



Séquence n°7

Mesurer à l'aide de la réfraction de la lumière



Fiches de synthèse mobilisées :

Fiche n°7 : réfraction et réflexion de la lumière



Sommaire des activités

ACTIVITÉ 1 :	réfraction et réflexion, mise en évidence et premières expériences.....	1
ACTIVITÉ 2 :	comment faire disparaître un tube en Pyrex® ?	3
ACTIVITÉ 3 :	mesurer un indice de réfraction, comparaison de deux méthodes	3
ACTIVITÉ 4 :	mesure d'une concentration par réfractométrie.....	5

ACTIVITÉ 1 : réfraction et réflexion, mise en évidence et premières expériences

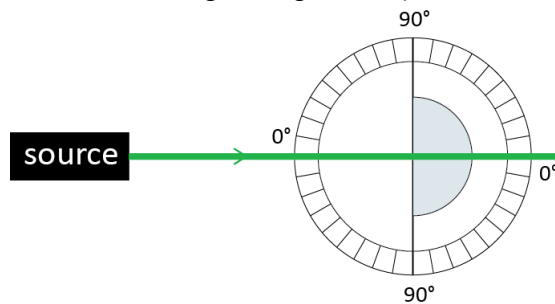
Le phénomène de réfraction, déjà étudié en classe de 2^{nde}, est le changement de direction de propagation de la lumière lorsqu'elle change de milieu. Il s'accompagne toujours d'un phénomène de réflexion.

Cette activité a pour but de rappeler quelques propriétés liées à ces phénomènes et de mettre en évidence le phénomène de réflexion totale.

1^{ère} partie : prise en main du dispositif et rappel des conditions de la réfraction

Le dispositif que nous utilisons est constitué d'une source de lumière émettant un faisceau directif et d'un demi-cylindre en plexiglas placé sur un plateau tournant gradué en degrés.

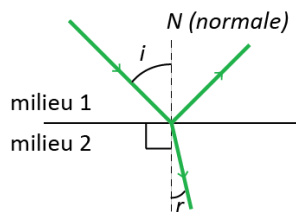
1. Placer le dispositif dans la position représentée sur la figure ci-dessous (demi-cylindre centré, face plane le long de la ligne « 90° » et faisceau incident le long de la ligne « 0° ») :



Proposer une explication au fait que le faisceau, dans cette position, ne soit pas dévié.

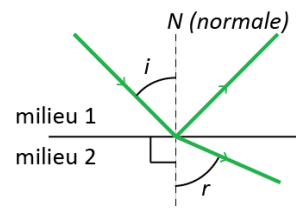
2. Faire pivoter le demi-cylindre de manière à observer un changement de direction. Le phénomène de réfraction intervient-il sur la face courbe ou sur la face plane du demi-cylindre ? Proposer une justification.
3. On cherche à réaliser les deux situations suivantes :

Situation 1



$i > r$: le rayon réfracté se rapproche de la normale.

Situation 2



$i < r$: le rayon réfracté s'éloigne de la normale.



Placer le dispositif dans chacune de ces situations et en déduire et à quelle condition sur les indices de réfraction des milieux 1 et 2 le rayon réfracté se rapproche de la normale et à quelle condition il s'en éloigne.

DONNÉES utiles :

- indice de réfraction de l'air : $n_{\text{air}} = 1,0$
- indice de réfraction du plexiglas : $n_{\text{plexiglas}} = 1,5$
- expression de la célérité de la lumière dans un milieu :

$$v = \frac{c}{n}$$

c étant la célérité de la lumière dans le vide, v sa célérité dans le milieu et n l'indice de réfraction du milieu.

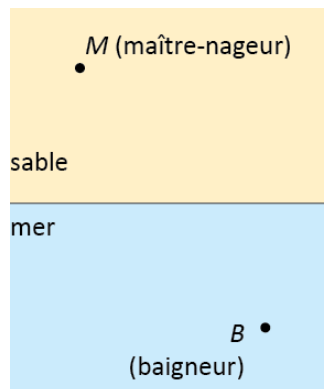
2^{ème} partie : la réflexion totale

On appelle réflexion totale le cas où il n'existe pas de rayon réfracté : toute la lumière est réfléchi à la surface de séparation entre les milieux.

4. À l'aide du dispositif utilisé dans la première partie, réaliser une situation de réflexion totale. Déterminer à quelle condition sur les indices des deux milieux et sur l'angle d'incidence ce phénomène est observable.

Pour aller plus loin : origine physique de la réfraction de la lumière

Afin de proposer une justification au phénomène de réfraction de la lumière on propose une analogie. On envisage la situation suivante : un maître-nageur se trouve en M et il s'aperçoit qu'un baigneur (en B) est en danger. Dans le sable il court à 20 km/h environ et il nage en moyenne à 5km/h.



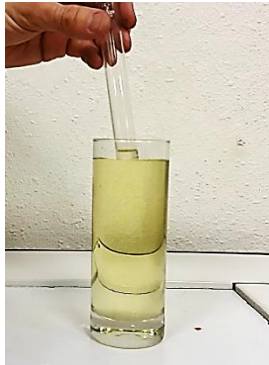
5. Compléter la figure ci-dessus en représentant (sans souci d'échelle) l'allure du trajet que le maître-nageur a intérêt à effectuer pour arriver le plus tôt possible au point B.
6. Laquelle des deux situations envisagées dans la question 3 pour la lumière est l'analogue du trajet effectué par le maître-nageur ?
7. Le principe de Fermat énonce que la lumière effectue toujours le chemin de plus courte durée entre deux points. C'est une des explications au fait que sa propagation dans les milieux homogènes est rectiligne. En précisant dans quel milieu (l'air ou le plexiglas) la célérité de la lumière est la plus élevée, montrer que le principe de Fermat permet d'interpréter le changement de direction observé lors de la réfraction.



ACTIVITÉ 2 : comment faire disparaître un tube en Pyrex® ?

Les élèves de l'atelier scientifique du collège Jacques-Émile Blanche, à Saint-Pierre-lès-Elbeuf (Normandie) ont filmé une expérience au cours de laquelle un tube en Pyrex® disparaît lorsqu'il est plongé dans l'huile.

► Voir la vidéo de l'expérience.



un tube à essais plongé dans l'huile



un tube à essais plongé dans l'eau

Notre objectif est d'expliquer le résultat observé lorsque le tube est plongé dans l'huile.

1. Émettre une hypothèse à propos des indices de réfraction de l'huile de tournesol, de l'eau et du Pyrex®.
2. Vérifier la validité de cette hypothèse auprès de l'enseignant ou au moyen d'une recherche sur Internet.
3. En conclusion, rédiger un paragraphe expliquant :
 - pourquoi on voit le tube lorsqu'il est plongé dans l'eau ;
 - pourquoi on le voit encore lorsqu'il est plongé dans l'huile mais contient de l'air ;
 - pourquoi il disparaît lorsqu'il est plongé dans l'huile et rempli d'huile.

Dans chaque situation les différents milieux traversés seront cités et les notions de réflexion et réfraction seront exploitées.

ACTIVITÉ 3 : mesurer un indice de réfraction, comparaison de deux méthodes

L'objectif de cette activité est de mesurer l'indice du plexiglas à l'aide deux méthodes, que nous comparerons l'une à l'autre. Le matériel utilisé est celui présenté dans l'activité 1.

1^{ère} partie : exploitation du phénomène de réfraction

1. On admet dans cette activité que l'indice de réfraction de l'air vaut 1. Dans le cas d'une réfraction air \rightarrow plexiglas, rappeler l'énoncé de la loi de Snell-Descartes sur la réfraction et retrouver l'expression de n donnée dans le document 1.
2. Rédiger un protocole expérimental permettant de déterminer l'indice de réfraction du plexiglas en exploitant la réfraction air – plexiglas et la première relation du document 1 ci-dessous.
3. Avec l'accord de l'enseignant, réaliser le protocole précédent et calculer la valeur n de l'indice de réfraction du plexiglas.
4. Estimer les incertitudes-types des deux angles mesurés $u(i)$ et $u(r)$ et les exprimer en radian. En déduire la valeur de l'incertitude-type de l'indice de réfraction n du plexiglas, en appliquant la relation donnée dans le document 1. En conclusion, écrire la valeur de n avec un nombre de chiffres significatifs cohérent.

**DOCUMENT 1 : mesure d'un indice à l'aide du phénomène de réfraction**■ **Expression de l'indice de réfraction :**

Lors d'une réfraction air-plexiglas, si l'angle d'incidence vaut i et l'angle de réfraction vaut r , l'indice de réfraction du plexiglas vaut :

$$n = \frac{\sin(i)}{\sin(r)}$$

■ **Calcul de l'incertitude-type :**

L'incertitude-type de l'indice de réfraction vaut :

$$u(n) = \sqrt{\left(\frac{\cos(i)}{\sin(r)}\right)^2 u(i)^2 + \left(\frac{\cos(r) \times \sin(i)}{\sin^2(r)}\right)^2 u(r)^2}$$

Attention : $u(i)$ et $u(r)$ désignent les incertitudes-types sur les angles, **exprimées en radian**.

2^{ème} partie : exploitation du phénomène de réflexion totale

- Rédiger un protocole expérimental permettant de déterminer l'indice de réfraction du plexiglas par exploitation de la relation donnée dans le document 2. On détaillera précisément les étapes à suivre.
- Avec l'accord de l'enseignant, appliquer le protocole précédent et en déduire la valeur (notée n') de l'indice de réfraction recherché.
- Estimer l'incertitude-type de l'angle mesurés $u(i_{lim})$ et l'exprimer en radian. En déduire la valeur de l'incertitude-type de l'indice de réfraction n' du plexiglas obtenu par cette méthode. En conclusion, écrire la valeur de n' avec un nombre de chiffres significatifs cohérent.

DOCUMENT 2 : mesure d'un indice à l'aide du phénomène de réflexion totale■ **Mesure d'un indice à l'aide de la réflexion totale**

Si l'angle limite de réflexion totale à l'interface plexiglas/air vaut i_{lim} , l'indice de réfraction du plexiglas vaut :

$$n = \frac{1}{\sin(i_{lim})}$$

■ **Calcul de l'incertitude-type :**

L'incertitude-type de l'indice de réfraction vaut :

$$u(n) = \frac{\cos(i_{lim})}{\sin^2(i_{lim})} u(i_{lim})$$

$u(i_{lim})$ étant l'incertitude-type de l'angle limite, **exprimée en radian**.

3^{ème} partie : comparaison des deux méthodes

- Lequel des deux protocoles suivis dans cette activité donne la meilleure valeur de l'indice de réfraction ? Justifier en citant les résultats pertinents obtenus dans les deux parties précédentes.
- Dresser la liste des sources d'erreurs de ces deux mesures. Rédiger quelques lignes expliquant la raison pour laquelle l'un des deux protocoles est meilleur que l'autre.

ACTIVITÉ 4 : mesure d'une concentration par réfractométrie

1^{ère} partie : détermination expérimentale de la relation entre concentration et indice de réfraction

L'appareil permettant de mesurer l'indice de réfraction d'un liquide au laboratoire est appelé : réfractomètre. Vous disposez sur vos tables d'une notice d'utilisation du réfractomètre d'Abbe.

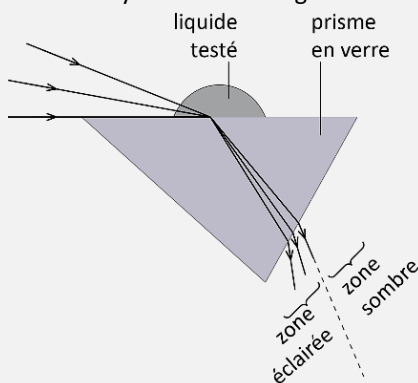
DOCUMENT 1 : le réfractomètre d'Abbe

Le réfractomètre d'Abbe est un des systèmes couramment utilisés par les laboratoires pour mesurer très précisément et rapidement l'indice de réfraction d'un liquide. Certains permettent même la mesure directe du degré Brix des solutions (le degré Brix est un indicateur de la concentration en sucre).

Le principe est le suivant.

Un premier prisme (non représenté sur la figure ci-après) possède une face en verre dépoli : éclairé par la lumière du jour ou par une source électrique, il joue le rôle de diffuseur de lumière et assure un éclairage dans plusieurs directions.

Un second prisme en verre dévie la lumière ayant traversé la goutte de liquide déposé :



Cela produit une zone éclairée et une zone sombre. La position de la ligne qui sépare ces deux zones dépend de l'indice du liquide déposé, ce qui permet sa mesure.

1. On dispose d'eau distillée et de quatre solutions étalon de concentrations différentes en saccharose. En suivant les consignes d'utilisation du réfractomètre dont vous disposez, mesurer l'indice de réfraction de chacune d'elles et rassembler les résultats dans le tableau suivant :

Concentration en saccharose	0	100 g · L ⁻¹	200 g · L ⁻¹	300 g · L ⁻¹	400 g · L ⁻¹
Indice de réfraction					

2. À l'aide d'une représentation graphique et de sa modélisation, déterminer la relation entre l'indice de réfraction d'une espèce chimique (ici le saccharose) et sa concentration.

2^{nde} partie : mesure de la concentration en sucre d'une limonade

Afin de tester la validité de notre méthode de mesure, on utilise une limonade dont la concentration en saccharose est notée sur l'étiquette. Celle-ci a été dégazéifiée pour permettre son étude par réfractométrie.

3. Écrire le protocole à suivre pour mesurer sa concentration en saccharose par réfractométrie.
4. Procéder à la mesure de sa concentration et la noter au tableau de la salle de classe.
5. Lorsque toute la classe a réalisé sa mesure : calculer la valeur moyenne \bar{c} des concentrations obtenues et son incertitude-type $u(\bar{c})$ (voir document 2).
6. Si l'on considère que l'indication portée sur l'étiquette est fiable, on peut la considérer comme une référence. Le quotient suivant permet alors d'évaluer le protocole de mesure que nous avons employé :

$$z = \frac{|c_{ref} - \bar{c}|}{u(\bar{c})}$$

On considère le protocole suivi est validé si $z \leq 2$. Est-ce le cas ?

**DOCUMENT 2 : estimation d'une incertitude par une méthode de type A**

Une méthode de type A est une méthode statistique d'évaluation d'une incertitude lorsqu'une même mesure a été réalisée plusieurs fois dans les mêmes conditions, avec le même protocole, le même matériel et le même opérateur. Cette dernière condition est parfois levée et on s'autorise à employer une méthode de type A lorsque plusieurs opérateurs différents ont suivi le même protocole.

Si N mesures d'une grandeur x ont été réalisées :

- La valeur à retenir est la moyenne \bar{x} des N valeurs obtenues.
- L'incertitude-type de \bar{x} vaut :

$$u(\bar{x}) = \frac{s_{exp}}{\sqrt{N}}$$

s_{exp} étant l'écart-type expérimental de la série de mesures (noté σ_{N-1} sur certaines calculatrices).