

L'objectif est de filmer des mouvements de projectiles puis d'en extraire les positions successives afin de caractériser les forces exercées sur ces projectiles.

Matériel à disposition

balle
règle graduée
support avec pince

Partie A. Chute libre

On étudie le mouvement d'une balle lâchée dans le champ de pesanteur. On se placera au tableau du professeur, où un étalon de longueur a été placé.

- Fixer le téléphone face à la scène parallèlement au plan du mouvement, à une distance suffisante pour voir l'intégralité de la scène.
- Assurer la verticalité de l'appareil grâce à une application accédant à l'accéléromètre. On peut utiliser par exemple l'outil *Inclinaison* de l'application *phyphox*, en mode *vertical* : les deux angles doivent être le plus possible de 0.
- Lancer le mode vidéo du téléphone et choisir une fréquence (exprimée en FPS : *frames per second*) la plus élevée possible. Si le téléphone possède un mode ralenti, ceci permet d'augmenter encore la fréquence.
- Filmer la chute et transférer le fichier sur l'ordinateur.
- Pointer le mouvement du centre de la balle à l'aide du logiciel *Tracker* (voir notice).
- Copier le tableau de valeurs dans un tableur comme *Regressi*. Calculer la vitesse verticale v et tracer le graphe de $v = f(t)$. Proposer une modélisation de ce graphe.
- Peut-on considérer la chute comme libre ? En déduire la valeur de g . Proposer une interprétation à l'écart avec la valeur de référence $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Partie B. Chute avec frottements

On étudie le mouvement d'un volant de badminton dans l'air. On le modélise par les actions mécaniques suivantes : son poids \vec{P} et une force de contact avec l'air \vec{F} . Le but de cette partie est déterminer les propriétés de cette force, notamment son expression en fonction de la vitesse.

Pour ce faire, on détermine la force massique $\vec{f} = \frac{\vec{F}}{m}$, que l'on obtient en utilisant la deuxième loi de Newton : $m \vec{a}_G = m \vec{g} + \vec{F}$

d'où $\vec{f} = \vec{a}_G - \vec{g} = \vec{a}_G + g \vec{e}_y$.

On a filmé le mouvement dans un gymnase en mode ralenti (video « bad.mp4 » accessible sur cahier-de-prepa). Le pointage a été effectué et la trajectoire a été lissée. L'ensemble des instants et des positions lissées est fourni dans l'activité numéro **0156-1388778** sur le site <https://capitale2.ac-paris.fr> (tableaux numpy t , x et y).

- Démarrer l'activité et afficher le graphe des points expérimentaux.

Pour obtenir les vecteurs vitesse et accélération au cours du mouvement, il faut réaliser une dérivation à partir de valeurs discrètes, qui est une approximation de la dérivée réelle. Pour un ensemble de dates $\{t_i\}$ et de positions $\{x_i\}$, la dérivée discrète à l'instant t_i s'écrit :

$$\frac{dx}{dt}(t_i) = \frac{x_{i+1} - x_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}}$$

- Écrire une fonction Python réalisant la dérivée discrète d'une liste x par rapport à une liste de même taille t . Elle prendra comme arguments les deux listes t et x et renverra une liste contenant les valeurs des dérivées.
On remarque que cette dérivée n'est pas définie pour tous les points. En quels points n'est-elle pas définie ?
- En utilisant cette fonction, obtenir les coordonnées des vecteurs vitesse (tableaux vx et vy) et accélération (tableaux ax et ay), ainsi que de la force massique \vec{f} (tableaux fx et fy). On fera attention aux points non définis lors de la dérivation.
- Exécuter la cellule suivante de l'activité. La trajectoire est tracée ainsi que le vecteur \vec{f} en quelques points. La force de l'air est-elle une force de frottement opposée au mouvement ? Si non, proposez une explication.
- La cellule suivante affiche le graphe du module de la force en fonction du module de la vitesse. Le graphe est en échelle log-log. Ainsi une loi de puissance $f = kv^\alpha$ apparaît dans ce graphe comme une droite de pente α : $\log(f) = \log(k) + \alpha \log(v)$. Peut-on considérer que la force est une loi de puissance ?
- En pratique, $\alpha = 1$ ou 2 . Pour déterminer α ainsi que k , on trace les courbes théoriques dans la cellule suivante. Quelle est la valeur de α ? Ajuster la valeur de k afin d'obtenir un bon accord entre théorie et expérience.