

SUJET IV – ETUDE ENERGETIQUE D'UN OSCILLATEUR MECANIQUE

En mécanique, l'approche énergétique permet de comprendre le mouvement d'un point matériel. La conservation (ou non) de l'énergie mécanique nous renseigne sur l'existence des forces non conservatives que subit le système (par exemple les frottements).

Le but de cette épreuve est d'étudier le mouvement d'un pendule simple par une approche énergétique et d'évaluer l'influence des frottement en étudiant l'évolution de l'énergie mécanique du pendule au cours du temps.

Document 1 : énergie mécanique	Document 2 : pointage vidéo
<p>L'énergie mécanique E_m d'un pendule simple est égale à la somme de son énergie cinétique E_c et de son énergie potentielle de pesanteur E_{pp} :</p> $E_m = E_c + E_{pp}$ <p>Avec :</p> $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ $E_{pp} = mgz$	<p>Les pointages du point étudié sur la vidéo ont pour préalable la définition d'un système d'axes et le choix d'une longueur de référence (étalon) donnant l'échelle de l'image.</p> <p>La vitesse instantanée du mobile à une position donnée peut s'obtenir soit comme la vitesse moyenne entre la position de la date d'avant et celle de la date d'après, soit à l'aide des outils de dérivation du tableur-grapheur.</p> <p>La durée entre deux prises de vue peut être obtenue à l'aide du nombre d'images par seconde de la vidéo.</p>
Document 3 : matériel	
<ul style="list-style-type: none">• Un pendule de masse $m = 200 \text{ g}$, de longueur $L = 50 \text{ cm}$.• Un récipient transparent permettant de faire osciller le pendule dans l'eau.• Une webcam reliée à un ordinateur permettant d'exporter les mesures vers un tableur-grapheur.• Les notices simplifiées.	

Travail demandé :

- 1) Proposer un protocole expérimental permettant d'observer l'évolution de l'énergie mécanique du pendule au cours du temps dans l'air, puis dans l'eau. Les manipulations ont pour but d'estimer l'influence des frottements sur le pendule selon la nature du fluide (air ou eau).
Le protocole devra comporter une démarche chronologique précise, aboutissant à l'exploitation du mouvement du pendule par un tableur-grapheur.
 - Appeler le professeur.
- 2) Réaliser le protocole proposé.
 - Appeler le professeur.
- 3) Exploiter les mesures réalisées afin de conclure quant à l'influence du fluide sur les frottements exercés sur le pendule.

CORRECTION

1) L'élève doit enregistrer le mouvement d'un pendule simple à l'aide d'une webcam dans l'air puis dans l'eau, à partir d'une même position initiale du pendule. Il peut estimer cette position à partir d'un rapporteur fixe sur le point d'attache du fil, permettant de mesurer aisément l'angle de départ.

Pour obtenir une vidéo soignée, l'élève doit choisir une durée d'enregistrement de l'ordre de 3 secondes minimum. Le nombre d'images par seconde est imposé par la webcam et apparaît comme la durée qui sépare deux points consécutifs dans les données du tableur.

Afin que l'échelle des longueurs soit la bonne, l'élève doit penser à réaliser un étalonnage de l'échelle sur son enregistrement. Il peut par exemple pointer les positions extrêmes du pendule et spécifier au logiciel que la distance les séparant est égale à 50 cm (longueur du pendule).

Il doit aussi choisir une origine de position pour les axes. Il peut, par exemple, commencer l'enregistrement avec le pendule à l'équilibre, le monter à la position angulaire choisie initialement puis la lâcher (cet instant, facilement repérable sur la vidéo, peut aussi être choisi pour l'origine des temps). Ceci permet de repérer l'origine comme le point d'équilibre du pendule (altitude nulle). Mais une origine arbitraire est également possible.

L'élève doit créer une colonne correspondant à l'énergie mécanique E_m . Pour cela, il doit d'abord créer une colonne vitesse v (pour calculer l'énergie cinétique $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ et une colonne énergie potentielle de pesanteur $E_{pp} = mgz$). Puis enfin, l'élève crée une colonne énergie mécanique.

Afin d'estimer l'influence des frottements sur le pendule selon la nature du fluide, l'élève doit enregistrer deux films (l'un dans l'air et l'autre dans l'eau) dans les mêmes conditions initiales et les comparer.

L'élève appelle le professeur qui vérifie sa démarche.

2) L'élève réalise le pointage des différentes positions du pendule en fonction du temps.

Pour créer la colonne vitesse v , il y a plusieurs possibilités :

- Soit le tableur propose déjà deux colonnes v_x et v_z représentant les coordonnées de la vitesse sur les deux axes. Dans ce cas, l'élève crée une colonne vitesse v en écrivant que $v = \sqrt{v_x^2 + v_z^2}$.

- Soit le tableur ne propose que les coordonnées x et z de la position. L'élève doit alors créer une colonne v_x et une colonne v_z des coordonnées de la vitesse en écrivant qu'à une date t_i quelconque :

$$v_x(t_i) = \frac{x(t_{i+1}) - x(t_i)}{t_{i+1} - t_i} \text{ et que } v_z(t_i) = \frac{z(t_{i+1}) - z(t_i)}{t_{i+1} - t_i}.$$

Enfin, il crée la colonne vitesse v avec $v = \sqrt{v_x^2 + v_z^2}$.

- Soit le logiciel de pointage permet de créer directement les colonnes v_x et v_z par une opération mathématique de dérivation des coordonnées x et z de la position : $v_x = \frac{dx}{dt}$ et $v_z = \frac{dz}{dt}$. La vitesse s'obtient toujours de la même manière par une colonne $v = \sqrt{v_x^2 + v_z^2}$.

Ainsi, il peut créer une colonne énergie cinétique $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ avec $m = 0,200 \text{ kg}$.

Pour la colonne énergie potentielle de pesanteur $E_{pp} = mgz$, z est la coordonnée verticale (axe vers le haut) de la position, déjà proposée par le logiciel lors du pointage. La valeur de la pesanteur g est prise égale à $9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Pour finir l'élève crée la colonne énergie mécanique $E_m = E_c + E_{pp}$.

Enfin, il peut, à l'aide des fonctionnalités du logiciel, tracer l'énergie mécanique en fonction du temps pour les deux situations. L'élève appelle le professeur qui vérifie la création de ces colonnes.

3) En calculant la variation relative de l'énergie mécanique $\frac{\Delta E_m}{E_m}$ sur une durée de 1,0 s (la période théorique vaut 1,4 s), il est possible de comparer l'influence des frottements dans les deux cas.

- Dans l'air, on trouve par exemple, pendant une seconde, $\frac{\Delta E_m}{E_m} = -0,05$ (le signe négatif vient du fait que l'énergie mécanique décroît au cours du temps).
- Dans l'eau, pendant la même durée, on trouve $\frac{\Delta E_m}{E_m} = -0,65$.
- Les frottements sont bien plus importants dans l'eau que dans l'air. Dans l'eau, l'énergie mécanique perd 65% de sa valeur pendant une seconde alors qu'elle ne perd que 5% dans l'air.