

Chapitre 3

Réfraction & dispersion de la lumière

RÉVISION ET RÉSUMÉ

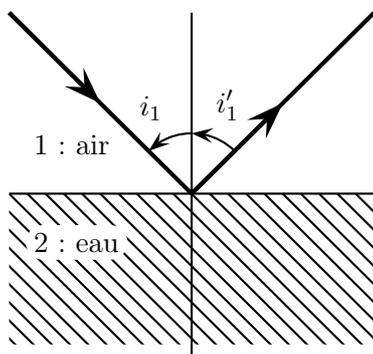
Indice L'indice n d'un milieu transparent est inversement proportionnel à la vitesse de la lumière v dans le milieu considéré :

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

\downarrow m.s⁻¹
 c
 sans \nearrow
 unité \nwarrow m.s⁻¹

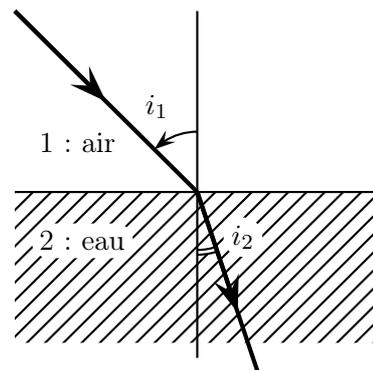
c est vitesse de la lumière dans le vide (appelée *célérité* de la lumière, $c = 3,00 \times 10^8$ m.s⁻¹). La conséquence directe est que l'indice du vide vaut 1.

Réflexion Le rayon réfléchi est toujours présent, et son angle de réflexion i'_1 est égal à l'angle d'incidence i_1 :



$i_1 = i'_1$

Réfraction Le rayon réfracté se rapproche de la normale lors du passage dans un milieu d'indice plus fort : l'angle de réfraction i_2 est plus faible que l'angle d'incidence i_1 .



Loi de Snell-Descartes :

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

Dispersion La dispersion de la lumière s'explique par la variation de l'indice de réfraction avec la couleur.

EXERCICES

Nature de la lumière

3.1 Trouver les mots manquants

- La est le changement de direction subi par un rayon lumineux lorsqu'il passe d'un milieu transparent dans un autre.
- Une lumière ne peut pas être décomposée par un prisme. Elle est caractérisée par sa dans le vide.
- Les longueurs d'onde dans le vide des radiations visibles sont comprises entre 400 et 800 environ.

3.2 Vrai ou faux ?

- L'angle entre un rayon incident et la surface de séparation est appelé angle d'incidence.
- Un rayon lumineux passe de l'air à l'eau (angle d'incidence i , angle de réfraction r). On appelle indice de réfraction de l'eau le rapport $n = \sin i / \sin r$.
- La décomposition de la lumière par un prisme est un phénomène de diffusion.

Longueur d'onde

3.3 Longueurs d'ondes & couleurs

On donne ci-dessous les longueurs d'onde dans le vide de trois radiations lumineuses :

λ (nm)	656	583	486
----------------	-----	-----	-----

Une des longueurs d'onde correspond au jaune, une autre au bleu, une troisième au rouge. Associer à chaque longueur d'onde la couleur qui convient.

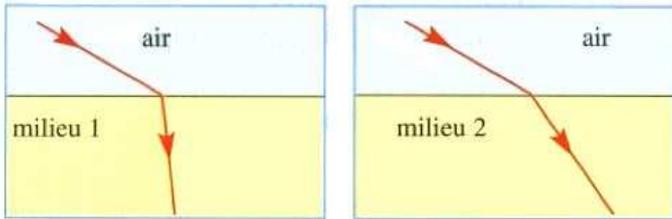
3.4 Limites du domaine visible

Exprimez en mètres, en micromètres et en nanomètres les longueurs d'onde qui délimitent le domaine des radiations visibles. Écrire les résultats en notation scientifique.

Réfraction, sans calculs

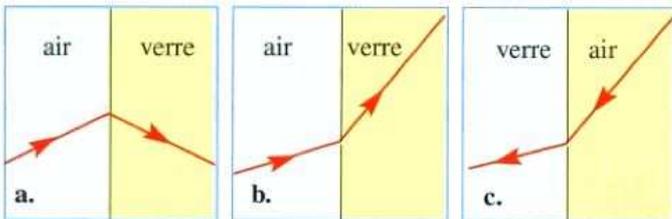
3.5 QCM

- a. Dans les cas de figure ci-dessous, l'indice :
- du milieu 1 est supérieur à celui du milieu 2 ;
 - du milieu 2 est supérieur à celui du milieu 1 ;
 - du milieu 1 est égal à celui du milieu 2.



- b. Parmi les figures ci-dessous, lesquelles représentent une situation impossible ?

- la figure a ;
- la figure b ;
- la figure c.

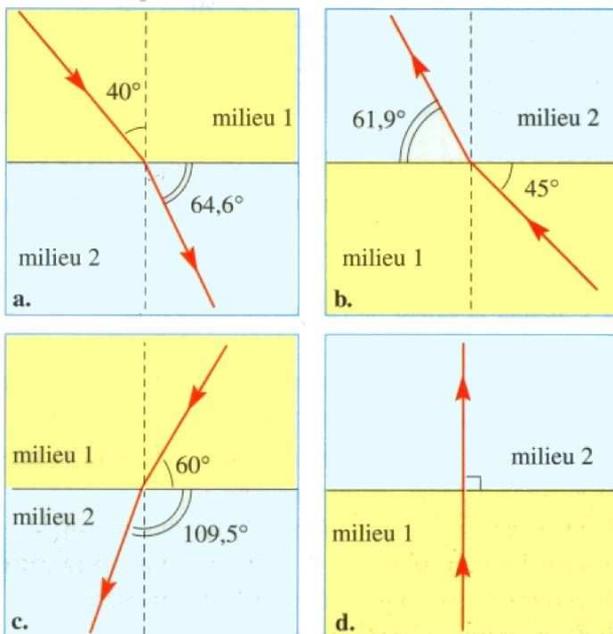


3.6 Milieu plus réfringent

« Quand la lumière pénètre dans un milieu plus réfringent, elle se rapproche de la normale. »

- a. Rechercher la signification des mots « réfringent » et « normale ».
- b. En comparant les angles d'incidence et de réfraction, dire ce que signifie l'expression « se rapprocher de la normale ».
- c. Faire un schéma illustrant la situation évoquée.

3.7 Placement des angles



Sur les figures précédentes, le milieu 1 est l'air, le milieu 2 est un autre milieu transparent.

Déterminer, dans chaque cas, la valeur de l'angle d'incidence i et celle de l'angle de réfraction r du rayon lumineux représenté.



- 3.8 Pourquoi un bâton apparaît-il plié lorsqu'il est partiellement plongé dans l'eau ?

Réfraction, calculs d'angles

3.9 Passage de l'air dans l'eau

Un rayon lumineux passe de l'air dans l'eau d'indice de réfraction $n = 1,33$.

- a. La valeur de l'angle d'incidence est $i = 70^\circ$. Calculer la valeur de l'angle de réfraction r .
- b. Quel doit être la valeur de l'angle d'incidence pour que la valeur de l'angle de réfraction soit $r = 30^\circ$?

3.10 Passage de l'air dans l'eau (II)

Un rayon lumineux subit une réfraction à la surface de séparation entre l'air et l'eau. L'indice de l'eau est 1,33. Il passe de l'air dans l'eau, et l'angle d'incidence est égal à 60° . Calculer la valeur de l'angle de réfraction.

Réfraction, calculs d'indices

3.11 Indice de la glycérine

Un rayon lumineux passe de l'air dans la glycérine. L'angle d'incidence vaut 30° et l'angle de réfraction 20° . Calculer l'indice de la glycérine.

3.12 Milieux transparents inconnus

Un rayon lumineux passe de l'air dans des milieux transparents d'indices de réfraction notés n . L'angle d'incidence est i et l'angle de réfraction r .

Compléter le tableau suivant :

i ($^\circ$)	30	60		90	0	
r ($^\circ$)	17		20			60
n		1,4	2,4	1,3	1,5	1,5

Décomposition et dispersion

3.13 Double faisceau lumineux

- a. Un faisceau très fin de lumière rouge atteint la surface de l'eau d'un bassin avec un angle d'incidence $i = 85^\circ$. L'indice de réfraction de l'eau pour cette lumière est 1,330.

Calculer la valeur de l'angle de réfraction correspondant à cet angle d'incidence.

- b. Même question pour un faisceau très fin de lumière violette pour laquelle l'indice de réfraction de l'eau est 1,342.
- c. Représenter le trajet de la lumière dans le cas où le faisceau incident a une couleur pourpre constituée d'un mélange des deux lumières rouge et violette des questions précédentes.
Que verrait-on au fond du bassin ?
- d. Même question pour un faisceau de lumière blanche.

3.14 Dispersion

Un rayon lumineux de lumière blanche arrive sur la face d'un prisme en verre (flint), sous un angle d'incidence $i_1 = 60,00^\circ$. Calculer, pour les trois radiations du tableau ci-dessous, les angles i_2 de réfraction.

Couleur	bleue	jaune	rouge
λ (nm)	450	500	700
Indice n	1,668	1,654	1,640

Utilisation de mesures expérimentales

3.15 La réfraction en travaux pratiques

Un rayon lumineux passe de l'air dans un milieu transparent, le plexiglass, d'indice n . On réalise une série de mesures dont les résultats sont regroupés dans le tableau suivant, où on note i l'angle d'incidence et r l'angle de réfraction.

i ($^\circ$)	0	10	20	30	40	50
r ($^\circ$)	0	6	13	19	25	31

- a. Tracer la courbe donnant $\sin r$ en fonction de $\sin i$.

- b. Déterminer graphiquement l'indice de réfraction n du milieu transparent.

3.16 Des résultats historiques

En l'an 150, Claudius PTOLÉMÉE publia une table des angles d'incidence et de réfraction pour la surface air-eau.

i ($^\circ$)	0	10	20	30	40	50	60	70	80
r ($^\circ$)	0	8	15,5	22,5	29	35	40,5	45,5	50

PTOLÉMÉE suggéra que i/r est constant, ce qui n'est pas le cas. Tracer la courbe représentative de $\sin i$ en fonction de $\sin r$. En déduire la valeur de l'indice n du plexiglass.

Des expériences étonnantes

3.17 L'expérience d'Archimède

Voici un extrait des écrits d'ARCHIMÈDE (-287,-212) : « Si tu poses un objet au fond d'un vase et si tu éloignes le vase jusqu'à ce que l'objet ne se voie plus, tu le verras réapparaître à cette distance dès que tu le rempliras d'eau ».

Faire deux schémas représentant la position de l'œil, le récipient et l'objet. Tracer le trajet des rayons lumineux partant du sommet de l'objet avec et sans eau.

3.18 Piscine

Une personne dont les yeux sont à 2 m du sol se tient debout à 4 m du bord d'une piscine profonde de 2,5 m et large de 4 m. Une pièce de monnaie se trouve au fond de la piscine du côté opposé. Jusqu'à quelle hauteur la piscine doit-elle être remplie pour que la personne puisse voir la pièce ?

★ ★
★

Corrigé 3

Réfraction & dispersion de la lumière

EXERCICES

Nature de la lumière

3.1 Trouver les mots manquants

3.2 Vrai ou faux ?

- a. Faux : l'angle d'incidence est l'angle entre un rayon incident et la normale à la surface de séparation.
- b. Vrai : dans l'approximation d'un indice environ égal à un pour l'air, la deuxième loi de Snell-Descartes permet bien d'écrire :

$$1 \times \sin i = n \sin r \Leftrightarrow n = \frac{\sin i}{\sin r}$$

Néanmoins, la définition de l'indice n d'un milieu est le rapport des célérités de la lumière dans le vide (c) et dans le milieu considéré (v) :

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

- c. Faux : la décomposition de la lumière par un prisme est un phénomène de dispersion, c'est-à-dire lié au fait que la vitesse de la lumière dépend non seulement du milieu mais aussi de la longueur d'onde.

Longueur d'onde

3.3 Longueurs d'ondes & couleurs

3.4 Limites du domaine visible

Typiquement, on indique 400 nm et 800 nm pour les longueurs d'onde limites du domaine des radiations visibles ; soit, en mètres et en notation scientifique, $4,00 \times 10^{-7}$ m et $8,00 \times 10^{-7}$ m ; ou encore, en micromètres, 0,400 μm et 0,800 μm .

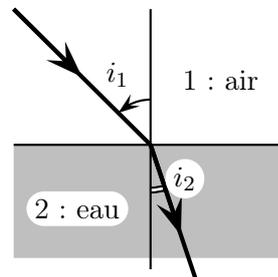
Réfraction, sans calculs

3.5 QCM

3.6 Milieu plus réfringent

- a. Réfringent : capacité à réfracter la lumière. Plus un milieu transparent est réfringent, plus la vitesse de la lumière dans ce milieu est faible, et donc plus son indice est élevé.
Normale : droite perpendiculaire à la surface de séparation entre les deux milieux considérés, au niveau du point d'incidence du rayon lumineux.
- b. Dans le cas d'un passage d'un milieu moins réfringent à un milieu plus réfringent, l'angle de réfraction est plus faible que l'angle d'incidence. Les deux angles dont il est question sont des angles aigus, mesurés par rapport à la normale.

- c. Schéma typique du passage dans un milieu plus réfringent :



3.7 Placement des angles

3.8 Le fait que le crayon soit plié est une conséquence de la réfraction de la lumière à la surface de séparation entre l'eau et l'air. Donc c'est la deuxième loi de Snell-Descartes qui est à l'œuvre pour expliquer ce phénomène.

Réfraction, calculs d'angles

3.9 Passage de l'air dans l'eau

3.10 Passage de l'air dans l'eau (II)

On fait l'hypothèse que l'indice de l'air vaut $n_1 = 1,00$. On note $i_1 = 60^\circ$ l'angle d'incidence. On note $n_2 = 1,33$ l'indice du verre, et on recherche l'angle de réfraction i_2 avec la seconde loi de Snell-Descartes :

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \Leftrightarrow \sin i_2 = \frac{n_1 \sin i_1}{n_2}$$

Application numérique :

$$\sin i_2 = \frac{1 \times \sin 60^\circ}{1,33} = 0,651 \Rightarrow i_2 = 41^\circ$$

Réfraction, calculs d'indices

3.11 Indice de la glycérine

3.12 Milieux transparents inconnus

On applique la seconde loi de Snell-Descartes :

$$\sin i = n \sin r \Leftrightarrow n = \frac{\sin i}{\sin r} \Leftrightarrow \sin r = \frac{\sin i}{n}$$

i ($^\circ$)	30	60	55	90	0	-
r ($^\circ$)	17	38	20	50	0	60
n	1,7	1,4	2,4	1,3	1,5	1,5

Les trois dernières colonnes sont des cas limites, respectivement incidence rasante (et donc angle limite $r = 50^\circ$)

pour le rayon réfracté), incidence nulle $i = r = 0^\circ$, et pour la dernière colonne, un cas impossible à obtenir.

Décomposition et dispersion

3.13 Double faisceau lumineux

3.14 Dispersion

On utilise la seconde loi de Snell-Descartes :

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \quad \Leftrightarrow \quad \sin i_2 = \frac{n_1 \sin i_1}{\sin i_2}$$

Pour simplifier on prends $n_1 = 1,000$ pour l'indice de l'air.

Couleur	bleue	jaune	rouge
i_2 ($^\circ$)	31,28	31,57	31,87

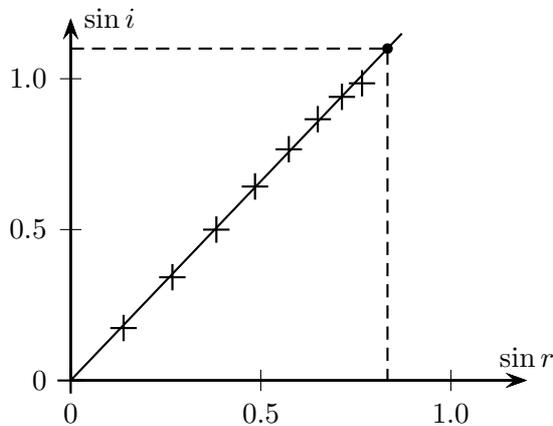
On constate que l'angle de réfraction i_2 varie (faiblement) avec la longueur d'onde (couleur) de la lumière incidente : c'est le phénomène de décomposition de la lumière blanche, due au fait que le milieu est dispersif.

Utilisation de mesures expérimentales

3.15 La réfraction en travaux pratiques

3.16 Des résultats historiques

Les points expérimentaux semblent alignés ; on trace une droite d'interpolation moyenne, passant par l'origine et par un maximum de points :



Calcul de la pente de cette droite, à partir des coordonnées du point repéré par les pointillés :

$$p = \frac{\Delta(\sin i)}{\Delta(\sin r)} = \frac{1,1 - 0}{0,83 - 0} = 1,32 \quad \Rightarrow \quad n = 1,32$$

Cette pente est égal à l'indice, conformément à la seconde loi de Descartes.

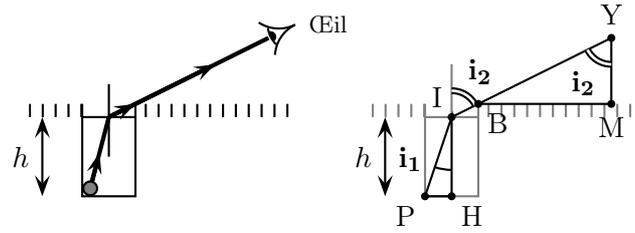
Des expériences étonnantes

3.17 L'expérience d'Archimède

3.18 Piscine

Situation pratique

Schéma géométrique



Seconde loi de Descartes, avec $n = 1,33$ pour l'eau et 1 pour l'air :

$$n \sin i_1 = \sin i_2$$

Le rayon lumineux allant de I à Y frôle le bord de la piscine ; l'angle i_2 se retrouve en \hat{Y} dans le triangle (BMY) rectangle en M :

$$\sin i_2 = \frac{BM}{BY} = \frac{BM}{\sqrt{BM^2 + MY^2}}$$

La personne se tient à $BM = 4$ m du bord et ses yeux Y sont à $MY = 2$ m de haut, donc :

$$\sin i_2 = \frac{4}{\sqrt{4^2 + 2^2}} = \frac{2\sqrt{5}}{5} \quad \Rightarrow \quad i_2 = 63^\circ$$

En appliquant la seconde loi de Descartes :

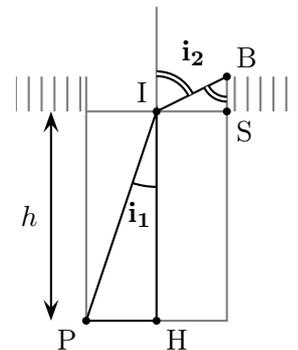
$$i_1 = \arcsin\left(\frac{\sin i_2}{n}\right) \quad \Rightarrow \quad i_1 = 42^\circ$$

Dans le triangle (IPH) rectangle en H, en notant h la profondeur de l'eau :

$$\tan i_1 = \frac{PH}{IH} = \frac{PH}{h}$$

Dans le triangle (ISB) rectangle en S, avec 2,5 mètres pour la profondeur de la piscine :

$$\tan i_2 = \frac{IS}{SB} = \frac{IS}{2,5 - h}$$



La piscine fait 2 mètres de largeur, donc :

$$PH + IS = h \tan i_1 + (2,5 - h) \tan i_2 = 2$$

Par commodité — et contrairement à l'usage — on remplace toutes les valeurs numériques pour se retrouver avec une équation du premier degré en h :

$$\Rightarrow \quad 0,9087 \times h + 1,9997 \times (2,5 - h) = 2$$

$$\Rightarrow \quad h = \frac{2 - 1,9997 \times 2,5}{0,9087 - 1,9997} = \boxed{2,75 \text{ m}}$$