

Ces corrigés accompagnent le chapitre **Optique géométrique**. Après lecture d'une solution, reprenez la question sans regarder le corrigé. Repérez si votre difficulté concernait l'angle choisi, le sens du passage entre les milieux, un signe dans la conjugaison, ou la grandeur demandée.

Vérifications flash

F1 — Image virtuelle

Une image virtuelle est le point de rencontre des **prolongements** des rayons émergents : aucune lumière n'y converge, donc aucun écran placé à sa position ne la recueille. Mais les rayons émergents existent bel et bien : l'œil les reçoit et les fait converger sur la rétine, l'objectif d'un appareil photographique les fait converger sur son capteur. On photographie une image virtuelle comme on photographie un reflet dans un miroir. Elle n'est pas nécessairement droite : une convergente avec l'objet entre O et F donne une image virtuelle droite, mais la lunette afocale donne d'un astre une image à l'infini, virtuelle et renversée ; les sujets jouent sur ces « toujours ».

F2 — Angle avec la surface, deux miroirs

L'angle d'incidence se mesure avec la normale, perpendiculaire au miroir : $i = 90^\circ - 20^\circ = 70^\circ$. La loi de la réflexion donne $r = i = 70^\circ$; les deux rayons sont de part et d'autre de la normale, donc ils font entre eux $i + r = 140^\circ$. Pour les deux miroirs, le rayon intermédiaire et les deux surfaces forment un triangle dont les angles, pris avec les surfaces, valent θ , 50° et 20° : $\theta = 180^\circ - 50^\circ - 20^\circ = 110^\circ$. Passer par les normales donnerait le même résultat en deux fois plus d'étapes.

F3 — Angle avec la normale, angle avec la surface

De l'eau vers l'air, $\sin r = \frac{4/3}{1} \sin 30^\circ = \frac{2}{3}$: l'angle du rayon réfracté avec la normale vaut $\arcsin(2/3)$, environ 42° , plus grand que l'incidence car l'air est moins réfringent. L'angle avec la surface est son complémentaire, $90^\circ - \arcsin(2/3)$. La lumière va plus vite dans l'air, le milieu d'indice le plus faible : c'est lisible sur la figure sans aucune valeur, par le seul fait que le rayon s'écarte de la normale.

F4 — Eau vers air

L'angle critique vérifie $\sin i_c = n_2/n_1 = 1/(4/3) = 3/4$. Sous 30° , $\sin 30^\circ = 0,50 < 0,75$: l'incidence est inférieure à i_c , le rayon est réfracté dans l'air en s'écartant de la normale. Sous 60° , $\sin 60^\circ = \sqrt{3}/2 \simeq 0,87 > 0,75$: l'incidence dépasse i_c , le rayon est totalement réfléchi dans l'eau. Comparer les sinus évite de calculer i_c lui-même.

F5 — Le prisme à 30° et 60°

Entré perpendiculairement à la petite face qui touche l'angle de 60° , le rayon n'est pas dévié et atteint l'hypoténuse sous une incidence égale à cet angle, 60° : la normale à l'hypoténuse fait avec la direction du rayon le même angle que l'hypoténuse avec la face d'entrée. La réflexion totale exige $n \sin i > 1$: $\sqrt{2} \times 0,87 \simeq 1,22 > 1$, le rayon ne sort pas. Par l'autre petite face,

l'incidence serait de 30° et $\sqrt{2} \times 0,5 \simeq 0,71 < 1$: le rayon sortirait. C'est exactement la question « lequel des deux rayons traverse le dioptré ».

F6 — Lentille à moitié cachée

Chaque point de l'objet envoie de la lumière sur **toute** la surface de la lentille, et toute cette lumière converge au même point image. Cacher une moitié supprime la moitié des rayons, pas la moitié de l'image : l'image reste entière, deux fois moins lumineuse. Le rayon issu du pied de l'objet, sur l'axe, n'est pas un rayon particulier : il ne passe ni par O ni par F, il n'émerge pas par F' ; il recoupe l'axe au point image A', comme tous les rayons issus de A.

F7 — Traduire un énoncé belge

« 20 cm à gauche » : objet réel, $\overline{OA} = -20$ cm ; convergente, $f' = +10$ cm.

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{f'} + \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{10} - \frac{1}{20} = \frac{1}{20},$$

d'où $\overline{OA'} = +20$ cm et $\gamma = 20/(-20) = -1$. Réponse au concours : image à 20 cm à **droite** de la lentille, **réelle** (de l'autre côté, recueillable sur un écran), **inversée**, de **même taille** que l'objet. C'est le montage symétrique, objet et image à $2f'$ de part et d'autre.

F8 — Objet au foyer image d'une divergente

Le foyer image d'une divergente est avant la lentille : $\overline{OA} = f' < 0$. La conjugaison donne

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{f'} + \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{2}{f'}, \quad \overline{OA'} = \frac{f'}{2},$$

image à mi-distance entre la lentille et l'objet, du côté de l'objet, donc virtuelle. Grandissement $\gamma = \overline{OA'}/\overline{OA} = 1/2$: image droite, de hauteur $h/2$. Les propositions d'un sujet offrent $2h$, h , $h/2$ et $h/4$.

F9 — Objet entre la lentille et son foyer objet

Avec $|\overline{OA}| < f'$, la conjugaison donne $1/\overline{OA'} = 1/f' + 1/\overline{OA} < 0$: l'image est du côté de l'objet, virtuelle. De plus $1/\overline{OA'}$ s'obtient en ajoutant $1/f' > 0$ au nombre négatif $1/\overline{OA}$: il est plus proche de zéro, donc $|\overline{OA'}| > |\overline{OA}|$. Les deux distances étant négatives, $\gamma = \overline{OA'}/\overline{OA} > 1$: droite et agrandie. C'est la loupe, et c'est la question la plus posée du chapitre. Si l'objet est exactement au foyer, les rayons émergent parallèles : image à l'infini.

F10 — Deux convergentes et un faisceau parallèle

Le faisceau parallèle converge en F'_1, à 25 cm de la première lentille. Pour que la seconde fasse ressortir un faisceau parallèle, ce point doit être son foyer objet, 5 cm avant elle : distance $25 + 5 = 30$ cm. Si la seconde lentille est à 25 cm, l'image intermédiaire tombe sur son centre optique : les rayons qui en sont issus passent par O sans déviation et continuent à diverger ; le faisceau de sortie est divergent, et non parallèle.

Exercices d'apprentissage

E1 — Le périscopes

1. Le rayon incident est horizontal et M_1 est incliné à 45° sur la verticale : la normale à M_1 fait donc 45° avec l'horizontale, et l'angle d'incidence vaut $i_1 = 45^\circ$. La loi de la réflexion donne $r_1 = 45^\circ$: le rayon réfléchi fait 90° avec le rayon incident, il est vertical et descend vers M_2 . Sur M_2 , parallèle à M_1 , le rayon vertical arrive de nouveau sous 45° ; il repart horizontalement.

2. La réflexion sur M_1 fait passer le rayon de l'horizontale (vers la droite) à la verticale (vers le bas). Comme M_2 est parallèle à M_1 , le rayon descendant y arrive de nouveau sous 45° et repart horizontalement, vers la droite, du côté de l'œil : la seconde réflexion défait le changement de direction produit par la première. Le rayon émergent est donc parallèle au rayon incident et de même sens : l'œil regarde dans la direction d'où vient la lumière, décalé de h vers le bas.

3. L'image d'un objet par un miroir plan est son symétrique par rapport au plan du miroir ; la distance au miroir est conservée. Le miroir M_1 donne de l'objet une image intermédiaire située à 3,0 m de M_1 , sur la verticale du périscopes, au-dessus de M_1 . Cette image sert d'objet à M_2 , qui en est distant de $3,0 + 0,40 = 3,4$ m ; l'image finale est le symétrique de l'image intermédiaire par rapport à M_2 , donc à 3,4 m de M_2 , sur l'horizontale de l'œil, du côté opposé à celui-ci. L'œil la voit à

$$3,0 + 0,40 + 0,10 = 3,5 \text{ m.}$$

La distance entre l'œil et l'image finale est la longueur totale du trajet lumineux : chaque réflexion « déplie » le trajet sans le raccourcir.

4. Un miroir plan donne une image de même taille que l'objet ; deux réflexions successives conservent donc la taille. Chaque réflexion retourne l'image par symétrie ; deux retournements successifs par rapport à deux plans parallèles ramènent l'image droite. L'image est virtuelle : seuls les prolongements des rayons reçus par l'œil se coupent derrière M_2 .

5. Le rayon réfléchi par M_1 fait 50° avec sa surface, comme le rayon incident. Ce rayon, M_1 et M_2 forment un triangle dont les angles valent 100° (entre les miroirs), 50° (avec M_1) et l'angle cherché avec M_2 : $180^\circ - 100^\circ - 50^\circ = 30^\circ$. Le rayon final fait donc 30° avec la surface de M_2 , de l'autre côté.

E2 — Le poisson et la surface

1. Le milieu incident est l'eau ($n_1 = 4/3$) et le milieu transmis l'air ($n_2 = 1$). La loi de Snell-Descartes donne

$$\sin i_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin i_1 = \frac{4}{3} \times \frac{1}{2} = \frac{2}{3},$$

soit $i_2 = \arcsin(2/3)$, environ 42° (valeur approchée donnée à titre indicatif : sans calculatrice, on s'arrête à la forme $\arcsin$). Le rayon passe dans un milieu d'indice plus faible : il s'écarte de la normale, ce que confirme $\sin i_2 = 2/3 > \sin 30^\circ = 1/2$.

2. L'angle critique correspond à un rayon réfracté rasant, $i_2 = 90^\circ$:

$$\sin i_c = \frac{n_2}{n_1} = \frac{3}{4}, \quad i_c = \arcsin(3/4), \text{ environ } 49^\circ.$$

3. On compare les sinus : $\sin 60^\circ \simeq 0,87 > 3/4 = \sin i_c$, donc $i_1 > i_c$. La loi de Snell-Descartes exigerait $\sin i_2 = \frac{4}{3} \sin 60^\circ \simeq 1,16 > 1$: aucun angle ne convient. Il n'existe pas de rayon réfracté ; le rayon est totalement réfléchi vers le fond du bassin. La comparaison des sinus suffit : il n'est pas nécessaire de calculer i_c lui-même.

4. De l'air vers l'eau, le milieu incident a l'indice le plus faible : $\sin i_2 = \frac{3}{4} \sin i_1 \leq \frac{3}{4} < 1$, et un rayon réfracté existe pour toute incidence. Il n'y a pas de réflexion totale dans ce sens. L'angle

réfracté est maximal pour une incidence rasante ($i_1 = 90^\circ$) : $\sin i_2 = 3/4$, soit $i_2 = \arcsin(3/4)$. C'est l'angle critique retrouvé par retour inverse de la lumière : dans l'eau, toute la lumière venant de l'air est contenue dans un cône de demi-angle $\arcsin(3/4)$, environ 49° .

E3 — Le prisme à 30° et 60°

1. Le rayon entre perpendiculairement à AB : incidence nulle, pas de déviation. Il se propage parallèlement à AC jusqu'à l'hypoténuse BC. L'angle entre sa direction (celle de AC) et BC est l'angle en C, 30° ; l'angle avec la normale à BC est donc $90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$, l'angle en B, sommet commun à la face d'entrée et à l'hypoténuse. Dans l'air, la réflexion totale exige $n \sin i > 1$: $1,5 \times 0,87 \simeq 1,3 > 1$, ou encore $\sin i_c = 1/1,5 \simeq 0,67 < \sin 60^\circ$. Le rayon est totalement réfléchi.

2. Entré perpendiculairement à AC, le rayon se propage parallèlement à AB et atteint BC sous l'angle en C avec la normale, 30° : $1,5 \times 0,5 = 0,75 < 1$, il sort. L'angle de sortie vérifie $\sin r = 1,5 \sin 30^\circ = 0,75$, soit $r = \arcsin(0,75)$, environ 49° : le rayon s'écarte de la normale en passant dans l'air. Des deux rayons entrés sous incidence normale, un seul traverse le dioptre BC.

3. La condition devient $n \sin 60^\circ > n'$, soit $n' < 1,5 \times 0,87 \simeq 1,3$. Dans l'eau ($4/3 \simeq 1,33$), c'est tout juste perdu : le rayon sort. Un liquide d'indice 1,2 conserve la réflexion totale ; un liquide d'indice 1,5, égal à celui du verre, supprime le dioptre et laisse passer le rayon sans déviation. Le milieu extérieur fait partie des données du problème.

4. Dans un prisme rectangle isocèle, le rayon entré normalement atteint l'hypoténuse sous 45° . Dans l'air : $1,5 \times 0,71 \simeq 1,06 > 1$, réflexion totale, le périscope fonctionne et chaque prisme dévie le faisceau de 90° . Sous l'eau : $1,06 < 4/3$, l'incidence de 45° est inférieure à l'angle limite, une partie de la lumière sort du prisme et le périscope à prismes ne fonctionne plus. Il faut alors des miroirs, ou un verre d'indice supérieur à $4/3 \times \sqrt{2} \simeq 1,9$.

E4 — Trouver la focale d'une lentille

1. L'image est renversée, donc $\gamma < 0$; elle est trois fois plus grande, donc $|\gamma| = 3$. On a $\gamma = -3$. Comme $\gamma = \overline{OA'}/\overline{OA}$, on obtient $\overline{OA'} = -3\overline{OA}$. L'objet réel est avant la lentille ($\overline{OA} < 0$) : l'image est après ($\overline{OA'} > 0$), ce qui est cohérent avec une image recueillie sur un écran.

2. L'écran est 80 cm après l'objet, donc $\overline{OA'} - \overline{OA} = 80$ cm. En remplaçant, $-3\overline{OA} - \overline{OA} = -4\overline{OA} = 80$ cm, d'où

$$\overline{OA} = -20 \text{ cm}, \quad \overline{OA'} = +60 \text{ cm}.$$

3. La relation de conjugaison donne

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{60} + \frac{1}{20} = \frac{1+3}{60} = \frac{1}{15}, \quad f' = 15 \text{ cm}.$$

La hauteur algébrique de l'image vaut $\overline{A'B'} = \gamma \overline{AB} = -3 \times 4,0 = -12$ cm : image de 12 cm, renversée.

4. Avec $\overline{OA} = -10$ cm, l'objet est entre O et F ($f' = 15$ cm) :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{15} - \frac{1}{10} = \frac{2-3}{30} = -\frac{1}{30}, \quad \overline{OA'} = -30 \text{ cm}.$$

Puis $\gamma = (-30)/(-10) = +3$: l'image est 30 cm avant la lentille, virtuelle, droite et trois fois plus grande (12 cm). La lentille fonctionne en loupe ; aucun écran ne peut recueillir cette image.

E5 — Une lentille divergente

1. Pour une divergente, le rayon issu de B parallèle à l'axe émerge en s'écartant de l'axe, comme s'il venait du foyer image F' , situé avant la lentille ; le rayon passant par O n'est pas dévié. Les rayons émergents ne se coupent pas ; leurs prolongements vers l'arrière se rencontrent en B' , entre F' et O. Les pointillés ne représentent pas un trajet de lumière : ils servent à situer le point d'où la lumière semble venir.

2. La conjugaison s'écrit avec $f' = -20$ cm et $\overline{OA} = -20$ cm :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{f'} + \frac{1}{\overline{OA}} = -\frac{1}{20} - \frac{1}{20} = -\frac{1}{10}, \quad \overline{OA'} = -10 \text{ cm.}$$

$$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{-10}{-20} = +0,50.$$

L'image est bien entre F' (-20 cm) et O, du côté de l'objet, droite et réduite de moitié : la construction et le calcul concordent.

3. Position : 10 cm avant la lentille. Nature : virtuelle, car obtenue par des prolongements. Sens : droite ($\gamma > 0$). Taille : $0,50 \times 5,0 = 2,5$ cm.

4. On veut $\gamma = +1/4$, soit $\overline{OA'} = \overline{OA}/4$. La conjugaison devient

$$\frac{4}{\overline{OA}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{3}{\overline{OA}} = -\frac{1}{20}, \quad \overline{OA} = -60 \text{ cm.}$$

Vérification : $1/\overline{OA'} = -1/20 - 1/60 = -4/60$, donc $\overline{OA'} = -15$ cm et $\gamma = (-15)/(-60) = +1/4$. Plus l'objet s'éloigne, plus l'image virtuelle se rapproche de F' et plus elle est petite.

E6 — Choisir l'objectif d'une lunette

1. Pour une lunette afocale, $G = f'_1/f'_2$ avec f'_1 la focale de l'objectif. Un grossissement supérieur à 1 exige $f'_1 > f'_2$: l'objectif est la lentille de 500 mm, l'oculaire celle de 20 mm.

2. $G = 500/20 = 25$. La longueur vaut $L = f'_1 + f'_2 = 500 + 20 = 520$ mm, soit 52 cm.

3. Avec les rôles inversés, le rapport des focales devient $20/500 = 1/25$: l'angle de sortie est vingt-cinq fois plus petit que l'angle d'entrée. L'instrument rapetisse l'objet, comme un judas de porte.

QCM d'automatismes

A1 — Réponse B

L'angle d'incidence se mesure avec la normale : $i = 90^\circ - 25^\circ = 65^\circ$, et $r = i = 65^\circ$. La proposition A reprend l'angle avec la surface ; D est l'angle entre le rayon incident et le rayon réfléchi, $i + r = 130^\circ$; C, le double de l'angle avec la surface, est la déviation du rayon, $180^\circ - 2i = 50^\circ$. Aucun des deux n'est l'angle de réflexion.

A2 — Réponse B

Un rayon qui s'écarte de la normale entre dans un milieu **moins** réfringent : $n_1 > n_2$. Comme $n = c/v$, l'indice le plus faible correspond à la vitesse la plus grande : la lumière va plus vite dans le milieu 2. A inverse le sens de la déviation ; C associe au bon ordre des indices le mauvais ordre des vitesses ; D ignore que la figure suffit, ce que les sujets vérifient précisément.

A3 — Réponse B

Le rayon incident parallèle à l'axe émerge en passant par le foyer image F' : c'est le rayon b. Le rayon a n'est pas dévié, ce qui n'est vrai que pour un rayon passant par O. Le rayon c correspond au rayon émergent d'une divergente, qui semble venir de son foyer image placé avant la lentille. Le rayon d coupe l'axe au-delà de F' : la lentille dévierait trop peu.

A4 — Réponse D

L'image est symétrique de l'objet par rapport au miroir, donc à 50 cm derrière lui. La distance objet-image vaut $50 + 50 = 100$ cm. B confond la distance objet-miroir et la distance objet-image. Cette distance ne dépend pas de l'observateur (C) : la position de l'œil détermine seulement si l'image est visible dans la portion de miroir disponible.

A5 — Réponse A

La réflexion totale exige un milieu incident d'indice supérieur à celui du milieu transmis. C'est le cas de l'eau vers l'air. De l'air vers l'eau (B), de l'eau vers le verre (C) ou du vide vers tout milieu (D), l'indice augmente et un rayon réfracté existe pour toute incidence.

A6 — Réponse A

Une lentille convergente fait converger un faisceau parallèle vers son foyer image : c'est la lentille a. La lentille b écarte les rayons parallèles, elle est divergente. La lentille c rend parallèle un faisceau convergent : elle a redressé des rayons qui se rapprochaient, c'est encore une divergente (les rayons convergeaient vers son foyer objet virtuel). La lentille d ne dévie rien.

A7 — Réponse D

Un point du plan focal objet envoie des rayons qui émergent parallèles entre eux : l'image est à l'infini. C'est le réglage de la loupe et de l'oculaire d'une lunette. La proposition A décrit l'image d'un objet à l'infini, situation symétrique par retour inverse de la lumière.

A8 — Réponse D

Chaque point de l'objet envoie des rayons sur toute la surface de la lentille, et tous ceux qui traversent la moitié découverte convergent encore au même point image. L'image reste entière, avec moitié moins de lumière. Les propositions B et C supposent que chaque moitié de lentille forme une moitié d'image, ce que les trois rayons particuliers, simples outils de construction, laissent croire à tort.

A9 — Réponse C

À incidence normale, l'angle d'incidence est nul. La loi de Snell-Descartes impose donc aussi un angle de réfraction nul : le rayon transmis conserve sa direction. Sa célérité et sa longueur d'onde peuvent néanmoins changer dans le second milieu. A et B ne sont possibles que pour une incidence non nulle ; D ne peut pas se produire pour une incidence nulle.

QCM de niveau concours

C1 — Réponse B

De l'air vers l'eau, $\sin i_2 = \frac{\sin 45^\circ}{4/3} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times \frac{3}{4} = \frac{3\sqrt{2}}{8}$, soit $i_2 = \arcsin(3\sqrt{2}/8)$, environ 32° . Le rayon se rapproche de la normale, ce qui exclut C. A inverse le rapport des indices : $\frac{\sqrt{2}}{2} \times \frac{4}{3} = \frac{2\sqrt{2}}{3} \simeq 0,94$, un angle plus grand que l'incidence. D est l'angle du rayon réfracté avec la surface, non avec la normale. Comme dans les sujets, on laisse la réponse sous la forme arcsin : le concours se passe sans calculatrice.

C2 — Réponse C

La réflexion totale sur l'hypoténuse exige $n \sin 45^\circ > n_{\text{eau}}$, soit

$$n > \frac{4/3}{\sin 45^\circ} = \frac{4/3}{\sqrt{2}/2} = \frac{4\sqrt{2}}{3},$$

soit environ 1,89. Un verre ordinaire d'indice 1,50, qui dévie à angle droit dans l'air, ne le fait plus dans l'eau. La proposition B est la condition dans l'air ($n > \sqrt{2}$); A oublie le sinus de l'incidence; D double l'indice de l'eau au lieu de le diviser par $\sin 45^\circ$. Les propositions restent sous forme exacte, comme dans les sujets.

C3 — Réponse C

L'image de la personne est symétrique par rapport au miroir. L'œil voit ses pieds par un point du miroir situé à mi-hauteur entre l'œil et le sol, à $1,60/2 = 0,80$ m; il voit le sommet de sa tête par un point à mi-hauteur entre l'œil et le sommet, à $(1,60 + 1,76)/2 = 1,68$ m. Le miroir utile va de 0,80 m à 1,68 m : hauteur 0,88 m, soit la moitié de la taille. La proposition A ignore la construction par l'image; B place le bord inférieur à la moitié de la taille ($1,76/2$) et non à la moitié de la hauteur des yeux; D confond la hauteur du miroir et celle de son bord.

C4 — Réponse D

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{20} + \frac{1}{-30} = \frac{3-2}{60} = \frac{1}{60}, \quad \overline{OA'} = +60 \text{ cm}, \quad \gamma = \frac{60}{-30} = -2.$$

L'image est réelle, renversée et deux fois plus grande. La proposition A provient de $1/20 + 1/30$, avec $\overline{OA}$ pris positif; B oublie le signe de γ ; C donne une image virtuelle, impossible pour une convergente avec un objet au-delà de F.

C5 — Réponse B

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = -\frac{1}{30} - \frac{1}{60} = -\frac{2+1}{60} = -\frac{1}{20}, \quad \overline{OA'} = -20 \text{ cm}, \quad \gamma = \frac{-20}{-60} = +\frac{1}{3}.$$

L'image est virtuelle, droite et réduite, comme toujours pour un objet réel devant une divergente. A inverse le signe de la position; D attribue un signe négatif à γ alors que les deux distances algébriques sont négatives; C correspondrait à une lentille sans effet.

C6 — Réponse C

L'image par L_1 se trouve à $1/\overline{O_1A_1} = 1/20 - 1/60 = 2/60$, soit $\overline{O_1A_1} = +30$ cm. Pour que L_2 fasse ressortir des rayons parallèles, A_1 doit être dans son plan focal objet, 10 cm avant O_2 : $O_1O_2 = 30 + 10 = 40$ cm. La proposition B applique la condition afocale $f'_1 + f'_2$, qui suppose un objet à l'infini ; A place O_2 avant l'image intermédiaire ; D ajoute la distance de l'objet.

C7 — Réponse D

$G = f'_1/f'_2 = 10$ et $L = f'_1 + f'_2 = 55$ cm donnent $11f'_2 = 55$ cm, soit $f'_2 = 5$ cm et $f'_1 = 50$ cm. La proposition A inverse objectif et oculaire, ce qui donnerait $G = 1/10$; B divise la longueur par G sans tenir compte de la somme ; C vérifie la longueur mais pas le grossissement.

C8 — Réponse D

Traduction : $\overline{OA} = -12$ cm (objet réel, à gauche) et $\overline{OA'} = -4$ cm (image à gauche, donc virtuelle).

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = -\frac{1}{4} + \frac{1}{12} = \frac{-3+1}{12} = -\frac{1}{6}, \quad f' = -6 \text{ cm.}$$

La lentille est divergente : l'énoncé ne le disait pas, les signes le révèlent. C prend toutes les distances positives : $1/4 - 1/12 = 1/6$, soit 6 cm. A ajoute les inverses, $1/4 + 1/12 = 1/3$, soit 3 cm ; B fait la même addition avec des distances négatives, $-1/4 - 1/12 = -1/3$, soit -3 cm, au lieu de soustraire $1/\overline{OA}$.

C9 — Réponse B

Du verre vers l'air, $\sin r = 1,5 \sin 30^\circ = 0,75$: l'angle du rayon réfracté avec la **normale** vaut $\arcsin(0,75)$ (proposition A). La question demande l'angle avec la **surface**, son complémentaire : $90^\circ - \arcsin(0,75)$. C et D correspondent à $\sin r = \sin 30^\circ/1,5$, c'est-à-dire au passage dans le mauvais sens. Comme dans les sujets, on laisse la réponse sous forme arcsin et l'on vérifie seulement que $0,75 < 1$: le rayon sort bien.

C10 — Réponse A

Le rayon reste dans le cœur s'il subit une réflexion totale sur la gaine, c'est-à-dire si son incidence dépasse l'angle limite : $\sin i > n_2/n_1 = 1,2/1,5 = 0,8$. B est la condition de sortie ; C est le rapport inversé, impossible pour un sinus ; D oublie que la condition dépend des deux indices. Le guidage est une réflexion totale répétée à chaque rencontre avec la gaine.

C11 — Réponse C

Le rayon intermédiaire et les deux miroirs délimitent un triangle. Les trois angles intérieurs sont 25° , 35° et θ , donc $\theta = 180^\circ - 25^\circ - 35^\circ = 120^\circ$. Les angles donnés sont pris avec les **surfaces** des miroirs : il ne faut pas les remplacer par les angles d'incidence, mesurés avec les normales.

B est le piège principal : on l'obtient en additionnant les deux angles ($25^\circ + 35^\circ$), ou en plaçant dans le triangle les incidences $90^\circ - 25^\circ = 65^\circ$ et $90^\circ - 35^\circ = 55^\circ$ au lieu des angles avec les surfaces ($180^\circ - 65^\circ - 55^\circ = 60^\circ$). A applique à tort la conversion « $90^\circ -$ » propre aux normales : $90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$. D oublie l'un des deux angles : $180^\circ - 25^\circ = 155^\circ$.