

TP 18 – Étude expérimentale du pendule pesant

Objectifs :

Choisir un modèle, en déterminer les paramètres, y associer des conditions de validité et des limites. Perfectionner le modèle.

Dans un premier temps on supposera que la barre a une masse négligeable devant la masse m accrochée au pendule . On assimilera le pendule à un pendule simple

Introduction :

- Sur votre compte-rendu, faire un schéma modèle du dispositif. Quel paramètre de position choisit-on usuellement pour décrire l'état du pendule? Le placer sur le schéma.
- Y ajouter également les grandeurs physiques pertinentes en leur attribuant un symbole (notamment la distance entre le point d'attache et la masse que l'on notera L)

Partie A : Mouvement de grande amplitude avec frottements fluides

A.1. Position du problème

On suppose ici des oscillations de grande amplitude et la présence de frottements fluides de la forme $\vec{f} = -\alpha \vec{v}$

- L'équation du mouvement prend alors la forme $\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{\alpha}{m} \frac{d\theta}{dt} + \frac{g}{L} \sin\theta = 0$?

Donner la forme canonique en faisant apparaître Q et ω_0 à définir en fonction de g , L , α et m .

- En connaissez-vous la solution analytique ? Pourquoi ?
- Utiliser le programme **pendulefrott.py** disponible sur cahier de prépa pour résoudre cette équation et tracer $\theta(t)$ (on pourra utiliser la fin de l'énoncé du TP17.) On pourra essayer avec $\omega_0 = 1$ rad/s et $Q = 1000$ et $\theta_0 = 60^\circ$

A.2. Acquisition du mouvement

- Placer la plaque permettant d'ajouter des frottements fluides.
- Déplacer au maximum la barre vers le bas
- Dans LatisPro, paramétrer l'acquisition de manière à observer la décroissance des oscillations. Choisir de manière cohérente la durée d'acquisition et le nombre de points. Noter ces paramètres dans le compte rendu.
- Visualiser la position angulaire $\theta(t)$ en fonction du temps pour $\theta_0 = 60^\circ$. Prendre une capture d'écran (ne pas imprimer pour le moment mais la sauvegarder)

A.3. Analyse des résultats

- Par des mesures effectuées à l'aide du réticule, déterminer s'il y a isochronisme des oscillations (c'est à dire que la période est la même peu importe l'angle initial). Comment évolue (qualitativement sans calculs) la période lorsque l'amplitude diminue ?

Partie B : Modèle de l'oscillateur linéaire

B.1. Quand θ est-il « trop grand » ?

- À partir de l'équation du mouvement précédente, quelle(s) hypothèse(s) faut-il faire pour la rendre linéaire ?
- Fixer, en le justifiant, un domaine de validité de l'approximation des petits angles.
- Que devient l'équation du mouvement ? Quel régime d'évolution observe-t-on (apériodique / pseudo-périodique) ? Donner la forme des solutions correspondantes. (sans résoudre)
- Que devient l'équation du mouvement si l'on néglige les frottements ? Donner la forme des solutions correspondantes (sans résoudre)

B.2. Acquisition du mouvement sans frottement

- Enlever la plaque et refaire une acquisition respectant le domaine de validité du modèle linéaire sans frottements
- Visualiser la position angulaire $\theta(t)$ en fonction du temps. Déterminer **la période propre** de l'oscillateur et en déduire la pulsation propre avec son incertitude-type à estimer. $u(T_0)/T_0 = u(\omega_0)/\omega_0$

B.3. Acquisition du mouvement avec frottements

- Placer à nouveau la plaque pour les frottements fluides et refaire une acquisition respectant le domaine de validité du modèle linéaire.

- En exploitant le décrétement logarithmique $\delta_n = \ln\left(\frac{u(t)}{u(t+nT)}\right) = \frac{n \times 2\pi}{\sqrt{4Q^2 - 1}} \approx n \frac{\pi}{Q}$ déterminer Q en mesurant $u(t)$ à un instant t où l'angle est max puis à un instant $t + nT$ (après n pseudo-périodes) où $u(t+nT)$ est encore localement max (mais plus faible que $u(t)$)

- On réalisera 5 mesures de Q sur différentes parties de la courbe et on déterminera Q avec son incertitude-type par une approche statistique

- Compléter le programme python avec les bonnes valeurs de Q et ω_0 et $\theta_0 = 60^\circ$. Prendre une capture d'écran et imprimer côte à côte $\theta(t)$ expérimentale $\theta(t)$ modélisée

B.4. Perfectionnement du modèle

- Dans le modèle du pendule simple (point matériel suspendu à un fil sans masse inextensible), comment s'exprime la période propre des oscillations en fonction de L ? Quelle longueur de « fil » L peut-on déduire de la période propre mesurée ici ?

- Le modèle du pendule simple est-il bien adapté ici ? Comment l'améliorer ?

Partie C : Modèle du pendule pesant

- Enlever la plaque et la masse du bout de la tige, on se ramène ainsi au pendule pesant étudié dans le cours. On note J le moment d'inertie du pendule par rapport à l'axe de rotation, L_{tot} la longueur de la barre.

- Établir l'équation du mouvement de ce pendule sans détailler J .

Reproduire le schéma ci-contre en indiquant notamment le centre d'inertie G

C.1. Mesure de J

- Construire et rédiger un protocole expérimental permettant la mesure de ω_0 et J .

- Effectuer la mesure.

- Retrouve-t-on la valeur théorique $J = \frac{m_{\text{barre}} L_{\text{tot}}^2}{3}$? Justifier l'origine de l'écart.

- On peut montrer que si la barre dépasse en bas de L et en haut de h ,

$$\text{la pulsation propre est donnée par la formule } \omega_0 = \sqrt{\frac{3}{2} g \left(\frac{L^2 - h^2}{L^3 + h^3} \right)}$$

comparer avec la pulsation propre expérimentale.

C.2. Conservation de l'énergie mécanique

- Comment s'expriment l'énergie cinétique et l'énergie potentielle de ce système ?

- Tester, à l'aide de LatisPro, la conservation de l'énergie mécanique.

