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

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.

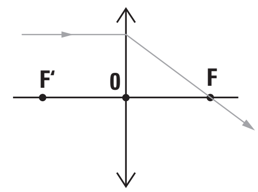
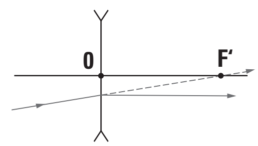
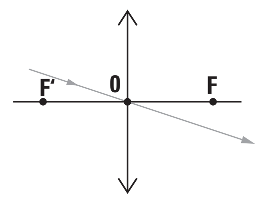
8. Réponse personnelle. L'élève doit minimalement évoquer le fait qu'une lentille convergente focalise des rayons parallèles à son axe principal (AP), qui entrent par une de ses faces, vers un point situé au-delà de son autre face. La lumière sera donc plus concentrée, et plus intense, dans la région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

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

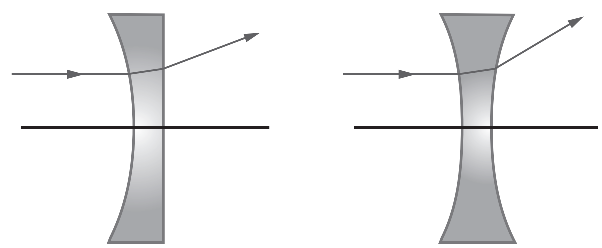
Section 4.2 La réfraction dans les lentilles

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.



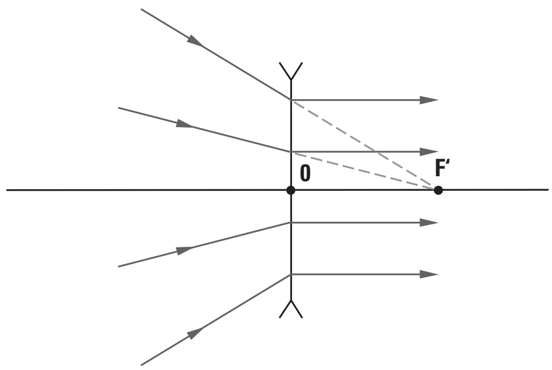
Pour le rayon incident sur les deux lentilles illustrées ci-dessus, l'angle d'incidence est le même à la première face, et donc l'angle de réfraction aussi. Cependant, à la seconde face, l'angle d'incidence est plus grand pour la lentille biconcave et donc l'angle de réfraction aussi. Ainsi, la déviation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

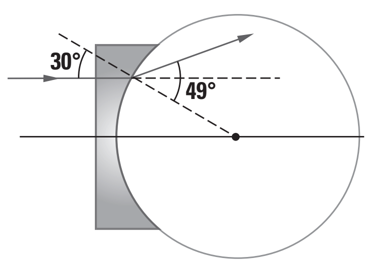
c) À la première interface, $\theta_i = 0$ et donc $\theta_R = 0$: le rayon continue tout droit.

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

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

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. $C_1 = 2{,}5\ \delta$ $\qquad C_2 = 4{,}0\ \delta$

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

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

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

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

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

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 : $n = 1{,}50 \qquad f = 20\ \text{cm}$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

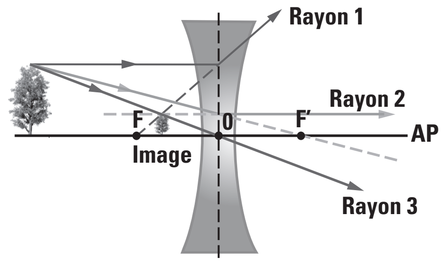
La vergence totale des deux lentilles juxtaposées est : $C_T = C_1 + C_2 = 4\ \delta + (-14\ \delta) = -10\ \delta$

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

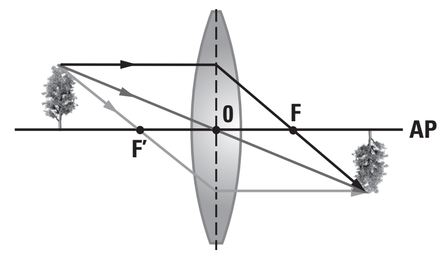
Section 4.4
Les images formées par les lentilles

Manuel, p. 122

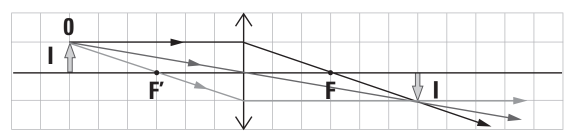
1. Les rayons émergents divergent : l'image est donc virtuelle. Le point-image correspondant au point-objet (cime de l'arbre) se trouve au point de rencontre des prolongements (en pointillés) des rayons émergents.



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.



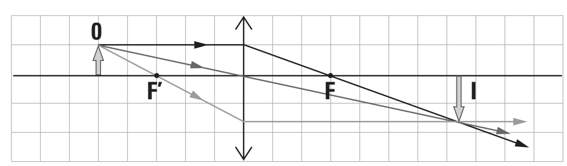
3. *a)*



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.

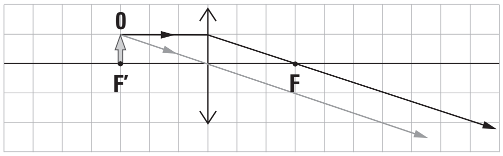
b)



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.

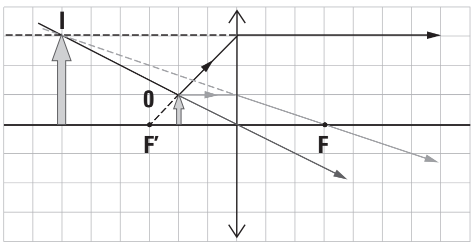
c)



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.

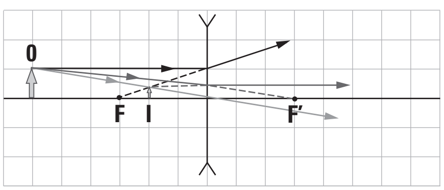
d)



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.

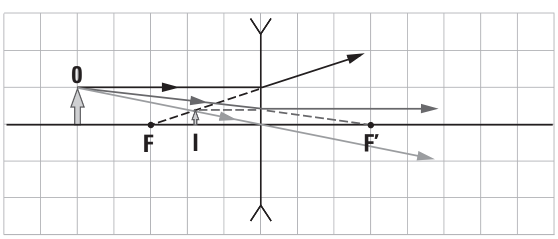
4. *a)*



Échelle : 1 carré = 5 cm

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

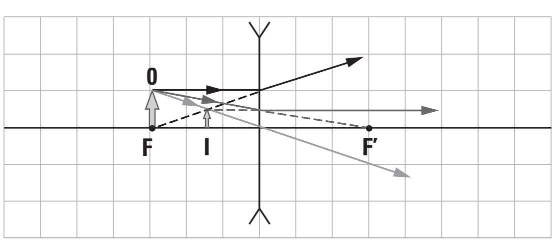
b)



Échelle : 1 carré = 5 cm

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

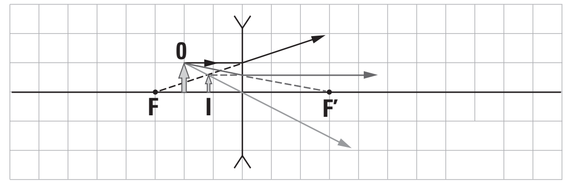
c)



Échelle : 1 carré = 5 cm

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

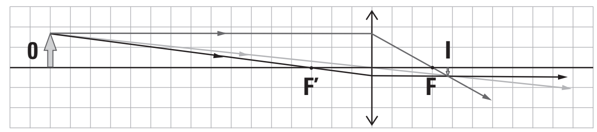
d)



Échelle : 1 carré = 5 cm

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

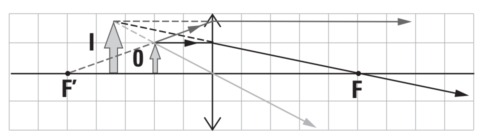
5. Dans le schéma suivant, chaque carré correspond à 5 cm. Les foyers se trouvent donc à trois carrés du centre optique de la lentille.



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.

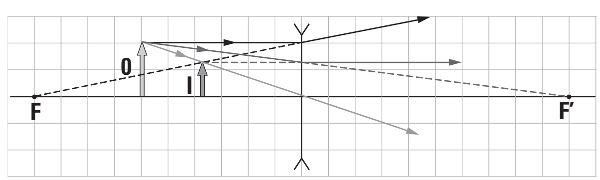
6. Dans le schéma suivant, chaque carré correspond à 5 cm. Les foyers se trouvent donc à cinq carrés du centre optique de la lentille.



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.

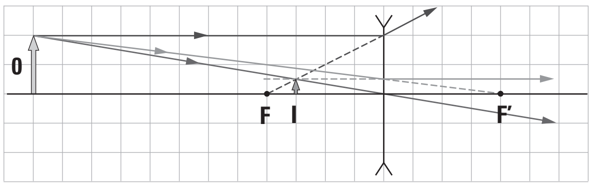
7. Dans le schéma suivant, chaque carré correspond à 2,5 cm. Les foyers se trouvent donc à 10 carrés du centre optique de la lentille.



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 cm. La hauteur de l'image vaut environ 1,2 carré ; ainsi, $h_i \cong$ +3 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 $h_o = 5$ cm $f = 25$ cm

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

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

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

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

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

Pour la question 7 : $d_o = 15$ cm $h_o = 5$ 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 $h_o = 10$ 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) $|g| = 4$ $d_o = ?$
$d_i = ?$

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 : À la première ligne du tableau de la question 11, on devrait lire :

Lentille	Convergente	Divergente			

Lentille	*Convexe*	*Concave*	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	*Renversée*

1[re] lentille : convergente

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

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

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

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

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

2[e] lentille : divergente

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

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

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

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

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

3[e] lentille

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

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

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

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

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

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

4[e] lentille

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

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

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

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

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

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

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

5[e] lentille

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

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

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

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

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

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

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

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

12. $f = +10$ cm $\quad g = +2 \quad d_o = ? \quad d_i = ?$

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

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

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 :

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

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

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

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

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

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

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

13. Note : À la question 13, on devrait lire : « Une lentille a un grandissement (g) de +0,5. »

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

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

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

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. $f = +8$ 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 $d_o + d_i = 36$ 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 :

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

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

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

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

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

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

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

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 $d_o = 24$ cm (alors $d_i = 12$ cm), ou pour $d_o = 12$ cm (alors $d_i = 24$ 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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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) $C = \dfrac{1}{f}$

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

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

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

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

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

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

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

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

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 $d_0 \to \infty$, $\frac{1}{d_o} \to 0$.

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

$h_i = ?$