

Étude d'une chute libre avec PhyPhox et Python

Niveau (Thèmes)	Terminale Spécialité Physique-Chimie
Introduction	<ul style="list-style-type: none"> • Application et exploitation de la deuxième loi de Newton dans un contexte de chute libre verticale • Utilisation d'un smartphone pour mesurer un temps de chute • Exploitation d'un programme Python à compléter pour tracer hauteur de chute en fonction de durée de chute
Type d'activité	Activité expérimentale dans un contexte de projet hors classe
Compétences	<p>RESTITUER SES CONNAISSANCES</p> <p>ANALYSER :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Proposer les étapes d'une résolution - Relier différents types de représentation - Repérer ou sélectionner des informations utiles <p>RÉALISER</p> <ul style="list-style-type: none"> - faire un calcul littéral et un calcul numérique - écrire un résultat de façon adaptée <p>VALIDER</p> <ul style="list-style-type: none"> - Discuter de la validité d'une information
CRCN - Compétences Num.	1.3. Traiter des données (Indépendant : Niveau 4) 3.3. Adapter les documents à leur finalité (Novice : Niveau 2) 3.4 Programmer (Indépendant : Niveau 4) 5.2 Évoluer dans un environnement numérique (Novice : Niveau 2)
Notions et contenus du programme	Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme : Établir et exploiter les équations horaires du mouvement.
Objectif(s) pédagogique(s)	Porter un regard critique sur un protocole expérimental
Objectifs disciplinaires et/ou transversaux	Travail en équipe
Description succincte de l'activité	Après avoir établi la relation entre hauteur de chute libre (verticale) d'un objet et durée de chute par application de la deuxième loi de Newton, les élèves sont amené.e.s à utiliser la fonction accéléromètre de l'application Phyphox pour smartphone pour chronométrer la durée de chute (Δt) d'un smartphone en fonction de sa hauteur (h) de chute. A l'aide d'un programme Python à compléter/modifier , les élèves peuvent confronter leurs résultats à la loi $h = (\frac{1}{2}).g.\Delta t^2$.
Découpage temporel de la séquence	La deuxième loi de Newton a déjà été présentée et exploitée dans le cadre du mouvement d'un objet dans un champ de pesanteur uniforme.. Cette activité peut se faire comme projet hors classe par équipe et avec un objectif de réinvestissement de l'application de la deuxième loi de Newton qui est souvent difficile à s'approprier pour les élèves.
Pré-requis	Application de la deuxième loi de Newton dans le cadre d'une chute libre verticale
Outils numériques utilisés/Matériel	Smartphone avec l'application Phyphox pour iOS (lien) ou Android (lien) Ordinateur avec un IDLE (Environnement de développement intégré) pour le langage Python (comme Edupython, Spyder, etc.)
Gestion du groupe Durée estimée	Groupe de 4 2 h 30 en temps hors classe (activité de projet)

Énoncé à destination des élèves

En 1609 à Florence, Galilée réalise sa fameuse expérience du plan incliné pour établir une loi sur la chute des corps.

“Enfin, dans cette étude du mouvement naturellement accéléré, nous avons été conduits comme par la main en observant la règle que suit habituellement la nature dans toutes ses autres opérations où elle a coutume d'agir en employant les moyens les plus ordinaires, les plus simples, les plus faciles. Car il n'est personne, je pense, pour admettre qu'il soit possible de nager ou de voler d'une manière plus simple ou plus facile que celle dont les poissons et les oiseaux se servent instinctivement.

Quand donc j'observe qu'une pierre tombant d'une certaine hauteur à partir du repos acquiert successivement de nouvelles augmentations de vitesse, pourquoi ne croirais-je pas que ces additions ont lieu selon la proportion la plus simple et la plus évidente? [...] ce qui sera le cas si nous nous représentons un mouvement où en des temps égaux quelconques se produisent des additions égales de vitesse.”



Source : <http://bit.ly/2slOQgB>

Galileo Galilei, *Discours et démonstrations mathématiques concernant deux sciences nouvelles*

Galilée (1564-1642) est donc convaincu que la chute des corps se fait selon un mouvement uniformément accéléré. Il a alors montré que la hauteur de chute h d'un objet est proportionnelle au carré du temps de chute Δt . Cela se démontre aisément avec le calcul intégral (non connu à l'époque de Galilée) et l'application de la deuxième loi de Newton (1642-1727).

Les but de cette activité sont :

- d'établir la loi de chute libre verticale d'un objet énoncée par Galilée ;
- de mettre en oeuvre un protocole expérimental pour vérifier cette loi et de porter un regard critique sur ce protocole.

La restitution du travail peut être attendu au format d'un diaporama commenté (par écrit et/ou avec audio).

Cette activité comporte quatre étapes.

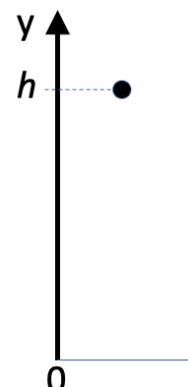
Étape 1 : Établir la loi de la chute libre verticale d'un corps.

On considère un objet de masse m et assimilé à son centre d'inertie G .

Cet objet est lâché d'une hauteur h sans vitesse initiale. L'expérience se déroule dans le référentiel terrestre considéré comme galiléen.

Questions :

1. Réaliser un bilan de la ou des force(s) non négligeable(s) qui s'exerce(nt) sur cet objet une fois lâché.
2. Projeter la deuxième loi de Newton sur l'axe Oy (voir schéma ci-contre pour l'orientation de l'axe Oy).
3. Par intégration successive, établir la relation entre la position y de l'objet et son temps de chute t .
4. On appelle Δt la durée de la chute de l'objet qui a parcouru une hauteur h . À partir de la relation précédente, montrer que : $h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot \Delta t^2$ avec g : intensité du champ de pesanteur.



Étape 2 : Mesures de durée de chute Δt à l'aide d'un smartphone et de l'application Phyphox

Dans cette étape, on se propose d'utiliser un smartphone en guise d'objet lâché verticalement. Il faut donc prendre soin d'aménager l'expérience pour que le smartphone reste intact après l'expérience !

Matériel nécessaire :

- une caisse avec un système pour amortir la chute (coussin, pull, mousse, etc.)
- un mètre ruban
- un smartphone (qu'on peut placer dans un plastique contenant du coton pour le protéger) avec l'application Phyphox compatible avec iOS ([lien](#)) ou Android ([lien](#)).

À mettre en oeuvre :

La manipulation consiste à faire tomber verticalement et sans vitesse initiale un smartphone (avec l'application Phyphox) à différentes hauteur h et à consigner les valeurs de durées de chute Δt correspondantes.

L'application Phyphox va permettre de mesurer la durée de chute en permettant l'affichage de la valeur de l'accélération du smartphone selon l'axe Oy en cours du temps de la chute. La fonction "accéléromètre" de l'application mesure l'intensité du champ de pesanteur terrestre autour du smartphone quand celui est immobile dans le référentiel terrestre. Au moment de la chute libre, l'accélération du smartphone selon l'axe Oy vaut celle de l'intensité du champ de pesanteur.

- Dans l'application Phyphox, choisir dans la rubrique Capteurs > accélération avec g
- Dans les paramètres (accessible depuis les trois points verticaux), cliquer sur "Définir le temps de mesure". Il est alors possible de fixer le délai avant lequel le capteur commence ses mesures (on peut fixer 4 secondes par exemple). On peut fixer la durée de l'expérience à 2,0 s. Choisir enfin "Graphe" dans la barre d'outil pour accéder à l'évolution de la valeur de l'accélération selon les axes Ox, Oy et Oz.
- Placer le smartphone à la verticale d'une caisse prévue pour l'atterrissage du smartphone. Mesurer la hauteur h entre le smartphone et le point d'impact (penser à expliciter le point du smartphone choisi comme repère pour cette mesure).
- Appuyer sur la "lecture" de la mesure et lâcher le smartphone verticalement une fois que la mesure commence réellement.
- Choisir le graphe accélération selon y et orienter le téléphone en format paysage pour plus de confort de lecture. En cliquant sur le graphique, un menu en bas de la fenêtre apparaît : à l'aide de "déplacement et zoom" agrandir la partie où l'accélération selon y devient quasi nulle. Cliquer sur "Détail d'une mesure" et repérer la date à laquelle l'accélération devient nulle en cliquant sur la courbe à l'endroit adapté. Relever cette date (notée t_1). Repérer et relever la date t_2 à partir de laquelle l'accélération n'est plus nulle.
- Calculer la durée de chute $\Delta t = t_2 - t_1$. Consigner les valeurs de h et de Δt correspondantes dans un tableau de mesures du type :

h (m)										
Δt (s)										

- Répéter l'opération pour une dizaine de valeurs de h en faisant quelques photos et/ou de courte(s) vidéo(s) pour illustrer les mesures réalisées.

On peut s'aider de la vidéo suivante pour la présentation de la manipulation et de la détermination de Δt :

<https://youtu.be/7BBiftcAKtk>

Étape 3 : Exploitation des mesures à l'aide d'un programme en langage Python

Matériel nécessaire :

Pour cette troisième étape, le matériel nécessaire est : un ordinateur avec un environnement numérique de langage pour Python comme par exemple Edupython, Spider, etc.

Un programme "chute_libre_verticale.py" est mis à disposition depuis _____ (préciser le lien ou le répertoire d'accès au programme).

Ce programme permet :

- de tracer h en fonction de Δt^2 une fois les valeurs renseignées ;
- de modéliser le nuage de points par une droite ;
- de donner l'équation de la droite de modélisation
- de mentionner les incertitudes sur chaque mesure réalisée.

Questions :

1. Identifier la ou les lignes du programme qui permettent de saisir les mesures réalisées pour h et Δt .
2. Compléter la ligne 25 pour créer la variable `deltat_carre_i` qui correspond à la grandeur Δt^2 ?
3. Que permet de faire la ligne n°61 du programme ?

À mettre en oeuvre :

- Exécuter le programme "chute_libre_verticale.py" ;
- Faire quelques captures d'écran restituant les différentes informations renseignées au cours de l'exécution du programme ainsi que le tracé du graphique h en fonction de Δt^2 .
- Relever l'équation de la droite de modélisation.

Étape 4 : Restitution de l'expérience mise en oeuvre et regard critique sur le protocole mis en oeuvre

Questions :

1. Pourquoi la représentation graphique de h en fonction de Δt^2 est-elle une droite ? Donner l'expression littérale de son coefficient directeur.
2. Est-ce que la valeur mesurée du coefficient directeur est cohérente ? Pourquoi ?
3. Le but de la manipulation était de retrouver la loi de la chute libre verticale : $h = (\frac{1}{2}).g.\Delta t^2$. Quel regard critique peut-on porter sur le protocole expérimental mis en oeuvre ? Autrement dit, quels sont les éléments satisfaisants et/ou les sources d'erreurs ?

À mettre en oeuvre :

- Réaliser un diaporama de 6 à 10 diapositives illustrant
 - le but de l'activité,
 - la démarche expérimentale mise en oeuvre pour réaliser les différentes mesures (h et Δt) à l'aide du smartphone,
 - l'exploitation du programme en langage Python
 - et le regard critique sur le protocole mis en oeuvre.
- Indiquer sur la première diapositive un titre au projet et les noms et prénoms de chaque membre d'équipe ;
- Compléter le diaporama de photos et/ou de commentaires audio et/ou de courtes vidéos.

La grille d'évaluation critériée est la suivante :

Critères	Échelle d'appréciation				Note obtenue
	Très Insuffisant	Insuffisant	Satisfaisant	Très satisfaisant	
Expression française orale et/ou écrite	De nombreuses erreurs et maladroites d'expression	Quelques maladroites d'expressions et/ou d'erreurs orthographiques/conj ugaion	Bonne maîtrise de la langue française (pas de fautes mais langage non soutenu)	Très bonne maîtrise de la langue française (langage soutenu)	
Maîtrise du langage scientifique	De nombreuses erreurs et maladroites de le choix du vocabulaire scientifique et/ou usage inexistant du langage scientifique	Une ou deux utilisations erronées de vocabulaire scientifique ou un usage non suffisant du langage scientifique	Bonne maîtrise du langage scientifique avec un ou deux oublis de vocabulaire adapté.	Très bonne maîtrise de la langue scientifique	
Mesures de h	Nombre de mesures très insuffisant et/ou évaluation de l'incertitude erronée	Nombre de mesures insuffisant et/ou évaluation de l'incertitude erronée	Nombre de mesures suffisant mais évaluation de l'incertitude erronée	Nombre de mesures suffisant et évaluation de l'incertitude erronée	
Évaluation de l'incertitude pour la mesure de Δt	Nombre de mesures très insuffisant et/ou évaluation de l'incertitude erronée	Nombre de mesures insuffisant et/ou évaluation de l'incertitude erronée	Nombre de mesures suffisant mais évaluation de l'incertitude erronée	Nombre de mesures suffisant et évaluation de l'incertitude erronée	
Interprétation et modification du programme en langage Python	Interprétation et modification du programme en langage Python erronées	Interprétation et/ou modification du programme en langage Python présentant des erreurs	Interprétation et/ou modification du programme en langage Python présentant une erreur	Interprétation et modification du programme en langage Python entièrement justes	
Regard critique sur le protocole mis en oeuvre	Regard critique erroné ou absence de propos critique	Regard critique faiblement argumenté avec des propositions d'au moins 2 sources d'erreurs justes	Regard critique argumenté avec des propositions d'au moins 3 sources d'erreurs justes et d'éventuelles corrections proposées	Regard critique argumenté avec des propositions de corrections de sources d'erreurs	

Sources :

Programme python adapté d'un projet de Philippe Larcher dans un contexte d'étude de loi de Beer-Lambert
<http://bit.ly/2QsuL0J>

A propos de l'incertitude du carré d'une grandeur :

<https://babel.cegep-ste-foy.qc.ca/profs/cshields/NYC/Rapports/Incertitude.pdf>

Corrigé pour les enseignant.e.s

Étape 1 : Établir la loi de la chute libre verticale d'un corps.

On considère un objet de masse m et assimilé à son centre d'inertie G .

Cet objet est lâché d'une hauteur h sans vitesse initiale. L'expérience se déroule dans le référentiel terrestre considéré comme galiléen.

Questions :

1. Réaliser un bilan de la ou des force(s) non négligeable(s) qui s'exerce(nt) sur cet objet une fois lâché.

le poids - les forces de frottements de l'air sont négligés.

2. Projeter la deuxième loi de Newton sur l'axe Oy (voir schéma ci-contre pour l'orientation de l'axe Oy).

Selon l'axe Oy : $-m.g = m.a_y$ d'où $a_y = -g$

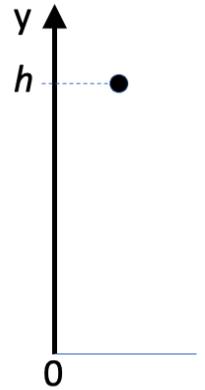
3. Par intégration successive, établir la relation entre la position y de l'objet et son temps de chute t .

$v_y = -g.t$ (Rappel : à $t = 0$, $v_y = 0$)

$y = -(1/2)g.t^2 + h$ (Rappel : $y(t=0) = h$)

4. On appelle Δt la durée de la chute de l'objet qui a parcouru une hauteur h . À partir de la relation précédente, montrer que : $h = (1/2).g.\Delta t^2$ avec g : intensité du champ de pesanteur.

Quand $t = \Delta t$ alors $y = 0$ d'où $0 = -(1/2)g.\Delta t^2 + h$ donc $h = (1/2).g.\Delta t^2$



Étape 2 : Mesures de durée de chute Δt à l'aide d'un smartphone et de l'application Phyphox

Exemples de mesures réalisées avec l'application Phyphox (pour iOS) :

h (m)										
Δt (s)										

Étape 3 : Exploitation des mesures à l'aide d'un programme en langage Python

Questions :

1. Identifier la ou les lignes du programme qui permettent de saisir les mesures réalisées pour h et Δt .
lignes 21 à 28

2. Compléter la ligne 25 pour créer la variable `deltat_carre_i` qui correspond à la grandeur Δt^2 ?

`deltat_carre_i = deltat_i*deltat_i`

voir programme complet

3. Que permet de faire la ligne n°61 du programme ?

de créer la variable `y` qui est associée à la fonction modélisant la courbe h en fonction de Δt^2 .

Retour d'expérience :

Les plus-value pédagogiques (enseignants/élèves) :

Les freins :

Les leviers :

Les pistes pour aller plus loin ou généraliser la démarche :

Possibilité de proposer une expérience préalable :

- smartphone fixe orienté en portrait tête en haut puis en bas, en paysage puis à plat permettent de définir ses axes (y suivant sa hauteur en orientation portrait) ce qui justifierait le choix des axes
- le sens peut être choisi aussi vers le bas
- étudier l'influence des forces de frottements en plaçant le smartphone dans une autre position

Production d'élèves :

Les valeurs de g déterminées par les élèves étaient comprises entre 10,9 et 11,5 m.s^{-2} .