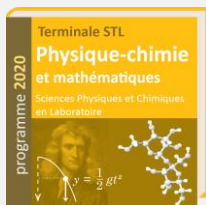


Mesures et incertitudes : activité pour les élèves

Chutes réelles et chute libre



Cette activité est adossée au programme de la spécialité PCM (Physique-chimie et Mathématiques) de la classe de terminale. Elle fait appel à des connaissances en mécanique de niveau première mais, en matière d'évaluation des incertitudes, propose de comparer un résultat de mesure à une valeur de référence, ce qui relève de la classe de terminale. Elle peut être proposée au début de la séquence 9 : « lien entre forces exercées et mouvements ». Le but est d'identifier, parmi deux mouvements, lequel est compatible avec le modèle de la chute libre, puis de comparer son accélération au champ de pesanteur terrestre.

Objectif de l'activité

Cette activité propose d'étudier les chutes de deux objets : une balle de tennis et un volant de badminton. Leurs deux mouvements seront ensuite comparés à la chute libre.

DOCUMENT 1 : chute libre sans vitesse initiale (rappels de 1^{ère})

La chute libre est un modèle qui décrit le mouvement d'un objet soumis à une seule force : son poids.

Les lois de Newton permettent d'établir l'expression de la coordonnée verticale du vecteur-vitesse d'un objet en chute libre en fonction du temps :

$$v_y(t) = g \times t$$

$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ étant la valeur du champ de pesanteur.

Cette relation suppose que :

- la vitesse initiale de l'objet est nulle ;
- le repère d'étude est un axe (Oy) orienté vers le bas dont l'origine est à la même altitude que la position initiale du centre de masse de l'objet étudié.



1. Étude expérimentale de deux mouvements



Pointage des mouvements d'une balle de tennis et d'un volant de badminton

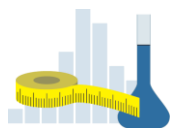
Deux mouvements ont été filmés : la chute d'une balle de tennis et celle d'un volant de badminton. Dans les deux cas, l'objet est lâché sans vitesse initiale et le repère jaune filmé à l'arrière-plan a une longueur de 1,0 m.

Avec un logiciel de pointage : ouvrir l'une après l'autre les deux vidéos et réaliser le protocole ci-dessous pour chacune d'elles :

- choisir comme origine du repère d'étude la position initiale d'un point appartenant à l'objet étudié (le centre de la balle de tennis ou le centre du bouchon du volant de badminton) et un axe vertical (Oy) **orienté vers le bas** ;
- étalonner l'écran à l'aide du repère jaune présent à l'arrière-plan ;
- pointer toutes les positions de l'objet à **partir de la date où il est lâché** ;
- renommer la grandeur représentant l'ordonnée du point étudié en « Y_tennis » ou « Y_bad ».

Évolutions des vitesses des objets étudiés

1. Rappeler la relation entre $v_y(t)$ (coordonnée verticale du vecteur-vitesse à la date t) et $y(t)$ (coordonnée verticale de position à la date t).
2. Exploiter les fonctionnalités du logiciel utilisé pour représenter graphiquement $v_y(t)$ en fonction du temps pour la balle de tennis et pour le volant de badminton dans deux fenêtres séparées. Les points expérimentaux ne doivent pas être reliés.



Validation du modèle de la chute libre

3. Créer une nouvelle grandeur notée « v_{CL} » correspondant à la vitesse qu'aurait un objet s'il était en chute libre (voir rappels du document 1).
4. Représenter graphiquement v_{CL} en fonction du temps (sous la forme d'une courbe « lisse ») de manière à la superposer aux tracés des vitesses de la balle de tennis et du volant de badminton.
5. Pour chacun des deux mouvements étudiés, indiquer si le modèle de la chute libre semble satisfait ou non, en expliquant le critère retenu. Aucun calcul n'est attendu.
6. Dans le cas du mouvement identifié comme « proche de la chute libre » : proposer une explication au fait que les points expérimentaux sont tous au-dessus de la droite d'équation $v_{CL}(t) = gt$.

2. Mesure du champ de pesanteur terrestre et comparaison à la valeur de référence

Dans cette partie on ne s'intéresse plus qu'à l'objet dont le mouvement a été jugé proche de la chute libre dans la partie précédente. On pourra ne conserver à l'écran que la courbe décrivant le mouvement de cet objet-là.

Modélisation de l'évolution de la vitesse et mesure du champ de pesanteur terrestre

7. Ouvrir la feuille de calcul « MI_Activité_PCMterm_ChuteLibre_Resultats ». Copier et coller les valeurs de t et de $v_y(t)$ dans les deux premières colonnes.
8. Si l'on admet que le modèle de la chute libre est satisfait, chaque valeur de $v_y(t)$ permet d'obtenir une valeur mesurée du champ de pesanteur terrestre g_{mes} . Établir l'expression de g_{mes} en fonction de t et $v_y(t)$ et programmer la colonne C pour calculer les valeurs de g_{mes} quand c'est possible.
9. Programmer la cellule C22 pour calculer la valeur moyenne des mesures de g_{mes} (on pourra s'aider des aides données dans le document 2).

Incertitude-type du champ de pesanteur mesuré et comparaison à la valeur de référence

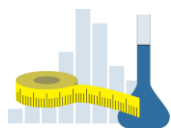
10. Exploiter les documents 2 et 3 pour calculer, dans les cellules C23 et C24 :
 - l'écart-type s de l'échantillon de valeurs de g_{mes} obtenu ;
 - l'incertitude-type $u(\overline{g_{mes}})$ à l'aide du document 2.En conservant deux chiffres significatifs à la valeur de $u(\overline{g_{mes}})$, résumer le résultat de la mesure, avec un nombre cohérent de chiffres significatifs, sous la forme : « la mesure du champ de pesanteur donne une valeur moyenne de ... avec une incertitude-type de ... ».
11. Dans toutes les cellules de la colonne E, saisir la valeur de référence de g communément admise.
12. En exploitant le document 4, évaluer la compatibilité entre la valeur de référence de g et la moyenne des valeurs mesurées, compte-tenu de l'incertitude-type de $\overline{g_{mes}}$.
13. Citer quelques sources d'erreur pouvant expliquer l'écart entre $\overline{g_{mes}}$ et la valeur de référence.

Pour aller plus loin...

14. Dans la feuille de calcul, éliminer les valeurs de g_{mes} les plus éloignées de la valeur moyenne et observer l'évolution des graphiques obtenus. Proposer une explication à ce constat.

DOCUMENT 2 : quelques fonctions utiles avec les tableurs usuels

- Calcul d'une moyenne : « = MOYENNE(plage) »
- Calcul d'un écart-type :
 - sous LibreOffice : « = ECARTYPE.S(plage) »
 - sous Excel (version avant 2014) : « = ECARTYPE(plage) »
 - sous Excel (version récentes) : « = ECARTYPE.STANDARD(plage) »

**DOCUMENT 3 : évaluation d'une incertitude-type par une méthode de type A**

Si l'on dispose d'un échantillon de n valeurs d'une même grandeur physique x , alors :

- le meilleur estimateur de la valeur de x est la moyenne $\bar{x}$ des valeurs de l'échantillon ;
- son incertitude-type peut être évaluée à partir de l'écart-type s de l'échantillon par la relation :

$$u(\bar{x}) = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

DOCUMENT 4 : comparaison d'un résultat de mesure à une valeur de référence

Une valeur de référence x_{ref} d'une grandeur x est une valeur supposée avoir une incertitude beaucoup plus faible que la valeur mesurée x_{mes} à laquelle on la compare.

On considère que la valeur mesurée, compte-tenu de son incertitude-type, est compatible avec la valeur de référence si leur différence (en valeur absolue) est inférieure au double de l'incertitude-type de x_{mes} , soit :

$$|x_{\text{mes}} - x_{\text{ref}}| \leq 2 \times u(x_{\text{mes}})$$