[TP P01] Système masse-ressort

> L'objectif de ce TP est de mesurer la raideur d'un ressort et d'évaluer les incertitudes de mesure.

Matériel mis à disposition

- Ressort suspendu
- Règle millimétrée
- Jeu de masses marquées avec crochets
- Balance de cuisine
- Chronomètre

Un ressort est un système élastique : il obéit à la loi de Hooke selon laquelle il se déforme proportionnellement aux constraintes qu'il subit. Soumis à une force longitudinale F, un ressort s'allonge à l'équilibre d'une longueur $\Delta\ell$ telle que :

$$F = k\,\Delta\ell,$$

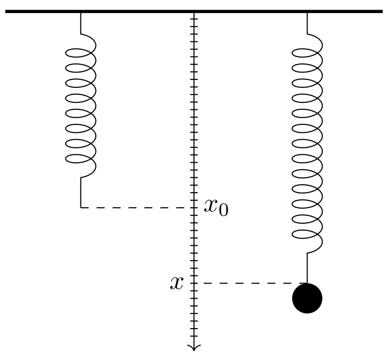
où k est une caractéristique du ressort nommée **constante de raideur**. Elle s'exprime en $\mathrm{N \cdot m^{-1}}$. Le but du TP est de mesurer sa valeur pour le ressort mis à disposition.

I Étude de l'équilibre

On suspend une masse m au ressort dont l'extrémité supérieure est fixe. La force exercée sur le ressort est le poids de la masse $P = mg$ où $g = 9{,}81\,\mathrm{m \cdot s^{-2}}$ est l'intensité de la pesanteur.
À l'équilibre, l'allongement du ressort $\Delta\ell$ vérifie donc :

$$P = mg = k\,\Delta\ell$$

En plaçant une régle graduée alignée derrière le ressort, l'allongement est mesuré par $\Delta\ell = x - x_0$ où x (resp. x_0) est l'abscisse du bout du ressort avec la masse suspendue (resp. à vide).



I.1) Mesure unique

- ❏ Noter la valeur de x_0.
- ❏ Choisir une masse marquée de taille intermédiaire. Mesurer sa masse sur une balance et l'accrocher au bout du ressort. Relever la position x du bas du ressort et en déduire $\Delta\ell$.
- ❏ Évaluer l'incertitude-type de la mesure de x et de x_0. En déduire l'incertitude-type de la mesure de $\Delta\ell$.
  La précision de la balance est $\Delta = 1\,\mathrm{g}$. En déduire l'incertitude-type des mesures de m.
- ❏ Calculer k ainsi que son incertitude-type.

I.2) Échantillonnage

Puisque nous disposons de plusieurs masses, il est possible de diminuer l'incertitude.

- ❏ Répéter l'expérience précédente pour plusieurs masses m. On combinera des masses marquées pour obtenir des valeurs régulièrement réparties de 100 à 500 g. On présentera les résultats sont forme de tableau dans la synthèse.
- ❏ Calculer la valeur moyenne des valeurs de k obtenues par les différentes mesures, et déterminer son incertitude-type à l'aide d'une évaluation de type A (méthode statistique).

Cette approche n'est en fait pas tout à fait rigoureuse, car la méthode statistique n'est valable que lorsqu'on réalise la même expérience. Or ici, les masses étant différentes, ce n'est pas le cas. Notamment, la moyenne ne prend pas en compte le fait que les mesures n'ont pas le même niveau de précision relative.

Dans ce cas, il faut utiliser une méthode de modélisation prenant en compte les incertitudes. Pour simplifier, on détermine un grand nombre de modèles compatibles avec les incertitudes de mesures, ce qui donne plusieurs plusieurs valeurs pour les paramètres de modélisation. On peut alors associer une incertitude-type à cette distribution de valeurs.

Cela peut se faire par simulation numérique, mais certains logiciels incluent un algorithme qui l'effectue automatiquement.

- ❏ Lancer le logiciel *Regressi*. Dans le menu *Fichier*, choisir *Nouveau* puis *Clavier*. Créer les grandeurs m et dl avec leurs unités ainsi que le paramètre expérimental g.
- ❏ Entrer les valeurs mesurées dans le tableau. En cliquant sur l'icône *Incertitudes*, on fait apparaître deux nouvelles colonnes pour les incertitudes. Entrer leur valeur.

  Faire de même avec g dans l'onglet *Paramètres*. Son incertitude-type sera choisie nulle.
- ❏ Dans le menu *Options/Calculs*, cocher *Calcul avec prise en compte des préfixes d'unité*.

  Cliquer sur *Nouveau* dans l'onglet *Tableau*, puis *Grandeur calc.*, définir $P = m * g$. Le tableur calcule automatiquement les valeurs du poids (avec l'unité correcte) avec leur incertitude-type.
- ❏ Dans le menu *Options/Graphique*, vérifier que *Tracé des incertitudes* est coché, et que la taille des ellipses est u.

  Aller dans la fenêtre *Graphe*. Cliquer sur *Coord.* pour choisir de porter la grandeur dl en abscisse et P en ordonnée. Le graphe de $P = f(\Delta l)$ apparaît, avec les données représentées par des ellipses dont la largeur et la hauteur correspondent aux incertitudes-types sur les mesures. L'allure du graphe est-elle conforme à la théorie ?
- ❏ Cliquer sur *Modéliser*. Dans le menu des *Options* de modélisation, dans l'onglet *Calculs*, cocher *Utilisation des incertitudes (χ^2)* et dans l'onglet *Affichage*, sous-menu *Incertitudes sur les paramètres*, choisir *type*.

  Dans le menu *Modèles*, choisir le modèle correspondant à la théorie. Une fois le modèle choisi, son graphe apparaît et l'équation de la modélisation s'affiche à gauche, avec les incertitudes-types associées aux paramètres de la modélisation.

  Copier le graphe avec sa modélisation en cliquant sur l'onglet *Copier gr.* en haut à droite, puis coller dans un éditeur de texte type LibreOffice Writer. Imprimer le fichier obtenu pour le mettre dans la synthèse.
- ❏ Le modèle est compatible avec les données s'il ne s'écarte pas de plus du double de la taille des ellipses d'incertitudes. Est-ce le cas ?
- ❏ Comment k est-il lié aux paramètres de modélisation ? Noter la valeur obtenue pour k avec son incertitude-type dans la synthèse.

II Étude des oscillations

Si on écarte verticalement la masse de se position d'équilibre, elle oscille de façon périodique. La période est liée à la constante de raideur et à la masse suspendue :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{k}{m}}$$

- ❏ En s'inspirant de la première partie, exploiter cette formule pour déterminer la valeur de la constante de raideur par l'étude des oscillations de la masse.
- ❏ Comparer avec le résultat obtenu précédemment en calculant l'écart normalisé.
- ❏ Quels sont les avantages et inconvénients de chaque méthode ? Laquelle vous semble préférable ?

Consignes :

- — Afin d'avoir des oscillations stables, il faut une amplitude modérée, notamment pour des masses faibles.
- — Penser à réaliser un graphe linéaire, dont le coefficient est égal (ou directement lié) à k. Quelle grandeurs faut-il placer en abscisse et en ordonnée ?