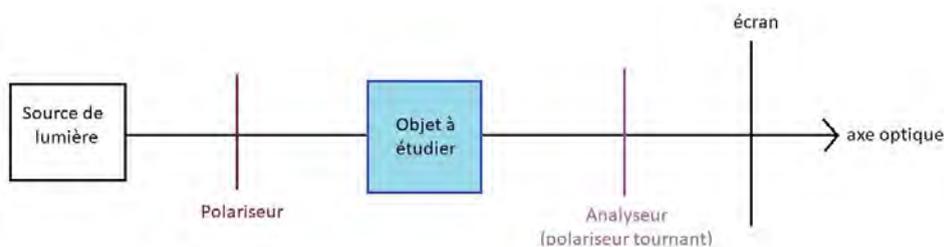


figure 3.1

Le premier polariseur sert donc à fixer la polarisation de la lumière incidente, et le second permet de mesurer l'état de polarisation suite au passage dans l'objet à étudier.

Si l'objet est optiquement inactif (par exemple de l'eau), il ne va pas modifier l'état de polarisation de la lumière. En revanche, s'il est optiquement actif (par exemple le sucre), une onde lumineuse polarisée linéairement va rester polarisée linéairement suite à son passage au travers de l'objet, mais avec une polarisation tournée d'un angle par rapport à la direction de propagation.

On va ici prendre comme objet à étudier une cuve d'eau qui a une certaine concentration de sucre.

La loi de Biot résume ces propriétés :

$$\text{Loi de Biot} : \alpha = C \times (\lambda, T) \times L$$

où α : angle (en degré) entre les axes des deux polariseurs

C : concentration (par exemple en sucre) de la solution à étudier (en kg/L)

(λ, T) : pouvoir rotatoire spécifique ou activité spécifique

L : largeur de la cuve traversée par la lumière (en m)

La détermination de la concentration en sucre de la solution nécessite donc de connaître le pouvoir rotatoire de cette solution, qui dépend de la longueur d'onde.

➤ Protocole expérimental

Le but est de déterminer le pouvoir rotatoire de notre solution dans les conditions de notre montage.

On réalise le montage décrit précédemment [figure 3.2].

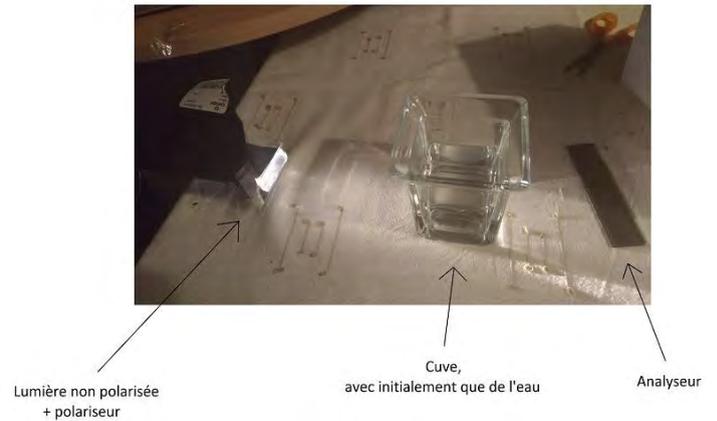


figure 3.2

Pour avoir une lumière incidente polarisée, j'ai fixé un premier polariseur sur une lumière blanche. Ensuite, on place la cuve remplie initialement seulement d'eau.

L'analyseur est dans ma main, et je place un écran pour pouvoir mesurer l'angle.

Sans sucre dans l'eau, lorsque les deux axes des polariseurs sont alignés, toute la lumière passe, on a $\alpha = 90^\circ$ (axe horizontal). Lorsqu'ils sont orthogonaux, on a $\alpha = 0^\circ$ (notre référence) [figure 3.3]



figure 3.3

On ajoute ensuite du sucre dans l'eau, et en tournant l'analyseur, on voit les différentes couleurs se succéder [figure 3.4 + vidéo]. On calcule la concentration, et on note pour plusieurs longueurs d'onde l'angle entre les axes des deux polariseurs pour avoir la couleur associée.

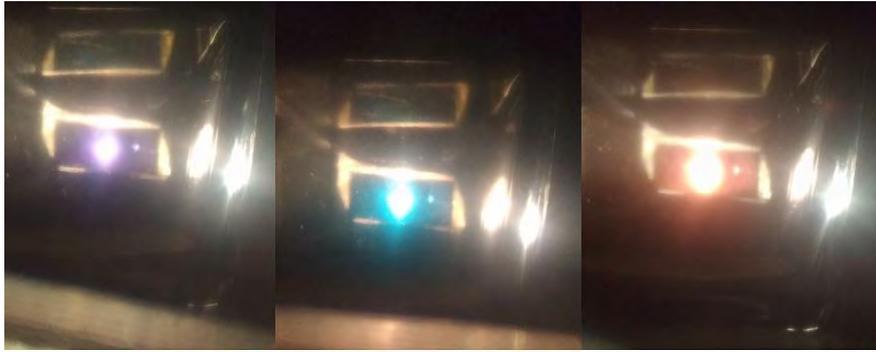


figure 3.4

Lien pour la vidéo : https://drive.google.com/open?id=1ainl-_kcqdX_-KRa_QXMSyIJWXQApqTG

Remarque : à regarder à partir de 40s, avant c'est juste le réglage de la position de la caméra.

➤ Mesures expérimentales

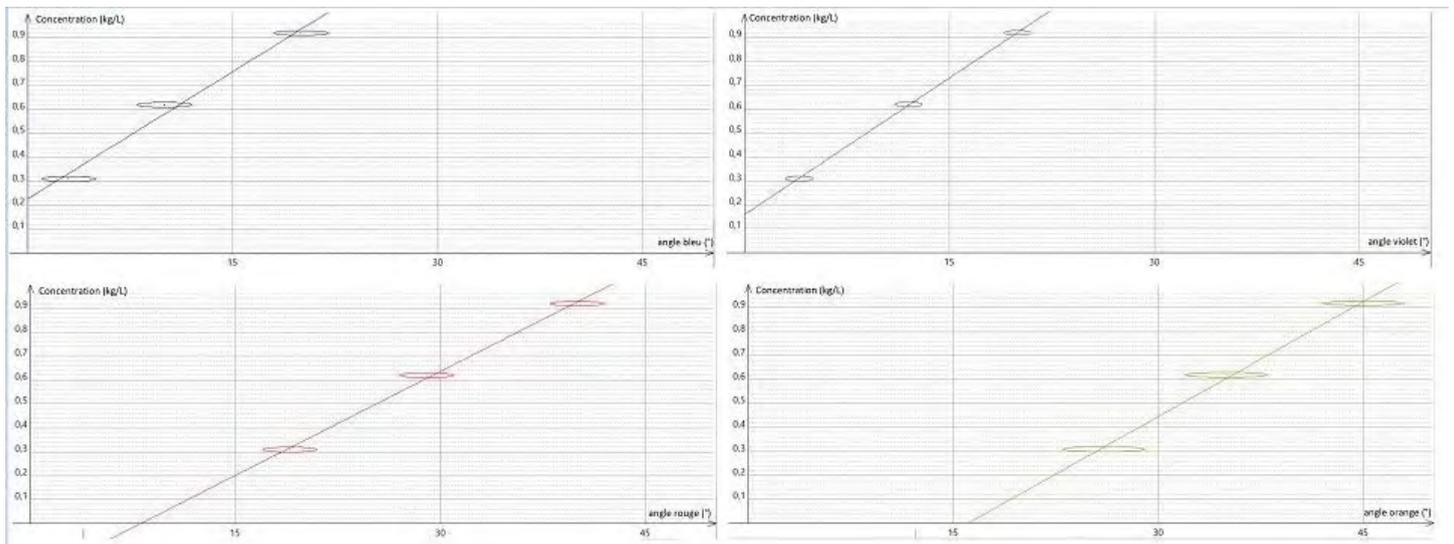
Concentration (kg/L)	(en degrés)	incertitude (en °)
0,31	bleu : 3	Dépend de la couleur : Bleu : 2° Violet : 1° Rouge : 2° Orange : 3°
	violet : 4	
	rouge : 19	
	orange : 26	
0,62	bleu : 10	
	violet : 12	
	rouge : 29	
	orange : 35	
0,92	bleu :20	
	violet : 21	
	rouge : 40	
	orange :45	

➤ Analyse des résultats

On trace pour chaque couleur, la courbe concentration en fonction de l'angle. [figure 3.5]

Pour chaque courbe, on obtient différents coefficients directeurs :

- violet : $cd = 0.0358 \pm 0,0025$
- bleu : $cd = 0.0355 \pm 0,0102$



- orange : $cd = 0.0321 \pm 0,0124$
- rouge : $cd = 0.0290 \pm 0,0068$

figure 3.5

Remarque : l'ordonnée à l'origine des quatre courbes n'est pas expliquée. En forçant l'ordonnée pour que les courbes soient linéaires, on est en dehors de notre zone d'incertitude. C'est peut être une erreur systématique dans la mesure ou dans le choix de l'origine.

On a : $\Delta C = 0.1 \text{ kg/L}$ $\Delta L = 0,5 \text{ cm}$ $\Delta = \text{cf tableau, dépend de la couleur}$

Par la loi de Biot, on peut remonter au pouvoir rotatoire :

couleur	valeur du pouvoir rotatoire en $^{\circ}/(\text{m.kg.L}^{-1})$	incertitude	valeur tabulée en $^{\circ}/(\text{m.kg.L}^{-1})$
bleu	563	171	665,3 (pouvoir rotatoire sucre de table à 20°)
violet	559	68	
orange	623	249	
rouge	690	175	

➤ Conclusion

On se trouve bien dans l'ordre de grandeur, même si les incertitudes sont grande. Les incertitudes sont principalement dues à la mesure de l'angle, qui est par elle même approximative. En plus de cela s'ajoute le fait qu'on regarde la couleur à l'oeil, et il est donc difficile pour chaque concentration de mesure l'angle pour exactement la même couleur (sauf le violet qui n'apparaît que pour un angle très précis ; pour le orange par exemple, il s'étend sur 3°)