INSTITUT POLYTECHNIQUE DES SCIENCES AVANCEES
63 bis, boulevard de Brandebourg – 94200, Ivry Sur Seine
Etablissement Privé d'Enseignement Supérieur Technique

Mercredi 06 Mai 2020

Phv 121 : TP optique

- LOIS DE LA REFLEXION ET DE LA REFRACTION (LOIS DE SNELL-DESCARTES)
- APPLICATION AU PRISME

DUPIN Léa, HOUANDI Manon
Aéro 1 classe Y1
LEA.DUPIN@IPSA.FR ; MANON.HOUANDI@IPSA.FR

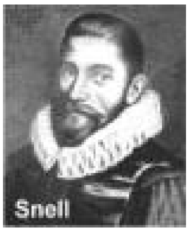
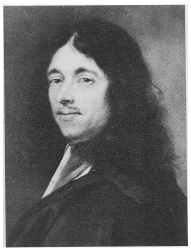
Table des matières :

Introduction :

Ce TP a pour but de travailler sur différentes propriétés et différents comportements de la lumière, dont la **réflexion** et la **réfraction**. A cause de la situation sanitaire exceptionnelle, qui nous empêche de pouvoir réaliser ce TP avec le matériel nécessaire, nous nous contenterons simplement de rappeler les lois optiques correspondantes et utiliser le site internet https://urlz.fr/cA5Y qui est une ressource numérique mise à disposition par l'université de Le Mans.

Nous allons donc faire l'expérience de manière numérique, afin de démontrer les **lois du prisme** : nous expliquerons et démontrerons celles-ci, tout d'abord par le calcul théorique puis, afin d'appuyer ces résultats, par l'expérience et un tableur.

Commençons tout d'abord par présenter les pionniers de cette discipline :

	**René Descartes** (France, 31 mars 1596 Stockholm, Suède, 11 février 1650) est un philosophe, mathématicien, et physicien français, considéré comme le fondateur de la philosophie moderne. Sa méthode, exposée en 1637 dans le Discours de la méthode, est certes en rupture avec la scolastique enseignée jusqu'alors : la réflexion cartésienne est rationaliste.
	**Willebrord Snell** ou **Snellius**, (1580-1626) passa des études de droit aux mathématiques et a finalement succédé à son père en tant que professeur de mathématiques à l'Université de Leyde. Bien qu'il ait découvert la loi de la réfraction appelée maintenant loi de Snell ou *loi de Snell-Descartes* en France, il n'en a pas publié le résultat et son exclusivité n'a pas été reconnue, jusqu'à ce que Huygens ne mentionne la découverte de Snell dans son travail environ soixante-dix ans plus tard.
	**Pierre de Fermat (1601 – 1665)** retrouve les lois de la réflexion et la réfraction à partir du principe selon lequel la lumière met un temps minimal pour aller d'un point à un autre. Comme celles de la mécanique, les lois de l'optique géométrique se présentent alors sous forme variationnelle.

L'objectif de ce TP est de :

- Vérifier les lois de la réflexion.
- Vérifier les lois de la réfraction.
- Application à une lame à faces parallèles ou à une cuve.
- Etudier les lois du prisme Pour cela, vous avez à votre disposition une source de lumière, un générateur, un disque rapporteur, un miroir plan, un hémi-cylindre et un prisme.

PARTIE I : Les lois de la réflexion

Remarque préliminaire :

Quand les imperfections de la surface réfléchissantes sont plus petites que la longueur d'onde de la lumière incidente (ce qui est le cas dans un miroir par exemple) ; la totalité de la lumière est réfléchie dans une direction unique *(schéma 1)*.
Dans le monde réel, la majorité des objets présentent des surfaces plus complexes produisent une réflexion diffuse ou une diffusion *(schéma 2)*, c'est-à-dire une situation dans laquelle la lumière incidente est réfléchie dans toutes les directions.

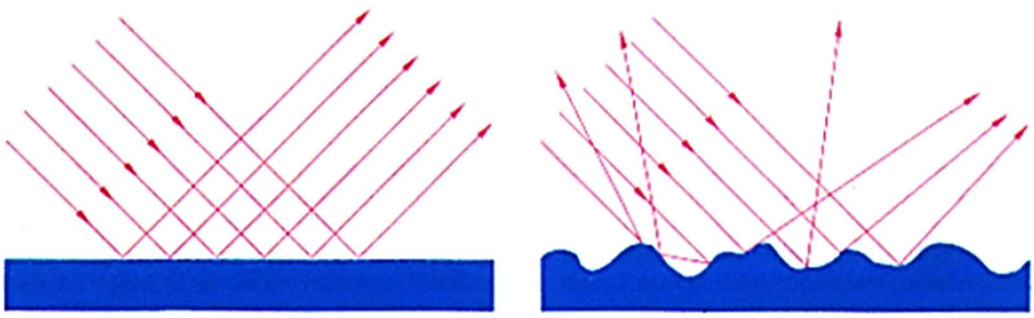


Schéma 1 *Schéma 2*

➢ Lois de la réflexion

Première loi :

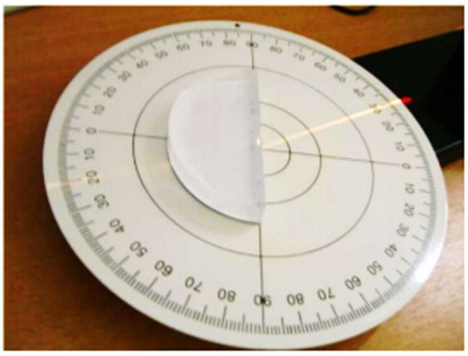
Les rayons incident et réfléchi font un angle égal et opposé avec la normale à la surface du dioptre : $\boldsymbol{i} = \boldsymbol{i}'$.

Seconde loi :

Si le milieu $\boldsymbol{i}'$ est moins réfringent que le milieu $\boldsymbol{i}$, c'est-à-dire $\boldsymbol{n_1} > \boldsymbol{n_2}$, il existe un angle critique : $\boldsymbol{i_{lim}}$.
La limite $\mathbf{sin}(\boldsymbol{i}) = \frac{\boldsymbol{n_2}}{\boldsymbol{n_1}}$ définit un angle limite $\boldsymbol{i_{lim}} = \boldsymbol{arc\ sin}\left(\frac{\boldsymbol{n_2}}{\boldsymbol{n_1}}\right)$, au-delà duquel il n'y a plus de rayons réfractés.
Toute la lumière est alors réfléchie dans le premier milieu. Il y a réflexion pour $\boldsymbol{i} > \boldsymbol{i_{lim}}$.

<u>PARTIE II :</u> Les lois de la réfraction

<u>Remarque préliminaire :</u>



Le rayon lumineux issu de la source de lumière est d'abord dans le milieu 1 (c'est-à-dire l'air) et pénètre ensuite dans le milieu 2 (c'est-à-dire le cylindre) en changeant de direction. Il forme alors avec la normale un angle noté $\boldsymbol{i_2}$ (appelé angle de réfraction). On appelle $\boldsymbol{i_1}$ l'angle d'incidence. Le matériel sera disposé comme sur la photo ci-contre.

➢ Lois de la réfraction

<u>Première loi :</u>

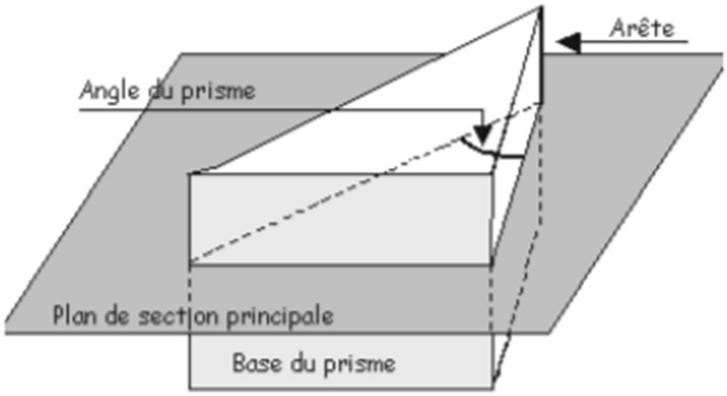
Si le premier milieu est plus réfringent que le deuxième, c'est-à-dire $\boldsymbol{n_1} > \boldsymbol{n_2}$, cela signifie que le rapport des indices est supérieur à $\mathbf{1}$, donc $\boldsymbol{r} > \boldsymbol{i}$: le rayon réfracté s'éloigne de la normale.

<u>Seconde loi :</u>

Si le deuxième milieu est plus réfringent que le premier, c'est-à-dire, $\boldsymbol{n_2} > \boldsymbol{n_1}$, cela signifie que le rapport des indices est inférieur à $\mathbf{1}$, et donc $\boldsymbol{r} < \boldsymbol{i}$: le rayon réfracté se rapproche de la normale.

PARTIE III : Etude du prisme

Remarque préliminaire :

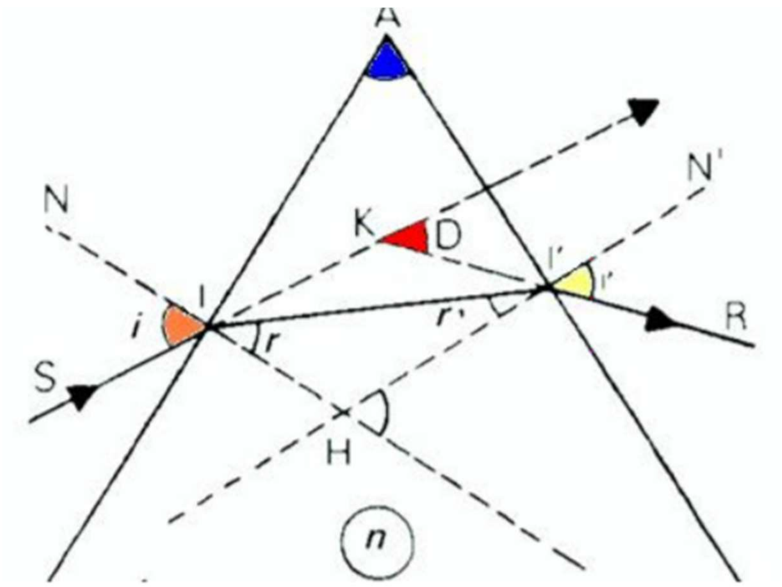


Un prisme est formé d'un milieu transparent **d'indice de réfraction n**, limité par deux dioptres plans non parallèles ; ces deux dioptres forment un angle, noté **A, appelé angle du prisme**.
Un rayon lumineux arrive sous **l'incidence i** par l'une des faces du prisme et subit une première réfraction sur ce dioptre : ce rayon est donc dévié une première fois à l'intérieur du prisme et arrive sur la deuxième face du prisme sous une **incidence r'**.
Si r' est inférieur à l'angle limite de réfraction, ce rayon va ressortir du prisme en subissant une nouvelle réfraction accompagnée d'une nouvelle déviation ; on appelle **D la déviation totale** du rayon lumineux.

1. Les lois du prisme

On a :

- $\sin i = n \sin r$
- $n \sin r' = \sin i'$
- $A = r + r'$
- $D = i + i' - A$



1.1. Démontrer les quatre lois du prisme

- $n_1 * \sin(i) = n * sin(r)$
- $n * \sin(r') = n_1 * \sin(i')$
- $A = r + r'$
- $D = i + i' - A$

<u>Démonstration de la première loi et la deuxième loi :</u>

- Lois de Descartes sur la face d'entrée : $\mathbf{\sin(\boldsymbol{i_1}) = \boldsymbol{n}.\sin(\boldsymbol{r})}$
- Lois de Descartes sur la face de sortie : $\boldsymbol{s * \sin(r') = n_1 * \sin(i')}$

<u>Démonstration de la troisième loi :</u>

On se positionne dans le triangle (ISI'), et on a : $A + \left(\frac{\pi}{2} - r\right) + \left(\frac{\pi}{2} - r'\right) = \pi$

On obtient donc : $\boldsymbol{A = r + r'}$

<u>Démonstration de la quatrième loi :</u>

On se positionne dans le triangle (IMI')

On a : $(i - r) + (\pi - D) + (i' + r') = \pi$

$\Leftrightarrow D = i + i' - (r + r')$

$\Leftrightarrow \boldsymbol{D = i + i' - A}$

1.2. Déterminer les conditions d'émergence

- L'angle i peut varier entre $\frac{\pi}{2}$ et $\frac{-\pi}{2}$. Ainsi r peut varier entre $\boldsymbol{-\lambda}$ et $\boldsymbol{\lambda}$, tel que $\boldsymbol{1 = n.sin(\lambda)}$
- Il faut que i' soit défini. Donc, $\boldsymbol{|n * sin(r')| \leq 1}$, d'après la première condition on doit avoir :

$$\boldsymbol{-\lambda \leq r' \leq \lambda}$$

Or $\boldsymbol{A = r + r'}$, on doit donc obtenir :

$$\boldsymbol{-\lambda \leq A - r \leq \lambda}$$

C'est-à-dire,

$$\boldsymbol{-\lambda \leq r - A \leq \lambda}$$

On a finalement :

$$\boldsymbol{-\lambda + A \leq r \leq \lambda + A}$$

1.3. Déterminer les conditions d'émergence

D'après le principe de retour inverse de la lumière, i et i' donnent le même D. Ainsi, A est une valeur de D, correspond à deux valeurs de i **sauf quand $\boldsymbol{i = i'}$.**

$$\boldsymbol{i + i' = D + A}$$

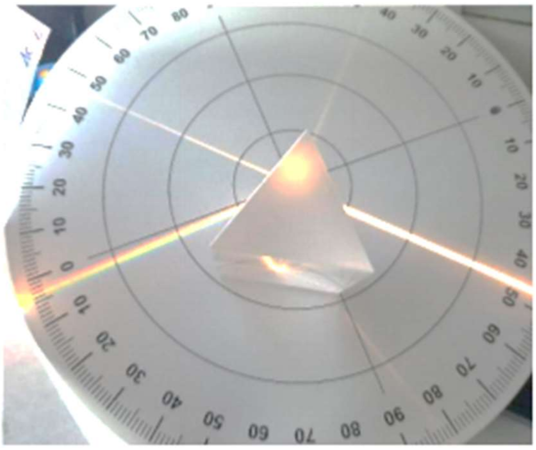
On a $\boldsymbol{i = i' = \frac{(D+A)}{2}}$, c'est-à-dire l'extremum minimale de déviation de $\boldsymbol{D}$. Ainsi au minimum de déviation, $\boldsymbol{i = i'}$, on a aussi $\boldsymbol{r = r' = \frac{A}{2}}$

$$\boldsymbol{sin\left(\frac{D+A}{2}\right) = n * sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

$$\Leftrightarrow \boldsymbol{n = \frac{\sin\left(\frac{D+A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}}$$

Ainsi si $\boldsymbol{A = 90}$°, le rayon n'émerge jamais directement de la deuxième face.

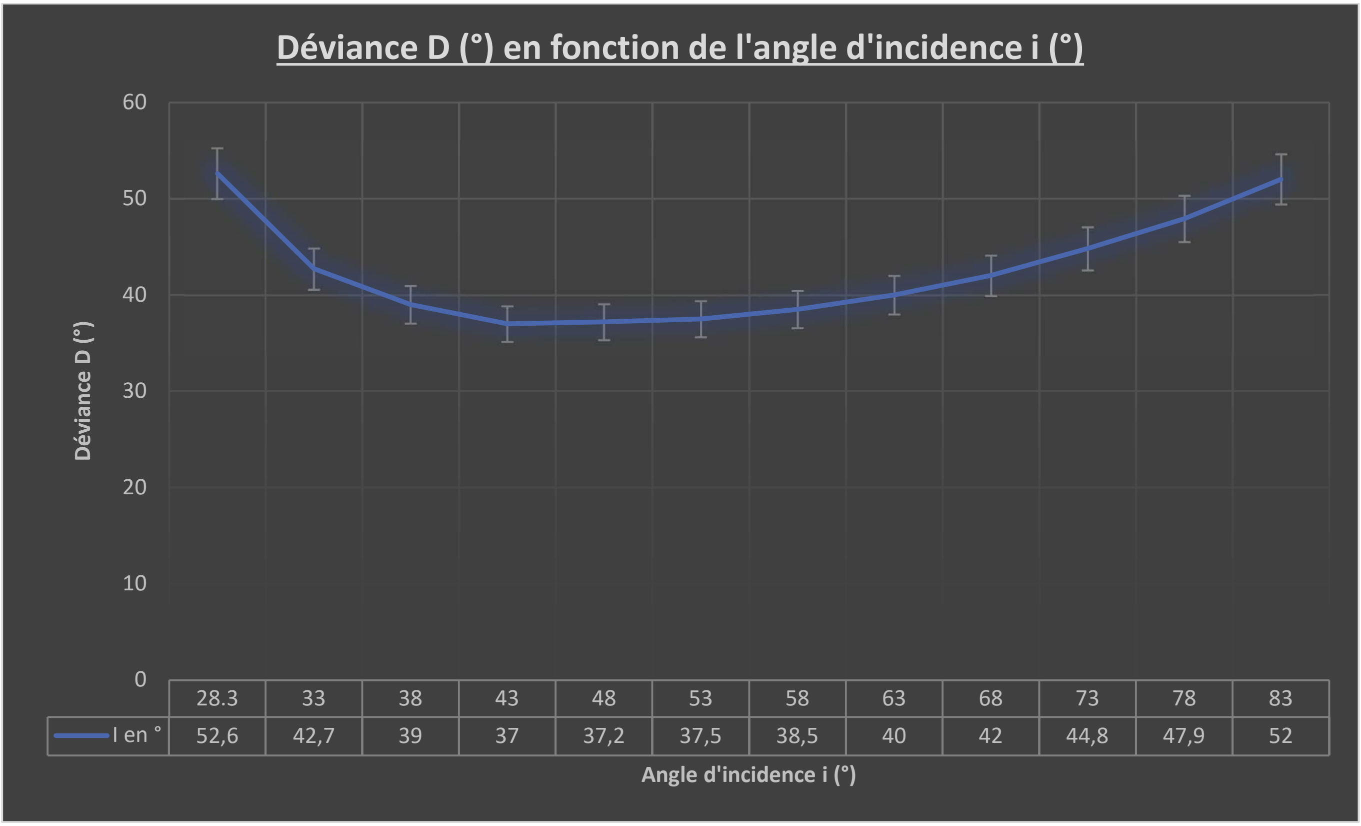
2. Protocole expérimental



- Régler la lampe comme précédemment.
- Disposer le prisme de la manière ci-contre, de telle sorte que lorsque le faisceau incident arrive sur le sommet du prisme, une partie du faisceau ne traverse pas le prisme, et l'autre partie le traversant se trouve déviée. Alors le faisceau incident arrive perpendiculairement à la face d'entrée du prisme. Le rayon émergent forme avec le même axe, un angle directement lisible sur le rapporteur et qui, dans ce cas précis, est l'angle de déviation $\boldsymbol{D}$.
- Faire pivoter l'ensemble disque-prisme autour du centre du disque, le rayon lumineux arrivant toujours au centre du disque de manière jusqu'à observer la dispersion de la lumière blanche.
- Le rayon lumineux forme avec l'axe $\boldsymbol{0-0}$ appelé normale à l'arête du prisme au point d'incidence un angle appelé angle d'incidence que l'on notera $\boldsymbol{i_1}$.
- Mesurer l'angle de déviation $\boldsymbol{D}$ pour des angles d'incidence qui varie de $\boldsymbol{5}$° en $\boldsymbol{5}$° (il faut ajouter o et soustraire la valeur de l'angle incident à la valeur de l'angle mesuré entre le rayon émergent et l'axe $\boldsymbol{0-0}$).

3. Exploitation

1.1. Représenter la courbe donnant les variations de D_{exp} en fonction de l'angle incident



1.2. Quelle est la valeur minimale pour D ?

D'après notre courbe, on peut dire que la valeur minimale pour D est $\boldsymbol{D = 37°}$, c'est-à-dire la valeur pour $\boldsymbol{i = 43°}$.

1.3. Etablir la formule théorique qui donne D_{th} en fonction de i.

On a :

$$\boldsymbol{D = i + i'}$$

Or :

$$\boldsymbol{n * sin(r') = n1 * sin\,(i')}$$

$$\boldsymbol{\Leftrightarrow sin(i') = \frac{n * sin(r')}{n1}}$$

Donc :

$$i' = \frac{a\,sin(n * sin(r'))}{n1}$$

De plus :

$$ni * sin(i) = n * sin(r)$$

Ce qui implique :

$$R = a\,sin\left(\frac{ni * sin(i)}{n}\right)$$

$$\Leftrightarrow R + r' = A$$

Ce qui implique :

$$r' = A - r = A - a\,sin\left(\frac{n_1 * sin(i)}{n}\right)$$

On a donc :

$$i' = asin\left(\frac{n * sin(r')}{n1}\right) = asin\left(n * \frac{sin\left(A - asin\left(\frac{n_1\,sin(i)}{n}\right)\right)}{n_i}\right)$$

On a donc : $n_i = 1$

Donc : $i' = a\,sin(n\,sin(r')) = a\,sin\left(n * sin\left(A - a\,sin\left(\frac{sin(i)}{n}\right)\right)\right)$

On obtient donc :

$$D = I + a\,sin\left(n * sin\left(A - a\,sin\left(\frac{sin(i)}{n}\right)\right)\right) - A$$

1.5. Etablir la formule de l'indice n

On sait que : $\boldsymbol{i} = \boldsymbol{i}$' et $\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}$' lorsque $\boldsymbol{D} = \boldsymbol{D_{min}}$ donc on en déduit :

$$\boldsymbol{n * sin\left(\frac{A}{2}\right) = sin\left(\frac{A + D_{min}}{2}\right)}$$

D'où la formule de l'indice $\boldsymbol{n} = \frac{\boldsymbol{sin\left(\frac{A+D_{min}}{2}\right)}}{\boldsymbol{sin\left(\frac{A}{2}\right)}}$

1.6. Déterminer l'indice du prisme

On a trouvé la formule de n donc on l'applique :

$$\boldsymbol{n = \frac{\sin\left(\frac{A + D_{min}}{2}\right)}{sin\left(\frac{A}{2}\right)}}$$

$$\boldsymbol{n = \frac{\sin\left(\frac{60 + 40}{2}\right)}{\sin\left(\frac{60}{2}\right)}}$$

$$\boldsymbol{n = 1,53}$$

L'indice du prisme est : $\boldsymbol{n = 1,53}$

CONCLUSION :

On peut donc dire que nos résultats théoriques et nos résultats d'expérimentation concordent. L'expérience est donc validée, et nous avons démontré les différentes lois du prisme, ainsi que la formule de l'indice n, l'angle i' et de l'angle de déviation D. Nous avons aussi montré les conditions d'émergence.