

# Solutionnaire du chapitre 2

1. a) La vitesse moyenne en  $x$  est

$$\begin{aligned}\bar{v}_x &= \frac{\Delta x}{\Delta t} \\ &= \frac{8m - 0m}{2s} \\ &= 4 \frac{m}{s}\end{aligned}$$

La vitesse moyenne en  $y$  est

$$\begin{aligned}\bar{v}_y &= \frac{\Delta y}{\Delta t} \\ &= \frac{6m - 0m}{2s} \\ &= 3 \frac{m}{s}\end{aligned}$$

La vitesse moyenne est donc

$$\vec{v} = (4\vec{i} + 3\vec{j}) \frac{m}{s}$$

b) Pour trouver l'accélération moyenne, on va séparer la vitesse en composantes

À  $t = 0$  s les composantes de la vitesse sont

$$\begin{aligned}v_x &= v \cos \theta = 15 \frac{m}{s} \cos 30^\circ = 12,99 \frac{m}{s} \\ v_y &= v \sin \theta = 15 \frac{m}{s} \sin 30^\circ = 7,5 \frac{m}{s}\end{aligned}$$

À  $t = 2$  s les composantes de la vitesse sont

$$\begin{aligned}v_x &= v \cos \theta = 20 \frac{m}{s} \cos 120^\circ = -10 \frac{m}{s} \\ v_y &= v \sin \theta = 20 \frac{m}{s} \sin 120^\circ = 17,32 \frac{m}{s}\end{aligned}$$

L'accélération moyenne en  $x$  est

$$\begin{aligned}\bar{a}_x &= \frac{\Delta v_x}{\Delta t} \\ &= \frac{-10 \frac{m}{s} - 12,99 \frac{m}{s}}{2s} \\ &= -11,495 \frac{m}{s^2}\end{aligned}$$

L'accélération moyenne en y est

$$\begin{aligned}\bar{a}_y &= \frac{\Delta v_y}{\Delta t} \\ &= \frac{17,32 \frac{m}{s} - 7,5 \frac{m}{s}}{2s} \\ &= 4,91 \frac{m}{s^2}\end{aligned}$$

L'accélération moyenne est donc

$$\vec{\bar{a}} = (-11,495\vec{i} + 4,91\vec{j}) \frac{m}{s^2}$$

**2.** a) Les coordonnées des positions 1 et 2 sont (en mettant le Soleil à (0,0))

$$\begin{array}{lll} \text{Position 1} & x = 1,5 \times 10^{11} \text{ m} & y = 0 \text{ m} \\ \text{Position 2} & x = 0 \text{ m} & y = 1,5 \times 10^{11} \text{ m} \end{array}$$

Les déplacements en x et y sont

$$\begin{aligned}\Delta x &= x_2 - x_1 = 0m - 1,5 \times 10^{11} m = -1,5 \times 10^{11} m \\ \Delta y &= y_2 - y_1 = 1,5 \times 10^{11} m - 0m = 1,5 \times 10^{11} m\end{aligned}$$

Le déplacement est donc

$$\vec{\Delta s} = (-1,5 \times 10^{11} \vec{i} + 1,5 \times 10^{11} \vec{j}) m$$

b) La distance parcourue est la longueur de l'arc de cercle entre les points 1 et 2, qui est le quart de la circonférence

$$\text{distance} = \frac{1}{4} 2\pi r = \frac{\pi r}{2} = \frac{\pi \cdot 1,5 \times 10^{11} m}{2} = 2,3562 \times 10^{11} m$$

c) Les composantes de la vitesse moyenne sont

$$\bar{v}_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0\text{m} - 1,5 \times 10^{11}\text{m}}{7,8894 \times 10^6\text{s}} = -19013 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\bar{v}_y = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{1,5 \times 10^{11}\text{m} - 0\text{m}}{7,8894 \times 10^6\text{s}} = 19013 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La vitesse moyenne est donc

$$\bar{\vec{v}} = (-19013\vec{i} + 19013\vec{j}) \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

d) Les composantes de l'accélération moyenne sont

$$\bar{a}_x = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{-30000 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{7,8894 \times 10^6\text{s}} = -0,0038 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\bar{a}_y = \frac{\Delta v_y}{\Delta t} = \frac{0 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 30000 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{7,8894 \times 10^6\text{s}} = -0,0038 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

L'accélération moyenne est donc

$$\bar{\vec{a}} = (-0,0038\vec{i} - 0,0038\vec{j}) \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

**3.** a) On trouve les composantes de la vitesse en dérivant les formules de la position.

$$v_x = \frac{dx}{dt} = \frac{d\left(-3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} t^2 + 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} t - 4\text{m}\right)}{dt} = -6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} t + 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} = \frac{d\left(-2 \frac{\text{m}}{\text{s}^3} t^3 + 6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} t^2 + 1\text{m}\right)}{dt} = -6 \frac{\text{m}}{\text{s}^3} t^2 + 12 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} t$$

À  $t = 1\text{ s}$ , ces composantes sont

$$v_x = -6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (1\text{s}) + 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} = -4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_y = -6 \frac{\text{m}}{\text{s}^3} (1\text{s})^2 + 12 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (1\text{s}) = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La grandeur de la vitesse est donc

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 7,21 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

et sa direction est

$$\theta = \arctan \frac{v_y}{v_x} = \arctan \frac{6}{-4} = 123,7^\circ$$

b) On trouve les composantes de l'accélération en dérivant les formules de la vitesse.

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d\left(-6\frac{m}{s^2}t + 2\frac{m}{s}\right)}{dt} = -6\frac{m}{s^2}$$

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d\left(-6\frac{m}{s^3}t^2 + 12\frac{m}{s^2}t\right)}{dt} = -12\frac{m}{s^3}t + 12\frac{m}{s^2}$$

À  $t = 1$  s, ces composantes sont

$$a_x = -6\frac{m}{s^2}$$

$$a_y = -12\frac{m}{s^3}(1s) + 12\frac{m}{s^2} = 0\frac{m}{s^2}$$

La grandeur de l'accélération est donc

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = 6\frac{m}{s^2}$$

et sa direction est

$$\theta = \arctan \frac{a_y}{a_x} = \arctan \frac{0}{-6} = 180^\circ$$

**4.** On trouve la position avec

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{1}{2}a_x t^2 = 2m + 2\frac{m}{s} \times 5s + \frac{1}{2}1\frac{m}{s^2} \times (5s)^2 = 24,5m$$

$$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{1}{2}a_y t^2 = -2m + 4\frac{m}{s} \times 5s + \frac{1}{2}(-2\frac{m}{s^2}) \times (5s)^2 = -7m$$

$$z = z_0 + v_{0z}t + \frac{1}{2}a_z t^2 = 2m + -1\frac{m}{s} \times 5s + \frac{1}{2}(0\frac{m}{s^2}) \times (5s)^2 = -3m$$

L'objet est donc à la position (24,5 m, -7 m, -3 m) (on pourrait dire aussi  $\vec{r} = (24,5\vec{i} - 7\vec{j} - 3\vec{k})m$ ).

**5.** On trouve l'accélération en  $x$  avec

$$\begin{aligned}2a_x(x - x_0) &= v_x^2 - v_{x0}^2 \\2a_x(2m - 1m) &= \left(5\frac{m}{s}\right)^2 - \left(-2\frac{m}{s}\right)^2 \\a_x &= 10,5\frac{m}{s^2}\end{aligned}$$

On trouve l'accélération en  $y$  avec

$$\begin{aligned}2a_y(y - y_0) &= v_y^2 - v_{y0}^2 \\2a_y(1m - -1m) &= \left(6\frac{m}{s}\right)^2 - \left(0\frac{m}{s}\right)^2 \\a_y &= 9\frac{m}{s^2}\end{aligned}$$

On trouve l'accélération en  $z$  avec

$$\begin{aligned}2a_z(z - z_0) &= v_z^2 - v_{z0}^2 \\2a_z(-4m - -2m) &= \left(-7\frac{m}{s}\right)^2 - \left(1\frac{m}{s}\right)^2 \\a_z &= -12\frac{m}{s^2}\end{aligned}$$

L'accélération est donc

$$\vec{a} = \left(10,5\vec{i} + 9\vec{j} - 12\vec{k}\right)\frac{m}{s^2}$$

**6.** a) Les composantes de la vitesse initiale sont

$$\begin{aligned}v_{0x} &= 50\frac{m}{s} \cos 32^\circ = 42,4\frac{m}{s} \\v_{0y} &= 50\frac{m}{s} \sin 32^\circ = 26,5\frac{m}{s}\end{aligned}$$

On trouve le temps de vol avec

$$\begin{aligned}y &= y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \\0m &= 0m + 26,5\frac{m}{s}t - 4,9\frac{m}{s^2}t^2 \\26,5\frac{m}{s}t &= 4,9\frac{m}{s^2}t^2 \\26,5\frac{m}{s} &= 4,9\frac{m}{s^2}t \\t &= 5,407s\end{aligned}$$

b) On trouve la hauteur maximale en utilisant le fait que la vitesse en  $y$  est nulle au point le plus haut.

$$\begin{aligned}
 -2g(y - y_0) &= v_y^2 - v_{0,y}^2 \\
 -19,6 \frac{m}{s^2}(y - 0m) &= (0 \frac{m}{s})^2 - (26,5 \frac{m}{s})^2 \\
 y &= 35,82m
 \end{aligned}$$

c) La portée est

$$\begin{aligned}
 x &= x_0 + vt \\
 &= 0m + 42,4 \frac{m}{s} \cdot 5,407s \\
 &= 229,3m
 \end{aligned}$$

**7.** a) Les composantes de la vitesse initiale sont

$$\begin{aligned}
 v_{0,x} &= 45 \frac{m}{s} \cos 60^\circ = 22,5 \frac{m}{s} \\
 v_{0,y} &= 45 \frac{m}{s} \sin 60^\circ = 39,0 \frac{m}{s}
 \end{aligned}$$

On trouve la hauteur maximale en utilisant le fait que la vitesse en y est nulle au point le plus haut.

$$\begin{aligned}
 -2g(y - y_0) &= v_y^2 - v_{0,y}^2 \\
 -19,6 \frac{m}{s^2}(y - 0m) &= (0 \frac{m}{s})^2 - (39,0 \frac{m}{s})^2 \\
 y &= 77,49m
 \end{aligned}$$

b) On trouve le temps de vol avec

$$\begin{aligned}
 y &= y_0 + v_{0,y}t - \frac{1}{2}gt^2 \\
 -265m &= 0m + 39,0 \frac{m}{s}t - 4,9 \frac{m}{s^2}t^2 \\
 265m + 39 \frac{m}{s}t - 4,9 \frac{m}{s^2}t^2 &= 0 \\
 t &= 12,34s \text{ et } t = -4,38s
 \end{aligned}$$

Seule la réponse positive est bonne.

c) La portée est

$$\begin{aligned}
 x &= x_0 + vt \\
 &= 0m + 22,5 \frac{m}{s} \cdot 12,34s \\
 &= 277,6m
 \end{aligned}$$

d) La vitesse en  $x$  reste toujours la même.

$$v_x = v_{0x} = 22,5 \frac{m}{s}$$

À l'arrivée au sol, la vitesse en  $y$  est

$$\begin{aligned} v_y &= v_{0y} - gt \\ &= 39,0 \frac{m}{s} - 9,8 \frac{m}{s^2} \cdot 12,34s \\ &= -81,9 \frac{m}{s} \end{aligned}$$

La grandeur de la vitesse est donc

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 85,0 \frac{m}{s}$$

et sa direction est

$$\theta = \arctan \frac{v_y}{v_x} = \arctan \frac{-81,9}{22,5} = -74,6^\circ$$

**8.** On trouve la vitesse avec

$$\begin{aligned} y &= (\tan \theta) x - \left( \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta} \right) x^2 \\ 1,05m &= (\tan 40^\circ) \cdot 10m - \left( \frac{9,8 \frac{m}{s^2}}{2v_0^2 \cos^2 40^\circ} \right) (10m)^2 \\ v_0 &= 10,67 \frac{m}{s} \end{aligned}$$

**9.** Avec la hauteur maximale, on peut trouver la vitesse initiale en  $y$ .

$$\begin{aligned} -2g(y - y_0) &= v_y^2 - v_{0y}^2 \\ -19,6 \frac{m}{s^2} (0,42m - 0m) &= (0 \frac{m}{s})^2 - v_{0y}^2 \\ v_{0y} &= 2,87 \frac{m}{s} \end{aligned}$$

Avec la portée, on peut trouver la vitesse initiale en  $x$ .

$$x = x_0 + v_{0x}t$$

$$1,06m = 0m + v_{0x} \cdot 0,5s$$

$$v_{0x} = 2,12 \frac{m}{s}$$

La grandeur de la vitesse initiale est donc

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 3,57 \frac{m}{s}$$

et sa direction est

$$\theta = \arctan \frac{v_y}{v_x} = \arctan \frac{2,87}{2,12} = 53,5^\circ$$

- 10.** Puisque Ruprecht retombe à la même hauteur, on peut trouver l'angle avec la formule de la portée

$$R = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$$

$$70m = \frac{(35 \frac{m}{s})^2 \sin 2\theta}{9,8 \frac{m}{s^2}}$$

$$\theta = 17,03^\circ \quad \text{ou} \quad \theta = 72,97^\circ$$

La photographie et le bon sens suggèrent que c'est  $17,03^\circ$  qui est la bonne réponse.

La durée du vol se trouve alors avec

$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$0m = 0m + (35 \frac{m}{s} \sin 17,03^\circ) \cdot t - 4,9 \frac{m}{s^2} t^2$$

$$10,25 \frac{m}{s} t = 4,9 \frac{m}{s^2} t^2$$

$$10,25 \frac{m}{s} = 4,9 \frac{m}{s^2} t$$

$$t = 2,09s$$



**11.** a) On trouve la vitesse avec

$$y = (\tan \theta) x - \left( \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta} \right) x^2$$

$$-20m = (\tan 35^\circ) \cdot 350m - \left( \frac{9,8 \frac{m}{s^2}}{2v_0^2 \cos^2 35^\circ} \right) (350m)^2$$

$$v_0 = 58,09 \frac{m}{s}$$

b) Le temps de vol est

$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$-20m = 0m + (58,09 \frac{m}{s} \sin 35^\circ)t - 4,9 \frac{m}{s^2}t^2$$

$$20m + 33,32 \frac{m}{s}t - 4,9 \frac{m}{s^2}t^2 = 0$$

$$t = 7,355s \text{ et } t = -0,555s$$

Seule la réponse positive est bonne.

c) La hauteur maximale fut de

$$-2g(y - y_0) = v_y^2 - v_{0y}^2$$

$$-19,6 \frac{m}{s^2}(y - 0m) = (0 \frac{m}{s})^2 - (33,32 \frac{m}{s})^2$$

$$y = 56,65m$$

d) La vitesse en  $x$  reste toujours la même.

$$v_x = v_{0x} = 58,09 \frac{m}{s} \cos 35^\circ = 47,59 \frac{m}{s}$$

À l'arrivée au sol, la vitesse en  $y$  est

$$v_y = v_{0y} - gt$$

$$= 33,32 \frac{m}{s} - 9,8 \frac{m}{s^2} \cdot 7,355s$$

$$= -38,76 \frac{m}{s}$$

La grandeur de la vitesse est donc

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 61,37 \frac{m}{s}$$

et sa direction est

$$\theta = \arctan \frac{v_y}{v_x} = \arctan \frac{-38,76}{47,59} = -39,16^\circ$$

- 12.** Si la vitesse est horizontale à  $t = 3$  s, c'est que l'objet a atteint sa hauteur maximale. Puisque l'objet retombe à la même hauteur qu'il a été lancé, le temps de vol total est deux fois plus grand que le temps nécessaire pour atteindre la hauteur maximale. Le temps de vol est donc de 6 s.

Quant à la vitesse en  $x$ , elle est toujours la même. Comme elle est de 20 m/s au point le plus haut, elle est aussi de 20 m/s au départ.

La portée est donc de

$$\begin{aligned} x &= x_0 + v_{0x}t \\ &= 0m + 20 \frac{m}{s} \cdot 6s \\ &= 120m \end{aligned}$$

- b) Comme la vitesse en  $y$  est nulle à la hauteur maximale, on a

$$\begin{aligned} v_y &= v_{0y} - gt \\ 0 \frac{m}{s} &= v_{0y} - 9,8 \frac{m}{s^2} \cdot 3s \\ v_{0y} &= 29,4 \frac{m}{s} \end{aligned}$$

La vitesse en  $x$  est toujours de 20 m/s

$$v_{0x} = v_x = 20 \frac{m}{s}$$

La grandeur de la vitesse initiale est donc

$$v_0 = \sqrt{v_{0x}^2 + v_{0y}^2} = 35,56 \frac{m}{s}$$

- c) L'angle de départ est

$$\theta = \arctan \frac{v_{0y}}{v_{0x}} = \arctan \frac{29,4}{20} = 55,8^\circ$$

- 13.** On va trouver le temps avec le changement de vitesse en  $y$ . Les composantes de la vitesse initiale sont

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta = 30 \frac{m}{s} \cos 60^\circ = 15 \frac{m}{s}$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \theta = 30 \frac{m}{s} \sin 60^\circ = 25,98 \frac{m}{s}$$

On peut trouver l'angle à la position 2 avec

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta$$

$$15 \frac{m}{s} = 20 \frac{m}{s} \cos \theta$$

$$\theta = 41,41^\circ$$

La vitesse en  $y$  à la position 2 est

$$v_y = v \sin \theta = 20 \frac{m}{s} \sin 41,41^\circ = 13,23 \frac{m}{s}$$

Le temps est donc

$$v_y = v_{0y} - gt$$

$$13,23 \frac{m}{s} = 25,98 \frac{m}{s} - 9,8 \frac{m}{s^2} t$$

$$t = 1,301s$$

b) Pendant ce temps de 1,301 s, le déplacement en  $x$  est

$$x = x_0 + v_{0x} t$$

$$x = 0m + 15 \frac{m}{s} \cdot 1,301s$$

$$x = 19,52m$$

et le déplacement en  $y$  est

$$y = y_0 + v_{0y} t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$= 0m + 25,98 \frac{m}{s} \cdot 1,301s - 4,9 \frac{m}{s^2} \cdot (1,301s)^2$$

$$= 25,51m$$

La distance est donc

$$d = \sqrt{x^2 + y^2} = 32,1m$$

**14.** On trouve la portée avec un peu de trigonométrie.

$$\begin{aligned}\tan 30^\circ &= \frac{y}{x} \\ \tan 30^\circ &= \frac{40m}{x} \\ x &= 69,28m\end{aligned}$$

Sachant la portée, on pourra trouver la vitesse initiale, à condition de connaître le temps de vol. On peut connaître ce temps avec le mouvement en y.

$$\begin{aligned}y &= y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \\ -40m &= 0m + 0\frac{m}{s} \cdot t - 4,9\frac{m}{s^2} \cdot t^2 \\ -40m &= -4,9\frac{m}{s^2} \cdot t^2 \\ t &= 2,86s\end{aligned}$$

On peut donc trouver la vitesse initiale avec

$$\begin{aligned}x &= x_0 + v_{0x}t \\ 69,28m &= 0m + v_{0x} \cdot 2,857s \\ v_{0x} &= 24,25\frac{m}{s}\end{aligned}$$

**15.** Si le projectile est 2 m sous sa hauteur initiale, alors le temps de vol est

$$\begin{aligned}y &= y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \\ -2m &= 0m + 0\frac{m}{s} \cdot t - 4,9\frac{m}{s^2} \cdot t^2 \\ -2m &= -4,9\frac{m}{s^2} \cdot t^2 \\ t &= 0,6389s\end{aligned}$$

Cela signifie que la distance en x de la cible est

$$\begin{aligned}x &= x_0 + v_{0x}t \\ &= 0m + 30\frac{m}{s} \cdot 0,6389s \\ &= 19,17m\end{aligned}$$

Maintenant, on veut atteindre cette cible distante de 19,17 m, située à la même hauteur que le canon. Puisque la hauteur est la même, on peut utiliser la formule de la portée pour trouver l'angle.

$$R = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$$

$$19,17m = \frac{(30 \frac{m}{s})^2 \sin 2\theta}{9,8 \frac{m}{s^2}}$$

$$\theta = 6,02^\circ \quad \text{ou} \quad \theta = 83,98^\circ$$

Ces deux réponses sont bonnes.

**16.** a) On peut trouver la hauteur avec

$$y = (\tan \theta) x - \left( \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta} \right) x^2$$

$$= (\tan 30^\circ) \cdot 10m - \left( \frac{9,8 \frac{m}{s^2}}{2(30 \frac{m}{s})^2 \cos^2 30^\circ} \right) (10m)^2$$

$$= 5,048m$$

Ceci est la hauteur par rapport au point de départ. Comme ce point est à 1 m du sol, la hauteur par rapport au sol est de 6,048 m.

b) La vitesse en  $x$  est la même que la vitesse initiale

$$v_x = v_{0x} = 30 \frac{m}{s} \cos 30^\circ = 25,98 \frac{m}{s}$$

La vitesse en  $y$  est

$$-2g(y - y_0) = v_y^2 - v_{0y}^2$$

$$-19,6 \frac{m}{s^2} \cdot (5,048m - 0m) = v_y^2 - (30 \frac{m}{s} \sin 30^\circ)^2$$

$$v_y = 11,23 \frac{m}{s}$$

La grandeur de la vitesse est donc

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 28,30 \frac{m}{s}$$

et l'angle est

$$\theta = \arctan \frac{v_y}{v_x} = \arctan \frac{11,23}{25,98} = 23,4^\circ$$

- 17.** Trouvons la hauteur de la balle quand elle arrive vis-à-vis le mur. On commence par trouver le temps pour arriver au mur avec

$$\begin{aligned}x &= x_0 + v_{0,x}t \\67,5m &= 0m + \left(20\frac{m}{s} \cos 35^\circ\right) \cdot t \\t &= 4,12s\end{aligned}$$

À ce temps, la hauteur de la balle est

$$\begin{aligned}y &= y_0 + v_{0,y}t - \frac{1}{2}gt^2 \\&= 0m + \left(20\frac{m}{s} \sin 35^\circ\right) \cdot 4,12s - 4,9\frac{m}{s^2} \cdot (4,12s)^2 \\&= -35,92m\end{aligned}$$

Puisque la hauteur est négative, la balle passerait sous le mur s'il n'y avait pas de sol. De toute évidence, elle est tombée au sol avant d'arriver vis-à-vis le mur.

- 18.** On trouve la distance avec

$$\begin{aligned}y &= (\tan \theta)x - \left(\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta}\right)x^2 \\8m &= (\tan 40^\circ) \cdot x - \left(\frac{9,8\frac{m}{s^2}}{2(24\frac{m}{s})^2 \cos^2 40^\circ}\right)x^2 \\8m - 0,839 \cdot x + 0,0145m^{-1} \cdot x^2 &= 0 \\x &= 12,04m \quad \text{et} \quad x = 45,85m\end{aligned}$$

- 19.** Les composantes de la vitesse initiale sont

$$\begin{aligned}v_{0,x} &= 10\frac{m}{s} \cos(-30^\circ) = 8,66\frac{m}{s} \\v_{0,y} &= 10\frac{m}{s} \sin(-30^\circ) = -5\frac{m}{s}\end{aligned}$$

Au point le plus bas, on trouve la vitesse en y avec

$$\begin{aligned}v &= \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \\30\frac{m}{s} &= \sqrt{(8,66\frac{m}{s})^2 + v_y^2} \\v_y &= -28,72\frac{m}{s}\end{aligned}$$

(Quand on fait la racine, la réponse peut être positive ou négative. La mise en situation ici nous force à garder la réponse négative.)

On trouve ensuite la hauteur

$$\begin{aligned} -2g(y - y_0) &= v_y^2 - v_{0,y}^2 \\ -19,6 \frac{m}{s^2} \cdot (y - 0m) &= (-28,72 \frac{m}{s})^2 - (-5 \frac{m}{s})^2 \\ y &= -40,82m \end{aligned}$$

La falaise a donc une hauteur de 40,82 m.

**20.** L'équation de la trajectoire du projectile lancé à  $45^\circ$  est

$$\begin{aligned} y &= (\tan 45^\circ)x - \left( \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 45^\circ} \right) x^2 \\ y &= x - \left( \frac{g}{v_0^2} \right) x^2 \end{aligned}$$

L'équation de la trajectoire du projectile lancé à  $60^\circ$  est

$$\begin{aligned} y &= (\tan 60^\circ)x - \left( \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 60^\circ} \right) x^2 \\ y &= \sqrt{3}x - \left( \frac{2g}{v_0^2} \right) x^2 \end{aligned}$$

Puisque les deux projectiles arrivent au même  $x$  à la hauteur  $y$ , on doit avoir

$$x - \left( \frac{g}{v_0^2} \right) x^2 = \sqrt{3}x - \left( \frac{2g}{v_0^2} \right) x^2$$

La solution de cette équation est

$$\begin{aligned} x - \left( \frac{g}{v_0^2} \right) x^2 &= \sqrt{3}x - \left( \frac{2g}{v_0^2} \right) x^2 \\ \left( \frac{2g}{v_0^2} \right) x^2 - \left( \frac{g}{v_0^2} \right) x^2 &= \sqrt{3}x - x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left( \frac{2g}{v_0^2} - \frac{g}{v_0^2} \right) x^2 &= (\sqrt{3}-1)x \\ \left( \frac{g}{v_0^2} \right) x^2 &= (\sqrt{3}-1)x \\ \left( \frac{g}{v_0^2} \right) x &= (\sqrt{3}-1) \\ x &= \frac{(\sqrt{3}-1)v_0^2}{g} \end{aligned}$$

Puisque la vitesse est de 50 m/s, on arrive à

$$\begin{aligned} x &= \frac{(\sqrt{3}-1)(50 \frac{m}{s})^2}{9,8 \frac{m}{s^2}} \\ &= 186,74m \end{aligned}$$

On peut alors trouver la hauteur avec une des deux équations de la trajectoire.

$$\begin{aligned} y &= x - \left( \frac{g}{v_0^2} \right) x^2 \\ &= 186,747m - \frac{9,8 \frac{m}{s^2}}{(50 \frac{m}{s})^2} (186,747m)^2 \\ &= 50,04m \end{aligned}$$

**21.** On trouve la vitesse avec

$$\begin{aligned} y &= (\tan \theta) x - \left( \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta} \right) x^2 \\ 155m &= (\tan 60^\circ) \cdot (195m) - \left( \frac{9,8 \frac{m}{s^2}}{2v_0^2 \cos^2 60^\circ} \right) (195m)^2 \\ v_0 &= 63,86 \frac{m}{s} \end{aligned}$$



**22.** On trouve l'angle avec

$$y = (\tan \theta) x - \left( \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta} \right) x^2$$

$$3000m = (\tan \theta) 5000m - \left( \frac{9,8 \frac{m}{s^2}}{2(760 \frac{m}{s})^2 \cos^2 \theta} \right) (5000m)^2$$

$$3000m = (\tan \theta) 5000m - 212,08m \frac{1}{\cos^2 \theta}$$

$$3000 = (\tan \theta) 5000 - 212,08 \sec^2 \theta$$

Reste à isoler  $\theta$  dans cette équation. Pour y arriver, il faut se rappeler que  $\sec^2 \theta = 1 + \tan^2 \theta$ . On a alors

$$3000 = 5000 \tan \theta - 212,084 (1 + \tan^2 \theta)$$

$$3000 = 5000 \tan \theta - 212,084 - 212,084 \tan^2 \theta$$

$$3212,084 - 5000 \tan \theta + 212,084 \tan^2 \theta = 0$$

C'est une équation quadratique de  $\tan^2 \theta$ . La solution de cette équation quadratique est

$$\tan \theta = 0,6609 \quad \text{et} \quad 22,91$$

Les deux solutions sont donc

$$\theta = 33,46^\circ \quad \text{et} \quad \theta = 87,50^\circ$$

**23.** En  $x$ , la grenade doit parcourir 20 m en 4 secondes. On a donc

$$v_x = \frac{20m}{2s} = 10 \frac{m}{s}$$

En  $y$ , la grenade doit être à  $y = 4$  m à  $t = 4$  s. On a donc

$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$4m = 0m + v_{0y}(2s) - \frac{1}{2}9,8 \frac{m}{s^2} \cdot (2s)^2$$

$$v_{0y} = 11,8 \frac{m}{s}$$

Ainsi, la grandeur de la vitesse est

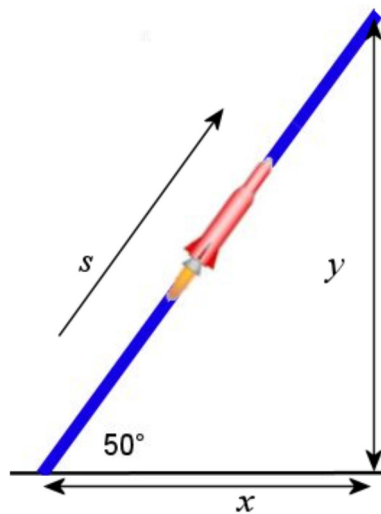
$$v_0 = \sqrt{\left(10 \frac{m}{s}\right)^2 + \left(11,8 \frac{m}{s}\right)^2} = 15,47 \frac{m}{s}$$

et l'angle est

$$\begin{aligned} \theta &= \arctan \frac{v_y}{v_x} \\ &= \arctan \frac{11,8}{10} \\ &= 49,72^\circ \end{aligned}$$

- 24.** Séparons ce mouvement en deux parties : un mouvement en ligne droite pendant 20 secondes et un mouvement en chute libre.

On va utiliser un axe des  $s$  dirigé dans le sens du mouvement pour la première partie.



Pendant le mouvement en ligne droite, le déplacement est

$$\begin{aligned} s &= s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \\ &= 0m + 0 \frac{m}{s} \cdot 20s + \frac{1}{2} \left(20 \frac{m}{s^2}\right) (20s)^2 \\ &= 4000m \end{aligned}$$

Les positions finales en  $x$  et  $y$  sont donc

$$\begin{aligned} x &= s \cos 50^\circ = 2571,2m \\ y &= s \sin 50^\circ = 3064,2m \end{aligned}$$

La vitesse à la fin de cette phase est

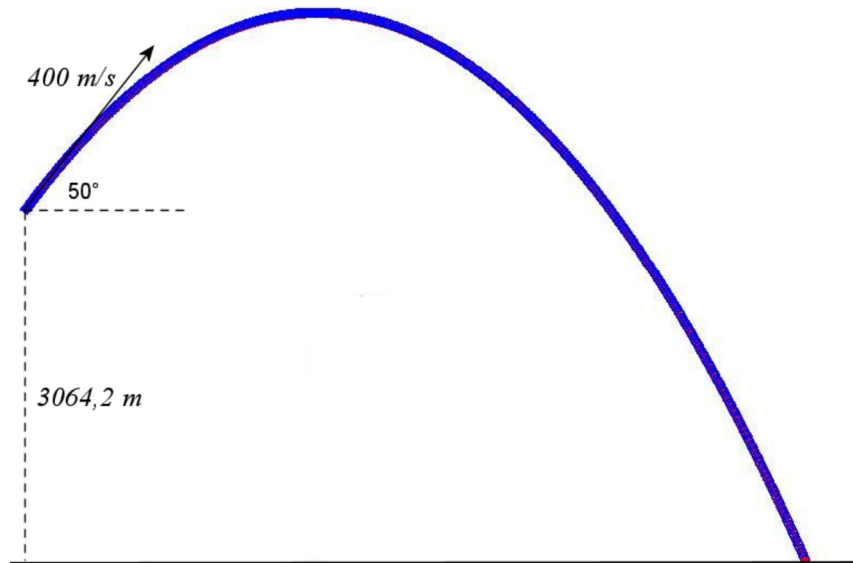
$$\begin{aligned} v &= v_0 + at \\ &= 0 \frac{m}{s} + \left(20 \frac{m}{s^2}\right) (20s) \\ &= 400 \frac{m}{s} \end{aligned}$$

Cette vitesse est dans le sens de la trajectoire. Si on la sépare en composantes  $x$  et  $y$ , on a

$$v_x = v \cos 50^\circ = 257,12 \frac{m}{s}$$

$$v_y = v \sin 50^\circ = 306,42 \frac{m}{s}$$

Passons maintenant à la phase de chute libre. Les positions et les vitesses initiales de cette phase sont les valeurs finales de la phase précédentes. On a alors la situation suivante.



a) On trouve la hauteur maximale avec

$$\begin{aligned} -2g(y - y_0) &= v_y^2 - v_{0y}^2 \\ -19,6 \frac{m}{s^2} \cdot (y - 3064,2m) &= (0 \frac{m}{s})^2 - (306,42 \frac{m}{s})^2 \\ y &= 7855m \end{aligned}$$

b) On trouve le temps de vol de cette partie avec

$$\begin{aligned} y &= y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \\ 0m &= 3064,2m + 306,42 \frac{m}{s}t - 4,9 \frac{m}{s^2}t^2 \\ t &= 71,30s \text{ et } t = -8,77s \end{aligned}$$

En ajoutant les 20 secondes de la première phase, le temps de vol total est de 91,30 s.

c) La position en  $x$  à la fin de la deuxième phase est

$$\begin{aligned}
 x &= x_0 + v_{0x}t \\
 &= 2571,2m + 257,12 \frac{m}{s} \cdot 71,30s \\
 &= 20905m
 \end{aligned}$$

**25.** L'accélération est

$$\begin{aligned}
 a_c &= \frac{v^2}{r} \\
 &= \frac{(1024 \frac{m}{s})^2}{3,844 \times 10^8 m} \\
 &= 0,002728 \frac{m}{s^2}
 \end{aligned}$$

**26.** Le rayon de la trajectoire est

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{\text{circonférence}}{2\pi} \\
 &= 7,958m
 \end{aligned}$$

L'accélération est donc

$$\begin{aligned}
 a_c &= \frac{4\pi^2 r}{T^2} \\
 &= \frac{4\pi^2 7,958m}{(5s)^2} \\
 &= 12,57 \frac{m}{s^2}
 \end{aligned}$$

**27.** La période du train est de

$$\begin{aligned}
 a_c &= \frac{4\pi^2 r}{T^2} \\
 20 \frac{m}{s^2} &= \frac{4\pi^2 \cdot 0,5m}{T^2} \\
 T &= 0,9935s
 \end{aligned}$$

Le temps pour faire 50 tours est donc de

$$\begin{aligned}t_{\text{tot}} &= 50 \times 0,9935s \\ &= 49,67s\end{aligned}$$

**28.** On trouve le rayon de la trajectoire avec la formule

$$\begin{aligned}v &= \frac{2\pi r}{T} \\ 36 \frac{m}{s} &= \frac{2\pi r}{24s} \\ r &= 137,5m\end{aligned}$$

L'accélération est donc

$$\begin{aligned}a_c &= \frac{v^2}{r} \\ &= \frac{(36 \frac{m}{s})^2}{137,5m} \\ &= 9,425 \frac{m}{s^2}\end{aligned}$$

**29.** Au point A, l'accélération est

$$\begin{aligned}a_c &= \frac{v^2}{r} \\ &= \frac{(20 \frac{m}{s})^2}{10m} \\ &= 40 \frac{m}{s^2}\end{aligned}$$

Cette accélération est vers le haut.

Au point B, l'accélération est

$$\begin{aligned}a_c &= \frac{v^2}{r} \\ &= \frac{(12 \frac{m}{s})^2}{15m} \\ &= 9,6 \frac{m}{s^2}\end{aligned}$$

Cette accélération est vers le bas.

**30.** a) L'accélération tangentielle est

$$2a_T (s - s_0) = v^2 - v_0^2$$

$$2a_T (4\pi r - 0m) = (0 \frac{m}{s})^2 - (25 \frac{m}{s})^2$$

$$2a_T (4\pi \cdot 50m - 0m) = (0 \frac{m}{s})^2 - (25 \frac{m}{s})^2$$

$$a_T = -0,4974 \frac{m}{s^2}$$

b) Au bout d'un tour, la vitesse de la voiture est

$$2a_T (s - s_0) = v^2 - v_0^2$$

$$2(-0,4974 \frac{m}{s^2})(2\pi r - 0m) = v^2 - (25 \frac{m}{s})^2$$

$$2(-0,4974 \frac{m}{s^2})(2\pi \cdot 50m - 0m) = v^2 - (25 \frac{m}{s})^2$$

$$v = 17,68 \frac{m}{s}$$

L'accélération centripète est donc

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

$$= \frac{(17,68 \frac{m}{s})^2}{50m}$$

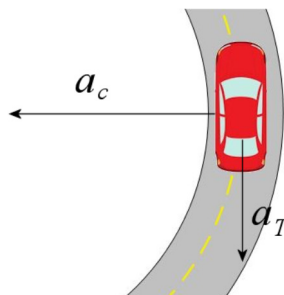
$$= 6,25 \frac{m}{s^2}$$

c) La grandeur de l'accélération totale est

$$a = \sqrt{a_c^2 + a_T^2}$$

$$a = \sqrt{(6,25 \frac{m}{s^2})^2 + (0,4974 \frac{m}{s^2})^2} = 6,27 \frac{m}{s^2}$$

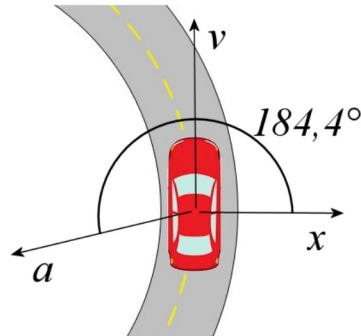
Les directions des accélérations sont



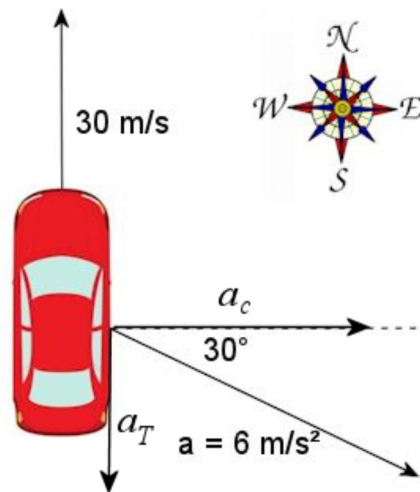
Avec des axes  $x$  et  $y$  conventionnels, la direction est

$$\theta = \arctan \frac{v_y}{v_x} = \arctan \frac{-0,4974}{-6,25} = 184,4^\circ$$

Ce qui signifie qu'il y a un angle de  $94,4^\circ$  avec la vitesse



**31.** Les composantes de l'accélération sont



- a) Comme l'accélération tangentielle est opposée à la vitesse, cette voiture ralentit.
- b) Dans cet exercice, l'accélération tangentielle est la composante en y de l'accélération. Cette composante est

$$\begin{aligned} a_T &= a \sin(-30^\circ) \\ &= 6 \frac{m}{s^2} \sin(-30^\circ) \\ &= -3 \frac{m}{s^2} \end{aligned}$$

- c) Comme l'accélération centripète est vers l'est, cette voiture tourne vers l'est.

d) On trouve le rayon de courbure à partir de l'accélération centripète. Dans cet exercice, l'accélération centripète est la composante en  $x$  de l'accélération. Cette composante est

$$\begin{aligned} a_c &= a \cos(-30^\circ) \\ &= 6 \frac{m}{s^2} \cos(-30^\circ) \\ &= 5,20 \frac{m}{s^2} \end{aligned}$$

Le rayon de courbure est donc

$$\begin{aligned} a_c &= \frac{v^2}{r} \\ 5,20 \frac{m}{s^2} &= \frac{(30 \frac{m}{s})^2}{r} \\ r &= 173,2m \end{aligned}$$

- 32.** Pour trouver  $d$ , on doit trouver le point d'intersection de la parabole et de la pente. L'équation de la parabole est

$$\begin{aligned} y &= (\tan \theta) x - \left( \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta} \right) x^2 \\ y &= (\tan 60^\circ) x - \left( \frac{4,9 \frac{m}{s^2}}{2500 \frac{m^2}{s^2} \cos^2 60^\circ} \right) x^2 \end{aligned}$$

L'équation de la pente est simplement l'équation d'une droite qui passe par l'origine.

$$y = mx$$

Comme la pente est égale à la tangente de l'angle d'inclinaison, l'équation est

$$y = (\tan 20^\circ) x$$

Au point de croisement, les valeurs de  $y$  sont identiques. Cela signifie que

$$\begin{aligned} y_{\text{parabole}} &= y_{\text{droite}} \\ (\tan 20^\circ) x &= (\tan 60^\circ) x - \left( \frac{4,9 \frac{m}{s^2}}{2500 \frac{m^2}{s^2} \cos^2 60^\circ} \right) x^2 \end{aligned}$$

La valeur de  $x$  est donc



$$(\tan 20^\circ)x = (\tan 60^\circ)x - \left( \frac{4,9 \frac{m}{s^2}}{2500 \frac{m^2}{s^2} \cos^2 60^\circ} \right) x^2$$

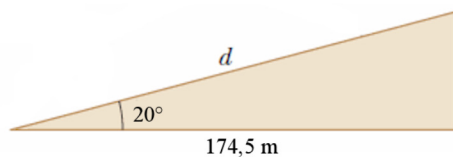
$$(\tan 20^\circ) = (\tan 60^\circ) - \left( \frac{4,9 \frac{m}{s^2}}{2500 \frac{m^2}{s^2} \cos^2 60^\circ} \right) x$$

$$\left( \frac{4,9 \frac{m}{s^2}}{2500 \frac{m^2}{s^2} \cos^2 60^\circ} \right) x = (\tan 60^\circ) - (\tan 20^\circ)$$

$$x = \frac{((\tan 60^\circ) - (\tan 20^\circ)) 2500 \frac{m^2}{s^2} \cos^2 60^\circ}{4,9 \frac{m}{s^2}}$$

$$x = 174,5m$$

De là, on trouve  $d$  avec



$$\cos 20^\circ = \frac{174,5m}{d}$$

$$d = 185,7m$$

**33.** Trouvons la vitesse de lancement en isolant  $v_0$  dans

$$y = (\tan \theta)x - \left( \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta} \right) x^2$$

On a alors

$$(\tan \theta)x - y = \left( \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta} \right) x^2$$

$$v_0^2 = \frac{gx^2}{2 \cos^2 \theta ((\tan \theta)x - y)}$$

$$v_0^2 = \frac{gx^2}{2x \cos^2 \theta \tan \theta - 2y \cos^2 \theta}$$

$$v_0^2 = \frac{gx^2}{2x \cos \theta \sin \theta - 2y \cos^2 \theta}$$

$$v_0^2 = \frac{gx^2}{x \sin 2\theta - 2y \cos^2 \theta}$$

Si la vitesse est minimale, c'est que le diviseur est maximum. On doit trouver la valeur maximale de

$$x \sin 2\theta - 2y \cos^2 \theta$$

Évidemment, la valeur est maximale quand la dérivée est nulle. On doit donc avoir

$$\begin{aligned} \frac{d(x \sin 2\theta - 2y \cos^2 \theta)}{d\theta} &= 0 \\ 2x \cos 2\theta - 4y \cos \theta \sin \theta &= 0 \\ 2x \cos 2\theta + 2y \sin 2\theta &= 0 \\ x \cos 2\theta + y \sin 2\theta &= 0 \\ y \sin 2\theta &= -x \cos 2\theta \\ y \tan 2\theta &= -x \\ \tan 2\theta &= \frac{-x}{y} \end{aligned}$$

Avec  $x = 195 \text{ m}$  et  $y = 155 \text{ m}$ , on arrive aux solutions suivantes.

$$\begin{aligned} \tan 2\theta &= \frac{-195\text{m}}{155\text{m}} \\ 2\theta &= -51,52^\circ \quad \text{et} \quad 2\theta = 128,48^\circ \end{aligned}$$

(La deuxième solution se trouve en ajoutant  $180^\circ$  à la première.) De toute évidence, la première solution est à rejeter. Il reste donc  $\theta = 64,24^\circ$ .

Ainsi, la vitesse minimale est

$$\begin{aligned} v_0 &= \sqrt{\frac{gx^2}{x \sin 2\theta - 2y \cos^2 \theta}} \\ &= \sqrt{\frac{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (195\text{m})^2}{(195\text{m}) \cdot \sin(128,48^\circ) - 2 \cdot (155\text{m}) \cdot \cos^2(64,24^\circ)}} \\ &= \sqrt{3960,2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} \\ &= 62,93 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$