

TP21 : Mécanique du sable

MP 2025-2026, Lycée Baimbridge

23 et 30 mars 2026

Matériel

Activité 1 : Bac en plastique, bol, billes d'acier, sable, mètre.
Activité 2 : Rail, potence, bille, sable, piste en bois, réglet, chronomètre.

Objectif

Vérifier les lois mécaniques de conservation de l'énergie.

Compétences évaluées

- Réaliser des mesures précises en mécanique
- Établir un bilan énergétique
- Concevoir un protocole permettant de minimiser les incertitudes de mesure

Consignes pour le compte rendu de TP :

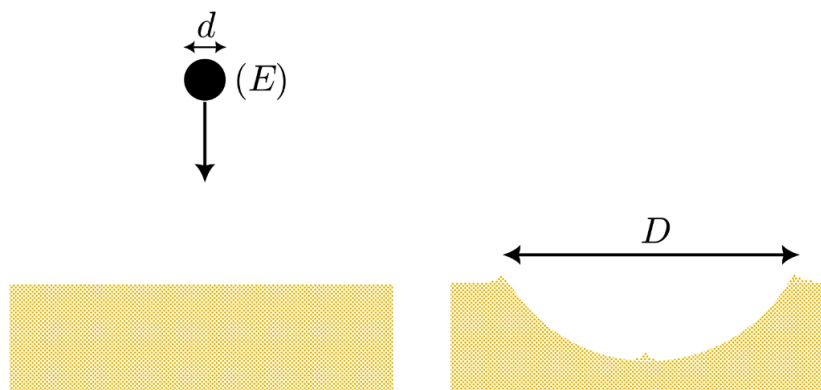
- Décrire le protocole expérimental utilisé
- Utiliser un maximum de schémas
- Apporter un soin particulier aux chiffres significatifs et au traitement des incertitudes
- Si la question n'est pas aboutie, indiquer tout de même ce que vous avez fait, vos mesures, et ce que vous auriez fait si vous aviez eu plus de temps
- Ne pas y passer trop de temps, vous êtes avant tout là pour manipuler !

1 Formation d'un cratère

Les cratères sont des outils très utilisés pour mieux connaître l'histoire d'une planète : il est possible de déterminer l'âge d'un continent en y comptant les cratères. On cherche également souvent, à partir d'un cratère, à connaître la taille de la météorite qui a impacté la surface, pour cela on utilise des lois d'échelle.

Différents modèles cherchent à relier la taille d'un cratère D à la taille d ou à l'énergie cinétique E de la météorite.

□ **1** — On considère dans un premier modèle que la profondeur du cratère ne dépend pas de l'énergie cinétique de la météorite, justifier que dans ce cas il existe une constante c_1 telle que $D = c_1 d$.



□ 2 – Justifier que la profondeur du cratère, H , peut être considérée comme proportionnelle à D .

□ 3 – Dans un second modèle, on suppose que l'énergie de la météorite sert à rompre une énergie de liaison du sol, qui est proportionnelle au nombre de grains excavés et donc au volume du cratère. Montrer que l'on a alors une constante c_2 telle que $D = c_2 E^{1/3}$.

□ 4 – Dans un troisième modèle, on suppose que l'énergie de la météorite est proportionnelle à l'énergie potentielle de pesanteur à ajouter au sol pour former le trou. Montrer que l'on a alors une constante c_3 telle que $D = c_3 E^{1/4}$.

Nous menons ici des expériences sur la formation de cratères à l'échelle centimétrique afin de comparer les trois modèles. Des billes d'acier de différents diamètres d et masses m , d'une densité $\rho_a = 7.8 \cdot 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, font office de météorites. **On fera attention à ne pas perdre les billes.**

	d [mm]	m [g]
Bille 1	2.0	0.033
Bille 2	5.0	0.51
Bille 3	9.0	3.0
Bille 4	16.0	17

Le bol, rempli de sable, est placé à l'intérieur de la boîte en plastique vidée, qui servira à recueillir l'excédent de sable.

□ 5 – Lâcher la bille n°3 d'une hauteur $h = 50 \text{ cm}$ et mesurer le diamètre D du cratère formé. Répéter l'expérience 5 fois. Après chaque impact, remuer le sable à l'aide de la cuillère et niveler soigneusement avec le bord de la règle. Éviter de tasser le sable ! Si la bille se perd dans le sable, on peut utiliser le tamis pour la retrouver.

□ 6 – Présenter une mesure de D associée à son incertitude-type.

Au cours de la chute, la force de frottement de l'air est donnée par :

$$\vec{F} = -\frac{1}{8}\pi d^2 \rho_0 C_x v^2 \vec{e}_z \quad (1)$$

où v est la vitesse de chute de la bille, $\rho_0 \approx 1.2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ est la masse volumique de l'air et C_x est un coefficient sans dimension d'ordre 1. On considère que la force de traînée est négligeable si la bille est lâchée d'une hauteur inférieure à la hauteur maximale de chute h_{max} , définie comme la hauteur à laquelle la force de traînée reste inférieure à 10 % du poids pendant toute la durée de la chute.

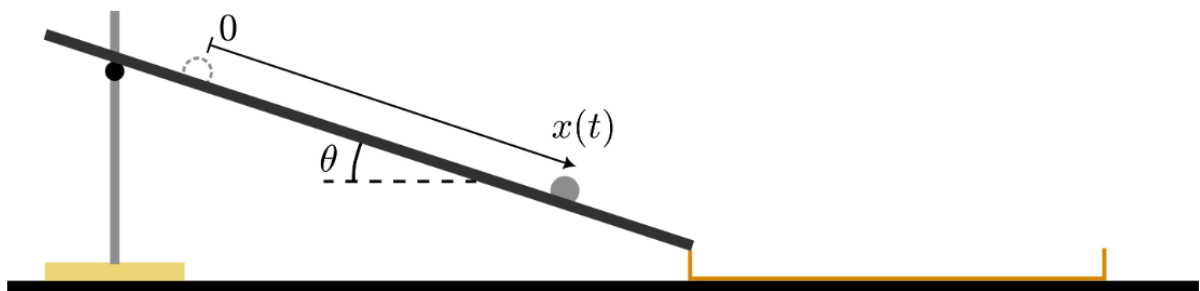
□ 7 – Déterminer l'expression théorique de h_{max} , calculer sa valeur numérique pour les 4 billes disponibles.

□ 8 – Proposer et mettre en œuvre un protocole expérimental permettant d'établir lequel des modèles 1, 2 et 3 est le plus approprié. Il faut couvrir un très large spectre d'énergies E pour pouvoir discriminer entre les différentes lois.

2 Freinage par le sable

L'étude du freinage par le sable est très utile dans le cadre de la conception d'engins de déplacement tout-terrain, car le mouvement entre les grains de sable dissipe beaucoup d'énergie.

Nous étudions ici le freinage d'une bille roulant dans le sable. La bille, initialement au repos, est d'abord accélérée sur un rail incliné d'un angle θ , puis ralentie sur un lit de sable. La bille est lâchée sans vitesse initiale depuis un point quelconque du rail, choisi comme origine de l'axe ($x = 0$). On note v la vitesse de déplacement de la bille et m sa masse, et on suppose que la bille roule sans glissement sur le rail.



Le moment d'inertie d'une bille de masse m et de diamètre d par rapport à un axe passant par son centre est donné par $J = md^2/10$.

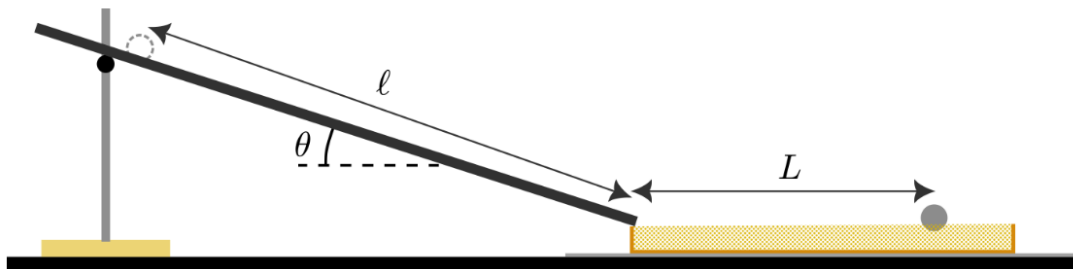
□ 9 – Montrer que l'énergie cinétique de la bille est donnée par : $E_c = \frac{7}{10}mv^2$

□ 10 – Exprimer la position de la bille sur le rail $x(t)$ en fonction de θ , t et g .

Une extrémité du rail repose en face du bord de la piste en bois, qui ne contient pas de sable à cet endroit. Placer l'autre extrémité sur le support de telle sorte qu'elle forme un angle d'inclinaison $\theta = 5^\circ$ avec l'horizontale. (Effectuer le réglage avec soin.)

□ **11** – Mesurer le temps t_{50} mis par la bille pour parcourir une distance $\ell = 50$ cm le long du rail.

□ **12** – Répéter l'expérience pour différentes valeurs de ℓ . Représenter graphiquement vos résultats en y ajoutant des barres d'erreur afin de confirmer la loi établie précédemment. Déterminer une estimation expérimentale de la constante g , ainsi que son incertitude.



Nous notons ℓ la distance parcourue par la bille sur le rail. Sur le sable, la bille s'immobilise après avoir parcouru une distance L . Elle est donc ralentie par une force de traînée T qui peut avoir deux origines possibles :

- Modèle n° 1 (frottement solide) : comme entre deux solides en mouvement relatif, le sable exerce sur la bille une force de traînée constante $T = -\mu_{\text{eff}}mg$, où μ_{eff} est le coefficient de traînée effectif du contact bille-sable et m est la masse de la bille.
- Modèle n° 2 (traînée fluide) : la force de traînée dépend linéairement de la vitesse de la bille, $T = -kv$ où k est une constante et v la norme de la vitesse.

L'objectif ici est de déterminer quelle proposition décrit le mieux le comportement de freinage observé. Lorsqu'elle se déplace dans le sable, la bille est modélisée comme une masse ponctuelle. Étant donné la faible pente du rail, nous négligeons toute perte d'énergie lors de la transition entre le rail et la piste de sable.

□ **13** – Établir la loi théorique reliant L à ℓ dans chacune des deux situations (frottement solide ou traînée fluide). Montrer que les deux suggestions conduisent à une loi de puissance de la forme $L \propto \ell^\alpha$ dans laquelle l'exposant α prend deux valeurs différentes.

□ **14** – Placer la piste en bois sur une feuille de papier. Remplir la piste de sable et former une couche uniforme en lissant soigneusement la surface à l'aide de la règle. Éviter de tasser le sable ! Ajuster à nouveau soigneusement l'angle θ . Lâcher la bille sur le rail incliné de manière à ce que la distance parcourue sur le rail soit $\ell = 50$ cm.

□ **15** – Proposer et mettre en œuvre un protocole afin de déterminer quel modèle décrit le mieux la force de traînée T .