



Activités de la séquence n°8

Mesurer à l'aide des ondes polarisées



Fiches de synthèse mobilisées :

Fiche n°8 : ondes électromagnétiques et polarisation



Sommaire des activités

ACTIVITÉ 1 :	comment savoir si une lumière est polarisée ?.....	1
ACTIVITÉ 2 :	effet de l'eau sucrée sur la lumière polarisée	2
ACTIVITÉ 3 :	activité optique, mesures de pouvoirs rotatoires	2
ACTIVITÉ 4 :	le sucre dans un sirop contre la toux : <i>démarche expérimentale</i>	5
ACTIVITÉ 5 :	le sucre dans un sirop contre la toux : <i>étude documentaire</i>	7
ACTIVITÉ 6 :	comment prendre une photographie à travers une vitre ?	9

ACTIVITÉ 1 : comment savoir si une lumière est polarisée ?

Partie 1 : état de polarisation de quelques sources de lumière

Expérience :

- Munir une lanterne d'un verre fritté.
- Sur un écran, obtenir son image agrandie deux fois à l'aide d'une lentille mince de distance focale 100mm.

Questions :

1. On dispose d'un filtre polarisant (ou polariseur) : c'est un filtre qui sélectionne une direction de polarisation de la lumière incidente et élimine les autres.
Placer un polariseur sur le banc d'optique à la sortie de la lentille convergente et réaliser une expérience permettant de savoir si la lanterne émet une lumière naturelle ou une lumière polarisée rectilignement. Décrire l'expérience que vous avez faite, les observations et ses conclusions.
2. Remplacer l'association lanterne + verre fritté par l'écran de votre téléphone afin d'étudier l'état de polarisation de la lumière qu'il émet. Rendre compte de l'expérience conduite, de ses résultats et des conclusions que l'on peut en tirer.
3. Schématiser un dispositif permettant d'étudier l'état de polarisation d'un faisceau laser. Réaliser le montage correspondant. Pourquoi dit-on que le laser est « partiellement polarisé » ?

Partie 2 : comment faire disparaître une image ?

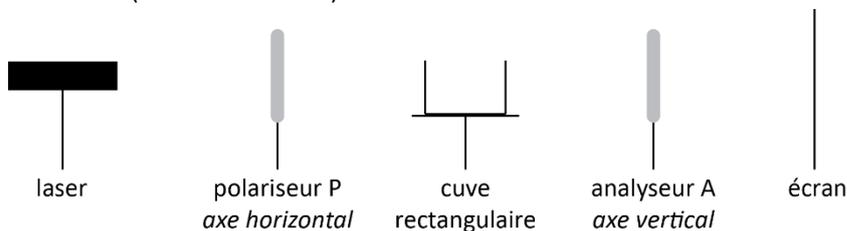
Faire disparaître une image sur un écran à l'aide de filtres polarisants est une méthode très utile au laboratoire, comme nous le verrons par la suite.

4. Dans la situation de la question 1, en disposant d'un deuxième filtre polarisant (souvent appelé « analyseur »), comment pourrait-on faire disparaître l'image qui se forme sur l'écran ?
5. **Expérience :**
 - Comme au début de l'activité 1, munir une lanterne d'un verre fritté.
 - Sur un écran, obtenir son image agrandie deux fois à l'aide d'une lentille mince de distance focale 100mm.
 - Mettre en œuvre la méthode proposée à la question 4 et rendre compte des résultats : noter ce que l'on observe et vérifier si la prévision est réalisée.



ACTIVITÉ 2 : effet de l'eau sucrée sur la lumière polarisée

1. Avant de faire l'expérience, prévoir ce que l'on doit observer à l'écran si l'on réalise le dispositif de la question 2. Justifier en décrivant l'état de polarisation de la lumière après la traversée du polariseur P.
2. Réaliser le dispositif suivant (la cuve étant vide) :



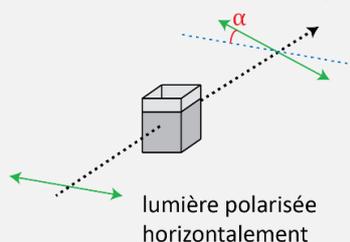
Vérifier que les observations sont bien conformes à la prévision faite à la question 1 (si ce n'est pas parfaitement le cas, faire tourner légèrement le polariseur P pour obtenir le faisceau le plus atténué possible).

3. Verser le sirop de canne à sucre dans la cuve afin que le faisceau laser la traverse. Noter ce que l'on observe à l'écran.
4. La lumière qui a traversé l'eau sucrée est-elle toujours polarisée rectilignement ? Si oui, quelle est sa direction de polarisation ? Manipuler l'analyseur pour répondre et rendre compte des expériences réalisées.
5. On dit que ce sirop de sucre de canne est optiquement actif : proposer une définition de l'expression « optiquement actif » en utilisant les observations effectuées dans cette activité.

ACTIVITÉ 3 : activité optique, mesures de pouvoirs rotatoires

DOCUMENT 1 : activité optique et chiralité

Jean-Baptiste Biot, au XIX^{ème} siècle, a observé que certaines espèces chimiques avaient le pouvoir de faire tourner le plan de polarisation de la lumière d'un certain angle appelé pouvoir rotatoire :



α est le pouvoir rotatoire de l'échantillon analysé (image extraite de la fiche de synthèse n°6)

Il a établi empiriquement la relation connue sous le nom de « loi de Biot » :

$$\alpha = [\alpha]_{\lambda} l c$$

- α est le pouvoir rotatoire de l'échantillon analysé ;
- $[\alpha]_{\lambda}$ est le pouvoir rotatoire spécifique de l'espèce chimique pour une lumière polarisée de longueur d'onde λ ;
- l est la longueur de l'échantillon traversée par la lumière ;
- c est la concentration du soluté.

Lien avec la chiralité

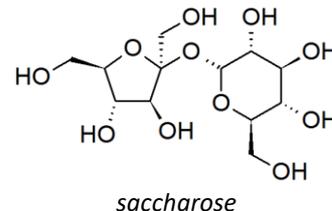
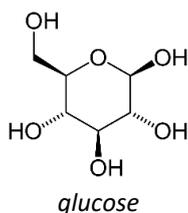
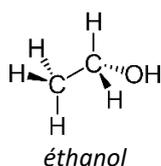
Les chimistes ont ensuite établi que l'activité optique d'une solution était liée à la chiralité des molécules qui composent le soluté : **une molécule chirale est optiquement active.**

**1^{ère} partie : activité optique de certaines espèces moléculaires**

On dispose de six solutions aqueuses S_1, \dots, S_6 , dont les solutés et les concentrations sont listées ci-dessous :

Solution	Soluté	Concentration
S_1	Éthanol	250 g/L
S_2	Éthanol	500 g/L
S_3	Glucose	250 g/L
S_4	Glucose	500 g/L
S_5	Saccharose	250 g/L
S_6	Saccharose	500 g/L

1. On donne ci-dessous les formules topologiques des trois solutés considérés :



Parmi les solutions S_1 à S_6 , laquelle ou lesquelles sont censées avoir une activité optique ? Justifier à l'aide du document 1 et de vos connaissances en chimie.

- Mesurer le pouvoir rotatoire d'un échantillon de chacune de ces solutions en suivant le protocole du document 2 ou à l'aide d'un polarimètre de Laurent si le laboratoire en dispose.
- Les mesures réalisées sont-elles compatibles avec la réponse 1 ?
- Montrer que les mesures réalisées sont compatibles avec le lien entre pouvoir rotatoire et concentration énoncé par la loi de Biot (la précision des mesures est telle qu'on se contentera d'un lien qualitatif).
- Proposer le protocole d'une expérience permettant de mettre en évidence (qualitativement) le lien entre pouvoir rotatoire et longueur traversée par la lumière.
- Avec l'accord de l'enseignant, réaliser le protocole précédent et vérifier que son résultat est compatible avec la loi de Biot.

DOCUMENT 2 : mesure d'un pouvoir rotatoire avec un polarimètre artisanal

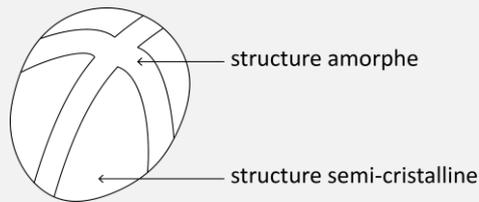
Le protocole suivant consiste à réaliser un polarimètre avec le matériel usuel du laboratoire.

- Sur un banc d'optique, placer un laser, deux filtres polarisants distants d'une dizaine de cm et un écran.
Le premier filtre est le polariseur : son rôle consiste à obtenir une lumière polarisée rectilignement. Le second filtre est l'analyseur : son rôle est d'étudier la direction de polarisation de la lumière.
- Placer l'analyseur sur la graduation « 0 » et tourner le polariseur afin d'obtenir l'extinction du faisceau laser atteignant l'écran (selon la qualité des filtres utilisés, l'extinction peut ne pas être totale) : on s'assure ainsi que les axes des deux filtres sont perpendiculaires.
- Entre le polariseur et l'analyseur, placer une cuve rectangulaire (dans le sens de la longueur pour maximiser la distance traversée) contenant la solution à étudier.
- Si le faisceau n'est plus éteint, alors la solution est optiquement active. Dans ce cas tourner l'analyseur pour retrouver l'extinction du faisceau : l'angle dont il a fallu le tourner est le pouvoir rotatoire de l'échantillon de solution traversé par la lumière.

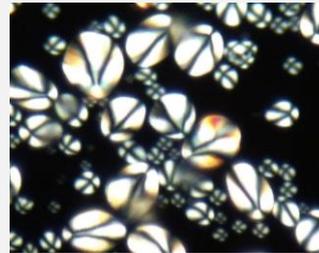
2^{ème} partie : les grains d'amidon

DOCUMENT 3 : structure des grains d'amidon

L'amidon des tubercules est constitué de macromolécules chirales. Lorsque l'amidon est synthétisé dans les tubercules comme la pomme de terre, ces macromolécules s'assemblent de manière à former des « grains d'amidon » dans lesquels se trouvent des zones dont la structure est semi-cristalline (les molécules sont agencées selon un certain ordre) et d'autres dont la structure est amorphe (les molécules sont disposées sans aucun ordre). Les biochimistes reconnaissent l'amidon de pomme de terre grâce au phénomène de « croix noire » qui apparaît lorsque l'amidon est observé au microscope polarisant.



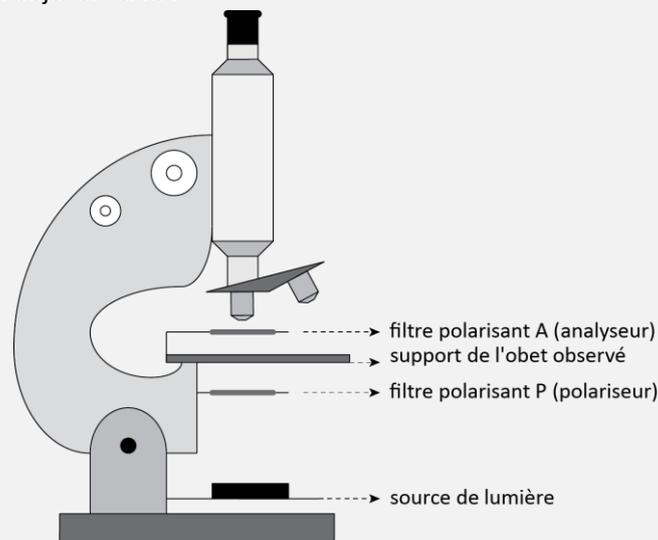
les deux structures du grain d'amidon



le phénomène de « croix noire »

DOCUMENT 4 : le microscope polarisant

On appelle microscope polarisant un microscope optique classique muni de deux filtres polarisants placés de part et d'autre de l'objet observé :



Préparation de la lame (à faire juste avant de manipuler, la structure de l'amidon se dégrade très vite) :

- On dispose d'un microscope polarisant, d'une lame de verre et d'une pomme de terre.
- Découper une tranche de pomme de terre.
- Avec le tranchant d'un scalpel, gratter la chair pour récolter un peu du liquide qui suinte.
- Déposer ce liquide sur la lame de verre, ajouter une goutte d'eau distillée et placer une lamelle de verre par-dessus.

Question :

- ▶ Est-ce dans une structure amorphe ou une structure semi-cristalline que l'amidon possède une activité optique ?

Pour répondre, observer la lame au microscope optique (non polarisant), puis au microscope polarisant avec divers angles entre l'analyseur et le polariseur, afin d'identifier les conditions à réaliser pour observer la « croix noire ».

Consigner vos observations et rédiger le raisonnement qui conduit à la réponse.



ACTIVITÉ 4 : le sucre dans un sirop contre la toux : démarche expérimentale

Avant de suivre son traitement, un patient soucieux de sa ligne, aimerait déterminer la masse de saccharose ingérée par jour lors de la prise de son sirop contre les maux de gorge. Après quelques recherches sur internet, il dispose des documents 1 à 4 donnés ci-après.

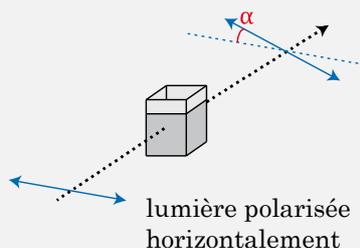
Questions ouvertes :

- ▶ À l'aide des documents et de vos connaissances, déterminer la concentration massique en saccharose dans le sirop contre la toux. L'incertitude relative sur mesure de la concentration massique par la méthode utilisée est de 4%. On admet que l'incertitude due à la dilution est négligeable devant les autres sources d'erreur. Vous présenterez le résultat obtenu avec son incertitude.
- ▶ À l'aide des documents et de vos connaissances, déterminer la masse de saccharose ingérée par jour lors de la prise de son sirop contre les maux de gorge. Sachant qu'un morceau de sucre classique a une masse d'environ 5g, à combien de morceau de sucre cela revient-il?

La démarche suivie sera évaluée et nécessite d'être clairement présentée au professeur avant la réalisation expérimentale. Les calculs seront menés avec rigueur et un regard critique sur votre résultat est attendu.

DOCUMENT 1 : la loi de Biot

Certains corps ont la propriété de faire tourner le plan de polarisation d'une onde polarisée qui les traverse. L'angle α dont la direction a tourné est le **pouvoir rotatoire** de l'objet.



Il existe une relation entre la concentration d'une solution optiquement active et la valeur de son pouvoir rotatoire. C'est la loi de BIOT :

$$\alpha = [\alpha_0] l c_m$$

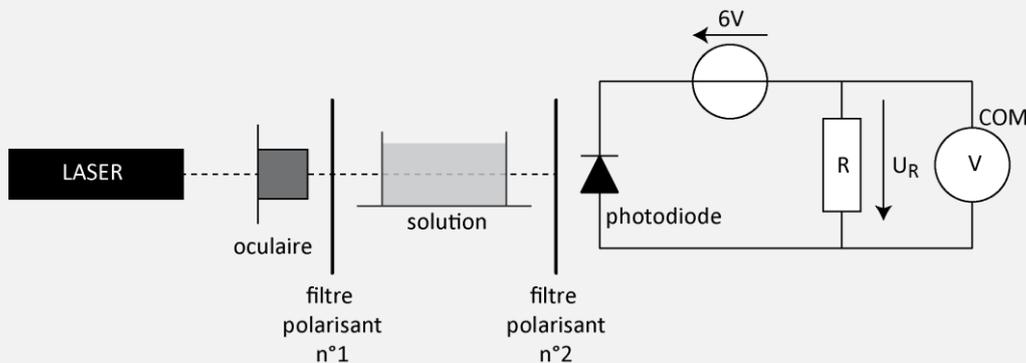
- α : angle de déviation en degré
- $[\alpha_0]$: pouvoir rotatoire spécifique qui dépend de la longueur utilisée (souvent celle du sodium $\lambda = 589,3 \text{ nm}$), de la température et de l'espèce chimique étudiée.
- l : longueur de la solution traversée en dm
- c_m : concentration massique en $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$

**DOCUMENT 2 : matériel disponible**

- Solution de sirop contre la toux diluée d'un facteur 2 ;
- solutions étalons de saccharose de concentrations massiques : $0,100 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$, $0,200 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$, $0,300 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$, $0,400 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$, $0,500 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$;
- supports sur banc d'optique ;
- laser rouge ;
- un oculaire de microscope x6 ;
- 2 filtres polarisants ;
- 1 cuve en verre (longueur de 8cm environ) ;
- 1 support plat pour poser la cuve ;
- ordinateur avec tableur ;
- lampe de bureau (la manipulation est effectuée dans le noir) ;
- un montage électrique avec une photodiode montée en inverse ;
- pince et potence pour tenir la photodiode afin de la placer facilement à la sortie de l'analyseur.

DOCUMENT 3 : protocole de mesure d'un pouvoir rotatoire avec une photodiode

Il n'est pas possible de visualiser l'extinction d'un faisceau laser sur un écran avec suffisamment de précision. On utilise alors une photodiode montée en inverse, placée à la sortie de l'analyseur : la tension U_R aux bornes du conducteur ohmique est proportionnelle à l'éclairement de la photodiode.

Montage à réaliser :**Protocole de la mesure :**

- Orienter le filtre 1 afin que son axe soit horizontal.
- En l'absence de la cuve contenant la solution, tourner le filtre n°2 en sorte que la tension U_R soit minimale : les filtres sont alors croisés à 90° . Noter la position angulaire de l'axe du filtre n°2.
- Placer la cuve contenant la solution entre les deux filtres (comme sur la figure).
- Tourner le filtre 2 afin de retrouver un minimum de U_R (c'est-à-dire l'extinction du faisceau). Noter la nouvelle position angulaire de ce filtre.
- Le pouvoir rotatoire de la solution est alors la différence entre les deux positions angulaires mesurées.

DOCUMENT 4 : photo de l'emballage de son sirop contre les maux de gorge**ACTIVITÉ 5 : le sucre dans un sirop contre la toux : étude documentaire**

Avant de suivre son traitement, un patient soucieux de sa ligne, aimerait déterminer la masse de saccharose ingérée par jour lors de la prise de son sirop contre les maux de gorge. Après quelques recherches sur internet, il dispose des documents donnés ci-après.

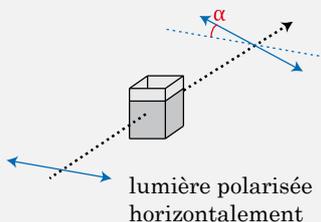
Question ouverte :

Exploiter les documents afin de déterminer la masse de saccharose ingérée par jour lors de la prise de son sirop contre les maux de gorge.

Sachant qu'un morceau de sucre classique a une masse d'environ 5 g, à combien de morceau de sucre cela revient-il ?

DOCUMENT 1 : pouvoir rotatoire et loi de Biot

Certains corps ont la propriété de faire tourner le plan de polarisation d'une onde polarisée qui les traverse. L'angle α dont la direction a tourné est le **pouvoir rotatoire** de l'objet.



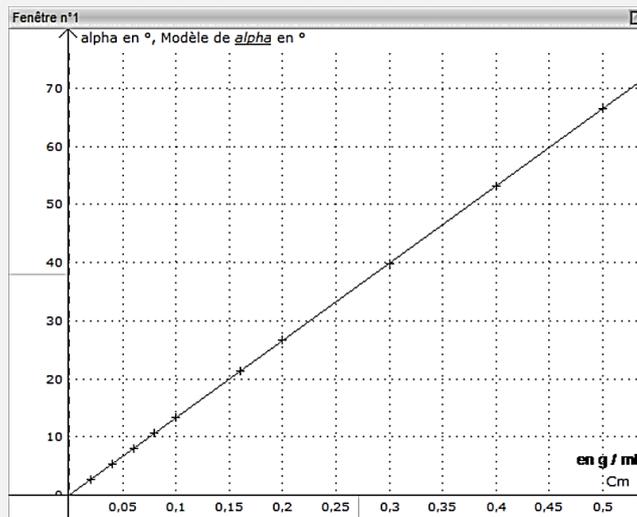
Il existe une relation entre la concentration d'une solution optiquement active et la valeur de son pouvoir rotatoire. C'est la loi de BIOT :

$$\alpha = [\alpha_0] l c_m$$

- α : pouvoir rotatoire en degré
- $[\alpha_0]$: pouvoir rotatoire spécifique de l'espèce dissoute ;
- l : longueur de la solution traversée en dm
- c_m : concentration massique en $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$



DOCUMENT 2 : courbe d'étalonnage pour le saccharose $\alpha = f(C_m)$



DOCUMENT 3 : mesure du pouvoir rotatoire d'une solution de sirop diluée d'un facteur 2



DOCUMENT 4 : Photo de l'emballage de son sirop contre les maux de gorge.

Composition :
Alpha-amylase 20 000 U. CEIP pour 100 ml de sirop.

Excipients à effet notoire :
Jaune orangé S (E110), saccharose, parahydroxybenzoate de méthyle sodé (E219), parahydroxybenzoate de propyle sodé (E217).

Mode et voie d'administration :
Voie orale.

Posologie :
Adulte : 1 cuillère à soupe 3 fois par jour.
Enfant de plus de 3 ans (plus de 15 kg) : 2 cuillères à café (10 ml), 3 fois par jour.
Nourrisson et enfant de 6 mois à 3 ans (7 kg à 15 kg) : 1 cuillère à café (5 ml), 3 fois par jour.

Ce flacon contient l'équivalent de 8 cuillères à soupe ou de 25 cuillères à café de sirop.

À PARTIR DE 6 MOIS

SIROP
FLACON de 125 ml
GOÛT MANDARINE



ACTIVITÉ 6 : comment prendre une photographie à travers une vitre ?

Combien de photos avez-vous raté à cause du reflet dans une vitre empêchant de voir le paysage ?

Ce problème a pour objectif de répondre à la question suivante :

Un photographe souhaite photographier un paysage à travers une vitre sans que le reflet sur cette dernière n'apparaisse sur sa photographie. Il dispose pour cela d'un appareil photo muni à son entrée d'un filtre polarisant dont l'orientation est réglable.

Comment doit-il orienter son filtre ? Comment doit-il se positionner par rapport à la vitre ?

Expérience préliminaire :

- Les deux membres d'un binôme se placent à proximité d'une vitre de manière à ce que chacun puisse voir à la fois le paysage par la fenêtre et le reflet de son voisin.
- L'un des deux élèves regarde son voisin à travers un polaroid, fait tourner ce dernier et observe les effets produits sur ce qu'il voit.

Question théorique préliminaire :

Lorsque la lumière passe d'un milieu d'indice n à un autre d'indice n' , montrer que l'angle de Brewster vaut :

$$i_B = \arctan\left(\frac{n'}{n}\right)$$

Résolution du problème :

- ▶ Exploiter les observations réalisées lors de l'expérience préliminaire ainsi que la réponse à la question précédente, en s'appuyant sur les documents ci-après pour répondre à la question encadrée en préambule. La démarche sera clairement exposée, les calculs numériques seront menés à leur terme et une validation expérimentale de la réponse s'appuyant sur l'expérience préliminaire est attendue.

DOCUMENT 1 : intérêt du filtre polarisant en photographie

Sur certains appareils photographiques haut de gamme il est possible de placer à l'entrée de l'objectif un filtre polarisant dont l'axe peut être orienté par le photographe en fonction des besoins. L'un des intérêts de ce filtre est de pouvoir éliminer de la photographie les reflets sur les vitres :



Photo sans filtre polarisant

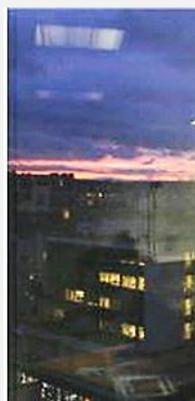


Photo avec filtre polarisant.

source : L'Internaute

**DOCUMENT 2 : voir à travers une vitre malgré le reflet**

La vidéo en lien ci-dessous explique l'origine physique de l'élimination du reflet à l'aide d'un filtre polarisant :

<https://pod.univ-lille1.fr/video/2821-voir-a-travers-une-vitre-malgre-le-reflet/>

DOCUMENT 3 : loi de Snell – Descartes

Si un rayon de lumière passe d'un milieu d'indice n à un autre d'indice n' , les angles d'incidence i et de réfraction r satisfont la relation :

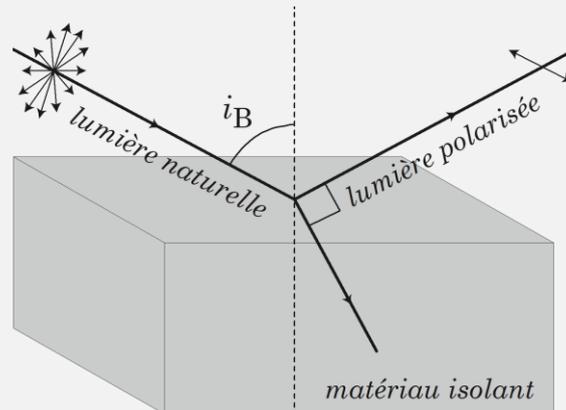
$$n \times \sin(i) = n' \times \sin(r)$$

DOCUMENT 4 : l'angle de Brewster

La réflexion de la lumière sur un matériau isolant (verre, eau, matière plastique, etc.) peut modifier l'état de polarisation de celle-ci.

Sir David Brewster, en 1812, a montré qu'il existait une incidence particulière, pour laquelle la lumière réfléchie est polarisée rectilignement avec un axe parallèle à la surface de séparation.

Cet angle, noté i_B (appelé « angle de Brewster ») est tel que **le rayon réfléchi est perpendiculaire au rayon réfracté** :

**DOCUMENT 5 : données utiles**

Indices de réfraction :

- $n_{air} = 1,0$
- $n_{eau} = 1,3$
- $n_{verre} = 1,5$

Relation de trigonométrie : $\sin(90 - \alpha) = \cos(\alpha)$