

COMPTE-RENDU TP 19

CLAERR — PFOTZER — FROMENT-AMBLARD — PRINTZ

Lycée Couffignal
10 février 2026

Introduction

TP 19 — Étude énergétique d'un oscillateur masse-ressort

L'objectif de ce TP est d'étudier le comportement énergétique d'un oscillateur en mécanique : le système masse-ressort vertical. Après avoir décrit le mouvement à l'aide des lois de la mécanique, on cherche à analyser les échanges d'énergie au cours du temps et à vérifier la conservation (ou non) de l'énergie mécanique du système.

Objectifs du TP

- Étudier l'aspect énergétique d'un oscillateur mécanique.
- Mesurer une accélération par mesure indirecte d'une force.
- Effectuer une étude énergétique complète à l'aide de la théorie.

Hypothèses et démarche scientifique

On suppose que le système masse-ressort peut être modélisé par un oscillateur harmonique dans le cas de faibles oscillations. On fait l'hypothèse que les frottements sont négligeables dans un premier temps, ce qui permet d'envisager la conservation de l'énergie mécanique.

Pour vérifier ces hypothèses, on enregistre le mouvement oscillatoire de la masse, puis on exploite les mesures afin de déterminer les grandeurs cinématiques et énergétiques du système. Les résultats expérimentaux sont ensuite comparés aux prévisions théoriques.

Matériel utilisé

- une masse m ;
- un ressort de raideur k ;
- un support et une potence pour le montage vertical ;
- un capteur de force relié à une interface d'acquisition et à un microcontrôleur ;
- un logiciel d'acquisition et de traitement des données (LatisPro).

Principe de l'expérience

Dans un premier temps, le système masse-ressort est mis en oscillation verticale. Le capteur permet d'enregistrer la force exercée au cours du temps.

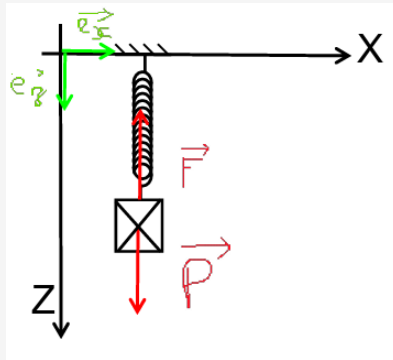


À partir de ces mesures, on détermine :

- l'accélération de la masse ;
- la vitesse et la position par intégration ;
- les différentes énergies du système en fonction du temps.

Théorie

1.



2. Système : masse de masse m

Référentiel : terrestre supposé galiléen

Bilan des forces :

— le poids $\vec{P} = mg \vec{e}_z$;

— la force de rappel du ressort $\vec{F} = -k(z - \ell_0) \vec{e}_z$.

D'après le principe fondamental de la dynamique :

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

$$/ \vec{e}_z : m\ddot{z} = mg - k(z - \ell_0)$$

On obtient alors :

$$\ddot{z} + \frac{k}{m}z = g + \frac{k}{m}\ell_0$$

3.

À l'équilibre, l'accélération de la masse est nulle et donc la somme des forces qui s'exercent sur elle est nulle :

$$\vec{P} + \vec{F} = \vec{0}$$

$$/ \vec{e}_z : mg - k(\ell_{\text{eq}} - \ell_0) = 0$$

D'où :

$$\ell_{\text{eq}} = \frac{mg}{k} + \ell_0$$

4. On pose :

$$Z(t) = z(t) - \ell_{\text{eq}}$$

Ainsi :

$$\dot{z} = \dot{Z} \quad \text{et} \quad \ddot{z} = \ddot{Z}$$

L'équation différentielle devient :

$$\ddot{Z} + \omega_0^2 Z = 0$$

avec

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Théorie

5. La vitesse de la masse est :

$$v = \dot{Z}$$

L'énergie cinétique s'écrit donc :

$$E_c = \frac{1}{2}m\dot{Z}^2$$

6. On exprime l'énergie potentielle de pesanteur sous la forme :

$$E_{pp} = -mgz + \text{cste}$$

On choisit l'origine de l'énergie potentielle telle que :

$$E_{pp} = 0 \quad \text{pour} \quad z = z_{\max}$$

On obtient alors :

$$E_{pp} = mg(z_{\max} - z)$$

On pose :

$$Z = z - \ell_{\text{eq}}$$

La position maximale correspond à une élongation maximale A , appelée amplitude du mouvement, telle que $Z = A$.

Ainsi :

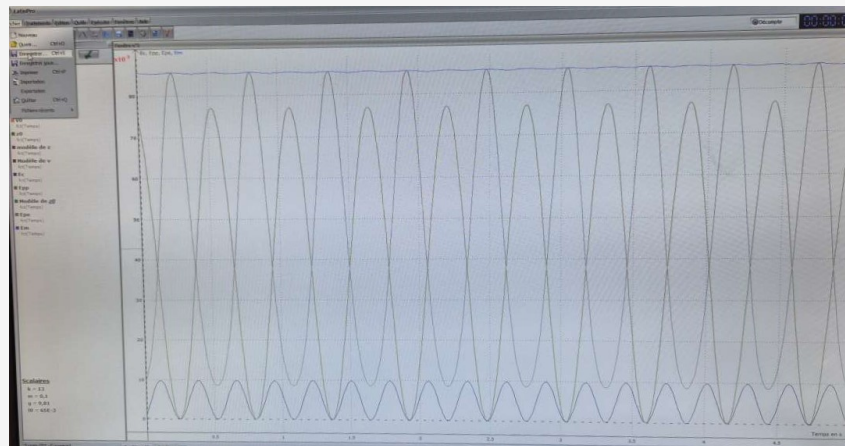
$$E_{pp} = mg(A - Z)$$

7. L'énergie potentielle élastique du ressort est donnée par :

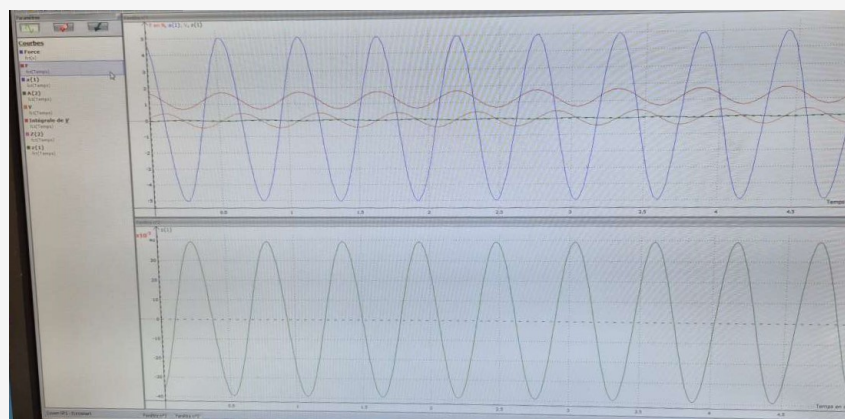
$$E_{pe} = \frac{1}{2}k(z - \ell_0)^2$$

En utilisant $z = Z + \ell_{\text{eq}}$ avec $\ell_{\text{eq}} = \frac{mg}{k} + \ell_0$, on obtient :

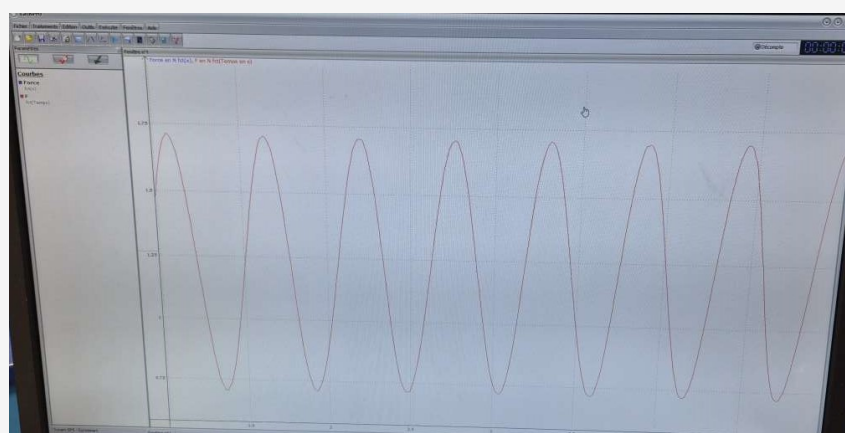
$$E_{pe} = \frac{1}{2}k \left(Z + \frac{mg}{k} \right)^2$$



Sur cette image on peut voir les courbes de l'énergie cinétique, potentielle de pesanteur et potentielle élastique ainsi que le tracé de l'énergie mécanique en bleu. On remarque que le tracé de l'énergie mécanique est semblable à une droite horizontale et cela montre qu'il y a une conservation de l'énergie mécanique.



Tracé de la position, vitesse et accélération centrée sur 0

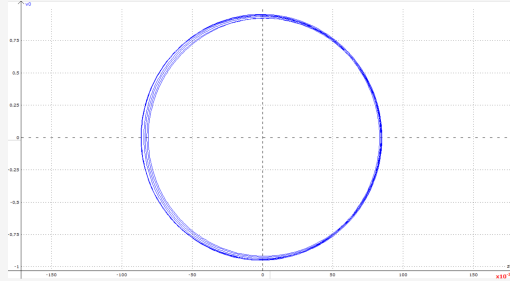


Tracé de la force mesurée en fonction du temps, on y remarque des oscillations cohérente avec les oscillations d'un oscillateur harmonique

Analyse

8. On observe un déphasage de $\pi/2$ (soit 90 degrés) c'est-à-dire une quadrature de phase. Lorsque la position est maximale, la vitesse est nulle. À l'inverse, lorsque la position est nulle, la vitesse est maximale.

9.



Par mesure graphique, on a que la position initiale est

$$Z_i = -86,5 * 10^{-3} m$$

et que la position finale est

$$Z_f = -80,3 * 10^{-3} m$$

On remarque que le portrait de phase est de forme circulaire.

10. La période de l'énergie potentielle et de l'énergie cinétique est égale à la moitié de la période des oscillations de la position ($T/2$). C'est tout à fait cohérent car ces énergies dépendent du carré de la position ou de la vitesse. Comme la mise au carré rend les valeurs positives, l'énergie atteint un pic deux fois par cycle : une fois pour une valeur positive et une fois pour une valeur négative négative.

11. On observe sur le graphique que l'énergie mécanique totale du système varie légèrement au cours du temps. Elle n'est pas parfaitement constante, mais présente de petites oscillations et une très légère diminution. Ces variations sont dues aux frottements de l'air qui entraînent une dissipation progressive d'énergie. Dans un système parfaitement conservatif, l'énergie mécanique resterait strictement constante. Comme ce n'est pas le cas ici, on peut conclure que le système n'est pas totalement conservatif, même s'il s'en rapproche.

Conclusion

L'objectif de ce TP était d'étudier le comportement énergétique d'un oscillateur masse-ressort vertical et de mettre en évidence les différentes formes d'énergie mises en jeu au cours du mouvement. À partir de l'étude théorique, le système a été modélisé comme un oscillateur harmonique, permettant d'exprimer les énergies cinétique, potentielle de pesanteur et potentielle élastique en fonction du temps.

L'exploitation des mesures expérimentales a permis de déterminer l'évolution temporelle de ces énergies. Les résultats obtenus montrent que les énergies cinétique et potentielles s'échangent périodiquement, tandis que leur somme, correspondant à l'énergie mécanique du système, reste globalement constante. Ces observations sont en accord avec le modèle théorique établi dans le cadre d'un système sans frottements et confirment la validité de l'approximation de l'oscillateur harmonique pour de faibles oscillations.

Cependant, certaines limites expérimentales peuvent expliquer les légères variations observées sur les courbes d'énergie mécanique. Les frottements de l'air, les pertes énergétiques au niveau du ressort, ainsi que les incertitudes liées au capteur et au traitement des données ne sont pas pris en compte dans le modèle théorique idéal.

Afin d'améliorer l'expérience, il serait possible d'utiliser un capteur plus précis, de réduire les frottements du système ou encore de répéter les mesures afin d'obtenir des résultats moyennés plus fiables.