■ **2.** *a)* Si on éloigne le centre de courbure, R augmente et f augmente aussi puisque $f = \frac{R}{2}$.

b) Elle devient infinie.

c) Un miroir plan.

■ **3.** *a)* M1 : miroir plan ; M2 : miroir convexe (ou divergent).

b) Comme l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion, le rayon réfléchi par le miroir M2 passera par B.

■ **4.** La réflexion sur le miroir M1 est erronée. En effet, l'angle d'incidence (θ_i) n'est pas égal à l'angle de réflexion (θ_r).

■ **5.** En utilisant la seconde loi de la réflexion, on trouve que le rayon atteindra le miroir M2 après ses réflexions sur les miroirs M4 et M5.

■ **6.** Comme les images virtuelles se forment derrière les miroirs plans, les miroirs donnent l'impression qu'il y a quelque chose derrière eux, ce qui semble agrandir la pièce.

■ **7.** D'abord, lorsque la personne est au-delà du centre de courbure : image réelle, inversée, plus petite que la personne, entre le centre et le foyer.

La personne est au centre de courbure : image réelle, inversée, de même grandeur que la personne, en C.

La personne est entre le centre de courbure et le foyer : image réelle, inversée, plus grande que la personne, au-delà du centre de courbure.

La personne est au foyer : pas d'image (ou image à l'infini, ce qui revient au même).

La personne est entre le foyer et le miroir : image virtuelle, droite, plus grande que la personne, derrière le miroir et plus loin du miroir que la personne.

◆ **8.** Le visage de la personne est alors au foyer (ou près du foyer) de la cuillère.

◆ **9.** $f = -20$ cm $\quad d_o = 50$ cm $\quad h_o = 25$ cm $\quad d_i = ?$ $\quad h_i = ?$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d_o} = \frac{1}{-20\text{ cm}} - \frac{1}{50\text{ cm}}$$

$$= \frac{-5}{100\text{ cm}} - \frac{2}{100\text{ cm}} = \frac{-7}{100\text{ cm}}$$

$$d_i = \frac{-100\text{ cm}}{7} = -14\text{ cm}$$

$$g = \frac{h_i}{h_o} = -\frac{d_i}{d_o}$$

$$h_i = -\frac{d_i h_o}{d_o} = -\frac{(-14\text{ cm})\,(25\text{ cm})}{50\text{ cm}}$$

$$g = +\,7{,}0\text{ cm}$$

Puisque $d_i < 0$ et que $h_i > 0$, l'image est virtuelle et droite (et plus petite que l'objet), comme à l'habitude pour un miroir convexe.

Chapitre 3 La réfraction de la lumière

Manuel, p. 77 à 94

POUR FAIRE LE POINT

Section 3.2 L'indice de réfraction

Manuel, p. 81

1. $v = 2{,}50 \times 10^8$ m/s $\qquad c = 3{,}00 \times 10^8$ m/s $\qquad n = ?$

$$n = \frac{c}{v} = \frac{3{,}00 \times 10^8\text{ m/s}}{2{,}50 \times 10^8\text{ m/s}} = 1{,}20$$

2. $n = 1{,}92 \qquad c = 3{,}00 \times 10^8$ m/s $\qquad v = ?$

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

$$v = \frac{c}{n} = \frac{3{,}00 \times 10^8\text{ m/s}}{1{,}92} = 1{,}56 \times 10^8\text{ m/s}$$

3. $v_{air} = c = 3{,}00 \times 10^8$ m/s

$v_{zircon} = 1{,}56 \times 10^8$ m/s (*voir la question 2*)

$\Delta v = ?$

$\Delta v = v_{air} - v_{zircon} = 3{,}00 \times 10^8$ m/s $- 1{,}56 \times 10^8$ m/s

$\Delta v = 1{,}44 \times 10^8$ m/s

4. $c = 3{,}00 \times 10^8$ m/s $n = 1{,}50$ (verre) $v = ?$

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

$$v = \frac{c}{n} = \frac{3{,}00 \times 10^8 \text{ m/s}}{1{,}50} = 2{,}00 \times 10^8 \text{ m/s}$$

5. Quartz : $d = 1{,}00$ m $n = 1{,}55$ $v = ?$ $\Delta t = ?$

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

$$v = \frac{c}{n} = \frac{3{,}00 \times 10^8 \text{ m/s}}{1{,}55} = 1{,}94 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$d = v \times \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{d}{v} = \frac{1{,}00 \text{ m}}{1{,}94 \times 10^8 \text{ m/s}} = 5{,}15 \times 10^{-9} \text{ s}$$

6. L'indice de réfraction relatif est égal au rapport entre les indices de réfraction de deux milieux transparents :

$$n_{1\to 2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Si la valeur de n_2 est plus faible que celle de n_1, c'est-à-dire si le rayon passe d'un milieu plus réfringent à un milieu moins réfringent, le rapport $\frac{n_2}{n_1}$ est inférieur à 1.

7. La réfringence d'un milieu est d'autant plus grande que l'indice de réfraction (n) est élevé. Ainsi, le milieu le moins réfringent est le milieu B, dont l'indice de réfraction est le plus faible.

Section 3.3
La géométrie de la réfraction

Manuel, p. 83

1. *a)* Étant donné que l'angle de réfraction est plus faible que l'angle d'incidence, le milieu 2 a un indice de réfraction plus élevé que le milieu 1 ($n_2 > n_1$).

b) Plus l'indice de réfraction (n) d'un milieu est élevé, plus le milieu est réfringent. C'est donc le milieu 2 qui est le plus réfringent.

2. $n_1 = n_{verre} = 1{,}50$ et $n_2 = n_{eau} = 1{,}33$

Ainsi, $n_2 < n_1$: l'eau est moins réfringente que le verre. Il s'ensuit que le rayon réfracté s'éloigne de la normale et donc que l'angle de réfraction (θ_R) sera supérieur à l'angle d'incidence (θ_i).

3. Par définition, l'indice de réfraction relatif s'écrit :

$$n_{1\to 2} = \frac{n_2}{n_1}$$

S'il est inférieur à 1, on aura : $\frac{n_2}{n_1} < 1 \Rightarrow n_2 < n_1$

Cela veut dire que le milieu 2 est moins réfringent que le milieu 1. Il s'ensuit que le rayon réfracté s'éloigne de la normale et donc que l'angle de réfraction (θ_R) sera supérieur à l'angle d'incidence (θ_i).

Section 3.4
Les lois de la réfraction

Manuel, p. 86

1. *a)* 0,50 *b)* 0,87 *c)* 0,71 *d)* 0,218

e) 0,963 *f)* 0 *g)* 1,0 *h)* 0,34

2. *a)* $\theta = \sin^{-1}(0{,}342) = 20{,}0°$ *b)* 40,0°

c) 44,4° *d)* 19,5° *e)* 90,0°

3. $\theta_i = 60°$ $n_1 = 1{,}00$ (air) $\theta_R = ?$

$n_2 = 2{,}42$ (diamant)

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_R$$

$$\sin \theta_R = \frac{n_1 \sin \theta_i}{n_2} = \frac{1{,}00 \times \sin 60°}{2{,}42} = 0{,}36$$

$$\theta_R = \sin^{-1}(0{,}36) = 21°$$

4. $\theta_i = ?$ $n_1 = 1{,}00$ (air) $\theta_R = 45°$ $n_2 = 1{,}30$

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_R$$

$$\sin \theta_i = \frac{n_2 \sin \theta_R}{n_1} = \frac{1{,}30 \times \sin 45°}{1{,}00} = 0{,}92$$

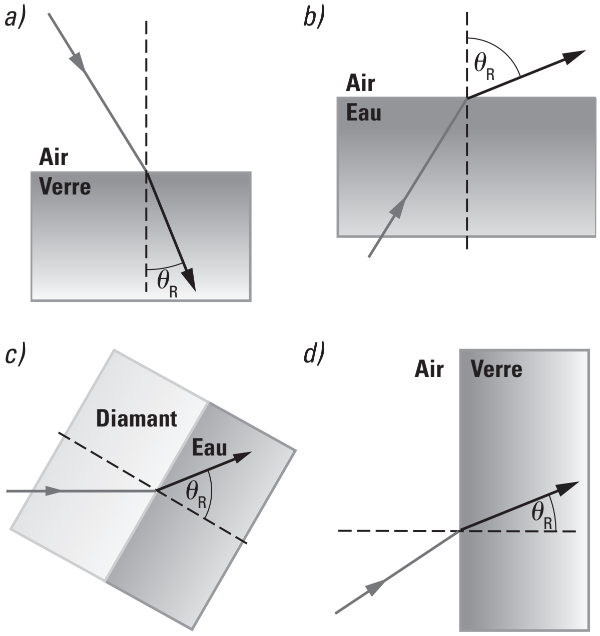
$$\theta_i = \sin^{-1}(0{,}92) = 67°$$

5. $\theta_i = 50°$ $n_1 = 1{,}00$ (air) $\theta_R = 40°$ $n_2 = ?$

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_R$$

$$n_2 = \frac{n_1 \sin \theta_i}{\sin \theta_R} = \frac{1{,}00 \times \sin 50°}{\sin 40°} = 1{,}2$$

6. L'objectif de cet exercice est de déterminer si le rayon réfracté se rapproche ou s'éloigne de la normale.



7. $\theta_i = 30°$ $\quad n_1 = 1{,}00$ (air) $\quad \theta_R = ?$

Pour chacun des milieux, n_2 est fourni. On trouve θ_R à l'aide de la seconde loi de la réfraction :

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_R \Rightarrow \sin \theta_R = \frac{n_1 \sin \theta_i}{n_2}$$

a) $\sin \theta_R = 0{,}38 \Rightarrow \theta_R = \sin^{-1}(0{,}38) = 22°$

b) $\sin \theta_R = 0{,}21 \Rightarrow \theta_R = \sin^{-1}(0{,}21) = 12°$

c) $\sin \theta_R = 0{,}37 \Rightarrow \theta_R = \sin^{-1}(0{,}37) = 22°$

d) $\sin \theta_R = 0{,}26 \Rightarrow \theta_R = \sin^{-1}(0{,}26) = 15°$

8. $\theta_i = ?$ $\quad \theta_R = 10°$

Pour chacun des cas, n_1 et n_2 sont fournis. On trouve θ_i à l'aide de la seconde loi de la réfraction :

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_R \Rightarrow \sin \theta_i = \frac{n_2 \sin \theta_R}{n_1}$$

a) $n_1 = 2{,}42 \quad n_2 = 1{,}00 \Rightarrow \sin\theta_i = 0{,}072$

$\Rightarrow \theta_i = \sin^{-1}(0{,}072) = 4{,}1°$

b) $n_1 = 1{,}00 \quad n_2 = 2{,}42 \Rightarrow \sin\theta_i = 0{,}420$

$\Rightarrow \theta_i = \sin^{-1}(0{,}420) = 25°$

c) $n_1 = 1{,}00 \quad n_2 = 1{,}33 \Rightarrow \sin\theta_i = 0{,}231$

$\Rightarrow \theta_i = \sin^{-1}(0{,}231) = 13°$

d) $n_1 = 1{,}33 \quad n_2 = 2{,}42 \Rightarrow \sin\theta_i = 0{,}316$

$\Rightarrow \theta_i = \sin^{-1}(0{,}316) = 18°$

9. Pour chacun des cas, θ_i, n_1 ($n_1 = 1{,}00$) et θ_R sont fournis. On trouve n_2 à l'aide de la seconde loi de la réfraction :

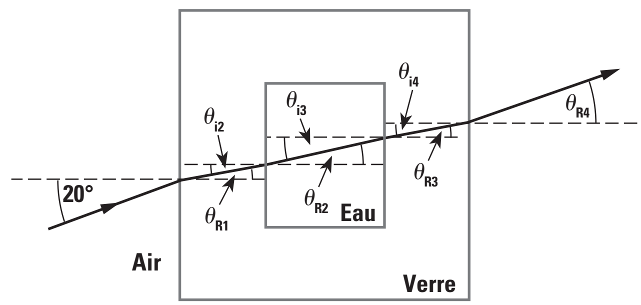
$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_R \Rightarrow n_2 = \frac{n_1 \sin \theta_i}{\sin \theta_R}$$

a) $\theta_i = 40° \quad n_1 = 1{,}00 \quad \theta_R = 30° \Rightarrow n_2 = 1{,}3$

b) $\theta_i = 30° \quad n_1 = 1{,}00 \quad \theta_R = 12° \Rightarrow n_2 = 2{,}4$

c) $\theta_i = 77° \quad n_1 = 1{,}00 \quad \theta_R = 50° \Rightarrow n_2 = 1{,}3$

10. Vu du dessus, l'aquarium (qu'on suppose à faces parallèles) apparaît comme dans le schéma suivant.



Interface air → verre : $\theta_{i1} = 20° \quad n_1 = 1{,}00$

$\theta_{R1} = ? \quad n_2 = 1{,}50$

$n_1 \sin \theta_{i1} = n_2 \sin \theta_{R1}$

$$\sin \theta_{R1} = \frac{n_1 \sin \theta_{i1}}{n_2} = \frac{1{,}00 \sin 20°}{1{,}50} = 0{,}228$$

$\theta_{R1} = 13{,}2°$

Interface verre → eau : $\theta_{i2} = ? \quad n_1 = 1{,}50$

$\theta_{R2} = ? \quad n_2 = 1{,}33$

Comme les interfaces air-verre et verre-eau sont parallèles, les angles θ_{R1} et θ_{i2} sont alternes-internes. Ainsi, $\theta_{i2} = \theta_{R1} = 13{,}2°$.

$n_1 \sin \theta_{i2} = n_2 \sin \theta_{R2}$

$$\sin \theta_{R2} = \frac{n_1 \sin \theta_{i2}}{n_2} = \frac{1{,}50 \sin 13{,}2°}{1{,}33} = 0{,}258$$

$\theta_{R2} = 14{,}9°$

En passant du verre à l'eau (milieu moins réfringent que le verre), le rayon s'écarte de la normale.

Interface eau → verre : $\theta_{i3} = 14{,}9° \quad n_1 = 1{,}33$

$\theta_{R3} = ? \quad n_2 = 1{,}50$

$n_1 \sin \theta_{i3} = n_2 \sin \theta_{R3}$

$$\sin \theta_{R3} = \frac{n_1 \sin \theta_{i3}}{n_2} = \frac{1{,}33 \sin 14{,}9°}{1{,}50} = 0{,}228$$

$\theta_{R3} = 13{,}2°$

Interface verre → air : $\theta_{i4} = 13,2°$ $n_1 = 1,50$
$\theta_{R4} = ?$ $n_2 = 1,00$

$n_1 \sin \theta_{i4} = n_2 \sin \theta_{R4}$

$$\sin \theta_{R4} = \frac{n_1 \sin \theta_{i4}}{n_2} = \frac{1,50 \sin 13,2°}{1,00} = 0,343$$

$\theta_{R4} = 20°$

Le rayon émergent se propage donc parallèlement à la direction du rayon incident (avec un léger décalage latéral toutefois).

11. $v = 2,67 \times 10^8$ m/s $c = 3,00 \times 10^8$ m/s $n = ?$

$$n = \frac{c}{v} = \frac{3,00 \times 10^8 \text{ m/s}}{2,67 \times 10^8 \text{ m/s}} = 1,12$$

Cet indice de réfraction est inférieur à celui de l'eau ($n = 1,33$).

12. L'œil du plongeur reçoit un rayon arrivant du ciel et réfracté à la surface de l'eau.

$\theta_i = ?$ $n_1 = 1,00$ $\theta_R = 25°$ $n_2 = 1,33$

$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_R$

$$\sin \theta_i = \frac{n_2 \sin \theta_R}{n_1} = \frac{1,33 \times \sin 25°}{1,00} = 0,56$$

$\theta_i = 34°$

13. $\theta_i = 30°$ $n_1 = 1,33$ $\theta_R = ?$ $n_2 = 1,00$

$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_R$

$$\sin \theta_R = \frac{n_1 \sin \theta_i}{n_2} = \frac{1,33 \sin 30°}{1,00} = 0,67$$

$\theta_R = 42°$

Section 3.5
La réflexion totale interne

Manuel, p. 88

1. Milieu 1 : verre $n_1 = 1,50$ Milieu 2 : air $n_2 = 1,00$

L'angle critique correspond à l'angle d'incidence quand l'angle de réfraction vaut 90° :

$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin \theta_R = n_2 \sin 90° = n_2$

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1,00}{1,50} = 0,667$$

$\theta_c = 41,8°$

2. Milieu 1 : $\theta_c = 40,5°$ $n_1 = ?$
Milieu 2 : air $\theta_R = 90°$ $n_2 = 1,00$

$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90° = n_2$

$$n_1 = \frac{n_2}{\sin \theta_c} = \frac{1,00}{\sin 40,5°} = 1,54$$

3. La réflexion totale interne ne peut se produire que si la lumière passe d'un certain milieu à un second milieu d'indice de réfraction plus faible. Ainsi, dans un aquarium, la réflexion totale interne peut se produire quand la lumière passe du verre à l'eau (et non de l'eau au verre).

4. Ce phénomène découle de la réfraction et de la réflexion totale interne de la lumière à la surface. Considérons un rayon passant de l'air à l'eau : son angle de réfraction maximal est obtenu pour un angle d'incidence maximal de 90°. Il est donné par :

$n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin \theta_R$

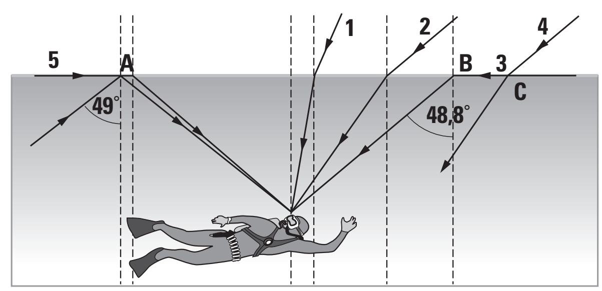
$$\sin \theta_R = \frac{n_1 \sin \theta_i}{n_2} = \frac{1,00 \times \sin 90°}{1,33} = 0,752$$

$\theta_R = 48,8°$

Cet angle est aussi l'angle critique pour un rayon passant de l'eau à l'air :

$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90°$

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1,00}{1,33} = 0,752 \Rightarrow \theta_c = 48,8°$$



Analysons le parcours des différents rayons illustrés. Tous les rayons incidents dans l'air pénètrent dans l'eau. Parmi ceux qui sont illustrés, les rayons 1, 2 et 3 se rendent au plongeur, mais pas le rayon 4. Au-delà du point B, les rayons qui pénètrent dans l'eau ne peuvent pas être reçus par le plongeur : cette région périphérique apparaît donc nettement plus sombre que la région entre les points A et B, de laquelle le plongeur reçoit des rayons venant du ciel. La région entre A et B, qui forme un cercle à la surface (à deux dimensions), apparaît donc plus brillante que le reste de la surface de l'eau aux yeux du plongeur.

Les rayons qui parviennent aux yeux du plongeur venant de la région périphérique, au-delà de A et de B, sont des rayons se propageant dans l'eau (venant du fond, par exemple) qui se sont réfléchis par réflexion totale interne sur la surface. La région périphérique apparaît ainsi comme un miroir. Cette région apparaît sombre parce que l'intensité des rayons lumineux réfléchis à la surface est faible (la luminosité dans l'eau étant faible). La surface circulaire entre A et B, au-dessus du plongeur, apparaît donc comme un « trou ».

5. *a)* $n_1 = 1{,}68 \quad \theta_c = ? \quad n_2 = 1{,}00$

$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90°$

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1{,}00}{1{,}68} = 0{,}595 \Rightarrow \theta_c = 36{,}5°$$

b) $n_1 = ? \quad \theta_c = 40° \quad n_2 = 1{,}00$

$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90°$

$$n_1 = \frac{n_2}{\sin \theta_c} = \frac{1{,}00}{\sin 40°} = 1{,}56$$

6. *a)* Réfraction à l'interface eau-verre :

$n_1 = 1{,}33 \quad \theta_i = 30° \quad n_2 = 1{,}50 \quad \theta_R = ?$

$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_R$

$$\sin \theta_R = \frac{n_1 \sin \theta_i}{n_2} = \frac{1{,}33 \times \sin 30°}{1{,}50} = 0{,}443$$

$\theta_R = 26{,}3°$

Réfraction à l'interface verre-air :

$n_1 = 1{,}50 \quad \theta_{i2} = 26{,}3° \quad n_2 = 1{,}00 \quad \theta_{R2} = ?$

$$n_1 \sin \theta_{i2} = n_2 \sin \theta_{R2} \qquad \sin \theta_{R2} = \frac{n_1 \sin \theta_{i2}}{n_2} =$$

$$\sin \theta_{R2} = \frac{1{,}50 \times \sin 26{,}3°}{1{,}00} = 0{,}665$$

$\theta_{R2} = 41{,}7°$

b) Réfraction à l'interface eau-verre :

$n_1 = 1{,}33 \quad \theta_i = 52° \quad n_2 = 1{,}50 \quad \theta_R = ?$

$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_R$

$$\sin\theta_R = \frac{n_1 \sin \theta_i}{n_2} = \frac{1{,}33 \times \sin 52°}{1{,}50} = 0{,}699$$

$\theta_R = 44{,}3°$

Réfraction à l'interface verre-air :

$n_1 = 1{,}50 \quad \theta_{i2} = 44{,}3° \quad n_2 = 1{,}00 \quad \theta_{R2} = ?$

$n_1 \sin \theta_{i2} = n_2 \sin \theta_{R2}$

$$\sin \theta_{R2} = \frac{n_1 \sin \theta_{i2}}{n_2} = \frac{1{,}50 \times \sin 44{,}3°}{1{,}00} = 1{,}05$$

Comme la valeur de la fonction sinus est plus grande que 1, la situation est impossible et il y a réflexion totale interne ; le rayon lumineux ne sort pas de l'aquarium. Effectivement, lorsque la lumière passe du verre à l'air, l'angle critique est de 41,8° (*voir la question 1*). Ici, $\theta_{i2} = 44{,}3°$ et dépasse l'angle critique : il y a réflexion totale interne.

Chapitre 3
La réfraction de la lumière

Manuel, p. 93 et 94

● **1.** Angle d'incidence (θ_i) : 7
Normale : 2
Rayon réfracté : 4
Angle de réflexion (θ_r) : 6
Rayon incident : 3
Angle de réfraction (θ_R) : 10
Rayon réfléchi : 1
Dioptre : 12

● **2.** Il est sous-entendu que le rayon lumineux incident se propage dans l'air ; ainsi, $n_1 = 1{,}00$ et $n_2 = 1{,}50$. Pour les trois cas, on calcule l'angle de réfraction avec

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_R \Rightarrow \sin\theta_R = \frac{n_1 \sin \theta_i}{n_2}.$$

On obtient :

a) 0° *b)* 19° *c)* 35°

■ **3.** *a)* $\theta_i = 30°$

Il est sous-entendu que le rayon lumineux incident se propage dans l'air ; ainsi, $n_1 = 1{,}00$.

L'indice de réfraction du verre dépend de la longueur d'onde :

$n_{2\text{rouge}} = 1{,}52 \qquad n_{2\text{violet}} = 1{,}54$

Pour le rayon rouge :

$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_{Rr}$

$$\sin\theta_{Rr} = \frac{n_1 \sin\theta_i}{n_{2r}} = \frac{1{,}00 \times \sin 30°}{1{,}52} = 0{,}329$$

$$\theta_{Rr} = 19{,}2°$$

Pour le rayon violet :

$$n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_{Rv}$$

$$\sin\theta_{Rv} = \frac{n_1 \sin\theta_i}{n_{2v}} = \frac{1{,}00 \times \sin 30°}{1{,}54} = 0{,}325$$

$$\theta_{Rv} = 18{,}9°$$

b) $\theta_{ir} = 19{,}2°$ $n_{1r} = 1{,}52$ $\theta_{iv} = 18{,}9°$ $n_{1v} = 1{,}54$

$\theta_{Rr} = ?$ $\theta_{Rv} = ?$ $n_2 = 1{,}00$

Pour le rayon rouge :

$$n_{1r} \sin\theta_{ir} = n_2 \sin\theta_{Rr}$$

$$\sin\theta_{Rr} = \frac{n_{1r} \sin\theta_{ir}}{n_2} = \frac{1{,}52 \times \sin 19{,}2°}{1{,}00} = 0{,}50$$

$$\theta_{Rr} = 30°$$

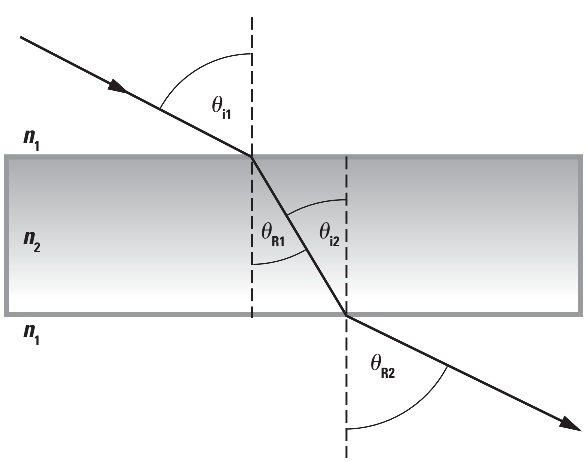
Pour le rayon violet :

$$n_{1v} \sin\theta_{iv} = n_2 \sin\theta_{Rv}$$

$$\sin\theta_{Rv} = \frac{n_{1v} \sin\theta_{iv}}{n_2} = \frac{1{,}54 \times \sin 18{,}9°}{1{,}00} = 0{,}50$$

$$\theta_{Rv} = 30°$$

4. Soit un rayon incident se propageant dans l'air (n_1) et arrivant avec un angle d'incidence θ_{i1} sur une plaque de verre d'indice n_2. L'angle de réfraction à la première interface est θ_{R1}.



À la première interface : $n_1 \sin\theta_{i1} = n_2 \sin\theta_{R1}$ (1)

À la deuxième interface : $n_2 \sin\theta_{i2} = n_1 \sin\theta_{R2}$ (2)

Puisque les deux normales sont parallèles (car elles sont elles-mêmes perpendiculaires à deux faces parallèles), les angles θ_{R1} et θ_{i2} sont alternes-internes et, ainsi, $\theta_{i2} = \theta_{R1}$. La deuxième équation devient donc : $n_2 \sin\theta_{R1} = n_1 \sin\theta_{R2}$ (3).

En comparant les équations (1) et (3), on peut écrire : $n_1 \sin\theta_{i1} = n_1 \sin\theta_{R2}$, et il en découle que $\theta_{i1} = \theta_{R2}$. Comme ces angles sont définis par rapport à des normales parallèles entre elles, les rayons incident et émergent sont eux-mêmes parallèles.

5. Pour la lumière violette : $n_v = 1{,}53$

Pour la lumière rouge : $n_r = 1{,}51$

$$n_v = \frac{c}{v_v} \Rightarrow v_v = \frac{c}{n_v} = \frac{3{,}00 \times 10^8 \text{ m/s}}{1{,}53} = 1{,}96 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$n_r = \frac{c}{v_r} \Rightarrow v_r = \frac{c}{n_r} = \frac{3{,}00 \times 10^8 \text{ m/s}}{1{,}51} = 1{,}99 \times 10^8 \text{ m/s}$$

6. On trouve d'abord l'indice de réfraction de l'eau.

$$v = \frac{3}{4}c \Rightarrow n = \frac{c}{v} = \frac{c}{\frac{3}{4}c} = \frac{4}{3} = 1{,}33$$

$\theta_i = 10°$ $n_1 = 1{,}00$ $\theta_R = ?$ $n_2 = 1{,}33$

$$n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_R$$

$$\sin\theta_R = \frac{n_1 \sin\theta_i}{n_2} = \frac{1{,}00 \times \sin 10°}{1{,}33} = 0{,}13$$

$$\theta_R = 7{,}5°$$

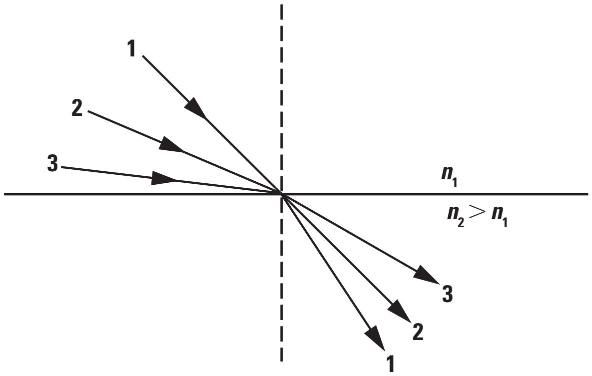
7. Par « milieu moins dense », on sous-entend ici un milieu ayant un indice de réfraction plus faible. Pour un rayon passant d'un milieu moins dense à un milieu plus dense, il faut considérer que $n_1 < n_2$. Dans ce cas, l'angle d'incidence est toujours plus grand que l'angle de réfraction. Il n'est donc pas possible que θ_R atteigne 90°.

Par ailleurs, de façon plus formelle, en considérant l'expression algébrique de la loi de la réfraction :

$$n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_R$$

on constate que si $n_1 < n_2$, pour que l'égalité soit respectée, il faut que $\sin\theta_i > \sin\theta_R$, et donc que $\theta_i > \theta_R$. Il n'est donc pas possible que θ_R atteigne 90° et ainsi il n'y a pas de situation critique ni de réflexion totale interne.

Le diagramme suivant illustre la situation. On constate que pour n'importe quel angle d'incidence, le rayon réfracté existe toujours.



◆ **8.** Les rayons lumineux sont réfractés quand ils traversent la cornée (surface de l'œil). L'œil humain est ainsi fait que le système optique cornée-cristallin focalise les rayons de façon à avoir une image nette sur la rétine quand l'œil se trouve dans l'air (*voir la section 5.2, à la page 134 du manuel*).

Si l'œil se trouve dans l'eau, la réfraction à la cornée est beaucoup moins marquée, car on a $n_1 = 1{,}33$ au lieu de $n_1 = 1{,}00$. L'œil n'arrive plus à dévier assez les rayons pour les focaliser sur la rétine et les images sont floues. Le masque de plongée ou les lunettes de natation permettent d'insérer une couche d'air devant l'œil, et donc de revenir à la situation habituelle pour l'œil (la réfraction se fait de l'air à l'œil, comme quand on se trouve hors de l'eau).

◆ **9.** $\theta_i = ?\quad n_1 = 1{,}00\quad \theta_R = ?\quad n_2 = 1{,}33$

Il faut d'abord déterminer θ_R à partir des informations géométriques :

$$\tan\theta_R = \frac{\text{opposé}}{\text{adjacent}} = \frac{1{,}0\ \text{m}}{1{,}2\ \text{m}} = 0{,}83 \Rightarrow \theta_R = 40°$$

puis appliquer la loi de la réfraction :

$$n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_R \qquad \sin\theta_i = \frac{n_2 \sin\theta_R}{n_1}$$

$$\sin\theta_i = \frac{1{,}33 \times \sin 40°}{1{,}00} = 0{,}85 \qquad \theta_i = 59°$$

Le rayon incident doit donc former un angle de 59° avec le prolongement du mur de la piscine.

◆ **10.** Il faut appliquer la loi de la réfraction à chaque interface, tout en considérant que l'angle d'incidence à une interface est égal à l'angle de réfraction à l'interface précédente parce que ces angles sont alternes-internes.

Interface verre-sulfure de carbone :

$\theta_i = 10°\quad n_1 = 1{,}50\quad \theta_R = ?\quad n_2 = 1{,}63$

$$n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_R \qquad \sin\theta_R = \frac{n_1 \sin\theta_i}{n_2}$$

$$\sin\theta_R = \frac{1{,}50 \times \sin 10°}{1{,}63} = 0{,}160 \qquad \theta_R = 9{,}21°$$

Interface sulfure de carbone-eau :

$\theta_i = 9{,}21°\quad n_1 = 1{,}63\quad \theta_R = ?\quad n_2 = 1{,}33$

$$n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_R \Rightarrow \sin\theta_R = \frac{n_1 \sin\theta_i}{n_2}$$

$$\sin\theta_R = \frac{1{,}63 \times \sin 9{,}21°}{1{,}33} = 0{,}196 \Rightarrow \theta_R = 11{,}3°$$

Interface eau-acide oléique :

$\theta_i = 11{,}3°\quad n_1 = 1{,}33\quad \theta_R = ?\quad n_2 = 1{,}43$

$$n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_R \qquad \sin\theta_R = \frac{n_1 \sin\theta_i}{n_2}$$

$$\sin\theta_R = \frac{1{,}33 \times \sin 11{,}3°}{1{,}43} = 0{,}182 \qquad \theta_R = 10{,}5°$$

Interface acide oléique-air :

$\theta_i = 10{,}5°\quad n_1 = 1{,}43\quad \theta_R = ?\quad n_2 = 1{,}00$

$$n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_R \qquad \sin\theta_R = \frac{n_1 \sin\theta_i}{n_2}$$

$$\sin\theta_R = \frac{1{,}43 \times \sin 10{,}5°}{1{,}00} = 0{,}261 \qquad \theta_R = 15{,}1°$$

◆ **11.** De l'angle critique, on peut déduire l'indice de réfraction. Pour les deux cas, $n_2 = 1{,}00$.

Milieu A : $\theta_{cA} = 27°$

$$n_{1A} \sin\theta_{cA} = n_2 \sin 90°$$

$$n_{1A} = \frac{n_2}{\sin\theta_{cA}} = \frac{1{,}00}{\sin 27°} = 2{,}20$$

$$n_A = \frac{c}{v_A}$$

$$v_A = \frac{c}{n_A} = \frac{3{,}00 \times 10^8\ \text{m/s}}{2{,}20} = 1{,}36 \times 10^8\ \text{m/s}$$

Milieu B : $\theta_{cB} = 32°$

$$n_{1B} \sin\theta_{cB} = n_2 \sin 90°$$

$$n_{1B} = \frac{n_2}{\sin\theta_{cB}} = \frac{1{,}00}{\sin 32°} = 1{,}89$$

$$n_B = \frac{c}{v_B} \Rightarrow v_B = \frac{c}{n_B} = \frac{3{,}00 \times 10^8 \text{ m/s}}{1{,}89} = 1{,}59 \times 10^8 \text{ m/s}$$

La lumière se déplace plus vite dans le milieu B.

◆ **12.** *a)* Étant donné que le rayon incident arrive perpendiculairement sur la face AC, $\theta_i = 0$, donc $\theta_R = 0$. Le rayon continue donc en ligne droite.

b) Le rayon est complètement réfléchi sur la face AB du prisme P1, car l'angle d'incidence (θ_i) sur cette face est tel qu'il y a réflexion totale interne ($\theta_i > \theta_c$).

c) L'angle de réflexion (θ_r) est égal à l'angle d'incidence (θ_i). Le prisme est isocèle, ce qui signifie que l'angle $\angle$CAB = 45°. On peut en déduire que pour la face AB, $\theta_i = 45°$.

Ainsi, θ_r est égal à 45°.

d) Pour que le rayon subisse une réflexion totale interne, il faut que $\theta_i \geq \theta_c$. Ici $\theta_i = 45°$. Il faut donc que $\theta_c \leq 45°$.

Puisque $n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90°$, il en découle que $\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$.

Donc, $\sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \leq 45°$ et, comme la fonction sinus est croissante (quand l'angle augmente, la valeur de son sinus augmente), en appliquant la fonction sinus de chaque côté de l'égalité, on obtient $\frac{1{,}00}{n_1} \leq \sin 45°$.

En isolant n_1, on obtient $n_1 \geq \frac{1{,}00}{\sin 45°}$. Ainsi, il faut que $n_1 \geq 1{,}41$.

Pour qu'il y ait réflexion totale interne avec un angle d'incidence (θ_i) égal à 45°, l'indice de réfraction (n) des prismes doit être supérieur à 1,41.

Chapitre 4 Les lentilles

Manuel, p. 95 à 130

POUR FAIRE LE POINT

Section 4.1 Les différents types de lentilles

Manuel, p. 98

1.

Lentille	Type	Lentille convergente/ divergente	Symbole
	Lentille biconcave	Divergente	
	Lentille plan-convexe	Convergente	
	Lentille plan-concave	Divergente	
	Ménisque à bords épais	Divergente	
	Lentille biconvexe	Convergente	
	Ménisque à bords minces	Convergente	

2. *a)* Les lentilles convergentes sont plus épaisses au centre que sur les bords alors que les lentilles divergentes sont plus minces au centre que sur les bords.

b) Une lentille convergente dévie des rayons incidents parallèles à son axe principal (AP) de façon telle qu'après l'avoir traversée, les rayons convergent vers un point situé au-delà de la lentille.