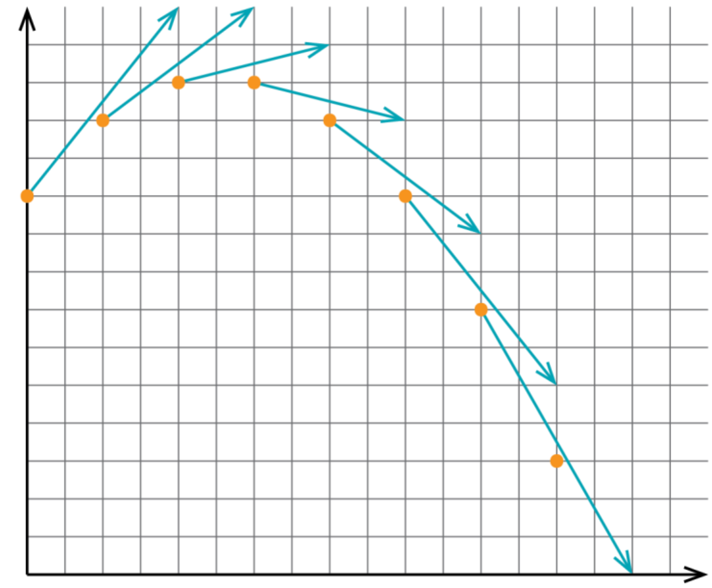
Exercices de la séquence 8
Effets des forces exercées sur les mouvements

EXERCICE 1 : balle de golf et volant de badminton

Le mouvement d’une balle de golf, puis celui d’un volant de badminton sont filmés et on a réalisé leur pointage. Le logiciel utilisé a aussi permis de tracer leurs vecteurs-vitesse à chacune des positions représentées. Voici l’un des résultats obtenus :



Une balle de golf est profilée pour être très peu soumise aux frottements exercés par l’air. Au contraire, un volant de badminton y est soumis de manière non négligeable. Le but de l’exercice est de retrouver lequel des deux projectiles a pu donner l’enregistrement ci-dessus.

1. Sur la figure ci-dessus, représenter deux vecteurs $\overrightarrow{\Delta v}$ entre deux positions successives du projectile : l’un pendant son ascension, l’autre pendant sa descente.
2. Que nous apprend ce tracé à propos de l’accélération du projectile ?
3. Exploiter la 2ème loi de Newton pour en déduire la direction et le sens de la résultante des forces qui s’exercent sur le projectile. Est-ce la balle de golf ou le volant de badminton ?

EXERCICE 2 : propulsion du TGV, quelques ordres de grandeur

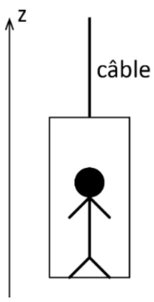
Voici quelques caractéristiques des TGV Duplex mis en circulation à partir de 2006 par la SNCF :

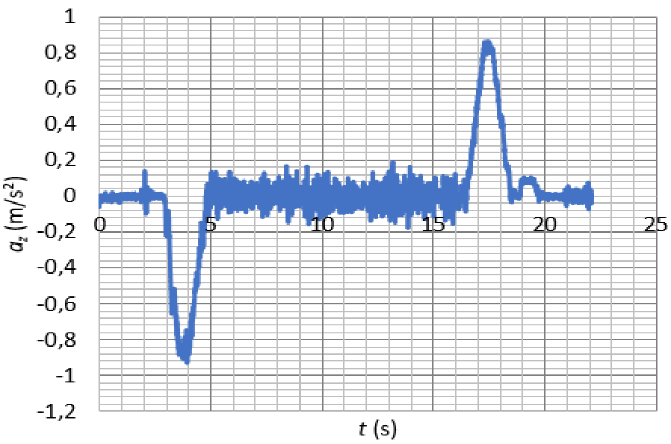
- masse à vide : 380 tonnes
- masse en charge : 420 tonnes
- vitesse maximale en circulation : 320 km/h

1. Lorsqu'il est en charge, sur un rail horizontal et rectiligne, le TGV passe de l'immobilité à sa vitesse maximale en 5 min 20 s. Que vaut alors, en moyenne, son accélération ?
2. En déduire la valeur moyenne de la résultante des forces auxquelles le TGV est soumis pendant sa phase d'accélération.
3. En supposant qu'il soit soumis à des forces dont la résultante a la même valeur que celle calculée à la question 2 mais qu'il voyage à vide, en combien de temps le TGV atteint-il sa vitesse maximale ?

EXERCICE 3 : traction d'un ascenseur

Un habitant d'un immeuble prend l'ascenseur pour changer d'étage. Comme il est curieux, il utilise l'accéléromètre de son smartphone pour représenter graphiquement en fonction du temps son accélération. On reproduit ci-dessous le graphique obtenu (a_z est la coordonnée verticale du vecteur-accélération) :





Initialement l'ascenseur est immobile.

1. L'usager de cet ascenseur est-il monté ou descendu ? Exploiter le graphique-ci-dessus pour répondre.
2. On étudie le système ascenseur + passager. La masse totale du système vaut 400 kg.
   Faire l'inventaire des forces exercées sur le système et les représenter sur un schéma dans quatre situations :
   → l'ascenseur étant immobile ;
   → au démarrage de l'ascenseur ($t \approx 4$ s) ;
   → lorsque l'ascenseur est à sa vitesse de croisière (de $t = 5$ s à $t = 15$ s) ;
   → lorsque que l'ascenseur freine ($t \approx 17$ s).
3. Exploiter la 2ème loi de Newton pour calculer la valeur maximale de la force exercée par le câble auquel est suspendu l'ascenseur.

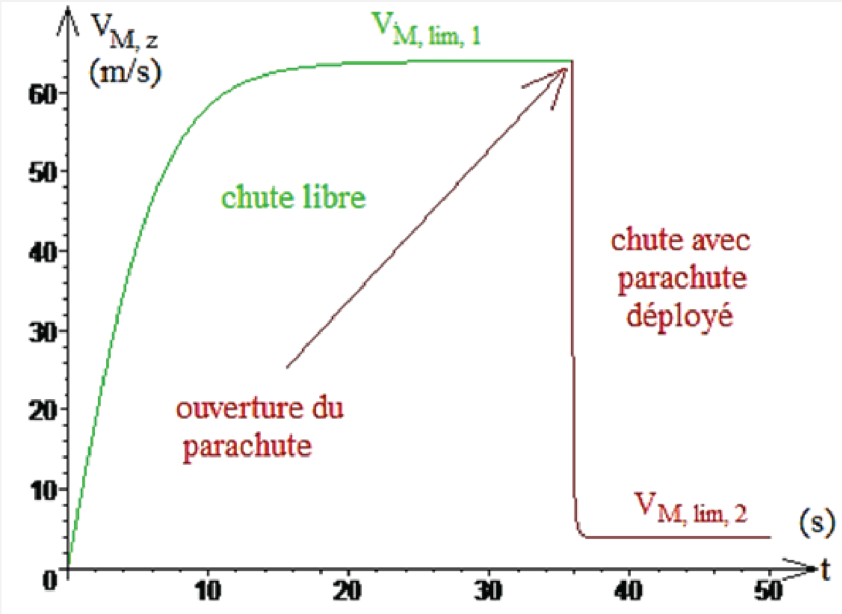
EXERCICE 4 : chute libre ?

Cet exercice a pour but de commenter un article du site Wikipedia sur la chute libre. L'expression « chute libre » peut prendre différentes significations, selon que l'on se place dans le registre de la physique ou dans celui de certaines disciplines sportives.

DOCUMENT : la chute libre (article Wikipédia)

L'expression chute libre est employée dans divers domaines :

- En physique, étude idéale du mouvement d'un corps soumis uniquement à son propre poids.
- En parachutisme, on appelle chute libre la phase du saut qui précède l'ouverture du parachute. Il s'agit en fait d'une chute avec résistance de l'air dont la vitesse se stabilise aux alentours de 50 m/s au bout de 300 m de chute effectués en 10 s.



licence image : Wikimedia commons

1. On rappelle que, pour une chute libre (au sens de la physique), la valeur de la vitesse évolue en fonction du temps selon l'expression : $v(t) = gt$. Sur le graphique illustrant l'article de Wikipédia, représenter l'évolution qu'aurait la vitesse du parachutiste s'il était en chute libre au sens de la physique. On pourra utiliser l'approximation : $g \approx 10\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$.
2. À quelle phase du mouvement peut-on dire que la chute libre au sens sportif et la chute libre au sens physique coïncident ?
3. Dans toute la suite le système étudié est l'ensemble parachutiste + matériel, que son parachute soit ouvert ou non.
   La force de frottement exercée par l'air sur le parachutiste vaut : $f = kv^2$, k étant une grandeur caractéristique de l'interaction air/parachutiste indépendante du mouvement de ce dernier. Montrer que cette expression justifie le constat de la question précédente.
4. Sans souci d'échelle mais en respectant leurs proportions, représenter les forces qui s'exercent sur le parachutiste aux dates : $t = 10\text{s}$; $t = 30\text{s}$; $t = 36\text{s}$ et $t = 40\text{s}$.
5. Quel est l'effet du parachute sur la constante k intervenant dans la force exercée par l'air sur le système parachutiste ?

EXERCICE 5 : chute libre : vrai ou faux ?

Exercice proposé en version interactive

Les équations obtenues dans le cas d'une chute libre verticale sont rappelées dans l'encadré ci-dessous. En exploitant ces équations, sélectionner, parmi les propositions ci-dessous, celles qui sont justes.

- ☐ Lors d'un mouvement de chute libre, un objet n'est soumis qu'à une seule force.
- ☐ En mouvement de chute libre, le mouvement d'un corps est indépendant de sa masse et de son volume.
- ☐ Lors d'un mouvement de chute libre sur terre, l'accélération a pour intensité $1\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$.
- ☐ Lors d'un mouvement de chute libre la vitesse d'un objet est constante.
- ☐ La poussée d'Archimède appliquée à un corps en chute a pour effet d'accroître sa vitesse.
- ☐ Les forces de frottement exercées sur un corps en chute peuvent compenser la poussée d'Archimède.
- ☐ Malgré l'existence des forces de frottement, la vitesse de chute d'un corps n'a pas de limite.
- ☐ Lors d'une chute libre sans vitesse initiale, la distance parcourue est proportionnelle au carré de la durée.
- ☐ Lors d'une chute libre, si on fait tomber deux corps de masses différentes mais de forme identique, le plus massif atteint le sol le premier.

Équations horaires dans le as d'une chute libre verticale

On montre, à l'aide des lois de Newton, que le centre d'inertie d'un système en chute libre verticale sans vitesse initiale satisfait les équations suivantes, le mouvement étant étudié dans un repère vertical (Oz), orienté vers le bas :

$$a_z(t) = g$$
$$v_z(t) = gt$$
$$z(t) = \frac{1}{2}gt^2$$

EXERCICE 6 : combien de temps la chute dure-t-elle ?

On étudie dans cet exercice la chute libre d'un objet lâché sans vitesse initiale au-dessus du sol. Son mouvement est repéré sur un axe Oz orienté vers le bas et dont l'origine coïncide avec la position initiale de l'objet en chute.

1. Exploiter la 2ème loi de Newton pour déterminer l'expression de la coordonnée a_z de l'accélération de l'objet.
2. En déduire les expressions de $v_z(t)$ et $z(t)$ (coordonnées de la vitesse et de la position de l'objet étudié).
3. On étudie à présent la situation suivante : un enfant lâche un caillou depuis la fenêtre de son appartement, situé à une hauteur $H = 12$ m au-dessus du sol. Si le mouvement de celui-ci satisfait le modèle de la chute libre, exploiter les résultats de la question 2 pour déterminer la durée Δt de la chute, puis la valeur de la vitesse à laquelle il atteint le sol.

EXERCICE 7 : le champ de pesanteur lunaire

En juillet 1971, le commandant de la mission Apollo 15 David Scott lâcha une plume de faucon (de masse 0,03 kg) et un marteau (1,32 kg) à 1,20m du sol. Voir la vidéo réalisée par l'un de ses partenaires.
Le mouvement du centre d'inertie du marteau, supposé en chute libre, est étudié dans un repère d'axe vertical Oz, orienté vers le bas, et dont l'origine est à l'altitude de la position initiale du point étudié.

1. En suivant la démarche introduite dans cette séquence, établir l'expression en fonction du temps de la coordonnées $z(t)$ du centre d'inertie du marteau.
2. Il n'y a pas d'atmosphère sur la Lune : montrer que les calculs effectués à la question précédente sont en accord avec le fait que la plume atteint le sol lunaire en même temps que le marteau.
3. La chute a une durée de valeur $\Delta t = 1{,}22$ s. En déduire la valeur du champ de pesanteur sur la Lune.
4. Quel aurait été le résultat de cette expérience si elle avait été conduite dans les mêmes conditions, à l'air libre, sur Terre ?

EXERCICE 8 : vecteurs, valeurs, coordonnées, signes… pour ne plus se tromper

Exercice proposé en version interactive

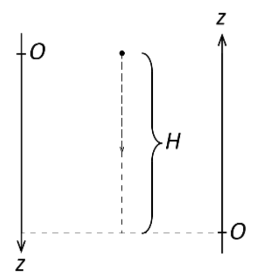
Situation étudiée et sa modélisation :

Un objet de masse m est lâché sans vitesse initiale à une hauteur $H = 2{,}0$ m au-dessus du sol. Son mouvement est une chute libre. L'instant où il est lâché est l'origine des dates : $t = 0$. Le système étudié est cet objet, dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

On propose deux repères différents pour étudier son mouvement :

– **le repère n°1**, d'axe Oz vertical, orienté vers le bas et dont l'origine est à l'altitude initiale du centre du solide étudié ;
– **le repère n°2**, d'axe Oz vertical, vers le haut et dont l'origine est au niveau du sol.

Repère 1 **Repère 2**



1. On propose ci-dessous diverses expressions littérales du poids $\vec{P}$ du système, de son accélération $\vec{a}$ et de sa coordonnée a_z, de la coordonnée v_z de sa vitesse et sa la coordonnée z de sa position. Certaines de ces expressions sont valables dans le repère 1 et/ou dans le repère 2, d'autres ne sont jamais valables. Identifier chacune d'elle dans le tableau suivant.

	Valable dans le **repère n°1**	Valable dans le **repère n°2**	**Jamais** valable
$\vec{P} = m\vec{g}$			
$\vec{P} = -m\vec{g}$			
$\vec{a} = \vec{g}$			
$\vec{a} = -\vec{g}$			
$a_z = g$			
$a_z = -g$			
$v_z(t) = gt$			
$v_z(t) = -gt$			
$z(t) = \frac{1}{2}gt^2 + H$			
$z(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + H$			
$z(t) = \frac{1}{2}gt^2 - H$			
$z(t) = -\frac{1}{2}gt^2 - H$			
$z(t) = \frac{1}{2}gt^2$			
$z(t) = -\frac{1}{2}gt^2$			

2. Exploiter l'une des expressions valables **dans le repère 1** afin d'exprimer, puis calculer la durée de la chute.
3. Même question dans **le repère 2**. Est-il surprenant de trouver le même résultat qu'à la question 2 ?

EXERCICE 9 : la profondeur du puits

Afin de mesurer la profondeur d'un puits dont on ne voit pas le fond, on procède ainsi :

- on lâche un caillou depuis le haut du puits et, simultanément, on déclenche un chronomètre ;
- on arrête le chronomètre à l'instant où l'on entend le son du choix entre le sol et le caillou ;
- la mesure donne une durée de valeur : $\Delta t = 2{,}2$ s

1. Cocher ci-dessous les affirmations justes :

☐ Plus le puits est profond, plus la durée de la chute du caillou est longue.

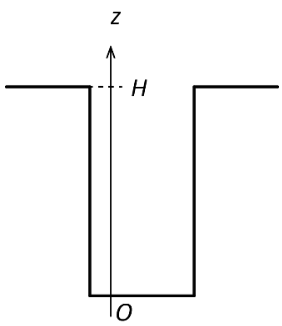
☐ La durée de la chute du caillou est proportionnelle à la profondeur du puits.

☐ La profondeur du puits est proportionnelle à la durée de la chute du caillou si le puits n'est pas trop profond.

☐ La profondeur du puits est proportionnelle à la durée de la chute du caillou quelle que soit sa profondeur.

On souhaite calculer la profondeur de ce puits à l'aide des lois de Newton. On modélise ainsi la situation :

- On étudie le système caillou dans le référentiel terrestre galiléen.
- Le mouvement du caillou est supposé être une chute libre.
- L'instant où il a été lâché est pris comme origine des dates.
- Son mouvement est repéré sur un axe Oz, vertical, orienté vers le haut et dont l'origine coïncide avec le sol du puits.
- On note H la hauteur du puits.



2. Exploiter la 2ème loi de Newton pour exprimer la coordonnée verticale a_z de l'accélération du caillou.

3. En déduire l'expression de la coordonnée $v_z(t)$ de sa vitesse, puis celle de sa coordonnée de position $z(t)$.

4. En déduire l'expression de H en fonction de la durée Δt de la chute et effectuer l'application numérique.

5. Pourquoi cette étude ne serait-elle pas valable avec un puits de hauteur beaucoup plus élevée ?

EXERCICE 10 : Sherlock Holmes a-t-il pu survivre à sa chute ?

L'écrivain britannique Connan Doyle, décrit la mort de son personnage fétiche, le détective Sherlock Holmes, le 4 mai 1891 lors d'une chute dans les chutes du Reichenbach, suite à un duel avec son pire ennemi le professeur Moriarty.

Ces chutes sont constituées d'une succession de cascades dont la plus grande présente un dénivelé de 120 m.

Le professeur Watson, arrivé sur place, est inquiet ; il commence à réaliser des croquis et des calculs afin de déterminer si Sherlock a pu survivre à une telle chute.

On modélise ainsi la situation :

- On étudie le mouvement du centre d'inertie de Sherlock, dans le référentiel terrestre supposé galiléen, à partir de la date $t = 0$ à laquelle Sherlock quitte le contact avec la falaise.
- L'espace est muni d'un repère d'axe vertical (Oz), orienté vers le bas et dont l'origine est à l'altitude de la position initiale du point étudié.
- La vitesse initiale du point étudié est supposée nulle.

Sherlock Holmes and Professor Moriarty at the Reichenbach Falls. Illustration by Sidney Paget to the Sherlock Holmes story *The Final Problem* by Sir Arthur Conan Doyle. Source : https://commons.wikimedia.org/

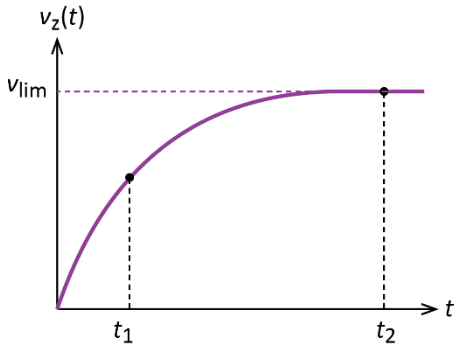
1ère partie : hypothèse d'une chute libre

1. Dans l'hypothèse d'une chute libre (seul le poids s'exerce), exprimer en fonction du temps les coordonnées $a_z(t)$, $v_z(t)$ et $z(t)$ des vecteurs accélération, vitesse et position.

2. Exploiter les relations précédentes pour calculer numériquement la valeur de la vitesse avec laquelle Sherlock atteint la surface de l'eau s'il effectue une chute sur une distance de 120 m. Convertir la valeur obtenue en km/h et commenter le résultat.

Donnée : valeur du champ de pesanteur terrestre : $g = 9{,}81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

2nde partie : prise en compte de la force de frottement



En réalité la coordonnées $v_z(t)$ du centre d'inertie de Sherlock évolue en fonction du temps selon une courbe dont l'allure est donnée ci-contre.

3. Ce graphique est-il compatible avec le modèle de la chute libre ? Justifier en comparant l'allure de ce graphique et la forme d'une des équations obtenues à la question 1.
4. L'allure de ce graphique s'explique par l'exercice par l'air d'une force de frottement dont la valeur n'est pas négligeable. Représenter (sans souci d'échelle) le centre d'inertie de Sherlock, son poids $\vec{P}$ et la force de frottement $\vec{f}$ aux deux dates t_1 et t_2 repérées sur la courbe.
5. Exploiter le document ci-après pour calculer numériquement la valeur v_{lim} de la vitesse que Sherlock finit par atteindre au cours de la chute. Convertir le résultat en km/h et commenter la valeur obtenue.
   Un raisonnement détaillé est attendu.
   Donnée : la masse de Sherlock Holmes n'étant pas précisée par l'auteur, nous la considérons égale à $m = 80$ kg.

DOCUMENT : la force de frottement subie par Sherlock Holmes

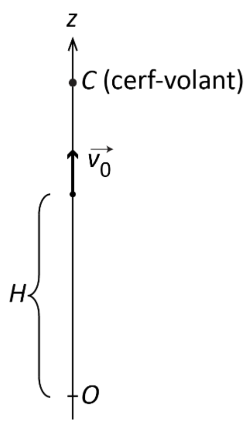
La force de frottement exercée par l'air sur Sherlock Holmes pendant sa chute vaut :

$$f = \frac{1}{2} C S \rho v^2$$

– $C = 1{,}0$: coefficient de traînée ;
– $S = 0{,}80\ \mathrm{m}^2$: surface de contact entre Sherlock et l'air dans la direction verticale ;
– $\rho = 1{,}20\ \mathrm{kg \cdot m^{-3}}$: masse volumique de l'air.

***Épilogue** : l'histoire se finit bien ! L'auteur, dix ans après le récit de la mort de son personnage, révèle que seul le professeur Moriarty a succombé à la chute : Sherlock, lui, a pu s'agripper à une prise et, donc échapper à la mort.*

EXERCICE 11 : *pour aller plus loin*… mouvement d'un objet lancé vers le haut



Un enfant a coincé son cerf-volant dans un arbre : celui-ci se trouve alors à 2,4 m au-dessus du sol. Espérant le faire tomber, il se place en-dessous et lance vers le haut une balle de tennis. On se pose la question suivante : la balle va-t-elle atteindre le cerf-volant ?
On modélise ainsi la situation :

- La balle quitte la main de l'enfant à la date $t = 0$, à une hauteur $H = 1{,}50$ m au-dessus du sol et avec une vitesse initiale verticale de valeur $v_0 = 3{,}0\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$.
- Une fois lancée, la balle est animée d'un mouvement de chute libre. On étudie le système « balle », dans le référentiel terrestre, supposé galiléen, muni d'un repère d'axe (Oz) vertical, orienté vers le haut et dont l'origine est au niveau du sol.

1. En suivant la démarche habituelle, exprimer en fonction du temps les coordonnées de son accélération a_z, de sa vitesse v_z et de sa position z.
2. En exploitant l'une des expressions de la question précédente, exprimer et calculer :
   – la date t_1 à laquelle la balle atteint son altitude maximale ;
   – la valeur z_{max} de l'altitude maximale atteinte par la balle.
3. L'enfant a-t-il atteint son cerf-volant ?
4. Que doit valoir la vitesse initiale v_0 si l'on veut que la balle de tennis atteigne le cerf-volant ? Pour répondre : exprimer littéralement z_{max} en fonction de v_0 et en déduire la valeur de v_0 permettant à la balle de s'élever assez haut.