

Chapitre 3: Réfraction de la lumière

1. Expérience 1 : tour de magie avec une pièce de monnaie

a) Disposition

Autour d'une petite boîte contenant une pièce de 1 € de nombreux observateurs se placent tel que le bord de la boîte leur cache tout juste la pièce. (Un tout petit déplacement de la tête suffirait pour voir la pièce !)

b) Déroulement

Pendant que les observateurs maintiennent leur tête immobile on verse de l'eau dans la boîte.

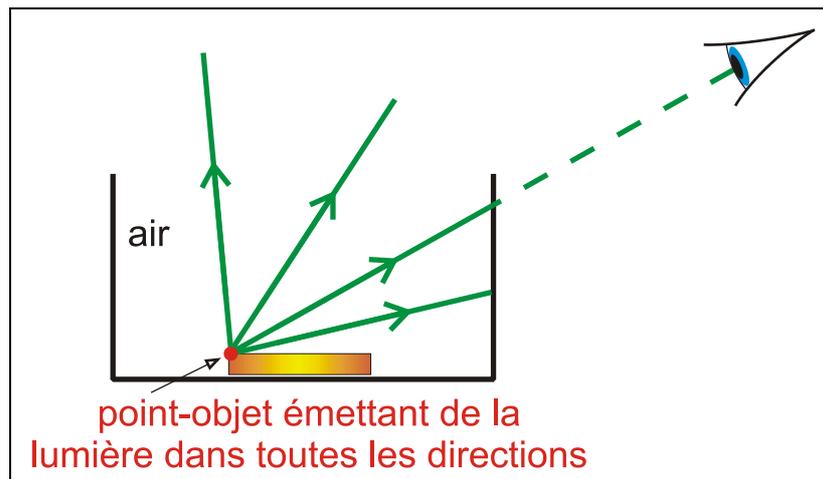
c) Observation

Bien que ni la pièce ni les têtes n'aient bougé la pièce est devenue visible pour tous les observateurs.

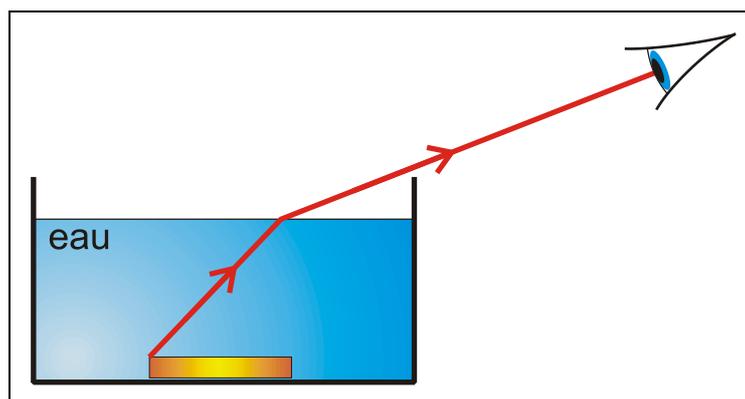
d) Explication

Tout point-objet de la pièce émet des rayons lumineux dans toutes les directions.

Lorsqu'il n'y a pas d'eau, aucun de ces rayons n'aboutit à l'œil.



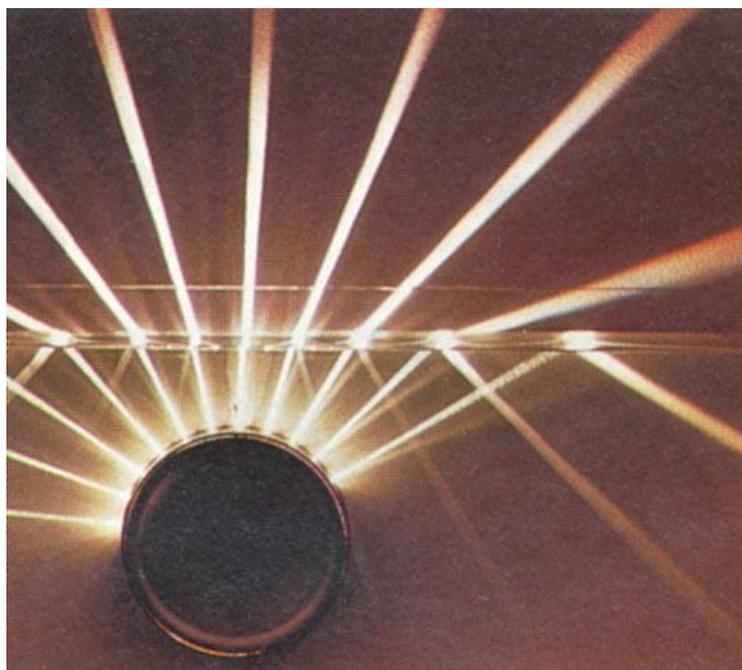
En présence d'eau, les rayons lumineux émis par la pièce traversent la surface de séparation entre l'eau et l'air. Ces rayons subissent alors un **brusque changement de direction : la lumière est réfractée** ! Ce phénomène s'appelle **la réfraction de la lumière**.



Lorsqu'il y a de l'eau, des rayons émis par la pièce et ayant subi la réfraction passent sans problème dans l'œil.

2. Expérience 2 : source lumineuse sous l'eau

Une source lumineuse placée sous l'eau émet de minces faisceaux de lumière dans des directions différentes.



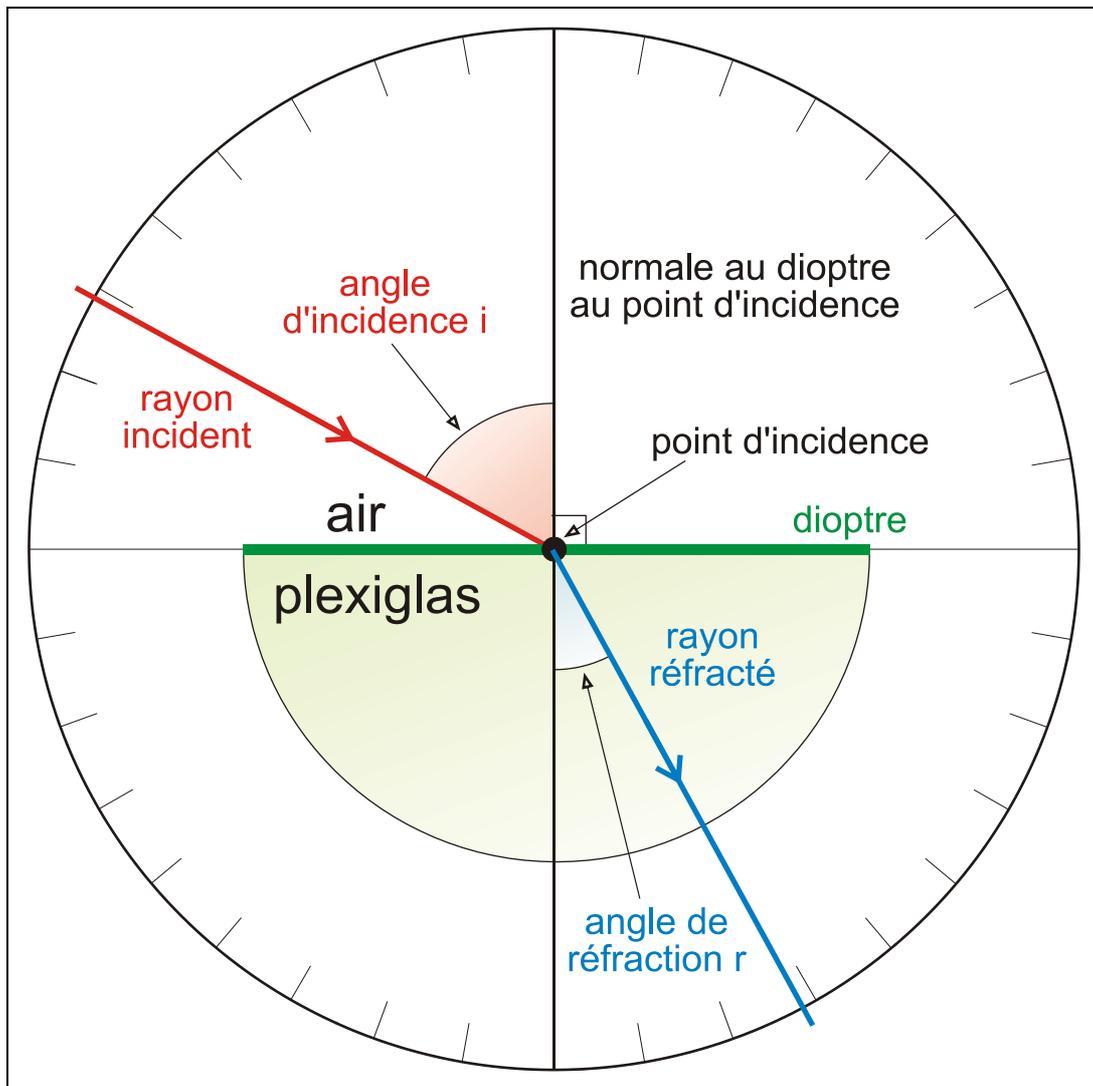
Observations

1. La lumière subit la réfraction en sortant de l'eau.
2. La surface de séparation eau/air réfléchit également une partie de la lumière.
3. Un faisceau de lumière très oblique par rapport à la surface de séparation eau/air n'arrive pas à sortir de l'eau : il est totalement réfléchi.

3. Expérience 3 : lumière passant de l'air dans le plexiglas

a) Dispositif expérimental

Sur un disque vertical muni d'une graduation d'angle on dispose, en son centre, un demi-disque en plexiglas. On dirige un faisceau laser tangentielllement au plan du disque vers le centre de celui-ci sur le côté plan du demi-disque. Cette surface de séparation entre deux milieux transparents différents s'appelle **dioptr**.



b) Observations

- * Au point d'incidence, la lumière traverse le dioptr air/plexiglas avec un brusque changement de direction de la lumière (réfraction).
- * Le rayon réfracté est également tangentielllement au plan du disque.

Dans cette expérience la lumière passe **d'un milieu moins réfringent dans un milieu plus réfringent !**

c) Mesures

Mesurons l'angle de réfraction r pour différents angles d'incidence i .

i (°)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	85
r (°)										
$\sin i$										
$\sin r$										
$\frac{\sin i}{\sin r}$										

d) Conclusions

1. Sauf pour $i = 0^\circ$, l'angle de réfraction est plus petit que l'angle d'incidence : le rayon réfracté se rapproche de la normale.
2. La réfraction est d'autant plus prononcée que l'angle d'incidence est plus grand.
3. Il n'y a pas de réfraction si la lumière incidente vient perpendiculairement au dioptre ($i = 0^\circ \Rightarrow r = 0^\circ$). Il n'y a donc pas de réfraction à la sortie du plexiglas où i est toujours nul.
4. L'angle de réfraction maximum vaut : $\lambda = \text{---}^\circ$
5. Le rayon réfracté se trouve dans le plan d'incidence (= plan formé par la normale au dioptre et le rayon incident).
6. Il n'y a pas de proportionnalité entre i et r , mais entre $\sin i$ et $\sin r$.

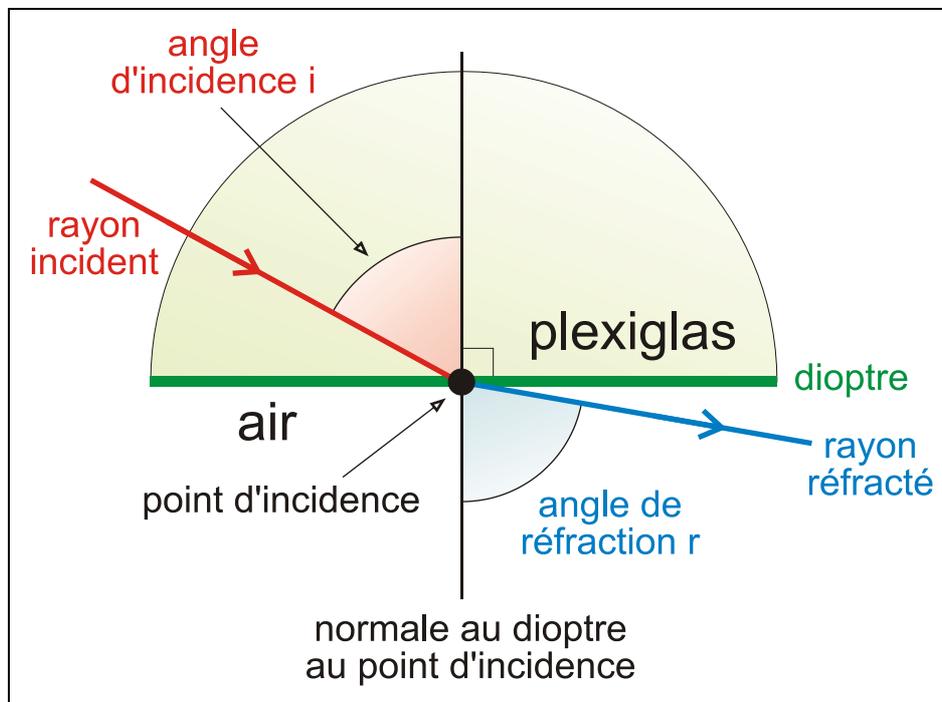
$$\frac{\sin i}{\sin r} = \text{constante} = \text{---}$$

Cette constante est appelée **indice de réfraction relatif du plexiglas par rapport à l'air**. Elle dépend des caractéristiques du plexiglas et de l'air, ainsi que de la couleur de la lumière.

4. Expérience : lumière passant du plexiglas dans l'air

a) Description

Refaisons l'expérience précédente mais inversons le sens de propagation de la lumière : Le premier milieu est le plexiglas, le deuxième milieu est l'air.



Il n'y a pas de réfraction à l'entrée dans le plexiglas où i est toujours nul. Nous étudions la réfraction à la sortie du plexiglas.

Dans cette expérience la lumière passe **d'un milieu plus réfringent dans un milieu moins réfringent !**

Choisissons comme valeurs de l'angle d'incidence i successivement les valeurs de l'angle de réfraction de l'expérience précédente.

b) Résultats de mesure

Les angles de réfraction sont égaux aux angles d'incidence respectifs de l'expérience précédente.

c) Conclusions

1. La lumière emprunte le même trajet indépendamment du sens de la propagation. Cette propriété est encore connue sous le nom de **loi du retour inverse de la lumière**.
2. Sauf pour $i = 0$ l'angle de réfraction est plus grand que l'angle d'incidence : le rayon réfracté s'éloigne de la normale.
3. Si $i = \lambda$ (**angle d'incidence limite**), alors $r' = 90^\circ$; si $i > \lambda$, alors la lumière ne peut plus passer dans le second milieu: **elle est totalement réfléchie**. Le dioptre agit alors comme un miroir parfait.
4. Il y a proportionnalité entre $\sin i$ et $\sin r$. La constante de proportionnalité est égale à l'inverse de la constante de proportionnalité de l'expérience précédente.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \text{constante} = \underline{\hspace{2cm}}$$

La constante est appelée **indice de réfraction relatif de l'air par rapport au plexiglas**. Elle dépend des caractéristiques du plexiglas et de l'air, et de la couleur de la lumière.

5. Indice de réfraction. Lois de Snell-Descartes**a) Indice de réfraction relatif d'un milieu 2 par rapport à un milieu 1 : $n_{2/1}$**

L'indice de réfraction du 2^e milieu par rapport au 1^{er} milieu est d'autant plus grand que la réfraction est, pour un même angle d'incidence, plus prononcée.

Exemple pour i (dans l'air) = 50° , r (dans le plexiglas) = 30°

pour i (dans l'air) = 50° , r (dans l'eau) = 35° .

L'indice de réfraction **de l'eau par rapport à l'air** ($n_{\text{eau/air}} = 1,33$) est donc plus petit que celui **du plexiglas par rapport à l'air** ($n_{\text{plexi/air}} = 1,5$).

Une étude théorique plus poussée montre que la réfraction de la lumière est due au fait que la lumière se propage avec des célérités (vitesses) différentes dans différents milieux.

Elle permet d'établir une relation entre l'indice de réfraction $n_{2/1}$ et le rapport des célérités dans les deux milieux.

$$n_{2/1} = \frac{c_1}{c_2}$$

(c_1 = célérité de la lumière dans le milieu 1 ; c_2 = célérité de la lumière dans le milieu 2)

Il s'ensuit que $n_{1/2} = \frac{1}{n_{2/1}}$, ce qui est bien vérifiée par l'expérience !

Si le 2^e milieu est **plus** réfringent que le 1^{er} milieu : $n_{2/1} > 1$ et $r < i$.

Si le 2^e milieu est **moins** réfringent que le 1^{er} milieu : $n_{2/1} < 1$ et, alors $r > i$.

b) Indice de réfraction absolu d'un milieu

L'indice de réfraction absolu d'un milieu est l'indice relatif de ce milieu par rapport au vide.

$$n_{\text{milieu}} = \frac{c}{c_{\text{milieu}}}$$

(formule à retenir)

(c = célérité de la lumière dans le vide)

Tableau de quelques indices de réfraction absolus

Milieu	n
plexiglas	1,49
eau	1,33
verre ordinaire	1,50
cristal au plomb	1,6 à 1,8
diamant	2,42
air (c. n. de p et T)	1,00029

c) Relation entre les indices de réfraction absolus n_2 et n_1 , et l'indice de réfraction relatif $n_{2/1}$

On montre aisément à l'aide des formules précédentes que $n_{2/1} = \frac{n_2}{n_1}$

d) Enoncé des lois de Snell-Descartes de la réfraction

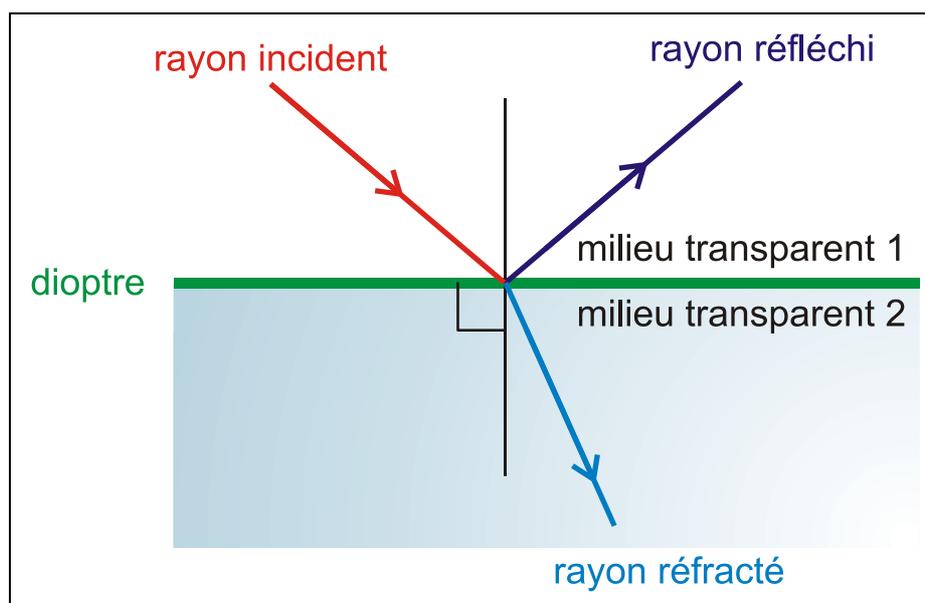
Si un rayon lumineux passe d'un premier milieu d'indice de réfraction absolu n_1 dans un deuxième milieu d'indice de réfraction n_2 , alors il subit une réfraction tel que :

1. **Le rayon incident, la normale au dioptre et le rayon réfracté sont dans un même plan.**
2. **L'angle de réfraction et l'angle d'incidence sont reliés par la relation :**

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{2/1} = \frac{n_2}{n_1} \Leftrightarrow n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin r$$

e) Remarque : réfraction accompagnée de réflexion

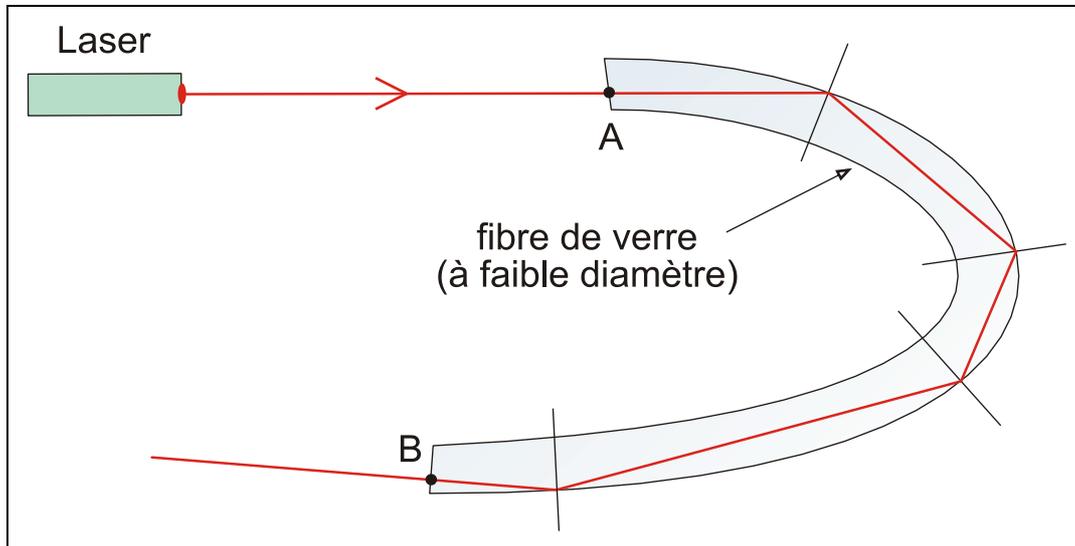
Les deux expériences ont montré qu'en dehors de la lumière réfractée, une partie de la lumière est également réfléchi par le dioptre selon les lois de Descartes de la réflexion.



6. Application de la réflexion totale : fibres optiques

Le rayon lumineux entrant en A subit un très grand nombre de réflexions totales ($i > \lambda$) et sort finalement en B.

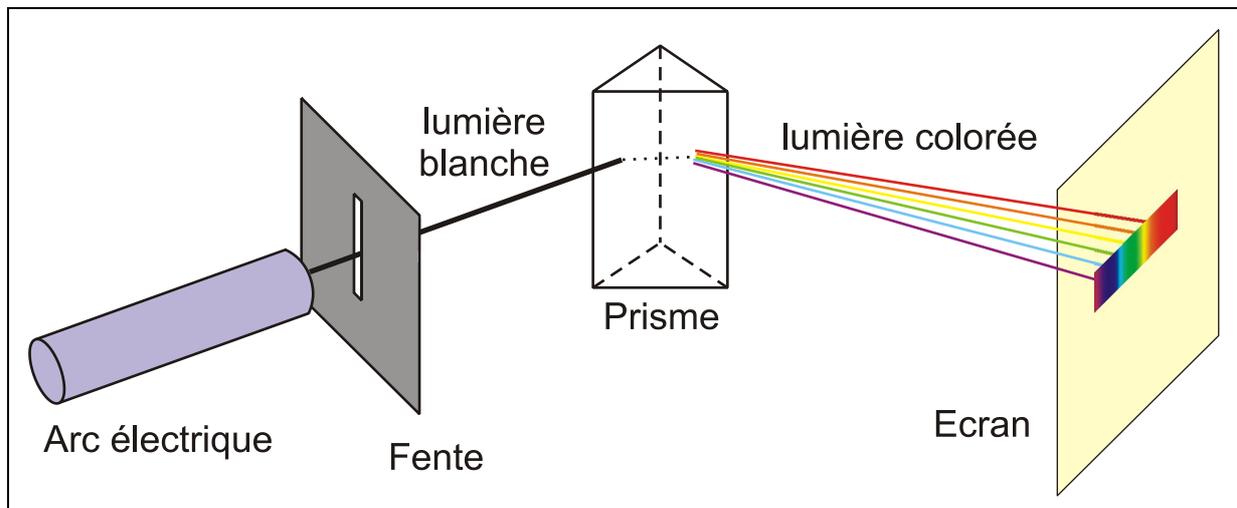
Applications en médecine (endoscopie) et en électronique (transmission de données).



7. Dispersion de la lumière

a) Expérience : Dispersion de la lumière blanche par un prisme

En faisant subir deux réfractions successives à un mince faisceau de lumière blanche au moyen d'un prisme en verre, on constate que la lumière blanche a été décomposée en un spectre allant du rouge au violet (couleurs de l'arc-en-ciel).



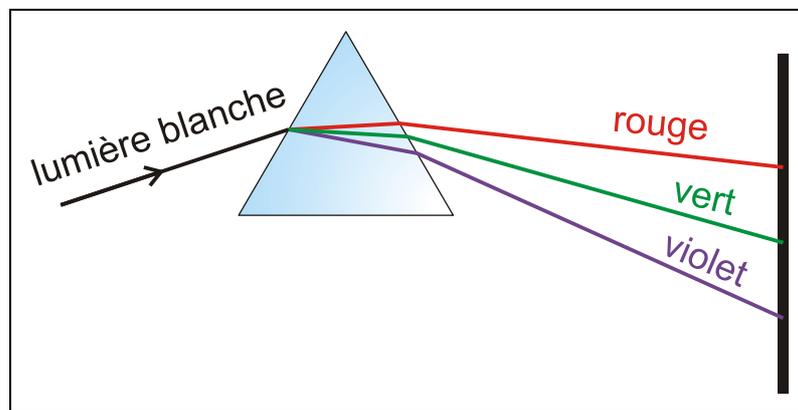
Interprétation

Ce phénomène, appelé dispersion de la lumière, s'explique en admettant que **l'indice de réfraction dépend de la longueur d'onde de la lumière** : l'indice de réfraction correspondant à la plus grande longueur d'onde (le rouge) est plus petit que celui correspondant à la plus petite longueur d'onde (le violet).

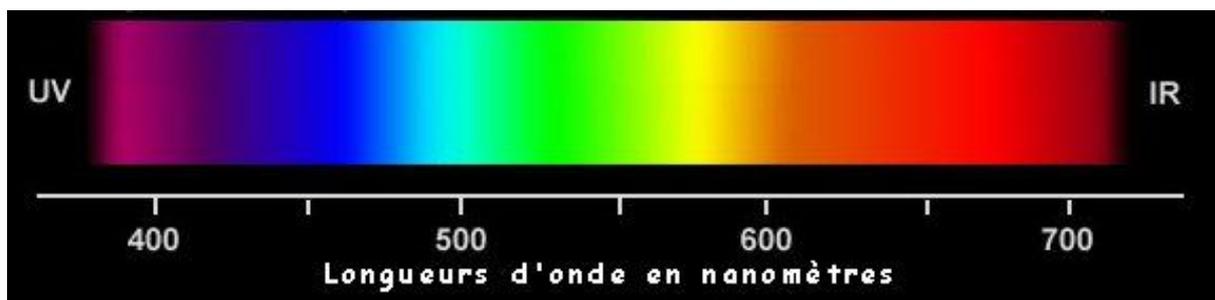
Ceci veut dire que la vitesse de la lumière rouge dans le verre est plus grande que celle de la lumière violette !

Ainsi le rouge est moins fortement réfracté que le violet de sorte que le rouge et le violet se retrouvent séparés sur l'écran. Les autres couleurs correspondant à des longueurs d'onde intermédiaires s'intercalent entre le rouge et le violet : on observe **le spectre** complet de la lumière blanche.

Pour le verre : $n_{\text{rouge}} = 1,50$ et $n_{\text{violet}} = 1,52$.



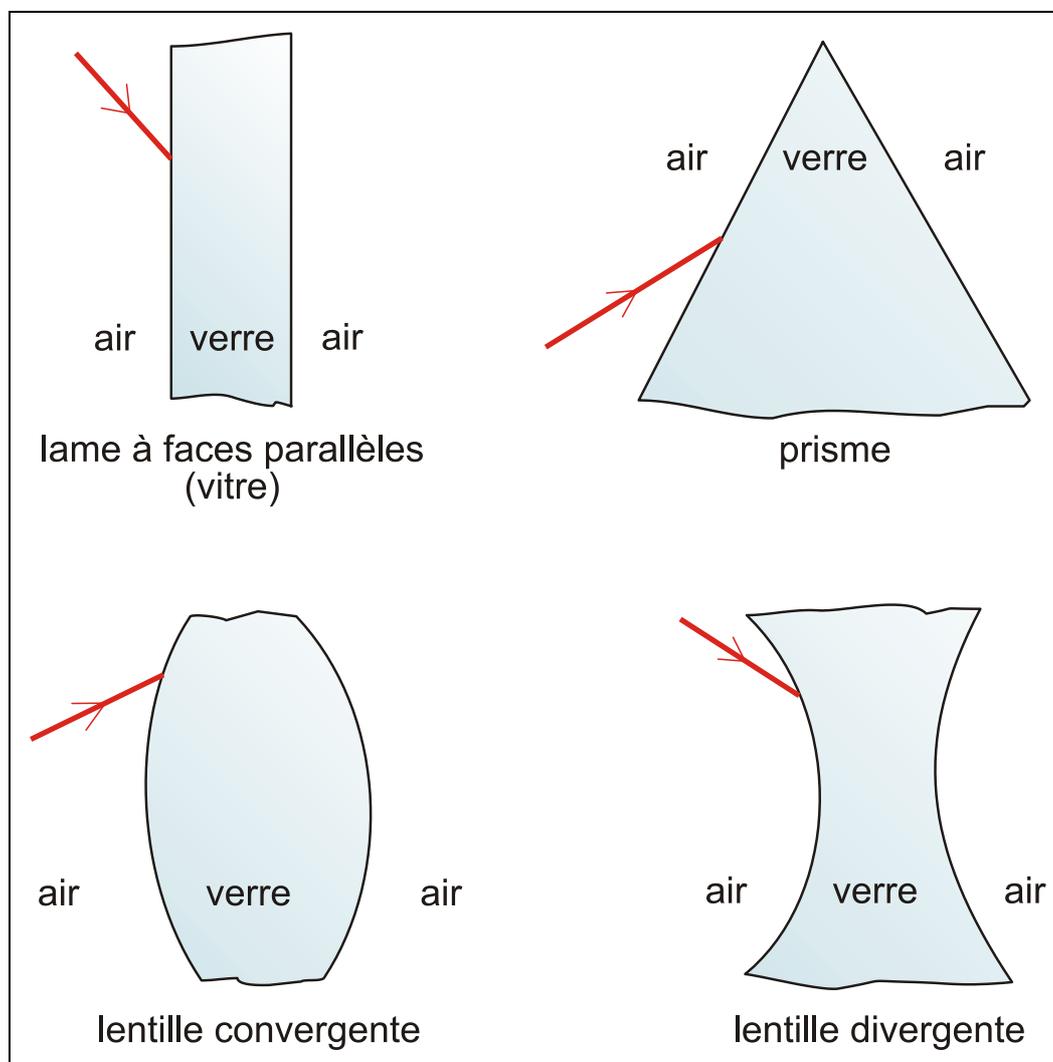
b) Spectre de la lumière blanche



Exercices supplémentaires

1 Tracé de rayons lumineux

Tracer le trajet des rayons lumineux à travers une vitre, un prisme, une lentille convergente et une lentille divergente.



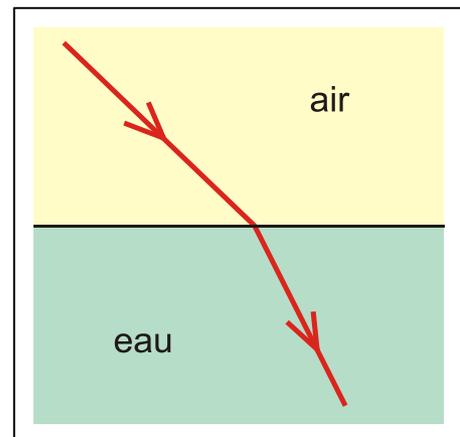
2 Réfraction au dioptre verre - eau

Un rayon lumineux se propageant dans le verre d'indice de réfraction 1,53 et faisant un angle de 70° avec le dioptre, sort dans l'eau d'indice de réfraction absolu 1,33.

- Quel est l'angle d'incidence?
- Calculer l'angle de réfraction.

3 Réfraction au dioptre air - eau

On schématise à la figure ci-dessous la réfraction d'un rayon de lumière monochromatique passant de l'air dans l'eau.



- Reproduire et compléter ce schéma en indiquant le point d'incidence, en dessinant la normale à la surface de séparation des deux milieux et en indiquant les angles d'incidence et de réfraction.
- Donner l'expression de la seconde loi de Snell-Descartes.
- Calculer l'angle de réfraction si l'angle d'incidence vaut 45° , sachant que l'indice de réfraction absolu de l'eau vaut 1,33 et que celui de l'air vaut 1,00.

4 Réfraction au dioptre air - diamant

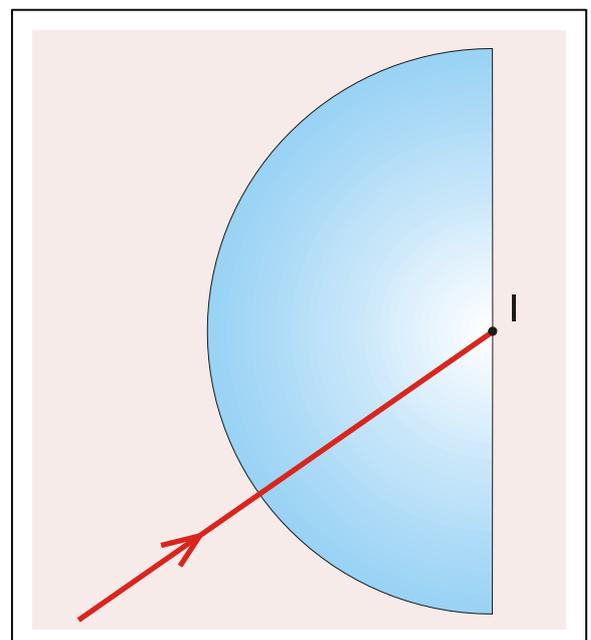
L'un des rayons d'un faisceau de lumière se propageant dans l'air pénètre dans un diamant d'indice de réfraction absolu 2,43.

- Schématiser la situation.
- Écrire la seconde loi de Snell-Descartes.
- Calculer l'angle de réfraction maximum.

5 Réfraction au dioptre verre - air

Un faisceau de lumière monochromatique est dirigé, comme l'indique le schéma ci-contre, vers le centre I de la face plane d'un demi-cylindre de verre. Il pénètre dans le verre sans déviation et aborde, en I, la face de séparation du verre et de l'air.

- L'indice de réfraction absolu du verre vaut 1,5. L'angle de réfraction vaut 60° . Calculer l'angle d'incidence.
- Reproduire et compléter le schéma en dessinant le rayon réfracté. Pourquoi le rayon n'est-il pas dévié lorsqu'il pénètre dans le demi-cylindre ?



6 Passage de la lumière à travers une lame de verre

Le rayon d'un faisceau de lumière monochromatique d'un laser est dirigé sur une lame de verre d'épaisseur 5 mm. Pour cette lumière, l'indice de réfraction absolu du verre est 1,47.

- Calculer l'angle de réfraction i_2 lorsque la lumière pénètre dans le verre avec un angle d'incidence $i_1 = 40^\circ$.
- Avec quel angle d'incidence i_3 la lumière atteint-elle la surface de sortie séparant le verre et l'air ?
- Calculer l'angle de réfraction lorsque la lumière sort du verre. Conclusion !
- Calculer le décalage latéral subi par le rayon.

7 Crayon brisé

Interpréter l'illusion du crayon brisé à la surface de l'eau.



8 Passage d'un rayon oblique à travers un cube de verre

La figure représente un rayon incident SI entrant dans un cube de verre d'arête $AB = a$. Pour la longueur d'onde utilisée l'angle d'incidence limite vaut 39° .

- Quel est l'indice de réfraction absolu du verre ?
- On a $IA = a/5$. Etablir la condition à laquelle doit satisfaire l'angle i pour que le rayon réfracté dans le verre arrive sur AB.
- Cette condition étant réalisée, construire le trajet suivi par la lumière si $i = 45^\circ$, si $i = 90^\circ$. Exprimer la déviation subie par le rayon lumineux lors de la traversée du cube, en fonction de l'angle i .

