



simulationconcours.be



Physique

Carnet d'entraînement



La réflexion

Lois de la réflexion et de la réfraction · Mécanique 1 — des exercices calibrés concours, du plus simple au plus retors.

42 exercices

3 niveaux

corrigés détaillés

Comment bosser ce carnet

- ✓ Lis d'abord le tutoriel : la mécanique y est expliquée pas à pas
- ✓ Fais chaque niveau en entier **avant** d'ouvrir les corrigés
- ✓ Note à côté de chaque exo : réussi, hésité ou raté — et rejoue les ratés 48 h plus tard



simulationconcours.be

scanne & continue en ligne

Sommaire

- 1 Le tutoriel — la mécanique expliquée
- 2 Les exercices Facile x15 · Moyen x15 · Difficile x12
- 3 Les corrigés détaillés exercice par exercice

Le tutoriel

Ce document est un **carnet d'exercices** : on t'explique d'abord la mécanique, puis tu la travailles sur 42 exercices classés en trois niveaux. Les corrigés détaillés t'attendent en deuxième partie, après la page « Corrigés » — pas avant de l'avoir mérité.

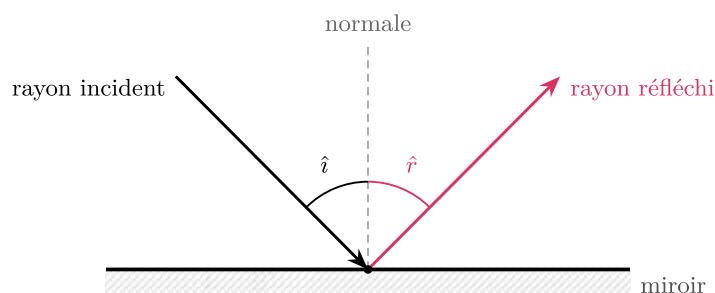
À RETENIR les deux lois de la réflexion

Quand un rayon lumineux frappe une surface réfléchissante (un *miroir*), il est renvoyé en restant dans son milieu de départ. Deux lois gouvernent ce renvoi :

- 1 l'**angle d'incidence** $\hat{i}$ est égal à l'**angle de réflexion** $\hat{r}$: $\hat{i} = \hat{r}$
- 2 le rayon incident, le rayon réfléchi et la normale sont **dans un même plan**.

À RETENIR la normale : l'axe de référence de tous les angles

La **normale** est la droite *perpendiculaire au miroir* au point d'impact. En optique, **tous les angles se mesurent par rapport à la normale**, jamais par rapport à la surface. Comme $\hat{i} = \hat{r}$, le rayon « rebondit » *symétriquement* par rapport à la normale.



☞ **MÉTHODE** *traiter un problème de réflexion*

- 1 **Tracer la normale** : perpendiculaire au miroir au point d'impact.
- 2 **Repérer l'angle donné** : est-il mesuré par rapport à la normale ou par rapport à la surface ? Si c'est par rapport à la surface, convertir : $\hat{i} = 90^\circ -$ (angle avec le miroir).
- 3 **Appliquer** $\hat{r} = \hat{i}$.
- 4 Si besoin, calculer l'angle entre rayon incident et rayon réfléchi : il vaut $\hat{i} + \hat{r} = 2\hat{i}$.

💡 **EXEMPLE** *un rebond simple*

Un rayon arrive sur un miroir sous un angle d'incidence $\hat{i} = 30^\circ$ (mesuré par rapport à la normale). Alors le rayon réfléchi repart sous $\hat{r} = 30^\circ$ de l'autre côté de la normale. L'angle *entre* le rayon incident et le rayon réfléchi vaut $\hat{i} + \hat{r} = 60^\circ$.

⚠ **PIÈGE** « *par rapport au miroir* » $\neq$ « *par rapport à la normale* »

Un énoncé donne souvent l'angle d'un rayon **par rapport à la surface du miroir**. Il faut alors le convertir avant tout calcul, car la normale est perpendiculaire au miroir :

$$\hat{i} = 90^\circ - (\text{angle mesuré par rapport au miroir}).$$

Un rayon « à 40° du miroir » a en réalité un angle d'incidence $\hat{i} = 50^\circ$. C'est l'erreur la plus fréquente du chapitre.

📌 **REMARQUE** *le réflecteur en coin : deux miroirs perpendiculaires*

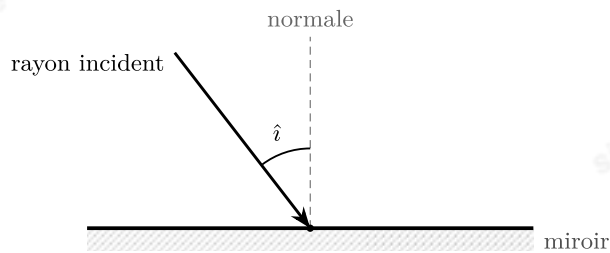
Avec **deux miroirs perpendiculaires**, un rayon qui se réfléchit successivement sur les deux repart **exactement parallèle** à sa direction d'arrivée, mais en sens opposé, *quel que soit* l'angle d'entrée. La première réflexion inverse une composante de la direction, la seconde inverse l'autre : la direction $\vec{u} = (u_x, u_y)$ devient $(-u_x, -u_y) = -\vec{u}$. C'est le principe du *catadioptr*e (vélos, bornes routières, réflecteurs déposés sur la Lune).

Les exercices

FACILE 15 exercices

Exo 1 le rebond de base

Un rayon lumineux frappe un miroir plan avec un angle d'incidence $\hat{i} = 28^\circ$, mesuré *par rapport à la normale*.



a)

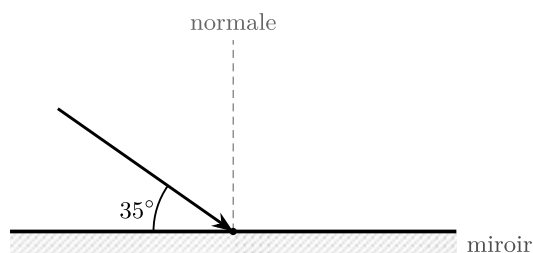
Donne la valeur de l'angle de réflexion $\hat{r}$.

b)

Calcule l'angle formé *entre* le rayon incident et le rayon réfléchi.

Exo 2 angle donné par rapport au miroir

Un rayon lumineux arrive sur un miroir plan en faisant un angle de 35° *avec la surface du miroir* (et non avec la normale).



a)

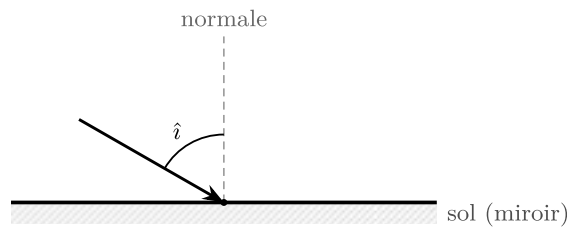
Quel est l'angle d'incidence $\hat{i}$ (par rapport à la normale) ?

b)

Quel est l'angle de réflexion $\hat{r}$?

Exo 3 miroir posé au sol

Un miroir plan est posé horizontalement sur le sol. Un rayon lumineux descend et le frappe en faisant un angle d'incidence $\hat{i} = 60^\circ$ avec la normale (verticale).



a)

Donne l'angle de réflexion $\hat{r}$.

b)

Quel angle le rayon réfléchi fait-il avec le sol ?

Exo 4 incidence perpendiculaire

Un rayon lumineux arrive sur un miroir plan *perpendiculairement* à sa surface, c'est-à-dire le long de la normale ($\hat{i} = 0^\circ$).

a)

Que vaut l'angle de réflexion $\hat{r}$?

b)

Décris la direction du rayon réfléchi par rapport au rayon incident.

Exo 5 rayon réfléchi perpendiculaire à l'incident

On souhaite que le rayon réfléchi reparte **perpendiculairement** au rayon incident, c'est-à-dire que l'angle entre les deux rayons soit exactement 90° .

Quel doit être l'angle d'incidence $\hat{i}$? (On rappelle que l'angle entre le rayon incident et le rayon réfléchi vaut $2\hat{i}$.)

Exo 6 lire la loi à l'envers

On observe le rebond d'un rayon sur un miroir plan et on mesure directement l'angle de *réflexion* : $\hat{r} = 41^\circ$ (par rapport à la normale).

a)

Que vaut l'angle d'incidence $\hat{i}$?

b)

Quel angle le rayon incident fait-il avec la *surface* du miroir ?

Exo 7 de l'écart entre les rayons à l'incidence

On mesure l'angle formé *entre* le rayon incident et le rayon réfléchi : il vaut 74° .

a)

En rappelant que cet angle vaut $2\hat{i}$, détermine l'angle d'incidence $\hat{i}$.

b)

Que vaut alors l'angle de réflexion $\hat{r}$?

Exo 8 incidence rasante

Un rayon frappe un miroir presque parallèlement à sa surface : son angle d'incidence vaut $\hat{i} = 88^\circ$.

a)

Que vaut l'angle de réflexion $\hat{r}$?

b)

Quel angle le rayon réfléchi fait-il avec la *surface* du miroir ?

Exo 9 angle donné par rapport à la surface

Un rayon lumineux fait un angle de 20° avec la *surface* d'un miroir plan.

a)

Quel est l'angle d'incidence $\hat{i}$ (par rapport à la normale) ?

b)

Quel est l'angle de réflexion $\hat{r}$?

c)

Quel est l'angle entre le rayon incident et le rayon réfléchi ?

Exo 10 où se forme l'image

Un petit objet ponctuel A est placé à 45 cm devant un miroir plan.

a)

À quelle distance *derrière* le miroir se forme son image A' ?

b)

Quelle est la distance qui sépare l'objet A de son image A' ?

Exo 11 taille et nature de l'image

Un objet vertical de hauteur 8 cm est placé à 30 cm devant un miroir plan.

a)

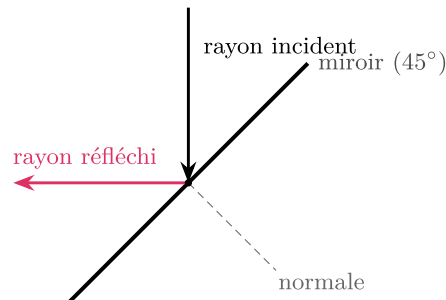
Quelle est la taille de l'image et à quelle distance du miroir se trouve-t-elle ?

b)

L'image est-elle droite ou renversée ? réelle ou virtuelle ?

Exo 12 miroir incliné à 45°

Un rayon lumineux vertical (dirigé vers le bas) frappe un miroir plan incliné à 45° par rapport à l'horizontale.



a)

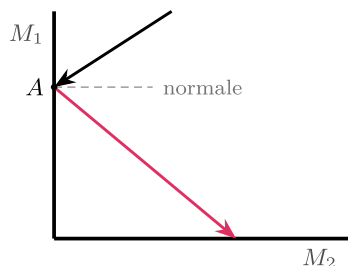
Quel est l'angle d'incidence $\hat{i}$?

b)

Dans quelle direction repart le rayon réfléchi, et de quel angle a-t-il été dévié ?

Exo 13 un seul rebond dans un coin

Deux miroirs plans M_1 et M_2 sont disposés **perpendiculairement**. Un rayon frappe M_1 sous un angle d'incidence $\hat{i}_1 = 40^\circ$, puis le rayon réfléchi part frapper M_2 .



a)

Quel est l'angle d'incidence $\hat{i}_2$ du rayon sur M_2 ?

b)

Vérifie la relation $\hat{i}_1 + \hat{i}_2 = 90^\circ$ (valable pour deux miroirs perpendiculaires).

Exo 14 le miroir qui pivote

Rappel : un miroir qui tourne d'un angle α (le rayon incident restant fixe) fait tourner le rayon réfléchi de 2α .
On fait pivoter un miroir de 8° .

a)

De quel angle tourne le rayon réfléchi ?

b)

De quel angle faut-il tourner le miroir pour que le rayon réfléchi tourne de 30° ?

Exo 15 symétrie par rapport à la surface

Un rayon arrive sur un miroir plan en faisant un angle de 25° avec sa surface.

a)

Quel angle le rayon réfléchi fait-il avec la surface du miroir ?

b)

Quel est l'angle entre le rayon incident et le rayon réfléchi ?

MOYEN 15 exercices

Exo 1 le miroir qui tourne

Un rayon lumineux fixe frappe un miroir plan en un point O sous un angle d'incidence $\hat{i} = 30^\circ$. On fait ensuite **pivoter le miroir** d'un angle $\alpha = 12^\circ$ autour de O (le rayon incident, lui, ne bouge pas).

a)

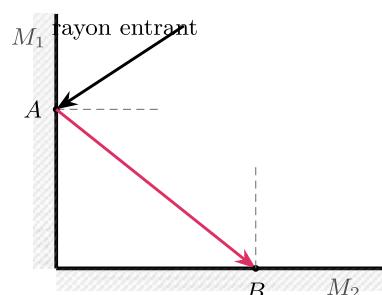
Quel est le nouvel angle d'incidence après rotation du miroir ?

b)

De quel angle a tourné le rayon réfléchi ? Énonce la règle générale reliant la rotation du miroir à celle du rayon réfléchi.

Exo 2 réflecteur en coin : deux miroirs perpendiculaires

Deux miroirs plans M_1 et M_2 sont disposés **perpendiculairement**. Un rayon frappe d'abord M_1 sous un angle d'incidence $\hat{i}_1 = 35^\circ$.



a)

Donne l'angle de réflexion en A (sur M_1).

b)

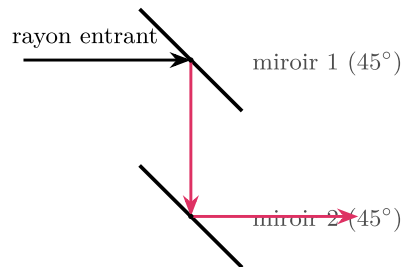
Le rayon réfléchi va frapper M_2 en B . Quel est l'angle d'incidence $\hat{i}_2$ en B ? (On pourra utiliser que les deux normales sont perpendiculaires.)

c)

Montre que le rayon qui ressort après les deux réflexions est **antiparallèle** au rayon entrant.

Exo 3 le périscope

Un périscope est formé de **deux miroirs parallèles**, chacun incliné à 45° , l'un au-dessus de l'autre. Un rayon horizontal entre par le haut.



a)

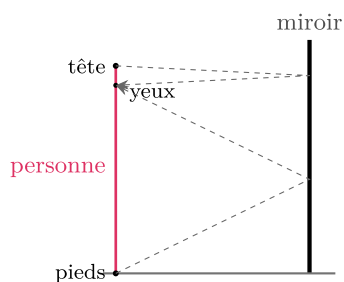
Quel est l'angle d'incidence du rayon sur le miroir 1 ?

b)

Décris la direction du rayon après le miroir 1, puis après le miroir 2. Quelle est la direction finale par rapport au rayon entrant ?

Exo 4 se voir en entier dans un miroir

Une personne de taille $H = 1.80 \text{ m}$ se tient debout face à un miroir plan vertical. On veut la plus petite hauteur de miroir qui lui permette de se voir *en entier* (des pieds au sommet du crâne). On utilisera la loi $\hat{i} = \hat{r}$ pour les rayons issus des pieds et du sommet.



a)

Quelle est la hauteur minimale du miroir ?

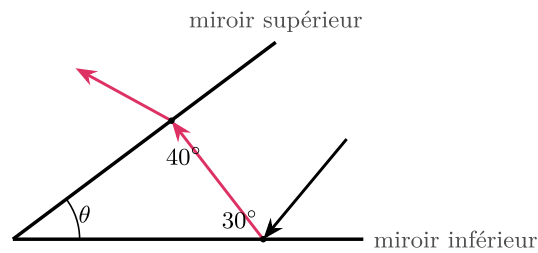
b)

Cette hauteur dépend-elle de la distance entre la personne et le miroir ?

Exo 5 retrouver l'angle entre deux miroirs

Deux miroirs plans se coupent en O en formant entre eux un angle θ *inconnu*. Un rayon lumineux entre en faisant 30° avec le miroir *inférieur*, se réfléchit une fois sur chaque miroir, puis ressort en faisant 40° avec le

miroir *supérieur*.



Détermine la valeur de l'angle θ entre les deux miroirs.

Exo 6 le kaléidoscope

Un kaléidoscope est formé de **deux miroirs plans** se coupant selon un angle θ . Un petit objet placé entre eux réapparaît en plusieurs exemplaires par réflexions successives. On admet que, lorsque $360^\circ/\theta$ est un entier, le nombre d'images vaut

$$N = \frac{360^\circ}{\theta} - 1.$$

a)

Combien d'images obtient-on pour $\theta = 60^\circ$?

b)

Combien pour $\theta = 45^\circ$? Que se passe-t-il quand on *referme* l'angle ?

Exo 7 le faisceau balayeur

Un petit miroir plan tourne régulièrement à raison de 3 tours par seconde. Un rayon laser *fixe* s'y réfléchit et le faisceau réfléchi balaie l'espace.

a)

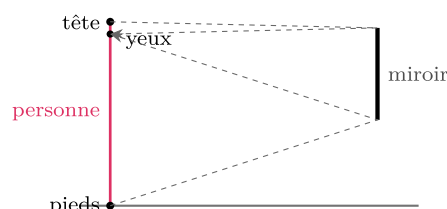
À combien de tours par seconde le faisceau réfléchi tourne-t-il ?

b)

Combien de temps met-il pour balayer un quart de tour (90°) ?

Exo 8 où fixer le miroir pour se voir en entier

Une personne de taille $H = 1.80 \text{ m}$ a les yeux à 1.68 m du sol. On sait qu'un miroir vertical de hauteur $H/2$ suffit à se voir des pieds à la tête ; on cherche maintenant à *quelle hauteur* le fixer.



a)

À quelle hauteur du sol doit se trouver le *bord inférieur* du miroir ?

b)

À quelle hauteur son *bord supérieur* ? Ces hauteurs dépendent-elles de la distance personne-miroir ?

Exo 9 le champ de vision d'un miroir

Une personne se tient à $d_1 = 1.0 \text{ m}$ devant un miroir plan vertical accroché au mur. Derrière elle, à $d_2 = 3.0 \text{ m}$, un autre mur porte une frise horizontale de largeur $L = 4.0 \text{ m}$, centrée dans son dos. On utilisera l'image de l'œil par le miroir.

a)

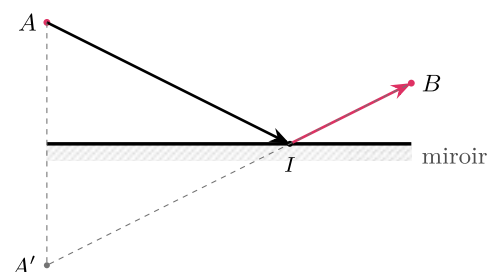
Quelle largeur minimale le miroir doit-il avoir pour qu'elle voie la frise *en entier* ?

b)

Cette largeur dépend-elle de la distance d_1 au miroir ? (Comparer au cas « se voir en entier ».)

Exo 10 viser une cible par réflexion

Un miroir plan est posé le long d'un axe horizontal. Une source A est à 2 m au-dessus du miroir, une cible B à 1 m au-dessus ; horizontalement elles sont distantes de 6 m . On veut envoyer un rayon de A vers B **après une seule réflexion** sur le miroir.



a)

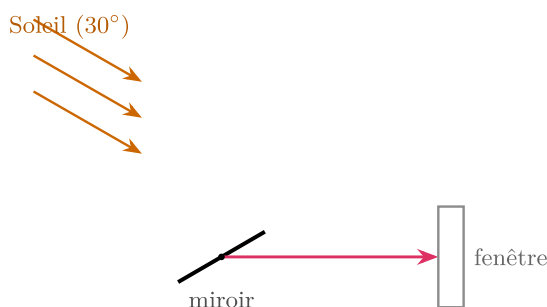
En utilisant l'image A' de A par le miroir, détermine le point d'impact I du rayon.

b)

Quelle est la longueur totale du trajet lumineux $A \rightarrow I \rightarrow B$?

Exo 11 l'héliostat

Les rayons du Soleil arrivent en faisant 30° au-dessus de l'horizon. À l'aide d'un seul miroir plan, on veut renvoyer la lumière **horizontalement** dans une pièce.



a)

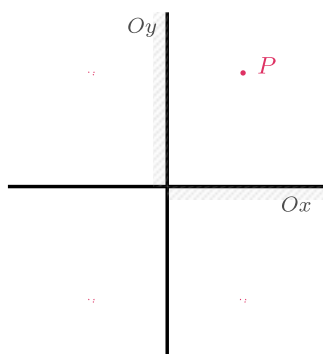
De quel angle, par rapport à l'horizontale, faut-il incliner le miroir ?

b)

Une heure plus tard, le Soleil est monté à 50° au-dessus de l'horizon. Quelle inclinaison faut-il alors ? Qu'en déduis-tu sur le rôle d'un héliostat au fil de la journée ?

Exo 12 trois images dans un coin

Deux miroirs perpendiculaires occupent les demi-axes Ox et Oy . Un petit objet P est placé dans le coin, à 20 cm du miroir vertical (Oy) et 30 cm du miroir horizontal (Ox), c'est-à-dire en $P = (20, 30)$ (en cm).



a)

Donne les coordonnées des **trois** images de P .

b)

Laquelle provient d'une *double* réflexion (une sur chaque miroir) ?

Exo 13 le reflet dans la flaque

Un lampadaire de hauteur $H = 5\text{ m}$ éclaire une rue. Une flaque d'eau au sol se comporte comme un miroir plan horizontal. Un piéton, dont les yeux sont à $h = 1.6\text{ m}$ du sol, se tient à $D = 8\text{ m}$ du pied du lampadaire.

a)

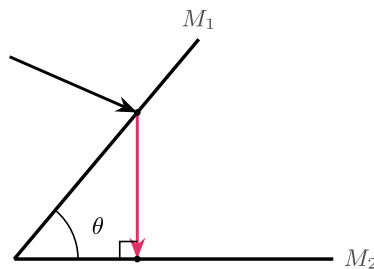
À quelle distance du piéton, sur le sol, apparaît le reflet du *sommet* du lampadaire ? (On utilisera l'image du sommet, symétrique sous le sol.)

b)

Ce reflet se trouve-t-il à mi-chemin entre le piéton et le lampadaire ? Justifie.

Exo 14 le rayon qui revient sur ses pas

Deux miroirs plans se coupent en O en formant un angle θ . On veut qu'un rayon, après s'être réfléchi sur M_1 puis sur M_2 , **revienne exactement sur lui-même**.



a)

Montre que cela impose que le rayon frappe M_2 *perpendiculairement*.

b)

Déduis-en l'angle d'incidence sur M_1 en fonction de θ , puis sa valeur pour $\theta = 50^\circ$.

Exo 15 la vitesse de l'image

Un objet se rapproche d'un miroir plan fixe, perpendiculairement à celui-ci, à la vitesse $v = 2 \text{ m/s}$.

a)

À quelle vitesse, et dans quel sens, se déplace son image (par rapport au miroir) ?

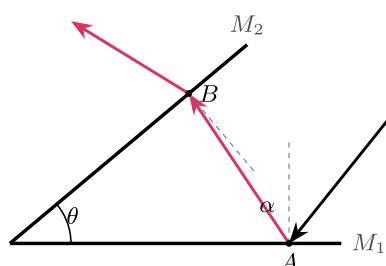
b)

À quelle vitesse l'image se rapproche-t-elle de l'objet lui-même ?

DIFFICILE 12 exercices

Exo 1 deux miroirs formant un angle quelconque

Deux miroirs plans M_1 et M_2 se coupent en O en formant entre eux un angle θ . Un rayon frappe M_1 en A (angle d'incidence α), se réfléchit vers M_2 qu'il frappe en B (angle d'incidence β), puis ressort.



a)

En considérant le triangle OAB , montre que $\alpha + \beta = \theta$.

b)

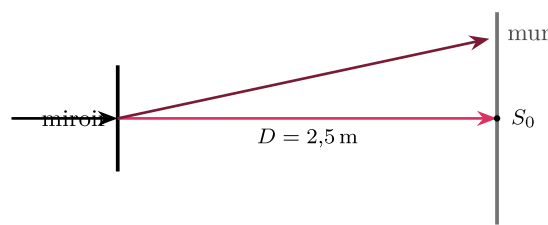
Sachant qu'une réflexion sous incidence α dévie le rayon de $180^\circ - 2\alpha$, exprime la déviation totale D du rayon en fonction de θ seul.

c)

Applique à $\theta = 120^\circ$. Pour quelle valeur de θ le rayon ressort-il exactement antiparallèle à sa direction d'entrée ?

Exo 2 le scanner à miroir tournant

Un petit miroir plan renvoie un faisceau laser vers un mur situé à la distance $D = 2.5 \text{ m}$. Au départ, le faisceau réfléchi frappe le mur perpendiculairement en un point S_0 . On fait tourner le miroir d'un angle $\alpha = 6^\circ$.



a)

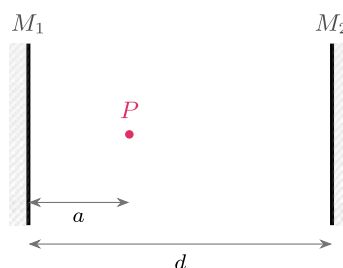
De quel angle tourne le faisceau réfléchi ?

b)

De quelle distance le point d'impact se déplace-t-il sur le mur ? (On donnera l'expression littérale puis la valeur ; $\tan 12^\circ = 0,2126$.)

Exo 3 deux miroirs parallèles face à face

Deux miroirs plans sont **parallèles et se font face**, séparés d'une distance $d = 60 \text{ cm}$. Un petit objet ponctuel P est placé entre eux, à $a = 20 \text{ cm}$ du miroir M_1 (donc à 40 cm de M_2). On rappelle que l'image d'un objet dans un miroir plan est son *symétrique* par rapport au plan du miroir.



a)

Donne la position (distance et côté) de la première image de P formée par M_1 , puis de celle formée par M_2 .

b)

Explique pourquoi l'observateur voit en réalité une **infinité** d'images.

Exo 4 la formule vectorielle de la réflexion

On repère le rayon lumineux par son **vecteur direction** unitaire $\vec{d}$, et le miroir par sa **normale** unitaire $\vec{n}$. On veut établir que le rayon réfléchi a pour direction

$$\vec{r} = \vec{d} - 2(\vec{d} \cdot \vec{n}) \vec{n}.$$

a)

En décomposant $\vec{d}$ en une composante normale $(\vec{d} \cdot \vec{n})\vec{n}$ et une composante tangente au miroir, montre que la loi $\hat{i} = \hat{r}$ (qui *inverse* la seule composante normale) conduit exactement à la formule ci-dessus.

b)

Vérifie que $\|\vec{r}\| = 1$ et que $\vec{r} \cdot \vec{n} = -(\vec{d} \cdot \vec{n})$. Qu'est-ce que cela garantit sur l'angle du rayon réfléchi avec la normale ?

c)

Application. Le miroir a pour normale $\vec{n} = \frac{1}{5}(3, 4)$ et le rayon incident $\vec{d} = (1, 0)$. Calcule $\vec{r}$, puis vérifie sur les composantes que $\hat{r} = \hat{i}$.

Exo 5 combien d'images ? le cas général

Deux miroirs se coupent selon un angle θ ; on pose $m = 360^\circ / \theta$. Le nombre d'images d'un objet placé entre eux obéit aux règles suivantes :

a)

si m est un entier *pair* : $N = m - 1$;

b)

si m est un entier *impair* : $N = m - 1$ (objet sur la bissectrice) ou $N = m$ (sinon) ;

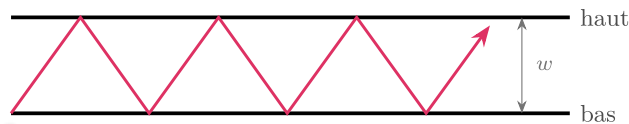
c)

si m n'est pas entier : $N = \lfloor m \rfloor$.

- 1 Combien d'images pour $\theta = 45^\circ$?
- 2 Combien pour $\theta = 72^\circ$? Discute selon la position de l'objet.
- 3 Combien pour $\theta = 50^\circ$? Pourquoi le résultat est-il « moins net » que dans les cas précédents ?

Exo 6 le rayon dans le couloir de miroirs

Deux miroirs plans parallèles forment un couloir de largeur $w = 0.5 \text{ m}$. Un rayon entre par le bas (sur le miroir inférieur) avec un angle d'incidence $\hat{i} = 60^\circ$ par rapport à la normale (perpendiculaire aux miroirs), puis rebondit d'un miroir à l'autre. Le couloir a une longueur $L = 6 \text{ m}$.



a)

De quelle distance horizontale le rayon avance-t-il à chaque traversée du couloir ?

b)

Combien de réflexions subit-il avant d'atteindre l'extrémité $x = L$?

c)

À quelle hauteur ressort-il ?

Exo 7 le coin de cube (rétroreflecteur 3D)

On assemble **trois miroirs plans mutuellement perpendiculaires**, comme les trois faces d'un coin de cube ; on les prend comme les plans $x = 0$, $y = 0$ et $z = 0$. Un rayon de direction unitaire $\vec{u} = (u_x, u_y, u_z)$ y pénètre et se réfléchit successivement sur les trois faces.

a)

Montre que la réflexion sur le plan $x = 0$ change $\vec{u} = (u_x, u_y, u_z)$ en $(-u_x, u_y, u_z)$ (seule la composante perpendiculaire à ce plan est inversée).

b)

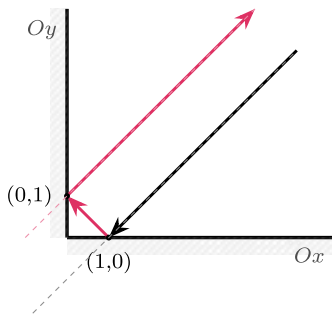
Déduis-en la direction du rayon après les *trois* réflexions. Que peut-on dire par rapport au rayon entrant, et cela dépend-il de la direction d'entrée ?

c)

Applique à $\vec{u} = \frac{1}{7}(2, -3, 6)$. Cite un usage concret de ce dispositif.

Exo 8 le rétroreflecteur en coin : le décalage latéral

Deux miroirs perpendiculaires occupent les demi-axes Ox et Oy . Un rayon de direction $\vec{u} = \frac{1}{\sqrt{2}}(-1, -1)$ arrive en passant par le point $(5, 4)$; il se réfléchit sur le miroir horizontal (Ox) puis sur le miroir vertical (Oy).



a)

Détermine les deux points d'impact sur les miroirs.

b)

Montre que le rayon sortant est **antiparallèle** au rayon entrant.

c)

Calcule la distance (le décalage latéral) entre le rayon entrant et le rayon sortant, et exprime-la en fonction de la distance du coin O au rayon entrant.

Exo 9 le miroir tournant : un balayage non uniforme

Un miroir plan tourne à *vitesse angulaire constante* ω . Le faisceau réfléchi éclaire un mur plan situé à la distance L . À l'instant $t = 0$, le faisceau frappe le mur perpendiculairement au point S_0 ; on note $x(t)$ la position du spot sur le mur, comptée depuis S_0 .

a)

À quelle vitesse angulaire tourne le faisceau réfléchi ? En déduire que $x(t) = L \tan(2\omega t)$.

b)

Calcule la vitesse $\frac{dx}{dt}$ du spot. Quelle est sa valeur v_0 au passage en S_0 ?

c)

Compare la vitesse du spot lorsque le faisceau a tourné de 45° (soit $2\omega t = 45^\circ$) à celle en S_0 . Application : $\omega = 10 \text{ rad/s}$, $L = 3 \text{ m}$.

Exo 10 le principe du sextant

Un sextant mesure l'angle entre deux directions (l'horizon et un astre) par **double réflexion** sur deux miroirs faisant entre eux un angle θ . On rappelle qu'une réflexion suivie d'une autre équivaut à une rotation.

a)

En admettant que la composée de deux réflexions sur des miroirs faisant un angle θ est une **rotation d'angle 2θ** , montre que le rayon final est tourné de 2θ par rapport au rayon initial, *indépendamment* de l'angle d'incidence.

b)

Explique alors pourquoi, si l'on tourne le miroir mobile de δ , l'angle mesuré varie de 2δ : un arc gradué de 60° permet de lire jusqu'à 120° .

c)

Lorsque les deux images se superposent, les miroirs font $\theta = 32^\circ$. Quelle est la hauteur de l'astre au-dessus de l'horizon ?

Exo 11 quand le coin n'est pas parfaitement droit

Un rétrorélecteur est constitué de deux miroirs censés faire un angle droit ; en réalité leur angle vaut $\theta = 90^\circ + \varepsilon$. On utilisera le résultat : après réflexion sur les deux miroirs, le rayon est *tourné* de 2θ .

a)

Pour $\theta = 90^\circ$ exactement, de quel angle le rayon est-il tourné ? Retrouve l'antiparallélisme.

b)

Pour $\theta = 90^\circ + \varepsilon$, montre que le rayon sortant s'écarte de la direction antiparallèle d'un angle 2ε .

c)

Un coin de cube déposé sur la Lune ($d = 3.84 \times 10^8$ m) a un défaut $\varepsilon = 0^\circ 0' 1''$ (une seconde d'arc). De combien le faisceau renvoyé rate-t-il sa cible sur Terre ? Conclusion sur la précision d'usinage exigée.

Exo 12 deux miroirs parallèles : la position des images

Deux miroirs plans parallèles se font face : M_1 dans le plan $x = 0$ et M_2 dans le plan $x = D$, avec $D = 60$ cm. Un objet ponctuel est placé en $x = a = 20$ cm.

a)

Donne la position de la première image formée par M_1 , puis par M_2 , et leur distance *derrière* chaque miroir.

b)

Montre que l'ensemble des images occupe les positions $x_k = 2kD \pm a$ (avec k entier).

c)

En déduire que les images sont en nombre infini et de plus en plus lointaines. Où se situe la *troisième* image derrière M_2 ?



DEUXIÈME PARTIE

Corrigés

Chaque exercice repris pas à pas, niveau par niveau.
Compare ta démarche, pas seulement ton résultat.





Une seconde – avant d'ouvrir le corrigé...



Si ce carnet t'aide, rends-nous la pareille : parle de simulationconcours.be à quelqu'un qui prépare le concours. C'est comme ça qu'on peut continuer.

Ce qu'on a préparé pour toi

- ✓ Ce carnet en interactif, avec correction en un clic
- ✓ Les cours complets, chapitre par chapitre – gratuits
- ✓ 3100 QCM type concours, corrigés et expliqués
- ✓ Des fiches de révision à imprimer

Tous les jeudis : simulation du concours en ligne

En conditions réelles – chrono, QCM type concours et score immédiat.



Rejoins-nous sur simulationconcours.be

scanne le QR ou tape l'adresse – puis reviens vérifier tes réponses

Les corrigés

FACILE 15 exercices

Exo 1 le rebond de base

Loi de la réflexion : $\hat{r} = \hat{i}$, les deux angles étant mesurés par rapport à la normale.

a)

$$\hat{r} = \hat{i} = 28^\circ.$$

b)

L'angle entre le rayon incident et le rayon réfléchi vaut $\hat{i} + \hat{r} = 2\hat{i} = 2 \times 28^\circ = 56^\circ$.

Exo 2 angle donné par rapport au miroir

La normale est perpendiculaire au miroir : il faut convertir l'angle donné.

a)

$$\hat{i} = 90^\circ - 35^\circ = 55^\circ \text{ (angle par rapport à la normale).}$$

b)

$\hat{r} = \hat{i} = 55^\circ$. *Piège évité* : prendre directement 35° aurait été faux.

Exo 3 miroir posé au sol

La normale est verticale (perpendiculaire au sol horizontal).

a)

$$\hat{r} = \hat{i} = 60^\circ.$$

b)

Le rayon réfléchi fait avec la normale un angle de 60° , donc avec le sol il fait l'angle complémentaire : $90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$.

Exo 4 incidence perpendiculaire

Ici le rayon arrive le long de la normale, donc $\hat{i} = 0^\circ$.

a)

$$\hat{r} = \hat{i} = 0^\circ.$$

b)

Le rayon réfléchi repart **sur lui-même**, exactement en sens inverse du rayon incident (demi-tour). C'est le seul cas où le rayon revient sur sa propre trajectoire.

Exo 5 rayon réfléchi perpendiculaire à l'incident

L'angle entre le rayon incident et le rayon réfléchi vaut $2\hat{i}$. On veut qu'il soit égal à 90° :

$$2\hat{i} = 90^\circ \implies \hat{i} = 45^\circ.$$

Un rayon frappant le miroir à 45° de la normale repart donc à angle droit de sa direction d'arrivée — principe utilisé pour renvoyer un faisceau « en équerre ».

Exo 6 lire la loi à l'envers

La loi $\hat{i} = \hat{r}$ se lit dans les deux sens ; la surface est perpendiculaire à la normale.

a)

$$\hat{i} = \hat{r} = 41^\circ.$$

b)

$$\text{Angle avec la surface} = 90^\circ - \hat{i} = 90^\circ - 41^\circ = 49^\circ.$$

Exo 7 de l'écart entre les rayons à l'incidence

L'angle entre le rayon incident et le rayon réfléchi vaut $\hat{i} + \hat{r} = 2\hat{i}$.

a)

$$2\hat{i} = 74^\circ \implies \hat{i} = 37^\circ.$$

b)

$$\hat{r} = \hat{i} = 37^\circ.$$

Exo 8 incidence rasante**a)**

$$\hat{r} = \hat{i} = 88^\circ.$$

b)

Angle avec la surface = $90^\circ - 88^\circ = 2^\circ$. Le rayon « frôle » le miroir : incident et réfléchi sont presque confondus avec la surface.

Exo 9 angle donné par rapport à la surface

Il faut d'abord convertir l'angle donné avec la surface en angle par rapport à la normale.

a)

$$\hat{i} = 90^\circ - 20^\circ = 70^\circ.$$

b)

$$\hat{r} = \hat{i} = 70^\circ.$$

c)

Angle entre les deux rayons $= 2\hat{i} = 2 \times 70^\circ = 140^\circ$.

Exo 10 où se forme l'image

L'image donnée par un miroir plan est le *symétrique* de l'objet par rapport au plan du miroir.

a)

L'image A' se forme à 45 cm derrière le miroir (même distance que l'objet devant).

b)

Distance objet-image $= 45 \text{ cm} + 45 \text{ cm} = 90 \text{ cm}$.

Exo 11 taille et nature de l'image

Un miroir plan donne une image de **même taille** que l'objet, à distance égale de l'autre côté.

a)

Image de 8 cm (même taille), à 30 cm derrière le miroir.

b)

Image **droite** (non renversée haut/bas) et **virtuelle** (elle est *derrière* le miroir, on ne peut pas la recueillir sur un écran). Elle est seulement inversée gauche/droite.

Exo 12 miroir incliné à 45°

La normale est perpendiculaire au miroir ; comme le miroir est à 45° de l'horizontale, la normale est à 45° de la verticale.

a)

Le rayon incident est vertical ; il fait donc $\hat{i} = 45^\circ$ avec la normale.

b)

$\hat{r} = 45^\circ$: le rayon réfléchi repart **horizontalement**. La déviation entre le rayon incident et le rayon réfléchi vaut $2\hat{i} = 90^\circ$. Un miroir à 45° fait « tourner » la lumière d'un angle droit.

Exo 13 un seul rebond dans un coin

a)

Le rayon $A \rightarrow M_2$ fait $\hat{i}_1 = 40^\circ$ avec la normale de M_1 . Les deux miroirs étant perpendiculaires, leurs normales le sont aussi : ce rayon fait donc $90^\circ - 40^\circ = 50^\circ$ avec la normale de M_2 , soit $\hat{i}_2 = 50^\circ$.

b)

$\hat{i}_1 + \hat{i}_2 = 40^\circ + 50^\circ = 90^\circ$: la relation est bien vérifiée.

Exo 14 le miroir qui pivote

a)

Le rayon réfléchi tourne de $2\alpha = 2 \times 8^\circ = 16^\circ$.

b)

On veut $2\alpha = 30^\circ$, donc $\alpha = 15^\circ$.

Exo 15 symétrie par rapport à la surface

Le rayon fait 25° avec la surface, donc $\hat{i} = 90^\circ - 25^\circ = 65^\circ$.

a)

Par symétrie, le rayon réfléchi fait aussi 25° avec la surface (de l'autre côté du point d'impact).

b)

Angle entre les deux rayons = $2\hat{i} = 130^\circ$ (ou, de façon équivalente, $180^\circ - 2 \times 25^\circ = 130^\circ$).

MOYEN 15 exercices

Exo 1 le miroir qui tourne

a)

Faire tourner le miroir de α fait tourner la normale de α . Le rayon incident étant fixe, l'angle d'incidence augmente de α : $\hat{i}' = 30^\circ + 12^\circ = 42^\circ$.

b)

Le rayon réfléchi fait toujours l'angle $\hat{r}' = \hat{i}'$ de l'autre côté de la normale ; comme la normale a tourné de α et que l'angle réfléchi a augmenté de α , le rayon réfléchi tourne au total de $2\alpha = 24^\circ$.

Règle : un miroir qui tourne de α fait tourner le rayon réfléchi de 2α .

Exo 2 réflecteur en coin : deux miroirs perpendiculaires

a)

Loi de la réflexion en A : $\hat{r}_1 = \hat{i}_1 = 35^\circ$.

b)

Les deux miroirs sont perpendiculaires, donc leurs normales aussi. Le rayon AB fait 35° avec la normale de M_1 , donc $90^\circ - 35^\circ = 55^\circ$ avec la normale de M_2 :

$$\hat{i}_2 = 55^\circ.$$

(On retrouve la règle $\hat{i}_1 + \hat{i}_2 = 90^\circ$ pour deux miroirs perpendiculaires.)

c)

Prenons les axes Ox (miroir M_2) et Oy (miroir M_1). La réflexion sur M_1 (vertical) inverse la composante horizontale de la direction : $(u_x, u_y) \rightarrow (-u_x, u_y)$. La réflexion sur M_2 (horizontal) inverse la composante verticale : $(-u_x, u_y) \rightarrow (-u_x, -u_y) = -\vec{u}$. Le rayon sortant a donc la direction $-\vec{u}$: il est **antiparallèle** au rayon entrant, quel que soit l'angle d'entrée. C'est le principe du catadioptr.

Exo 3 le périscope

a)

Le miroir est incliné à 45° ; sa normale fait donc 45° avec l'horizontale. Le rayon horizontal arrive sous un angle d'incidence $\hat{i} = 45^\circ$.

b)

Réflexion sur le miroir 1 : $\hat{r} = 45^\circ$, le rayon est dévié de $2\hat{i} = 90^\circ$ et repart **verticalement vers le bas**. Il frappe le miroir 2 (aussi à 45°) sous 45° , subit une seconde déviation de 90° et repart **horizontalement**. La direction finale est donc **parallèle** au rayon entrant (et de même sens), simplement décalée vers le bas : c'est ce qui permet de « voir par-dessus » un obstacle.

Exo 4 se voir en entier dans un miroir

On applique $\hat{i} = \hat{r}$ aux rayons issus du sommet du crâne et des pieds, qui doivent tous deux parvenir à l'œil après réflexion.

a)

Le rayon venant du sommet du crâne se réfléchit à mi-hauteur entre le crâne et les yeux ; le rayon venant des pieds se réfléchit à mi-hauteur entre les pieds et les yeux. La portion utile du miroir s'étend donc du milieu [pieds-yeux] au milieu [crâne-yeux], soit une hauteur égale à la **moitié de la taille** :

$$h_{\min} = \frac{H}{2} = \frac{1.80 \text{ m}}{2} = 0.90 \text{ m}.$$

b)

Non : le calcul ne fait intervenir que les hauteurs, jamais la distance au miroir. La hauteur minimale reste $H/2$, que la personne soit près ou loin du miroir.

Exo 5 retrouver l'angle entre deux miroirs

Par la loi de la réflexion, le rayon interne (entre les deux miroirs) fait le même angle avec chaque miroir que, respectivement, le rayon entrant et le rayon sortant : il fait donc 30° avec le miroir inférieur et 40° avec le miroir supérieur. Ces deux angles sont ceux du triangle formé par les deux miroirs et le trajet interne, dont le troisième sommet (O) porte l'angle θ . La somme des angles d'un triangle vaut 180° :

$$\theta + 30^\circ + 40^\circ = 180^\circ \implies \boxed{\theta = 110^\circ}.$$

Exo 6 le kaléidoscope

a)

$$N = \frac{360^\circ}{60^\circ} - 1 = 6 - 1 = 5 \text{ images.}$$

b)

$N = \frac{360^\circ}{45^\circ} - 1 = 8 - 1 = 7$ images. Plus on *referme* l'angle (plus θ est petit), plus $360^\circ/\theta$ est grand : on obtient davantage d'images, d'où la richesse des motifs du kaléidoscope.

Exo 7 le faisceau balayeur

Un miroir qui tourne de α fait tourner le rayon réfléchi de 2α : le faisceau tourne **deux fois plus vite** que le miroir.

a)

Le faisceau réfléchi fait $2 \times 3 = 6$ tours par seconde.

b)

Un quart de tour, c'est $\frac{1}{4}$ tour ; à 6 tours par seconde :

$$t = \frac{1/4}{6} \text{ s} = \frac{1}{24} \text{ s} \approx 42 \text{ ms.}$$

Exo 8 où fixer le miroir pour se voir en entier

On applique $\hat{i} = \hat{r}$ aux rayons issus des pieds et du sommet du crâne, qui doivent atteindre l'œil après réflexion. Chaque point de réflexion est à *mi-hauteur* entre l'œil et le point visé.

a)

Le rayon venant des pieds se réfléchit à mi-hauteur entre pieds (0 m) et yeux (1.68 m) : le **bord inférieur** est à $\frac{0+1.68}{2} = 0.84$ m du sol.

b)

Le rayon venant du sommet (1.80 m) se réfléchit à mi-hauteur entre sommet et yeux : le **bord supérieur** est à $\frac{1.80+1.68}{2} = 1.74$ m. La hauteur utile vaut $1.74 - 0.84 = 0.90 \text{ m} = H/2$. Ces hauteurs ne dépendent **pas** de la distance au miroir (seules interviennent les hauteurs).

Exo 9 le champ de vision d'un miroir

L'œil est à la distance d_1 devant le miroir ; son image E' est à d_1 *derrière*. Un point de la frise (à la distance $d_1 + d_2$ devant le miroir) est vu si le segment $E' \rightarrow$ point traverse le miroir. Par proportion, le point de la frise à la position latérale x est vu à travers le miroir à la position latérale $x \frac{d_1}{2d_1 + d_2}$.

a)

Pour couvrir toute la frise (x de $-L/2$ à $+L/2$), le miroir doit avoir la largeur

$$\ell = L \frac{d_1}{2d_1 + d_2} = 4.0 \text{ m} \times \frac{1.0}{2 \times 1.0 + 3.0} = \frac{4.0}{5.0} = 0.80 \text{ m}.$$

b)

Oui, elle dépend de d_1 : en s'approchant du miroir (petit d_1) le champ vu s'élargit et un miroir plus petit suffit. C'est l'inverse du cas « se voir en entier », où la hauteur $H/2$ ne dépendait pas de la distance.

Exo 10 viser une cible par réflexion

L'image A' de $A = (0, 2)$ par le miroir (l'axe $y = 0$) est son symétrique $A' = (0, -2)$. Le rayon réel $A \rightarrow I \rightarrow B$ a même longueur et même direction apparente que le segment *droit* $A' \rightarrow B$: le point d'impact I est donc l'intersection de $[A'B]$ avec le miroir.

a)

Droite $A'B$: de $(0, -2)$ à $(6, 1)$. Elle coupe $y = 0$ quand $-2 + 3t = 0$, soit $t = \frac{2}{3}$, d'où $x = 6 \times \frac{2}{3} = 4$. Le point d'impact est $I = (4, 0)$, à 4 m de A (horizontalement).

b)

La longueur $A \rightarrow I \rightarrow B$ égale $A'B = \sqrt{6^2 + 3^2} = \sqrt{45} = 3\sqrt{5} \approx 6.7 \text{ m}$. (Vérification : $AI = \sqrt{4^2 + 2^2} = 2\sqrt{5}$ et $IB = \sqrt{2^2 + 1^2} = \sqrt{5}$, somme $3\sqrt{5}$.)

Exo 11 l'héliostat

La normale du miroir doit être la **bissectrice** de l'angle entre le rayon incident et le rayon réfléchi. Le rayon incident est à E sous l'horizontale, le rayon réfléchi est horizontal : un calcul d'angles montre que le miroir doit faire $E/2$ avec l'horizontale.

a)

Pour $E = 30^\circ$: le miroir est incliné de $\frac{30^\circ}{2} = 15^\circ$ par rapport à l'horizontale.

b)

Pour $E = 50^\circ$: inclinaison $\frac{50^\circ}{2} = 25^\circ$. Le Soleil montant sans cesse, un héliostat doit **pivoter en permanence** (à la moitié de la vitesse angulaire apparente du Soleil) pour garder le faisceau fixe.

Exo 12 trois images dans un coin

Chaque miroir donne le symétrique de l'objet par rapport à son plan.

a)

Image par le miroir vertical Oy : $(-20, 30)$. Image par le miroir horizontal Ox : $(20, -30)$. Image « du coin » : $(-20, -30)$. Les trois images sont donc $(-20, 30)$, $(20, -30)$ et $(-20, -30)$ (en cm).

b)

L'image $(-20, -30)$ provient d'une **double réflexion** (symétrie par rapport à Oy puis à Ox) : c'est le symétrique de P par rapport au coin O . Un objet placé dans un coin de deux miroirs perpendiculaires donne ainsi 3 images.

Exo 13 le reflet dans la flaque

Le sommet du lampadaire $S = (D, H) = (8, 5)$ a pour image $S' = (8, -5)$ (symétrique sous le sol). L'œil est en $(0, h) = (0, 1.6)$. Le reflet est vu au point où le segment $\overline{OS'}$ traverse le sol ($y = 0$).

a)

De $(0, 1.6)$ à $(8, -5)$, on a $y = 0$ quand $1.6 - 6.6t = 0$, soit $t = \frac{1.6}{6.6}$, d'où

$$x = D \frac{h}{h+H} = 8 \times \frac{1.6}{1.6+5} = \frac{12.8}{6.6} \approx 1.94 \text{ m.}$$

Le reflet apparaît à environ 1.94 m devant le piéton.

b)

Non : le reflet partage la distance dans le rapport $h : H = 1.6 : 5$. Il est à $\frac{h}{h+H} \approx 24\%$ de la distance, donc bien plus près du piéton (petit) que du lampadaire (grand), et non au milieu.

Exo 14 le rayon qui revient sur ses pas

a)

Pour que le rayon reparte *exactement* en sens inverse après la dernière réflexion (sur M_2), il faut que cette réflexion le renvoie sur lui-même : le rayon doit donc arriver sur M_2 **perpendiculairement** (incidence nulle). Il remonte alors le long du même segment vers M_1 , s'y réfléchit à l'identique, et ressort sur le rayon incident.

b)

Le segment $\overline{M_1 M_2}$ est perpendiculaire à M_2 . Dans le triangle formé, l'angle en O vaut θ , l'angle en M_2 vaut 90° , donc l'angle entre ce segment et M_1 vaut $180^\circ - 90^\circ - \theta = 90^\circ - \theta$. L'angle d'incidence sur M_1 (compté depuis la normale) est le complémentaire : $\hat{i}_1 = 90^\circ - (90^\circ - \theta) = \theta$. Pour $\theta = 50^\circ$: $\hat{i}_1 = 50^\circ$.

Exo 15 la vitesse de l'image

L'image d'un miroir plan est toujours symétrique de l'objet : elle est à la même distance de l'autre côté du miroir.

a)

Quand l'objet avance de Δx vers le miroir, l'image avance de Δx vers le miroir *depuis l'autre côté*. Elle se déplace donc à $v = 2 \text{ m/s}$, dirigée vers le miroir (à la rencontre de l'objet).

b)

Objet et image se rapprochent l'un de l'autre à la somme des deux vitesses : $2v = 4 \text{ m/s}$. (Voilà pourquoi, en avançant vers un miroir, on voit son reflet « foncer » deux fois plus vite que soi.)

DIFFICILE

12 exercices

Exo 1 deux miroirs formant un angle quelconque

a)

Dans le triangle OAB : l'angle en O vaut θ . En A , le rayon AB fait avec le miroir M_1 l'angle $90^\circ - \alpha$ (car il fait α avec la normale) ; de même en B , AB fait $90^\circ - \beta$ avec M_2 . La somme des angles du triangle vaut 180° :

$$\theta + (90^\circ - \alpha) + (90^\circ - \beta) = 180^\circ \implies \boxed{\alpha + \beta = \theta}.$$

b)

La déviation à chaque miroir est $180^\circ - 2\alpha$ puis $180^\circ - 2\beta$. Au total :

$$D = (180^\circ - 2\alpha) + (180^\circ - 2\beta) = 360^\circ - 2(\alpha + \beta) = \boxed{360^\circ - 2\theta}.$$

Remarquable : D ne dépend que de θ , pas de l'angle d'incidence.

c)

Pour $\theta = 120^\circ$: $D = 360^\circ - 240^\circ = 120^\circ$. Le rayon ressort antiparallèle lorsque $D = 180^\circ$, soit $360^\circ - 2\theta = 180^\circ \implies \theta = 90^\circ$: on retrouve le réflecteur en coin.

Exo 2 le scanner à miroir tournant

a)

Un miroir qui tourne de α fait tourner le faisceau réfléchi de $2\alpha = 12^\circ$.

b)

Le faisceau, parti du miroir, arrive sur le mur perpendiculaire à distance D . Après rotation de 2α , le point d'impact se déplace de

$$s = D \tan(2\alpha) = 2.5 \text{ m} \times \tan 12^\circ = 2,5 \times 0,2126 = 0.53 \text{ m}.$$

Un tout petit basculement du miroir (6°) déplace le spot d'un demi-mètre : c'est le principe des galvanomètres optiques et des scanners laser.

Exo 3 deux miroirs parallèles face à face

a)

L'image est le symétrique de l'objet par rapport au plan du miroir :

- image par M_1 : P est à 20 cm devant M_1 , son image est donc à 20 cm derrière M_1 ;
- image par M_2 : P est à 40 cm devant M_2 , son image est à 40 cm derrière M_2 .

b)

Chaque image se comporte à son tour comme un **objet** pour le miroir d'en face, qui en donne une nouvelle image, elle-même réfléchi par le premier miroir, et ainsi de suite sans fin. Les miroirs étant parallèles, aucune de ces images ne coïncide : leurs distances augmentent indéfiniment, d'où une **infinité d'images** de plus en plus lointaines (l'effet « couloir de miroirs »).

Exo 4 la formule vectorielle de la réflexion

a)

On décompose $\vec{d} = (\vec{d} \cdot \vec{n}) \vec{n} + \vec{d}_{\parallel}$, où $\vec{d}_{\parallel} = \vec{d} - (\vec{d} \cdot \vec{n}) \vec{n}$ est la composante *tangente* au miroir. La réflexion conserve la composante tangente et *inverse* la composante normale :

$$\vec{r} = \vec{d}_{\parallel} - (\vec{d} \cdot \vec{n}) \vec{n} = [\vec{d} - (\vec{d} \cdot \vec{n}) \vec{n}] - (\vec{d} \cdot \vec{n}) \vec{n} = \vec{d} - 2(\vec{d} \cdot \vec{n}) \vec{n}.$$

b)

Avec $\|\vec{n}\| = 1$: $\|\vec{r}\|^2 = \|\vec{d}\|^2 - 4(\vec{d} \cdot \vec{n})^2 + 4(\vec{d} \cdot \vec{n})^2 \|\vec{n}\|^2 = \|\vec{d}\|^2 = 1$. De plus $\vec{r} \cdot \vec{n} = \vec{d} \cdot \vec{n} - 2(\vec{d} \cdot \vec{n}) = -(\vec{d} \cdot \vec{n})$. La composante normale change de signe mais garde la même valeur absolue : le rayon réfléchi fait avec la normale le même angle que le rayon incident ($\hat{r} = \hat{i}$).

c)

$$\vec{d} \cdot \vec{n} = (1, 0) \cdot \frac{1}{5}(3, 4) = \frac{3}{5}. \text{ Donc }$$

$$\vec{r} = (1, 0) - 2 \cdot \frac{3}{5} \cdot \frac{1}{5}(3, 4) = (1, 0) - \frac{6}{25}(3, 4) = \left(\frac{7}{25}, -\frac{24}{25} \right).$$

$$\text{Vérification : } \|\vec{r}\| = \frac{1}{25} \sqrt{7^2 + 24^2} = \frac{25}{25} = 1 ; \cos \hat{i} = |\vec{d} \cdot \vec{n}| = \frac{3}{5} \text{ et } \cos \hat{r} = |\vec{r} \cdot \vec{n}| = \left| \frac{7}{25} \cdot \frac{3}{5} - \frac{24}{25} \cdot \frac{4}{5} \right| = \left| \frac{21-96}{125} \right| = \frac{75}{125} = \frac{3}{5}, \text{ donc } \hat{r} = \hat{i}.$$

Exo 5 combien d'images ? le cas général

On pose $m = 360^\circ / \theta$.

a)

$\theta = 45^\circ$: $m = 8$, entier *pair*, donc $N = m - 1 = 7$ images.

b)

$\theta = 72^\circ : m = 5$, entier *impair*. Alors $N = 4$ si l'objet est sur la bissectrice, $N = 5$ sinon.

c)

$\theta = 50^\circ : m = 7,2$, non entier, donc $N = \lfloor 7,2 \rfloor = 7$. Le résultat est « moins net » car les images ne se referment pas exactement après un tour : la dernière ne coïncide pas avec l'objet, et le compte dépend un peu de la position exacte.

Exo 6 le rayon dans le couloir de miroirs

Les miroirs sont horizontaux, la normale est verticale ; le rayon fait $\hat{i} = 60^\circ$ avec la verticale, donc 30° avec l'horizontale.

a)

À chaque traversée (hauteur w), l'avance horizontale vaut $\Delta x = w \tan \hat{i} = 0,5 \times \tan 60^\circ = 0,5 \times 1,732 = 0,87 \text{ m}$.

b)

Les réflexions ont lieu en $x = k \Delta x$. On cherche le plus grand k tel que $k \times 0,866 \leq 6 : k \leq 6,93$, soit $k = 6$. Le rayon subit donc **6 réflexions** avant l'extrémité.

c)

La 6^e réflexion (k pair) a lieu sur le miroir *du bas*, en $x = 6 \times 0,866 = 5,20 \text{ m}$. Le rayon monte alors sur la distance horizontale restante $6 - 5,20 = 0,80 \text{ m}$; il gagne en hauteur $0,80 \times \tan 30^\circ = 0,80 \times 0,577 \approx 0,46 \text{ m}$. Il ressort donc à environ $0,46 \text{ m}$ au-dessus du miroir inférieur.

Exo 7 le coin de cube (rétroreflecteur 3D)

a)

Le plan $x = 0$ a pour normale $\vec{e}_x$; une réflexion y inverse la seule composante portée par $\vec{e}_x$: $(u_x, u_y, u_z) \mapsto (-u_x, u_y, u_z)$. Les composantes u_y, u_z (tangentes au plan) sont inchangées.

b)

Les trois plans étant $x = 0, y = 0, z = 0$, les trois réflexions (dans un ordre quelconque) inversent successivement u_x, u_y, u_z : la direction devient $(-u_x, -u_y, -u_z) = -\vec{u}$. Le rayon ressort **antiparallèle** à son entrée, *quelle que soit* sa direction.

c)

$\vec{u} = \frac{1}{7}(2, -3, 6) \mapsto -\vec{u} = \frac{1}{7}(-2, 3, -6)$. Usage : **rétroreflecteur** — catadioptrés routiers, coins de cube des satellites géodésiques et réflecteurs déposés sur la Lune (télémétrie laser Terre-Lune).

Exo 8 le rétrorélecteur en coin : le décalage latéral

a)

Le rayon part de $(5, 4)$ selon $\vec{u} \propto (-1, -1)$: point courant $(5 - t, 4 - t)$. Il atteint Ox ($y = 0$) pour $t = 4$, soit **en** $(1, 0)$. La réflexion sur Ox inverse la composante verticale : direction $(-1, +1)$. De $(1, 0)$: $(1 - s, s)$, qui atteint Oy ($x = 0$) pour $s = 1$, soit **en** $(0, 1)$.

b)

La réflexion sur Oy inverse la composante horizontale : direction finale $(+1, +1) = -(-1, -1)$. Le rayon sortant est donc **antiparallèle** au rayon entrant.

c)

Rayon entrant : droite $x - y = 1$; rayon sortant : droite passant par $(0, 1)$ de direction $(1, 1)$, soit $x - y = -1$. La distance entre ces deux parallèles vaut $\frac{|1 - (-1)|}{\sqrt{1^2 + 1^2}} = \frac{2}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}$. Or la distance du coin O au rayon entrant est $\frac{|0 - 0 - 1|}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$: le décalage latéral vaut donc $2 \times \text{dist}(O, \text{rayon entrant})$.

Exo 9 le miroir tournant : un balayage non uniforme

a)

Le miroir tourne à ω , donc le faisceau réfléchi tourne à 2ω : son angle avec la normale au mur vaut $2\omega t$, d'où la position du spot $x(t) = L \tan(2\omega t)$.

b)

$$\frac{dx}{dt} = L \cdot 2\omega \cdot \frac{1}{\cos^2(2\omega t)} = \frac{2\omega L}{\cos^2(2\omega t)}. \text{ En } S_0 (2\omega t = 0) : v_0 = 2\omega L.$$

c)

En $2\omega t = 45^\circ$: $\frac{dx}{dt} = \frac{2\omega L}{\cos^2 45^\circ} = \frac{2\omega L}{1/2} = 4\omega L = 2v_0$: le spot va *deux fois plus vite* qu'en S_0 . Application $\omega = 10 \text{ rad/s}$, $L = 3 \text{ m}$: $v_0 = 2 \times 10 \times 3 = 60 \text{ m/s}$, et 120 m/s à 45° . Le balayage est donc **non uniforme** (le spot accélère vers les bords).

Exo 10 le principe du sextant

a)

Deux réflexions sur des miroirs faisant l'angle θ équivalent à une *rotation* de la direction du rayon de 2θ . Cette rotation ne dépend pas de l'angle d'incidence : le rayon final est tourné de 2θ par rapport à l'initial, *quelle que soit* l'orientation de la visée.

b)

Tourner le miroir mobile de δ change θ de δ , donc l'angle mesuré 2θ de 2δ : la graduation lit le *double* de la rotation du miroir. Un arc gravé de 60° permet ainsi de mesurer des angles jusqu'à 120° .

c)

À la superposition des images, $\theta = 32^\circ$; la hauteur de l'astre au-dessus de l'horizon vaut $2\theta = 64^\circ$.

Exo 11 quand le coin n'est pas parfaitement droit

On utilise : après réflexion sur les deux miroirs faisant θ , le rayon est tourné de 2θ .

a)

$\theta = 90^\circ$: le rayon tourne de $2\theta = 180^\circ$: il repart exactement en sens inverse, **antiparallèle** — on retrouve le réflecteur en coin.

b)

$\theta = 90^\circ + \varepsilon$: rotation $2\theta = 180^\circ + 2\varepsilon$. Par rapport à la direction antiparallèle (180), le rayon sortant s'écarte de 2ε .

c)

$\varepsilon = 0^\circ 0' 1'' = 1''$ d'arc $= 4.848 \times 10^{-6}$ rad, donc $2\varepsilon = 9.70 \times 10^{-6}$ rad. Sur la distance Terre-Lune, le faisceau manque sa cible de

$$\Delta \approx d \times 2\varepsilon = 3.84 \times 10^8 \text{ m} \times 9.70 \times 10^{-6} \text{ rad} \approx 3.7 \times 10^3 \text{ m}.$$

Un défaut d'une seconde d'arc décale déjà le retour de près de **3.7 km** : d'où l'extrême précision d'usinage exigée pour les coins de cube.

Exo 12 deux miroirs parallèles : la position des images

L'image d'un objet dans un miroir plan est son symétrique par rapport au plan du miroir.

a)

Image par M_1 ($x = 0$) : symétrique de $x = a$, soit $x = -a = -20$ cm (20 cm derrière M_1). Image par M_2 ($x = D$) : symétrique, $x = 2D - a = 100$ cm ($100 - 60 = 40$ cm derrière M_2).

b)

Chaque image sert d'objet pour le miroir d'en face. Réfléchir alternativement par $x = 0$ et $x = D$ revient à composer une inversion avec des translations de $2D$: on engendre exactement les positions $x_k = 2kD + a$ et $x_k = 2kD - a$ ($k \in \mathbb{Z}$).

c)

Ces positions sont en nombre **infini** et s'éloignent indéfiniment. Derrière M_2 ($x > 60$ cm), on trouve dans l'ordre 100, 140, 220, 260, ... (cm) ; la *troisième* est $x = 220$ cm, soit $220 - 60 = 160$ cm derrière M_2 .



Tous les exos cochés ? Passe au niveau réel.

+

Ce carnet est un extrait de notre bibliothèque d'entraînement — la suite se joue en ligne.

Sur simulationconcours.be

- ✓ Le même carnet en interactif, avec correction en un clic
- ✓ Les autres mécaniques de la fiche, niveau par niveau
- ✓ 3100 QCM type concours, corrigés et expliqués
- ✓ Les cours complets — gratuits — et les fiches de révision

Tous les jeudis : simulation du concours en ligne

En conditions réelles — chrono, QCM type concours et score immédiat.



Rejoins-nous sur simulationconcours.be

scanne le QR ou tape l'adresse — les cours complets sont gratuits