QUANTUM
PHYSIQUE

2^e cycle du secondaire • 3^e année

POUR FAIRE LE POINT

Corrigé

CHENELIÈRE ÉDUCATION

Table des matières

MODULE 1 L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

Chapitre 1 Les ondes

Manuel, p. 23 à 40

POUR FAIRE LE POINT

Section 1.1 Les caractéristiques d'une onde

Manuel, p. 28

1. $T = \frac{\text{Temps total}}{\text{Nombre de cycles}} = \frac{3{,}00 \text{ s}}{375} = 0{,}008\ 00 \text{ s}$

   $f = \frac{\text{Nombre de cycles}}{\text{Temps total}} = \frac{375}{3{,}00 \text{ s}} = 125 \text{ s}^{-1}$ ou 125 Hz

2. $f = 2{,}00$ Hz $\quad v = 5{,}40$ m/s $\quad \lambda = ?$

   $v = \lambda f \Rightarrow \lambda = \frac{v}{f} = \frac{5{,}40 \text{ m/s}}{2{,}00 \text{ s}^{-1}} = 2{,}70 \text{ m}$

3. $f = 440$ Hz $\quad v = 350$ m/s $\quad \lambda = ?$

   $v = \lambda f \Rightarrow \lambda = \frac{v}{f} = \frac{350 \text{ m/s}}{440 \text{ s}^{-1}} = 0{,}795 \text{ m} = 79{,}5 \text{ cm}$

4. *a)* $f = \frac{\text{Nombre de cycles}}{\text{Temps total}} = \frac{4\ 800}{1 \text{ min}} = \frac{4\ 800}{1 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$

   $f = 80 \text{ s}^{-1} = 80$ Hz

   b) $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{80 \text{ s}^{-1}} = 0{,}013 \text{ s}$

5. *a)* D'après le graphique, l'amplitude (A) est égale à 0,5 cm.

   b) D'après le graphique, 3,5 cycles occupent une longueur de 22 cm.

   $\lambda = \frac{\text{Longueur totale}}{\text{Nombre de cycles}} = \frac{22 \text{ cm}}{3{,}5} = 6{,}3 \text{ cm}$

   c) $f = 20 \text{ Hz} = 20 \text{ s}^{-1}$ $\quad \lambda = 6{,}3 \text{ cm} = 0{,}063 \text{ m}$ $\quad v = ?$

   $v = \lambda f = 0{,}063 \text{ m} \times 20 \text{ s}^{-1} = 1{,}3 \text{ m/s}$

6. *a)* Toutes ces ondes ont une forme sinusoïdale.

   b) L'onde E.

   c) $T_E < T_D < T_C < T_B < T_A$

   d) Comme la fréquence (f) est reliée à la période (T) selon la formule $f = 1/T$, l'onde qui a la plus grande période possède la plus petite fréquence. C'est donc l'onde A qui a la plus petite fréquence.

   e) $f_A < f_B < f_C < f_D < f_E$

Section 1.2 Les ondes lumineuses

Manuel, p. 35

1. Pour toutes les questions, $T = \frac{\text{Temps total}}{\text{Nombre de cycles}}$

   a) $T = \frac{375 \text{ min}}{5} = 75 \text{ min} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 4{,}5 \times 10^3 \text{ s}$

   b) $T = \frac{6{,}7 \text{ s}}{10} = 0{,}67 \text{ s}$

   c) $T = \frac{1 \text{ min}}{1\ 000} = 0{,}001 \text{ min} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 0{,}06 \text{ s}$

   d) $T = \frac{57 \text{ s}}{68} = 0{,}84 \text{ s}$

2. Pour toutes les questions, $f = \frac{\text{Nombre de cycles}}{\text{Temps total}}$

   a) $f = \frac{120}{2{,}0 \text{ s}} = 60 \text{ s}^{-1} = 60 \text{ Hz}$

   b) $f = \frac{1\ 200}{60 \text{ s}} = 20 \text{ s}^{-1} = 20 \text{ Hz}$

   c) Temps total $= 1{,}2 \text{ h} = 1{,}2 \text{ h} \times \frac{3\ 600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 4{,}3 \times 10^3 \text{s}$

   $f = \frac{40}{1{,}2 \text{ h}} = \frac{40}{4{,}3 \times 10^3 \text{ s}} = 0{,}0093 \text{ s}^{-1} = 0{,}0093 \text{ Hz}$

   d) $f = \frac{65}{48 \text{ s}} = 1{,}4 \text{ s}^{-1} = 1{,}4 \text{ Hz}$

3. *a)* $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4{,}5 \times 10^3 \text{ s}} = 2{,}2 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1} = 2{,}2 \times 10^{-4} \text{Hz}$

   b) $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}67 \text{ s}} = 1{,}5 \text{ s}^{-1} = 1{,}5 \text{ Hz}$

   c) $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}06 \text{ s}} = 17 \text{ s}^{-1} = 17 \text{ Hz}$

   d) $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}84 \text{ s}} = 1{,}2 \text{ s}^{-1} = 1{,}2 \text{ Hz}$

4. *a)* $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{60 \text{ s}^{-1}} = 0{,}017 \text{ s}$

   b) $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{20 \text{ s}^{-1}} = 0{,}050 \text{ s}$

   c) $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{0{,}0093 \text{ s}^{-1}} = 108 \text{ s} = 1{,}8 \text{ min}$

   d) $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1{,}4 \text{ s}^{-1}} = 0{,}71 \text{ s}$

5. *a)* Le rayonnement infrarouge se trouve vers les basses fréquences.

b) Le rayonnement ultraviolet se trouve vers les hautes fréquences.

6. d = circonférence $= 2\pi R = 2\pi \times 6\,400$ km

$d = 4{,}021 \times 10^4$ km

$v = c = 3{,}00 \times 10^8$ m/s $= 3{,}00 \times 10^5$ km/s

$\Delta t = ?$

$$d = v \times \Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{d}{v} = \frac{4{,}021 \times 10^4 \text{ km}}{3{,}00 \times 10^5 \text{ km/s}} = 0{,}134 \text{ s}$$

7. $d = 150 \times 10^6$ km

$v = c = 3{,}00 \times 10^8$ m/s $= 3{,}00 \times 10^5$ km/s

$\Delta t = ?$

$$d = v \times \Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{d}{v} = \frac{150 \times 10^6 \text{ km}}{3{,}00 \times 10^5 \text{ km/s}} = 500 \text{ s}$$

$d = 8{,}33$ min

8. $f = 95{,}1$ MHz $= 95{,}1 \times 10^6$ Hz $= 9{,}51 \times 10^7$ s^{-1}

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

$\lambda = ?$

$$v = \lambda \times f \Rightarrow \lambda = \frac{v}{f} = \frac{3{,}00 \times 10^8 \text{ m/s}}{9{,}51 \times 10^7 \text{ s}^{-1}} = 3{,}15 \text{ m}$$

9. *a)* La zone d'ombre se trouve en C (aucun rayon lumineux ne se rend dans cette zone).

Les zones de pénombre se trouvent en B et en D (ces zones reçoivent des rayons lumineux venant d'une partie de la source, mais pas de tous les points de la source).

b) Si la source lumineuse était ponctuelle, il n'y aurait pas de zones de pénombre, mais seulement une zone d'ombre aux contours bien délimités (la zone d'ombre serait constituée de la zone C et d'une partie des zones B et D).

10. Par temps chaud, il est préférable de porter des vêtements blancs. En effet, les vêtements blancs apparaissent blancs parce qu'ils réfléchissent toutes les couleurs du spectre de la lumière visible. Ils absorbent donc peu de lumière. En revanche, les vêtements noirs absorbent fortement toutes les couleurs et réfléchissent peu de lumière. Les rayons lumineux ainsi absorbés font augmenter la température d'un vêtement noir.

Chapitre 1
Les ondes

Manuel, p. 40

1. $f = 2$ MHz $= 2 \times 10^6$ Hz $= 2 \times 10^6$ s^{-1}

$v = 1{,}5$ km/s $= 1\,500$ m/s $\quad \lambda = ?$

a) $v = \lambda \times f$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1500 \text{ m/s}}{2 \times 10^6 \text{ s}^{-1}} = 7{,}5 \times 10^{-4} \text{ m} = 0{,}75 \text{ mm}$$

b) Comme les ultrasons sont des ondes mécaniques, leur vitesse de propagation dépend du milieu dans lequel ils se déplacent. Cela veut dire que la vitesse de propagation des ultrasons dans l'air est différente de celle avec laquelle ils se déplacent dans les tissus cardiaques.

2. La vitesse de la lumière étant très grande, on négligera le délai associé à la propagation de la lumière. $v_{son} = 330$ m/s $\quad \Delta t = 4{,}0$ s $\quad d = ?$

$d = v_{son} \times \Delta t = 330$ m/s $\times 4{,}0$ s $= 1{,}3 \times 10^3$ m $= 1{,}3$ km

3. *a)* D'après le tableau 1 de la page 31, cette fréquence correspond à la couleur jaune.

b) $f = 5{,}2 \times 10^{14}$ Hz $= 5{,}2 \times 10^{14}$ s^{-1} $\quad T = ?$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{5{,}2 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}} = 1{,}9 \times 10^{-15} \text{ s}$$

c) Il est possible de calculer sa longueur d'onde, car on connaît la vitesse de la lumière dans l'air. Cette vitesse est approximativement égale à $c = 3{,}00 \times 10^8$ m/s.

$$v = \lambda \times f \Rightarrow \lambda = \frac{v}{f} = \frac{3{,}00 \times 10^8 \text{ m/s}}{5{,}2 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}}$$

$$\lambda = 5{,}77 \times 10^{-7} \text{ m} \times \frac{1 \text{ nm}}{10^{-9} \text{ m}} = 577 \text{ nm}$$

d) Si cette lumière atteint une surface réfléchissante, elle subira une réflexion, c'est-à-dire qu'elle sera renvoyée vers le milieu d'où elle provient.

4. Le spectre électromagnétique inclut toutes les catégories d'ondes constituées d'un champ électrique et d'un champ magnétique. Les ondes sonores sont des ondes mécaniques qui ont besoin d'un milieu pour se propager. Elles ne sont pas constituées d'une combinaison de deux champs, magnétique et électrique. C'est pourquoi les ondes sonores ne figurent pas dans le spectre électromagnétique.

5. Note : Dans la première impression du manuel, on devrait lire en *c* : « Est-il possible de calculer sa longueur d'onde (λ) ? Si oui, quelle est sa valeur ? »

a) La période (T) d'une onde correspond au temps nécessaire à l'onde pour effectuer un cycle complet. D'après le graphique, $T = 4 \times 1{,}25\ \text{s} = 5{,}00\ \text{s}$.

b) $f = \dfrac{1}{T} = \dfrac{1}{5{,}00\ \text{s}} = 0{,}200\ \text{s}^{-1} = 0{,}200\ \text{Hz}$

c) Il n'est pas possible de déterminer la longueur d'onde (λ). Il faudrait pour ce faire que la vitesse de l'onde soit spécifiée dans l'énoncé ou que le graphique spatial de l'onde soit fourni.

d) D'après le graphique, $A = 2$ cm.
$\omega = \dfrac{2\pi}{T} = \dfrac{2\pi}{5{,}00\ \text{s}} = 1{,}26\ \text{s}^{-1}$
Ainsi : $y(t) = 2 \times \sin(1{,}26\ t)$

Dans cette équation, les unités de y et de t sont respectivement le centimètre (cm) et la seconde (s).

Chapitre 2 La réflexion de la lumière

Manuel, p. 41 à 76

POUR FAIRE LE POINT

Section 2.1 Les types de réflexions

Manuel, p. 43

1. La réflexion spéculaire se produit sur une surface lisse : des rayons incidents parallèles se propagent parallèlement après la réflexion. La réflexion diffuse se produit sur une surface rugueuse : des rayons incidents parallèles sont réfléchis dans différentes directions.

2. Polir le plancher a pour effet de réduire les irrégularités de surface. La réflexion, sans être totalement spéculaire, devient moins diffuse. Sur la partie non polie, la réflexion reste diffuse et le plancher demeure mat.

3. Le papier glacé est recouvert d'une couche qui réfléchit une partie importante de la lumière incidente. Cette réflexion est « passablement spéculaire ». Si les positions de la source lumineuse, du papier et des yeux sont telles que l'essentiel du faisceau réfléchi se dirige vers les yeux, la lecture sera difficile. En effet, la quantité de lumière réfléchie peut éblouir la personne qui lit ou, sans aller jusque-là, il peut être difficile de distinguer la lumière réfléchie par les pigments d'impression (caractères, images) de la lumière réfléchie par le papier glacé.

Sur du papier mat, la lumière incidente est diffusée dans toutes les directions et il y a peu de risque que les yeux reçoivent trop de lumière.

4. La surface d'un lac n'est pas lisse. La réflexion sur cette surface n'est donc pas spéculaire. De plus, la surface bouge continuellement, ce qui rend l'image instable.

5. *a)* Réflexion diffuse.

b) Réflexion (presque) spéculaire.

c) Réflexion diffuse.

d) Réflexion (presque) spéculaire.

e) Réflexion spéculaire.

6. *a)* La longueur d'onde de la lumière verte (550 nm) est nettement plus grande que la taille des irrégularités de surface (50 nm). La réflexion est donc spéculaire.

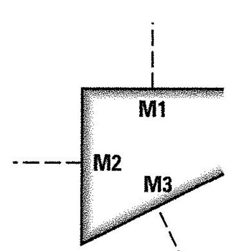
b) La longueur d'onde de la lumière verte (550 nm) est plus petite que la taille des irrégularités de surface (2 µm, soit 2 000 nm). La réflexion devient diffuse.

Section 2.2 La géométrie de la réflexion

Manuel, p. 45

1. B

2.



3. Note : Dans la première impression du manuel, il ne faut pas tenir compte de la flèche noire et de la mention 20° au bas de la figure ; en outre, on devrait lire avant les questions *c* et *d* : « On fait pivoter le miroir de 20° dans le sens horaire, autour du point d'incidence du rayon lumineux. »

a) $\theta_i = 30°$

b) $\theta_{miroir} = 90° - 30° = 60°$

c) $\theta_i' = 30° + 20° = 50°$

d) $\theta'_{miroir} = 90° - 50° = 40°$

Section 2.3 La réflexion sur un miroir plan : les lois de la réflexion

Manuel, p. 47

1. $\theta_i + \theta_r = 60° \quad \theta_i = ?$

Selon la seconde loi de la réflexion, $\theta_i = \theta_r$.
Il en découle que $2\theta_i = 60°$ et donc que $\theta_i = 30°$.

2. $\theta_i = 20°$

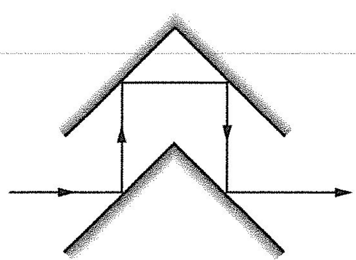
a) $\theta_r = ?$

D'après la deuxième loi de la réflexion, $\theta_r = 20°$

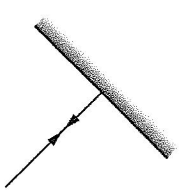
b) $\theta_{miroir} = 90° - 20° = 70°$

3. $\theta_i = 90° - 40° = 50° \quad$ donc $\theta_r = \theta_i = 50°$

4.

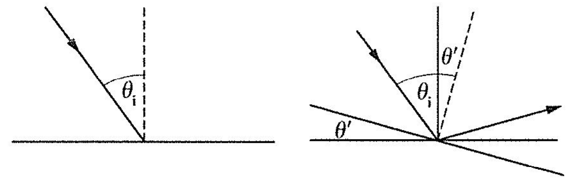


5.

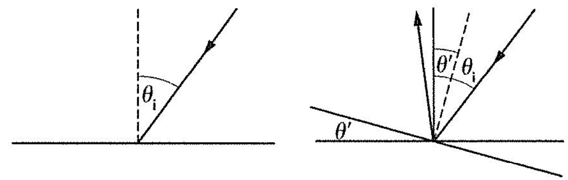


Le rayon revient sur lui-même (le rayon réfléchi se confond avec le rayon incident), car l'angle d'incidence est nul et donc l'angle de réflexion aussi.

6. La réponse varie selon la façon dont la normale et le rayon incident sont tracés. Si la rotation du miroir a pour effet d'éloigner la normale du rayon incident, le nouvel angle d'incidence devient $\theta_{i2} = \theta_i + \theta'$ et ainsi l'angle de réflexion sera $\theta_{r2} = \theta_i + \theta'$.

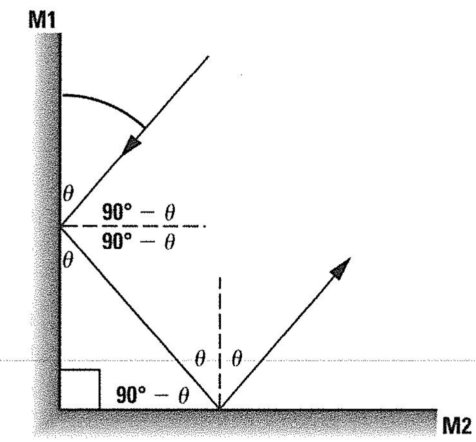


Si la rotation du miroir a pour effet de rapprocher la normale du rayon incident, le nouvel angle d'incidence devient $\theta_{i2} = \theta_i - \theta'$ (on suppose que $\theta' < \theta_i$) et ainsi l'angle de réflexion sera $\theta_{r2} = \theta_i - \theta'$.



7. Note : Dans la première impression du manuel, il ne faut pas tenir compte de l'indice i du symbole θ dans la figure.

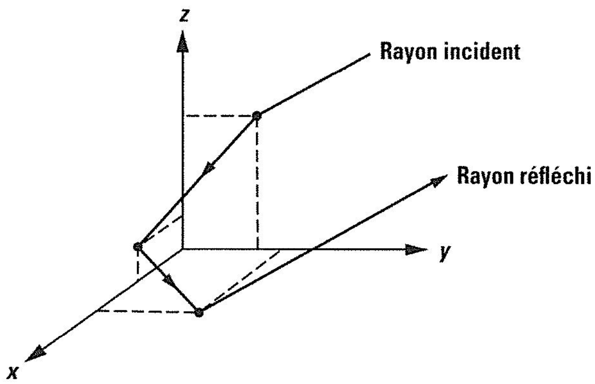
Soit θ, l'angle entre le miroir M1 et le rayon incident. L'angle d'incidence vaut $90° - \theta$.



À chaque réflexion, la direction du rayon réfléchi obéit à la seconde loi de la réflexion. Le rayon réfléchi par M2 est écarté d'un angle θ d'une normale qui est parallèle au miroir M1. Puisque le rayon incident est lui-même écarté d'un angle θ du miroir M1, le rayon incident et le rayon réfléchi sont parallèles.

8. À chaque réflexion, la direction du rayon réfléchi obéit à la seconde loi de la réflexion. Ainsi, si le rayon incident est perpendiculaire à l'un des miroirs, il se réfléchit sur lui-même et repart dans la direction de la source. Si le rayon incident est parallèle à l'un des trois miroirs, le rayon peut se réfléchir successivement sur deux miroirs. Comme le montre la question 7, le rayon repart parallèlement au rayon incident en direction de la source. Dans ce cas, le plan d'incidence est perpendiculaire aux deux miroirs.

Dans le cas général, c'est-à-dire lorsque le plan d'incidence est quelconque, le rayon lumineux subit trois réflexions comme indiqué dans la figure suivante, où les axes *x*, *y* et *z* correspondent aux arêtes où les miroirs se joignent.



La configuration des rayons lumineux dans le cas général tridimensionnel.

Le rayon réfléchi après la troisième réflexion est parallèle au rayon incident. Ainsi, dans un rétro-réflecteur en coin de cube, le rayon réfléchi est toujours parallèle au rayon incident, quelle que soit la direction d'incidence.

Section 2.4
La réflexion sur les miroirs sphériques

Manuel, p. 54

1. 1 : Axe principal 2 : Centre de courbure (C) 3 : Foyer (F) 4 : Sommet du miroir (S) 5 : Miroir concave (ou miroir convergent)

2. La face interne de la cuillère est un miroir concave (pas vraiment sphérique, toutefois), et la face externe est un miroir convexe.

3. Soit θ, l'angle entre le rayon incident et l'axe principal. L'angle de réflexion est aussi égal à θ. Donc, l'angle entre le rayon incident et le rayon réfléchi est égal à 2θ.

4. $f = 20$ cm $\quad R = ?$

$R = 2f = 2 \times 20 \text{ cm} = 40 \text{ cm}$

5. Avec un miroir parabolique, tous les rayons incidents parallèles à l'axe principal convergent, après réflexion, exactement au même point, le foyer. Avec un miroir sphérique, les rayons réfléchis ne convergent pas exactement au même point et le foyer est moins bien défini.

6. Puisque le rayon incident est parallèle à l'axe principal, il passera par le foyer après réflexion.

Puisque $R = 30$ cm, $f = \frac{R}{2} = \frac{30 \text{ cm}}{2} = 15$ cm.

Le rayon réfléchi coupera l'axe principal à 15 cm du sommet du miroir.

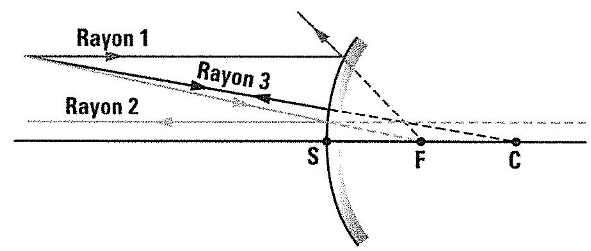
7. A : Le rayon réfléchi passe par C (troisième rayon principal).

B : Le rayon réfléchi passe par F (premier rayon principal).

C : Le rayon réfléchi est parallèle à l'axe principal (deuxième rayon principal).

D : Le rayon réfléchi passe par F (premier rayon principal).

8.



9. A : Le rayon réfléchi est parallèle à l'axe principal (deuxième rayon principal).

B : Le rayon réfléchi se propage dans une direction dont le prolongement passe par F (premier rayon principal).

C : Le rayon réfléchi se propage dans une direction dont le prolongement passe par C (troisième rayon principal). Le rayon est donc réfléchi sur lui-même.

D : Le rayon réfléchi se propage dans une direction dont le prolongement passe par F (premier rayon principal).

Section 2.5
Les images

Manuel, p. 70

1. $d_o = 50$ m $\qquad h_o = ?$ $\qquad d_i = 20 \text{ cm} = 0{,}20$ m

$h_i = 4{,}0 \text{ cm} = 0{,}040$ m

$\frac{h_i}{h_o} = \frac{d_i}{d_o} \Rightarrow h_o d_i = h_i d_o \Rightarrow h_o = \frac{h_i d_o}{d_i}$

$h_o = \frac{0{,}040 \text{ m} \times 50 \text{ m}}{0{,}20 \text{ m}} = 10$ m

2. $h_o = 30\ \text{m} = 3\,000\ \text{cm}$ $h_i = 1{,}5\ \text{cm}$ $g = ?$

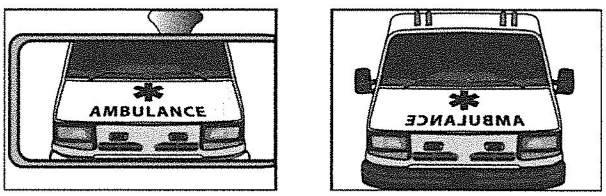
$$g = \frac{h_i}{h_o} = \frac{1{,}5\ \text{cm}}{3\,000\ \text{cm}} = 5{,}0 \times 10^{-4}$$

3. L'image est virtuelle (il faut regarder dans le miroir pour l'observer), droite et de grandeur identique à celle de l'objet.

4. 4 h 00 ; 3 h 30 ; 18 h 00 (ou 6 h 00).

5. Note : Dans la première impression du manuel, on devrait lire : « De quel phénomène est-il question ? »

De l'inversion latérale de l'image dans un miroir plan. Le mot « AMBULANCE » est écrit de droite à gauche sur le capot de l'ambulance (vu de face) de façon à pouvoir être lu par quelqu'un qui regarde l'image de l'ambulance dans un rétroviseur de voiture. Comme l'image fournie par un rétroviseur (miroir plan) est droite, la lettre « A » qui est située à gauche sur l'ambulance apparaît située à gauche sur l'image : le mot se lira donc normalement, de gauche à droite.



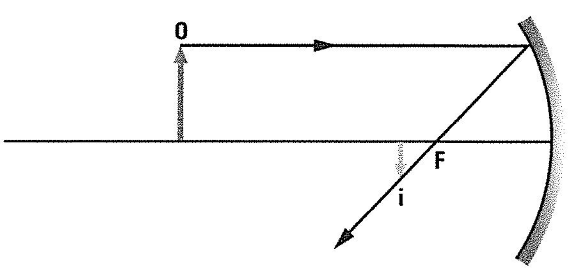
6. $\theta = 60°$ $N = ?$

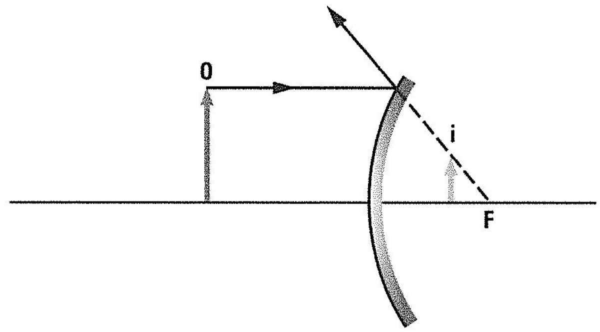
$$N = \left(\frac{360°}{\theta}\right) - 1 = \left(\frac{360°}{60°}\right) - 1 = 6 - 1 = 5$$

7. On sait :
- que le foyer se trouve sur l'axe principal ;
- qu'un rayon incident parallèle à l'axe principal (premier rayon principal) est réfléchi en direction du foyer ou dans une direction dont le prolongement provient du foyer.

Il suffit de tracer ces rayons ou leur prolongement et de déterminer le point où le rayon réfléchi coupe l'axe principal. Ce point d'intersection est le foyer.

Il faut tenir compte du fait qu'un rayon incident venant de la pointe de l'objet passe, après réflexion, par le point correspondant à la pointe de l'image.





8. $f = -60{,}0\ \text{cm}$ $d_o = 6\ \text{m} = 600\ \text{cm}$ $h_o = 1{,}5\ \text{m}$

$d_i = ?$ $h_i = ?$

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

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d_o} = \frac{1}{-60{,}0\ \text{cm}} - \frac{1}{600\ \text{cm}}$$

$$\frac{1}{d_i} = \frac{-10}{600\ \text{cm}} - \frac{1}{600\ \text{cm}} = \frac{-11}{600\ \text{cm}}$$

$$d_i = \frac{600\ \text{cm}}{-11} = -55\ \text{cm}$$

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

$$h_i = -\frac{1{,}5\ \text{m} \times (-55\ \text{cm})}{6\ \text{m}} = 14\ \text{cm}$$

Puisque $d_i < 0$, l'image est virtuelle, et puisque $h_i > 0$, l'image est droite.

9. Rétroviseur convexe donc $f = -50\ \text{cm}$

$|g| = 0{,}10$ $d_o = ?$ $d_i = ?$

Il faut d'abord déterminer le signe du grandissement. Pour un miroir convexe, l'image est toujours droite (*voir le tableau 4, à la page 61*) et donc $g = +0{,}10$.

$$g = \frac{h_i}{h_o} = -\frac{d_i}{d_o} = +0{,}10 \Rightarrow d_i = -0{,}10 \times d_o$$

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

Les deux équations ci-dessus constituent un système de deux équations à deux inconnues, d_o et d_i, qu'il faut résoudre par une des méthodes habituelles. Par exemple, on peut remplacer d_i dans le terme de droite de la deuxième équation par l'expression de d_i fournie par la première équation :

$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{-0{,}10 d_o} = \frac{1}{d_o} - \frac{1}{0{,}10 d_o} = \frac{0{,}10}{0{,}10 d_o} - \frac{1}{0{,}10 d_o}$$

$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{-0{,}90}{0{,}10 d_o} = \frac{-9}{d_o}$$

On obtient alors :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} \Rightarrow \frac{1}{-50\text{ cm}} = \frac{-9}{d_o}$$

$d_o = -9 \times (-50\text{ cm}) = 450\text{ cm} = 4{,}5\text{ m}$

et

$d_i = -0{,}10 \times d_o = -0{,}10 \times 4{,}5\text{ m} = -0{,}45\text{ m} = -45\text{ cm}$

Puisque $d_i < 0$, l'image est virtuelle, ce qui est cohérent avec le fait que le miroir est convexe et que la conductrice voit son image dans le miroir.

10. Objet : la dent $d_o = 15\text{ mm}$

$f = +20\text{ mm}$ $g = ?$

Puisque $g = -\frac{d_i}{d_o}$, il suffit de trouver d_i pour pouvoir déterminer g.

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

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d_o} = \frac{1}{20\text{ mm}} - \frac{1}{15\text{ mm}}$$

$$= \frac{3}{60\text{ mm}} - \frac{4}{60\text{ mm}} = \frac{-1}{60\text{ mm}}$$

$d_i = -60\text{ mm}$

L'image est virtuelle, car l'objet (la dent) se trouve entre le foyer et le miroir. La dentiste peut ainsi voir la dent en regardant dans le miroir.

$$g = -\frac{d_i}{d_o} = -\frac{(-60\text{ cm})}{15\text{ mm}} = +4{,}0$$

Puisque $g > 0$, l'image est droite.

11. Note : Dans la première impression du manuel, on devrait lire : « Une personne se tient à 2 m d'un miroir déformant et remarque que son image est droite et trois fois plus grande qu'elle. »

Objet : la personne $d_o = 2\text{ m}$ $R = ?$

Si l'image est trois fois plus grande que l'objet, le miroir est nécessairement concave, car un miroir convexe fournit toujours une image (virtuelle) plus petite que l'objet (*voir le tableau 4, à la page 61*). Puisque l'image est droite, $g > 0$: $g = +3$. Connaissant g et d_o, on peut déduire d_i, puis f et R :

$$g = -\frac{d_i}{d_o} \Rightarrow d_i = -g \times d_o = -3 \times 2\text{ m} = -6\text{ m}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{2\text{ m}} + \frac{1}{-6\text{ m}} = \frac{3}{6\text{ m}} + \frac{-1}{6\text{ m}} = \frac{2}{6\text{ m}}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{3\text{ m}} \Rightarrow f = 3\text{ m}$$

$R = 2f = 2 \times 3\text{ m} = 6\text{ m}$

Puisque le rayon de courbure est positif, le miroir est effectivement concave.

12. La boule constitue un miroir convexe.

Diamètre $= 8\text{ cm} \Rightarrow |R| = 4\text{ cm} \Rightarrow |f| = 2\text{ cm}$

Puisque le miroir est convexe, $R < 0$ et $f < 0$ selon la convention de signes, donc $f = -2\text{ cm}$.

L'image est réduite de moitié. Comme le miroir est convexe, l'image est droite (*voir le tableau 4, à la page 61*). Ainsi, on écrit $g = +0{,}5$.

$d_o = ?$

$$g = \frac{h_i}{h_o} = -\frac{d_i}{d_o} = +0{,}5 \Rightarrow d_i = -0{,}5 \times d_o$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{-2\text{ cm}} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

Les deux équations ci-dessus constituent un système de deux équations à deux inconnues, d_o et d_i. On peut remplacer d_i dans le terme de droite de la deuxième équation par l'expression de d_i fournie par la première équation :

$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{-0{,}5d_o} = \frac{1}{d_o} - \frac{1}{0{,}5d_o} = \frac{0{,}5}{0{,}5d_o} - \frac{1}{0{,}5d_o}$$

$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{-0{,}5}{0{,}5d_o} = \frac{-1}{d_o}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_1} \Rightarrow \frac{1}{-2\text{ cm}} = \frac{-1}{d_o} \Rightarrow d_o = -1 \times (-2\text{ cm}) = 2\text{ cm}$$

Chapitre 2
La réflexion de la lumière

Manuel, p. 76

1. Soit β, l'angle entre le rayon réfléchi et le miroir plan.

$\beta = 90° - \theta_r$ et puisque $\theta_r = \theta_i$, alors

$\beta = 90° - \theta_i$ et $\theta_i = 90° - \beta$.

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. $f = -20\ \text{cm}$ $d_o = 50\ \text{cm}$ $h_o = 25\ \text{cm}$ $d_i = ?$
   $h_i = ?$

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

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

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

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

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

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

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

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 $c = 3{,}00 \times 10^8$ m/s $n = ?$

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

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

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

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

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 $\quad n = 1{,}50$ (verre) $\quad v = ?$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$n_{1\to2} = \frac{n_2}{n_1}$$

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 :

$$n_{1\to2} = \frac{n_2}{n_1}$$

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

$n_2 = 2{,}42$ (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. $\theta_i = ? \quad n_1 = 1{,}00$ (air) $\quad \theta_R = 45° \quad n_2 = 1{,}30$

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

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

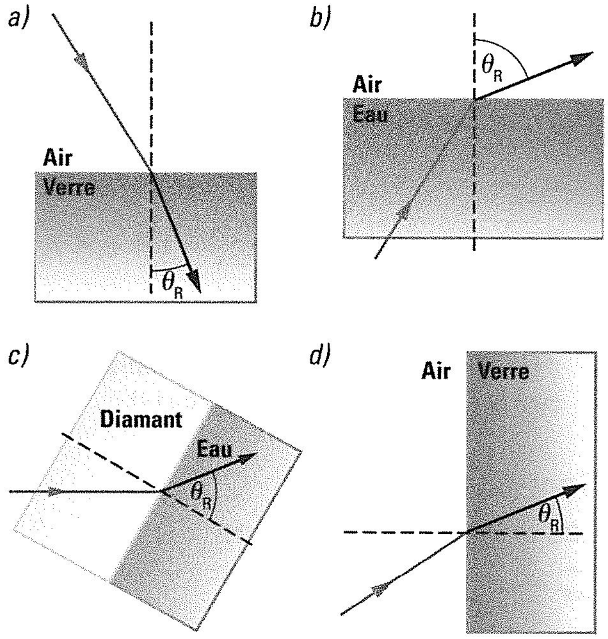
$$\theta_i = \sin^{-1}(0{,}92) = 67°$$

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

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

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

6. L'objectif de cet exercice est de déterminer si le rayon réfracté se rapproche ou s'éloigne de la normale. Les schémas ci-dessous ne sont pas à l'échelle.



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 :

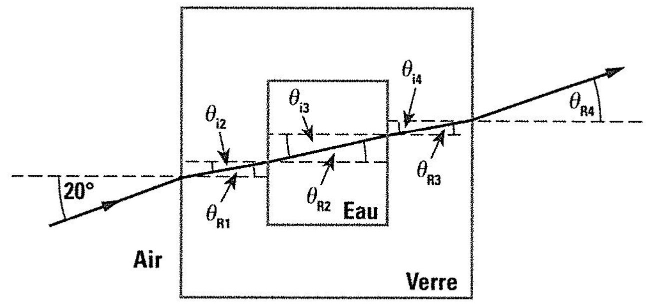
$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_R \Rightarrow n_2 = \frac{n_1 \sin \theta_i}{\sin \theta_R}$$

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, $\theta_{i2} = \theta_{R1} = 13,2°$.

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

$$\sin \theta_{R2} = \frac{n_1 \sin \theta_{i2}}{n_2} = \frac{1,50 \sin 13,2°}{1,33} = 0,2575$$

$\theta_{R2} = 14,9°$

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 :

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

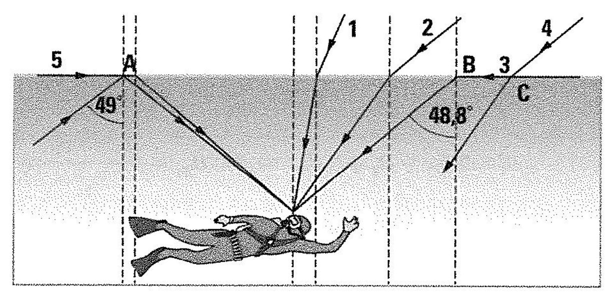
$$\sin \theta_R = \frac{n_1 \sin \theta_i}{n_2} = \frac{1{,}00 \times \sin 90°}{1{,}33} = 0{,}752$$

$\theta_R = 48{,}8°$

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 :

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

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

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

$\theta_{R2} = 41{,}7°$

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:

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

$$\sin\theta_{Rv} = \frac{n_1 \sin \theta_i}{n_{2v}} = \frac{1{,}00 \times \sin 30°}{1{,}54} = 0{,}3247$$

$\theta_{Rv} = 18{,}9°$

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:

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

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

$\theta_{Rr} = 30°$

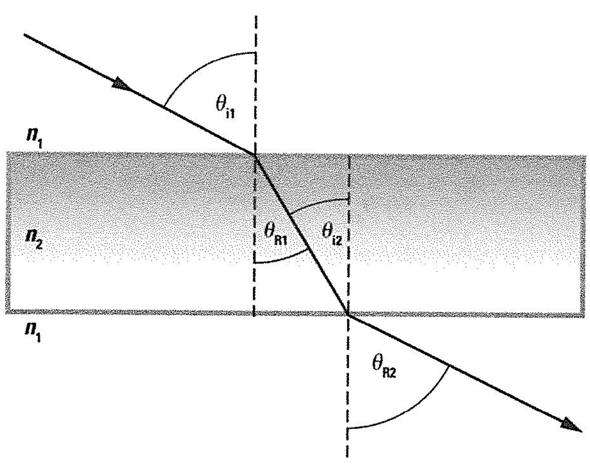
Pour le rayon violet:

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

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

$\theta_{Rv} = 30°$

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.

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

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

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

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

$\theta_R = 7{,}5°$

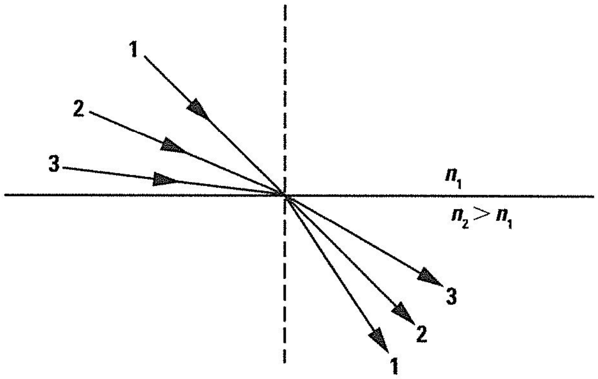
7. Par « milieu moins dense », on sous-entend ici un milieu ayant un indice de réfraction plus faible. Pour un rayon passant d'un milieu moins dense à un milieu plus dense, il faut considérer que $n_1 < n_2$. Dans ce cas, l'angle d'incidence est toujours plus grand que l'angle de réfraction. Il n'est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

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

$$\sin\theta_i = \frac{1{,}33 \times \sin 40°}{1{,}00} = 0{,}855 \Rightarrow \theta_i = 59°$$

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 :

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

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

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

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

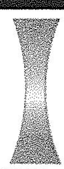
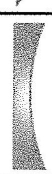
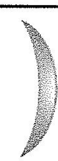
Manuel, p. 95 à 130

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.

Une lentille divergente dévie des rayons incidents parallèles à son axe principal de façon telle qu'après l'avoir traversée, les rayons s'écartent les uns des autres.

3. Les caractéristiques des lentilles sphériques convergentes

Lentille convergente	Première face	Seconde face
Biconvexe	Sphérique convexe	Sphérique convexe
Ménisque à bords minces	Sphérique concave	Sphérique convexe
Plan-convexe	Plane	Sphérique convexe

Évidemment, puisqu'une lentille peut être inversée, un ménisque à bords minces peut avoir pour première face une forme sphérique convexe et pour seconde face une forme sphérique concave. La même remarque s'applique à la lentille plan-convexe.

4. Les caractéristiques des lentilles sphériques divergentes

Lentille divergente	Première face	Seconde face
Plan-concave	Plane	Sphérique concave
Biconcave	Sphérique concave	Sphérique concave
Ménisque à bords épais	Sphérique convexe	Sphérique concave

5. Elles sont divergentes.

6. La face convexe a une courbure plus prononcée que la face concave (son rayon de courbure est donc plus petit).

7. *a)* Les lentilles *convergentes* sont plus épaisses au centre que sur les bords.

b) Les lentilles divergentes sont plus *minces* au centre que sur les bords.

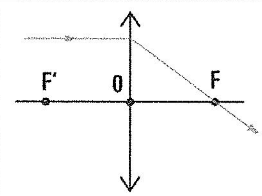
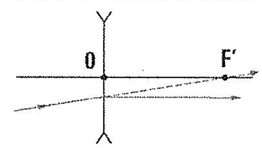
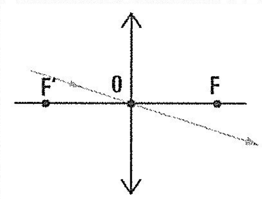
8. Réponse personnelle. L'élève doit minimalement évoquer le fait qu'une lentille convergente focalise des rayons parallèles à son axe principal (AP), qui entrent par une de ses faces, vers un point situé au-delà de son autre face. La lumière sera donc plus concentrée, et plus intense, dans la région de ce point.

9. L'élève doit dessiner une lentille plan-convexe.

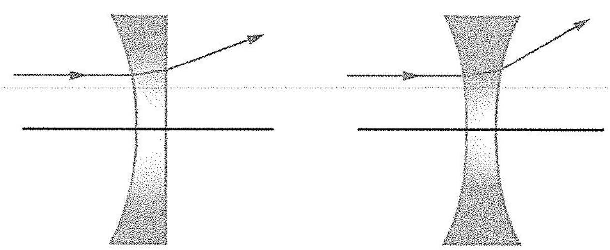
Section 4.2
La réfraction dans les lentilles

Manuel, p. 105

1.

Schématisation des rayons	Type de rayon	Lentille convergente/ divergente
	Premier rayon principal	Convergente
	Deuxième rayon principal	Divergente
	Troisième rayon principal	Convergente

2. Ce sont les lentilles biconcaves qui font dévier le plus la lumière.



Pour le rayon incident sur les deux lentilles illustrées ci-dessus, l'angle d'incidence est le même à la première face, et donc l'angle de réfraction aussi. Cependant, à la seconde face, l'angle d'incidence est plus grand pour la lentille biconcave et donc l'angle de réfraction aussi. Ainsi, la déviation du rayon est plus grande pour la lentille biconcave que pour la lentille plan-concave.

3. 1 : Axe principal (AP)

2 : Foyer secondaire (F')

3 : Lentille convergente

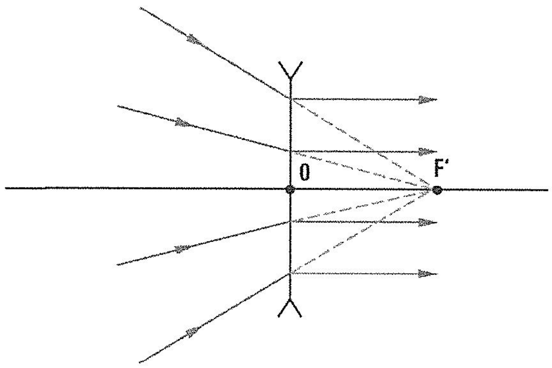
4 : Centre optique (O)

5 : Foyer principal (F)

4. *a)* La lentille est divergente.

b) Le point F' se nomme foyer secondaire.

c) Tout rayon incident qui est pointé dans la direction du foyer secondaire (F') d'une lentille divergente est réfracté parallèlement à l'axe principal (AP) de cette lentille (deuxième rayon principal).



5. *a)* Il s'agit d'une lentille plan-concave.

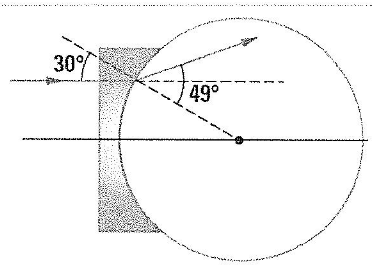
b) Cette droite est l'axe principal (AP) de la lentille.

c) À la première interface, $\theta_i = 0$ et donc $\theta_R = 0$: le rayon continue tout droit.

À la deuxième interface: $\theta_i = 30°$ $\quad n_1 = 1,50$
$\theta_R = ?$ $\quad n_2 = 1,00$

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

$$\sin\theta_R = \frac{1,50 \times \sin 30°}{1,00} = 0,75 \Rightarrow \theta_R = 49°$$



d) Comme le rayon émergent s'écarte de l'axe principal (selon un angle égal à 49 − 30 = 19°), la lentille est divergente.

Section 4.3
La vergence des lentilles

Manuel, p. 112

1. $n_{verre} = 1,50$ $\quad n_{diamant} = 2,42$

Puisque $C = \frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$,
un indice de réfraction plus grand implique que la vergence *C* est plus grande (en considérant des rayons de courbure identiques), car *n* apparaît au numérateur. La vergence de la lentille de diamant est donc supérieure à celle de la lentille de verre.

2. $C_1 = 2,5\ \delta$ $\quad C_2 = 4,0\ \delta$

La vergence totale des deux lentilles accolées est:

$$C_T = C_1 + C_2 = 2,5\ \delta + 4,0\ \delta = 6,5\ \delta$$

La distance focale de l'ensemble formé par les deux lentilles est:

$$f_T = \frac{1}{C_T} = \frac{1}{6,5\ \delta} = \frac{1}{6,5\ \text{m}^{-1}} = 0,15\ \text{m} = 15\ \text{cm}$$

3. $f_1 = 10,0\ \text{cm} = 0,100\ \text{m}$ $\quad f_2 = -15,0\ \text{cm} = -0,150\ \text{m}$

$$C_1 = \frac{1}{f_1} = \frac{1}{0,100\ \text{m}} = 10,0\ \text{m}^{-1} = 10,0\ \delta$$

$$C_2 = \frac{1}{f_2} = \frac{1}{-0,150\ \text{m}} = -6,67\ \text{m}^{-1} = -6,67\ \delta$$

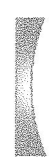
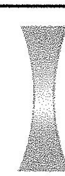
En considérant que les lentilles sont accolées, la vergence totale du système vaut:

$$C_T = C_1 + C_2 = 10,0\ \delta + (-6,67\ \delta) = 3,3\ \delta$$

et la distance focale de la combinaison des deux lentilles est:

$$f_T = \frac{1}{C_T} = \frac{1}{3,3\ \delta} = \frac{1}{3,3\ \text{m}^{-1}} = 0,30\ \text{m} = 30\ \text{cm}$$

4.

Type de lentille	Forme	R_1	R_2
Biconvexe		Positif (+)	Négatif (-)
Plan-concave		Infini	Positif (+)
Biconcave		Négatif (-)	Positif (+)

5. $f = +0,35\ \text{m}$ $\quad C = ?$

$$C = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,35\ \text{m}} = 2,9\ \text{m}^{-1} = 2,9\ \delta$$

6. $C = 3{,}25\ \delta \qquad f = ?$

$$C = \frac{1}{f} \Rightarrow f = \frac{1}{C} = \frac{1}{3{,}25\ \delta} = \frac{1}{3{,}25\ \text{m}^{-1}} = 0{,}308\ \text{m}$$

7. $C = -5{,}5\ \delta$

a) $C = \frac{1}{f} \Rightarrow f = \frac{1}{C} = \frac{1}{-5{,}5\ \delta} = \frac{1}{-5{,}5\ \text{m}^{-1}} = -0{,}18\ \text{m}$

b) Puisque $f < 0$, la lentille est divergente selon la convention de signes.

8. $f = -20{,}0\ \text{cm} = -0{,}200\ \text{m} \qquad C = ?$

$$C = \frac{1}{f} = \frac{1}{-0{,}20\ \text{m}} = -5{,}0\ \text{m}^{-1} = -5{,}00\ \delta$$

9. $C = -2{,}5\ \delta \qquad f = ?$

$$C = \frac{1}{f} \Rightarrow f = \frac{1}{C} = \frac{1}{-2{,}5\ \delta} = \frac{1}{-2{,}5\ \text{m}^{-1}} = -0{,}40\ \text{m}$$

10. $f_1 = 10{,}0\ \text{cm} = 0{,}100\ \text{m} \qquad f_2 = 25{,}0\ \text{cm} = 0{,}250\ \text{m}$

$$C_1 = \frac{1}{f_1} = \frac{1}{0{,}100\ \text{m}} = 10{,}0\ \text{m}^{-1} = 10{,}0\ \delta$$

$$C_2 = \frac{1}{f_2} = \frac{1}{0{,}250\ \text{m}} = 4{,}00\ \text{m}^{-1} = 4{,}00\ \delta$$

Puisque les lentilles sont accolées, la vergence totale du système vaut :

$$C_T = C_1 - C_2 = 10{,}0\ \delta + 4{,}00\ \delta = 14{,}0\ \delta$$

et la distance focale de la combinaison des deux lentilles est :

$$f_T = \frac{1}{C_T} = \frac{1}{14{,}0\ \delta} = \frac{1}{14{,}0\ \text{m}^{-1}} = 0{,}0714\ \text{m} = 7{,}14\ \text{cm}$$

11. $C_1 = 2{,}5\ \delta \qquad C_T = 4{,}0\ \delta \qquad f_2 = ?$

$$C_T = C_1 + C_2$$

$$C_2 = C_T + C_1 = 4{,}0\ \delta - 2{,}5\ \delta = 1{,}5\ \delta$$

$$C_2 = \frac{1}{f_2} \Rightarrow f_2 = \frac{1}{C_2} = \frac{1}{1{,}5\ \delta} = \frac{1}{1{,}5\ \text{m}^{-1}} = 0{,}67\ \text{m}$$

Puisque $f_2 > 0$, la seconde lentille est convergente d'après la convention de signes.

12. Lentille biconcave :
$|R_1| = 12\ \text{cm} \quad |R_2| = 7\ \text{cm} \quad n = 1{,}52$ (verre crown)

Il faut déterminer les signes de R_1 et de R_2 en tenant compte de la convention de signes.

Comme la lentille est biconcave, le centre de courbure de la première face est du côté des rayons incidents, donc $R_1 = -12\ \text{cm} = -0{,}12\ \text{m}$.

Le centre de courbure de la seconde face est du côté des rayons émergents, donc $R_2 = +7\ \text{cm} = 0{,}07\ \text{m}$.

$$C = \frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

$$C = (1{,}52 - 1)\left(\frac{1}{-0{,}12\ \text{m}} - \frac{1}{0{,}07\ \text{m}}\right) = -12\ \text{m}^{-1} = -12\ \delta$$

Si on considérait que la première face était celle avec le rayon de 7 cm, on aurait

$R_1 = -0{,}07$ m et $R_2 = 0{,}12$ m, donnant ainsi la même vergence :

$$C = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

$$C = (1{,}52 - 1)\left(\frac{1}{-0{,}07\ \text{m}} - \frac{1}{0{,}12\ \text{m}}\right) = -12\ \text{m}^{-1} = -12\ \delta$$

Que la lentille soit installée dans un sens ou dans l'autre ne change donc pas son effet sur les rayons lumineux.

13. Lentille biconvexe : $n = 1{,}50 \qquad f = 20$ cm

Il faut traduire en langage algébrique l'énoncé « un rayon de courbure (R) qui est le double de l'autre » :

$$|R_1| = 2|R_2|$$

On sait que : $C = \frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$

Les deux équations ci-dessus constituent un système de deux équations à deux inconnues, R_1 et R_2. Avant de résoudre, il faut toutefois éliminer les valeurs absolues dans la première équation. Selon la convention de signes, pour une lentille biconvexe, $R_1 > 0$ et $R_2 < 0$. Ainsi, $R_1 = -2R_2$.

On peut maintenant insérer l'expression de R_1 dans la formule des lunetiers :

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) = (n-1)\left(\frac{1}{-2R_2} - \frac{1}{R_2}\right)$$

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{-1}{2R_2} - \frac{2}{2R_2}\right) = (n-1)\left(\frac{-3}{2R_2}\right)$$

Puisque $\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{-3}{2R_2}\right)$, en prenant l'inverse des deux côtés, on obtient

$$f = \frac{2R_2}{-3(n-1)}$$

d'où : $R_2 = \dfrac{-3(n-1)f}{2} = \dfrac{-3(1{,}50-1)(20\text{ cm})}{2} = -15\text{ cm}$

Comme $R_1 = -2R_2$, on obtient
$R_1 = -2 \times (-15\text{ cm}) = 30\text{ cm}$.

Si on avait écrit au départ $|R_2| = 2|R_1|$ au lieu de $|R_1| = 2|R_2|$, on aurait obtenu $R_1 = +15$ cm et $R_2 = -30$ cm, ce qui correspond à la même lentille, mais inversée.

14. Si les lentilles ont la même forme, c'est que R_1 et R_2 prennent les mêmes valeurs pour les deux lentilles.

Puisque $C = \dfrac{1}{f} = (n-1)\left(\dfrac{1}{R_1} - \dfrac{1}{R_2}\right)$,

le seul facteur faisant varier la distance focale est l'indice de réfraction.

$n_{\text{diamant}} = 2{,}42 > n_{\text{crown}} = 1{,}52$, donc $\left(\dfrac{1}{f}\right)_{\text{diamant}} > \left(\dfrac{1}{f}\right)_{\text{crown}}$

et ainsi $f_{\text{diamant}} < f_{\text{crown}}$.

C'est la lentille de verre crown qui a la distance focale la plus grande.

15. $f_1 = 12\text{ cm} = 0{,}12\text{ m}$ $\qquad f_2 = 20\text{ cm} = 0{,}20\text{ m}$

$$C_1 = \frac{1}{f_1} = \frac{1}{0{,}12\text{ m}} = 8{,}3\text{ m}^{-1} = 8{,}3\ \delta$$

$$C_2 = \frac{1}{f_2} = \frac{1}{0{,}20\text{ m}} = 5{,}0\text{ m}^{-1} = 5{,}0\ \delta$$

Puisque les lentilles sont juxtaposées, la vergence totale du système vaut:

$$C_T = C_1 + C_2 = 8{,}3\ \delta + 5{,}0\ \delta = 13{,}3\ \delta$$

et la distance focale de la combinaison des deux lentilles est:

$$f_T = \frac{1}{C_T} = \frac{1}{13{,}3\ \delta} = \frac{1}{13{,}3\text{ m}^{-1}} = 0{,}075\text{ m} = 7{,}5\text{ cm}$$

16. $C_1 = +4\ \delta$ $\qquad f_2 = -7\text{ cm} = -0{,}07\text{ m}$

a) $C_2 = \dfrac{1}{f_2} = \dfrac{1}{-0{,}07\text{ m}} = -14\ \delta$

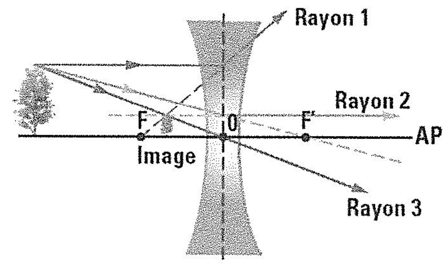
La vergence totale des deux lentilles juxtaposées est: $C_T = C_1 + C_2 = 4\ \delta + (-14\ \delta) = -10\ \delta$

b) Ce système est divergent, car $C_T < 0$ et $f_T < 0$.

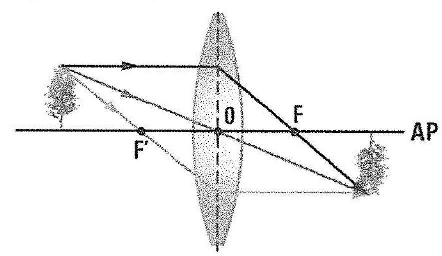
Section 4.4
Les images formées par les lentilles

Manuel, p. 122

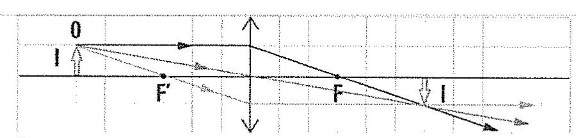
1. Les rayons émergents divergent: l'image est donc virtuelle. Le point-image correspondant au point-objet (cime de l'arbre) se trouve au point de rencontre des prolongements (en pointillés) des rayons émergents.



2. Les rayons émergents convergent: l'image est donc réelle. Le point-image correspondant au point-objet (cime de l'arbre) se trouve au point de rencontre des rayons émergents.



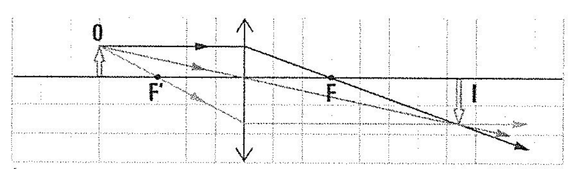
3. *a)*



Échelle: 1 carré = 5 cm

L'image est réelle (les rayons convergent après la lentille), inversée, et sa hauteur est semblable à celle de l'objet.

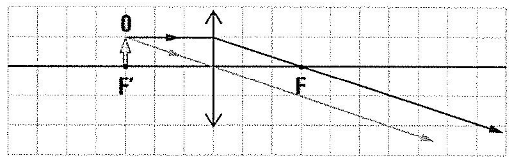
b)



Échelle: 1 carré = 5 cm

L'image est réelle, inversée, et sa hauteur est plus grande (environ 50 % plus grande) que celle de l'objet.

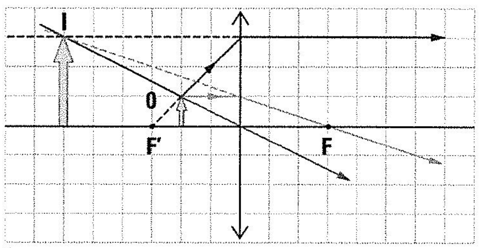
c)



Échelle : 1 carré = 5 cm

Les deux rayons principaux qu'on peut tracer émergent parallèlement à la lentille et ne se rencontrent pas sauf à l'infini. Il n'y a pas d'image ou, ce qui est équivalent, l'image se trouve à l'infini.

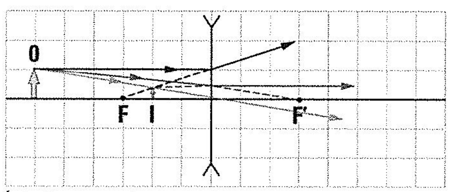
d)



Échelle : 1 carré = 5 cm

L'image est virtuelle (les rayons divergent après avoir traversé la lentille), droite, et sa hauteur est environ le triple de celle de l'objet.

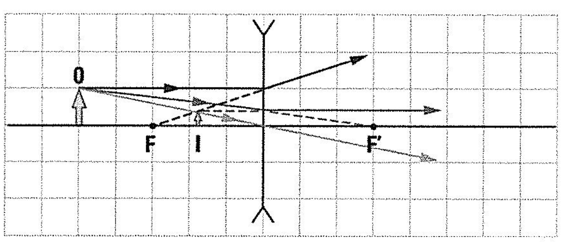
4. a)



Échelle : 1 carré = 5 cm

L'image est virtuelle (les rayons divergent après avoir traversé la lentille), droite, et plus petite que l'objet.

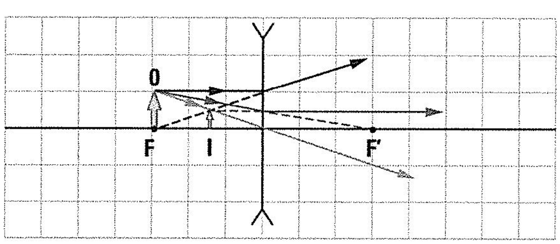
b)



Échelle : 1 carré = 5 cm

L'image est virtuelle (les rayons divergent après avoir traversé la lentille), droite, et plus petite que l'objet.

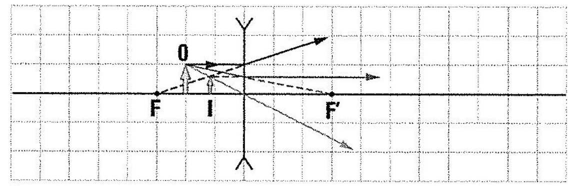
c)



Échelle : 1 carré = 5 cm

L'image est virtuelle (les rayons divergent après avoir traversé la lentille), droite, et plus petite que l'objet.

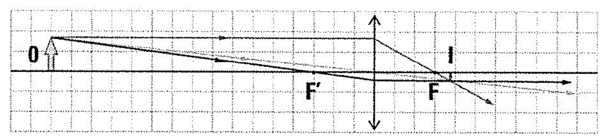
d)



Échelle : 1 carré = 5 cm

L'image est virtuelle (les rayons divergent après avoir traversé la lentille), droite, et plus petite que l'objet.

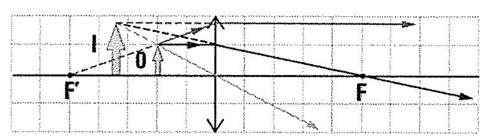
5. Dans le schéma suivant, chaque carré correspond à 5 cm. Les foyers se trouvent donc à trois carrés du centre optique de la lentille.



Échelle : 1 carré = 5 cm

D'après le schéma, l'image (réelle et inversée) est environ à 3,8 carrés du centre optique, ce qui correspond à $d_i \cong 19$ cm. La hauteur de l'image vaut environ 0,4 carré ; ainsi, $h_i \cong -2$ cm.

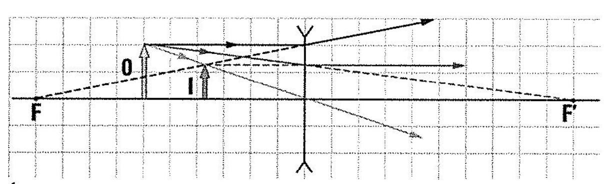
6. Dans le schéma suivant, chaque carré correspond à 5 cm. Les foyers se trouvent donc à cinq carrés du centre optique de la lentille.



Échelle : 1 carré = 5 cm

D'après le schéma, l'image (virtuelle et droite) est environ à 3,4 carrés du centre optique, ce qui correspond à $d_i \cong -17$ cm. La hauteur de l'image vaut environ 1,7 carré ; ainsi, $h_i \cong +8,5$ cm.

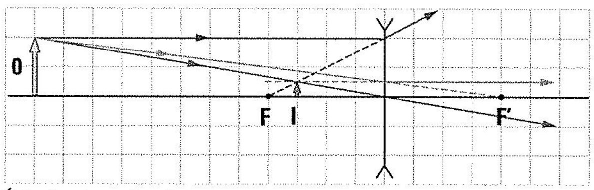
7. Dans le schéma suivant, chaque carré correspond à 2,5 cm. Les foyers se trouvent donc à 10 carrés du centre optique de la lentille.



Échelle : 1 carré = 2,5 cm

D'après le schéma, l'image (virtuelle et droite) est environ à 3,7 carrés du centre optique, ce qui correspond à $d_i \cong$ -9,3 cm. La hauteur de l'image vaut environ 1,2 carré ; ainsi, $h_i \cong$ +3,0 cm.

8. Dans le schéma suivant, chaque carré correspond à 5 cm. Les foyers se trouvent donc à quatre carrés du centre optique de la lentille.



Échelle : 1 carré = 5 cm

D'après le schéma, l'image (virtuelle et droite) est environ à trois carrés du centre optique, ce qui correspond à $d_i \cong$ -15 cm. La hauteur de l'image vaut environ 0,5 carré ; ainsi, $h_i \cong$ +2,5 cm.

9. Pour la question 6 : $d_o = 10$ cm $\quad h_o = 5$ cm $\quad f = 25$ cm

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

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{25\text{ cm}} - \frac{1}{10\text{ cm}} = \frac{2}{50\text{ cm}} - \frac{5}{50\text{ cm}} = \frac{-3}{50\text{ cm}}$$

$$d_i = \frac{-50\text{ cm}}{3} = -17\text{ cm}$$

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

$$h_i = -\frac{d_i h_o}{d_o} = -\frac{(-17\text{ cm}) \times 5\text{ cm}}{10\text{ cm}} = +8{,}5\text{ cm}$$

Pour la question 7 : $d_o = 15$ cm $\quad h_o = 5$ cm
$f = -25$ cm

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

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{-25\text{ cm}} - \frac{1}{15\text{ cm}} = \frac{-3}{75\text{ cm}} - \frac{5}{75\text{ cm}} = \frac{-8}{75\text{ cm}}$$

$$d_i = \frac{-75\text{ cm}}{8} = -9{,}4\text{ cm}$$

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

$$h_i = -\frac{d_i h_o}{d_o} = -\frac{(-9{,}4\text{ cm}) \times 5\text{ cm}}{15\text{ cm}} = +3{,}1\text{ cm}$$

Pour la question 8 : $d_o = 60$ cm $\quad h_o = 10$ cm
$f = -20$ cm

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

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{-20\text{ cm}} - \frac{1}{60\text{ cm}} = \frac{-3}{60\text{ cm}} - \frac{1}{60\text{ cm}} = \frac{-4}{60\text{ cm}}$$

$$d_i = \frac{-60\text{ cm}}{4} = -15\text{ cm}$$

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

$$h_i = -\frac{d_i h_o}{d_o} = -\frac{(-15\text{ cm}) \times 10\text{ cm}}{60\text{ cm}} = +2{,}5\text{ cm}$$

Pour les trois cas, les résultats obtenus par calcul sont cohérents avec ceux obtenus par le tracé des rayons principaux.

10. $f = +20$ cm (lentille convergente) $\quad |g| = 4 \quad d_o = ?$
$d_i = ?$

Il y a deux réponses à cette question, selon le signe du grandissement.

1° $g = +4$

$$g = \frac{h_i}{h_o} = -\frac{d_i}{d_o} = +4 \Rightarrow d_i = -4d_o$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} \Rightarrow \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{+20\text{ cm}}$$

Les deux équations ci-dessus constituent un système de deux équations à deux inconnues, d_o et d_i, qu'il faut résoudre. Par exemple, on peut remplacer dans la deuxième équation l'expression de d_i fournie par la première équation :

$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{-4d_o} = \frac{4}{4d_o} - \frac{1}{4d_o} = \frac{3}{4d_o} = \frac{1}{20\text{ cm}}$$

$4d_o = 60$ cm

$\Rightarrow d_o = 15$ cm

$d_i = -4d_o = -4 \times 15$ cm

$\Rightarrow d_i = -60$ cm

L'image est virtuelle, donc elle se trouve du même côté de la lentille que l'objet. La distance entre l'objet et l'image est :

$\Delta d = |d_i| - d_o = 60\text{ cm} - 15\text{ cm} = 45\text{ cm}$

2° $g = -4$

$$g = \frac{h_i}{h_o} = -\frac{d_i}{d_o} = -4 \Rightarrow d_i = 4d_o$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} \Rightarrow \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{+20\text{ cm}}$$

Les deux équations ci-dessus constituent un système de deux équations à deux inconnues, d_o et d_i, qu'il faut résoudre. Par exemple, on peut remplacer dans la deuxième équation l'expression de d_i fournie par la première équation :

$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{4d_o} = \frac{4}{4d_o} + \frac{1}{4d_o} = \frac{5}{4d_o} = \frac{1}{20\text{ cm}}$$

$$\Rightarrow 4d_o = 100\text{ cm} \Rightarrow d_o = 25\text{ cm}$$

$$d_i = 4d_o = 4 \times 25\text{ cm}$$

$$d_i = 100\text{ cm}$$

L'image est réelle et se trouve de l'autre côté de la lentille par rapport à l'objet. La distance entre l'objet et l'image est :

$$d_o + d_i = 25\text{ cm} + 100\text{ cm} = 125\text{ cm}$$

11. Note : Dans la première impression du manuel, on devrait lire dans le tableau : *Convergente* au lieu de *Convexe*, *Divergente* au lieu de *Concave* et *Inversée* au lieu de *Renversée*.

Lentille	*Convergente*	*Divergente*	Convergente	Divergente	Convergente
f (cm)	*20*	*-20*	10	-30	6,7
d_o (cm)	*25*	*25*	*20*	*15*	20
d_i (cm)	100 cm	-11 cm	*20*	*-10*	*10*
g	-4,0	+0,44	*-1*	+0,67	*-0,5*
Image réelle / virtuelle	*Réelle*	*Virtuelle*	Réelle	Virtuelle	*Réelle*
Orientation	Inversée	Droite	Inversée	Droite	*Inversée*

1re lentille : convergente

$f = 20\text{ cm} \qquad d_o = 25\text{ cm} \qquad d_i = ? \qquad g = ?$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} - \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d_o} = \frac{1}{20\text{ cm}} - \frac{1}{25\text{ cm}}$$

$$\frac{1}{d_i} = \frac{5}{100\text{ cm}} - \frac{4}{100\text{ cm}} = \frac{1}{100\text{ cm}} \Rightarrow d_i = 100\text{ cm}$$

$$g = \frac{h_i}{h_o} = -\frac{d_i}{d_o} = -\frac{100\text{ cm}}{25\text{ cm}} = -4,0$$

Puisque $g < 0$, l'image est inversée.

2e lentille : divergente

$f = -20\text{ cm} \qquad d_o = 25\text{ cm} \qquad d_i = ? \qquad g = ?$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} \Rightarrow \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d_o} = \frac{1}{-20\text{ cm}} - \frac{1}{25\text{ cm}}$$

$$\frac{1}{d_i} = \frac{-5}{100\text{ cm}} - \frac{4}{100\text{ cm}} = \frac{-9}{100\text{ cm}} \Rightarrow d_i = -11\text{ cm}$$

$$g = \frac{h_i}{h_o} = -\frac{d_i}{d_o} = -\frac{-11\text{ cm}}{25\text{ cm}} = +0,44$$

Puisque $g < 0$, l'image est droite.

3e lentille

$d_o = 20\text{ cm} \qquad d_i = 20\text{ cm} \qquad g = -1 \qquad f = ?$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{20\text{ cm}} + \frac{1}{20\text{ cm}} = \frac{2}{20\text{ cm}} = \frac{1}{10\text{ cm}}$$

$$\Rightarrow f = 10\text{ cm}$$

Puisque $f > 0$, la lentille est convergente.

Puisque $d_i > 0$, l'image est réelle.

Puisque $g < 0$, l'image est inversée.

4e lentille

$d_o = 15\text{ cm} \qquad d_i = -10\text{ cm} \qquad g = ? \qquad f = ?$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{15\text{ cm}} + \frac{1}{-10\text{ cm}} = \frac{2}{30\text{ cm}} - \frac{3}{30\text{ cm}}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{-1}{30\text{ cm}} \Rightarrow f = -30\text{ cm}$$

$$g = \frac{h_i}{h_o} = -\frac{d_i}{d_o} = -\frac{-10\text{ cm}}{15\text{ cm}} = +0,67$$

Puisque $f < 0$, la lentille est divergente.

Puisque $d_i < 0$, l'image est virtuelle.

Puisque $g > 0$, l'image est droite.

5e lentille

$d_o = ? \qquad d_i = 10\text{ cm} \qquad g = -0,5 \qquad f = ?$

$$g = -\frac{d_i}{d_o} = -\frac{10\text{ cm}}{d_o} = -0,5 \Rightarrow 0,5d_o = 10\text{ cm}$$

$$d_o = 20\text{ cm}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{20\text{ cm}} + \frac{1}{10\text{ cm}} = \frac{1}{20\text{ cm}} + \frac{2}{20\text{ cm}}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{3}{20\text{ cm}} \Rightarrow f = \frac{20\text{ cm}}{3} = 6,7\text{ cm}$$

Puisque $f > 0$, la lentille est convergente.

Puisque $d_i > 0$, l'image est réelle.

Puisque $g < 0$, l'image est inversée.

12. $f = +10\text{ cm}$ $g = +2$ $d_o = ?$ $d_i = ?$

a, b) $g = \frac{h_i}{h_o} = -\frac{d_i}{d_o} = +2 \Rightarrow d_i = -2d_o$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} \Rightarrow \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{+10\text{ cm}}$$

Les deux équations ci-dessus constituent un système de deux équations à deux inconnues, d_o et d_i, qu'il faut résoudre. Par exemple, on peut remplacer dans la deuxième équation l'expression de d_i fournie par la première équation :

$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{-2d_o} = \frac{1}{d_o} \Rightarrow \frac{1}{2d_o} = \frac{2}{2d_o} - \frac{1}{2d_o} = \frac{1}{2d_c}$$

$$\frac{1}{2d_o} = \frac{1}{10\text{ cm}} \Rightarrow 2d_o = 10\text{ cm} \Rightarrow d_o = 5\text{ cm}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} \Rightarrow \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d_o} = \frac{1}{10\text{ cm}} - \frac{1}{5\text{ cm}}$$

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{10\text{ cm}} - \frac{2}{10\text{ cm}} = \frac{-1}{10\text{ cm}}$$

$$\Rightarrow d_i = -10\text{ cm}$$

$$\left(\text{on confirme que } g = -\frac{d_i}{d_o} = -\frac{-10\text{ cm}}{5\text{ cm}} = +2\right)$$

c) Puisque $f > 0$, selon la convention de signes, la lentille est convergente.

13. Note : Dans la première impression du manuel, on devrait lire : « Une lentille a un grandissement (g) de +0,5. »

$f = -20\text{ cm}$ $g = +0{,}5$ $d_o = ?$ $d_i = ?$

a, b) $g = \frac{h_i}{h_o} = -\frac{d_i}{d_o} = +0{,}5 \Rightarrow d_i = -0{,}5d_o$

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

Les deux équations ci-dessus constituent un système de deux équations à deux inconnues, d_o et d_i, qu'il faut résoudre. Par exemple, on peut remplacer dans la deuxième équation l'expression de d_i fournie par la première équation :

$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{-0{,}5d_o} = \frac{1}{d_o} - \frac{2}{d_o} = \frac{-1}{d_o} = \frac{1}{-20\text{ cm}}$$

$$\Rightarrow d_o = 20\text{ cm}$$

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

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{-20\text{ cm}} - \frac{1}{20\text{ cm}} = \frac{-2}{20\text{ cm}}$$

$$\Rightarrow d_i = -10\text{ cm}$$

$$\left(\text{on confirme que } g = -\frac{d_i}{d_o} = -\frac{-10\text{ cm}}{20\text{ cm}} = +0{,}5\right)$$

c) Puisque $f < 0$, selon la convention de signes, la lentille est divergente.

14. $f = +8\text{ cm}$

Si la chandelle est à 36 cm de l'écran et qu'il se forme une image (réelle) nette sur l'écran, c'est que $d_o + d_i = 36\text{ cm}$.

D'autre part :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{8\text{ cm}}$$

Les deux équations ci-dessus constituent un système de deux équations à deux inconnues, d_o et d_i, qu'il faut résoudre. Par exemple, on peut isoler d_i dans la première équation et remplacer l'expression obtenue dans la deuxième équation :

$$d_i = 36\text{ cm} - d_o$$

$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{36\text{ cm} - d_o}$$

$$= \frac{36\text{ cm} - d_o}{d_o(36\text{ cm} - d_o)} + \frac{d_o}{d_o(36\text{ cm} - d_o)}$$

$$= \frac{36\text{ cm}}{d_o(36\text{ cm} - d_o)} = \frac{1}{8\text{ cm}}$$

$$d_o\,(36\text{ cm} - d_o) = 36\text{ cm} \times 8\text{ cm}$$

$$-d_o^2 + (36\text{ cm})d_o = 288\text{ cm}^2$$

$$\text{ou } d_o^2 - (36\text{ cm})d_o + 288\text{ cm}^2 = 0$$

soit une équation du second degré de la forme $ax^2 + bx + c = 0$ avec $a = 1$, $b = -36$ et $c = 288$. Les solutions sont :

$$d_o = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$d_o = \frac{36 \pm \sqrt{36^2 - 4 \times 1 \times 288}}{2}\text{ cm}$$

$$d_o = 24\text{ cm ou } 12\text{ cm}$$

Une image nette est obtenue pour $d_o = 24\text{ cm}$ (alors $d_i = 12\text{ cm}$), ou pour $d_o = 12\text{ cm}$ (alors $d_i = 24\text{ cm}$).

Section 4.5
Les aberrations optiques des lentilles

Manuel, p. 124

1. Une aberration chromatique est un défaut optique causé par le fait que des rayons incidents de longueurs d'onde différentes ne sont pas réfractés de la même façon par une lentille. Ce phénomène est dû à la variation de l'indice de réfraction en fonction de la longueur d'onde de la lumière. Cette réfraction différente a pour effet de focaliser les rayons incidents parallèles de différentes longueurs d'onde en des endroits différents de l'axe principal (AP).

On peut corriger une aberration chromatique en utilisant un doublet achromatique.

2. *a)* Conformément à la formule des lunetiers, la distance focale (f) d'une lentille dépend de l'indice de réfraction (n) du matériau ayant servi à sa fabrication. Comme l'indice de réfraction dépend de la longueur d'onde (λ) de la lumière, la distance focale dépendra donc de la couleur du faisceau qui traverse la lentille.

b) Il faut tenir compte :

- de la formule des lunetiers :

$$\frac{1}{f} = (n - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

(*voir la section 4.3, à la page 110 du manuel*);

- de la façon dont l'indice de réfraction varie avec la longueur d'onde :

$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2}$$

(*voir la section 3.2, à la page 81 du manuel*);

- du fait que la longueur d'onde de la lumière rouge (λ_R) est plus grande que la longueur d'onde de la lumière verte (λ_V).

Puisque $\lambda_R > \lambda_V$, d'après $n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2}$, on a $n_R < n_V$.

D'après $\frac{1}{f} = (n - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$, on a $\left(\frac{1}{f_R}\right) < \left(\frac{1}{f_V}\right)$, et ainsi $f_R > f_V$.

C'est donc avec la lumière verte qu'on obtient la plus petite distance focale.

3. L'aberration sphérique est causée par la forme sphérique des dioptres de la lentille. En effet, cette forme géométrique a pour particularité de ne pas focaliser au même endroit les rayons parallèles qui passent près de l'axe principal (AP) et ceux qui passent en périphérie de la lentille.

Chapitre 4
Les lentilles

Manuel, p. 130

1. Contrairement aux lentilles, les miroirs ne sont pas traversés par la lumière. Les miroirs réfléchissent la lumière (phénomène de la réflexion), qui voyage donc dans le même milieu de propagation. Dans le cas des lentilles, la lumière les traverse et change ainsi de milieu de propagation. Le passage à travers une lentille fait intervenir le phénomène de réfraction, qui dépend de la longueur d'onde (λ) de la lumière. La trajectoire de la lumière réfractée dépend de l'indice de réfraction (n) du matériau avec lequel la lentille est fabriquée. Comme cet indice dépend à son tour de la longueur d'onde de la lumière, la trajectoire de la lumière réfractée en dépendra aussi. C'est cette différence de trajectoire qui cause l'aberration chromatique.

2. Lentille plan-convexe : $f = 10$ cm
Matériau : verre $\Rightarrow n = 1{,}50$

$$C = \frac{1}{f} = (n - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

Pour une lentille plan-convexe, une des faces, par exemple la seconde, possède un rayon de courbure infini : $R_2 = \infty$; ainsi, $\frac{1}{R_2} = 0$.

La première face est convexe, $R_1 > 0$ selon la convention de signes. Ainsi :

$$\frac{1}{f} = \frac{(n-1)}{R_1}$$

$$R_1 = (n - 1)\,f = (1{,}50 - 1) \times 10 \text{ cm} = 5 \text{ cm}$$

Si la face plane est la première : $R_1 = \infty$; ainsi, $\frac{1}{R_1} = 0$.

La seconde face est convexe, $R_2 < 0$ selon la convention de signes. On obtient

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{-1}{R_2}\right) = \frac{(n-1)}{|R_2|}$$

et ainsi, $|R_2| = 5$ cm également.

3. $f_1 = 20$ cm $f_2 = -10$ cm $f_T = 40$ cm $f_3 = ?$

Les trois lentilles sont accolées ; ainsi, $C_T = C_1 + C_2 + C_3$. Comme on connaît f_1, f_2 et f_T, on peut déterminer C_1, C_2 et C_T, puis C_3 et f_3.

$$C_1 = \frac{1}{f_1} = \frac{1}{20\text{ cm}} = \frac{1}{0{,}20\text{ m}} = 5{,}0\text{ m}^{-1} = 5{,}0\ \delta$$

$$C_2 = \frac{1}{f_2} = \frac{1}{-10\text{ cm}} = \frac{1}{-0{,}10\text{ m}} = -10\text{ m}^{-1} = -10\ \delta$$

$$C_T = \frac{1}{f_T} = \frac{1}{40\text{ cm}} = \frac{1}{0{,}40\text{ m}} = 2{,}5\text{ m}^{-1} = 2{,}5\ \delta$$

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 \Rightarrow C_3 = C_T - C_1 - C_2$$

$$C_3 = 2{,}5\ \delta - 5{,}0\ \delta - (-10\ \delta) = 7{,}5\ \delta$$

$$f_3 = \frac{1}{C_3} = \frac{1}{7{,}5\ \delta} = \frac{1}{7{,}5\text{ m}^{-1}} = 0{,}13\text{ m} = 13\text{ cm}$$

La troisième lentille possède une distance focale de 13 cm. Puisque $f_3 > 0$, la lentille est convergente.

4. Lentille plan-convexe : $R_1 = \infty$ $R_2 < 0$

$$C = \frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) = (n-1)\left(0 - \frac{1}{R_2}\right)$$

$$C = \frac{-(n-1)}{R_2}$$

Puisque $R_2 < 0$, C et f sont positifs. D'après la convention de signes, la lentille est donc convergente.

On peut aussi considérer que $R_2 = \infty$; alors, $R_1 > 0$.

Dans ce cas, on obtient $\frac{1}{f} = \frac{(n-1)}{R_1}$,

ce qui revient au même (inverser la lentille ne modifie pas la distance focale).

5. Lentille plan-convexe : $R_1 = \infty$ $R_2 = -25$ cm

(On pourrait poser $R_1 = +25$ cm et $R_2 = \infty$ et on obtiendrait les mêmes résultats ; inverser la lentille ne change pas sa distance focale.)

$n_b = 1{,}523$ $n_r = 1{,}514$

a) Comme on l'a vu à la question 4, pour une lentille plan-convexe,

$$\frac{1}{f} = \frac{-(n-1)}{R_2}, \text{ d'où } f = \frac{-R_2}{(n-1)}.$$

Pour la lumière bleue :

$$f_b = \frac{-R_2}{(n_b - 1)} = \frac{-(-25\text{ cm})}{(1{,}523 - 1)} = 47{,}80\text{ cm}$$

Pour la lumière rouge :

$$f_r = \frac{-R_2}{(n_r - 1)} = \frac{-(-25\text{ cm})}{(1{,}514 - 1)} = 48{,}64\text{ cm}$$

La distance qui sépare les deux foyers est

$d = f_r - f_b = 48{,}64\text{ cm} - 47{,}80\text{ cm} = 0{,}84\text{ cm}.$

b) Ce phénomène s'appelle l'aberration chromatique.

6. Ménisque divergent : $R_1 = -10$ cm $R_2 = -22$ cm

(On pourrait poser $R_1 = +22$ cm et $R_2 = +10$ cm et on obtiendrait les mêmes résultats ; inverser la lentille ne change pas sa distance focale.)

Puisque la lentille est divergente, $f = -35$ cm (selon la convention de signes).

En utilisant la formule des lunetiers, on peut isoler l'indice de réfraction de la lentille :

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \Rightarrow n - 1 = \frac{\frac{1}{f}}{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}}$$

$$n - 1 = \frac{\frac{1}{-35\text{ cm}}}{\frac{1}{-10\text{ cm}} - \frac{1}{-22\text{ cm}}} = \frac{\frac{-1}{35\text{ cm}}}{\frac{-22}{220\text{ cm}} + \frac{10}{220\text{ cm}}}$$

$$= \frac{-1/35\text{ cm}}{-12/220\text{ cm}} = \frac{-1 \times 220\text{ cm}}{-12 \times 35\text{ cm}}$$

$$n - 1 = 0{,}52 \Rightarrow n = 1{,}52$$

L'indice de réfraction obtenu est celui d'un matériau possédant le même indice de réfraction que celui du verre crown (*voir le tableau 1, à la page 79 du manuel*).

7. Lentille 1 : $R_{11} = \infty$ $R_{21} = -15$ cm (on suppose que la lumière vient de la gauche)

Lentille 2 : $R_{12} = -15\text{ cm} = R$ $R_{22} = \infty$

a) Des rayons incidents parallèles vont émerger parallèlement du système, car les deux interfaces verticales sont parallèles (le système optique agit comme une vitre). On peut ainsi dire que les rayons sont focalisés à l'infini et écrire $f = \infty$, donc

$$C = \frac{1}{f} = \frac{1}{\infty} = 0.$$

On peut aussi procéder de façon plus formelle :

Puisque $R_{12} = R_{21}$, on pose $R_{12} = R_{21} = R$ où $R < 0$.

Comme les deux lentilles sont collées, $C_T = C_1 + C_2$. On calcule C_1 et C_2 :

$$C_1 = (n-1)\left(\frac{1}{R_{11}} - \frac{1}{R_{21}}\right) = (n-1)\left(\frac{1}{\infty} - \frac{1}{R}\right)$$

$$C_1 = -\frac{(n-1)}{R}$$

$$C_2 = (n-1)\left(\frac{1}{R_{12}} - \frac{1}{R_{22}}\right)$$

$$C_2 = (n-1)\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{\infty}\right) = \frac{(n-1)}{R}$$

$$C_T = C_1 + C_2 = -\frac{(n-1)}{R} + \frac{(n-1)}{R} = 0$$

b) $n_1 = 1{,}50$ et $n_2 = 1{,}66$ (*voir le tableau 1, à la page 79 du manuel*)

$$C_1 = (n-1)\left(\frac{1}{R_{11}} - \frac{1}{R_{21}}\right)$$

$$C_1 = (1{,}50-1)\left(\frac{1}{\infty} - \frac{1}{-0{,}15\text{ m}}\right) = \frac{0{,}50}{0{,}15\text{ m}} = 3{,}3\text{ m}^{-1}$$

$$= 3{,}3\ \delta$$

$$C_2 = (n-1)\left(\frac{1}{R_{12}} - \frac{1}{R_{22}}\right)$$

$$C_2 = (1{,}66-1)\left(\frac{1}{-0{,}15\text{ m}} - \frac{1}{\infty}\right) = \frac{-0{,}66}{0{,}15\text{ m}} = -4{,}4\text{ m}^{-1}$$

$$= -4{,}4\ \delta$$

$$C_T = C_1 + C_2 = 3{,}3\ \delta - 4{,}4\ \delta = -1{,}1\ \delta$$

Puisque $C < 0$, alors $f < 0$ et, selon la convention de signes, le système optique est divergent.

8. $d_o = 10$ cm $\quad h_o = 0{,}5$ cm $\quad C = 5\ \delta \quad d_i = ? \quad g = ?$

a) $C = \frac{1}{f}$

$$f = \frac{1}{C} = \frac{1}{5\ \delta} = \frac{1}{5\text{ m}^{-1}} = 0{,}20\text{ m} = 20\text{ cm}$$

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

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{20\text{ cm}} - \frac{1}{10\text{ cm}} = \frac{1}{20\text{ cm}} - \frac{2}{20\text{ cm}} = \frac{-1}{20\text{ cm}}$$

$$d_i = -20\text{ cm}$$

b) $g = -\frac{d_i}{d_o} = -\frac{-20\text{ cm}}{10\text{ cm}} = +2{,}0$

c) Puisque $f > 0$, la lentille est convergente, d'après la convention de signes.

9. $|g| = 0{,}5 \quad C = -5\ \delta \quad d_o = ? \quad d_i = ?$

Comme la lentille est divergente ($C < 0$), l'image est droite (*voir le tableau 3, à la page 114 du manuel*) et $g = +0{,}5$.

a) $C = \frac{1}{f} \Rightarrow f = \frac{1}{C} = \frac{1}{-5\ \delta} = \frac{1}{-5\text{ m}^{-1}}$

$$f = -0{,}20\text{ m} = -20\text{ cm}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = -\frac{1}{20\text{ cm}} \text{ et } g = -\frac{d_i}{d_o} = 0{,}5$$

Ces deux équations forment un système de deux équations à deux inconnues, d_o et d_i. On isole d_i dans la seconde : $d_i = -0{,}5\ d_o$ et on insère l'expression obtenue dans la première équation :

$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{-0{,}5d_o} = \frac{1}{d_o} - \frac{2}{d_o} = \frac{-1}{d_o} = -\frac{1}{20\text{ cm}}$$

$$\Rightarrow d_o = 20\text{ cm}$$

b) $d_i = -0{,}5d_o = -0{,}5 \times (20\text{ cm})$

$d_i = -10$ cm

c) Puisque $f < 0$, la lentille est divergente, d'après la convention de signes.

10. Lentille biconvexe en verre : $n = 1{,}50$

$|R_1| = 12$ cm $\quad |R_2| = 2 \times |R_1| = 24$ cm

En tenant compte de la convention de signes, $R_1 = +12$ cm et $R_2 = -24$ cm.

(On pourrait poser R_1 = +24 cm et R_2 = -12 cm et on obtiendrait les mêmes résultats ; inverser la lentille ne change pas sa distance focale.)

a) $\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$

$$\frac{1}{f} = (1{,}50-1)\left(\frac{1}{12\text{ cm}} - \frac{1}{-24\text{ cm}}\right)$$

$$\frac{1}{f} = 0{,}50 \times \left(\frac{2}{24\text{ cm}} + \frac{1}{24\text{ cm}}\right)$$

$$\frac{1}{f} = 0{,}50 \times \frac{3}{24\text{ cm}} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{8\text{ cm}} = \frac{1}{16\text{ cm}}$$

$$\Rightarrow f = 16\text{ cm}$$

b) $d_o = 20$ cm $\quad d_i = ?$

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d_o} = \frac{1}{16\text{ cm}} - \frac{1}{20\text{ cm}}$$

$$\frac{1}{d_i} = \frac{5}{80\text{ cm}} - \frac{4}{80\text{ cm}} = \frac{1}{80\text{ cm}} \Rightarrow d_i = 80\text{ cm}$$

c) $g = -\frac{d_i}{d_o} = -\frac{80\text{ cm}}{20\text{ cm}} = -4$

L'image est donc réelle ($d_i > 0$) et inversée ($g < 0$).

Chapitre 5 L'optique géométrique appliquée

Manuel, p. 131 à 147

POUR FAIRE LE POINT

Section 5.1 L'appareil photographique

Manuel, p. 133

1. Les rayons provenant d'un point de l'objet divergent et l'objectif doit faire converger ces rayons en un point sur la surface photosensible : l'objectif est donc convergent.

2. L'image formée sur la surface photosensible d'un appareil photographique est réelle et inversée.

3. La distance d'un objet qu'on photographie (la distance objet d_o) peut varier d'une photo à une autre. D'après l'équation des lentilles minces, la distance image d_i varie également. Si l'objectif était toujours à la même place, l'image pourrait se former devant ou derrière la surface photosensible, ce qui donnerait des photos floues.

Pour faire une mise au point, c'est-à-dire s'assurer que l'image se forme exactement sur la surface photosensible et que la photo sera nette, il suffit de modifier la distance entre la lentille et la surface photosensible. La plupart des appareils photo font cet ajustement automatiquement.

4. Selon l'équation des lentilles minces : $\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$

lorsque $d_o \rightarrow \infty$, $\frac{1}{d_o} \rightarrow 0$.

Alors : $\frac{1}{f} = 0 + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{d_i} \Rightarrow f = d_i$

Ainsi, lorsque l'objet photographié est à l'infini (ou très loin), la distance entre l'objectif et la surface photosensible est égale à la distance focale (f).

5. $f = 6{,}0$ cm

Puisque l'objectif est à 7,0 cm de la surface photosensible et que l'image est nette, alors $d_i = 7{,}0$ cm.

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

$$\frac{1}{d_o} = \frac{1}{6{,}0\text{ cm}} - \frac{1}{7{,}0\text{ cm}} = \frac{7}{42\text{ cm}} - \frac{6}{42\text{ cm}} = \frac{1}{42\text{ cm}}$$

$d_o = 42$ cm

6. $f = 6{,}0$ cm $\quad R_L = 1{,}74 \times 10^6$ m $\quad d_{TL} = 3{,}84 \times 10^8$ m

$d_o = 3{,}84 \times 10^8$ m $\quad h_o = 2 \times R_L = 3{,}48 \times 10^6$ m

$h_i = ?$

Puisque $g = \frac{h_i}{h_o} = -\frac{d_i}{d_o}$, pour trouver h_i, il faut d'abord obtenir d_i:

$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d_o} = \frac{1}{6{,}0\ \text{cm}} - \frac{1}{3{,}84 \times 10^8\ \text{m}}$$

L'objet est si loin que le dénominateur du second terme de la soustraction est très grand, ce qui rend le second terme négligeable:

$$\frac{1}{d_i} \approx \frac{1}{f} \Rightarrow d_i = f = 6{,}0\ \text{cm}$$

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

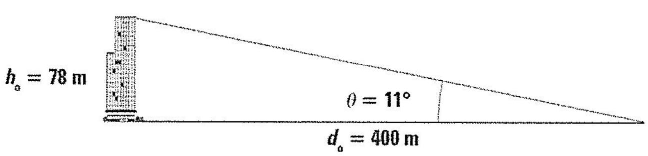
$$h_i = -\frac{h_o d_i}{d_o} = -\frac{3{,}48 \times 10^6\ \text{m} \times 6{,}0\ \text{cm}}{3{,}84 \times 10^8\ \text{m}} = -0{,}054\ \text{cm}$$

La grandeur de l'image de la Lune sur la surface photosensible est de 0,54 mm.

7. Objet: l'immeuble $d_o = 400$ m $h_o = 78$ m

Lentille convergente: $f = 5$ cm

a) On considère que le viseur ne dévie pas les rayons.



$$\tan \theta = \frac{h_o}{d_o} = \frac{78\ \text{m}}{400\ \text{m}} = 0{,}20$$

$$\theta = \tan^{-1}(0{,}20) = 11°$$

Le touriste voit l'immeuble sous un angle de 11°.

b) $d_i = ?$

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

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{5\ \text{cm}} - \frac{1}{400\ \text{m}} = \frac{1}{0{,}05\ \text{m}} - \frac{1}{400\ \text{m}}$$

$$\frac{1}{d_i} = \frac{8\,000}{400\ \text{m}} - \frac{1}{400\ \text{m}} = \frac{7\,999}{400\ \text{m}}$$

$$d_i = \frac{400\ \text{m}}{7\,999} = 0{,}05001\ \text{m} \approx 5\ \text{cm}$$

La distance lentille-image est égale, à peu de choses près, à la distance focale de la lentille. L'image se formera donc sur la pellicule.

c) $h_i = ?$

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

$$h_i = -\frac{h_o d_i}{d_o} = -\frac{78\ \text{m} \times 5\ \text{cm}}{400\ \text{m}} = -0{,}98\ \text{cm}$$

L'image est inversée et sa taille est égale à 9,8 mm.

Section 5.2
L'œil humain

Manuel, p. 138

1. $C = 5{,}2\ \delta$

Puisque $C > 0$, la lentille est convergente. L'œil est donc hypermétrope, défaut qui nécessite d'augmenter la vergence.

2. 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.

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'interposer une couche d'air devant l'œil, et donc de revenir à la situation habituelle pour l'œil.

3. Une personne myope porte des verres correcteurs divergents. Comme il est indiqué au chapitre 4 (*voir le tableau 3, à la page 114*), une lentille divergente fournit toujours une image virtuelle droite et plus petite que l'objet. C'est cette image qu'on perçoit quand on regarde les yeux d'une personne à travers ses lunettes. Les yeux d'une personne myope apparaissent donc plus petits qu'ils ne le sont en réalité.

Si la personne est hypermétrope (ou presbyte), elle porte des verres convergents. La surface de ses yeux se trouve entre le foyer et la lentille. Comme il est indiqué au chapitre 4 (*voir le tableau 2, à la page 114*), une lentille convergente fournit dans ces conditions une image virtuelle droite et plus grande que l'objet. Vus à travers les verres, les yeux d'une personne hypermétrope apparaissent donc plus grands qu'ils ne le sont en réalité.

4. Note : Dans la première impression du manuel, on devrait lire : « La distance séparant le système cristallin-cornée et la rétine d'une personne qui voit nettement des objets éloignés est égale à 2,0 cm. »

Quand un objet est très éloigné (objet au punctum remotum), $d_o \rightarrow \infty$ et $d_i = f$. La première phrase de l'énoncé fournit donc la distance focale de l'œil pour un objet au punctum remotum (PR) : $f_{PR} = 2{,}0$ cm. La vergence de l'œil est alors :

$$C_{PR} = \frac{1}{f_{PR}} = \frac{1}{2{,}0\text{ cm}} = \frac{1}{0{,}020\text{ m}} = 50\text{ m}^{-1} = 50\ \delta$$

Si on considère le punctum proximum (PP) situé à 0,40 m, pour un objet situé à cette distance, l'image doit encore se former sur la rétine ; ainsi :

$d_o = 0{,}40$ m $\quad d_i = 2{,}0$ cm $\quad f_{PP} = ?$

$$C_{PP} = \frac{1}{f_{PP}} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{0{,}40\text{ m}} + \frac{1}{0{,}020\text{ m}}$$

$$= \frac{1}{0{,}40\text{ m}} + \frac{20}{0{,}40\text{ m}} = \frac{21}{0{,}40\text{ m}} = 53\ \delta$$

L'amplitude d'accommodation est :

$$\Delta C = C_{PP} - C_{PR} = 53\ \delta - 50\ \delta = 3\ \delta$$

5. *a)* La presbytie est une anomalie visuelle causée par le vieillissement du cristallin qui n'accommode plus suffisamment. Pour un objet proche de l'œil, l'image se forme en arrière de la rétine. Le punctum proximum d'un œil normal est d'approximativement 25 cm.

b) Puisque l'image se forme sur la rétine lorsque l'objet est au punctum proximum, on a, pour un œil sans correction :

$d_o = 45$ cm $\quad d_i = 17$ mm $= 1{,}7$ cm $\quad f_{PP} = ?$

Il est ainsi possible de calculer la vergence (C_P) de l'œil, sans correction, pour un objet au punctum proximum :

$$\frac{1}{f_{PP}} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{45\text{ cm}} + \frac{1}{1{,}7\text{ cm}}$$

$$= 0{,}022\text{ cm}^{-1} + 0{,}588\text{ cm}^{-1} = 0{,}610\text{ cm}^{-1}$$

$f_{PP} = 1{,}64$ cm

$$C_{PP} = \frac{1}{f_{PP}} = \frac{1}{0{,}0164\text{ m}} = 61\ \delta$$

Avec correction, pour un objet à 25 cm, l'image doit aussi se former sur la rétine ; donc, dans ce cas :

$d_o' = 25$ cm $\quad d_i' = 17$ mm $= 1{,}7$ cm $\quad f_{PP}' = ?$

$$\frac{1}{f_{PP}'} = \frac{1}{d_o'} + \frac{1}{d_i'} = \frac{1}{25\text{ cm}} + \frac{1}{1{,}7\text{ cm}}$$

$$= 0{,}040\text{ cm}^{-1} + 0{,}588\text{ cm}^{-1} = 0{,}628\text{ cm}^{-1}$$

$f_{PP}' = 1{,}59$ cm

$$C_{PP}' = \frac{1}{f_{PP}'} = \frac{1}{0{,}0159\text{ m}} = 63\ \delta$$

On considère que la lentille correctrice est juxtaposée à l'œil, donc sa vergence (C_L) est donnée par :

$$C_L + C_{PP} = C_{PP}'$$

$$C_L = C_{PP}' - C_{PP} = 63\ \delta - 61\ \delta = 2\ \delta$$

Comme $C_L > 0$, la lentille est convergente.

Section 5.3
Le microscope optique

Manuel, p. 140

1. L'objectif et l'oculaire.

2. Les lentilles utilisées dans les microscopes optiques sont convergentes.

3. L'image formée par la lentille de l'oculaire d'un microscope optique est virtuelle. Pour l'observer, il faut regarder dans l'oculaire ; l'image ne peut pas être projetée sur un écran.

4. Soit L_1, l'objectif et L_2, l'oculaire.

Image fournie par l'objectif :

$d_{o1} = 2{,}5$ cm $\quad h_{o1} = 1{,}0$ cm $\quad f_1 = 2{,}0$ cm

$$\frac{1}{d_{o1}} + \frac{1}{d_{i1}} = \frac{1}{f_1} \Rightarrow \frac{1}{d_{i1}} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{d_{o1}} = \frac{1}{2{,}0\text{ cm}} - \frac{1}{2{,}5\text{ cm}}$$

$$\frac{1}{d_{i1}} = \frac{5-4}{10\text{ cm}} = \frac{1}{10\text{ cm}} \Rightarrow d_{i1} = 10\text{ cm}$$

L'objectif forme une image réelle à 10 cm de l'objectif.

$$g_1 = \frac{h_{i1}}{h_{o1}} = -\frac{d_{i1}}{d_{o1}}$$

$$h_{i1} = -\frac{h_{o1}d_{i1}}{d_{o1}} = -\frac{1{,}0\text{ cm} \times 10\text{ cm}}{2{,}5\text{ cm}} = -4{,}0\text{ cm}$$

Après s'être croisés à l'endroit de l'image, les rayons continuent à se propager et atteignent l'oculaire. Pour l'oculaire, l'objet est, par définition, le point de rencontre des rayons incidents sur l'oculaire. Mais ce point de rencontre correspond aussi au point de rencontre des rayons émergeant de l'objectif, qui est la position de l'image de l'objectif. Autrement dit, l'image fournie par l'objectif devient l'objet pour l'oculaire.

Comme l'oculaire est à 12 cm de l'objectif et que l'image fournie par l'objectif est à 10 cm de l'objectif (donc à 2 cm de l'oculaire), la distance objet pour l'oculaire est de 2 cm. La hauteur de l'objet pour l'oculaire est égale à la hauteur de l'image fournie par l'objectif.

Image fournie par l'oculaire :

$d_{o2} = 2\text{ cm} \quad h_{o2} = -4{,}0\text{ cm} \quad f_2 = 2{,}3\text{ cm}$

$$\frac{1}{d_{o2}} + \frac{1}{d_{i2}} = \frac{1}{f_2} \Rightarrow \frac{1}{d_{i2}} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{d_{o2}}$$

$$\frac{1}{d_{i2}} = \frac{1}{2{,}3\text{ cm}} - \frac{1}{2\text{ cm}} = \frac{2-2{,}3}{4{,}6\text{ cm}} = \frac{-0{,}3}{4{,}6\text{ cm}}$$

$$\Rightarrow d_{i2} = \frac{-4{,}6\text{ cm}}{0{,}3} = -15\text{ cm}$$

L'oculaire forme à 15 cm de l'oculaire une image virtuelle dont la grandeur est :

$$g_2 = \frac{h_{i2}}{h_{o2}} = -\frac{d_{i2}}{d_{o2}}$$

$$h_{i2} = -\frac{h_{o2}d_{i2}}{d_{o2}} = -\frac{-4{,}0\text{ cm} \times (-15\text{ cm})}{2\text{ cm}} = -30\text{ cm}$$

L'image finale, formée par l'oculaire, est beaucoup plus grande que l'objet, et elle est inversée, comme le montre l'utilisation pratique d'un microscope.

5. Soit L_1, l'objectif et L_2, l'oculaire.

a) L'objet est la lettre :

$d_{o1} = 1{,}7\text{ cm} \quad h_{o1} = 1{,}0\text{ mm} \quad f_1 = 1{,}5\text{ cm}$

$$\frac{1}{d_{o1}} + \frac{1}{d_{i1}} = \frac{1}{f_1} \Rightarrow \frac{1}{d_{i1}} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{d_{o1}}$$

$$\frac{1}{d_{i1}} = \frac{1}{1{,}5\text{ cm}} - \frac{1}{1{,}7\text{ cm}} = \frac{1{,}7-1{,}5}{2{,}55\text{ cm}} = \frac{0{,}2}{2{,}55\text{ cm}}$$

$$\Rightarrow d_{i1} = \frac{2{,}55\text{ cm}}{0{,}2} = 12{,}8\text{ cm}$$

b) Puisque $d_{i1} > 0$, l'image produite par l'objectif est réelle.

c) L'image fournie par l'objectif devient l'objet pour l'oculaire. Comme l'oculaire est à 14 cm de l'objectif et que l'image fournie par l'objectif est à 12,8 cm de l'objectif (donc à 1,2 cm de l'oculaire), la distance objet pour l'oculaire est de 1,2 cm.

$d_{o2} = 1{,}2\text{ cm} \quad f_2 = 2{,}0\text{ cm}$

$$\frac{1}{d_{o2}} + \frac{1}{d_{i2}} = \frac{1}{f_2} \Rightarrow \frac{1}{d_{i2}} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{d_{o2}}$$

$$\frac{1}{d_{i2}} = \frac{1}{2{,}0\text{ cm}} - \frac{1}{1{,}2\text{ cm}} = \frac{1{,}2-2{,}0}{2{,}4\text{ cm}} = \frac{-0{,}8}{2{,}4\text{ cm}}$$

$$d_{i2} = \frac{-2{,}4\text{ cm}}{0{,}8} = -3{,}0\text{ cm}$$

d) Puisque $d_{i2} < 0$, l'image produite par l'oculaire est virtuelle.

e) La grandeur de l'image produite par l'objectif est donnée par :

$$g_1 = \frac{h_{i1}}{h_{o1}} = -\frac{d_{i1}}{d_{o1}}$$

$$h_{i1} = -\frac{h_{o1}d_{i1}}{d_{o1}} = -\frac{1{,}0\text{ mm} \times 12{,}8\text{ cm}}{1{,}7\text{ cm}} = -7{,}5\text{ mm}$$

La hauteur de l'objet pour l'oculaire est égale à la hauteur de l'image fournie par l'objectif : $h_{o2} = -7{,}5\text{ mm}$

$$g_2 = \frac{h_{i2}}{h_{o2}} = -\frac{d_{i2}}{d_{o2}}$$

$$h_{i2} = -\frac{h_{o2}d_{i2}}{d_{o2}} = -\frac{-7{,}5\text{ mm} \times (-3{,}0\text{ cm})}{1{,}2\text{ cm}} = -19\text{ mm}$$

f) $$g_{tot} = \frac{h_{i2}}{h_{o1}} = \frac{-19\text{ mm}}{1{,}0\text{ mm}} = -19$$

g) Puisque $h_{i2} < 0$ (ou que $g_{tot} < 0$), l'image finale est inversée par rapport à l'objet.

Section 5.4
Le télescope

Manuel, p. 143

1. Les lunettes astronomiques peuvent également être appelées télescopes réfracteurs parce qu'elles utilisent des lentilles qui réfractent la lumière.

2. La différence fondamentale entre le télescope réfracteur et le télescope réflecteur provient du système optique utilisé pour capter la lumière : c'est une lentille convergente dans le premier alors que c'est un miroir convergent dans le second.

3. Le miroir secondaire d'un télescope de Newton est placé à 45° par rapport à l'axe principal du miroir primaire afin de renvoyer l'image formée vers l'oculaire, dans une direction perpendiculaire à l'axe principal.

4. Les plus grands télescopes du monde sont des télescopes réflecteurs, car il est plus facile (moins de surfaces à polir) de fabriquer de grands miroirs que de grandes lentilles. De plus, un grand miroir peut être soutenu par en dessous, alors que ce n'est pas le cas pour une lentille, que la lumière doit traverser.

Note : Dans la première impression du manuel, la rubrique *Pour faire le point* de la section 5.4 comprenait un numéro 5. Ce numéro a été supprimé dans la deuxième impression du manuel.

Chapitre 5
L'optique géométrique appliquée

Manuel, p. 147

1.

Appareil photographique	Œil humain
Diaphragme	Iris
Objectif	Système optique cornée-cristallin
Surface photosensible	Rétine

2. La mise au point d'un appareil photographique se fait par translation avant-arrière de l'objectif. Dans le cas de l'œil humain, il n'y a aucune composante mobile. La mise au point se fait par accommodation du cristallin, qui change de forme.

3. Images virtuelles : microscopes, télescopes réflecteur et réfracteur.
Images réelles : appareil photographique, œil humain.

4. *a)* L'appareil 1 est un télescope réfracteur et l'appareil 2 est un microscope.

b) La première lentille (à gauche) est l'objectif tandis que la seconde est l'oculaire. L'objectif produit une image réelle agrandie. L'oculaire forme une image virtuelle encore plus grande.

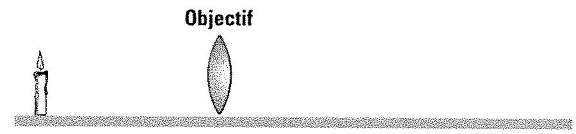
c) L'objectif du télescope réfracteur possède une grande distance focale. Quant au microscope, son objectif est une lentille dont la distance focale est très faible. L'objectif se place très près de l'objet à observer.

5. Cela est dû au fait que le miroir primaire des télescopes réflecteurs n'est pas traversé par la lumière alors que l'objectif des télescopes réfracteurs l'est.

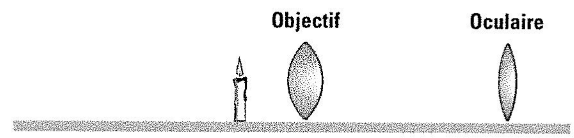
6.

Appareils optiques	Composantes	Phénomène optique (Réflexion/Réfraction)
Microscope	Objectif	Réfraction
	Oculaire	Réfraction
Télescope réflecteur	Miroir primaire	Réflexion
	Miroir secondaire	Réflexion

7. *a)* Un appareil photographique comporte une lentille convergente.



b) Un microscope comporte deux lentilles convergentes ; l'objectif a une courte distance focale, donc la lentille est très bombée. L'objet se trouve près de l'objectif.



c) Un télescope réfracteur comporte deux lentilles convergentes ; l'objectif a une longue distance focale, donc la lentille est peu bombée. L'objet se trouve très loin.