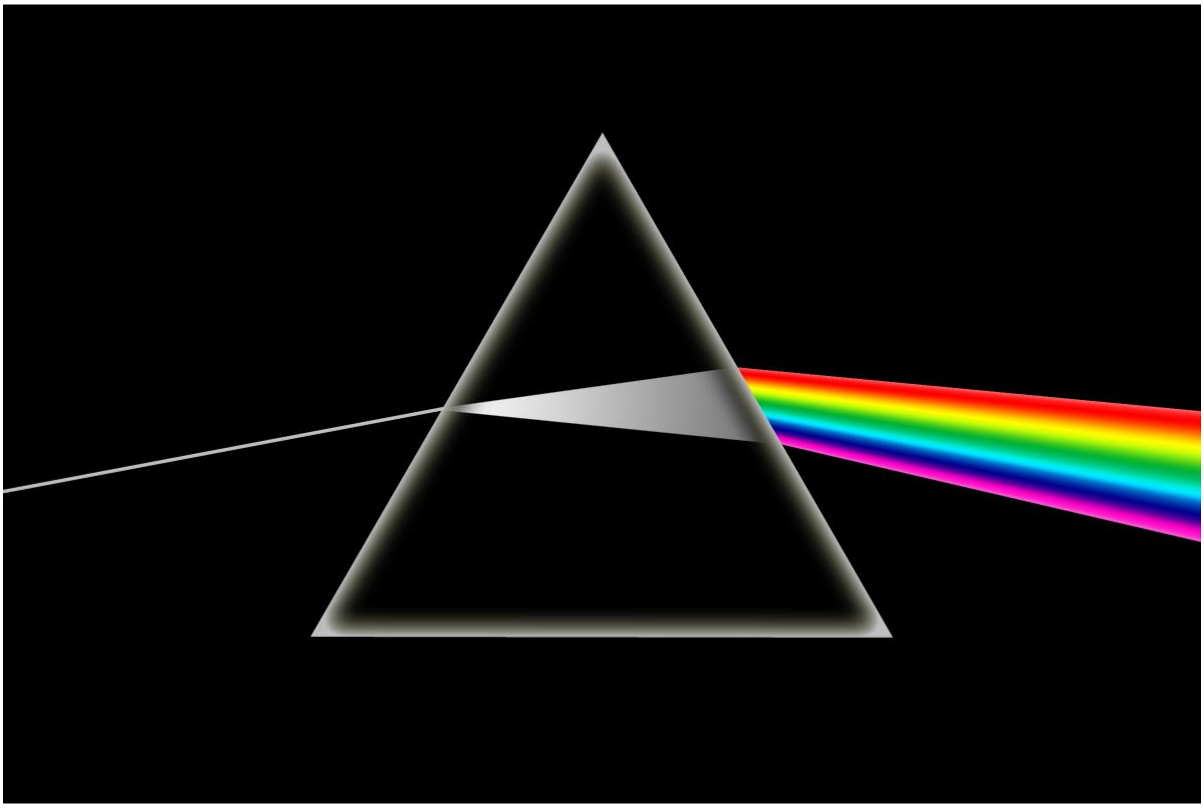
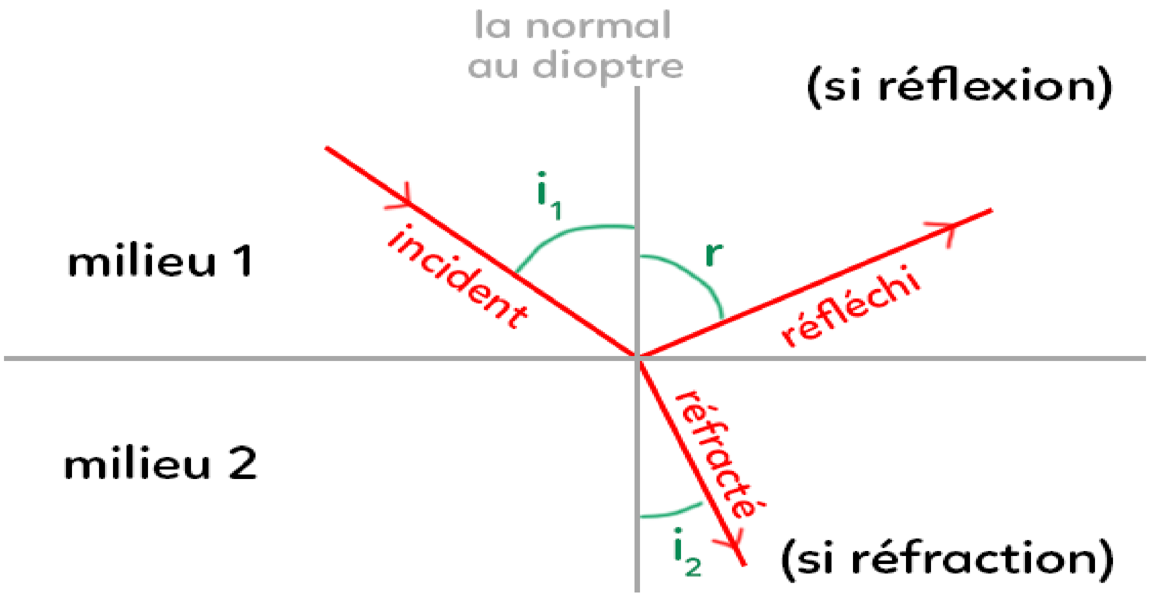
TP1 de Physique : Optique Géométrique



GANA Malek-Mahmoud & ATAKOUI Yann Loïc Aero 1PR1

Mai 2020

SOMMAIRE :



la normal
au dioptre
(si réflexion)
i_1
r
milieu 1
incident
réfléchi
milieu 2
réfracté
i_2
(si réfraction)

I-Introduction :

Dans ce TP, on cherche à mettre en évidence certaines propriétés de la lumière, les lois de réfraction, de réflexion, les lois du prisme…

L'objectif de ce TP est donc de vérifier ces lois découvertes notamment par Descartes, Willebrord Snell et Pierre de Fermat.

Leurs travaux ont ainsi donné la loi connue sous le nom de Snell-Descartes :

$n_2 \times \sin(n_2) = n_1 \times \sin(n_1)$.

Les lois de l'optique sont complexes et prennent en compte de nombreux paramètres tels que la longueur d'onde du faisceau lumineux, les imperfections de surface, les indices de réfraction des différents milieux que traverse la lumière... On abordera dans ce TP, les phénomènes de réflexion et de réfraction, ainsi qu'une étude du prisme.

1. Historique

Lorsqu'un rayon lumineux change de milieu, ce rayon subit un changement de direction. Le rayon est dévié de sa trajectoire, et forme avec le plan caractérisant la limite entre les 2 milieux, ce que l'on appelle un angle d'incidence.

Ce principe est étudié grâce aux lois de Snell-Descartes. Ces lois tirent leur nom de René Descartes (31mars 1596- 11 février 1650) et de Willebrord Snell (1580-1626).

René Descartes : Un philosophe, un mathématicien et un physicien Français. Il est considéré comme le père de la philosophie moderne (notion du cogito). C'est dans son ouvrage le Discours de la Méthode, et notamment dans son annexe, La Dioptrique, que Descartes va exposer certaines propriétés, qui vont alors servir de base pour les lois de Snell-Descartes. De plus, avec sa Méthode, Descartes va être le 1er à passer à une approche rationaliste : ses résultats sont le fruit d'observations et de thèses validées.

Willebrord Snell : Un mathématicien Néerlandais, professeur à l'université de Leyde. C'est en grande partie à lui que l'on doit la loi de réfraction (et donc les lois de Snell-Descartes). Il ne publia cependant jamais les résultats de ses études de son vivant, et ce n'est qu'après sa mort, qu'il sera fait mention de ses découvertes, par le biais d'Huyguens.

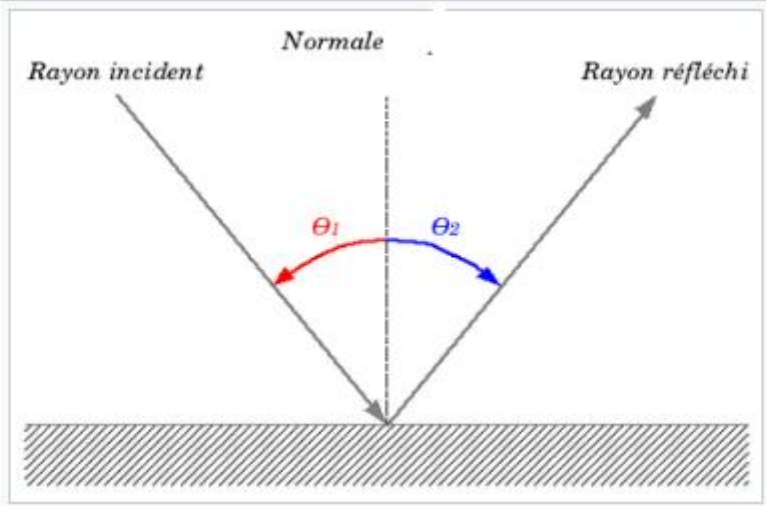
Pierre de Fermat (1601-1665) : Il parvient à retrouver les lois de réfraction et de réflexion de la lumière, en se basant sur le principe que la lumière met un temps le plus court possible pour se déplacer entre un point A et un point B.

2. Le Modèle du Rayon lumineux : Ce principe, fondamental à l'optique, dit que les rayons lumineux se propagent en ligne droite, avec une vitesse V= c/n (avec n>1, qui est l'indice de réfraction du milieu, et c qui correspond à la célérité de la lumière dans le vide). Les rayons lumineux n'ont alors aucune possibilité d'interagir entre eux, mais peuvent entrer en interaction avec leur le milieu dans lequel ils se déplacent ou avec la matière s'ils en rencontrent sur leur chemin. 4 différents types d'interactions sont possibles :
   - La réflexion
   - La réfraction
   - La diffusion
   - L'absorption

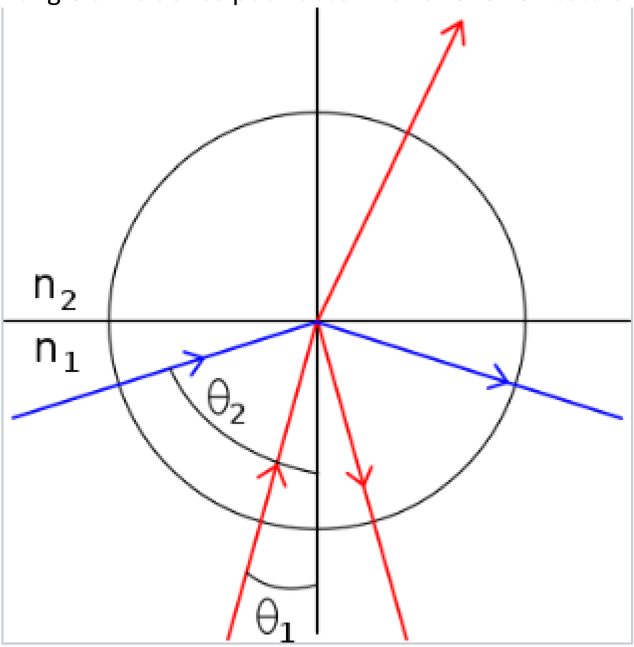
II- Rappels théoriques sur les lois :

1. Loi de Snell-Descartes pour la réflexion :

Lois de Snell-Descartes pour la réflexion : Le rayon lumineux qui se déplace avant d’avoir rencontré la surface réfléchissante est la rayon incident. Ce rayon est contenu dans le plan incident formé par ce même rayon incident, et la normale à la surface réfléchissante. Le plan d’incidence est donc toujours perpendiculaire à la surface. Le rayon réfléchi forme un angle avec la normale à la surface réfléchissante. De plus l’angle formé entre le rayon incident et la normale, est égal à l’angle formé entre la normale et le rayon réfléchi.



Dans certains cas, on peut avoir ce que l’on appelle une réflexion totale. Elle se produit lorsque le rayon incident rencontre la surface réfléchissante avec un certain angle appelé angle limite. Le rayon incident est alors totalement réfléchi (une partie du rayon est réfractée dans une réflexion normale). L’angle d’incidence pour obtenir une réflexion totale dépend des 2 milieux.



Le rayon bleu subit une réflexion totale, tandis que le rayon rouge lui subit une réflexion normale. Tout dépend donc de l’angle d’incidence.

Rappel des lois de la réflexion

Il existe deux lois de Snell Descartes sur la réflexion :

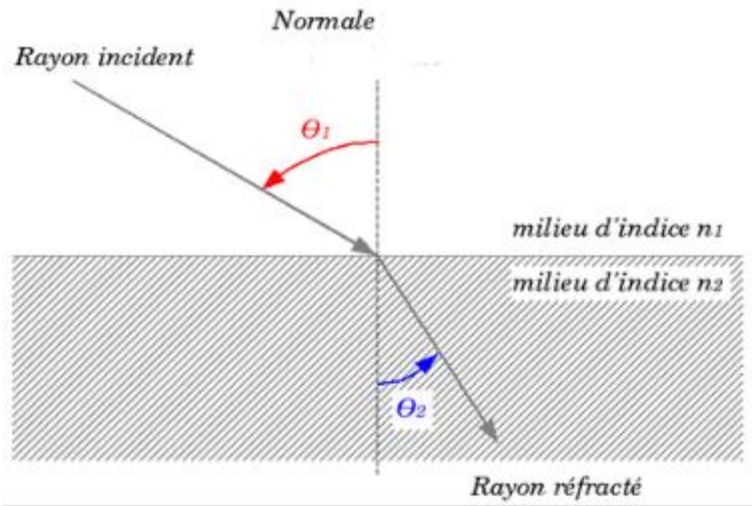
1. Le rayon réfléchi, le rayon incident et la normale sont dans le plan d’incidence ;
2. L’angle d’incidence est égal à l’angle de réflexion en valeur absolue.

2. Lois de Snell-Descartes pour la réfraction :

Cette loi exprime un changement de milieu. La rayon incident va traverser le second milieu, et va changer de direction. Chaque milieu est défini par un indice de réfraction, qui correspond à sa capacité à réfracter, à ralentir la lumière (n= c/V). Le rayon se trouvant de l'autre côté de la surface (dioptre) est appelé rayon réfracté.

L'angle formé par le rayon incident et la normale est dit angle d'incidence et celui formé par le rayon réfracté (dans le second milieu) et cette même normale, est appelé angle de réfraction. Ces deux angles sont liés par : $n_1 \ \sin\theta_1 = n_2 \ \sin\theta_2$

n1 est l'indice de réfraction du milieu 1 et n2 celui du second milieu.



Rappel des lois de la réfraction

Il existe aussi deux lois de Snell Descartes sur la réfraction :

1. Le rayon réfracté, le rayon incident et la normale sont dans le plan d'incidence ;
2. Soient n1 et n2 les indices des milieux, θ1 l'angle d'incidence et θ2 l'angle réfracté. La relation entre ces valeurs s'écrit :

n1 * sin(θ1) = n2 * sin(θ2)

Dans le cas de la réfraction, on rencontre 2 cas :

Etude de la réfraction d'un milieu à un milieu plus réfringent :

Si n1 < n2, cela implique que θ2 < θ1.

L'angle d'incidence (θ1) varie alors de 0 à π/2 et l'angle réfracté (θ2) varie de 0 à θmax, avec θmax = arcsin(n1 / n2).

Etude de la réfraction d'un milieu à un milieu moins réfringent :

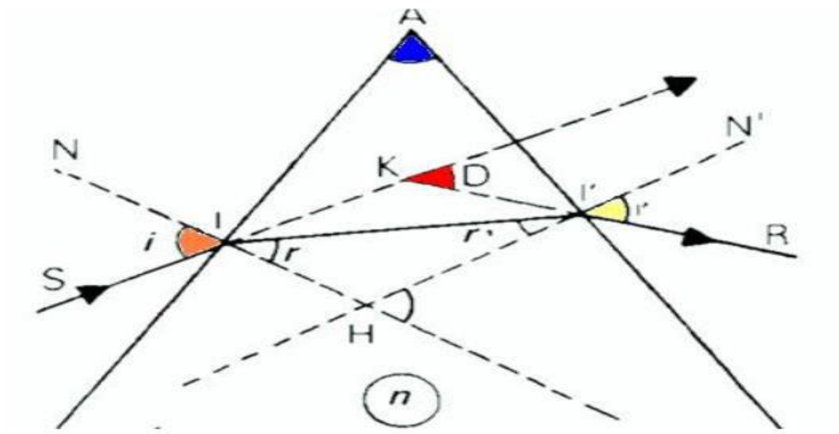
Si n1 > n2, cela implique que θ2 > θ1.

(θ2) est donc égal à π/2 pour (θ1) = θlim.

On a alors n1 * sin(θlim) = n2 * sin(θlim), avec θlim = arcsin(n2 / n1). Lorsque θ1 > θlim, on note le phénomène de réflexion totale.

III- Etude du prisme (expérience numérique) :

A- Les 4 lois du prisme :



On part de la formule de la loi de Snell – Descartes : n1 * sin(θ1) = n2 * sin(θ2) et on remplace par les données du problème :

1ère loi : Vérifions sin(i)= n * sin(r) :
n1 * sin(θ1) = n2 * sin(θ2)
Or n_{air} = 1 donc on a sin(i)= n * sin(r)

2ème loi : Vérifions n1*sin(r') = sin(i') :
On part de la formule de la loi de Snell – Descartes : n1 * sin(θ1) = n2 * sin(θ2)
Le rayon sort du prisme, c'est l'indice n2 qui devient égal à 1 car il sort dans l'air et n1 représente l'indice du prisme. On remplace par les données du problème et on obtient : n1 * sin(r') = sin(i')

3ème loi : $\text{Vérifions } \mathrm{A} = \mathrm{r} + \mathrm{r}'$ $$\mathrm{A} + \frac{\pi}{2} + \mathrm{I}\widehat{\mathrm{H}}\mathrm{I}' + \frac{\pi}{2} = 2\pi$$

$$A + I\widehat{H}I' = \pi$$

$$\Delta IHI' = r + r' + I\widehat{H}I' = \pi$$

Alors : $I\widehat{H}I' = \pi - (r + r')$

Donc : $A + \pi - (r + r') = \pi \Rightarrow \boldsymbol{A = r + r'}$

4ème loi : Vérifions D = i + i' - A

$$\mathrm{H}\widehat{\mathrm{I}'}K = i' \quad et \quad \mathrm{H}\widehat{\mathrm{I}}K = i$$
$$D = 180 - \mathrm{I}'\widehat{K}I$$
$$or, \mathrm{I}'\widehat{I}K = i - r \quad et \quad \mathrm{K}\widehat{\mathrm{I}'}I = i' - r$$

On a donc D= 180-(180-i'-i+r+r')
Alors D= i' + i –(r'+r)
D'où D= i'+i-A

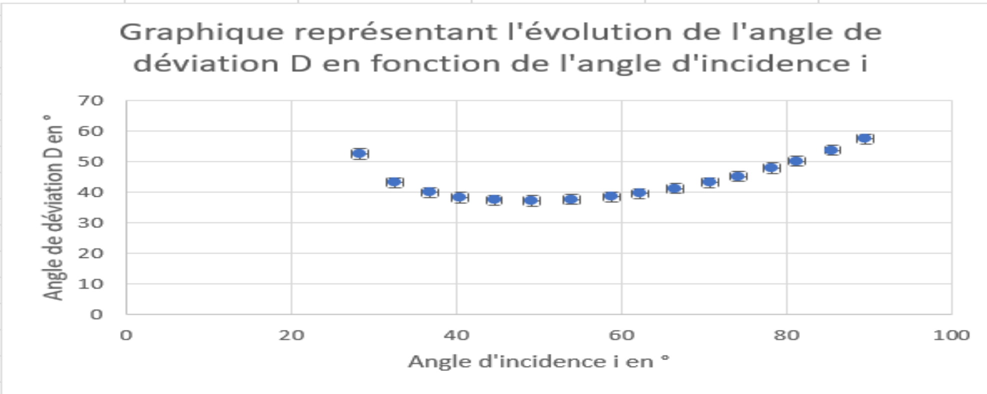
B-Expérience :

En manipulant le site de simulation numérique, on peut observer l'évolution de l'angle de déviation D en fonction de l'angle d'incidence i. On fixe A (l'angle au sommet du prisme) et N (l'indice du milieu de réfraction du prisme) qui prennent alors les valeurs 60° et 1,5 respectivement. Le milieu qui entoure le prisme a un indice de réfraction égal à 1.

On peut donc procéder aux mesures et on obtient le tableau suivant :

Angle d'incidence i en °	Angle de déviation D en °
28,3	52,6
32,6	43,2
36,8	39,9
40,5	38,3
44,6	37,4
49,2	37,2
54	37,6
58,8	38,5
62,2	39,6
66,6	41,2
70,7	43,2
74,2	45,2
78,3	47,9
81,3	50,2
85,6	53,8
89,6	57,5

On trace sur EXCEL, la courbe représentant l'évolution de l'angle D en fonction de l'angle i.



D'après le graphique, on remarque que le plus petit angle de déviation D est issu d'un angle d'incidence i qui est aux alentours de 50°. Avant cette valeur, on note que l'angle de déviation D diminue à chaque fois que l'angle d'incidence i augmente et inversement après cette valeur.

On remarque aussi qu'on obtient des valeurs que pour des angles d'incidence compris entre 28,3° et 89,6° (Voir images 1 et 2). En effet, pour les valeurs qui sont supérieures à 89,6°, il est impossible d'obtenir une expérience valide puisque le rayon incident changerait de face.

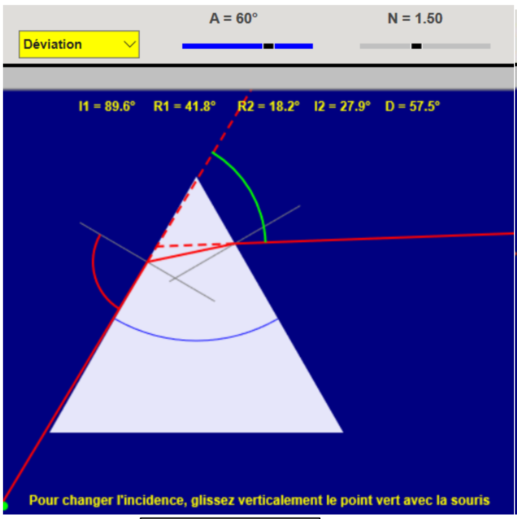


__IMAGE 1__

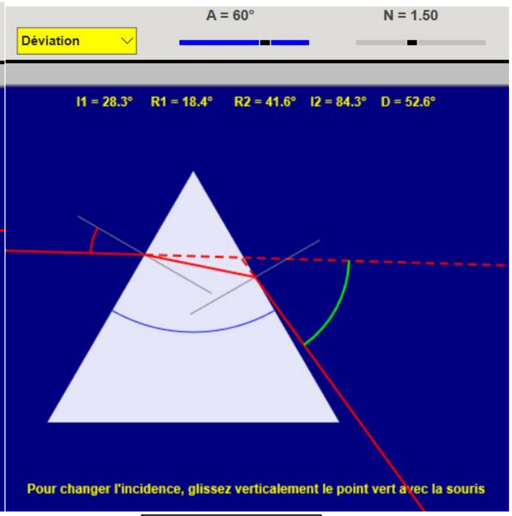


__IMAGE 2__

Et pour les rayons d'incidence dont la valeur est inférieure à 28,3°, on aura une réflexion totale : il n'y a plus de rayon réfracté et donc l'angle de déviation D n'est plus défini (voir image 3).

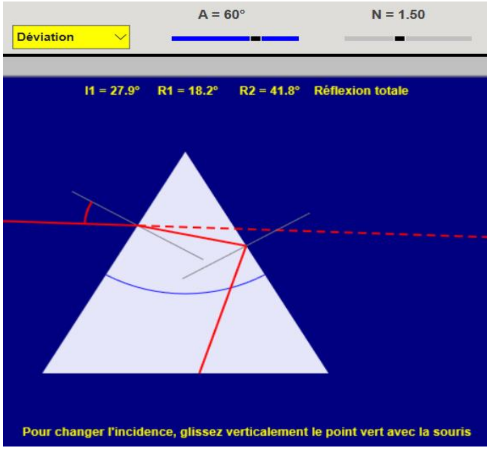


IMAGE 3

On cherche à démontrer que : $n = \frac{\sin\left(\frac{D_{min}+A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$

En se plaçant dans le cas d'une symétrie : i = i' ainsi que r = r'

Et D'après les lois du prisme :

$D(i) = i + i' - A$; $A = r + r' \Leftrightarrow r' = A - r$ et $\sin i = n * \sin r$

On a, $D_{min} = 2i - A \Rightarrow i = \frac{D_{min}+A}{2}$

$\Rightarrow r = \frac{A}{2}$

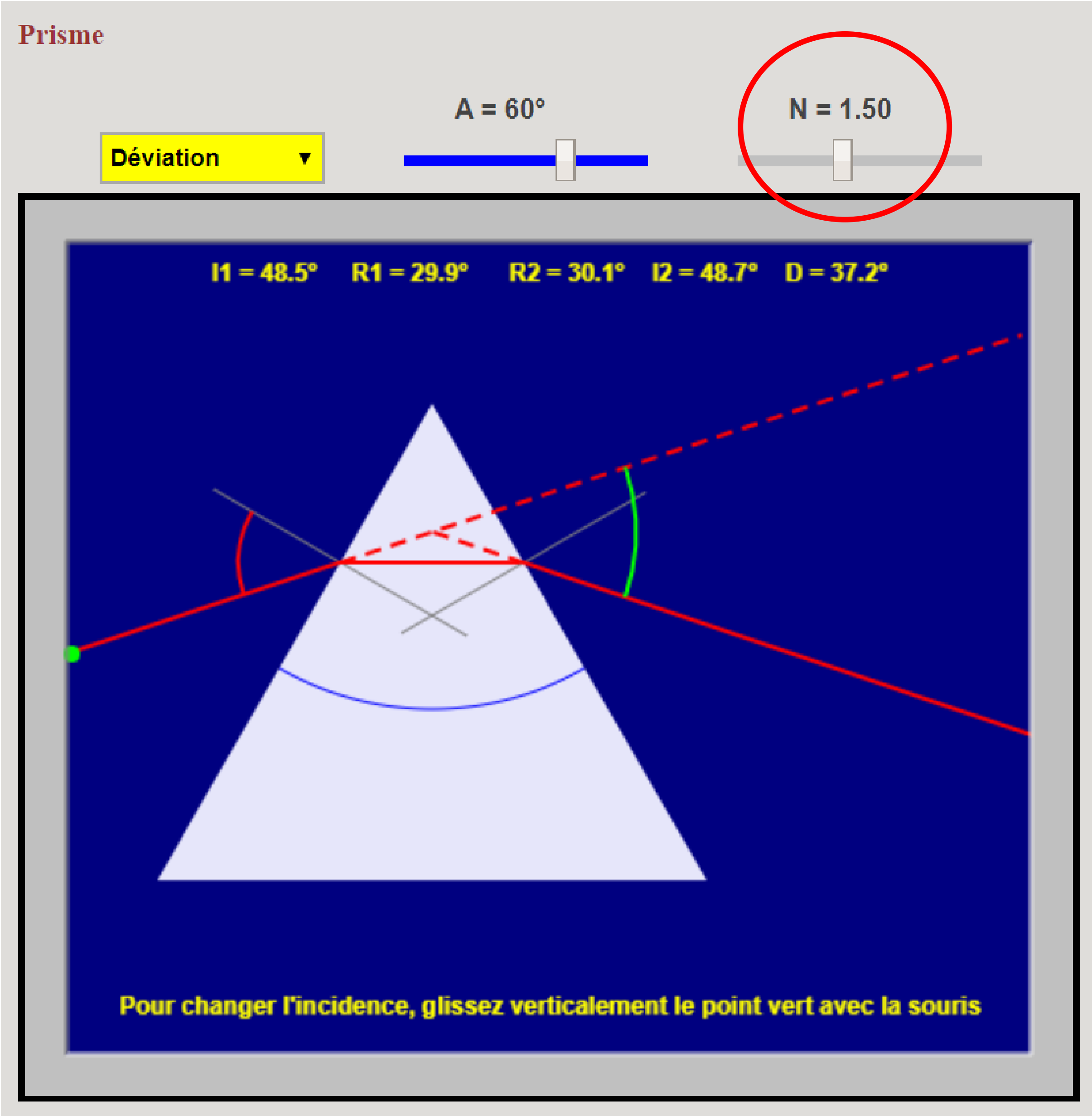
$$\frac{D_{min}+A}{2} = n\, sin(\frac{A}{2})$$

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

Dans l'expérience, on a D_{min} = 37,2 ° et A=60°.

$$n = \frac{\sin\left(\frac{37{,}2+60}{2}\right)}{\sin\left(\frac{60}{2}\right)} = 1{,}50$$

Or ici, dans notre simulateur numérique, on avait bien choisi une valeur de l'indice (N) de réfraction du prisme à 1,5. Le résultat est donc cohérent et vérifié.



IV-Conclusion :

Pour conclure sur ce TP, on peut dire qu'on a démontré les lois de Snell-Descartes et les lois du prisme ainsi que nous avons étudié quelques caractéristiques de l'optique géométrique.