

# OLYMPIADES DE PHYSIQUE 2021

DES CAILLOUX QUI CHANTENT !!

Ou comment transporter de la musique à partir d'un  
cristal ?



## SOMMAIRE

### I.LUMIERE POLARISEE ET MATIERE

#### I.1.Les ondes lumineuses

#### I.2 Propagation des ondes lumineuses

#### I.3.Lumière polarisée

#### I.4. Comment produire et reconnaître une lumière polarisée ?

#### I.5. Analyse d'une lumière polarisée : Lois de Malus

### II.BIREFRINGENCE

#### II.1 Mise en évidence

#### II.2 Définition

#### II.3. Caractérisation du changement de polarisation par un matériau biréfringent

### III.BIREFRINGENCE PROVOQUEE : L'EFFET ELECTRO-OPTIQUE

#### III.1. Structure du Niobate de lithium

#### III.2 Effet électro-optique du Niobate de Lithium

### IV. APPLICATION A LA TRANSMISSION D'UN SON

#### IV.1 Premier essai : Transmission d'un signal carré

#### IV.2. Second essai : Transmission d'un son

## CONCLUSION

## INTRODUCTION

En seconde, nous avons envie de travailler sur un thème scientifique dans le but de passer le concours des olympiades. Les phénomènes lumineux nous intéressaient particulièrement. Le confinement est passée par là et nous nous sommes retrouvées en septembre et avons commencé nos recherches. Des phénomènes particuliers comme la double réfraction de la calcite nous ont intriguées, et c'est en réalisant des recherches dans ce domaine que nous avons découvert la biréfringence de certains matériaux. C'est en avançant progressivement que nous nous sommes rendues compte que dans certains cas, il était possible de modifier cette propriété par application d'une tension. Nous avons alors décidé d'essayer de transmettre un signal, pourquoi pas une chanson en jouant sur cette propriété.

Dans un premier temps, nous avons cherché à comprendre la structure des ondes lumineuses, puis leurs modifications quand elles transversent des matériaux biréfringents avant d'essayer de « coder » ces informations avec des sons pour réussir à les transmettre par la lumière.

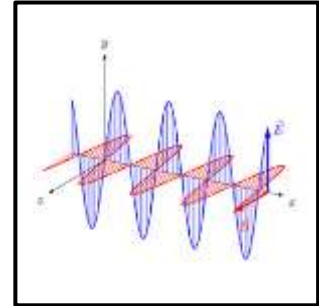
# I. LUMIERE POLARISEE ET MATIERE

## I.1. Les ondes lumineuses

Un phénomène ondulatoire correspond à la propagation d'une perturbation sans déplacement de matière.

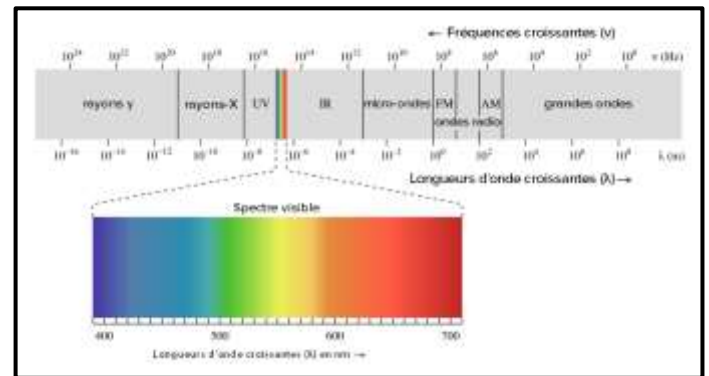
La lumière est une onde. Il s'agit d'une forme d'énergie créée par une source et qui peut se propager dans toutes les directions qu'offrent le milieu. La vitesse de propagation de l'onde est appelée célérité.

Les ondes lumineuses sont électromagnétiques. Il s'agit de la propagation d'un champ électromagnétique composé d'un champ magnétique  $\vec{B}$  et d'un champ électrique noté  $\vec{E}$ . Pour les décrire on se contente de donner sa direction et son sens de propagation ainsi qu'une description du champ  $\vec{E}$ . (En effet le champ magnétique lui est directement lié). Ce champ est toujours dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation.



<https://cho-ku-rei.fr/ondes-electromagnetiques>

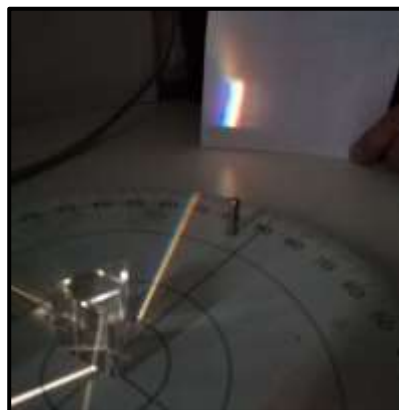
Les ondes lumineuses sont des ondes électromagnétiques appartenant au domaine du visible (perçu par l'œil). Ces ondes sont périodiques sinusoïdales avec une longueur d'onde comprise entre 400nm et 800nm. A l'extérieur de ce dernier, se trouve la lumière non visible, en dessous de 400nm se trouvent les ultraviolets, au-dessus de 800nm : les infrarouges.



<https://fr.khanacademy.org/science/physics/light-waves/introduction-to-light-waves/a/light-and-the-electromagnetic-spectrum>

La lumière la plus simple à utiliser est la lumière blanche. Cette dernière est qualifiée de polychromatique parce qu'elle est constituée de toutes les radiations du visible. Pour le montrer, nous avons réalisé l'expérience de Newton :

Quand un faisceau de lumière blanche traverse un prisme, on obtient sur un écran situé derrière celui-ci un ensemble de 7 teintes principales : violet, indigo, bleu, vert, jaune, orange et rouge. C'est le spectre de la lumière blanche



## I.2 Propagation des ondes lumineuses

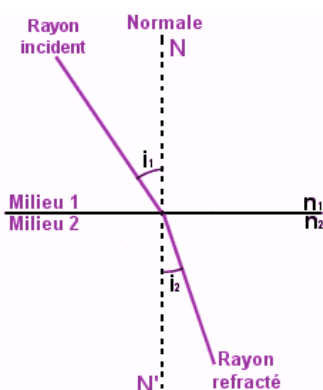
La lumière se propage rectilignement dans tous les milieux homogènes et transparents. Elle se propage également dans le vide.

Sa célérité dans le vide ou dans l'air est de 300 000 km /seconde soit  $c=3.10^8$  m.s<sup>-1</sup>. Dans les autres milieux elle se propage forcément avec une vitesse plus faible.

Pour caractériser sa vitesse dans les milieux, on définit pour chacun un indice appelé indice de réfraction noté  $n$  qui indique de combien la vitesse est plus faible dans le milieu par rapport au vide :  $n = \frac{c}{v}$  où  $c$  est la célérité de la lumière dans le vide et  $v$  sa célérité dans le milieu.

Ainsi, quand la lumière rencontre une surface séparant deux milieux homogènes et transparents, sa vitesse varie ce qui se manifeste par une déviation. En effet, le chemin suivi par la lumière entre deux points est celui dont la durée est la plus faible. Ce phénomène particulier est la réfraction de la lumière.

Les lois de Descartes mettent en relation la relation entre l'angle du rayon incident et l'angle du rayon réfracté.



### Lois de Descartes relatives à la réfraction :

- 1) Le rayon incident et le rayon réfracté se trouvent sur le plan d'incidence
- 2) L'angle d'incidence ( $i_1$ ) et l'angle de réfraction ( $i_2$ ) sont liés par la relation :  
 $n_1 \times \sin i_1 = n_2 \times \sin i_2$  ( $n_1$  et  $n_2$  étant l'indice de réfraction du milieu)

## I.3.Lumière polarisée

Une lumière polarisée est caractérisée par un champ électrique qui vibre dans une direction particulière dans le plan perpendiculaire à la direction de propagation.

A l'état naturel, dans les sources de lumière comme le Soleil, le champ électromagnétique de la lumière n'a pas de sens privilégié dans l'espace, il est totalement aléatoire et varie continuellement.

Les sources de lumière ne produisent pas de lumière polarisée. En effet, quand elles produisent des ondes électromagnétiques, elles le font par paquet d'ondes. Chaque paquet possède une direction particulière pour le champ électrique et cette direction est totalement indépendante de la direction des autres paquets.

Il est possible de donner une orientation particulière au champ électromagnétique pour obtenir dans ce cas, une polarisation de la lumière.

Quand le champ électrique vibre toujours dans la même direction, on parle de polarisation rectiligne. Quand on regarde l'évolution du champ électrique dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde, on voit le champ vibrer suivant une droite.

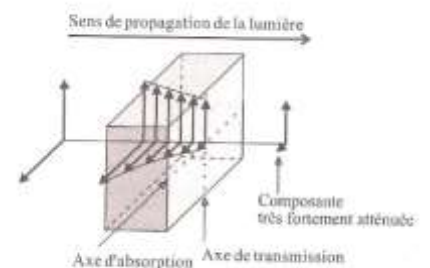
Mais il est aussi possible d'obtenir une polarisation circulaire (Le champ électrique vibre de la même manière dans toutes les directions) ou encore elliptique (Le champ vibre dans toutes les directions mais avec des amplitudes différentes qui suivent une ellipse)

#### I.4. Comment produire et reconnaître une lumière polarisée ?

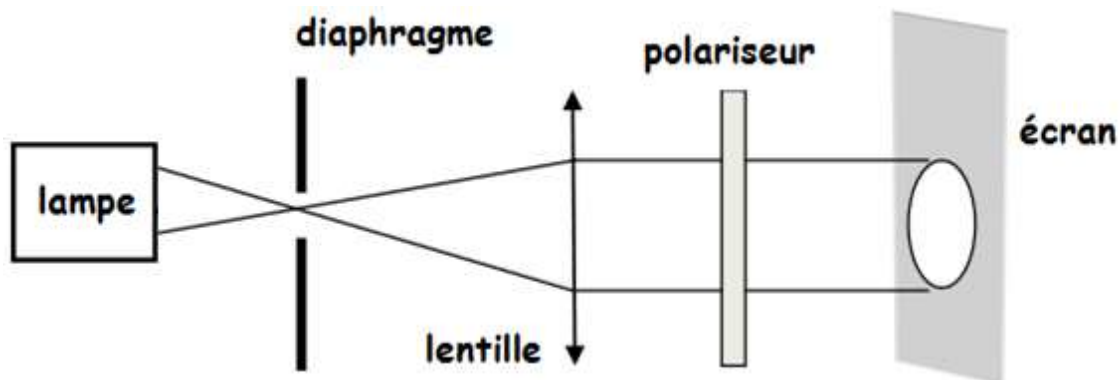
Il est possible de produire d'utiliser différents moyens pour produire de la lumière polarisée :

##### - **Polarisation par dichroïsme :**

L'utilisation d'une feuille polarisante appelée filtre "Polaroïd" permet de produire de la lumière polarisée rectilignement. Cette feuille est constituée de longues molécules toutes orientées dans la même direction et figées dans un support plastique. Quand la lumière arrive sur ces molécules seules les ondes dont les champs électriques sont perpendiculaires aux molécules peuvent être transmises. Les autres sont absorbées. On parle alors de dichroïsme une partie de la lumière est transmise alors que l'autre partie est absorbée.



Expérience :



Observation : L'intensité lumineuse semble plus faible qu'en l'absence du polariseur mais on ne voit pas de changement

Conclusion : L'œil n'est pas sensible à la polarisation. Il faudra donc réussir à la mettre en évidence. Pour cela on utilisera un autre polariseur type polaroïd et on regarde l'évolution de l'intensité lumineuse en sortie. Dans notre cas, elle passe par une extinction quand les deux directions sont croisées à 90° ce qui prouve que le premier polariseur a polarisé la lumière rectilignement

Sur les photos suivantes, on voit deux positions relatives des deux polaroïds

Polariseurs parallèles



Polariseurs croisés à 90°



- Polarisation par réflexion :

Au cours d'une réflexion, pour certaines valeurs d'angle d'incidence, on peut obtenir une lumière polarisée. En effet, quand on observe à travers un polariseur la lumière qui s'est réfléchi sur une surface, on voit que l'intensité lumineuse varie pour obtenir dans certains cas une extinction totale.

- Par diffusion :

La lumière diffusée par de petites particules est polarisée rectilignement. Il est donc possible de récupérer de la lumière polarisée par diffusion

Par exemple, quand la lumière du soleil traverse l'atmosphère, elle est en partie polarisée par diffusion par les molécules de l'atmosphère.

**Conclusion :** Il est donc possible de produire de la lumière polarisée rectilignement à partir de ces trois effets. Il est possible de produire d'autre type de lumière polarisée comme la lumière polarisée circulairement ou elliptiquement, mais cette fois il faut utiliser des matériaux aux propriétés particulières :  
Les matériaux biréfringents



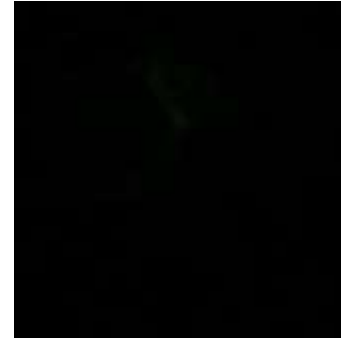
## I.5. Analyse d'une lumière polarisée : Lois de Malus

Comme nous l'avons vu avant, notre œil n'est pas sensible à la polarisation de la lumière. Pour analyser une lumière polarisée, il nous faut utiliser un polaroïd. En effet, en le tournant quand il est traversé par une lumière polarisée rectilignement, on observe que l'éclairement varie entre un éclairement maximal et l'extinction totale du faisceau transmis. Cette extinction a lieu quand les directions de (P) et (A) sont croisées.

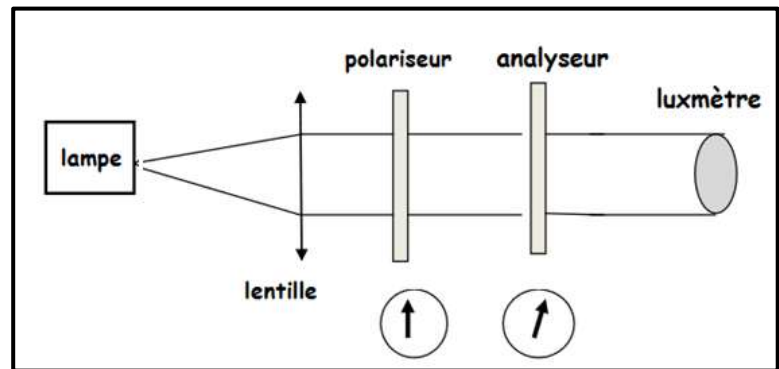
Polariseurs parallèles



Polariseurs croisés



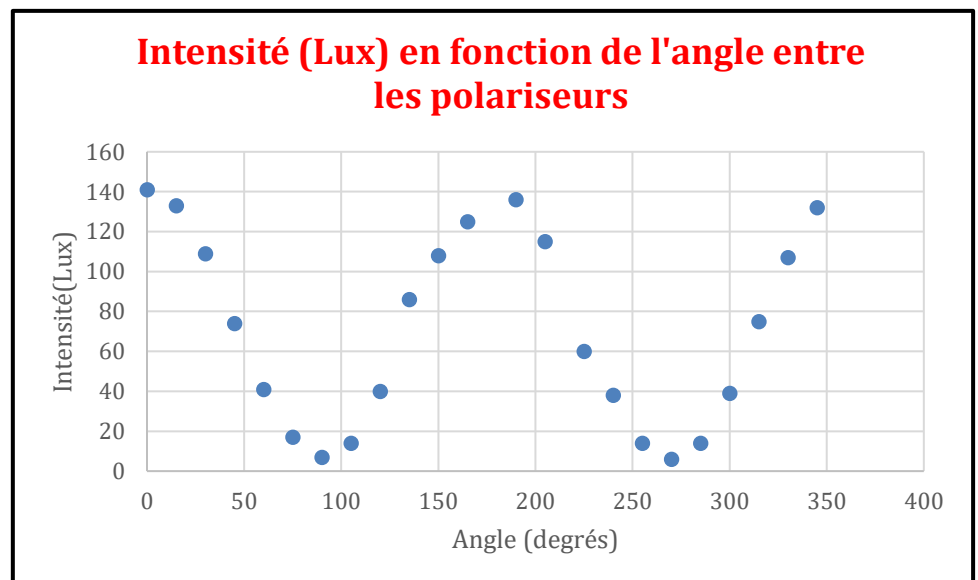
### Etude expérimentale de la variation d'intensité lumineuse en fonction de l'angle entre la direction de polarisation et celle de l'analyseur (Loi de Malus)



Pour réaliser cette étude, nous avons réalisé le montage ci-dessus. Nous avons mesuré l'intensité lumineuse en sortie de deux polariseurs, en fonction de l'angle entre les deux.

Voici les résultats obtenus :

Angle (degrés)	Intensité (Lux)
0	141
15	133
30	109
45	74
60	41
75	17
90	7
105	14
120	40
135	86
150	108
165	125
190	136
205	115
225	60
240	38
255	14
270	6
285	14
300	39
315	75
330	107
345	132

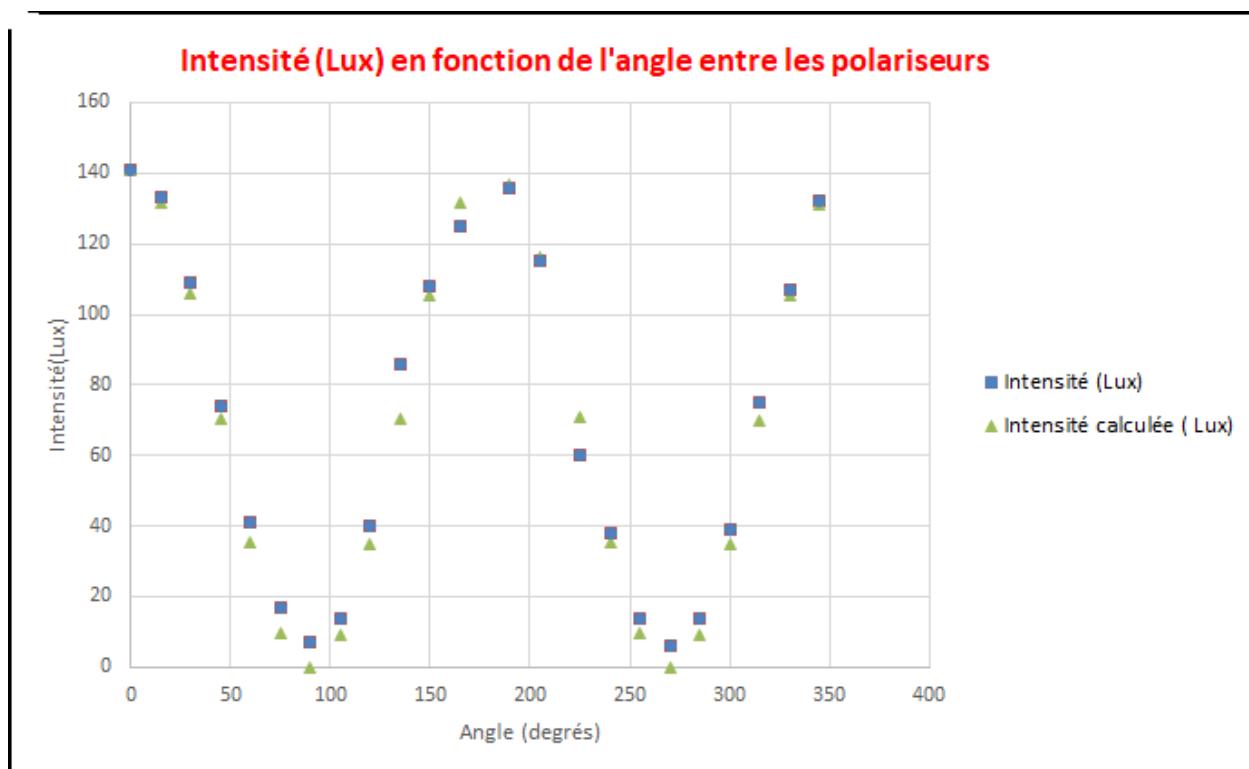


La courbe obtenue est en accord avec nos observations : Les extinctions ont bien lieu quand les polariseurs sont croisés. Nos recherches nous ont conduits à la loi de Malus qui régit ces variations  $I = I_0 \times \cos^2\theta$  où  $\theta$  est l'angle entre les polariseurs et  $I_0$  l'intensité pour  $\theta=0^\circ$



Pour le vérifier nous décidons de superposer nos résultats expérimentaux aux valeurs calculées par la théorie

Angle (degrés)	Intensité (Lux)	Intensité calculée (Lux)
0	141	141
15	133	132
30	109	106
45	74	71
60	41	35
75	17	9
90	7	0
105	14	9
120	40	35
135	86	70
150	108	106
165	125	131
190	136	137
205	115	116
225	60	71
240	38	36
255	14	10
270	6	0
285	14	9
300	39	35
315	75	70
330	107	105
345	132	131



**Conclusion :** Nos mesures sont en accord avec la loi de Malus.

**Remarque :** Quand la polarisation de la lumière incidente n'est pas rectiligne, l'extinction n'est pas totale. En effet quand la polarisation est circulaire ou elliptique, il n'y a pas d'extinction totale. Quand elle est elliptique elle passe par un minimum et un maximum et quand elle est circulaire l'intensité reste constante

## II. BIREFRINGENCE

### II.1 Mise en évidence :

Certains matériaux possèdent des propriétés particulières vis-à-vis de la lumière. En effet quand nous plaçons un morceau de calcite sur une feuille blanche barrée d'un trait rouge, nous voyons deux traits par transparence.



La lumière rouge diffusée par le trait arrive au niveau de nos yeux sous forme de deux rayons : Il s'agit d'une double réfraction. La lumière qui traverse la surface séparant l'air de la calcite se sépare en deux rayons réfractés.

Ce phénomène s'explique par une propriété particulière de la calcite : elle est caractérisée par deux indices de réfraction, ce qui signifie que la lumière ne se propage pas avec la même vitesse en fonction de sa direction de propagation. Elle se propagera plus vite dans une direction que dans l'autre.

### II.2 Définition

La biréfringence est une propriété de certains cristaux transparents anisotropes (propriétés différentes en fonction des directions) qui ont la propriété de décomposer la lumière en deux rayons. Cette double réfraction est due au fait qu'il existe dans le cristal une direction particulière où l'indice de réfraction  $n_e$  (indice extraordinaire), est différent de l'indice dans les directions perpendiculaires  $n_o$  (indice ordinaire)

Les deux rayons possèdent des polarisations différentes. Le rayon extraordinaire et le rayon ordinaire ont des polarisations rectilignes perpendiculaires. Dans ces cristaux la lumière possède une célérité qui dépend de sa direction.

### II.3. Caractérisation du changement de polarisation par un matériau biréfringent

Pour montrer que la calcite modifie l'état de polarisation de la lumière nous avons choisi de l'éclairer à l'aide d'une lumière polarisée et d'analyser à l'aide d'un autre polariseur la lumière qui l'a traversé.

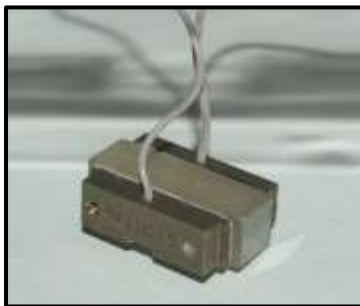
Nous pouvons observer que lorsque nous intercalons le cristal de calcite entre les deux polariseurs croisés de la lumière réapparaît sur l'écran. En tournant la calcite sur elle-même l'intensité lumineuse est modifiée et il semble impossible de retrouver l'extinction en modifiant l'analyseur : La calcite modifie l'état de polarisation de la lumière qui la traverse.



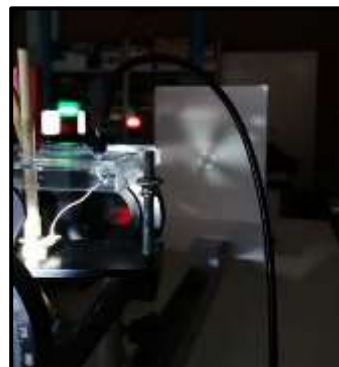
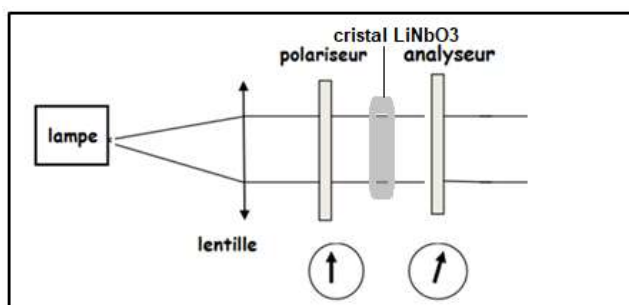
Nous avons également refait l'expérience avec le trait rouge et avons observé la double réfraction à travers un polaroïd : quand on tourne le polariseur on voit s'éteindre alternativement les deux rayons réfractés pour des directions perpendiculaires. On en déduit que les deux rayons possèdent bien des polarisations perpendiculaires.



Le labo de SVT nous a prêté une lame recouverte de mica schiste qui s'observe au microscope en lumière polarisée. Nous avons refait la même expérience et avons pu montrer le même résultat : On en déduit que les matériaux biréfringents modifient la polarisation de la lumière incidente

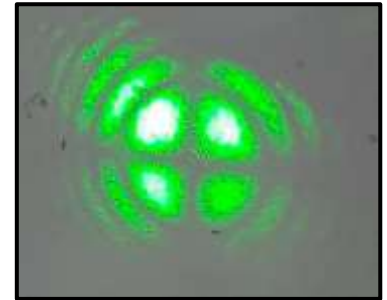


Nous nous sommes procuré un cristal de Niobate de lithium sur internet après de longues semaines de recherches. Ce cristal particulier est transparent et biréfringent. Nous avons donc réalisé la même expérience qu'avec le morceau de calcite. Pour cela nous avons utilisé une source de lumière blanche ainsi que deux polariseurs croisés et nous avons intercalé notre cristal. Nous avons certes vu réapparaître de la lumière en sortie du second polariseur ce que nous attendions mais quand nous avons intercalé un écran nous avons observé une image très particulière constituée de deux lignes noires et de cercles colorés.



Conclusion : Le cristal de  $\text{LiNbO}_3$  est bien biréfringent il a modifié la polarisation de la lumière.

Pour ce qui est de la figure, nous ne savons pas réellement l'expliquer. Nous savons que la lumière blanche utilisée contenait toutes les couleurs vues sur la figure. Pour essayer de comprendre le phénomène nous avons recommencé l'expérience avec un laser vert placé devant la lentille. Nous avons obtenu une figure du même style avec la croix noire et des anneaux colorés verts entrecoupés d'anneaux noirs.



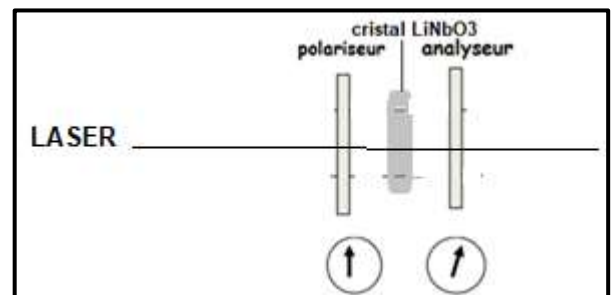
Nous en avons déduit que la figure obtenue en lumière blanche était la superposition des figures associées à chaque radiation présente dans la lumière blanche.

En recherchant sur internet, nous avons pu voir qu'il s'agissait d'un phénomène d'interférence.

Quand deux ondes se superposent, le résultat de la superposition peut être différent de la simple somme des intensités de chacune d'elles. Ce phénomène n'est observable que si les ondes ont la même fréquence et si elles proviennent de la même source.

Dans notre expérience, les ondes qui sortent de l'analyseur se recomposent selon sa direction et on a donc la possibilité d'avoir ce phénomène d'interférence (Les ondes ont même fréquence et proviennent de la même source). Nos recherches nous ont appris que les zones colorées ou sombres que nous observons dépendent de la différence de parcours entre les ondes. Comme le cristal est biréfringent, il a accéléré la lumière dans une direction plus que dans l'autre, les ondes qui se superposent après passage dans notre analyseur n'ont pas parcouru le chemin de la même façon. On dit qu'ils n'ont pas parcouru le même chemin optique. En fonction de cette différence on observera des zones sombres ou des zones lumineuses.

Nous avons ensuite enlevé la lentille du Montage qui faisait diverger la lumière du laser. Nous avons alors obtenu sur l'écran un point lumineux vert : Le cristal est bien biréfringent. De plus quand nous tournons l'analyseur, l'intensité lumineuse passe par un maximum et un minimum sans passer par l'extinction. En sortie de cristal la lumière est polarisée elliptiquement.

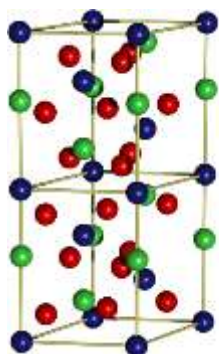


### III. BIREFRINGENCE PROVOQUEE : L'EFFET ELECTRO-OPTIQUE

Il est possible de créer ou de modifier une biréfringence pour certains matériaux. La déformation mécanique ou la température peuvent être à l'origine d'une modification de cette propriété, mais ce n'est pas la seule façon. En effet, pour certains matériaux la biréfringence peut être modifiée par effet électrique, c'est l'effet Pockels que nous allons essayer de mettre en évidence ici.

Le cristal de Niobate de Lithium récupéré sur internet possède normalement cette propriété.

#### III.1. Structure du Niobate de lithium

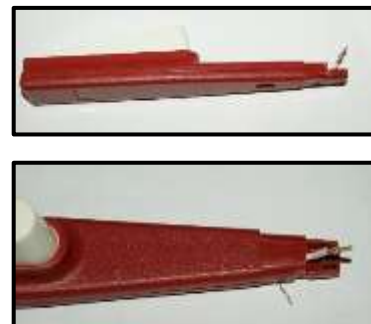


- Li
  - Nb
  - O
- Le niobate de lithium est un composé constitué d'oxygène, de lithium et de niobium. Il est transparent dans le visible.  
Ce cristal aurait été découvert par un chimiste en 1928.  
Il se présente sous forme d'un cristal ne présentant aucun centre de symétrie. D'autre part on se rend compte que le cristal présente des éléments chargés et pourra être soumis à des actions électriques quand il est soumis à une tension.

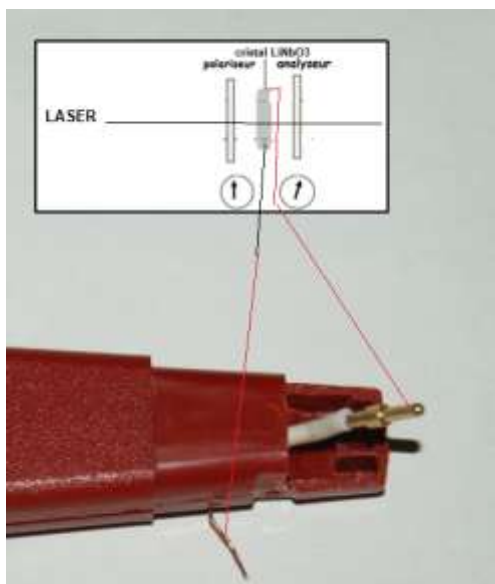
### III.2 Effet électro-optique du Niobate de Lithium

#### - Mise en évidence

Pour mettre en évidence cet effet, il nous fallait une alimentation haute tension. Malheureusement, nous n'en avons pas à disposition au lycée. Nos recherches nous ont mené aux machines électrostatiques pour obtenir des tensions importantes, mais la machine de Wimshurst n'est pas facile à utiliser par son encombrement. Nous avons remarqué que des dispositifs comme l'allumage des briquets ou certains allume-gaz produisant des étincelles sans avoir de piles (effet piézoélectrique). Sachant que pour obtenir un éclair d'environ 1cm, il faut une tension assez élevée, nous avons décidé de commander un de ces allume-gaz et l'avons utilisé comme générateur de tension continue pour visualiser l'effet électro-optique de notre cristal.



Nous avons repris le montage précédent en utilisant le laser dans un premier temps, mais nous avons branché l'allume-gaz aux bornes du cristal par l'intermédiaire de pinces croco et de fils électriques

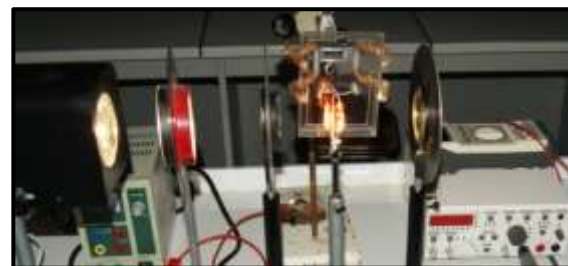


Nous avons observé le faisceau laser sur un écran perpendiculaire à la direction du rayon. Quand nous appuyons sur l'actionneur de l'allume gaz l'intensité lumineuse varie.

Cette expérience montre que la polarisation de la lumière ayant traversé le cristal change quand il est soumis à une tension électrique. La biréfringence du cristal est donc modifiée quand il est soumis à cette tension. C'est l'effet électro-optique.

Quand nous appuyons plus ou moins sur l'actionneur de l'allume-gaz, nous avons des intensités qui varient. Cet effet dépend donc de la valeur de la tension apportée.

Comme nous avons apprécié les couleurs obtenues avec la lumière blanche, nous avons eu envie de faire la même expérience avec le montage en lumière blanche. Voici les résultats de la projection sur un écran

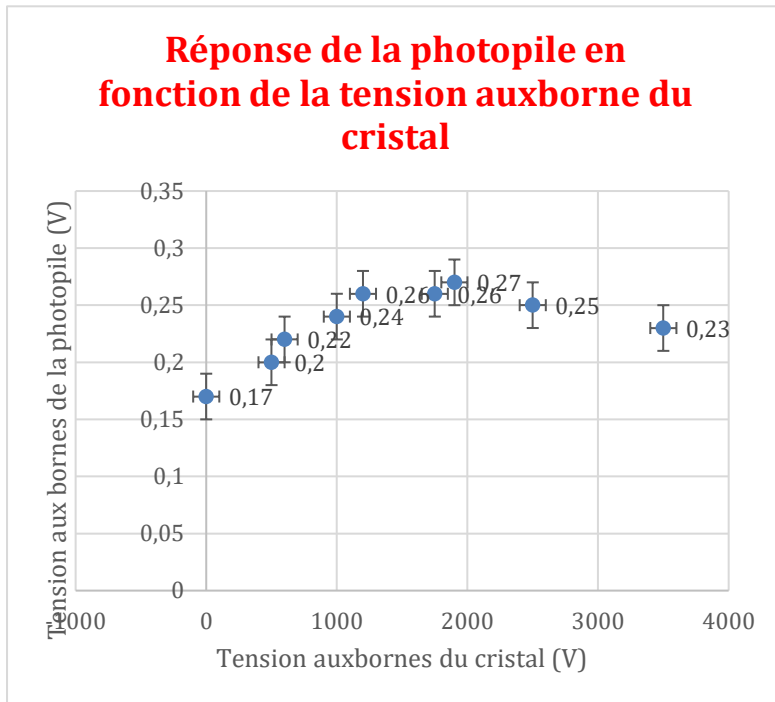


Tension appliquée	0V	Tension faible	Tension intermédiaire	Tension élevée
Figure obtenue				



- Mesure : Modification de l'intensité lumineuse en fonction de la tension appliquée au cristal

Nous avons ensuite voulu connaître l'évolution de l'intensité avec la tension appliquée. Pour cela, nous avons utilisé une alimentation pouvant délivrer jusqu'à 6000V prêté par le lycée d'Hazebrouck. A l'aide d'une photopile qui délivre une tension proportionnelle à l'éclairement reçue, nous avons évalué la variation d'intensité en fonction de la tension appliquée. Voici nos résultats.



Tension aux bornes du cristal (V)	Tension aux bornes de la photopile (V)
0	0,17
500	0,2
600	0,22
1000	0,24
1200	0,26
1750	0,26
1900	0,27
2500	0,25
3500	0,23

Conclusion :

La réponse semble correspondre à une partie linéaire dans une première partie ( $U < 1200V$ ) puis perd cette caractéristique.

Ces modifications sont liées à la modification de polarisation de la lumière par le cristal biréfringent.

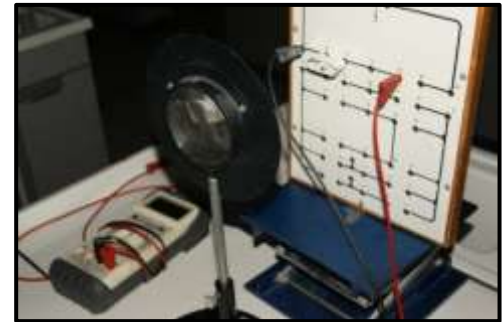
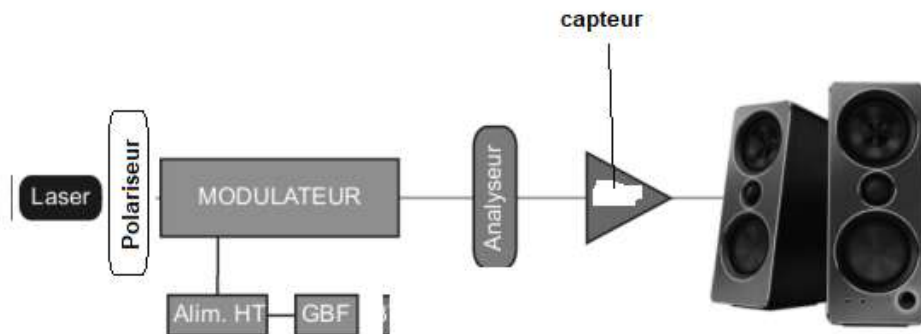
En exploitant la partie linéaire, il est possible de modifier l'intensité lumineuse à partir de la tension appliquée au cristal et ainsi de transporter cette modification jusqu'à un écran.

Nous allons donc pouvoir tenter de « coder » la lumière avec un signal électrique. Par exemple, on fixe la tension  $U$  à 500V et on ajoute une tension qui varie avec une certaine fréquence. L'intensité variera donc à la même fréquence. Il sera donc possible de transporter de l'information via la polarisation de la lumière. En supposant que le signal électrique provienne d'un son, il sera donc possible de le stocker au niveau de la polarisation de la lumière et de le transmettre avec la lumière.

## IV. APPLICATION A LA TRANSMISSION D'UN SON

### IV.1 Premier essai : Transmission d'un signal carré

Notre premier essai consistait à transmettre un signal rectangle par le biais d'un GBF. Pour cela nous avons décidé de placer en série le GBF avec l'alimentation haute tension régler sur 500V pour être dans la partie centrale de la réponse linéaire.



La lumière du laser est reçue sur une photopile reliée à un ampli.

Dans un premier temps, nous avons été très déçues, un bruit assez aigu et permanent s'est fait entendre, mais rien qui fait penser à un son même en changeant les propriétés du GBF.

Nous avons refait le même montage plusieurs fois, tenté de réaligner les différents éléments, mais rien à faire pas de sons !!

Jusqu'à ce qu'un prof de physique de passage dans le labo nous demande si nous avons essayé avec un laser rouge. Nous avons alors tenté en oubliant d'ailleurs l'alimentation continue la même expérience avec le laser rouge... et là plus de bruit de fond aigu, mais un son particulier qui se fait entendre. En jouant sur le bouton de fréquence, le son produit changeait également de fréquence. C'était fait, nous avons réussi à transférer un son avec de la lumière uniquement en modifiant son état de polarisation.

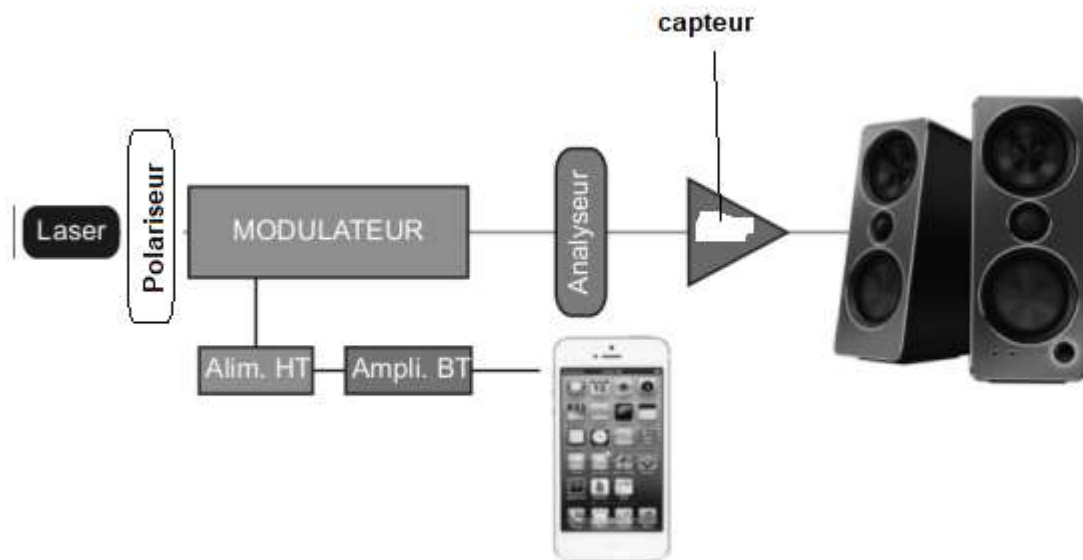
A priori, si l'amplitude du signal à transmettre est suffisante, nous n'avons pas besoin de l'alimentation continue.

Il ne reste plus qu'à faire la même chose avec le son d'un morceau de musique



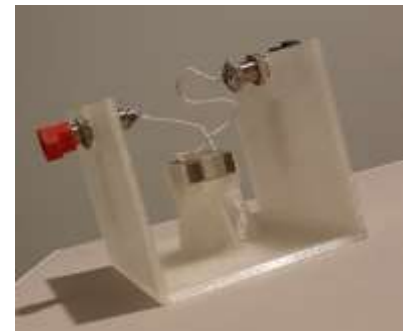
## IV.2. Second essai : Transmission d'un son

Nous avons repris le même montage en remplaçant le GBF par le signal provenant d'un morceau de musique stocké dans un téléphone.



Dans un premier temps, nous n'avons pas eu de résultats significatifs. Peut-être parce que l'amplitude des variations étaient trop faibles. Nous avons alors décidé d'utiliser un ampli présent dans le labo de manière que l'amplitude soit plus grande. Dans ces conditions, nous avons pu enfin entendre notre son transporté par la lumière. Il faut avouer qu'à ce stade, la qualité du son transmis est très médiocre. Mais le dernier confinement et l'hybridation à 50% qui nous a séparé au lycée a compliqué nos travaux.

En alignant, correctement, nos éléments la qualité s'est nettement améliorée. D'autre part, nous avons fait appel à Mr Roisine du lycée des Flandres, enseignant en STI2D et expert en impression 3D. Il nous a aidé à concevoir un support pour notre cristal de manière à ce que nos réglages restent fixes. Dans ces conditions nous avons réussi à transmettre nos sons sur des distances suffisantes. Avec une qualité pour nous assez satisfaisante.



## **Conclusion**

Une histoire toute bête de lumière qui dévie sa trajectoire quand elle change de milieu, nous a permis de comprendre la structure de la lumière, sa polarisation et comment on pouvait utiliser cette propriété pour transmettre de l'information. Certes, ça ne se fait pas tout seul, il a fallu trouver le bon « caillou » transparent qui lorsqu'il est illuminé ne chante pas c'est vrai mais transporte le son qu'on a su lui chanter là où on le souhaite.

Merci à Valérie la technicienne du laboratoire du lycée Blaise Pascal pour nous avoir apporté son aide pour le matériel et à Mr Clément Evain de l'université de Lille pour les documents qu'il nous a fournis et pour l'invitation à manipuler à l'université ainsi qu'à Mr Roisine pour la construction 3D.