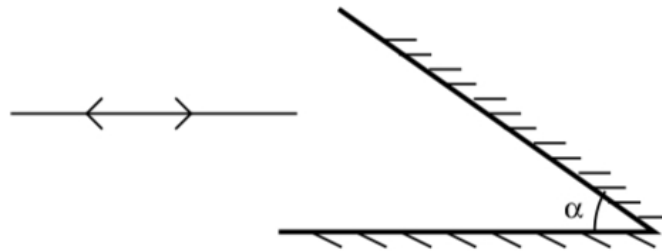


EXERCICE 1 Miroirs 1 point.

Un rayon lumineux pénètre dans un système optique composé de **2 miroirs plans** faisant un angle $\alpha = 45^\circ$ entre eux. Expliquer, par une construction, le fait que s'il rentre parallèlement à un miroir, il ressort du système en revenant sur lui-même après 3 réflexions.

**EXERCICE 2 Indice du diamant** 1 point.

Un faisceau laser se propage dans l'air et pénètre dans un diamant naturel. Le rayon incident fait un angle de 30° avec la normale, et le rayon réfracté un angle de 12° avec la normale.

Déterminer l'indice de réfraction du diamant.

EXERCICE 3 2 points.

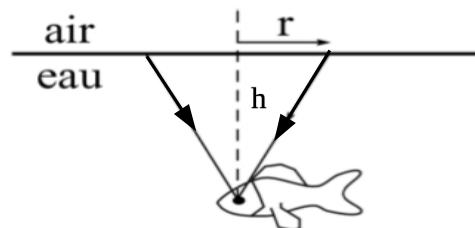
Un poisson est posé sur le fond d'un lac : il regarde vers le haut et voit à la surface de l'eau un disque lumineux de rayon r , centré à sa verticale, dans lequel il aperçoit tout ce qui est au-dessus de l'eau.

$$n_{\text{eau}} = 1,33 \text{ et } n_{\text{air}} = 1.$$

1) Expliquer cette observation.

2) Le rayon du disque est $r = 3,0 \text{ m}$.

A quelle profondeur h se trouve le poisson ?

**EXERCICE 4** Q.C.M. Barrer les réponses fausses. 2 points.

- L'indice de réfraction d'un milieu est défini par :

$$n = v/c \quad / \quad n = c v \quad / \quad n = c/v.$$

- Le changement de direction d'un faisceau lumineux passant d'un milieu transparent dans un autre milieu transparent est appelé :

réflexion / dispersion / diffraction / réfraction.

- Un faisceau lumineux se propage d'un milieu d'indice $n_1 = 1,7$ vers un milieu d'indice $n_2 = 1,2$

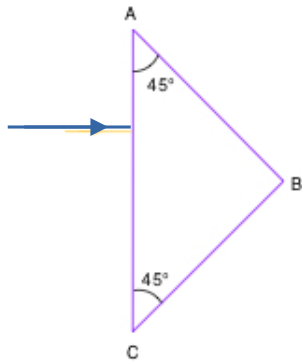
la réflexion totale est impossible / l'angle limite de réflexion totale est proche de 45° /
l'angle limite de réflexion totale est proche de 30°

EXERCICE 5 4 points.

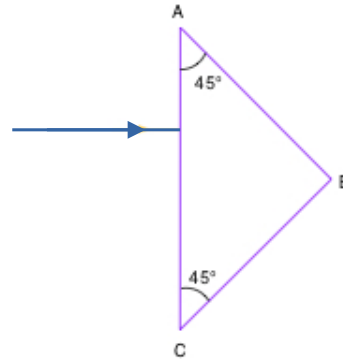
On considère un prisme ABC représenté ci-dessous : les angles en A et C valent 45° .

Si de la lumière arrive perpendiculairement à la face AC, quel est son trajet dans le prisme d'indice de réfraction $n_p = 1,5$; le prisme étant dans l'air ($n_{\text{air}} = 1$) ?

Quelle serait le trajet de la lumière si le prisme était dans l'eau. ($n_{\text{eau}} = 4/3$) ?



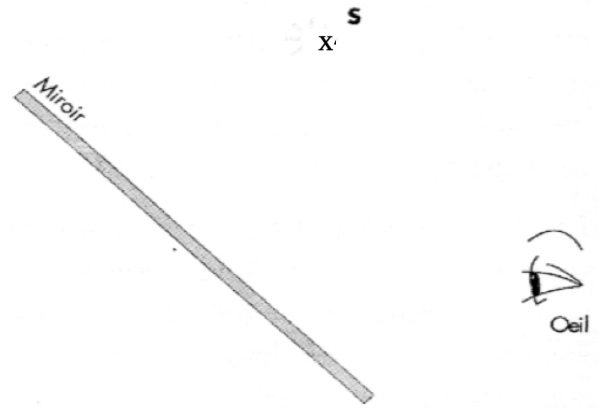
Prisme dans l'air.



Prisme dans l'eau.

EXERCICE 1 1 point.

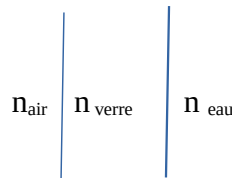
Tracer le rayon lumineux issu du point lumineux S qui pénètre dans l'oeil après avoir subi une réflexion sur le miroir.

**EXERCICE 2** : Aquarium 2 points.

La paroi d'un aquarium est constituée d'une lame de verre à faces parallèles, d'épaisseur 5,0 mm.

L'indice optique de l'air est $n_1 = 1,00$, celui du verre est $n_2 = 1,50$ et celui de l'eau est $n_3 = 1,33$.

Un rayon lumineux arrive sur la paroi (côté air) sous un angle d'incidence i_1 et ressort de la paroi (côté eau) sous un angle d'incidence i_3 . On appelle i_2 l'angle d'incidence du rayon lumineux dans la lame de verre.



Sachant que $i_1 = 46^\circ$, calculer i_2 et i_3 .

EXERCICE 3 1 point.

En été, par temps ensoleillé, un observateur situé dans une voiture A sur une route rectiligne voit une image renversée de la voiture B située à quelques centaines de mètres devant lui. Comment expliquez-vous ce phénomène ?



EXERCICE 4 Q.C.M. Barrer les réponses fausses. 2 points.

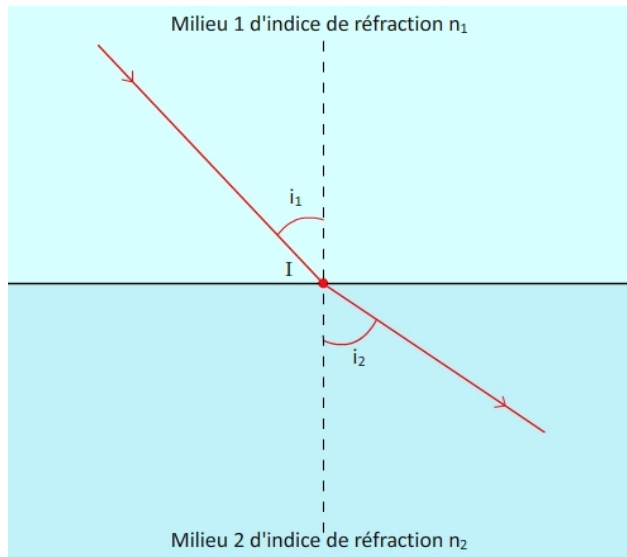
- Soit une onde électromagnétique de longueur d'onde λ_0 dans le vide, dans un milieu d'indice n , sa longueur d'onde λ est modifiée et vaut :

$$\lambda = \lambda_0 / n. \quad / \quad \lambda = \lambda_0 n.$$

- L'indice de réfraction n d'un milieu transparent

est sans unité / a pour unité le m/s / peut être supérieur à 1 / peut être inférieur à 1.

- Voir schéma ci-dessous :



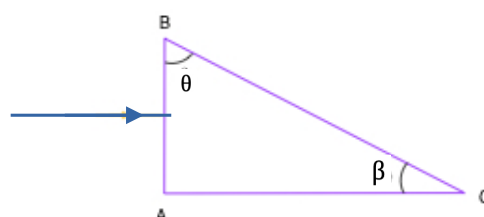
l'indice de réfraction du milieu 1 est supérieur à celui du milieu 2 / l'indice de réfraction du milieu 1 est inférieur à celui du milieu 2 / les deux milieux ont le même indice de réfraction.

EXERCICE 5 4 points.

Un prisme ABC en verre ($n = 3/2$) est plongé dans l'air ($n_{\text{air}} = 1$). Un rayon lumineux rentre dans le prisme perpendiculairement à la face AB.

1. Que se passe-t-il pour un rayon lumineux qui arrive perpendiculairement à une surface de séparation ?
2. Exprimez ensuite, à l'aide des angles du triangle rectangle ABC, l'angle d'incidence i du rayon lorsqu'il atteint la face hypoténuse BC. Montrez que cet angle d'incidence est égal à l'angle θ en B.
3. Écrivez l'inégalité que doit respecter l'angle θ pour que le rayon ne sorte pas du prisme par la face BC. Calculez l'angle limite.
4. Que se passe-t-il si le prisme est plongé dans l'eau ($n = 4/3$) ?

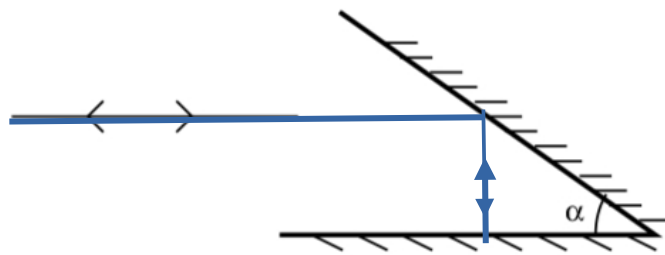
..



SUJET A

EXERCICE 1 : Miroirs (1 point)

1. Le rayon entre parallèlement à l'un des miroirs (le miroir horizontal).
2. Il subit une première réflexion sur le second miroir incliné à 45° . Par application des lois de Descartes pour la réflexion et de la géométrie du triangle formé par les deux miroirs et les rayons, on calcule l'angle d'incidence à chaque rebond.
3. De proche en proche, après 3 réflexions successives, l'angle d'incidence sur le dernier miroir devient nul (incidence normale), ce qui contraint le rayon lumineux à faire demi-tour exact et à rebrousser chemin exactement sur sa trajectoire d'origine.



EXERCICE 2 : Indice du diamant (1 point)

Données :

Angle d'incidence : $i_1 = 30^\circ$ (dans l'air, $n_1 = 1$)

Angle de réfraction : $i_2 = 12^\circ$ (dans le diamant, d'indice n_2)

Formule (Loi de Snell-Descartes) :

$$n_1 \cdot \sin(i_1) = n_2 \cdot \sin(i_2)$$

Calcul : $1 \cdot \sin(30) = n_2 \cdot \sin(12)$

Réponse : L'indice de réfraction du diamant est de 2,42.

EXERCICE 3 : Disque lumineux du poisson (2 points)

1. Explication de l'observation :

Les rayons lumineux provenant de l'extérieur de l'eau subissent une réfraction en pénétrant dans le milieu aquatique. En raison du phénomène de réfraction limite, tous les rayons provenant de l'extérieur ne peuvent pénétrer qu'à l'intérieur d'un cône lumineux dont le sommet est le poisson. Vu du fond, ce cône apparaît sous la forme d'un disque lumineux circulaire.

2. Calcul de la profondeur h :

L'angle limite de réfraction (ou angle critique) i_{lim} se calcule avec la loi de Descartes :

$$n_{eau} \cdot \sin(i_{lim}) = n_{air} \cdot \sin(90^\circ) \implies \sin(i_{lim}) = \frac{n_{air}}{n_{eau}} = \frac{1}{1,33} \approx 0,7519$$

On en déduit l'angle : $i_{lim} \approx 48,8^\circ$.

Dans le triangle rectangle formé par la profondeur h , le rayon du disque r et l'angle limite i_{lim} :

$$\tan(i_{lim}) = \frac{r}{h} \implies h = \frac{r}{\tan(i_{lim})}$$

$$\tan(48,8^\circ) \approx 1,142 \quad h = 3,0 / 1,142 \approx 2,63 \text{ m}$$

EXERCICE 4 : Q.C.M. (2 points)

- L'indice de réfraction d'un milieu est défini par : $n=c/v$
- Le changement de direction d'un faisceau lumineux passant d'un milieu transparent dans un autre est appelé : **réfraction**
- Un faisceau lumineux se propage d'un milieu $n_1=1,7$ vers $n_2=1,2$:

l'angle limite de réflexion totale est proche de 45° ($i_{lim} \approx 44,8^\circ$)

EXERCICE 5 : Prisme (4 points)

Prisme dans l'air ($n_p = 1,5$; $n_{air} = 1$) :

Le rayon arrive perpendiculairement à la face AC, donc il traverse sans être dévié ($i=0^\circ$).

Il arrive sur BC avec un angle d'incidence $i=45^\circ$.

L'angle limite de réfraction verre/air est $i_{lim} \approx 41,8^\circ$.

Comme l'angle d'incidence (45°) est supérieur à l'angle limite ($41,8^\circ$), **il y a réflexion totale**.

Le rayon ressort perpendiculairement par l'autre face.

Prisme dans l'eau ($n_{eau}=4/3 \approx 1,33$) :

L'angle limite devient $i_{lim} \approx 62,7^\circ$.

L'angle d'incidence restant de 45° , il est cette fois-ci **inférieur** à l'angle limite ($62,7^\circ$). **Le rayon est donc réfracté** et sort du prisme dans l'eau au lieu de subir une réflexion totale.

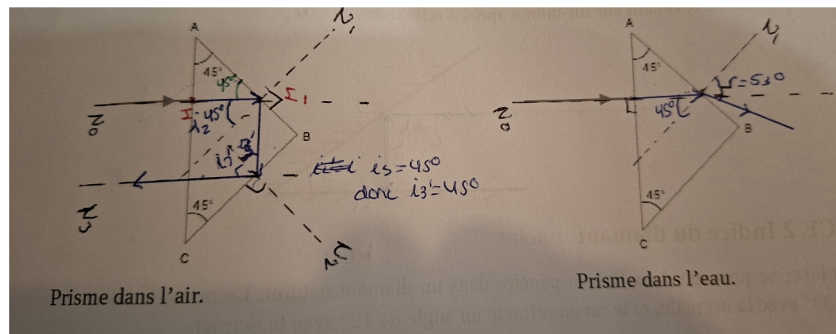
Sur la face de sortie du prisme vers l'eau, puisque le rayon sort du prisme pour aller dans l'eau, on applique la loi de Snell-Descartes ($n_p \cdot \sin(i_1) = n_{eau} \cdot \sin(i_2)$) :

$$1,5 \cdot \sin(45^\circ) = \frac{4}{3} \cdot \sin(i_2)$$

$$\sin(i_2) = \frac{1,5 \cdot 0,7071}{1,333} \approx 0,7955$$

$$i_2 = \arcsin(0,7955) \approx \mathbf{52,7^\circ}$$

Le rayon réfracté émerge dans l'eau avec un angle de réfraction de $52,7^\circ$ par rapport à la normale de cette face.



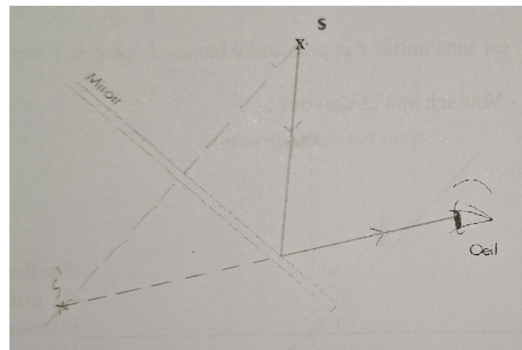
SUJET B

EXERCICE 1 : Traçage (1 point)

Pour tracer le rayon issu de S qui atteint l'œil après réflexion sur le miroir, on construit le point symétrique S' de S par rapport au plan du miroir (image virtuelle).

On trace ensuite une ligne droite reliant S' à l'œil. Le point d'intersection de cette droite avec le miroir définit le point d'impact I.

Le rayon lumineux part de S, touche le miroir en I, puis est réfléchi vers l'œil en respectant l'égalité de l'angle d'incidence et de l'angle de réflexion.



EXERCICE 2 : Aquarium à faces parallèles (2 points)

Données : $n_1 = 1,00$ (air), $n_2 = 1,50$ (verre), $n_3 = 1,33$ (eau), $i_1 = 46^\circ$, épaisseur $e = 5,0$ mm.

Calcul de i_2 (passage air $\rightarrow$ verre) :

$$n_1 \cdot \sin(i_1) = n_2 \cdot \sin(i_2) \implies \sin(i_2) = \frac{1,00 \cdot \sin(46^\circ)}{1,50} = \frac{0,7193}{1,50} \approx 0,4796$$

$$i_2 = \arcsin(0,4796) \approx \mathbf{28,7^\circ}$$

Calcul de i_3 (passage verre $\rightarrow$ eau) :

Par la propriété des dioptres à faces parallèles, l'angle d'incidence sur la seconde face est également égal à i_2 .

$$n_2 \cdot \sin(i_2) = n_3 \cdot \sin(i_3) \implies \sin(i_3) = \frac{1,50 \cdot \sin(28,7^\circ)}{1,33} = \frac{1,00 \cdot \sin(46^\circ)}{1,33}$$

$$i_3 = \arcsin(0,5408) \approx \mathbf{32,7^\circ}$$

EXERCICE 3 : Mirage routier (1 point)

En été, par temps très ensoleillé, la couche d'air directement en contact avec l'asphalte surchauffé est beaucoup plus chaude que les couches supérieures. Cette variation de température induit un gradient d'indice de réfraction de l'air (l'indice diminue près du sol).

Les rayons lumineux issus de la voiture B (ou du ciel) subissent des réfractions successives et finissent par subir une réflexion totale vers le haut avant de toucher le sol, créant l'illusion d'une surface miroitante (flaque d'eau virtuelle) et renvoyant une image renversée de la voiture B à l'observateur en A.

EXERCICE 4 : Q.C.M. (2 points)

- Dans un milieu d'indice n , la longueur d'onde est modifiée et vaut : $\lambda = \lambda_0 / n$
- L'indice de réfraction n d'un milieu transparent :

est sans unité / peut être supérieur à 1 /

Analyse du schéma (Milieu 1 vers Milieu 2) :

- D'après la déviation du rayon par rapport à la normale (le rayon s'écarte de la normale dans le milieu 2, ce qui signifie $i_2 > i_1$), la loi de Descartes ($n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)$) implique que l'indice du milieu 1 est plus grand.

l'indice de réfraction du milieu 1 est supérieur à celui du milieu 2.

EXERCICE 5 : Prisme dans l'air et dans l'eau (4 points)

1. Le rayon traverse la surface de séparation sans être dévié (l'angle d'incidence est nul, $i=0^\circ$).
2. Dans le triangle rectangle du prisme, la géométrie montre par complémentarité d'angles que l'angle d'incidence i du rayon sur l'hypoténuse est strictement égal à l'angle θ .

3. Condition de non-sortie (réflexion totale)

Pour que le rayon ne sorte pas, il faut que l'angle d'incidence soit supérieur ou égal à l'angle limite : $\theta \geq i_{\text{lim}}$.

Calcul de l'angle limite pour le verre ($n=3/2=1,5$) dans l'air ($n=1$) :

$$\sin(i_{\text{lim}}) = \frac{1}{1,5} \implies i_{\text{lim}} = \arcsin(0,667) \approx 41,8^\circ$$

4. Plongée dans l'eau ($n=4/3$) :

Le nouvel angle limite :

$$\sin(i_{\text{lim}}) = \frac{4/3}{3/2} = \frac{8}{9} \approx 0,889 \implies i_{\text{lim}} \approx 62,7^\circ$$

Si l'angle θ du prisme est inférieur à $62,7^\circ$ (par exemple 45° comme dans le sujet A), le rayon ne subit plus de réflexion totale et sort du prisme en étant réfracté dans l'eau.

L'angle d'incidence (45°) est cette fois-ci **inférieur** à l'angle limite ($62,7^\circ$).

Il n'y a donc pas de réflexion totale. Le rayon traverse la face de séparation et **sort du prisme pour aller dans l'eau.**

En appliquant la loi de Descartes ($n_p \cdot \sin(i_1) = n_{\text{eau}} \cdot \sin(i_2)$)

$$1,5 \cdot \sin(45^\circ) = \frac{4}{3} \cdot \sin(i_2)$$

$$1,5 \cdot 0,7071 = 1,333 \cdot \sin(i_2) \implies \sin(i_2) \approx 0,7955$$

$$i_2 = \arcsin(0,7955) \approx \mathbf{52,7^\circ}$$

Contrairement au cas dans l'air, le rayon lumineux est réfracté dans l'eau en émergeant avec un angle de réfraction de $52,7^\circ$ par rapport à la normale.

