NOM : .... Prénom : .... **Classe** : …….

1ère Spé	**Thème : L'énergie : conversions et transferts**	**TP 18**
Physique	**Les énergies d'un pendule**	🕮 **Chap.14**

➢ **But du TP** : Etudier l'évolution des énergies cinétique, potentielle et mécanique lors des oscillations d'un pendule.

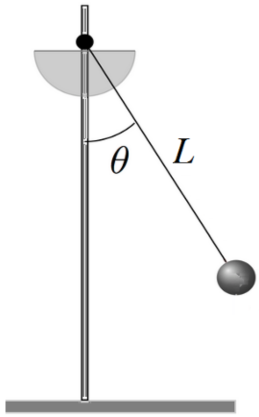
I. Période d'oscillation d'un pendule

Document 1 : Galilée et l'isochronisme

« Galileo osserva la lampada nel Duomo di Pisa », 1841

- En 1583, à Pise, un jeune homme est distrait de la messe par le balancement d'une lampe à huile que l'on vient d'allumer. Il mesure la durée du balancement d'après son pouls et s'aperçoit qu'elle ne dépend pas de l'ampleur des oscillations à condition qu'elle ne soit pas trop forte.
- Il découvre ce que les physiciens appellent : l'isochronisme des petites oscillations.
- C'est ainsi que l'astronome italien ***Galilée*** (1564-1642) aurait découvert les propriétés du pendule. Il aurait ainsi remarqué que ses balancements conservaient la même durée, bien que leur oscillation diminuât ! Plus tard, il établit expérimentalement les 3 propriétés suivantes :
  - ➢ La période T est indépendante de la masse m du pendule ;
  - ➢ La période T est indépendante de l'amplitude θ (isochronisme) ;
  - ➢ La période T est proportionnelle à la racine carrée de la longueur L du pendule.

Question (S'approprier)



1) **Choisir l'expression** qui rend le mieux compte des observations de Galilée :

① $T = k \times L$; ② $T = k \times m$; ③ $T = k \times \sqrt{L} \times \theta$ ④ $T = \frac{k}{\sqrt{L}}$; ⑤ $T = k \times \sqrt{L}$

On peut démontrer que la constante $k = \frac{2\pi}{\sqrt{g}}$ avec $g = 9{,}8\ N.kg^{-1}$.

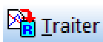
II. Energies d'un pendule

- On souhaite décrire le mouvement d'un pendule de masse m = 159 g en étudiant l'évolution de ses énergies.

Document 2 : Les énergies

- ➢ L'énergie cinétique E_C (en J) : $E_C = \frac{1}{2} \times m \times v^2$ avec la masse m (en kg) et la vitesse v (en $m.s^{-1}$).
- ➢ L'énergie potentielle de pesanteur E_{PP} (en J) : $E_{PP} = m \times g \times L \times (1 - \cos(\theta))$ où θ est l'angle entre le pendule et la verticale. L'énergie potentielle de pesanteur de référence est telle qu'à l'équilibre, $E_{PP(\text{équilibre})} = 0$.
- ➢ L'énergie mécanique E_M (en J) : $E_M = E_C + E_{PP}$.
- ➢ Théorème de l'énergie mécanique : $\Delta E_M = W_{AB}(\overrightarrow{F}_{nc})$ où $\overrightarrow{F}_{nc}$ sont les forces non-conservatives.

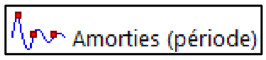
Protocole expérimental (Réaliser)

- Ouvrir le logiciel Regressi, puis OrphyLab et connecter le pendule à la carte d'acquisition U1 présente sur la table :
- Sélectionner l'icône U1, puis paramétrer le logiciel en suivant les indications suivantes : Durée : 10 s ; Nombre de points : 500 ; $T_{\text{échantillonnage}}$: 20 ms ; Déclenchement : Clavier (avec loupe auto).
- Choisir une longueur totale de pendule L = 50 cm (déplacer la masse pesante).
- Sur le boitier bleu, appuyer sur α = 0° lorsque le pendule est à l'équilibre, puis le lâcher avec un angle θ_0 = 20° afin de réaliser l'acquisition (barre d'espace).
- Basculer les valeurs expérimentales sous Regressi en validant : OK. 

Modélisation (Réaliser)

- Entrer les paramètres expérimentaux m (en kg), L (en m) et g (en N/kg). 

➢ **Indiquer leur valeur respective.**

- A présent, il faut convertir la tension U1 en angle θ : Pour cela, visualiser le graphe de la tension U1(t).
- Dans Modélisation, choisir les angles en radian (élargir la fenêtre de modélisation si besoin).
- Choisir un modèle oscillatoire amorti : modèles / autres du type
U1 = a + b × cos(2π×t/T + φ) × exp(-t/τ). Ajuster. 

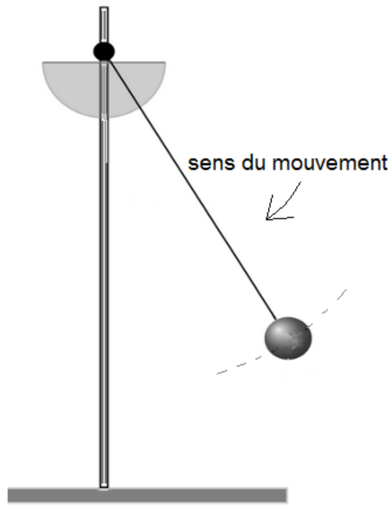
➢ **Noter les valeurs** de la moyenne de U1 : a = ……………… ; de l'amplitude de U1 : b = ……………… ; de la période : T = ………………

- Dans Expressions, faire calculer les grandeurs suivantes :
  - ➢ L'angle θ (en rad) : θ = $\frac{\pi}{180}$ × 20 × (U1 - a)/b en y remplaçant a et b par les valeurs mesurées précédemment.
  - ➢ La vitesse v du pendule avec v = L × $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ où la variation de l'angle au cours du temps s'écrit :
  $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ noté derθ = (θ[i + 1] – θ[i-1]); (t[i+1] – t[i-1])
  - ➢ Les énergies cinétique E_C, potentielle de pesanteur E_{PP} et mécanique E_M.

➢ **Visualiser les courbes E_C, E_{PP} et E_M en fonction du temps**. Ajuster afin de tracer leur moyenne et d'éliminer les valeurs aberrantes.

Faire vérifier les courbes par le professeur, puis les imprimer.

Exploitation (Analyser)



2) Quelle transformation d'énergie est mise en évidence ?
3) L'énergie mécanique E_M se conserve-t-elle ? Justifier en indiquant ses valeurs extrêmes aux dates t = 0 et t = 10 s.
4) Nommer les forces qui s'exercent sur le pendule au cours de son mouvement et les représenter sur le schéma ci-contre.
5) A l'aide du théorème de l'énergie mécanique, déterminer le travail $W_{AB}(\vec{f})$ des frottements $\vec{f}$ (seule force non-conservative qui travaille) durant la durée totale d'étude Δt = 10 s.

Problème (Raisonner)

6) En exploitant l'expression de la période *T* du pendule (partie **I.**), calculer la longueur du pendule battant la seconde à Pise. En déduire la valeur de la période de ce pendule sur la Lune.
Donnée : g_{Lune} = 1,6 N.kg^{-1}

Programmation (Réaliser-Analyser)

- Un programme informatique permet de représenter l'évolution des énergies en tenant compte des frottements exercés par l'air.
- Ouvrir le logiciel *EduPython*.
- Charger le fichier *Pendule.py* présent dans les documents de votre classe (PC).
- Enregistrer ce fichier dans vos documents personnels.
- Modifier le programme (voir l'encadré ci-dessous) en indiquant :
  - ➢ Les valeurs des paramètres expérimentaux ;
  - ➢ Le coefficient d'amortissement (ou de frottement) noté c ∈ [0 ; 1].

```
### Importation des bibliotheques

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

##################################################
### INITIALISATION DES VARIABLES - MODIFIABLE ###
##################################################
                                valeurs à compléter
m=          #Masse (kg)
θo=         #Angle initial (deg)
L=          #Longueur du fil (m)
c=          #Coefficient amortissement (SI)
g=          #Norme du champ de pesanteur (m par s2)
tmax=       #Temps maximal affichage courbes (s)

##################################################
##################################################

θo=θo*(np.pi/180) #Conversion des degres en radians
```

- Exécuter le programme.

7) Justifier que la période *T* d'oscillation du pendule est bien indépendante de sa masse.
8) Pour quelle valeur du coefficient d'amortissement (c = 0,5 ; 0,05 ; 0,005) obtient-on les mêmes résultats que lors de l'expérience II. ?
9) Modifier les valeurs afin de simuler l'expérience sur la Lune (question 6)). Conclure.

Faire vérifier les courbes par le professeur.