PHYSIQUE 12^{e}

chapitre 1b

Version provisoire

10 septembre 2002

AVIS : Nous donnons accès temporairement à ces chapitres (fichiers .pdf) afin d'offrir aux enseignantes, aux enseignants et aux élèves le matériel didactique dont ils ont besoin d'ici la livraison de l'ouvrage final. Malgré la rigueur de notre équipe éditoriale, des erreurs peuvent encore s'y trouver.

Beauchemin

Fais des liens

4. Sur la Lune, si un astronaute laisse tomber simultanément une plume et une roche d'une hauteur d'environ 2 m, les deux objets touchent le sol au même instant. Décris la différence entre le mouvement des objets en chute libre sur la Lune et le mouvement de ces mêmes objets en chute libre sur la Terre.

La mesure de l'accélération due à la pesanteur

Plusieurs méthodes sont utilisées pour mesurer expérimentalement l'accélération due à la pesanteur. Par exemple, un stroboscope qui clignote à des intervalles de temps connus enregistre la position d'un objet en chute libre (**figure 3**). Pour déterminer le déplacement de l'objet après chaque intervalle de temps, nous mesurons la photographie avec une règle. Nous pouvons formuler l'équation cinématique pour trouver $\vec{a}$:

$$\Delta\vec{d} = \vec{v}_i\Delta t + \frac{1}{2}\vec{a}(\Delta t)^2$$

Si $\vec{v}_i = 0$, donc

$$\vec{a} = \frac{2\Delta\vec{d}}{(\Delta t)^2}$$

Quelle que soit la méthode utilisée pour déterminer l'accélération moyenne d'un objet en chute libre, on observe que le résultat est constant en tout lieu. Près de la surface de la Terre, l'accélération est de 9,8 m/s^2 [vers le bas] avec deux chiffres significatifs. Il s'agit d'une valeur courante représentée par le symbole $\vec{g}$, l'accélération due à la pesanteur.

Les laboratoires d'étalonnage gouvernementaux, tel le Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) à Paris, déterminent la valeur locale de $\vec{g}$ avec une grande précision. Au BIPM, une bande élastique projette un objet vers le haut dans une enceinte à vide. Des miroirs placés au-dessus et en dessous de l'objet reflètent des rayons laser, ce qui permet une mesure du temps de vol si exacte que la valeur locale de $\vec{g}$ est calculée à sept chiffres significatifs.

La valeur de l'accélération due à la pesanteur varie légèrement d'un endroit à l'autre. En général, plus grande est la distance au centre de la Terre, plus petite est l'accélération due à la pesanteur. La valeur est légèrement plus faible à l'équateur qu'aux pôles Nord et Sud (pour une même élévation), parce que la Terre est légèrement renflée à l'équateur. De plus, la valeur est un peu plus faible à haute altitude. Le **tableau 1** présente une liste de valeurs de $\vec{g}$ pour différents endroits. À noter que la valeur moyenne est de 9,8 m/s^2 [vers le bas] à deux chiffres significatifs. Tu trouveras d'autres détails sur $\vec{g}$ aux chapitres 2 et 3.

Tableau 1 La valeur de $\vec{g}$ à différents endroits sur la Terre

Endroit	Latitude	Altitude (m)	$\vec{g}$ (m/s^2) [vers le bas]
Pôle Nord	90° [N]	0	9,832
Équateur	0	0	9,780
Java	6° [S]	7	9,782
Mont Everest	28° [N]	8 848	9,765
Denver	40° [N]	1 638	9,796
Toronto	44° [N]	162	9,805
Londres	51° [N]	30	9,823
Washington, D.C.	39° [N]	8	9,801
Bruxelles	51° [N]	102	9,811

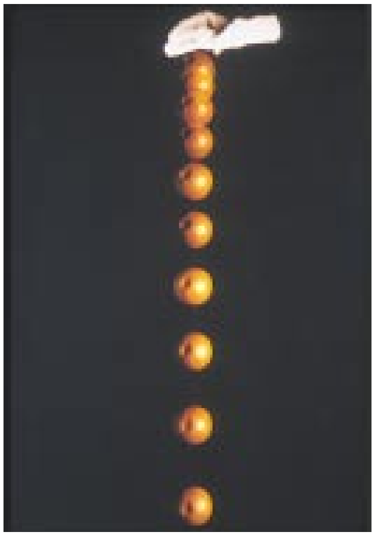


Figure 3
L'objet qui accélère apparaît sur la photographie à chaque instant où la lumière stroboscopique le frappe. L'intervalle de temps Δt entre les éclairs de la lumière stroboscopique est constant.

LE SAVAIS-TU ?

La précision des mesures
Le fait de disposer d'une valeur de l'accélération due à la pesanteur à sept chiffres significatifs ou plus présente un grand intérêt pour certains professionnels. Les géophysiciens et les géologues peuvent se servir de cette information pour déterminer la structure interne de la Terre et ses caractéristiques superficielles, ainsi que pour aider à repérer des zones à fortes concentrations de minéraux et où l'on trouve des dépôts de combustible fossile. Les experts militaires sont intéressés par les variations de l'accélération due à la pesanteur pour le déploiement de dispositifs du type missiles de croisière. Enfin, les spatiologues utilisent ces données pour calculer les trajectoires des satellites artificiels.

Étude de cas La prévision des accélérations dues aux tremblements de terre

Les géologues créent des modèles de scénarios possibles de tremblement de terre afin d'analyser la structure de la surface de la Terre. L'un de ces modèles est la carte des accélérations du sol illustrée à la **figure 4**. Cette carte montre la région nord-ouest du Pacifique à proximité de la frontière canado-américaine. La carte présente des accélérations latérales du sol qui peuvent se produire sous l'effet de plusieurs séismes, chacun étant associé à une période de récurrence prévue. Les couleurs indiquent les accélérations latérales possibles comme un pourcentage de *g*. Par exemple, la zone en rouge représente une plage de 40 % à 60 % de *g*, ce qui signifie que le sol accélérerait à environ 5 m/s^2. Il y a 10 % de chance que ces accélérations soient dépassées dans 50 ans.

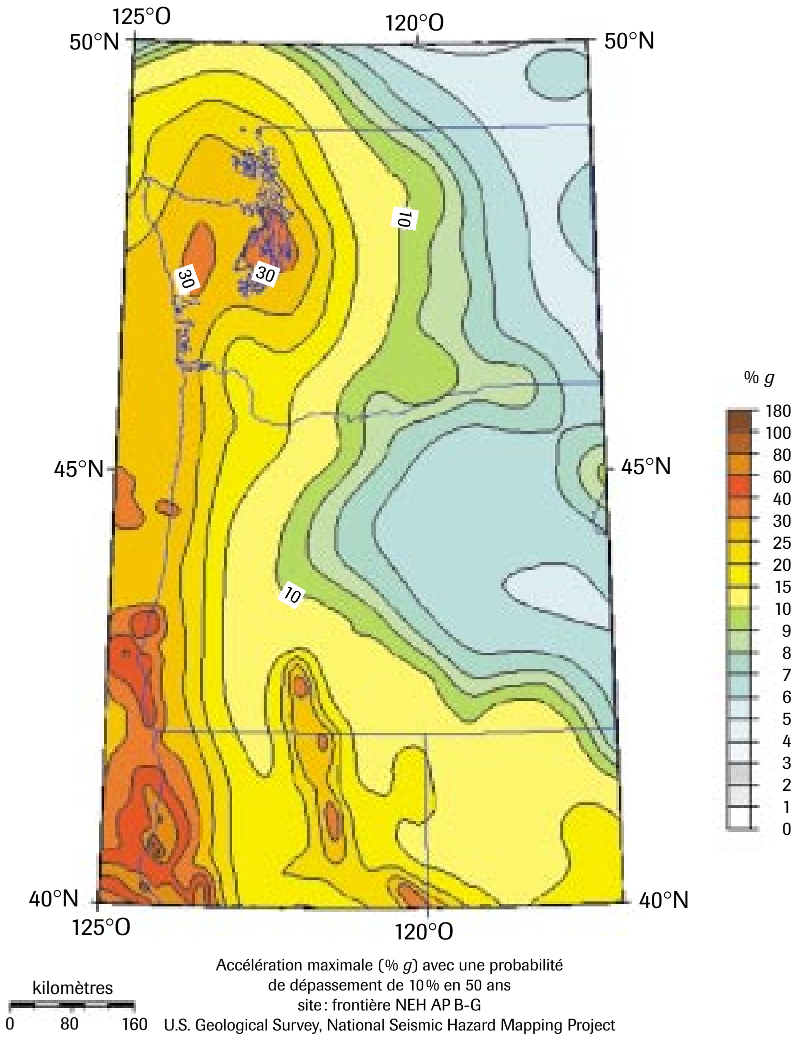


Figure 4
Cette carte des accélérations possibles du sol à la suite de séismes représente une grande région du nord-ouest du Pacifique. Puisque les latitudes et longitudes sont identifiées, tu peux trouver à quels endroits elles correspondent dans un atlas.

a) Cherche la région concernée dans un atlas conventionnel et rédige un court scénario des tremblements de terre possibles dans le nord-ouest du Pacifique, en décrivant quelles régions sont touchées gravement, modérément, légèrement, ou ne sont pas touchées du tout.

b) Décris comment tu t'es servi de la carte des accélérations pour élaborer ton scénario.

Mise en pratique

Saisis bien les concepts

5. Une plongeuse saute d'un tremplin de 10 m avec une vélocité verticale initiale nulle et subit une accélération moyenne de 9,80 m/s^2 [vers le bas]. La résistance de l'air est négligeable. Détermine la vélocité de la plongeuse en mètres par seconde et en kilomètres par heure, après une chute de a) 5 m et b) 10 m.

Mets en pratique tes connaissances

6. Tu échappes ta gomme à effacer sur ton bureau, d'une hauteur égale à l'envergure de ta main.
   a) Évalue la durée de ce mouvement en millisecondes.
   b) Mesure l'envergure de ta main et calcule cette durée, en te servant de l'équation du mouvement uniformément accéléré appropriée.
   c) Compare les réponses obtenues pour a) et b). Explique comment tu pourrais améliorer tes habiletés en matière d'estimation.

7. Le **tableau 2** contient des valeurs de position et de temps pour une balle très légère qui tombe verticalement à partir de l'état de repos.
   a) Utilise la dernière paire de valeurs et l'équation du mouvement uniformément accéléré appropriée pour déterminer l'accélération.
   b) Explique comment tu pourrais trouver la valeur de l'accélération à l'aide de techniques graphiques.
   c) Si la valeur de l'accélération due à la pesanteur à l'endroit où la balle est tombée est de 9,81 m/s^2 [vers le bas], quel est le pourcentage d'erreur de la valeur expérimentale ? Explique pourquoi il est élevé dans cet exemple.

Fais des liens

8. Les Jeux olympiques ont eu lieu à des altitudes fort différentes. Certains records , comme le lancer du poids, devraient-ils être corrigés en conséquence ?

Réponses

5. a) 9,90 m/s [vers le bas] ; 35,6 km/h [vers le bas]
   b) 14,0 m/s [vers le bas] ; 50,4 km/h [vers le bas]

7. a) 8,61 m/s^2 [vers le bas]
   c) 12,2 %

Tableau 2 Les valeurs position-temps

t (s)	$\vec{d}$ (m) [vers le bas]
0	0
0,200	0,172
0,400	0,688
0,600	1,55

La chute libre

Pendant une chute libre, l'accélération verticale étant constante, les équations cinématiques pour une accélération constante de la section 1.2 peuvent être utilisées. Il est toutefois possible de les simplifier. Puisque nous ne considérons que le mouvement vertical, les variables déplacement, vélocité et accélération seront traitées comme des composantes ; nous remplacerons donc les quantités vectorielles $\Delta\vec{d}$, $\vec{v}_i$, $\vec{v}_f$ et $\vec{a}$ par leurs composantes correspondantes : Δy, v_{iy}, v_{fy} et a_y. Lorsque nous utilisons des équations représentant des composantes, il est essentiel de déterminer quelle direction — vers le haut ou vers le bas — est positive, puis d'attribuer des signes positifs ou négatifs à ces composantes.

Le **tableau 3** présente les équations de l'accélération constante pour un mouvement de chute libre. Compare ce tableau au **tableau 4** de la section 1.2.

Tableau 3 Les équations d'un mouvement de chute libre uniformément accéléré

Variables	Équation générale	Variable éliminée
a_y, v_{fy}, v_{iy}, Δt	$a_y = \dfrac{v_{fy} - v_{iy}}{\Delta t}$	Δy
Δy, v_{iy}, a_y, Δt	$\Delta y = v_{iy}\Delta t + \dfrac{1}{2}a_y(\Delta t)^2$	v_{fy}
Δy, v_{iy}, v_{fy}, Δt	$\Delta y = \dfrac{v_{iy} + v_{fy}}{2}\Delta t$	a_y
Δy, v_{iy}, v_{fy}, a_y	$v_{fy}^2 = v_{iy}^2 + 2a_y\Delta y$	Δt
Δy, v_{fy}, a_y, Δt	$\Delta y = v_{fy}\Delta t - \dfrac{1}{2}a_y(\Delta t)^2$	v_{iy}

CONSEIL PRATIQUE

Le choix de la direction positive

Il est important d'utiliser des directions cohérentes pour toute question relative à un mouvement. Dans le cas d'un objet ne subissant qu'un mouvement vers le bas, il est approprié d'établir que la direction vers le bas sera positive. Cependant, si un objet est lancé vers le haut ou qu'il rebondit après avoir touché le sol, on peut établir indifféremment que la direction vers le haut ou vers le bas sera positive. Il est important de choisir une direction $+y$ et de t'en tenir à ce choix tout au long de la solution.

CONSEIL PRATIQUE

D'autres solutions

Il existe souvent plus d'une façon de résoudre les problèmes comportant une accélération constante. Dans un problème, on commence habituellement par identifier trois quantités connues. Ensuite, on utilise l'une des cinq équations possibles pour trouver une quantité inconnue, ce qui nous donne quatre quantités connues. Pour calculer la dernière (cinquième) quantité, on peut choisir n'importe quelle équation du mouvement uniformément accéléré parmi celles comportant la cinquième quantité.

CONSEIL PRATIQUE

Attention aux vecteurs

Certains élèves croient que $g = -9{,}8$ m/s^2, ce qui est incorrect. Le symbole g représente la norme du vecteur $\vec{g}$, et la norme d'un vecteur non nul est toujours positive.

PROBLÈME 1

Une balle est lancée avec une vélocité initiale de 8,3 m/s [vers le haut]. La résistance de l'air est négligeable.

a) Quelle hauteur maximale atteindra la balle par rapport à sa position initiale ?

b) Après combien de temps la balle reviendra-t-elle à sa position initiale ?

Solution

Établissons que la direction $+y$ correspondra à la direction vers le haut pour l'ensemble de la solution.

a) Nous savons que $v_{fy} = 0$ m/s car, à la hauteur maximale, la balle s'immobilise un instant avant de redescendre.

$a_y = -g = -9{,}8 \text{ m/s}^2 \qquad v_{fy} = 0 \text{ m/s}$

$v_{iy} = +8{,}3 \text{ m/s} \qquad \Delta y = ?$

$$\begin{aligned}
v_{fy}^2 &= v_{iy}^2 + 2a_y\Delta y \\
0 &= v_{iy}^2 + 2a_y\Delta y \\
\Delta y &= \frac{-v_{iy}^2}{2a_y} \\
&= \frac{-(8{,}3 \text{ m/s})^2}{2(-9{,}8 \text{ m/s}^2)} \\
\Delta y &= +3{,}5 \text{ m}
\end{aligned}$$

La hauteur maximale atteinte par la balle est de 3,5 m au-dessus de sa position initiale.

b) Une façon de résoudre ce problème est de déterminer la durée de temps pendant laquelle la balle monte, puis de multiplier cette valeur par deux pour obtenir le temps total. Nous supposons alors que le temps de chute de la balle est égal au temps de montée de celle-ci (une hypothèse valable si on néglige la résistance de l'air).

$a_y = -g = -9{,}8 \text{ m/s}^2 \qquad v_{fy} = 0 \text{ m/s}$

$v_{iy} = +8{,}3 \text{ m/s} \qquad \Delta t = ?$

$$\begin{aligned}
\Delta t &= \frac{v_{fy} - v_{iy}}{a_y} \\
&= \frac{0 - 8{,}3 \text{ m/s}}{-9{,}8 \text{ m/s}^2} \\
\Delta t &= 0{,}85 \text{ s}
\end{aligned}$$

temps total $= 2 \times 0{,}85 \text{ s} = 1{,}7 \text{ s}$

Il s'écoule donc 1,7 s avant que la balle revienne à sa position initiale.

PROBLÈME 2

Une flèche est tirée verticalement vers le haut à côté d'un édifice de 56 m de hauteur. La vélocité initiale de la flèche est de 37 m/s [vers le haut]. La résistance de l'air est négligeable. Après combien de temps la flèche franchit-elle le sommet de l'édifice à la montée, puis à la descente ?

Solution

Établissons que le sol est le point d'origine et que la direction [vers le haut] est la direction $+y$.

$\Delta y = +56 \text{ m} \qquad v_{iy} = +37 \text{ m/s}$

$a_y = -g = -9{,}8 \text{ m/s}^2 \qquad \Delta t = ?$

L'équation qui relie ces variables est :

$$\Delta y = v_{iy}\Delta t + \frac{1}{2}a_y(\Delta t)^2$$

Puisque les deux termes du membre de droite de l'équation ne sont pas nuls, nous devons appliquer la formule quadratique pour trouver Δt. Remplaçons les variables connues dans l'équation :

$$+56 \text{ m} = 37 \text{ m/s}\,\Delta t - 4{,}9 \text{ m/s}^2\,(\Delta t)^2$$

$$4{,}9 \text{ m/s}^2\,(\Delta t)^2 - 37 \text{ m/s}\,\Delta t + 56 \text{ m} = 0$$

En utilisant la formule quadratique :

$$\Delta t = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \qquad \text{où } a = 4{,}9 \text{ m/s}^2,\ b = -37 \text{ m/s, et } c = 56 \text{ m}$$

$$= \frac{-(-37 \text{ m/s}) \pm \sqrt{(-37 \text{ m/s})^2 - 4(4{,}9 \text{ m/s}^2)(56 \text{ m})}}{2(4{,}9 \text{ m/s}^2)}$$

$$\Delta t = 5{,}5 \text{ s et } 2{,}1 \text{ s}$$

L'équation possède deux racines positives, ce qui signifie que la flèche passe le sommet de l'édifice à sa montée (à $t = 2{,}1$ s) et de nouveau à sa descente (à $t = 5{,}5$ s).

Mise en pratique

Saisis bien les concepts

9. Tu lances une balle à la verticale vers le haut et tu la rattrapes à la hauteur à laquelle tu l'as laissée aller. La résistance de l'air est négligeable.
   a) Compare le temps de montée de la balle à son temps de descente.
   b) Compare les vélocités initiale et finale.
   c) Quelle est la vélocité instantanée de la balle au sommet de sa course ?
   d) Quelle est l'accélération de la balle pendant sa montée ? au sommet de sa course ? pendant sa descente ?

10. Écris toutes les équations que l'on pourrait utiliser pour déterminer l'intervalle de temps dans le problème 1b). Choisis une équation différente et trouve Δt.

11. Détermine la vitesse de l'objet identifié au moment de l'impact dans les situations suivantes. La résistance de l'air est négligeable.
   a) Pour briser la coquille d'un crustacé, une mouette laisse tomber celui-ci sur un rivage rocailleux d'une hauteur de 12,5 m.
   b) On laisse tomber une bille d'acier de la Tour de Pise ; la bille atterrit 3,37 s plus tard.

12. Une bille d'acier est lancée du rebord d'une tour de façon à lui donner une vélocité initiale de 15,0 m/s. Le rebord est à 15,0 m au-dessus du sol. La résistance de l'air est négligeable.
   a) Quelle est la durée de la trajectoire et quelle est la vitesse de l'impact sur le sol si la vélocité initiale est orientée vers le haut ?
   b) Que deviennent ces deux valeurs si la vélocité initiale est plutôt orientée vers le bas ?
   c) À partir de tes réponses aux questions a) et b), énonce une conclusion.

13. Montre qu'une balle qui tombe en chute libre à la verticale partant du repos parcourt une distance trois fois plus grande de $t = 1{,}0$ s à $t = 2{,}0$ s que de $t = 0{,}0$ s à $t = 1{,}0$ s.

14. Au baseball, le lanceur lance une balle verticalement vers le haut et l'attrape à la même hauteur 4,2 s plus tard.
   a) Avec quelle vélocité le lanceur a-t-il projeté la balle ?
   b) Jusqu'à quelle hauteur la balle a-t-elle monté ?

CONSEIL PRATIQUE

La formule quadratique
La formule quadratique sert à trouver les racines d'une équation quadratique, qui est une équation dont l'un des éléments est une quantité au carré, comme Δt^2. Dans les exemples où l'accélération est constante, si l'équation a la forme suivante :
$a(\Delta t)^2 + b(\Delta t) + c = 0$ où $a \neq 0$, ses racines sont

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

Une racine négative pourrait n'avoir aucune signification physique dans un problème donné.

Réponses

11. a) 15,6 m/s
    b) 33,0 m/s
12. a) 3,86 s ; 22,8 m/s
    b) 0,794 s ; 22,8 m/s
14. a) 21 m/s [vers le haut]
    b) 22 m

Réponses

15. a) 63 m
    b) 35 m/s [vers le bas]
16. a) 1,6 m/s^2 [vers le bas]
    b) 6,1 : 1
17. a) 9,20 m/s^2 [vers le bas] ; 9,70 m/s^2 [vers le bas]
    b) 5,3 %

15. Une montgolfière se déplace avec une vélocité de 2,1 m/s [vers le haut] lorsque l'aéronaute jette par-dessus bord du lest (c.-à-d. une masse importante utilisée pour contrôler la hauteur). Le lest frappe le sol 3,8 s plus tard.
   a) Quelle était la hauteur de la montgolfière lorsque le lest a été jeté ?
   b) Quelle était la vélocité du lest au moment de l'impact ?

16. Un astronaute échappe sa caméra en sortant d'un engin spatial sur la Lune. La caméra, partant du repos, tombe de 2,3 m [vers le bas] en 1,7 s.
   a) Calcule l'accélération due à la pesanteur sur la Lune.
   b) Détermine le rapport entre $|\vec{g}_{\text{Terre}}|$ et $|\vec{g}_{\text{Lune}}|$.

Mets en pratique tes connaissances

17. Une minuterie à bande à 60,0 Hz et une minuterie photographique sont utilisées par deux groupes pour déterminer l'accélération due à la pesanteur d'une masse métallique. Les résultats obtenus sont présentés dans le **tableau 4**.
   a) Détermine l'accélération de la masse métallique pour chaque essai.
   b) Calcule le pourcentage de différence entre les deux accélérations.
   c) Quels résultats sont probablement attribuables à la minuterie à bande de téléimprimeur ? Explique ce qui te laisse croire cela.

Tableau 4 Les données de la question 17

t (s)	$\vec{d}$ (cm) [↓]	$\vec{d}$ (cm) [↓]
0	0	0
0,10	4,60	4,85
0,20	18,4	19,4
0,30	41,4	43,6
0,40	73,6	77,6

Fais des liens

18. Comment ta vie de tous les jours serait-elle affectée si la valeur de l'accélération due à la pesanteur doublait ? Donne quelques avantages et désavantages.

La vitesse ultime

Le parachutiste qui saute d'un avion en vol (**figure 5**) est en chute libre pendant un court laps de temps. Toutefois, à mesure que sa vitesse augmente, la résistance de l'air augmente aussi. (Tu as sans doute déjà senti qu'en sortant ta main par la fenêtre d'une voiture en mouvement, la résistance de l'air devenait plus grande à vitesse élevée.)

Figure 5
L'accélération vers le bas d'un parachutiste diminue à mesure que sa vélocité augmente en raison de l'accroissement de la résistance de l'air.

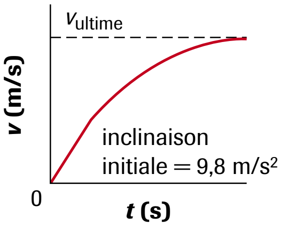


Figure 6
La forme type d'un graphique vitesse-temps d'un objet en chute qui atteint sa vitesse ultime

Cette résistance peut devenir tellement grande qu'elle empêche alors toute accélération. À ce moment-là, l'accélération est nulle et le parachutiste atteint une **vitesse ultime** constante, comme l'illustre le graphique de la **figure 6**.

Le **tableau 5** donne les vitesses ultimes de plusieurs objets qui tombent dans l'air. Un objet d'assez grande masse, par exemple une personne, atteint une vitesse ultime élevée. La vitesse ultime est beaucoup moins grande si la surface de l'objet augmente, par exemple lorsque le parachute s'ouvre.

vitesse ultime vitesse maximale d'un objet en chute, atteinte lorsque la vitesse devient constante et qu'il n'y a plus d'accélération

Les vitesses ultimes sont également importantes dans les fluides autres que l'air. La Recherche 1.3.1, dans la section Travaux pratiques à la fin de ce chapitre, se penche sur le rapport entre la vitesse ultime et la masse de l'objet.

Tableau 5 Les vitesses ultimes approximatives d'objets tombant dans l'air

Objet	Vitesse ultime	
	(m/s)	(km/h)
personne	53	190
personne avec parachute	5 à 10	18 à 36
graine de pissenlit	0,5	1,8
particule de poussière type	0,02	0,07

Mise en pratique

Saisis bien les concepts

19. Quels facteurs influencent la vitesse ultime d'un objet ? De quelle façon chaque facteur affecte-t-il la vitesse ultime ?

20. Le concept de la vitesse ultime s'applique-t-il sur la Lune ? Pourquoi ?

21. Trace un graphique de la vitesse verticale en fonction du temps pour un parachutiste qui saute d'un avion, atteint sa vitesse ultime, ouvre son parachute et atteint une nouvelle vitesse ultime.

Mets en pratique tes connaissances

22. Les organismes humanitaires utilisent des avions pour larguer des colis dans des régions inaccessibles. Un colis qui frappe le sol à haute vitesse peut être endommagé.
- a) Décris plusieurs facteurs dont il faut tenir compte dans la conception des colis pour que ceux-ci aient le maximum de chances d'atterrir de façon sûre.
- b) Comment ferais-tu l'essai de tes colis ?

Fais des liens

23. De nombreuses personnes ont survécu à des chutes d'une hauteur impressionnante sans parachute. Le record est détenu par un Russe qui est tombé de 7 500 m ! Les chances de survie dépendent de la « distance de décélération » au moment de l'atterrissage. Pourquoi une chute d'une telle hauteur n'est-elle pas plus dangereuse qu'une chute moins grande ? De quelle façon la distance de décélération à l'atterrissage peut-elle être accrue au maximum ?

RÉSUMÉ *L'accélération due à la pesanteur*

- Une chute libre est le mouvement d'un objet qui tombe vers la surface de la Terre sans subir de force autre que celle de la pesanteur.
- L'accélération moyenne due à la pesanteur à la surface de la Terre est $\vec{g} = 9{,}8\ \text{m/s}^2$ [vers le bas].
- L'accélération due à la pesanteur dépend de la latitude, de l'altitude et de certains effets locaux, comme la répartition des dépôts de minéraux.
- Les équations du mouvement uniformément accéléré peuvent servir à analyser le mouvement dans le plan vertical.
- La vitesse ultime est la vitesse maximale atteinte par un objet qui tombe dans l'air ou dans un autre fluide. Un objet à sa vitesse ultime possède une accélération nulle et une vélocité constante.

RECHERCHE 1.3.1

Une comparaison de vitesses ultimes **(p. 58)**

Des filtres à café à fond plat qu'on laisse tomber à la verticale suivent une trajectoire à peu près droite. Ils peuvent servir à étudier la relation entre la masse d'un objet et sa vitesse ultime. Exprime ce que tu crois être le rapport entre la vitesse ultime d'une pile de filtres à café et leur masse — autrement dit, le nombre de filtres dans la pile.

LE SAVAIS-TU ?

Les changements climatiques

Les particules de poussière et de fumée dans l'atmosphère peuvent provoquer des changements climatiques. En 1980, l'éruption du mont St. Helens a projeté des particules de cendres très haut dans l'atmosphère. Ces particules, dont la vitesse ultime est faible, peuvent rester en suspension pendant des mois, voire des années. Elles peuvent être entraînées par les vents dominants tout autour de la terre ; elles ont alors un effet réducteur sur la quantité de rayonnement solaire qui peut atteindre le sol. Ce phénomène déclenche des changements climatiques, y compris une réduction des températures moyennes. Les feux de forêt importants, y compris ceux causés par d'éventuelles attaques nucléaires, peuvent aussi avoir un effet similaire en raison de l'émission de grandes quantités de fumée et de cendres dans l'atmosphère.

Section 1.3 Questions

Saisis bien les concepts

1. Décris plusieurs types de conditions qui font que la résistance de l'air est négligeable pour un objet qui tombe.

2. Compare les notions défendues par Aristote et Galilei concernant la chute des objets.

3. Calcule la vitesse d'atterrissage en mètres par seconde et en kilomètres-heure dans les situations suivantes. Néglige la résistance de l'air et suppose que l'objet part du repos.
a) Des plongeurs offrent un spectacle aux touristes à Acapulco au Mexique en plongeant d'une falaise de 36 m de hauteur par rapport au niveau de l'eau.
b) Une pierre tombe d'un pont et touche l'eau 3,2 s plus tard.

4. Deux adeptes du saut en hauteur, l'un à Java et l'autre à Londres, s'élancent avec une vélocité initiale de 5,112 m/s [vers le haut]. À partir des données du **tableau 1**, calcule, avec quatre chiffres significatifs, les hauteurs atteintes par chaque sauteur.

5. Au cours de la première minute de la mise à feu, une navette spatiale subit une accélération moyenne de 5*g* (c.-à-d. cinq fois l'intensité de l'accélération due à la pesanteur à la surface de la Terre). Calcule la vitesse de la navette en mètres par seconde et en kilomètres-heure après 1 minute. (Ces valeurs sont approximatives.)

6. Une personne lance une balle de golf verticalement vers le haut. La balle revient à son niveau de départ après 2,6 s.
a) Pendant combien de temps la balle a-t-elle monté ?
b) Calcule la vélocité initiale de la balle.
c) Combien de temps la balle resterait-elle en vol sur Mars, où $\vec{g}$ est 3,7 m/s^2 [vers le bas], avec une même vélocité initiale ?

7. Au cours d'une expérience de laboratoire, un ordinateur détermine que le temps nécessaire à une bille d'acier qui tombe pour parcourir la distance finale de 0,80 m avant de frapper le sol est de 0,087 s. Quelle est alors sa vélocité ?

8. Sur un pont, tu lances une pierre verticalement avec une vélocité de 14 m/s [vers le bas].
a) Combien de temps prendra la pierre pour toucher l'eau, 21 m plus bas ?
b) Explique la signification des deux racines de l'équation quadratique utilisée pour résoudre ce problème.

9. On laisse tomber une balle de tennis et une bille d'acier du haut d'une corniche. La balle de tennis subit une forte résistance de l'air et atteint sa vitesse ultime. Par contre, la bille d'acier subit essentiellement une chute libre.
a) Dessine un graphique vélocité-temps comparant les mouvements des deux objets. Considère l'orientation vers le bas comme direction positive.
b) Reprends la question a) en définissant l'orientation vers le haut comme positive.

10. Un pot de fleurs tombe du balcon d'un appartement, situé à 28,5 m au-dessus du sol. À 1 s après la chute du pot, une balle est lancée à la verticale vers le bas du balcon de l'étage inférieur, à 26 m au-dessus du sol. La vélocité initiale de la balle est de 12 m/s [vers le bas]. La balle dépassera-t-elle le pot avant de frapper le sol ? Si tel est le cas, à quelle distance du sol se produira le dépassement ?

11. Dans quel ordre placerais-tu les objets suivants pour aller de la plus haute vitesse ultime dans l'air à la plus basse : une balle de ping-pong, un ballon de basket, un parachutiste qui tombe tête première, un parachutiste qui saute bras et jambes déployés et un grain de pollen.

Mets en pratique tes connaissances

12. Dans un premier temps, indique le nombre de chiffres significatifs et l'erreur possible, et dans un second temps, calcule le pourcentage d'erreur possible pour chacune des mesures suivantes :
a) 9,809 060 m/s^2
b) 9,8 m/s^2
c) 9,80 m/s^2
d) 9,801 m/s^2
e) $9,8 \times 10^{-6}$ m/s^2

13. a) Comment pourrais-tu utiliser un mètre et une (ou plus d'une) équation du mouvement uniformément accéléré pour déterminer le temps de réaction de ton partenaire de laboratoire ? Illustre ta méthode avec un exemple, incluant un calcul et des valeurs numériques plausibles.
b) Comment l'utilisation du téléphone cellulaire pourrait-elle influencer les temps de réaction ?

Fais des liens

14. Effectue en équipe des recherches sur la vie et la contribution d'Aristote ou de Galilée. Communique tes résultats aux autres équipes de ta classe.

15. La pensée logique se fait suivant deux processus différents. L'un s'appelle le *raisonnement déductif*, l'autre le *raisonnement inductif*. Consulte un document de référence, par exemple un dictionnaire ou une encyclopédie, pour en savoir plus sur ces deux types de raisonnement.
a) Lequel Aristote et d'autres anciens savants ont-ils utilisé ?
b) Lequel Galilée a-t-il utilisé ?
c) Présente d'autres faits que tu as découverts sur ces formes de raisonnement.

16. Le chercheur Luis Alvarez a posé l'hypothèse que l'extinction des dinosaures et de nombreuses autres espèces, il y a 65 millions d'années, avait été causée par des chutes importantes de température, après l'arrivée d'énormes quantités de poussière dans l'atmosphère. L'impact d'un astéroïde dans la région du Yucatán au Mexique serait à l'origine de ce phénomène. Fais une recherche à ce sujet et rédige un bref compte rendu à propos de tes découvertes.

ALLER À www.beaucheminediteur.com/physique

Le mouvement de projectile 1.4

Qu'ont en commun les situations suivantes ?

- Un singe saute d'une branche à une autre.
- Un planchiste s'envole à grande vitesse du rebord d'une rampe (**figure 1**).
- Un colis d'aide humanitaire est largué par un avion volant à basse altitude.

Dans chaque cas, le corps ou l'objet se déplace dans l'air sans système de propulsion, selon une trajectoire courbe en deux dimensions (**figure 2a**). Un tel objet s'appelle un **projectile** et son mouvement est appelé *mouvement de projectile*.

Figure 1
Comment décrirais-tu le mouvement du néviplanchiste une fois qu'il a quitté la rampe ?

projectile objet qui se déplace dans l'air sans système de propulsion, selon une certaine trajectoire

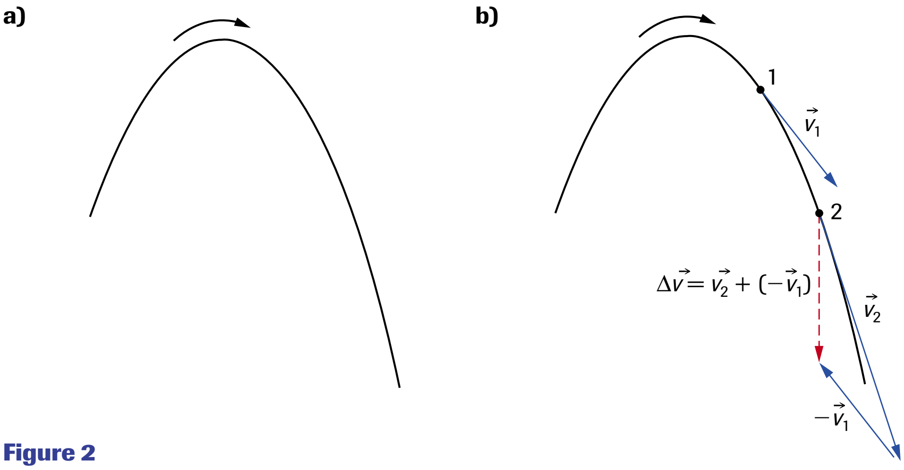


Figure 2
a) Une trajectoire typique suivie par un projectile.
b) La variation de vélocité entre la position 1 et la position 2 est $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$, qui est représentée comme étant $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 + (-\vec{v}_1)$.
Si $\Delta\vec{v}$ est divisée par le temps Δt requis pour accomplir le mouvement de la position 1 à la position 2, le résultat est l'accélération moyenne pour cet intervalle de temps.

LE SAVAIS-TU ?

Les projectiles dangereux
Peut-être as-tu déjà vu à la télévision des soldats tirer en l'air pour célébrer une victoire. Les balles se déplacent comme des projectiles à grande vitesse et, malgré la résistance de l'air, elles reviennent vers la terre à une vitesse suffisamment élevée pour être dangereuses. Il semble que, de temps en temps, des personnes soient blessées par ces balles.

Il est évident que le projectile accélère, car l'orientation de sa vélocité instantanée varie continuellement. Mais dans quelle direction l'accélération se produit-elle ? Puisque $\vec{a}_{\text{moy}} = \dfrac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$, $\vec{a}_{\text{moy}}$ est orientée vers $\Delta\vec{v}$. La **figure 2b**) montre que la soustraction vectorielle $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ donne un vecteur orienté vers le bas, ce qui indique que l'orientation de l'accélération est aussi vers le bas.

À la rubrique À TOI d'expérimenter, au début du chapitre 1, tu as analysé deux projectiles, les balles A et B ; ces balles ont été mises en mouvement simultanément. La balle A est tombée de l'état de repos, alors que la balle B a été lancée horizontalement avec une certaine vélocité initiale. Bien que, comme l'illustre la **figure 3**, B suive une plus longue trajectoire que A, les deux balles touchent le sol en même temps. Le mouvement horizontal initial d'un projectile comme la balle B n'affecte pas son accélération verticale.

D'autres expériences démontrent la même chose. La **figure 4** présente une photographie stroboscopique de deux balles lâchées simultanément. La balle de droite a été projetée horizontalement. Les intervalles entre les éclairs stroboscopiques étaient constants. Une grille a été superposée à la photo pour faciliter les mesures et l'analyse. Pour des intervalles de temps successifs et égaux, les composantes verticales du déplacement augmentent de manière identique pour chaque balle. Note que la balle projetée effectue un déplacement horizontal constant pour chaque intervalle de temps. Les mouvements horizontal et vertical indépendants se combinent pour créer la trajectoire.

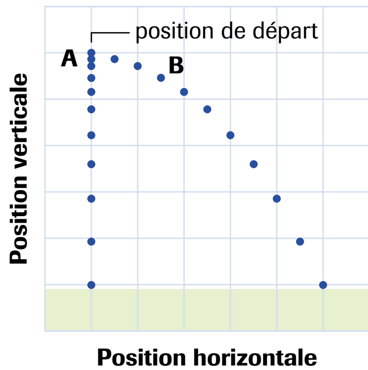


Figure 3
La balle B est projetée horizontalement à l'instant où la balle A est lâchée. Même si le chemin parcouru par la balle B est plus long que celui parcouru par la balle A, les balles atteignent le sol au même instant.

mouvement de projectile mouvement dont la vélocité horizontale et l'accélération verticale due à la pesanteur sont constantes

portée horizontale (Δx) déplacement horizontal d'un projectile

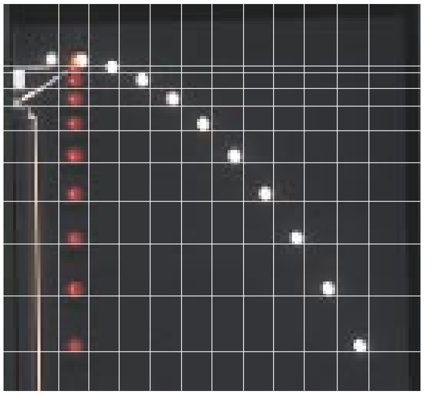


Figure 4
Ces deux balles atteignent la position la plus basse au même instant, même si l'une a été projetée horizontalement. Les deux balles avaient une vélocité verticale initiale nulle et ont effectué une chute libre.

RECHERCHE 1.4.1

Une recherche sur le mouvement de projectile (p. 58)
Il existe plus d'une façon de prouver que les composantes horizontale et verticale du mouvement d'un projectile sont indépendantes l'une de l'autre. Décris deux ou trois méthodes qui te permettraient d'analyser le mouvement des deux balles de la **figure 4** afin de démontrer que le mouvement horizontal est indépendant du mouvement vertical. (Indice : l'une des méthodes peut inclure la soustraction vectorielle des vélocités instantanées.) Ensuite, exécute la Recherche 1.4.1 pour vérifier tes réponses.

Si tu observes bien la grille superposée à la photographie de la **figure 4**, tu feras les conclusions importantes suivantes concernant le mouvement de projectile :

- La composante horizontale de la vélocité du projectile est constante. (En d'autres mots, la valeur de la composante horizontale de l'accélération est zéro.)
- Le projectile subit une accélération vers le bas due à la pesanteur.
- Les mouvements horizontal et vertical d'un projectile sont indépendants l'un de l'autre, mais simultanés.

Ces conclusions sont fondées sur l'hypothèse que l'on peut négliger la résistance de l'air, comme nous l'avons fait en analysant l'accélération due à la pesanteur (1.3).

Si tu réalisais une expérience pour déterminer si les concepts concernant le mouvement de projectile s'appliquent à un objet sur un plan incliné (par exemple, une rondelle se déplaçant sur une table à coussin d'air disposée en angle par rapport à l'horizontale), quelles observations pourrais-tu faire ? Comment analyserais-tu le mouvement du projectile sur un plan incliné pour vérifier que la vélocité horizontale est constante et l'accélération verticale aussi ? Tu approfondiras ces questions en effectuant la Recherche 1.4.1 dans la section Travaux pratiques à la fin de ce chapitre.

L'analyse du mouvement des objets projetés horizontalement

Le **mouvement de projectile** est un mouvement dont la vélocité horizontale et l'accélération verticale due à la pesanteur sont constantes. Puisque le mouvement horizontal et le mouvement vertical sont indépendants l'un de l'autre, nous pouvons appliquer des ensembles indépendants d'équations pour analyser le mouvement de projectile. Les équations de la vélocité constante de la section 1.1 s'appliquent au mouvement horizontal, alors que les équations du mouvement uniformément accéléré des sections 1.2 et 1.3 (avec $|\vec{g}| = 9{,}8 \text{ m/s}^2$) s'appliquent au mouvement vertical.

La **figure 5** présente les vecteurs vélocité initiale et finale pour un projectile, avec leurs composantes horizontale et verticale. Le **tableau 1** résume les équations de la cinématique pour chacune des composantes. Il n'y a pas de flèche sur les variables, car elles représentent les composantes vectorielles, non pas les vecteurs eux-mêmes. Par exemple, v_{ix} représente la composante x (qui n'est pas un vecteur) de la vélocité initiale, et v_y représente la composante y (non plus un vecteur) de la vélocité après un certain intervalle de temps Δt. Le déplacement horizontal, Δx, est appelé la **portée horizontale** du projectile.

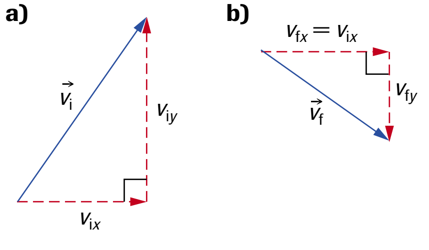


Figure 5
a) Au temps $t = 0$, la vélocité initiale du projectile, $\vec{v}_i$, a une composante horizontale, v_{ix}, et une composante verticale, v_{iy}.
b) Après Δt écoulé, la vélocité du projectile, $\vec{v}_f$, a la même composante horizontale (en négligeant la résistance de l'air) et une composante verticale différente, v_{fy}.

Tableau 1 Les équations de la cinématique du mouvement de projectile

Mouvement horizontal (x)	L'équation de la vélocité constante (accélération nulle) est exprimée pour la composante x seulement.	$v_{ix} = \dfrac{\Delta x}{\Delta t}$
Mouvement vertical (y)	Les cinq équations du mouvement uniformément accéléré impliquant une accélération due à la pesanteur sont exprimées pour la composante y seulement. L'accélération constante a une valeur de $\lvert\vec{g}\rvert = g = 9{,}8\ \text{m/s}^2$.	$a_y = \dfrac{v_{fy} - v_{iy}}{\Delta t}$ ou $v_{fy} = v_{iy} + a_y\Delta t$ $\Delta y = v_{iy}\Delta t + \dfrac{1}{2}a_y(\Delta t)^2$ $\Delta y = v_{av,y}\Delta t$ ou $\Delta y = \dfrac{1}{2}(v_{fy} + v_{iy})\Delta t$ $v_{fy}^2 = v_{iy}^2 + 2a_y\Delta y$ $\Delta y = v_{fy}\Delta t - \dfrac{1}{2}a_y(\Delta t)^2$

PROBLÈME 1

Une balle est lancée horizontalement d'un balcon avec une vélocité initiale de 18 m/s.

a) Détermine la position de la balle à t = 1,0 s, 2,0 s, 3,0 s et 4,0 s.

b) Indique ces positions sur un diagramme à l'échelle.

c) Quel est le nom mathématique de la courbe obtenue ?

Solution

a) Définissons l'orientation des x positifs vers la droite et l'orientation des y positifs vers le bas (ce qui convient bien, puisqu'il n'y a pas de mouvement vers le haut) (voir la **figure 6a**)

Horizontalement (v_{ix} constante):

v_{ix} = 18 m/s

Δt = 1,0 s

Δx = ?

$$\begin{aligned}\Delta x &= v_{ix}\Delta t\\ &= (18\ \text{m/s})(1{,}0\ \text{s})\\ \Delta x &= 18\ \text{m}\end{aligned}$$

Le **tableau 2** donne les valeurs de Δx pour Δt = 1,0 s, 2,0 s, 3,0 s et 4,0 s.

Verticalement (a_y constante):

v_{iy} = 0 Δt = 1,0 s

$a_y = +g$ = 9,8 m/s² Δy = ?

$$\begin{aligned}\Delta y &= v_{iy}\Delta t + \frac{1}{2}a_y(\Delta t)^2\\ &= \frac{1}{2}a_y(\Delta t)^2\\ &= \frac{(9{,}8\ \text{m/s}^2)(1{,}0\ \text{s})^2}{2}\\ \Delta y &= +4{,}9\ \text{m}\end{aligned}$$

Le **tableau 2** donne les valeurs de Δy pour Δt = 1,0 s, 2,0 s, 3,0 s et 4,0 s.

b) La **figure 6b)** présente le diagramme à l'échelle de la position de la balle à différents temps. Les positions sont reliées par une courbe lisse.

c) La courbe présentée à la **figure 6b)** est une parabole.

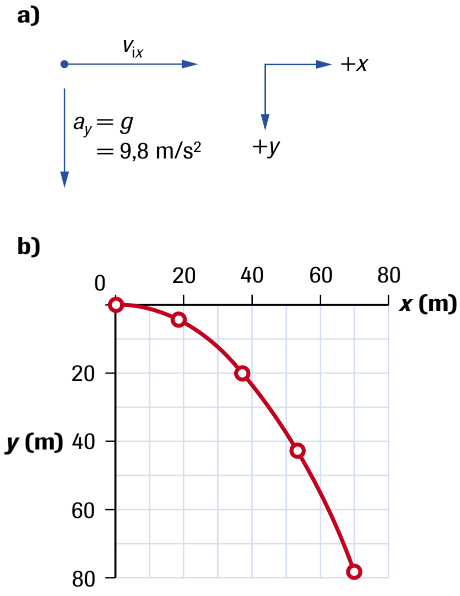
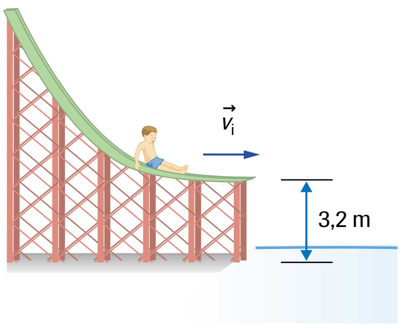


Figure 6
Les données du problème 1
a) Les conditions initiales
b) Le diagramme à l'échelle du mouvement

Tableau 2 Les positions calculées aux intervalles de temps sélectionnés

t (s)	Δx (m)	Δy (m)
0,0	0,0	0,0
1,0	18	4,9
2,0	36	20
3,0	54	44
4,0	72	78

a)



b)

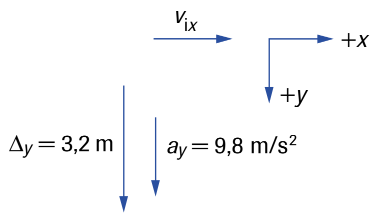


Figure 7
Les données du problème 2
a) La situation
b) Les conditions initiales

PROBLÈME 2

Un enfant descend sur une glissade d'eau et quitte la rampe avec une vélocité horizontale de 4,2 m/s, comme à la **figure 7a)**. L'enfant effectue alors un mouvement de projectile, amerrissant dans une piscine 3,2 m sous la rampe.

a) Pendant combien de temps l'enfant demeure-t-il dans les airs ?

b) Détermine le déplacement horizontal de l'enfant dans les airs.

c) Détermine la vélocité de l'enfant au moment d'entrer dans l'eau.

Solution

Comme le montre la **figure 7b)**, les x positifs sont orientés vers la droite et les y positifs vers le bas. La position initiale est la position où l'enfant quitte la rampe.

a) *Horizontalement (v_{ix} constante) :*

$v_{ix} = 4,2$ m/s

$\Delta x = ?$

$\Delta t = ?$

Verticalement (a_y constante) :

$v_{iy} = 0$ $\qquad$ $\Delta y = 3,2$ m

$a_y = +g = 9,8$ m/s^2 $\qquad$ $v_{fy} = ?$

$\Delta t = ?$

Pour le mouvement horizontal, on a deux inconnues et seulement une équation $\Delta x = v_{ix}\Delta t$. Nous pouvons analyser le mouvement vertical pour déterminer Δt :

$$\Delta y = v_{iy}\Delta t + \frac{1}{2}a_y(\Delta t)^2$$

$$\Delta y = \frac{1}{2}a_y(\Delta t)^2$$

$$(\Delta t)^2 = \frac{2\Delta y}{a_y}$$

$$\Delta t = \pm\sqrt{\frac{2\Delta y}{a_y}}$$

$$= \pm\sqrt{\frac{2(3,2\text{ m})}{9,8\text{ m/s}^2}}$$

$$\Delta t = \pm\ 0,81\text{ s}$$

Puisque nous analysons une trajectoire qui débute à $t = 0$, nous ne retenons que la racine positive. L'enfant demeure dans les airs pendant 0,81 s.

b) Nous pouvons remplacer Δt par 0,81 s dans l'équation du mouvement horizontal.

$$\Delta x = v_{ix}\Delta t$$

$$= (4,2\text{ m/s})(0,81\text{ s})$$

$$\Delta x = 3,4\text{ m}$$

L'enfant atteint l'eau à une distance horizontale de 3,4 m du bout de la rampe. Autrement dit, le déplacement horizontal de l'enfant est de 3,4 m.

c) Pour trouver la vélocité finale de l'enfant, une quantité vectorielle, nous devons d'abord déterminer ses composantes horizontale et verticale. La composante x est constante à 4,2 m/s. Nous trouvons la composante y comme suit :

$$v_{fy} = v_{iy} + a_y\Delta t$$

$$= 0\text{ m/s} + (9,8\text{ m/s}^2)(0,81\text{ s})$$

$$v_{fy} = 7,9\text{ m/s}$$

Appliquons maintenant la loi de Pythagore et les règles de trigonométrie pour déterminer la vélocité finale, comme le montre la **figure 8**.

$$v_f = \sqrt{v_{fx}^2 + v_{fy}^2}$$
$$= \sqrt{(4{,}2 \text{ m/s})^2 + (7{,}9 \text{ m/s})^2}$$
$$v_f = 8{,}9 \text{ m/s}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{v_{fy}}{v_{fx}}$$
$$= \tan^{-1} \frac{7{,}9 \text{ m/s}}{4{,}2 \text{ m/s}}$$
$$\theta = 6$$

La vélocité finale est de 8,9 m/s avec un angle de 62° sous l'horizontale.

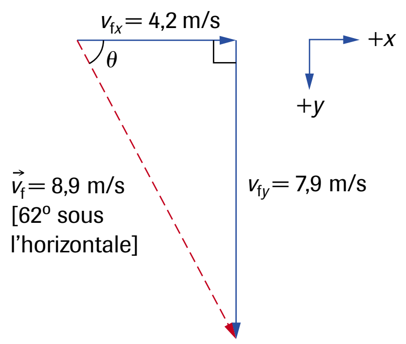


Figure 8
La solution de la partie c) du problème 2

PROBLÈME 3

Un hélicoptère se déplaçant horizontalement se trouve à 82 m au-dessus du sol. Le pilote se prépare à larguer un colis d'aide humanitaire qui doit atterrir 96 m plus loin horizontalement. La résistance de l'air est négligeable. Le pilote ne lance pas le colis, mais le laisse tomber. Quelle est la vélocité initiale du colis par rapport au sol ?

Solution

La **figure 9** présente la situation, le point de largage étant la position initiale, les x positifs étant orientés vers la droite et les y positifs vers le bas. Puisque le pilote ne lance pas le colis, la vélocité horizontale initiale du colis est la même que la vélocité horizontale de l'hélicoptère.

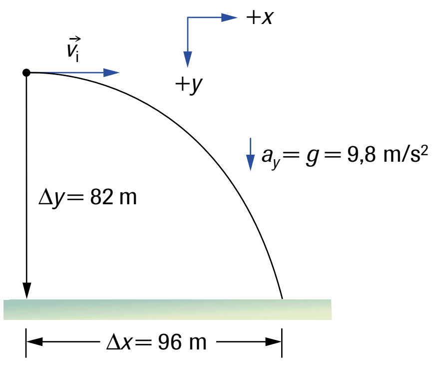


Figure 9
La situation du problème 3

Horizontalement (v_{ix} constante) :

$\Delta x = 96$ m

$\Delta t = ?$

$v_{ix} = ?$

Verticalement (a_y constante) :

$v_{iy} = 0$ m/s $\quad\quad \Delta y = 82$ m

$a_y = +g = 9{,}8$ m/s² $\quad\quad \Delta t = ?$

Comme dans le problème 2, nous pouvons déterminer Δt à partir des équations du mouvement vertical. L'équation appropriée est

$$\Delta y = v_{iy}\Delta t + \frac{1}{2}a_y(\Delta t)^2$$
$$\Delta y = \frac{1}{2}a_y(\Delta t)^2$$
$$(\Delta t)^2 = \frac{2\Delta y}{a_y}$$
$$\Delta t = \pm\sqrt{\frac{2\Delta y}{a_y}}$$
$$= \pm\sqrt{\frac{2(82 \text{ m})}{9{,}8 \text{ m/s}^2}}$$
$$\Delta t = 4{,}1 \text{ s}$$

Puisque nous considérons uniquement ce qui s'est produit après le largage du colis à $t = 0$, nous ne retenons que la racine positive.

$$v_{ix} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$
$$= \frac{96 \text{ m}}{4,1 \text{ s}}$$
$$v_{ix} = 23 \text{ m/s}$$

La vélocité initiale du colis est de 23 m/s [horizontalement].

Mise en pratique

Saisis bien les concepts

1. Explique pourquoi un avion qui se déplace dans les airs n'est pas un exemple de mouvement de projectile.
2. Une pierre est lancée horizontalement alors que la résistance de l'air est négligeable. Quelle est son accélération verticale et son accélération horizontale ?
3. Une bille tombe d'une table avec une vélocité de 1,93 m/s [horizontalement]. La partie supérieure de la table se trouve à 76,5 cm au-dessus du plancher. Si la résistance de l'air est négligeable, détermine
   a) combien de temps la bille demeure dans les airs ;
   b) sa portée horizontale ;
   c) sa vélocité au moment de l'impact.
4. Une pierre est lancée horizontalement du haut d'une falaise avec une vitesse initiale de 8,0 m/s. On néglige la résistance de l'air.
   a) Détermine les composantes horizontale et verticale du déplacement et la vélocité instantanée à $t = 0,0$ s, 1,0 s, 2,0 s et 3,0 s.
   b) Trace un diagramme à l'échelle illustrant le trajet de la pierre.
   c) Dessine le vecteur vélocité instantanée à chaque point de ton diagramme.
   d) Détermine l'accélération moyenne entre 1,0 s et 2,0 s, et entre 2,0 s et 3,0 s. Que peux-tu conclure ?
5. Un lanceur de baseball lance la balle horizontalement alors que la résistance de l'air est négligeable. La balle tombe de 83 cm en parcourant 18,4 m jusqu'au marbre. Détermine la vitesse horizontale initiale de la balle.

Mets en pratique tes connaissances

6. La **figure 10** montre un trajectographe. Une plaque verticale sert de cible et permet d'ajuster la position horizontale d'un côté à l'autre du papier graphique.
   a) Décris comment on utilise cet appareil pour analyser le mouvement de projectile.
   b) Que t'attends-tu à voir apparaître sur le papier graphique ? Trace un schéma. Si tu as accès à un trajectographe, utilise-le pour vérifier tes prévisions.

Fais des liens

7. Lorsque les personnages de dessins animés dépassent le bord d'une falaise en courant, ils demeurent suspendus dans les airs un moment avant de tomber à pic. Si les dessins animés obéissaient aux lois de la physique, qu'arriverait-il ?

Réponses

3. a) 0,395 s
   b) 76,3 cm
   c) 4,33 m/s [63,5° sous l'horizontale]
4. a) À 3,0 s, $\Delta x = 24$ m, $\Delta y = 44$ m, $\vec{v} = 3,0 \times 10^1$ m/s [75° sous l'horizontale]
   d) 9,8 m/s^2 [vers le bas]

Figure 10
Lorsque la bille d'acier est lancée à partir de la rampe et qu'elle entre en collision avec la cible, le point de contact est enregistré sur la cible de papier.

L'analyse d'un mouvement de projectile complexe

Dans les problèmes de projectile résolus jusqu'ici, la vélocité initiale était horizontale. On peut se servir des mêmes équations de la cinématique pour analyser les problèmes où la vélocité initiale est orientée selon un certain angle par rapport à l'horizontale. Puisque $v_{iy} \neq 0$, tu dois faire attention en choisissant l'orientation (positive ou négative) pour le mouvement vertical. Par exemple, une chandelle au baseball (**figure 11**) a une vélocité initiale avec une composante verticale vers le haut. Si on choisit les y positifs orientés vers le haut, alors v_{iy} est positive et l'accélération verticale a_y est négative, car l'accélération gravitationnelle est vers le bas. Inversement, si on choisit les y positifs orientés vers le bas, alors v_{iy} est négative et a_y est positive.

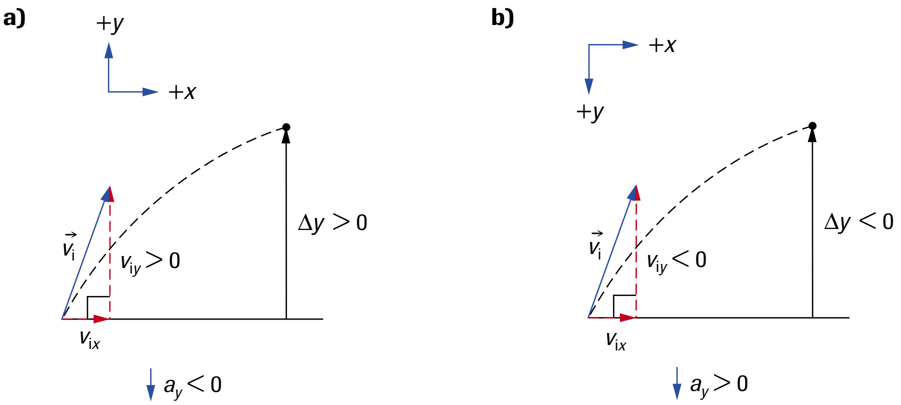


Figure 11
a) Les y positifs sont orientés vers le haut.
b) Les y positifs sont orientés vers le bas.

PROBLÈME 4

Une golfeuse frappe une balle au sol. La balle part avec une vélocité initiale de 42 m/s [32° au-dessus de l'horizontale]. Les conditions initiales sont présentées à la **figure 12**. En négligeant la résistance de l'air, détermine

a) la portée horizontale de la balle (en supposant qu'elle atterrit au même niveau que celui du départ) ;

b) sa hauteur maximale ;

c) son déplacement horizontal lorsqu'elle se trouve à 15 m au-dessus du sol.

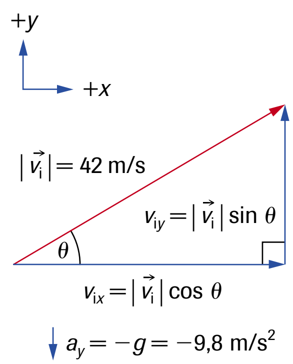


Figure 12
Les conditions initiales du problème 4. On choisit l'emplacement du tee comme position initiale et les y positifs sont orientés vers le haut.

Solution

a) Commençons par trouver les composantes verticale et horizontale de la vélocité initiale.

$$\begin{aligned} v_{ix} &= |\vec{v}_i| \cos\theta \\ &= (42 \text{ m/s})(\cos 32°) \\ v_{ix} &= 36 \text{ m/s} \end{aligned} \qquad \begin{aligned} v_{iy} &= |\vec{v}_i| \sin\theta \\ &= (42 \text{ m/s})(\sin 32°) \\ v_{iy} &= 22 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Horizontalement (v_{ix} constante) :

$$\begin{aligned} v_{ix} &= 36 \text{ m/s} \\ \Delta x &= ? \\ \Delta t &= ? \end{aligned}$$

Verticalement (a_y constante) :

$$\begin{aligned} a_y &= -g = -9{,}8 \text{ m/s}^2 \\ v_{iy} &= 22 \text{ m/s} \\ v_{fy} &= -22 \text{ m/s} \end{aligned} \qquad \begin{aligned} \Delta y &= 0 \\ \Delta t &= ? \end{aligned}$$

Puisque, pour le mouvement horizontal, on a deux inconnues et une seule équation, nous pouvons utiliser le mouvement vertical pour trouver Δt :

$$\begin{aligned} \Delta y &= v_{iy}\Delta t + \frac{1}{2}a_y(\Delta t)^2 \\ 0 &= 22 \text{ m/s } \Delta t - 4{,}9 \text{ m/s}^2 (\Delta t)^2 \\ 0 &= \Delta t \,(22 \text{ m/s} - 4{,}9 \text{ m/s}^2 \,\Delta t) \end{aligned}$$

CONSEIL PRATIQUE

L'utilisation de la symétrie
La composante verticale finale de la vélocité (222 m/s) a la même grandeur que la composante verticale initiale, puisque la résistance de l'air est négligeable et que le terrain est plat. Rappelle-toi que la même symétrie existe pour un objet lancé directement vers le haut.

Donc, la balle a été frappée à $\Delta t = 0$ et elle touche le sol à 22 m/s – 4,9 m/s^2 $\Delta t = 0$. En cherchant la solution, nous trouvons $\Delta t = 4{,}5$ s, une valeur qui permet de trouver la portée horizontale.

$$\begin{aligned}\Delta x &= v_{ix}\Delta t\\ &= (36\ \text{m/s})(4{,}5\ \text{s})\\ \Delta x &= 1{,}6 \times 10^2\ \text{m}\end{aligned}$$

La portée horizontale est de $1{,}6 \times 10^2$ m.

b) Pour déterminer la hauteur maximale, notons d'abord qu'à la position la plus haute, $v_{fy} = 0$ m/s. (C'est aussi le cas lorsqu'un objet lancé directement vers le haut atteint le point le plus élevé de son vol.)

$$\begin{aligned}v_{fy}^2 &= v_{iy}^2 + 2a_y\Delta y\\ 0 &= v_{iy}^2 + 2a_y\Delta y\\ \Delta y &= \frac{v_{iy}^2}{-2a_y}\\ &= \frac{(22\ \text{m/s})^2}{-2(-9{,}8\ \text{m/s}^2)}\\ \Delta y &= 25\ \text{m}\end{aligned}$$

La hauteur maximale atteinte est de 25 m.

c) Pour trouver le déplacement horizontal lorsque $\Delta y = 15$ m, nous devons trouver l'intervalle de temps Δt entre le début du mouvement et le moment où $\Delta y = 15$ m. Nous pouvons appliquer la formule quadratique :

$$\begin{aligned}\Delta y &= v_{iy}\Delta t + \frac{1}{2}a_y(\Delta t)^2\\ 15\ \text{m} &= 22\ \text{m/s}\ \Delta t - 4{,}9\ \text{m/s}^2\,(\Delta t)^2\end{aligned}$$

$$4{,}9\ \text{m/s}^2\,(\Delta t)^2 - 22\ \text{m/s}\ \Delta t + 15\ \text{m} = 0$$

En utilisant la formule quadratique,

$$\Delta t = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad \text{où } a = 4{,}9\ \text{m/s}^2,\ b = -22\ \text{m/s et } c = 15\ \text{m}$$

$$= \frac{-(-22\ \text{m/s}) \pm \sqrt{(-22\ \text{m/s})^2 - 4(4{,}9\ \text{m/s}^2)(15\ \text{m})}}{2(4{,}9\ \text{m/s}^2)}$$

$$\Delta t = 3{,}7\ \text{s ou } 0{,}84\ \text{s}$$

Ainsi, la balle se trouve 15 m au-dessus du sol à deux reprises : lorsqu'elle monte, puis lorsqu'elle redescend. Nous pouvons déterminer les positions horizontales correspondantes :

$$\begin{aligned}\Delta x_{\text{vers le haut}} &= v_{ix}\Delta t\\ &= (36\ \text{m/s})(0{,}84\ \text{s})\\ \Delta x_{\text{vers le haut}} &= 3{,}0 \times 10^1\ \text{m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta x_{\text{vers le bas}} &= v_{ix}\Delta t\\ &= (36\ \text{m/s})(3{,}7\ \text{s})\\ \Delta x_{\text{vers le bas}} &= 1{,}3 \times 10^2\ \text{m}\end{aligned}$$

La position horizontale de la balle est soit $3{,}0 \times 10^1$ m soit $1{,}3 \times 10^2$ m lorsqu'elle se trouve à 15 m au-dessus du sol.

Comme la solution du problème 4 l'a démontré, la portée d'un projectile peut être déterminée en appliquant pas à pas les équations de la cinématique. Nous pouvons aussi dériver une équation générale de la portée horizontale Δx d'un projectile, si l'on connaît la vélocité initiale et l'angle de lancement. Qu'arrive-t-il, par exemple, lorsqu'un projectile atterrit au même niveau que celui d'où il est parti ($\Delta y = 0$), comme le montre la **figure 13** ? Pour la portée horizontale, on trouve le mouvement en utilisant l'équation $\Delta x = v_{ix}\Delta t$, dans laquelle la seule variable connue est v_{ix}. Pour trouver l'autre variable, Δt, on utilise le mouvement vertical :

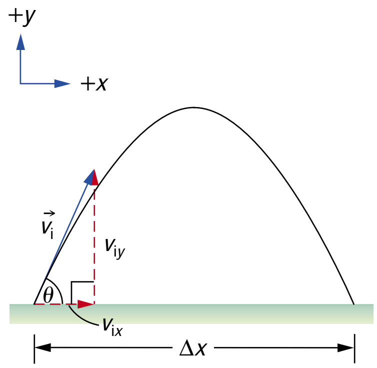


Figure 13
Les conditions initiales permettant de dériver la portée horizontale d'un projectile en fonction de l'angle de lancement et de la vélocité initiale

$$\Delta y = v_{iy}\Delta t + \frac{1}{2}a_y(\Delta t)^2$$

où $\Delta y = 0$, car nous supposons que le niveau d'arrivée est le même que le niveau de départ.

$$v_{iy} = v_i \sin\theta$$
$$a_y = -g$$
$$0 = v_i \sin\theta\Delta t - \frac{1}{2}g(\Delta t)^2$$
$$0 = \Delta t\left(v_i \sin\theta - \frac{1}{2}g(\Delta t)\right)$$

Par conséquent, $\Delta t = 0$ (à l'envol) et

$v_i \sin\theta - \frac{1}{2}g\Delta t = 0$ (à l'atterrissage).

La dernière équation nous donne Δt :

$$\Delta t = \frac{2v_i \sin\theta}{g}$$

Revenons maintenant au mouvement horizontal :

$$\begin{aligned}\Delta x &= v_{ix}\Delta t\\ &= (v_i \cos\theta)\Delta t\\ &= v_i\cos\theta\left(\frac{2v_i\sin\theta}{g}\right)\\ \Delta x &= \frac{v_i^2}{g}2\sin\theta\cos\theta\end{aligned}$$

Puisque $2\sin\theta\cos\theta = \sin 2\theta$ (voir les identités trigonométriques de l'annexe A), la portée horizontale est

$$\Delta x = \frac{v_i^2}{g}\sin 2\theta$$

où v_i est la grandeur de la vélocité initiale du projectile lancé à un angle θ par rapport à l'horizontale. Note que cette équation s'applique seulement si $\Delta y = 0$.

Dans les discussions et les exemples précédents concernant le mouvement de projectile, on a toujours considéré la résistance de l'air comme négligeable. Cette situation est très proche de la réalité pour des objets relativement denses se déplaçant à basse vitesse, comme les poids utilisés lors des compétitions de lancer du poids. Par contre, dans plusieurs autres situations, on ne peut ignorer la résistance de l'air. Lorsque l'on tient compte de la résistance de l'air, l'analyse du mouvement de projectile devient plus complexe et dépasse le cadre du présent manuel. Le concept de « temps de déplacement dans les airs » dans certains sports, en particulier au football, est important et sera étudié dans l'exercice d'application 1.4.1 de la section Travaux pratiques à la fin de ce chapitre.

À TOI d'expérimenter

La comparaison de portées horizontales

Avec d'autres élèves, crée un tableau avec les titres suivants : angle de lancement, temps de vol, hauteur maximale et portée horizontale. Complète le tableau pour un projectile ayant une vélocité initiale de 25,00 m/s qui atterrit au même niveau que celui d'où il a été lancé. Fais tes calculs en conservant quatre chiffres significatifs, en augmentant de trois degrés chaque fois, de 3° à 87° (c.-à-d. 3°, 6°, 9°, … 81°, 84°, 87°). Que peux-tu conclure quant à la hauteur maximale et la portée horizontale ?

Réponses

9. a) $1{,}2 \times 10^3$ m
   b) 32 s
   c) $4{,}9 \times 10^3$ m
   d) $2{,}2 \times 10^2$ m/s [45° sous l'horizontale]
10. a) 2,4 s
    b) 22 m
    c) 18 m/s [60° sous l'horizontale]

Mise en pratique

Saisis bien les concepts

8. Une balle de hockey sur gazon est frappée et exécute un mouvement de projectile. La résistance de l'air est négligeable.
a) Quelle est la composante verticale de la vélocité au point le plus élevé du vol ?
b) Quelle est l'accélération au point le plus élevé du vol ?
c) Compare les temps de montée et de descente si la balle touche le sol au même niveau que celui d'où elle a été frappée.

9. Un boulet quitte la bouche d'un canon, incliné à 45° au-dessus de l'horizontale, à une vitesse de $2{,}2 \times 10^2$ m/s. La résistance de l'air est négligeable. Détermine
a) la hauteur maximale du boulet ;
b) son temps de vol ;
c) sa portée horizontale (au même niveau) ;
d) sa vélocité au moment de l'impact.

10. Au Moyen Âge, un prince prisonnier dans un château recouvre une pierre d'un message puis lance la pierre du haut d'un mur avec une vélocité initiale de 12 m/s [42° au-dessus de l'horizontale]. La pierre atterrit tout juste de l'autre côté du fossé du château, 9,5 m sous le niveau de départ (**figure 14**). Détermine
a) le temps de vol de la pierre ;
b) la largeur du fossé ;
c) la vélocité de la pierre au moment de l'impact.

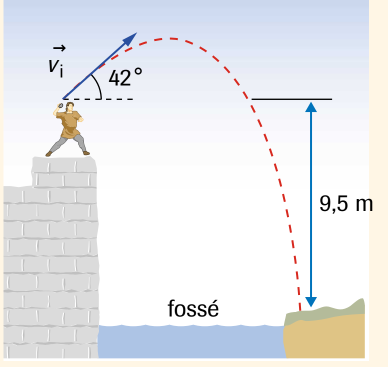


Figure 14
La situation de la question 10

RÉSUMÉ Le mouvement de projectile

- Un projectile est un objet qui se déplace dans l'air selon une trajectoire courbe sans système de propulsion.
- Le mouvement de projectile est un mouvement dont la vélocité horizontale et l'accélération verticale sont constantes.
- Les mouvements horizontal et vertical d'un projectile sont indépendants l'un de l'autre, mais simultanés.
- Les problèmes de mouvement de projectile peuvent être résolus en appliquant l'équation de la vélocité constante à la composante horizontale du mouvement et les équations du mouvement uniformément accéléré à la composante verticale du mouvement.

Section 1.4 Questions

Saisis bien les concepts

1. Quelle est l'accélération verticale d'un projectile dans sa montée, au sommet de sa trajectoire et dans sa descente ?

2. a) Si un projectile est lancé d'un point plus bas que son point d'arrivée, dans quelle partie du vol la valeur de sa vélocité est-elle maximale et dans quelle partie du vol est-elle minimale ?
b) Si un projectile est lancé d'un point plus haut que son point d'arrivée, dans quelle partie du vol la valeur de sa vélocité est-elle maximale ? minimale ?

3. Un projectile lancé horizontalement franchit 16 m dans le plan horizontal tout en tombant de 1,5 m dans le plan vertical. Détermine la vélocité initiale du projectile.

4. Une joueuse de tennis sert horizontalement, donnant à la balle une vitesse de 24 m/s à une hauteur de 2,5 m. La joueuse est à 12 m du filet. Le haut du filet est à 0,90 m au-dessus de la surface du court. La balle franchit le filet et tombe de l'autre côté.
a) Pendant combien de temps la balle demeure-t-elle dans les airs ?

b) Quel est le déplacement horizontal ?
c) Quelle est la vélocité au moment de l'impact ?
d) De quelle distance la balle évite-t-elle le filet ?

5. Un enfant lance une balle sur le toit d'une maison, puis l'attrape avec un gant de baseball 1 m au-dessus du sol, comme l'illustre la **figure 15**. La balle quitte le toit avec une vitesse de 3,2 m/s.
a) Pendant combien de temps la balle demeure-t-elle dans les airs après avoir quitté le toit ?
b) Quelle distance sépare le gant de l'extrémité du toit ?
c) Quelle est la vélocité de la balle juste avant de toucher le gant ?

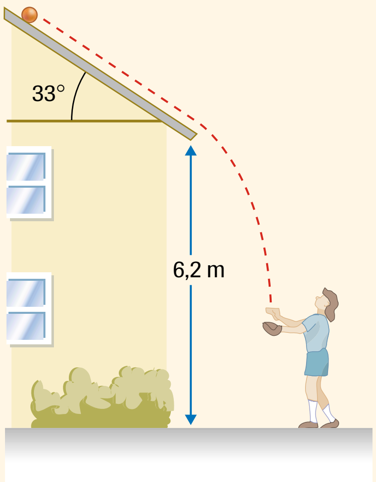


Figure 15

6. Pour un projectile qui atterrit au même niveau que celui d'où il est parti, indique un autre angle de lancement au-dessus de l'horizontale qui donnerait la même portée qu'un projectile lancé avec un angle de 36°, 16° et 45,6°.

7. Durant la Première Guerre mondiale, l'armée allemande a bombardé Paris avec un énorme canon que les Alliés appelaient « la grosse Bertha ». Supposons que ce canon tirait des obus avec une vélocité initiale de $1{,}1 \times 10^3$ m/s [45° au-dessus de l'horizontale].
a) Combien de temps chaque obus demeurait-il dans les airs si le point de lancement était au même niveau que celui du point d'arrivée ?
b) Détermine la portée horizontale maximale de chaque obus.
c) Détermine la hauteur maximale atteinte par chacun.

8. Un astronaute sur la Lune, où $|\vec{g}| = 1{,}6$ m/s^2, frappe une balle de golf, lui donnant une vélocité de 32 m/s [35° au-dessus de la surface horizontale de la Lune]. La balle retombe dans un cratère 15 m sous le niveau d'où elle a été frappée. Détermine
a) la hauteur maximale de la balle ;
b) son temps de vol ;
c) sa portée horizontale.

Mets en pratique tes connaissances

9. Le bec d'un tuyau d'arrosage est maintenu horizontalement au-dessus du sol (**figure 16**). Le jet d'eau effectue un mouvement de projectile. Avec un mètre et une calculatrice, décris comment tu déterminerais la vitesse de l'eau s'écoulant du tuyau.

Figure 16
Un mouvement de projectile dans un jardin

10. Décris comment tu construirais et essaierais un appareil, à partir de matériaux simples et peu coûteux, pour démontrer que deux pièces de monnaie lancées simultanément d'un même niveau, l'une lancée horizontalement et l'autre lâchée verticalement, touchent le sol en même temps.

Fais des liens

11. En situation réelle, le mouvement de projectile est souvent plus complexe que ce qui a été présenté dans cette section. Par exemple, pour déterminer la portée horizontale d'un poids dans une compétition de lancer du poids, on utilise l'équation suivante :

$$\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3$$

$$\Delta x = 0{,}30 \text{ m} + \frac{2v_i^2 \sin\theta \cos\theta}{g} + \frac{v_i \sin\theta \sqrt{v_i^2 \sin^2\theta + |2g\Delta y|}}{g}$$

où 0,30 m est la distance moyenne entre la main de l'athlète et la ligne de départ, v_i est la valeur de la vélocité initiale, θ est l'angle de lancement au-dessus de l'horizontale, Δy est la hauteur au-dessus du sol à laquelle le poids quitte la main, et g est la valeur de l'accélération due à la pesanteur (**figure 17**).
a) Détermine la portée du poids lâché 2,2 m au-dessus du sol avec une vélocité initiale de 13 m/s [42° au-dessus de l'horizontale].
b) Compare ta réponse en a) au record du monde de lancer du poids (actuellement de 23,1 m).
c) Selon toi, pourquoi l'équation présentée ici est-elle différente de l'équation de la portée horizontale trouvée dans cette section ?

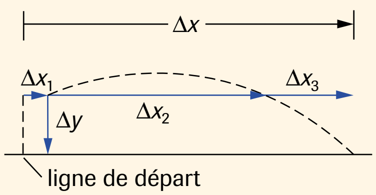


Figure 17

1.5 Les systèmes de référence et la vélocité relative

système de référence système de coordonnées par rapport auquel un mouvement est observé

Figure 1
Les Snowbirds des Forces armées canadiennes volent à une vélocité variant entre 400 et 600 km/h (par rapport au sol) ; toutefois, lorsqu'ils volent en formation, comme on le voit ici, la vélocité d'un appareil par rapport à un autre est nulle.

LE SAVAIS-TU ?

L'observation du système solaire
Il est facile de se représenter le mouvement des planètes autour du Soleil en prenant le Soleil comme système de référence. Les anciens astronomes avaient choisi la Terre comme système de référence pour tenter d'expliquer leurs observations du mouvement des planètes, mais, pour y arriver, ils ont dû inventer des forces qui n'existent pas. Par exemple, lorsqu'on suit le mouvement d'une planète plus éloignée du Soleil que la Terre (comme Mars) en se référant aux étoiles, la planète semble parfois changer de direction, comme si elle suivait le tracé d'un « S » allongé. En fait, la planète ne change pas de direction ; cela semble seulement le cas lorsque la Terre, qui est plus près du Soleil, la rattrape et la dépasse.

vélocité relative vélocité d'un objet par rapport à un système de référence particulier

Les spectacles aériens comportent à la fois des éléments d'excitation et de danger. Lorsque des avions à grande vitesse volent en formation (**figure 1**), les observateurs au sol les voient se déplacer à vélocité élevée. Vus de la cabine, cependant, tous les avions semblent avoir une vélocité nulle. Les observateurs au sol sont dans un certain système de référence, alors que les pilotes se trouvent dans le système de référence avion. Un **système de référence** est un système de coordonnées par rapport au mouvement décrit ou observé.

Le point de référence le plus fréquemment utilisé comme système de référence stationnaire ou fixe est la Terre ou le sol. Dans les exemples de mouvement présentés aux sections précédentes, on a supposé que tous les objets se déplaçaient par rapport au système de référence Terre. Cependant, il est parfois plus pratique de choisir d'autres systèmes. Par exemple, pour analyser le mouvement des planètes du système solaire, on utilise le système de référence Soleil. Si nous observons une marque près de la jante d'une roue qui tourne, la roue ou le centre de la roue sera le point de référence le plus pratique, comme à la **figure 2**.

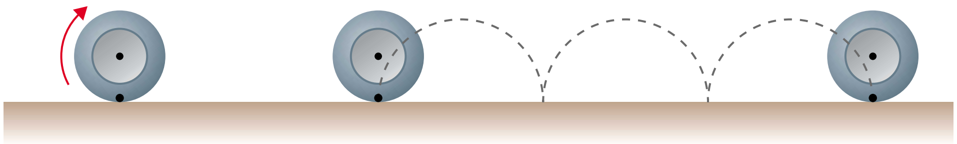


Figure 2
a) Le mouvement d'une marque près de la jante d'une roue qui tourne est facile à décrire si le centre de la roue sert de système de référence.
b) Le mouvement de la marque est beaucoup plus complexe si on l'observe en prenant la Terre comme système de référence.

La vélocité d'un objet par rapport à un système de référence particulier est appelée **vélocité relative**. Nous n'avons pas utilisé ce terme jusqu'à présent, car nous n'avons étudié le mouvement que par rapport à un seul système de référence à la fois. Désormais, nous analyserons des situations mettant en cause au moins deux systèmes de référence. C'est le cas lorsque des passagers marchent dans un train en mouvement, qu'un navire se déplace sur une rivière et que les Snowbirds ou d'autres avions volent là où le vent souffle par rapport au sol.

Pour analyser la vélocité relative dans plus d'un système de référence, nous utilisons le symbole de la vélocité relative, $\vec{v}$, avec deux lettres majuscules en indice. Le premier indice représente l'objet dont la vélocité est définie par rapport à l'objet identifié par le second indice. En d'autres mots, la deuxième majuscule représente le système de référence.

Par exemple, si P est un avion qui vole à 490 km/h [O] par rapport au système de référence Terre, T, alors $\vec{v}_{PT} = 490$ km/h [O]. Si nous considérons un autre système de référence qui influence le mouvement d'un avion, comme celui du vent ou de l'air, A, alors $\vec{v}_{PA}$ est la vélocité de l'avion par rapport à l'air et $\vec{v}_{AT}$ est la vélocité de l'air par rapport à la Terre. Les vecteurs $\vec{v}_{PA}$ et $\vec{v}_{AT}$ sont liés à $\vec{v}_{PT}$ par l'équation de la vélocité relative suivante :

$$\vec{v}_{PT} = \vec{v}_{PA} + \vec{v}_{AT}$$

Cette équation s'applique à tout mouvement, qu'il soit en une, deux ou trois dimensions. Par exemple, prends la situation en une dimension où le vent et l'avion se déplacent tous deux vers l'est. Si la vélocité de l'avion par rapport à l'air est de 430 km/h [E] et la vélocité de l'air par rapport au sol de 90 km/h [E], alors la vélocité de l'avion par rapport au sol est de :

$$\begin{aligned}\vec{v}_{PT} &= \vec{v}_{PA} + \vec{v}_{AT}\\ &= 430 \text{ km/h [E]} + 90 \text{ km/h [E]}\\ \vec{v}_{PT} &= 520 \text{ km/h [E]}\end{aligned}$$

Ainsi, avec un vent de dos, la vitesse par rapport au sol croît — ce qui est logique. Tu peux facilement déterminer que la vitesse par rapport au sol de l'avion dans cet exemple serait de seulement 340 km/h [E] avec un vent de face (i.e., si $\vec{v}_{AS} = 90$ km/h [O]).

Avant de voir les vélocités relatives en deux dimensions, assure-toi de comprendre l'utilisation des indices dans une équation de la vélocité relative. À la **figure 3**, le membre de gauche de l'équation se compose d'une seule vélocité relative, alors que le membre de droite présente la somme vectorielle de deux vélocités relatives ou plus. Note que l'indice « extérieur » et l'indice « intérieur » du membre de droite ont le même ordre que les indices du membre de gauche.

$$\vec{v}_{PT} = \vec{v}_{PA} + \vec{v}_{AT} \qquad \vec{v}_{CT} = \vec{v}_{CW} + \vec{v}_{OT}$$

$$\vec{v}_{CT} = \vec{v}_{CW} + \vec{v}_{OT} \qquad \vec{v}_{DS} = \vec{v}_{DT} + \vec{v}_{TF} + \vec{v}_{FS}$$

Figure 3
Le principe des équations de la vélocité relative

PROBLÈME 1

Un canoéiste olympique, capable de se déplacer à une vitesse de 4,5 m/s dans des eaux calmes, traverse une rivière qui s'écoule avec une vélocité de 3,2 m/s [E]. La rivière a une largeur de $2{,}2 \times 10^2$ m.

a) Si le canoë se dirige vers le nord, comme à la **figure 4**, quelle est sa vélocité par rapport à la rive ?

b) Combien de temps dure la traversée ?

c) Où se situe la position d'arrivée du canoë par rapport à sa position de départ ?

d) Si le canoë accostait directement devant sa position de départ, à quel angle aurait-il été dirigé ?

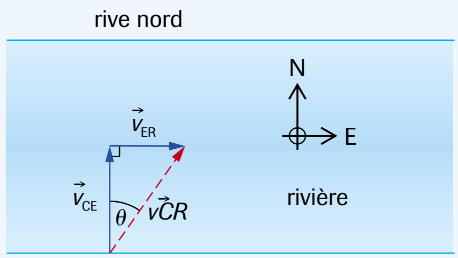


Figure 4
La situation

Solution

En utilisant les lettres C pour le canoë, R pour la rive et E pour l'eau, les vélocités relatives connues sont :

$\vec{v}_{CE} = 4{,}5$ m/s [N]
$\vec{v}_{ER} = 3{,}2$ m/s [E]

LE SAVAIS-TU ?

La direction des vents
Par convention, un vent d'ouest est un vent qui souffle de l'ouest, et donc son vecteur vélocité pointe vers l'est (par exemple, un vent d'ouest pourrait souffler à 45 km/h [E]). Un vent du sud-ouest a une orientation de [45° N-E] ou de [45° E-N].

LE SAVAIS-TU ?

La terminologie de la navigation
Dans les avions, les navigateurs utilisent des termes précis pour certains concepts de la vélocité relative. La vitesse aérodynamique est la vitesse d'un avion par rapport à l'air. La vitesse du vent est la vitesse du vent par rapport au sol. La vitesse par rapport au sol est la vitesse de l'avion par rapport au sol. Le cap est l'orientation de l'avion. La route est la trajectoire par rapport à la Terre ou au sol. Sur la mer, les navigateurs utilisent de la même façon les termes « cap » et « route ».

CONSEIL PRATIQUE

Une autre notation

Une autre manière d'écrire une équation de la vélocité relative est de placer l'indice de l'objet observé avant $\vec{v}$ et l'indice du système de référence après $\vec{v}$. En utilisant cette méthode, l'équation pour notre exemple d'avion dans l'air devient ${}_{P}\vec{v}_{T} = {}_{P}\vec{v}_{A} + {}_{A}\vec{v}_{T}$.

a) Puisque l'inconnue est $\vec{v}_{CR}$, nous utilisons l'équation de la vélocité relative :

$$\vec{v}_{CR} = \vec{v}_{CE} + \vec{v}_{ER}$$
$$\vec{v}_{CR} = 4{,}5 \text{ m/s [N]} + 3{,}2 \text{ m/s [E]}$$

En appliquant la loi de Pythagore, nous obtenons :

$$\left|\vec{v}_{CR}\right| = \sqrt{(4{,}5 \text{ m/s})^2 + (3{,}2 \text{ m/s})^2}$$
$$\left|\vec{v}_{CR}\right| = 5{,}5 \text{ m/s}$$

La trigonométrie nous donne l'angle θ de la **figure 4** :

$$\theta = \tan^{-1}\frac{3{,}2 \text{ m/s}}{4{,}5 \text{ m/s}}$$
$$\theta = 35°$$

La vélocité du canoë par rapport à la rive est de 5,5 m/s [35° E-N].

b) Pour déterminer le temps requis pour traverser la rivière, nous considérons seulement le mouvement perpendiculaire à la rivière.

$\Delta\vec{d} = 2{,}2 \times 10^2 \text{ m [N]}$

$\vec{v}_{CE} = 4{,}5 \text{ m/s [N]}$

$\Delta t = ?$

À partir de $\vec{v}_{CE} = \dfrac{\Delta\vec{d}}{\Delta t}$, nous avons :

$$\Delta t = \frac{\Delta\vec{d}}{\vec{v}_{CE}} = \frac{2{,}2 \times 10^2 \text{ m [N]}}{4{,}5 \text{ m/s [N]}}$$
$$\Delta t = 49 \text{ s}$$

Le temps de traversée est de 49 s.

c) Le courant entraîne le canoë vers l'est (en aval) pendant qu'il traverse la rivière. Le déplacement en aval est

$$\Delta\vec{d} = \vec{v}_{ER}\Delta t = (3{,}2 \text{ m/s [E]})(49 \text{ s})$$
$$\Delta\vec{d} = 1{,}6 \times 10^2 \text{ m [E]}$$

La position d'arrivée est $2{,}2 \times 10^2$ m [N] et $1{,}6 \times 10^2$ m [E] à partir de la position de départ. En utilisant la loi de Pythagore et la trigonométrie, on trouve un déplacement résultant de $2{,}7 \times 10^2$ m [36° E-N].

d) La vélocité du canoë par rapport à l'eau, $\vec{v}_{CE}$, qui a une norme de 4,5 m/s, est l'hypoténuse du triangle de la **figure 5**. La vélocité résultante $\vec{v}_{CR}$ doit pointer directement vers le nord pour que le canoë accoste directement au nord de la position de départ.

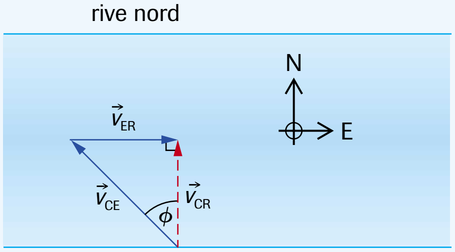


Figure 5
La solution de la partie d)

L'angle dans le triangle est

$$\phi = \sin^{-1}\frac{|\vec{v}_{ER}|}{|\vec{v}_{CE}|}$$

$$= \sin^{-1}\frac{3{,}2 \text{ m/s}}{4{,}5 \text{ m/s}}$$

$$\phi = 45°$$

L'orientation requise pour le canoë est [45° O-N].

PROBLÈME 2

La vitesse aérodynamique d'un petit avion (P) est de 215 km/h. Le vent souffle de l'ouest à 57 km/h. Détermine la vélocité de l'avion par rapport au sol si le pilote maintient l'avion orienté à [34° E-N].

Solution

Nous utiliserons les indices P pour l'avion, E pour la Terre ou le sol et A pour l'air.

$\vec{v}_{PA} = 215$ km/h [34° E-N]

$\vec{v}_{AT} = 57$ km/h [E]

$\vec{v}_{PT} = ?$

$$\vec{v}_{PT} = \vec{v}_{PA} + \vec{v}_{AT}$$

Cette somme vectorielle est présentée à la **figure 6**. Nous résoudrons ce problème en utilisant la loi des sinus et des cosinus ; nous pourrions aussi utiliser un diagramme vectoriel à l'échelle ou les composantes, comme cela est décrit à l'annexe A.

En utilisant la loi des cosinus :

$$|\vec{v}_{PT}|^2 = |\vec{v}_{PA}|^2 + |\vec{v}_{AT}|^2 - 2|\vec{v}_{PA}||\vec{v}_{AT}| \cos\phi$$

$$= (215 \text{ km/h})^2 + (57 \text{ km/h})^2 - 2(215 \text{ km/h})(57 \text{ km/h}) \cos 124°$$

$$|\vec{v}_{PT}| = 251 \text{ km/h}$$

En utilisant la loi des sinus :

$$\frac{\sin\theta}{|\vec{v}_{AT}|} = \frac{\sin\phi}{|\vec{v}_{PT}|}$$

$$\sin\theta = \frac{57 \text{ km/h } (\sin 124°)}{251 \text{ km/h}}$$

$$\theta = 11°$$

L'orientation de $\vec{v}_{PT}$ est 34° + 11° = 45° E-N. Donc $\vec{v}_{PT} = 251$ km/h [45° E-N].

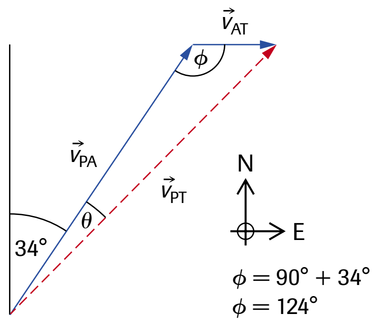


Figure 6
Résolution du problème 2 en utilisant la trigonométrie

Quelquefois, il est utile de savoir que la vélocité d'un objet X par rapport à un objet Y a la même norme que la vélocité de Y par rapport à X, mais une orientation opposée : $\vec{v}_{XY} = -\vec{v}_{YX}$. Prends, par exemple, une coureuse C qui passe à côté d'une personne P assise sur un banc de parc. Si $\vec{v}_{CP} = 2{,}5$ m/s [E], alors P voit C se déplaçant vers l'est à 2,5 m/s. Pour C, P semble se déplacer à une vélocité de 2,5 m/s [O]. Ainsi, $\vec{v}_{PC} = -2{,}5$ m/s [E] = 2,5 m/s [O]. Dans le prochain problème, nous utiliserons cette relation pour réaliser une soustraction vectorielle.

CONSEIL PRATIQUE

La soustraction des vecteurs
Pour reformuler une équation de la vélocité relative, comme $\vec{v}_{PT} = \vec{v}_{PA} + \vec{v}_{AT}$, en isolant $\vec{v}_{PA}$ ou $\vec{v}_{AT}$, on doit utiliser la soustraction vectorielle. Par exemple, $\vec{v}_{PA} = \vec{v}_{PT} - \vec{v}_{AT}$ est l'équivalent de $\vec{v}_{PA} = \vec{v}_{PT} + (-\vec{v}_{AT})$. L'annexe A présente l'arithmétique des vecteurs.

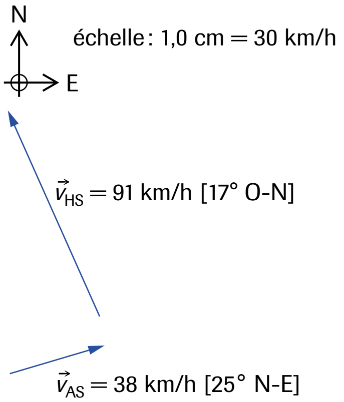


Figure 7
La situation du problème 3

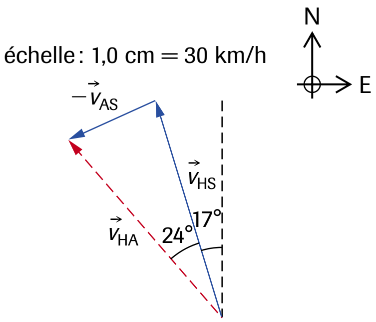


Figure 8
La solution du problème 3

PROBLÈME 3

Un hélicoptère en vol à un endroit où la vélocité moyenne du vent est de 38 km/h [25° N-E] doit atteindre une vélocité de 91 km/h [17° O-N] par rapport au sol pour arriver à destination à temps (voir la **figure 7**). Quelle doit être sa vélocité par rapport à l'air ?

Solution

En utilisant les lettres H pour l'hélicoptère, S pour le sol et A pour l'air, nous pouvons représenter les vélocités relatives ainsi :

$\vec{v}_{HS}$ = 91 km/h [17° O-N]
$\vec{v}_{AS}$ = 38 km/h [25° N-E]
$\vec{v}_{HA}$ = ?

$$\vec{v}_{HS} = \vec{v}_{HA} + \vec{v}_{AS}$$

Reformulons l'équation pour trouver l'inconnue :

$$\vec{v}_{HA} = \vec{v}_{HS} - \vec{v}_{AS}$$
$$\vec{v}_{HA} = \vec{v}_{HS} + (-\vec{v}_{AS}) \quad \text{où } -\vec{v}_{AS} \text{ est 38 km/h [25° S-O]}$$

La **figure 8** présente cette soustraction vectorielle. En mesurant directement sur le diagramme à l'échelle, nous voyons que la vélocité de l'hélicoptère par rapport à l'air doit être de 94 km/h [41° O-N]. On peut obtenir le même résultat en utilisant les composantes, ou encore la loi des sinus et des cosinus.

Mise en pratique

Saisis bien les concepts

1. Les équations suivantes sont incorrectes. Corrige-les.
   a) $\vec{v}_{LE} = \vec{v}_{LD} + \vec{v}_{LE}$
   b) $\vec{v}_{AC} = \vec{v}_{AB} - \vec{v}_{BC}$
   c) $\vec{v}_{MN} = \vec{v}_{NT} + \vec{v}_{TM}$ (Trouve deux équations justes.)
   d) $\vec{v}_{LP} = \vec{v}_{ML} + \vec{v}_{MN} + \vec{v}_{NO} + \vec{v}_{OP}$

2. Un paquebot de croisière se déplace avec une vélocité de 2,8 m/s [vers l'avant] par rapport à l'eau. Un groupe de touristes marchent sur le pont avec une vélocité de 1,1 m/s par rapport au pont. Détermine leur vélocité par rapport à l'eau s'ils marchent a) vers la proue, b) vers la poupe et c) à tribord. (La proue est l'avant du bateau, la poupe est l'arrière et tribord est la droite du bateau quand on fait face à la proue.)

3. Le paquebot de la question 2 navigue avec une vélocité de 2,8 m/s [N] au large de la côte de Colombie-Britannique, à un endroit où le courant de l'océan a une vélocité par rapport à la côte de 2,4 m/s [N]. Détermine la vélocité du groupe de touristes par rapport à la côte s'ils se dirigent à tribord.

4. Un avion qui se déplace avec une vélocité par rapport à l'air de 320 km/h [28° S-O] survole Winnipeg. La vélocité du vent est de 72 km/h [S]. Détermine le déplacement de l'avion par rapport à Winnipeg 2 heures plus tard.

Fais des liens

5. Les pilotes de ligne sont souvent en mesure de profiter du courant-jet pour réduire la durée des vols au minimum. Renseigne-toi davantage sur l'importance du courant-jet en aviation.

ALLER À www.beaucheminediteur.com/physique

Réponses

2. a) 3,9 m/s [vers l'avant]
   b) 1,7 m/s [vers l'avant]
   c) 3,0 m/s [21° à droite vers l'avant]
3. 5,3 m/s [12° E-N]
4. $7{,}2 \times 10^2$ km [30° S-O] de Winnipeg

RÉSUMÉ Les systèmes de référence et la vélocité relative

- Un système de référence est un système de coordonnées par rapport auquel un mouvement peut être observé.
- La vélocité relative est la vélocité d'un objet par rapport à un système de référence précis (équation typique de vélocité relative : $\vec{v}_{PE} = \vec{v}_{PA} + \vec{v}_{AE}$, où P est l'objet observé et E est l'observateur ou le système de référence).

Section 1.5 Questions

Saisis bien les concepts

1. Deux kayakistes peuvent se déplacer à la même vitesse en eau calme. L'un se met à traverser la rivière, alors que l'autre se dirige à angle vers l'amont de la même rivière afin d'accoster directement de l'autre côté face à sa position de départ. Supposons que la vitesse des kayakistes est supérieure à la vitesse du courant de la rivière. Lequel des kayakistes atteint le côté opposé le premier ? Explique.

2. Un hélicoptère vole avec une vitesse aérodynamique de 55 m/s. Il se dirige à [35° N-O]. Quelle est sa vélocité par rapport au sol si la vélocité du vent est de a) 21 m/s [E] et b) 21 m/s [22° O-N] ?

3. Une nageuse qui atteint une vitesse de 0,75 m/s en eau calme décide de traverser une rivière d'une largeur de 72 m. La nageuse arrive sur la rive opposée à 54 m en aval de son point de départ.
   a) Détermine la vitesse du courant de la rivière.
   b) Détermine la vélocité de la nageuse par rapport à la rive.
   c) Détermine la direction que la nageuse devrait prendre pour arriver de l'autre côté face à sa position de départ.

4. On veut se rendre en avion directement de Londres en Angleterre à Rome en Italie en 3,5 heures. Le déplacement représente $1,4 \times 10^3$ km [43° E-S]. Le vent souffle avec une vélocité de 75 km/h [E]. Détermine quelle doit être la vélocité de l'avion par rapport à l'air pour atteindre cet objectif.

Mets en pratique tes connaissances

5. Un élève de physique dans un train évalue la vitesse des gouttes de pluie qui tombent sur la vitre du wagon. La **figure 9** présente la méthode qu'utilise l'élève pour estimer l'angle du déplacement des gouttes sur la vitre.
   a) En supposant que les gouttes de pluie tombent directement vers le bas par rapport au système de référence Terre et que la vitesse du train est de 64 km/h, détermine la vitesse verticale des gouttes.
   b) Décris les sources d'erreur dans ce genre d'estimation.

Figure 9
L'estimation de la vitesse des gouttes de pluie

Fais des liens

6. Tu as fait l'enregistrement vidéo d'un bulletin météorologique présentant un reporter dans un ouragan. Comment analyserais-tu la vidéo pour évaluer la vitesse du vent ? Suppose que le vent souffle horizontalement et que la composante verticale de la vélocité des gouttes de pluie est la même que celle des gouttes de pluie de la question précédente.

RECHERCHE 1.3.1

Une comparaison de vitesses ultimes

On peut déterminer la relation entre la vitesse ultime et la masse d'un objet en observant le mouvement de filtres à café à fond plat tombant vers un détecteur de mouvement (**figure 1**).

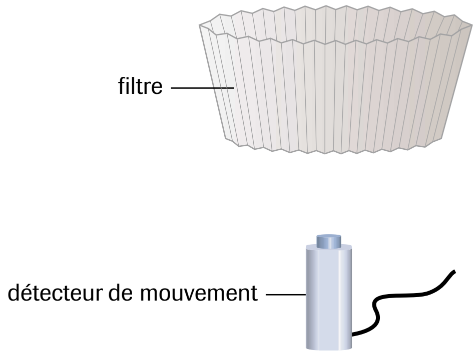


Figure 1
L'enregistrement par un détecteur de mouvement de la chute de filtres à café

Question

a) Formule une question appropriée pour cette recherche.

Hypothèse et prévision

b) Écris une hypothèse qui répond à la question.

c) Sur le même graphique vitesse-temps, trace trois courbes représentant ce que tu prévois observer avec un filtre d'abord, puis deux, et finalement trois filtres (l'un dans l'autre) tombant vers un détecteur de mouvement qui enregistre leur vitesse. Identifie chaque courbe sur le graphique.

Habiletés de recherche

- ● Questionner
- ● Émettre une hypothèse
- ● Prévoir
- ● Planifier
- ● Mener une expérience
- ● Enregistrer, noter
- ● Analyser
- ● Évaluer
- ● Communiquer

Élaboration de l'expérience

d) Rédige les étapes de la recherche que ton groupe devra suivre pour répondre à la question et vérifie ton hypothèse et tes prévisions. N'oublie pas les mesures de sécurité.

e) Fais approuver ton plan par ton enseignant avant de commencer.

Matériel

f) Dresse la liste du matériel et des appareils dont tu auras besoin pour réaliser cette recherche.

Analyse

g) Exécute ton plan approuvé en traçant un seul graphique vitesse-temps avec les résultats fournis par le détecteur de mouvement.

Évaluation

h) Évalue ton hypothèse et tes prévisions.

i) Énumère les sources d'erreur aléatoires et systématiques dans cette recherche. Suggère des façons de réduire au minimum ces erreurs.

Synthèse

j) Décris ta façon de concevoir une recherche pour déterminer les facteurs qui affectent les vitesses ultimes de sphères coulant dans l'eau. Ne considère pas seulement la masse, mais au moins une autre variable intéressante.

RECHERCHE 1.4.1

L'analyse du mouvement de projectile

Une manière pratique d'analyser le mouvement de projectile consite à utiliser une table à coussin d'air sur laquelle le frottement entre la rondelle et la surface est réduit au minimum (**figure 1**). Si la table est surélevée d'un côté, alors la rondelle qui est lancée avec une certaine vélocité horizontale effectuera un mouvement de projectile. Tu peux analyser ce mouvement en utilisant un ensemble de diagrammes et d'équations.

Habiletés de recherche

- ○ Questionner
- ● Émettre une hypothèse
- ● Prévoir
- ○ Planifier
- ● Mener une expérience
- ● Enregistrer, noter
- ● Analyser
- ● Évaluer
- ● Communiquer

Il y a danger d'électrocution. Laisse l'étinceleur fermé jusqu'à ce que tu sois prêt à recueillir les données. Ne touche pas à la table à coussin d'air quand l'étinceleur est allumé. Les deux rondelles doivent demeurer en contact avec le papier carbone chaque fois que l'étinceleur est activé.

Maintiens une très faible inclinaison de la table à coussin d'air par rapport à l'horizontale.

RECHERCHE 1.4.1 *suite*

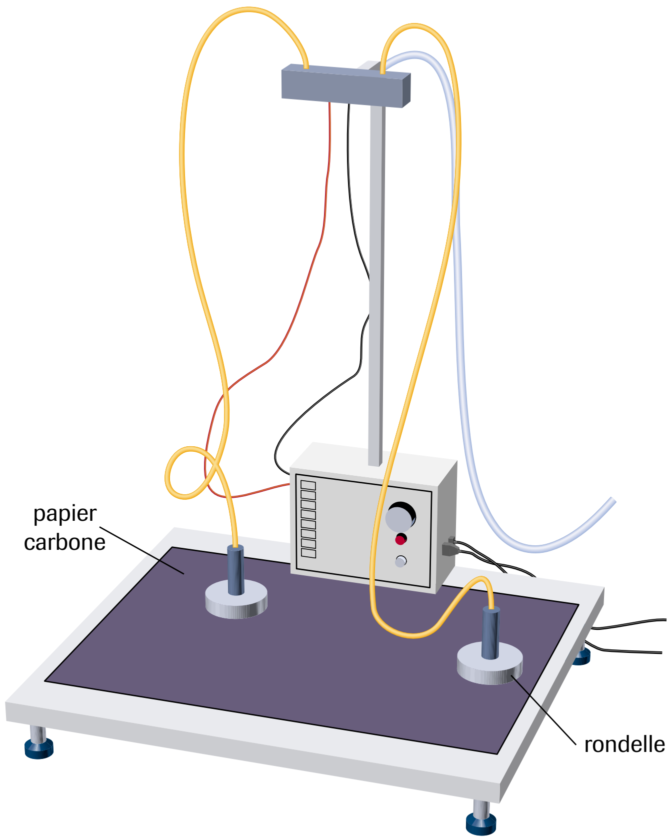


Figure 1
Lorsque tu utilises une table à coussin d'air avec une rondelle à étincelles, garde une autre rondelle près du bord de la table en contact avec le papier carbone pour éviter une rupture de courant vers l'étinceleur.

Questions

I) Quelle est l'orientation de l'accélération d'un projectile sur un plan incliné ?

II) Comment peux-tu démontrer que la composante verticale du mouvement d'un projectile sur un plan incliné est indépendante de la composante horizontale ?

Hypothèse

a) Émets des hypothèses qui répondent aux questions. Justifie chaque réponse.

Matériel

Pour la classe :
une table à coussin d'air et les appareils qui y sont reliés
des briques ou des livres pour supporter le côté surélevé de la table

Pour chaque groupe de 4 ou 5 élèves :
un mètre

Pour chaque élève :
3 feuilles de papier de bricolage
une règle en centimètres
un rapporteur

Marche à suivre

1. En travaillant en groupe, détermine l'angle d'inclinaison de la table à coussin d'air avec la plus grande précision possible. (Utilise la trigonométrie.)
2. Avec l'étinceleur éteint et l'alimentation d'air en marche, désigne une personne du groupe pour arrêter la rondelle avant qu'elle frappe le bord de la table. Exerce-toi à mettre en mouvement une des rondelles afin de satisfaire aux conditions suivantes :
   mouvement A : $v_{ix} = 0$; $v_{iy} = 0$
   mouvement B : $v_{ix} > 0$; $v_{iy} = 0$
   mouvement C : $v_{ix} > 0$; $v_{iy} > 0$
3. Lorsque tu jugeras satisfaisants l'éxécution des mouvements et le maniement sécuritaire de l'appareil, tu pourras mettre en marche l'étinceleur et créer les mouvements A, B et C sur différentes feuilles de papier de bricolage pour chacun des membres du groupe. Identifie chaque mouvement et indique la fréquence et la période de l'étinceleur.

   Note : au cours des étapes qui restent, la dextérité et la précision sont très importantes.
4. Pour le mouvement linéaire (voir la **figure 2**, mouvement A), dessine entre 6 et 10 vecteurs vélocité, $\vec{v}_1$, $\vec{v}_2$, … $\vec{v}_n$, en traçant les vecteurs déplacement et en divisant chacun par l'intervalle de temps qui lui est associé. Sers-toi de la soustraction vectorielle pour déterminer les vecteurs $\Delta\vec{v}$ correspondants, comme dans le diagramme. Ensuite, calcule l'accélération moyenne de chaque vecteur $\Delta\vec{v}$ en utilisant l'équation

   $$\vec{a}_{\text{moy},n} = \frac{\vec{v}_{n+1} - \vec{v}_n}{\Delta t}$$

   où Δt est l'intervalle de temps entre le milieu de l'intervalle de $\vec{v}_n$ et le milieu de l'intervalle de $\vec{v}_{n+1}$. Enfin, calcule l'accélération moyenne de toutes les valeurs $\vec{a}_{\text{moy},n}$.

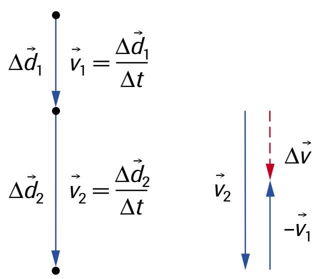


Figure 2
La variation de vélocité pour un mouvement sans frottement sur un plan incliné

RECHERCHE 1.4.1 *suite*

5. Répète l'étape 4 pour le mouvement avec une certaine vélocité horizontale initiale (voir la **figure 3**, mouvement B). Ne tiens pas compte des points produits lors de la poussée de la rondelle ou après que la rondelle s'est approchée du bord de la table.

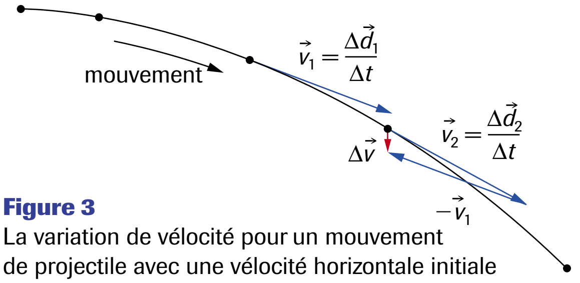


Figure 3
La variation de vélocité pour un mouvement de projectile avec une vélocité horizontale initiale

6. Répète l'étape 5 pour le mouvement effectué par la rondelle qu'on lance vers le haut par rapport à sa position initiale (voir la **figure 4**, mouvement C).

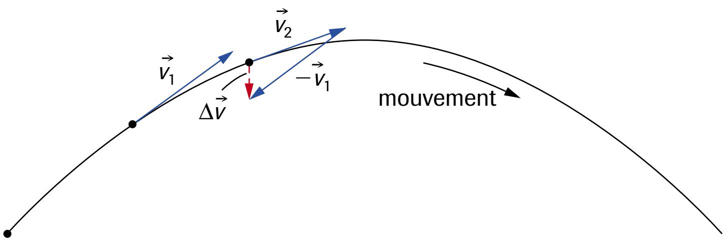


Figure 4
La variation de vélocité pour un mouvement de projectile avec une vélocité initiale inclinée par rapport à l'horizontale

Analyse

b) Compare les grandeurs et les orientations des accélérations pour les trois mouvements à l'étude dans cette recherche.

c) Sers-toi de l'inclinaison de la table, θ, pour déterminer la grandeur de l'accélération au bas du plan incliné. (*Indice :* utilise l'équation $a = g \sin \theta$, où $g = 9{,}8$ m/s^2.)

d) Trouve la différence en pourcentage entre ta réponse en e) et chacune des accélérations moyennes.

e) Réponds aux questions I) et II).

Évaluation

f) Commente la justesse de ton hypothèse.

g) Décris les sources d'erreur aléatoires et systématiques dans cette recherche. Comment pourrais-tu réduire au minimum ces sources d'erreur ?

Synthèse

h) Quand on analyse les vecteurs des mouvements dans cette recherche, vaudrait-il mieux utiliser de plus petites ou de plus grandes valeurs de Δt ? Pourquoi ?

i) Explique pourquoi, en d), on t'a demandé de calculer la différence en pourcentage plutôt que l'erreur dans le pourcentage.

j) Prouve que l'équation $a = g \sin \theta$ donne bel et bien la grandeur de l'accélération au bas d'un plan sans frottement, incliné à un angle θ par rapport à l'horizontale.

EXERCICE D'APPLICATION 1.4.1

Le temps de déplacement dans les airs du ballon au football

Habiletés de recherche

- ○ Questionner
- ○ Émettre une hypothèse
- ● Prévoir
- ○ Planifier
- ○ Mener une expérience
- ○ Enregistrer, noter
- ● Analyser
- ● Évaluer
- ● Communiquer

Pour permettre à l'équipe qui dégage (**figure 1**) de courir vers le receveur pour le plaquer, le temps de déplacement dans les airs du ballon doit être aussi long que possible. De plus, la portée horizontale du ballon doit aussi être grande pour permettre aux joueurs de se positionner avantageusement sur le terrain. L'angle de lancement, la vitesse initiale ainsi que l'orientation et la vitesse du vent sont des facteurs qui affectent le mouvement du ballon, rendant l'expérience complexe. Cet exercice d'application utilise un petit échantillon de données tirées d'enregistrements vidéo de matchs de football. En analysant les données, réfléchis à la façon dont tu

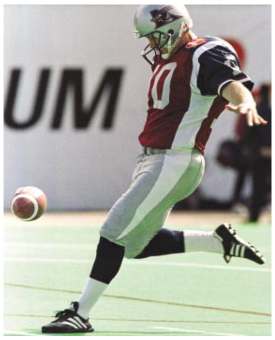


Figure 1
Pense à tous les facteurs qui affectent le temps de déplacement dans les airs et la portée horizontale du ballon durant un match.

EXERCICE D'APPLICATION 1.4.1 *suite*

recueillerais un ensemble de données de cinématique à partir d'une vidéo de ton sport favori.

Question

Comment le fait de maximiser le temps de déplacement dans les airs du ballon et la portée horizontale d'un dégagement au football se compare-t-il au fait de maximiser le temps de vol et la portée horizontale d'un projectile « idéal » dont l'arrivée se produit au même niveau que celui de départ ?

Hypothèse et prévision

Un projectile idéal (qui subit une résistance de l'air négligeable) a une portée horizontale maximale lorsqu'il est lancé à 45°. Son temps de vol s'accroît pour des angles supérieurs à 45° au-dessus de l'horizontale et décroît pour des angles inférieurs à 45°.

a) Peux-tu prédire quelle serait la gamme idéale d'angles de lancement d'un ballon permettant d'obtenir à la fois un temps de déplacement dans les airs suffisamment long et une bonne portée horizontale ?

Matériel

Pour les données déjà analysées :
des enregistrements vidéo de quelques matchs de football
un magnétoscope avec une commande de pause à intervalles de temps connus (comme à chaque seconde)
une feuille quadrillée transparente pour déterminer les angles et les distances sur l'écran
un rapporteur
une règle

Pour l'analyse de l'élève :
du papier graphique

Preuve

Plusieurs dégagements ont été analysés pour déterminer l'angle de lancement θ, la portée horizontale x, le temps de déplacement dans les airs Δt et une estimation de la vélocité initiale du ballon. Pour cet exercice, seuls les dégagements avec une vélocité initiale de grandeur $3,0 \times 10^1$ m/s et dont l'angle de lancement varie entre 35° et 65°, à intervalles de 5°, ont été retenus. Le **tableau 1** présente les résultats.

Tableau 1 Données pour l'exercice d'application 1.4.1

x (m)	58	60	60	58	54	49	44
Δt (s)	3,1	3,5	3,8	4,2	4,4	4,6	4,7
θ (°)	35	40	45	50	55	60	65

Analyse

b) Trace un graphique de la portée horizontale x en fonction du temps de déplacement dans les airs Δt. L'axe vertical devra être gradué de 40 à 60 m, et l'axe horizontal, de 3,0 à 5,0 s. Identifie l'angle de lancement correspondant à chaque point du graphique.

c) En regardant le graphique et les données du tableau, établis ce qui serait selon toi une gamme d'angles de lancement qui permettrait d'obtenir un temps de déplacement dans les airs suffisamment long et une bonne portée horizontale. Justifie ton choix.

d) Réponds à la question.

Évaluation

e) La preuve et l'analyse confirment-elles ou réfutent-elles ton hypothèse ? Justifie ta réponse.

f) Quelles hypothèses doit-on faire pour recueillir les données présentées dans le tableau ?

g) Énumère les sources d'erreur aléatoires et systématiques probables dans ce type de mesure et d'analyse.

h) Si tu essayais d'analyser le mouvement d'un projectile d'une activité sportive, que ferais-tu pour obtenir les données les plus précises possible ?

Synthèse

i) Si tu avais le choix d'analyser les dégagements au football dans un stade à ciel ouvert ou dans un stade fermé, que choisirais-tu pour obtenir les résultats les plus précis possible ? Pourquoi ?

j) Comment les connaissances acquises dans cet exercice d'application pourraient-elles permettre aux athlètes d'améliorer leur performance ?

RÉSUMÉ

Objectifs clés

- analyser, prévoir en termes quantitatifs et expliquer le mouvement linéaire de divers objets dans le plan horizontal, le plan vertical et tout plan incliné (par exemple, le mouvement d'un skieur dévalant une pente) (1.1, 1.2, 1.3, 1.5)
- analyser, prévoir en termes quantitatifs et expliquer le mouvement d'un projectile en termes des composantes horizontale et verticale de son mouvement (1.4)
- réaliser des expériences ou des simulations avec des objets animés d'un mouvement en deux dimensions, puis analyser et afficher les données obtenues sous une forme appropriée (1.1, 1.2, 1.3, 1.4)
- prévoir le mouvement d'un objet en connaissant sa vitesse initiale et la direction de son mouvement (par exemple, sa vitesse ultime et son mouvement de projectile), puis vérifier la prévision expérimentalement (1.3, 1.4)
- concevoir ou construire des outils technologiques à partir des concepts du mouvement de projectile (1.4)

Mots clés

cinématique
grandeur scalaire
vitesse instantanée
vitesse moyenne
quantité vectorielle
position
déplacement
vélocité
vélocité instantanée
vélocité moyenne
tangente
accélération
accélération moyenne
accélération instantanée
accélération due à la pesanteur
chute libre
vitesse ultime
projectile
mouvement de projectile
portée horizontale
système de référence
vélocité relative

Équations clés

- $v_{moy} = \dfrac{d}{\Delta t}$ (1.1)
- $\Delta\vec{d} = \vec{d}_2 - \vec{d}_1$ (1.1)
- $\vec{v}_{moy} = \dfrac{\Delta\vec{d}}{\Delta t}$ (1.1)
- $\vec{v} = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \dfrac{\Delta\vec{d}}{\Delta t}$ (1.1)
- $\Delta\vec{d} = \Delta\vec{d}_1 + \Delta\vec{d}_2 + \ldots$ (1.1)
- $\vec{a}_{moy} = \dfrac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \dfrac{\vec{v}_f - \vec{v}_i}{\Delta t}$ (1.2)
- $\vec{a} = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \dfrac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ (1.2)
- $\Delta\vec{d} = \vec{v}_i\Delta t + \dfrac{1}{2}\vec{a}(\Delta t)^2$ (1.2)
- $\Delta\vec{d} = \vec{v}_{moy}\Delta t = \dfrac{(\vec{v}_i + \vec{v}_f)}{2}\Delta t$ (1.2)
- $v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta d$ (1.2)
- $\Delta\vec{d} = \vec{v}_f\Delta t - \dfrac{1}{2}\vec{a}(\Delta t)^2$ (1.2)
- $a_{moy,x} = \dfrac{\Delta v_x}{\Delta t} = \dfrac{v_{fx} - v_{ix}}{\Delta t}$ (1.2)
- $a_{moy,y} = \dfrac{\Delta v_y}{\Delta t} = \dfrac{v_{fy} - v_{iy}}{\Delta t}$ (1.2)
- $a_y = \dfrac{v_{fy} - v_{iy}}{\Delta t}$ (1.3)
- $\Delta y = v_{iy}\Delta t + \dfrac{1}{2}a_y(\Delta t)^2$ (1.3)
- $\Delta y = \dfrac{(v_{iy} + v_{fy})}{2}\Delta t$ (1.3)
- $v_{fy}{}^2 = v_{iy}{}^2 + 2a_y\Delta y$ (1.3)
- $\Delta y = v_{fy}\Delta t - \dfrac{1}{2}a_y(\Delta t)^2$ (1.3)
- $v_{ix} = \dfrac{\Delta x}{\Delta t}$ (1.4)
- $\vec{v}_{PT} = \vec{v}_{PA} + \vec{v}_{AT}$ (1.5)

RÉDIGE un résumé

Dessine un grand schéma présentant le trajet d'une balle qui effectue un mouvement de projectile. Identifie plusieurs positions le long du trajet (A, B, C, D et E) et inscris le plus de détails possible concernant le mouvement. Par exemple, indique la grandeur et l'orientation (lorsque c'est possible) des composantes horizontale et verticale de la position, du déplacement, de la vélocité instantanée et de l'accélération instantanée à chaque position. Montre ce qui arrive à ces grandeurs si tu supposes que la résistance de l'air près de la fin du trajet n'est plus négligeable. Enfin, inscris les détails concernant les systèmes de référence (par exemple, un système de référence pourrait être le terrain de jeu, et un autre celui d'un athlète courant parallèlement au mouvement de la balle juste avant de l'attraper). Dans ce schéma et ses légendes, inclus le maximum d'objectifs clés, de mots clés et d'équations clés vus dans ce chapitre.

Chapitre 1 AUTOÉVALUATION

Inscris les nombres de 1 à 11 dans ton cahier. À côté de chacun, indique si l'affirmation correspondante est vraie (V) ou fausse (F). Si elle est fausse, propose une version corrigée.

1. Tu lances une balle verticalement et tu t'écartes. La balle s'élève, puis elle tombe en suivant le même trajet et frappe le sol. Puisque la balle inverse sa direction, elle effectue un mouvement en deux dimensions.
2. La valeur de la vélocité de cette balle juste avant de toucher le sol est supérieure à la valeur de sa vélocité initiale à l'instant où elle quitte ta main.
3. L'accélération de cette balle au point le plus élevé de son vol est nulle.
4. Le temps de montée de la balle est égal à son temps de descente.
5. Un coureur qui fait quatre tours d'une piste circulaire à 4,5 m/s effectue un mouvement avec une vélocité constante.
6. La pente de la tangente à une courbe sur un graphique position-temps donne la vélocité instantanée.
7. Les mégamètres par heure par jour sont une unité possible d'accélération.
8. La valeur de l'accélération due à la pesanteur à Miami est supérieure à celle qui s'exerce à Saint John's à Terre-Neuve.
9. On doit utiliser la formule quadratique pour résoudre les problèmes impliquant une équation quadratique $v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta d$.
10. Un modèle réduit de fusée lancé dans une chambre à vide à un angle de 45° au-dessus de l'horizontale effectue un mouvement de projectile.
11. Si $\vec{v}_{AB} = 8{,}5$ m/s [E], alors $\vec{v}_{BA} = -8{,}5$ m/s [O].

Inscris les nombres 12 à 19 dans ton cahier. À côté de chacun, inscris la lettre correspondant au choix approprié.

12. Tu lances une balle verticalement vers le haut : ta main représente la position initiale et les *y* positifs sont orientés vers le haut. Lequel des graphiques position-temps présentés à la **figure 1** illustre le mieux cette relation ?
13. Tu échappes un bouchon de caoutchouc : ta main représente la position initiale et les *y* positifs sont orientés vers le haut. Lequel des graphiques de la **figure 1** illustre le mieux cette relation ?
14. Tu lances une balle directement vers le haut : ta main représente la position initiale et les *y* positifs sont orientés vers le bas. Lequel des graphiques de la **figure 1** illustre le mieux cette relation ?
15. Tu laisses aller un chariot du haut d'une rampe : la position initiale est le haut de la rampe et les *y* positifs sont orientés vers le haut. Lequel des graphiques de la **figure 1** illustre le mieux cette relation ?
16. Une voiture avec une vélocité initiale de 25 m/s [E] subit une accélération moyenne de 2,5 m/s^2 [O] pendant 2,0 × 10^1 s. À la fin de cet intervalle, la vélocité est de
    a) 5,0 × 10^1 m/s [O]
    b) 0,0 m/s
    c) 25 m/s [O]
    d) 75 m/s [O]
    e) 75 m/s [E]
17. Une accélération a une composante vers l'est de 2,5 m/s^2 et une composante vers le nord de 6,2 m/s^2. L'orientation de l'accélération est
    a) [40° E-N]
    b) [50° E-N]
    c) [24° E-N]
    d) [68° E-N]
    e) [68° N-E]
18. Au football, tu joues comme arrière et tu cours avec une vélocité initiale de 7,2 m/s [N]. Tu dévies pour éviter un plaquage et, après 2,0 s, tu te déplaces à 7,2 m/s [O]. Ton accélération moyenne dans cet intervalle de temps est
    a) 0 m/s^2
    b) 5,1 m/s^2 [45° N-O]
    c) 1,0 × 10^1 m/s^2 [45° N-O]
    d) 3,6 m/s^2 [S]
    e) 5,1 m/s^2 [45° O-S]
19. Une balle de tennis est lancée dans les airs avec une vélocité initiale dont la composante horizontale est 5,5 m/s, et la composante verticale, 3,7 m/s [vers le haut]. Si la résistance de l'air est négligeable, la vitesse de la balle au sommet de sa trajectoire est
    a) zéro
    b) 3,7 m/s
    c) 5,5 m/s
    d) 6,6 m/s
    e) 9,2 m/s

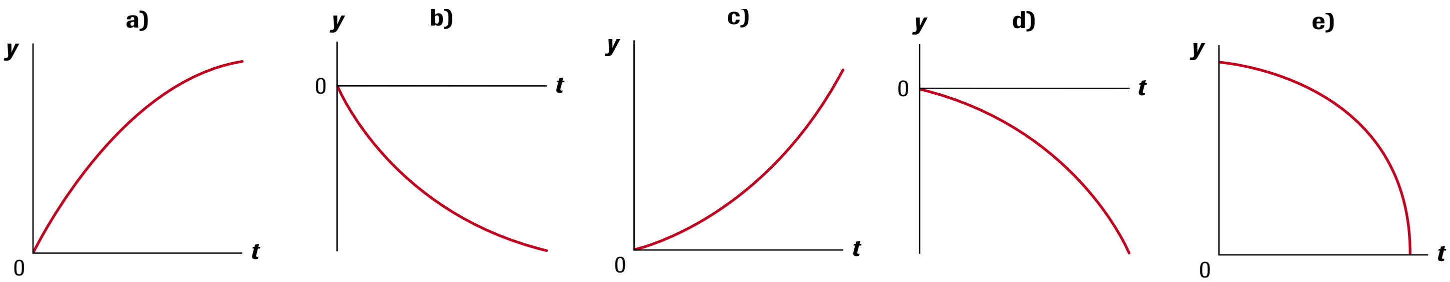


Figure 1
Les graphiques de la position verticale en fonction du temps pour les questions 12 à 15

Une version interactive de cette autoévaluation est disponible en ligne.
ALLER À www.beaucheminediteur.ocm/physique

Saisis bien les concepts

1. a) Au Canada, la limite de vitesse sur plusieurs autoroutes est de 100 km/h. Convertis cette mesure en mètres par seconde en conservant trois chiffres significatifs.
   b) La vitesse la plus élevée jamais enregistrée pour un animal est celle du piqué d'un faucon pèlerin pouvant atteindre 97 m/s. Quelle est la vitesse du piqué en kilomètres-heure ?
   c) Suggère une façon pratique de convertir des kilomètres-heure en mètres par seconde et des mètres par seconde en kilomètres-heure.
2. Pour chacune des opérations sur les dimensions énumérées, identifie le type de grandeur qui en résulte (vitesse, longueur, etc.).
   a) $l \times t^{-1}$ b) $\left(\frac{l}{t^3}\right) \times t$ c) $\left(\frac{l}{t^2}\right) \times t \times t$
3. Lors d'un examen, un élève lit une question qui demande une distance. Deux valeurs lui sont fournies : un intervalle de temps de 3,2 s et une accélération constante de 5,4 m/s^2. Ne sachant pas quelle équation utiliser, l'élève essaie l'analyse dimensionnelle et choisit l'équation $\vec{d} = \vec{a}(\Delta t)^2$.
   a) L'équation respecte-t-elle les dimensions ?
   b) Identifie les limites de l'analyse dimensionnelle pour retracer des équations.
4. Dans le cas d'un mouvement à vélocité constante, compare :
   a) la vitesse instantanée et la vitesse moyenne ;
   b) la vélocité instantanée et la vélocité moyenne ;
   c) la vitesse instantanée et la vélocité moyenne.
5. Comment se sert-on d'un graphique vélocité-temps pour déterminer a) le déplacement et b) l'accélération ?
6. Une composante vectorielle peut-elle avoir une norme supérieure à la norme du vecteur ? Justifie ta réponse.
7. a) La somme de deux vecteurs de même norme peut-elle être un vecteur nul ?
   b) La somme de deux vecteurs de normes différentes peut-elle être un vecteur nul ?
   c) La somme de trois vecteurs, tous de normes différentes, peut-elle être un vecteur nul ?
   Dans chaque cas, donne un exemple si la réponse est « oui », une explication dans le cas contraire.
8. Une golfeuse effectue un coup de départ à 214 m [E] du tee, puis elle frappe la balle à 96 m [28° N-E] et, finalement, elle effectue un coup roulé de 12 m [25° S-E]. Détermine le déplacement nécessaire par rapport au tee pour réussir un trou d'un coup en utilisant a) un diagramme vectoriel à l'échelle et b) les composantes. Compare tes réponses.
9. Détermine le vecteur que l'on doit ajouter à la somme des vecteurs $\vec{A} + \vec{B}$ de la **figure 1** pour obtenir un déplacement résultant de a) 0 et b) 4,0 km [O].

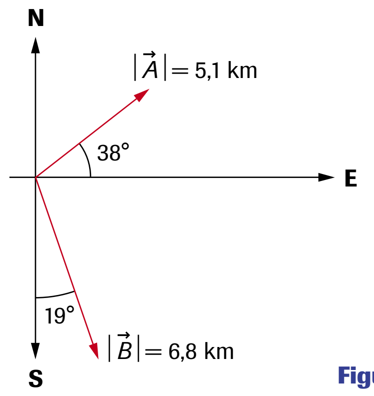


Figure 1

10. Supposons qu'un vecteur déplacement peut être tracé du nez d'une personne à ses orteils. Pour une ville de 2 000 habitants, évalue le vecteur déplacement résultant de la somme de tous les vecteurs nez-orteils à a) 17 h et b) 5 h. Explique ton raisonnement.
11. Au Grand Prix du Canada, les pilotes parcourent une distance totale de 304,29 km en 69 tours de piste. Si le temps le plus rapide pour un tour est de 84,118 s, quelle est la vitesse moyenne pour ce tour ?
12. Selon un manuel de conduite automobile, l'écart le plus sécuritaire par rapport à la voiture d'en avant à une certaine vitesse est la distance que tu franchirais en 2,0 s à cette vitesse. Quel est l'écart recommandé a) en mètres et b) en longueurs de voiture, si ta vitesse est de 115 km/h ?
13. Un aigle vole à 24 m/s sur une distance de $1,2 \times 10^3$ m, puis il plane à 18 m/s sur une distance de $1,2 \times 10^3$ m. Détermine
    a) la durée de ce mouvement ;
    b) la vitesse moyenne de l'aigle pendant ce mouvement.
14. Décris le mouvement représenté par chaque graphique de la **figure 2**.

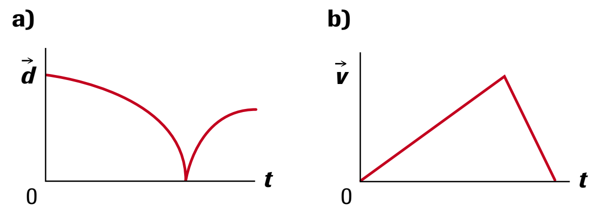


Figure 2

15. Un pompier glisse sur une distance de 4,5 m le long d'un poteau et court 6,8 m jusqu'au camion d'incendie en 5,0 s. Détermine a) la vitesse moyenne du pompier et b) sa vélocité moyenne.
16. Pendant un intervalle de temps de 6,4 s, un joueur de hockey sur gazon court 16 m [35° S-O], puis 22 m [15° S-E]. Détermine a) le déplacement du joueur et b) sa vélocité moyenne.
17. Le guépard, possiblement l'animal terrestre le plus rapide, peut maintenir une vitesse de pointe aussi élevée que 100 km/h pendant de courts laps de temps. Le trajet d'un guépard qui chasse sa proie à vitesse maximale est illustré à la **figure 3**. Trouve la vélocité instantanée du guépard, incluant son orientation approximative, aux positions D, E et F.

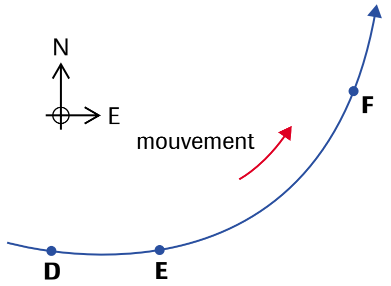


Figure 3

18. Une automobile roule d'abord à 42 km/h sur la voie d'accès d'une autoroute puis accélère uniformément jusqu'à 105 km/h en 26 s.
    a) Quelle distance, en kilomètres, l'automobile parcourt-elle dans cet intervalle de temps ?
    b) Détermine la grandeur de l'accélération moyenne en kilomètres-heure par seconde.
19. Dans un manège à sensations au parc d'amusement, les voitures, stationnaires au départ, accélèrent rapidement et parcourent les premiers 15 m [vers l'avant] en 1,2 s.
    a) Calcule l'accélération moyenne des voitures.
    b) Détermine la vélocité des voitures à 1,2 s.
    c) Exprime la grandeur de l'accélération en fonction de $|\vec{g}|$.
20. Détermine l'accélération constante requise pour qu'une balle atteigne une vélocité de $4{,}0 \times 10^2$ m/s [vers l'avant] dans le canon, en supposant que le frottement est nul et que le canon mesure 0,80 m.
21. Une fusée débute son troisième stade de lancement à une vélocité de $2{,}28 \times 10^2$ m/s [vers l'avant]. Elle subit une accélération constante de $6{,}25 \times 10^1$ m/s^2 en franchissant 1,86 km dans la même direction. Quelle est la vélocité de la fusée à la fin de son mouvement ?
22. Lors de son voyage final vers son lieu de reproduction en amont, un saumon bondit vers le sommet d'une chute de 1,9 m. Quelle est la vélocité verticale minimale requise pour que le saumon parvienne au sommet de la chute ?
23. Un autobus parcourt $2{,}0 \times 10^2$ m avec une accélération constante de 1,6 m/s^2.
    a) Combien de temps dure le mouvement si la valeur de la vélocité initiale est 0,0 m/s ?
    b) Combien de temps dure le mouvement si la valeur de la vélocité initiale est 8,0 m/s dans la direction de l'accélération ?
24. Un avion, dont la vélocité initiale est de 240 m/s [28° S-E], prend 35 s pour abaisser sa vélocité à 220 m/s [28° E-S]. Quelle est l'accélération moyenne durant cet intervalle de temps ?
25. Un pilote de course veut atteindre une vélocité de 54 m/s [N] à la sortie d'une courbe, subissant une accélération moyenne de 0,15 m/s^2 [S] pendant 95 s. Quelle est sa vélocité finale ?
26. Un appareil photo est installé afin de capter les images d'une balle en mouvement vertical. L'appareil est placé à 5,2 m au-dessus du lanceur de balles, qui projette les balles à une vélocité initiale de 17 m/s [vers le haut]. En supposant que la balle se dirige directement vers le haut, puis descend directement devant l'appareil photo, combien de temps après le lancer la balle passe-t-elle devant l'appareil ?
27. La **figure 4** présente le graphique vélocité-temps d'un écureuil qui court le long d'une clôture.
    a) Trace le graphique accélération-temps correspondant à ce mouvement.
    b) Trace le graphique position-temps correspondant, de 0,0 s à 1,0 s. (Fais attention : pour le premier 0,50 s, le graphique n'est pas une droite.)

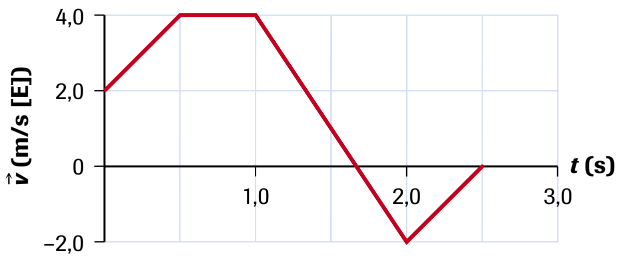


Figure 4

28. Vénus, dont l'orbite a un rayon de $1{,}08 \times 10^{11}$ m, prend $1{,}94 \times 10^{7}$ s pour compléter une orbite autour du Soleil.
    a) Quelle est sa vitesse moyenne en mètres par seconde et en kilomètres-heure ?
    b) Détermine la valeur de la vélocité moyenne après que Vénus a complété une demi-révolution autour du Soleil.
    c) Détermine la valeur de l'accélération moyenne après qu'elle a complété un quart de révolution autour du Soleil.
29. a) Quelles sont les composantes horizontale et verticale de l'accélération d'un projectile ?
    b) Comment ta réponse changera-t-elle si les deux composantes du mouvement subissent la résistance de l'air ?
30. Un enfant lance une balle de neige avec une vélocité horizontale de 18 m/s directement sur un arbre, à partir d'une distance de 9,0 m et d'une hauteur de 1,5 m au-dessus du sol.
    a) Après combien de temps la balle de neige frappe-t-elle l'arbre ?
    b) À quelle hauteur au-dessus du sol la balle de neige frappe-t-elle l'arbre ?
    c) Détermine la vélocité de la balle de neige quand elle frappe l'arbre.
31. Détermine la vélocité initiale d'un projectile qui est lancé horizontalement et qui tombe de 1,5 m tout en se déplaçant de 16 m horizontalement.
32. Tu te tiens debout dans un train se déplaçant à vélocité constante par rapport au système de référence de la Terre. Tu laisses tomber une balle sur le plancher. Quel est le trajet de la balle a) dans ton système de référence et b) dans le système de référence d'une personne se tenant debout immobile à côté du train ?
33. Un avion voyage à une vitesse aérodynamique de 285 km/h [45° S-E]. Un vent souffle à 75 km/h [22° E-N] par rapport au sol. Détermine la vélocité de l'avion par rapport au sol.
34. Une nageuse, qui peut atteindre une vitesse de 0,80 m/s en eau calme, décide de traverser une rivière d'une largeur de 86 m. La nageuse arrive de l'autre côté à 54 m en aval de son point de départ. Détermine
    a) la vitesse du courant ;
    b) la vélocité de la nageuse par rapport à la rive ;
    c) l'orientation de départ qui aurait amené la nageuse vis-à-vis son point de départ de l'autre côté de la rivière.
35. Le déplacement de Londres à Rome est $1{,}4 \times 10^{3}$ km [43° E-S]. Un vent souffle avec une vélocité de 75 km/h [E]. Le pilote désire atteindre Rome en 3,5 h. Quelle vélocité par rapport à l'air le pilote doit-il maintenir ?
36. Un ballon de football est posé sur la ligne à 25 m des poteaux des buts. Le botteur de placement frappe le ballon directement entre les poteaux en lui donnant une vélocité initiale de 21,0 m/s [47° au-dessus de l'horizontale]. La barre horizontale des poteaux des buts est à 3,0 m au-dessus du sol. À quelle distance au-dessus ou en dessous de la barre le ballon passe-t-il ?

Mets en pratique tes connaissances

37. Un joueur de baseball désire mesurer la vitesse initiale d'une balle lorsqu'elle a une portée horizontale maximale.
    a) Décris comment cela pourrait se faire en utilisant seulement un mètre ou un ruban à mesurer.
    b) Décris les sources d'erreur aléatoires et systématiques possibles dans cette expérience.
38. Tu obtiens les données suivantes dans une expérience impliquant un mouvement sur une table à coussin d'air essentiellement sans frottement, inclinée par rapport à l'horizontale :

longueur du côté de la table à coussin d'air	62,0 cm
distance verticale du banc du laboratoire à l'extrémité surélevée de la table à coussin d'air	9,9 cm
distance verticale du banc du laboratoire à l'extrémité la plus basse de la table à coussin d'air	4,3 cm

    a) Détermine l'inclinaison de la table à coussin d'air.
    b) Détermine la valeur de l'accélération d'une rondelle parallèlement à la pente de la table. (*Indice :* utilise $\vec{g}$ et la valeur de l'inclinaison que tu as trouvée.)
    c) Quelles sont les sources d'erreur aléatoires et systématiques possibles dans cette expérience ?
39. La **figure 5** présente une démonstration d'un mouvement de projectile qui soulève habituellement des applaudissements. Au moment où une fléchette est lancée à haute vélocité, une cible (souvent un singe en carton) tombe d'une position suspendue face au

lance-fléchette. Démontre que, si la fléchette est dirigée droit vers la cible, elle touchera toujours la cible qui tombe. (Utilise un ensemble précis de valeurs.)

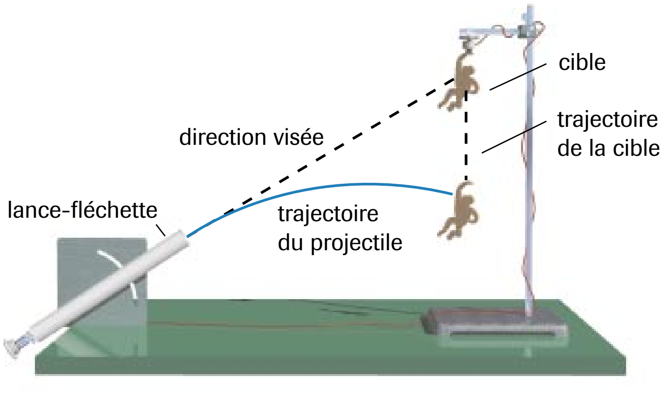


Figure 5
Dans cette démonstration de «chasseur de singe», le tir de la fléchette provoque la chute de la cible.

Fais des liens

40. Un automobiliste impatient roule sur une route qui contourne une ville à une vitesse moyenne de 125 km/h. La limite de vitesse est de100 km/h.
    a) Si ce détour mesure 17 km, combien de minutes l'automobiliste gagne-t-il en dépassant la limite de vitesse?
    b) L'automobile consomme environ 20 % plus d'essence à une vitesse supérieure à la limite légale. As-tu une explication?
41. Un signal électromagnétique, allant à la vitesse de la lumière ($3{,}0 \times 10^8$ m/s), voyage d'une station au sol sur la Terre jusqu'à un satellite situé à $4{,}8 \times 10^7$ m d'altitude. Le satellite reçoit le signal et, après un délai de 0,55 s, retourne le signal vers la Terre.
    a) Quel est l'intervalle de temps entre la transmission à partir de la station au sol et la réception du signal de retour à la station?
    b) Fais le lien entre ta réponse en a) et le délai observé à la télévision lors d'entrevues menées via satellite.
42. La cinématique en deux dimensions peut être étendue à la cinématique en trois dimensions. Quels facteurs du mouvement t'attendrais-tu à devoir analyser en concevant un modèle informatique du mouvement en trois dimensions d'astéroïdes dans le but de prévoir à quelle distance ils s'approcheront de la Terre?
43. Un oculiste avertit un patient qui souffre d'un décollement de la rétine qu'une accélération de freinage de plus de $2|\vec{g}|$ risque de faire décoller sa rétine complètement de la sclérotique. Aide le patient à décider s'il fera un vigoureux sport de raquette comme le tennis. Utilise des valeurs estimées des vitesses de course et de freinage.
44. Ton employeur, un centre de recherche médicale spécialisé en nanotechnologie, te demande de concevoir un détecteur de mouvement microscopique qui pourra être injecté dans le système sanguin humain. Les lectures de vélocité du détecteur doivent servir à repérer les débuts d'obstruction dans les artères, les capillaires et les veines.
    a) Quels concepts physiques et quelles équations dois-tu prendre en considération dans la conception du modèle?
    b) Décris un modèle possible de cet appareil. Comment, dans ton modèle, obtient-on les données avec l'appareil?
45. La **figure 6** présente quatre différents types d'explosion d'un feu d'artifice. Quelles caractéristiques de vélocité doivent avoir les pièces d'artifice au moment de l'explosion pour produire chacune de ces formes?

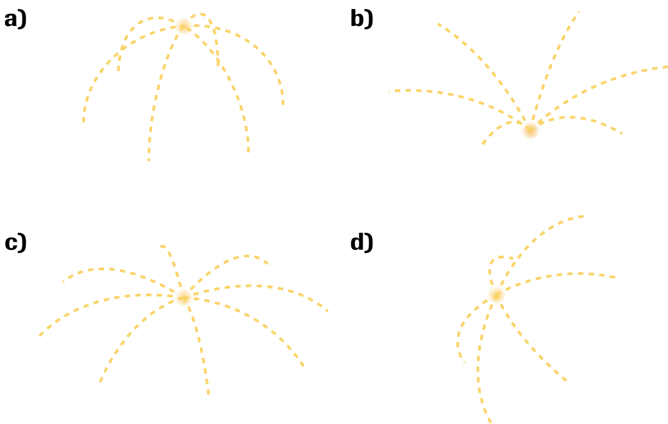


Figure 6

Exercices complémentaires

46. Un hélicoptère vole directement vers une falaise verticale. Lorsque l'hélicoptère est à 0,70 km de la paroi, il transmet un signal sonore. Il reçoit le signal réfléchi 3,4 s plus tard. Si le signal voyage à $3{,}5 \times 10^2$ m/s, quelle est la vitesse de l'hélicoptère?
47. Une voiture avec une vélocité initiale de $8{,}0 \times 10^1$ km/h [E] accélère à un taux constant de 5,0 (km/h)/s, atteignant une vélocité finale de $1{,}0 \times 10^2$ km/h [45° S-E]. Détermine a) l'orientation de l'accélération et b) l'intervalle de temps.