

Activité expérimentale : Loi de la chute des corps

1) Introduction

On se propose dans cette activité d'établir la loi de la chute des corps dans le vide. Galilée avait pressenti que tous les corps, quel que soit leur masse ou leur forme, devaient chuter de la même façon dans le vide et une légende raconte qu'il en aurait fait l'expérience en lâchant des objets du haut de la Tour de Pise. A cette époque, on ne disposait pas des moyens permettant de faire l'expérience dans un tube où on a fait un vide poussé. Mais de nos jours, on dispose de ces moyens et on a validé ce fait qui faisait l'objet d'une controverse à l'époque de l'illustre savant.



Tour de Pise (Italie)

L'astronaute américain David Scott valide d'ailleurs la thèse de Galilée en lâchant sur la Lune simultanément un marteau et une plume de faucon en 1971 (lien youtube vers la vidéo : <https://www.youtube.com/watch?v=QIQIPje4FYQ>). Les conditions étaient particulièrement adaptées sur la Lune où règnent des conditions proches du vide. La même expérience faite sur Terre fait bien sûr arriver le marteau au sol avant la plume.

2) Expérience de chute d'un objet proche de la chute libre

On parle de chute libre pour un corps lorsque cette dernière s'effectue dans le vide. Si l'expérience est faite dans l'atmosphère terrestre, qui plus est, près du sol, on ne peut pas parler de chute libre. Toutefois, ce qui distingue la chute d'un corps dans le vide et dans l'atmosphère terrestre est la présence de l'air qui exerce une force de freinage appelée résistance de l'air. Les parachutistes s'en servent pour ralentir leur chute avant d'ouvrir leur parachute en offrant le maximum de surface à l'air, dans une position qui ressemble à celle d'un plongeur qui ferait un plat dans l'eau.

Pour être dans des conditions assimilables à une chute libre, il faut que le frottement de l'air ait un effet négligeable devant l'attraction terrestre et cela est valable en début de chute pour tous les corps car la résistance de l'air dépend de la vitesse du corps par rapport à l'air un peu comme lorsque vous

courez dans l'eau. Plus vous voulez aller vite et plus vous devez déployer d'efforts car vous devez vous opposer à la résistance de l'eau.

Or, pour une feuille d'arbre qui tombe, la force de résistance de l'air compense très vite l'attraction terrestre ce qui fait qu'on ne peut la considérer en chute libre que sur les quelques premiers centimètres. En revanche, pour une bille d'acier ou une balle de golf, l'effet de la résistance de l'air ne se fait sentir qu'après plusieurs dizaines de mètres de chute, ce qui fait qu'un tel corps dense est bien adapté pour établir la loi de la chute des corps en montant une expérience sur quelques mètres de chute.

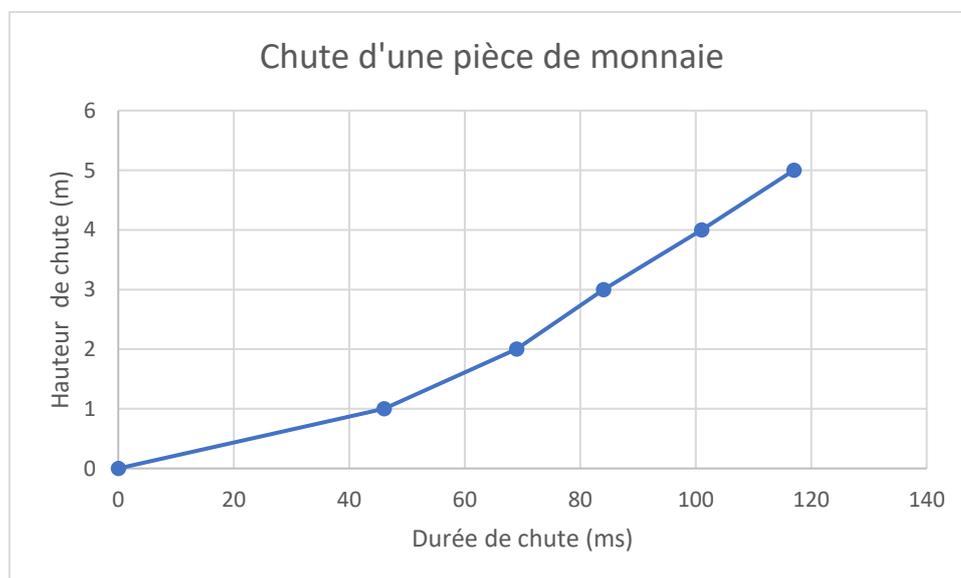
3) Expérience de chute libre entre 0 et 5 m de chute avec un chronomètre

Pour démarrer, vous allez tenter de mesurer la durée nécessaire pour qu'un objet dense chute d'une hauteur donnée, 1 m, 2 m, 3m, 4 m puis 5 m. Pour cela, vous pouvez prendre un objet quelconque suffisamment dense comme une pièce de monnaie, une bille d'acier, une balle de golf mais pas une balle de ping-pong et encore moins un bout de papier. Munissez-vous d'un chronomètre (sur votre téléphone ou autre) et remplissez ce tableau de mesures :

Réponse d'un élève :

Hauteur de chute (m)	1	2	3	4	5
Durée de chute (s)	46	69	84	101	117

Faites ensuite un graphique, soit au papier millimétré, soit sous Excel et répondez aux questions suivantes :



- Pensez-vous, au vu du graphique, que la hauteur de chute est proportionnelle à la durée de chute ?

Réponse : Non

- Pensez-vous que vos mesures de durées soient précises pour une hauteur de 1 m et à combien évaluer vous votre imprécision ?

Réponse : Non, l'imprécision est de l'ordre de plusieurs dixièmes de seconde

4) Expérience de chute libre entre 0 et 2 m de chute par chronophotographie

Pour rendre les mesures plus précises, on inverse la situation. On lâche une balle de golf par exemple d'une hauteur de 2 m et à l'aide d'un appareil photo adapté, on fait des photos de l'évènement tous les $\frac{1}{30}$ s. Cela donne ce genre de cliché :



Dans cette l'expérience, l'expérimentateur a suspendu une règle jaune qui mesure 1,02 m et que l'on voit sur le cliché ainsi que les positions de la balle de golf tous les $\frac{1}{30}$ ème de seconde.

En vous servant de cette image que je vous joins numériquement, vous allez l'agrandir au maximum sur votre écran d'ordinateur de façon à la voir en entier, puis avec une règle, vous allez mesurer les différentes hauteurs de chute aux différentes durées de chute et les porter dans un tableau de ce genre :

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
h																		
d																		

où t est la durée de chute évaluée en $\frac{1}{30}$ ème de seconde, h est la hauteur réelle de chute évaluée en cm et d est la hauteur mesurée en cm sur votre écran avec une règle. Pour passer de d à h, il vous faudra mesurer à la règle sur votre écran la hauteur de la règle jaune qui y apparait et en déduire à l'aide d'un tableau de proportions par quoi multiplier d pour obtenir h.

Pour ceux qui sont équipés de PowerPoint, il est plus facile de procéder comme suit :

- Insérer en faisant un copier-coller l'image de chronophotographie dans PowerPoint
- Zoomer suffisamment
- Ajouter une flèche verticale pour prendre la hauteur de la règle jaune comme indiqué sur l'image ci-dessous :



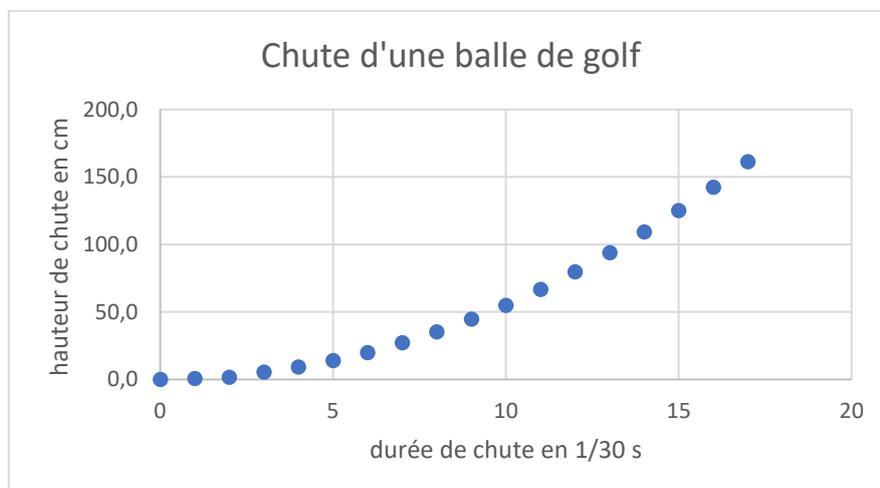
- Ajouter une flèche verticale pour prendre la hauteur de chute définie comme étant la distance d entre la position du centre de la balle à l'instant du lâcher et sa position à un autre instant. Pour cela vous pouvez cliquer droit sur la souris en ayant sélectionné la flèche puis sur taille pour obtenir sa hauteur et la modifier à chaque mesure, de façon à ce que la base de la flèche atteigne la position suivante (on tâtonne un peu mais ça marche !)

Si vous êtes équipés d'Excel, au lieu de faire un graphique sur papier millimétré, il vous suffit de sélectionner les deux premières lignes de valeurs puis faire insertion graphique nuage de points et vous pourrez visualiser l'allure de la courbe de la hauteur de chute en fonction de la durée.

Réponse pour le tableau fait par mes soins avec Powerpoint

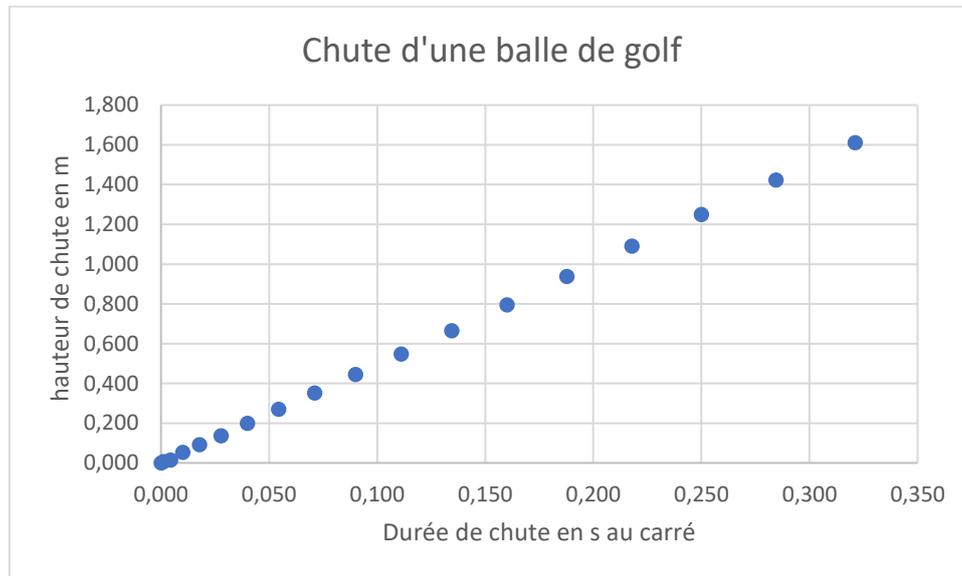
t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
h	0,0	0,7	1,5	5,3	9,2	13,8	19,9	27,0	35,2	44,6	54,9	66,5	79,6	93,8	109,1	125,0	142,3	161,2
d	0	0,07	0,15	0,52	0,9	1,35	1,95	2,65	3,45	4,37	5,38	6,52	7,8	9,2	10,7	12,25	13,95	15,8

Réponse pour le graphique associé fait avec Excel :



Ceci étant fait, vous créez un autre tableau à deux lignes dans lequel vous mettez en première ligne le carré de la durée de chute (évaluée en seconde) et en seconde ligne la hauteur de chute (en m). En en faisant le graphique, vous devrez observer une droite passant par l'origine, ce qui vous établit la loi de la chute des corps sous une forme $h = c t$, autrement dit la hauteur de chute est fonction linéaire de la durée de chute. Déduisez de votre tableau la valeur de c et envoyez-là moi !

Réponse pour le second graphique fait avec Excel :



Réponse pour la loi de la chute des corps :

Le second graphique fait clairement apparaitre une proportionnalité entre la hauteur de chute et le carré de la durée de chute que l'on peut exprimer mathématiquement par une relation de la forme :

$$h = c t^2$$

où c est le coefficient directeur de la portion de droite du graphique, à savoir le quotient de la dernière hauteur de chute (1,612 m) par le carré de la dernière durée de chute (0,321 s²) soit :

$$c = \frac{1,612}{0,321} \approx 5$$

La loi de la chute libre s'exprime ainsi sous la forme :

$$h = 5 t^2$$

où h est en mètres et t en secondes

5) Applications à la mesure de hauteurs avec un chronomètre

- Le canyoning



De longs mois de confinement ont réveillé votre goût pour l'aventure. Le virus est heureusement déjà un vieux souvenir et vous voilà avec une bande de potes en haut d'un éperon rocheux qui surplombe un charmant trou arrosé par des cascades bouillonnantes. Le soleil est en train de cuire la bande de peau découverte de l'arrière de votre cou, laquelle commence à peler par plaques. Vous brûlez d'impatience de faire le grand saut mais voilà, une petite voix vous dit : P... c'est haut ! (P= Papa pour la censure !). Votre copain Gégé, tête brûlée, vous dit, vas-y Marcel, mais ne fait qu'accroître votre malaise. Vous avez déjà sauté dans l'eau d'une piscine d'une hauteur de cinq mètres, mais là, impossible de savoir quelle hauteur il y a sans se lancer et risquer de se déplacer une vertèbre. Brrrrr !!!! Vous êtes tout penaud d'autant que vous venez d'apercevoir en face trois charmantes créatures en bikini qui vous observent, leurs yeux minaudes cachés derrière des lunettes à verre fumé. Heureusement, vous vous rappelez d'une astuce que votre prof de physique vous avait donnée. Vous attrapez une pierre et la lancez tout en déclenchant le chronomètre de votre montre Rolux hyperconnectée, qui prouve que malgré votre jeune âge vous avez réussi et cela avant quarante ans, Monsieur Segelux. Plouf ! Le chrono affiche une seconde et demie. Comme vous n'êtes pas le dernier des matheux, vous faites un rapide calcul de tête (comme quoi ça peut servir le calcul mental !) et là vous décidez de renoncer au grand saut donc au grand soir avec les demoiselles, tout du moins c'est ce que vous pensez. Car à cet instant, Dédé qui veut faire genre en s'la pétant, comme dirait des jeunes d'aujourd'hui, tente l'affaire en vous écartant de l'éperon d'un air moqueur. Plouf ! Aiiiiiiiie ! Au secours ! Replouf ! Un spécialiste du canyoning du nom de Popeye, au regard d'un bleu irrésistible et au bronzage club med, venu encadrer un autre groupe, se jette dans le trou au secours de votre pote, qui vient de se froisser une vertèbre. Un hélicoptère plus tard, vous êtes à l'hôpital au chevet de Dédé, qui par chance s'en tire à bon compte avec une minerve à porter pendant un mois et quelques heures après, vous êtes dans les bras de Julie, l'une des trois bikinis de l'après-midi, qui a détecté en vous l'homme raisonnable, impressionnée qu'elle fut par votre maîtrise des lois de la chute libre qui vous ont évité un drame.

La question est : De quelle hauteur a chuté Dédé ?

Réponse :

La durée de chute de la pierre étant de 1,5 s, suffisamment brève pour qu'on puisse négliger l'effet des frottements de l'air, on en déduit la hauteur de chute comme celle que la pierre aurait dans le vide, à savoir :

$$h = 5 \times 1,5^2 \approx 11 \text{ m}$$

Remarque : question de précisions

Il est inutile de donner plus de précision au résultat car la mesure du temps peut être estimée au dixième de seconde près. Autrement dit, la valeur de 1,5 seconde est précise à 0,1 seconde près, donc avec deux chiffres significatifs, le 1 suivi du 5. Quant à la formule, nous avons utilisé la version simplifiée avec le facteur 5. Si on veut être plus juste, au prix d'une formule cependant moins simple à retenir, il faudrait plutôt calculer :

$$h = 4,9 \times 1,5^2 \approx 11 \text{ m}$$

On trouve cependant une même valeur approchée en ne conservant que deux chiffres significatifs.

Pour info : Un homme nommé Darren Taylor a battu un record de chute en plongeant à plat de 11,56 m dans ... 30 cm d'eau. La vidéo précise qu'on estime sa vitesse au moment de toucher l'eau à 53 km/h. Dans l'activité 2 nous verrons comment calculer quelle aurait été cette vitesse si le saut avait eu lieu dans le vide et nous pourrions ainsi la comparer à la valeur donnée puis expliquer à quoi est due la légère différence entre les deux valeurs ?