Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté des sciences

Département de physique

La Collection TP de PHYSIQUE

Travaux Pratiques de MECANIQUE

Roue de Maxwell

Appareil de chute libre

Faculté des Sciences

Département de Physique

Travaux Pratiques de Mécanique 1ére année

Liste des séances de TP

0. Séance d'introduction

1. Etude d'un récepteur (M)

2. Mesure de l'accélération terrestre (M)

3. Enregistrement et étude d'un mouvement rectiligne (M)

4. Détermination de la constante de raideur d'un ressort (M)

G = Graphique;   M= Sur Matériel

TP Introduction : Séance de préparation aux travaux pratiques

1. Termes associés

Méthodes de mesure, appareils de mesure, incertitudes sur les mesures, calculs d'erreurs, tableaux de mesure, tracé de graphes, extrapolation, interpolation, rédaction d'un compte-rendu.

2. Principe et objectifs

Les travaux pratiques de physique constituent l'élément indispensable de l'étude de la physique.
D'une part, on apprend les méthodes fondamentales de mesure, on se familiarise avec les appareils de mesure; on apprend à faire correctement les mesures et à évaluer leurs incertitudes.
D'autre part, on étudie certains phénomènes physiques, ce qui complète les connaissances reçues pendant les cours théoriques. On apprend également à étudier méthodiquement et logiquement les phénomènes et d'en tirer les conclusions nécessaires.

3. Conseils généraux

3.1. Avant la séance :

Pour être profitable, une manipulation doit avoir été préparée à l'avance par l'étude du texte de la manipulation et des paragraphes correspondants du cours. Au début de chaque séance de TP, l'enseignant procédera à une interrogation écrite brève (environ 10mn) pour évaluer la préparation de la manipulation. Il faut donc, en conséquence, que l'étudiant ait préparé à l'avance la partie théorique du TP (titre de la manipulation, son but, théorie brève du phénomène à étudier, principe de la méthode de mesure...).

3.2. Pendant la séance :

Pendant la séance, l'étudiant devra :

a – examiner le dispositif expérimental et les appareils de mesure; se rendre compte du rôle de leurs différentes parties.

b – procéder à la préparation expérimentale de la manipulation (montage des dispositifs, des circuits électriques, ... etc) en cherchant toujours à opérer dans un cadre logique.

c – manipuler les appareils de mesure avec la plus grande attention, n'encombrez pas votre table de travail d'objets inutiles tels que livres, cahiers ...

d – le dispositif expérimental comprend dans certains TP un circuit électrique; vérifier que votre montage correspond bien au schéma indiqué; le faire toujours contrôler par l'enseignant de TP avant de le relier à la source de tension (secteur ou pile).

e - noter tous les résultats de mesure obtenus sur votre feuille de réponse.

Ces résultats doivent presque toujours être groupés dans un tableau. Inscrire les résultats au fur et à mesure qu'ils sont obtenus.

f- bien indiquer les unités choisies ; dans une colonne de résultats exprimés avec le même unité, on se contentera d'indiquer l'unité une fois pour toutes en tête de colonne.

g- vérifier rapidement, par quelques calculs approchés, que l'ordre de grandeur des phénomènes observés conduit à un résultat vraisemblable; cela permet de déceler les mesures défectueuses et de les refaire.

h- lorsque toutes les mesures sont terminées, regrouper les appareils comme ils étaient à votre arrivée; assurez-vous que la table de travail et les alentours sont aussi propres qu'au début de la séance.

i- compléter alors la rédaction de la feuille de réponse (tableaux de mesures calculs et graphes sur papier millimétré, calculs d'incertitude et conclusions).

4. Incertitudes et calculs approchés

Étant donné l'extrême importance des calculs d'incertitude dans la pratique d'un ingénieur, on se propose de rappeler quelques notions fondamentales.

4.1. Incertitudes systématiques et accidentelles :

Quand un expérimentateur répète plusieurs fois une même mesure, en s'efforçant de se placer dans les mêmes conditions, l'expérience montre que les différentes valeurs obtenues ne sont pas rigoureusement les mêmes.

Donc une mesure physique ne donne jamais la valeur exacte de la grandeur à mesurer. Son résultat est seulement approché par la suite d'un certain nombre d'erreurs ou d'incertitudes.

On admet deux genres d'incertitudes : *les incertitudes systématiques* (dues au défaut de justesse des instruments de mesure ou à l'imperfection de l'observation) et *les incertitudes accidentelles* provenant d'un défaut de sensibilité et de fidélité d'un appareil, ainsi que de l'imperfection des sens de l'observateur.

4.2. Calculs d'incertitudes :

On suppose que nos appareils et méthodes de mesures excluent toutes possibilités d'incertitudes systématiques et on se propose d'évaluer l'incertitude accidentelle sur le résultat de l'expérience.

a- Erreur absolue :

Soit à mesurer une certaine grandeur A. Si l'on recommence plusieurs fois la mesure, on obtient des nombres légèrement différents. Si X est la valeur exacte de A, a le résultat de la mesure, la différence : $\delta a = a - X$ est appelée erreur absolue de la mesure.

b- <u>Incertitude absolue</u> : présentation du résultat d'une mesure

L'erreur absolue n'étant pas connue, on doit se contenter d'en rechercher une limite supérieure Δa, appelée incertitude absolue, telle que : $|\delta a| \le \Delta a$.

On prend souvent :

- pour valeur approchée a de A, la valeur moyenne arithmétique des résultats des n mesures effectuées : $a = \dfrac{a_1 + a_2 + a_3 + ... + a_n}{n}$
- pour incertitude absolue Δa, la valeur moyenne des valeurs absolues des écarts entre chaque résultat et cette moyenne a :

$$a = \frac{|a_1 - a| + |a_2 - a| + |a_3 - a| + ... + |a_n - a|}{n}$$

<u>Exemple</u> : supposons qu'à la suite de la mesure d'une longueur très voisine de 2 m, on soit ainsi conduit à adopter :

- pour valeur approchée : a=2,001 m
- pour incertitude absolue : $\Delta a = 1mm = 0{,}001m$

On peut affirmer que la longueur exacte X est comprise entre $a - \Delta a$ et $a + \Delta a$, ce qui donne ici : $2{,}000m \le X \le 2{,}002m$; on condense cette double inégalité sous la forme : $X = a \pm \Delta a$ ou $X = 2{,}001 \pm 0{,}001m$.

c- <u>Incertitude relative</u> : précision d'une mesure.

On appelle incertitude relative le rapport $\Delta a / X$. Une mesure est d'autant plus précise que l'incertitude du résultat est plus petite, comparée à ce résultat : c'est pourquoi l'on sert se sert de l'incertitude relative $\Delta a / a$ pour caractériser la précision d'une mesure.

d- <u>Mesures indirectes</u> : calculs d'incertitudes.

Pour exprimer les incertitudes Δg ou $\Delta g/g$ d'une grandeur G calculée à partir d'autres grandeurs A, B, C, … il faut procéder à un calcul d'erreurs à partir des incertitudes qui entachent les nombres a, b, c, … en utilisant la relation entre les nombres g, a, b, c, …

- **<u>Théorème des incertitudes absolues</u> :**

L'incertitude absolue sur une somme ou une différence est égale à la somme des incertitudes absolues sur chaque terme.

Si : $g = a + b$ ou $g = a - b$, on a : $\Delta g = \Delta a + \Delta b$

- **Théorème des incertitudes relatives :**

L'incertitude relative sur un produit ou un quotient est égale à la somme des incertitudes relatives sur chaque terme.

Si : $g = a.b$ ou $g = \frac{a}{b}$, on a : $\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$

Corollaire : a) Si $g = a^n$, on a toujours $\frac{\Delta g}{\text{g}} = n\,\frac{\Delta a}{a}$

b) Si $g = a^n b^m / c^p$, on a : $\frac{\Delta \text{g}}{\text{g}} = n\frac{\Delta a}{a} + m\frac{\Delta b}{b} + p\frac{\Delta c}{c}$

Exemple : volume d'un cylindre

$$V = D^2\frac{h}{4}, \quad \text{on a} : \frac{\Delta V}{V} = 2\frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta h}{h}$$

5. Représentation graphique

Dans la plupart des cas, on a recours à la représentation graphique des résultats obtenus. Pour tracer le graphique, on fait tout d'abord le choix d'un système de coordonnées et d'échelle en abscisses et en ordonnées.

Ensuite, on trace les courbes en utilisant les points représentatifs.

Remarques : Tous les résultats partiels doivent être groupés dans un tableau. Les mesures étant incertaines, nous obtiendrons une ligne brisée si nous nous contentions de joindre les points correspondants à une série de mesures. Mais si le phénomène est continu, la courbe ne doit pas présenter de rupture de pente, elle doit avoir une allure régulière. Si nous avons effectué un grand nombre de mesures, nous obtiendrons un nuage de points et la courbe devra traverser le nuage là où il est le plus dense.

Habituellement, on porte sur le graphique les incertitudes des mesures particulières $\text{g} + \Delta\text{g}$ tracées parallèlement à OY et $\text{a} + \Delta\text{a}$ suivant OX comme le montre la figure 1.

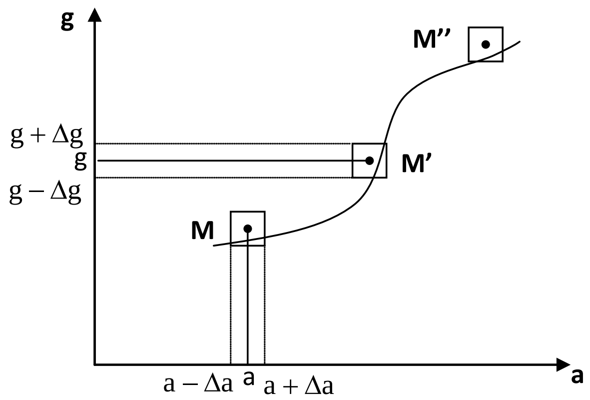


Figure 1

Soit g= f(a) la grandeur dont la variation a été étudiée en fonction de la variable a. Son graphique est donné sur la figure ci-contre. Les points M, M', M'' donnent les valeurs moyennes des mesures particulières, tandis que Δg et Δa sont les incertitudes sur g et a. La courbe passe au plus prés des points représentatifs à l'intérieur des rectangles d'erreurs $\Delta g, \Delta a$.

Attention: Le choix de l'échelle est très important; il faut veiller à ce qu'il y ait une utilisation optimale de la feuille de papier millimétré (le graphe ne doit pas occuper une toute petite portion de la feuille).

6. Exploitation graphique

6.1. Vérification d'une loi connue :

Si une loi s'exprime par une fonction linéaire, il n y a pas de difficulté à vérifier si les points s'alignent effectivement.

Si la loi est parabolique, exponentielle, …, il devient nécessaire de la représenter point par point et de chercher à la superposer à la courbe expérimentale.

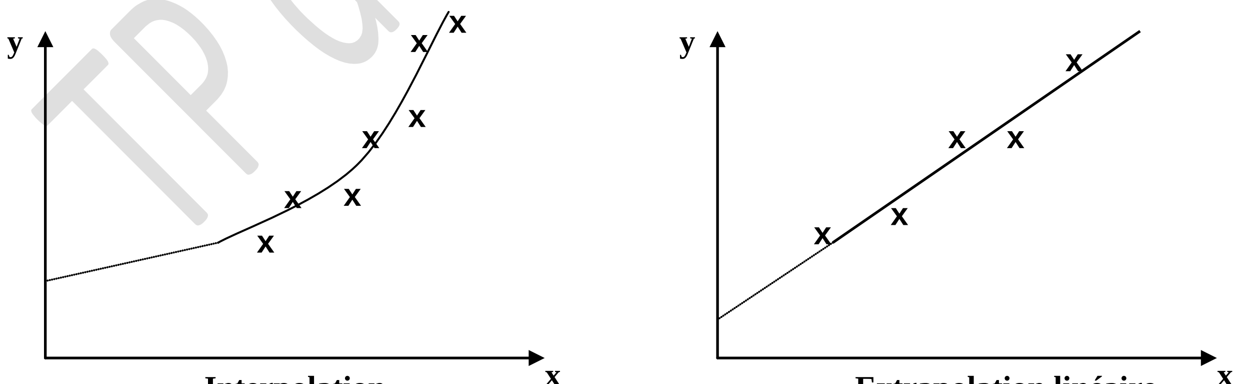
Une autre méthode, beaucoup plus simple, consiste à faire un changement de variable pour obtenir une droite.

Exemples : - Si la loi est parabolique $y = ax^2$, on fait le changement de variable $x^2 = X$, le graphe de $y = aX$ est alors une droite.

- Si la loi est hyperbolique $y = \frac{a}{x}$, on obtiendra une droite avec le changement de variable suivant : $X = \frac{1}{x}$.

6.2. Interpolation et extrapolation :

Il arrive que la mesure de x ne peut être effectuée et, par la suite, la valeur de $y = f(x)$ reste inconnue. Dans ce domaine de valeurs x, le graphe de y ne peut pas être tracé. En ce cas, on effectue l'interpolation en faisant continuer la courbe dans le domaine des valeurs non mesurées.



Interpolation — Extrapolation linéaire

Figure 2 : Interpolation et extrapolation

6.3. Cas d'un graphique linéaire:

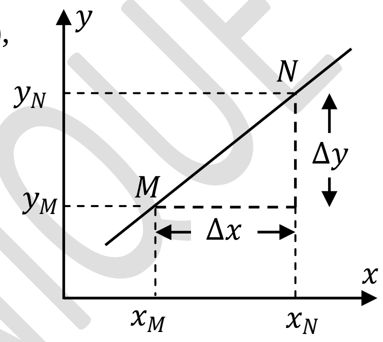
Souvent, dans le cas dans le cas des représentations linéaires entre deux grandeurs physiques y et x, on est amené à déterminer graphiquement la constante de proportionnalité entre ces grandeurs. Cela revient finalement à calculer la pente de la droite y=f(x) ; la procédure de calcul se fait comme suit :

- après avoir tracé la droite liant les x et y (passant par le maximum de points expérimentaux et laissant autant de points de part et d'autre de la droite), on choisit deux points quelconques de cette droite (de préférence éloignés l'un de l'autre) M et N,

- on trace en pointillés deux segments de droite, l'un parallèle l'axe Ox et passant par M, l'autre parallèle à Oy et passant par N (voir figure 3 ci-dessous),

- la pente 'a' de la droite est alors donnée par :

$$a = \frac{y_N - y_M}{x_N - x_M} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$



7. **Travail à effectuer**

7.1. **Tracé de graphes :**

L'étude d'un mouvement rectiligne a donné les tableaux de mesures suivants :

Tableau 1 :

Temps (s)	10.0	10.2	10.4	10.6	10.8	11.0	11.2	11.4	11.6	11.8
Position (m)	0.000	0.025	0.094	0.198	0.332	0.490	0.668	0.862	1.069	0.207

Tableau 2 :

Temps (s)	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3	11.5	11.7	11.9
Vitesse (m/s)	0.125	0.345	0.520	0.670	0.790	0.890	0.970	1.035	1.090	1.135

- Tracer les graphes donnant respectivement la position et la vitesse du mobile en fonction du temps.

7.2. **Incertitude et précision** :

Pour mesurer l'épaisseur d'un cylindre creux, on mesure les diamètres intérieur D_1 et extérieur D_2 et on trouve :

$D_1 = (19.5 \pm 0.1)$ mm

$D_2 = (26.7 \pm 0.1)$ mm

- Donner le résultat de la mesure et sa précision.

TP n° 1 : Etude d'un récepteur

1. Termes associés

Récepteur, moteur, conversion d'énergie, énergie électrique, énergie mécanique, énergie potentielle, puissance, puissance utile, puissance absorbée, puissance mécanique, rendement d'un moteur.

2. Principe et objectifs

Un moteur, fixé sur une console et alimenté par une tension V, porte à son extrémité une poulie sur laquelle est enroulé un fil supportant à son extrémité inférieure libre une masse M. Le principe est déterminer le rendement de ce moteur, défini comme étant le rapport entre l'énergie utile fournie (de l'énergie mécanique) et l'énergie reçue ou absorbée (ici de l'énergie électrique). Il s'agit également d'établir la variation de ce rendement en fonction de l'énergie mécanique restituée, à travers la masse M.

3. Théorie et évaluation

On appelle récepteur, tout dispositif qui reçoit de l'énergie électrique et qui la restitue sous plusieurs autres formes. De ce point de vue, un moteur est un récepteur dont le but est de convertir de l'énergie électrique en énergie mécanique.

Considérons un moteur dans un circuit électrique. Soient A et B les bornes de ce récepteur portées respectivement aux potentiel V_A et V_B ($V_A > V_B$).

Choisissons un intervalle de temps Δt, centré sur t, tel que la différence de potentiel $V_A - V_B$

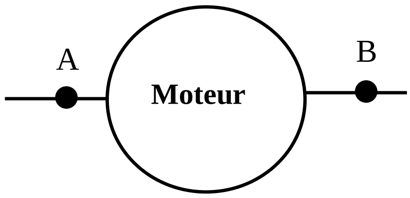


Figure 1: Récepteur

soit sensiblement constante au cours de cet intervalle de temps. Si Δq est la charge électrique qui traverse ce récepteur pendant Δt, l'énergie électrique absorbée pendant ce même temps est:

$$W = \Delta q (V_A - V_B) \qquad (1)$$

La puissance moyenne absorbée par le moteur pendant cet intervalle Δt est donné donc :

$$P_m = \frac{\Delta q}{\Delta t}(V_A - V_B) \qquad (2)$$

Mais $\mathrm{Lim}\dfrac{\Delta q}{\Delta t}$ lorsque $\Delta t \to 0$ est l'intensité du courant I(t), d'où on reçoit la relation pour la puissance instantanée :

$$P(t)=(V_A-V_B).I(t) \qquad (3)$$

Si, dans le circuit, la différence de potentiel (V_A-V_B) est constante en fonction du temps, la puissance instantanée sera elle-même constante, à condition que l'intensité ne varie pas.

On appellera **rendement** du moteur R(t), le rapport de la puissance utile qu'il fournit à l'instant t à la puissance totale qu'il absorbe au même instant :

$$R(t)= P_u(t)/P_a(t) \qquad (4)$$

On se propose, dans cette manipulation de mesurer le rendement du moteur lorsqu'il est employé à élever des charges de masse m.

4. Manipulation

4.1. Montage expérimental:

Le montage expérimental est celui montré en figure 2. On dispose:

- d'un moteur fixé sur une console située à 1,8 m environ du sol; il fonctionne sous une tension continue de l'ordre de 4 volts et porte à son extrémité une poulie sur laquelle est enroulé un fil nylon.
- d'une batterie de f.e.m. E.
- d'un voltmètre et d'un ampèremètre
- d'un interrupteur permettant de couper à volonté l'alimentation du moteur
- d'un chronomètre et de masses marquées
- d'une règle graduée

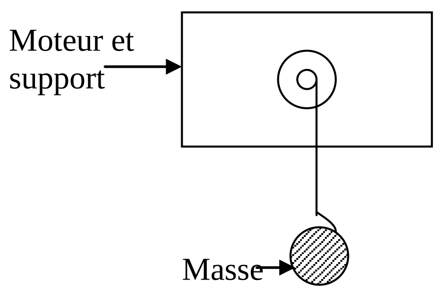


Figure 2a: Montage expérimental

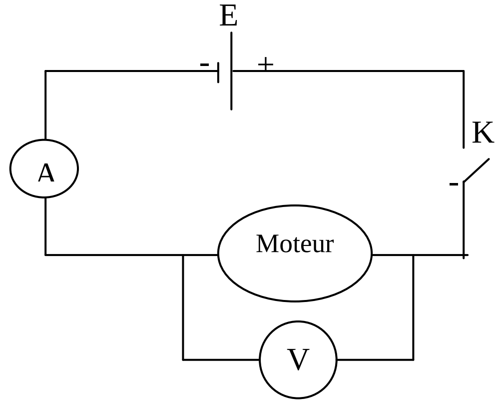


Figure 2b: Montage électrique

4.2. Méthodes de mesure:

1- Réaliser le montage 2 ci-contre.

2- Décrire la méthode de mesure pour déterminer la puissance électrique absorbée par le moteur fonctionnant à vide ou en charge.

3- Décrire et justifier la méthode de mesure pour déterminer la puissance mécanique restituée par le moteur lorsqu'il élève un matériau de masse m d'une hauteur h.

On rappelle à cet effet que lorsqu'on élève une masse m d'une hauteur h, sa variation d'énergie potentielle est **mgh**.

4- Etude de la variation du rendement R du moteur en fonction de la masse m.

Remarque : Vous ne devez en aucun cas dépasser la charge maximale autorisée (ici 260g).

Remplir le tableau de mesures suivant :

M	**V_A-V_B**	**I**	**t**	**h**	**Pu**	**Pa**	**R(M)**
60g							
110g							
160g							
210g							
360g							

- Tracer le graphe R(M)
- Quelle conclusion tirez-vous de la courbe R(M) dans la région où le rendement est le plus élevé ? Quelle devrait être l'allure de la courbe R(M) pour des masses plus grandes que la masse maximale ?
- L'énergie mécanique est-elle égale à l'énergie absorbée. Si non, sous quelle forme l'énergie manquante apparaît-elle ?

UMMTO

TP n° 2 : Détermination de l'accélération terrestre

1. Termes associés

Poids d'un corps, masse, vecteur accélération terrestre ou pesanteur, principe fondamental de la dynamique, chute libre, pendule simple, période.

2. Principe de mesure de l'accélération de la pesanteur

L'accélération de la pesanteur g auxquels sont mis les corps soumis à la seule action de leur propre poids peut être mesurée expérimentalement par le biais de différentes méthodes. Dans ce TP, on utilisera notamment celle dite du **'pendule simple'** et celle relative à la **'chute libre'** du corps.

1ère méthode : Pendule simple

Un point matériel pesant (une bille), suspendu à un fil et soumis à la pesanteur, est écarté de sa position d'équilibre. On mesure la durée de l'oscillation qui est produite en fonction de la longueur du fil. On détermine alors l'intensité de la pesanteur.

2ème méthode : Chute libre

Une bille tombe en chute libre sur un parcours défini. On mesure le temps de chute que l'on met sous forme d'un diagramme (diagramme des espaces).
Ceci permet de déterminer l'accélération de la pesanteur.

3. Théorie et évaluation

3.1. Étude de la période d'un pendule simple :

Un pendule pesant est un solide indéformable oscillant sous la seule action de son poids autour d'un axe horizontal ne passant pas par son centre de gravité. Une boule de dimensions assez petites, suspendue à un fil assez long en un point O, constitue un pendule pesant qu'on peut assimiler dans ce cas à un pendule simple.
Si on écarte le pendule de sa position d'équilibre et qu'on l'abandonne à lui-même, il effectue des oscillations autour de l'axe O, de part et d'autre de sa position d'équilibre.
La relation fondamentale de la dynamique permet de montrer que le mouvement pris par le pendule est sinusoïdal de rotation (à condition bien sûr que l'angle dont on écarte le pendule soit assez petit, environ quelques degrés). Appliquons cette relation au pendule (voir figure 1):

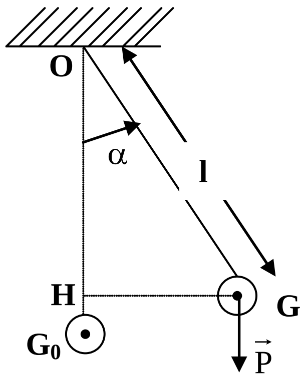


Figure 1

$$\sum M_{\%O} = J\frac{d^2\alpha}{dt^2}$$

où J est le moment d'inertie du pendule par rapport à l'axe de suspension, et $\sum$m%O la somme des moments des forces appliquées au pendule par rapport à cet axe.

Seul le moment du poids n'est pas nul, on a : $M_P = -mg.GH = -mg.OG\ sin\alpha$ avec $OG = l\ et\ sin\alpha \approx \alpha$, (pour des oscillations de faible amplitude) et J=ml² (boule assimilée à un point matériel G), d'où la nouvelle écriture de l'équation (1): $\frac{d^2\alpha}{dt^2} = -\frac{g}{l}.\alpha$

Cette équation admet pour solution (2): $\alpha = \alpha_0 \sin(wt + \varphi)$

qui est bien une fonction sinusoïdale du temps ; le mouvement de rotation est donc sinusoïdal et périodique, de période T=2π/w, où la pulsation w est déterminée en reportant (3) dans (2) :

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} = -w^2\alpha \Rightarrow w^2 = g/l \ \text{ et } T = 2\pi\sqrt{l/g} \quad (4)$$

On constate que, dans le cas des petites oscillations, la période du pendule simple est indépendante de l'amplitude et de la masse du point matériel.

Cette période est proportionnelle à la racine carrée de la longueur du pendule simple et inversement proportionnelle à la racine carrée de l'intensité de la pesanteur.

En partant des propriétés du pendule simple, on peut déterminer les valeurs précises de g de différents points de la terre. En effet, de la formule (4), on tire :

$$g = 4\pi^2\frac{1}{T^2} \qquad (5)$$

→ la mesure de g en un lieu donné revient donc aux mesures de l et T

3.2. Lois de la chute libre :

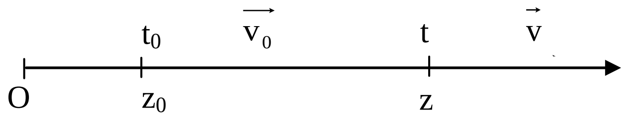
On appelle chute libre le mouvement d'un corps abandonné, dans le vide, sans vitesse initiale et soumis à la seule action de son poids $\vec{P}$.

L'expérience montre que, dans le vide, le mouvement de chute libre d'un corps est un mouvement uniformément accéléré. Ce fait est conforme à la deuxième loi de Newton.

Les équations générales d'un mouvement rectiligne uniformément accéléré sont :

(6) $$\begin{aligned} z &= z_0 + v_0 t + at^2/2 \\ v &= at + v_0 \\ a &= \text{constante} \end{aligned}$$

Origine des temps



Origine des espaces

Dans le cas d'une chute libre sans vitesse initiale (v_0=0) avec le corps tombant de z=0 à t=0 (z_0=0), les équations (6) deviennent :

$z=gt^2/2$; $v=gt$; $a=g$=constante

Le graphique des espaces parcourus est une parabole (figure 2a). L'autre courbe caractéristique du mouvement uniformément accéléré est celle du graphe $z=f(t^2)$ (figure 2b) qui est une droite. La pente de cette droite nous donne la mesure de l'accélération terrestre g. Ces 2 graphes serviront au cours de l'étude expérimentale de la chute libre.

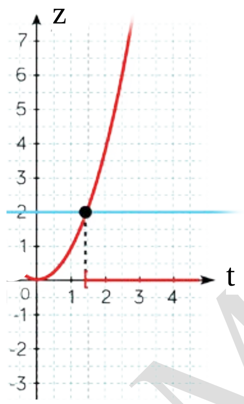


Figure 2a : z=f(t)

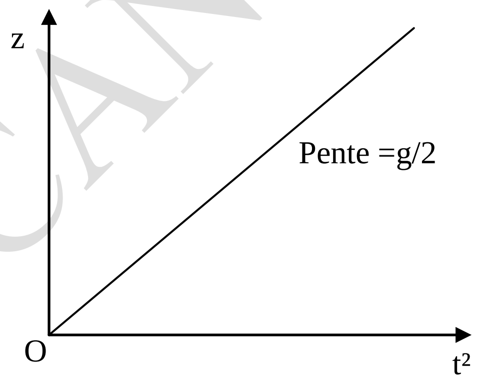


Figure 2b : $z=f(t^2)$

4. Manipulation

4.1. Détermination de g à partir de la période du pendule simple :

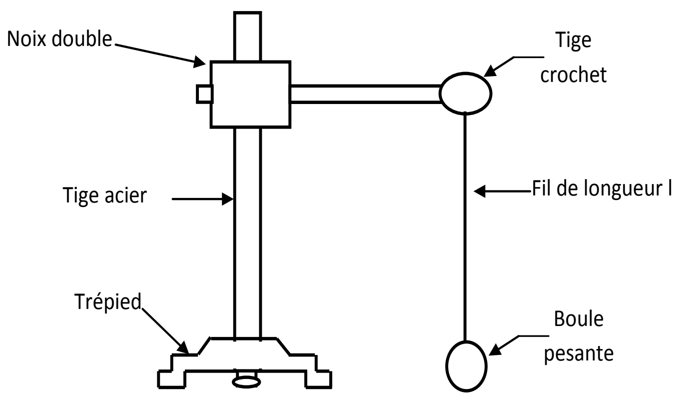
a- Faire le montage de la figure 3 ;

Prendre pour longueur du fil l_1=100cm.

b- Ecarter le pendule simple constitué de sa position d'équilibre (qques degrés).

c- A l'aide du chronomètre, déterminer la durée t_1 de 20 oscillations.

d- Refaire les mêmes mesures en utilisant un pendule de longueur l_2=75cm, puis



un pendule de longueur l_3=50cm. **Figure 3:** Pendule simple

e- Compléter le tableau suivant en utilisant la formule (5) et en faisant un calcul d'erreurs sur g. (l'étudiant doit apprécier lui-même les incertitudes sur la durée des 20 oscillations Δt et sur la longueur du fil Δl).

	l	Δl	T	Δt	T	ΔT	G	Δg
1								
2								
3								
							g_{moy}=	Δg_{moy} =

4.2. <u>Détermination de g à partir de la chute libre</u> :

4.2.1. <u>Description du montage à réaliser</u> :

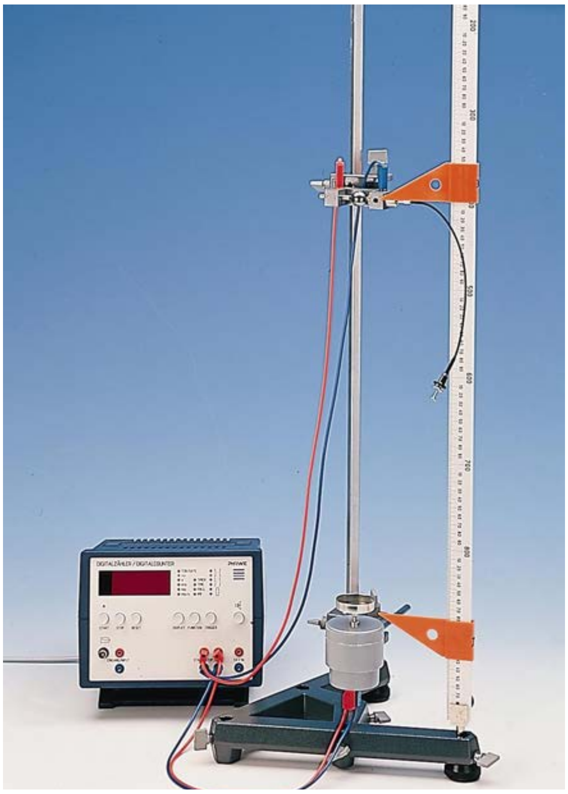
Un dispositif de chute libre, montré en figure 4a, permet de mesurer le temps de chute d'une bille emprisonnée puis libérée par un déclencheur. Cette mesure du temps est effectuée à l'aide d'un compteur digital relié au déclencheur (qui l'actionne au départ de la bille) et au réceptacle, qui arrête le compteur dés que la bille tombe sur l'assiette du réceptacle. Il suffit de faire varier la hauteur de chute en ajustant le déclencheur à la hauteur souhaitée en utilisant la règle graduée.

4.2.2. <u>Travail demandé</u> :

- Faire le montage de la figure 4a
- Mesures:

Pour différentes hauteurs du déclencheur supportant la bille métallique (à faire varier de 60 cm à 20cm, par pas de 5 cm), déterminer le temps de chute donné par le compteur digital électronique.

- Dresser le tableau de mesures z=f(t) et z= f(t^2).
- Tracer alors les graphes caractéristiques z=f(t) et z=f(t^2). En déduire l'accélération de la pesanteur g.
- Comparer les résultats de g obtenus par les 2 méthodes. Quelle méthode convient le mieux sachant qu'à Tizi-Ouzou, g vaut 9,80m/s²?



Deuxième dispositif de chute libre pour la mesure de g (en cas où le montage précédent est défaillant):

- **Procédure de mesures**:

Un ruban en papier carbone, accroché à son extrémité supérieure en A et supportant à son autre extrémité B une boule pesante, passe à l'intérieur d'un enregistreur qui est alimenté en courant alternatif (6V). Le marteau de l'enregistreur qui frappe tous les 1/50ème de seconde sur la bande de papier donne ainsi les différentes positions de la boule au cours du temps.

- **Travail demandé:**

- Faire le montage de la figure 4b.
- Alimenter l'enregistreur ; à ce moment-là, couper le ruban de papier juste en-dessous de A. Le ruban, sous l'action du poids de la boule pesante, défile à l'intérieur de l'enregistreur et est ainsi marqué par le marteau tous les 1/50ème de seconde. Le mouvement de chute libre de la boule peut être étudié à partir de l'enregistrement z(t) effectué sur la bande de papier carbone,
- Dresser le tableau de mesures z=f(t) sachant que les intervalles de temps entre les coups de marteau sont égaux à $\theta = 1/50$s.
- Tracer alors les graphes caractéristiques z=f(t) et z=f(t²). En déduire l'accélération de la pesanteur g.
- Comparer les résultats de g obtenus par les 2 méthodes. Quelle méthode convient le mieux sachant qu'à Tizi-Ouzou, g vaut 9,80m/s²?

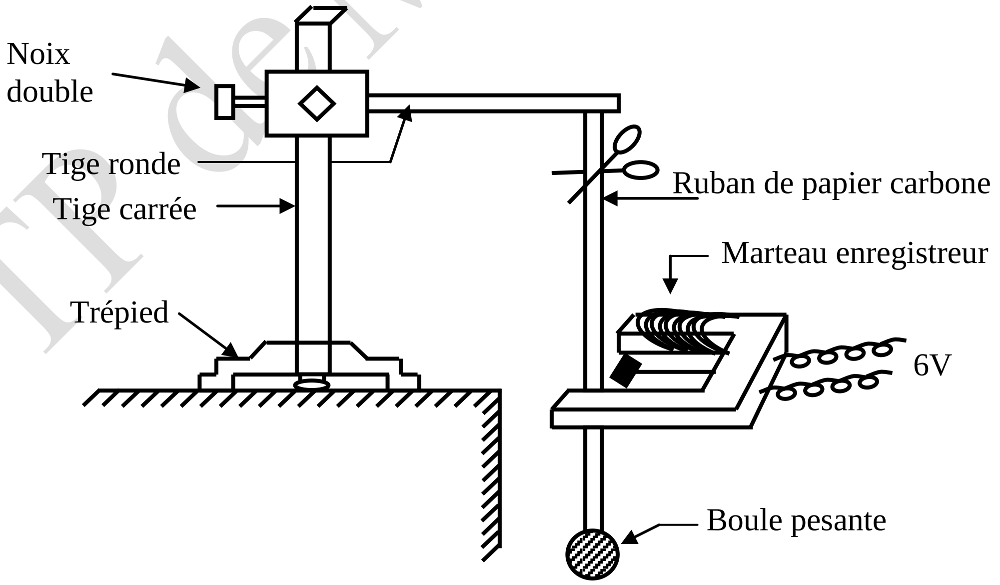


Figure 4b: Dispositif expérimental de chute libre pour la mesure de g

UMMTO

TP n° 3 : Etude d'un mouvement rectiligne

1. Termes associés

Mobile, trajectoire rectiligne, référentiel cartésien, vecteur position, vitesse instantanée, vitesse moyenne, accélération, aire sous une courbe, pente d'une droite.

2. Principe et objectifs

L'objectif de ce TP est l'enregistrement et l'étude d'un mouvement rectiligne. Une fois le mouvement du mobile enregistré, on détermine les différentes positions occupées par ce mobile à des intervalles de temps égaux; à partir de ces positions, on détermine les vitesses instantanées et moyennes, pour accéder finalement à l'accélération du mouvement et en déduire ainsi la nature du mouvement.

3. Théorie et évaluation

La position M d'un mobile est repérée sur un axe orienté Ox par le vecteur position :

$$\overrightarrow{OM}(t) = x(t)\vec{\imath} \qquad (1)$$

où $\vec{\imath}$ est le vecteur unitaire sur l'axe Ox alors que x est l'abscisse cartésienne qui est une fonction réelle du temps. Le vecteur vitesse instantanée est défini par :

$$\vec{v}(t) = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt} \qquad (2)$$

qu'on peut écrire sous la forme :

$$\vec{v}(t) = v_x(t)\vec{\imath} \quad avec\ v_x = \frac{dOM}{dt} = \frac{dx}{dt} \qquad (3)$$

Le vecteur accélération est obtenu en dérivant le vecteur vitesse par rapport au temps ; il s'écrit :

$$\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}}{dt} \qquad (4)$$

et sa composante sur l'axe Ox est :

$$a_x(t) = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \qquad (5)$$

Comme le montre la relation (3), on peut déterminer la vitesse en dérivant l'expression analytique de l'abscisse $x(t)$. Il en est de même pour l'accélération qu'on obtient en dérivant l'expression analytique de la vitesse $v(t)$.

Lors de l'étude expérimentale du mouvement du mobile, les positions de ce dernier ne sont connues qu'à certains instants uniquement, à intervalles de temps réguliers en général :

$x(t_0), x(t_0 + \Delta t), x(t_0 + 2\,\Delta T), \ldots$. Pour calculer la vitesse ou l'accélération, on est amené à faire des approximations pour le calcul des dérivées. Ces approximations donnent, en général, de bons résultats en accord avec la théorie.

Rappel: Graphiquement, la dérivée en un point est égale à la pente de la tangente à la courbe en ce point.

Il est possible aussi de déterminer la vitesse si l'expression analytique de l'accélération est connue; il suffit de faire un calcul intégral. Graphiquement, l'intégrale d'une fonction est égale à l'aire (algébrique) de la surface délimitée par la courbe, l'axe des temps et les deux droites verticales qui représentent les bornes d'intégration:

$$\Delta x = x(t_2) - x(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} v(t)dt \equiv \pm aire\ sous\ la\ courbe\ v(t).$$

Remarque: Dans l'étude du mouvement unidirectionnel, on simplifie généralement la notation en écrivant simplement v à la place de v_x ou a au lieu de a_x. Ces termes ne doivent pas être confondus avec les modules.

4. Manipulation

4.1. Enregistrement du mouvement :

Pour étudier le mouvement d'un corps, il faut pouvoir repérer sa position à différents instants et, de préférence, à des intervalles de temps égaux.

Sur votre table, un enregistreur alimenté en courant alternatif sert de dispositif pouvant enregistrer un mouvement (voir figure 1): excité par le courant du secteur, le marteau de l'enregistreur frappe le ruban de papier carbone tous les 1/50ème de seconde ; cette bande de papier se déplaçant sous le marteau est donc marqué (datée) tous les 1/50s.

A l'une des extrémités de la bande est attaché un mobile (dans notre cas un chariot). Le schéma 2 montre le déplacement du chariot et l'enregistrement progressif de la bande de papier :

- l'enregistreur est mis sous tension et, à un instant que l'on considère comme l'instant t=0, le chariot se met en mouvement grâce à la masse qui lui est accrochée par l'intermédiaire d'un fil passant sur la gorge d'une poulie.
- Par rapport à la position initiale prise comme origine (x_i=0), le chariot a parcouru à un instant t une distance x.
- Pendant ce temps, la bande de papier a défilé sous le marteau d'une longueur égale à x. C'est la distance qui sépare la première marque du marteau sur le papier de celle faite à l'instant considéré : d=x(t).

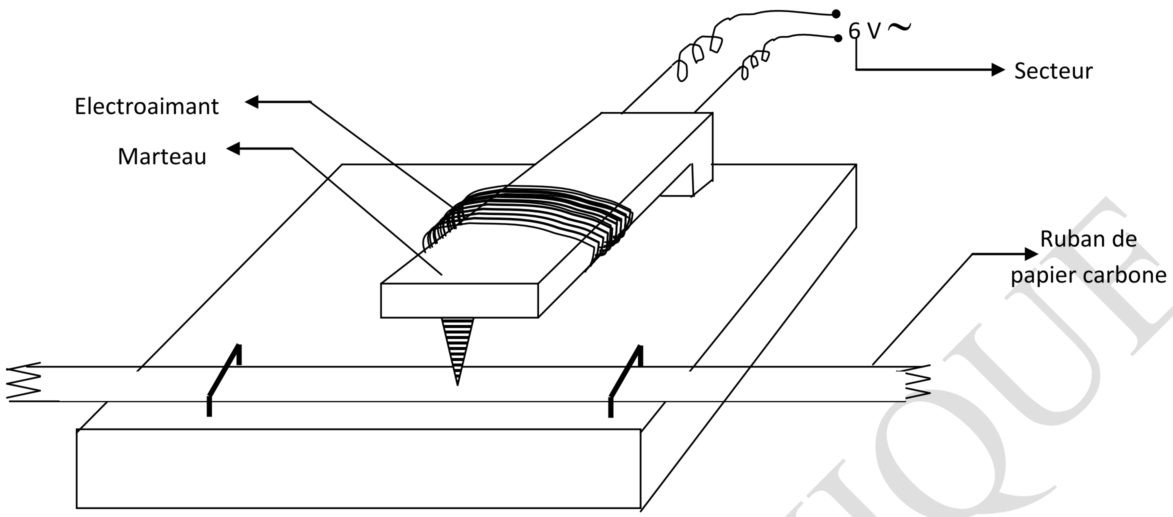


Figure 1: Enregistreur

On peut donc étudier le mouvement x(t) du mobile à partir de l'enregistrement d(t) effectué sur la bande de papier.

4.2. Description du montage à réaliser :

Le montage à réaliser est donné par la figure 2 ci-dessous. Il faut procéder comme suit :

- faites coulisser la bande de papier à l'intérieur de l'enregistreur sous le marteau et attachez-la au chariot à l'aide du ruban adhèsif;
- placez le chariot maintenu immobile prés de l'enregistreur ; mettez en marche l'enregistreur en le branchant à la source, puis lâchez le chariot (un étudiant du binôme doit se tenir prêt à recueillir le chariot en fin de parcours pour éviter sa chute). Le mouvement de chariot est ainsi enregistré (la bande de papier est jointe au compte-rendu).

Matériel utilisé

- un enregistreur électrique - une bande de papier carbone d'environ 80 cm.
- un chariot - du fil - une poulie - du ruban adhèsif
- une masse servant de poids tenseur.

NB : En cas d'indisponibilité de ruban de papier carbone (l'expérience ne pouvant être réalisée), l'enseignant mettra à la disposition de l'étudiant un papier déjà enregistré, qui sera ainsi analysé.

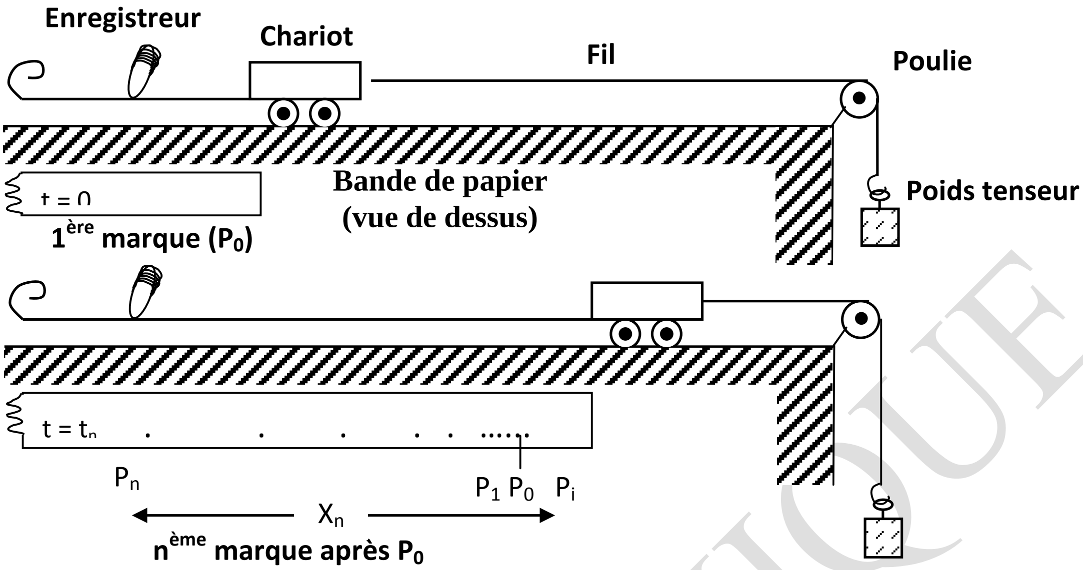


Figure 2 : Position du chariot à t=0, puis à t=t_n.

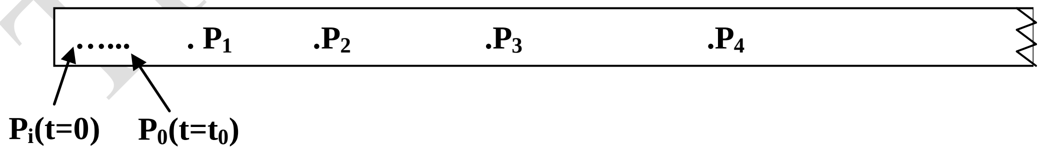
4.3. Tracé du graphe x(t) :

On vous propose de tracer d'abord le graphe x(t) de la position du mobile par rapport à la position initiale en fonction du temps. Or, il est souvent difficile de séparer les premiers points marqués sur la bande de papier et donc d'attribuer à chaque position x du mobile, un instant t correspondant. Si c'est le cas, vous commencerez les mesures avec le 1er point nettement séparé des autres, soit P_0.

Soit P_i le point qui correspond au début du mouvement. Si l'on choisit comme origine des temps le début du mouvement : $t(P_i)=0$, $x(P_i)=0$.

Le point a été marqué à l'instant t_0 : $t(P_0)=t_o$, $x(P_0)$.

L'instant t_0 ne peut être connu directement ; par contre, x_0 peut être mesuré sur la bande : $x_0=P_iP_0$.



- Numérotez vos points : Po, P1 pour t_0+1/50ème s, P_2 pour t_0+2/50s ……
- Mesurez $x(t_0)$, $x(t_1)$, $x(t_2)$, …

- Remplissez les 2 premières colonnes du tableau de mesures (1), puis tracez le graphe x(t) en choisissant l'instant t_0 comme origine des temps (choisir convenablement les échelles ; les points expérimentaux sont marqués d'une croix).

t(s)	x mesuré	x lu sur le graphe	Δx	v
T_0	x_0=	x'_0=		
$t_1 = t_0 + 1/50$	x_1=	x'_1=	x'_1-x'_0=	
$t_2 = t_0 + 2/50$	x_2=	x'_2=	x'_2-x'_1=	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Attention : Pour calculer x, il faut prendre les valeurs de x lues sur le graphe continu x(t). Le graphe remplace les points expérimentaux et corrige la dispersion des mesures présentées par les points P(t, x).

4.4. Détermination de la vitesse en fonction du temps :

Pour atteindre la vitesse instantanée, vous disposez de 2 procédés (voir cours) :

a) Soit mesurer la pente de la tangente au graphe x(t) à chaque instant (mesure directe de la vitesse instantanée) ;

b) soit mesurer la vitesse moyenne $V_m = \Delta x / \Delta t$ sur un certain intervalle de temps, puis l'assimiler à la vitesse instantanée au centre de l'intervalle ; encore faut-il que cette approximation soit valable pour l'intervalle de temps Δt que vous avez choisi. Il faut donc vérifier qu'il en est bien ainsi dans le cadre de vos mesures. Il suffit de procéder comme suit :

- Tracer la sécante qui joint les points $P(t_i, x_i)$ et $P(t_j, x_j)$ du graphe (mesure de la vitesse moyenne

  v_m). Par exemple, prendre $\Delta t = t_2 - t_1 = 4/50\,s$

- Comparer cette pente avec celle de la tangente à l'instant $(t_i+t_j)/2$ (mesure de la vitesse instantanée au centre de l'intervalle).

Le centre de l'intervalle considéré dans l'exemple ci-dessus est $t_i+2/50$.

- Concluez

Si cette assimilation entre vitesse moyenne et vitesse instantanée semble possible, et si vous préférez utiliser la méthode (b), vous pouvez alors calculer les vitesses successives en complétant le tableau (1).

- Tracer le graphe v(t) de la vitesse instantanée en fonction du temps ; (pour tracer les graphes x(t) et v(t), suivre les instructions générales du tracé d'une courbe de données lors de la séance d'introduction).
    - Pouvez-vous déduire de ce graphe la valeur de t_0 ?
    - Pouvez-vous aussi le faire à partir du graphe x(t) ? comparez.
    - Pouvez-vous maintenant calculer la valeur de x_0 à partir de v(t) ?
    - Comparez les résultats ainsi obtenus à ceux que vous pouvez apprécier sur la bande de papier.

4.5. Détermination de l'accélération en fonction du temps :

- A partir du graphe v(t), tracer le graphe de l'accélération en fonction du temps.
- Écrire alors l'équation du mouvement du chariot et en préciser sa nature

UMMTO

TP n° 4 : Détermination de la constante de raideur d'un ressort

1. Termes associés

Ressort, constante de raideur d'un ressort, méthode statique, méthode dynamique, allongement sous l'effet du poids, domaine élastique, ressort à spires, pendule élastique, oscillations, période.

2. Principe de mesure de la constante de raideur d'un ressort

L'objectif visé dans ce TP est la détermination expérimentale de la constante de raideur d'un ressort. On dispose, à cet effet, de deux méthodes : méthode statique et méthode dynamique.

1ère méthode : Méthode statique

On place un objet de masse m à l'extrémité inférieure d'un ressort dont on veut mesurer la constante de raideur, l'extrémité supérieure étant accrochée à un support immobile. Le protocole utilisé est de faire varier la masse m et de mesurer à chaque fois, une fois l'équilibre atteint, l'allongement relatif de la longueur du ressort. Le tracé du graphe obtenu F= P (F force de rappel du ressort) permet de déterminer la constante de rappel (ou de raideur) du ressort.

2ème méthode : Méthode dynamique

On reprend le même ressort dont on accroche l'extrémité supérieure à un support immobile, l'autre extrémité supportant une masse marquée de valeur m. Une fois l'équilibre atteint, on tire légèrement vers le bas l'objet de masse m et on le lâche. Il s'ensuit un mouvement oscillatoire périodique de la masse m dont on mesurera la période. On répète l'expérience en faisant varier la masse m. Le tracé du graphe $T^2=f(m)$ permet d'accéder à la constante de raideur du ressort.
Attention : la masse m doit être écartée légèrement de sa position d'équilibre ; ceci permet d'utiliser la loi de Hooke, valable uniquement dans le domaine élastique.

3. Théorie et évaluation

Un ressort est une pièce mécanique qui utilise les propriétés élastiques de certains matériaux pour reprendre sa forme et sa position initiales après avoir subi une déformation. A l'action de déformation, le ressort réagit en exerçant une force égale et opposée, dite force de rappel, caractérisée par une constante (dite de raideur) caractéristique du ressort.
Cette force présente les caractéristiques suivantes :

- Point d'application : point de contact entre le ressort et l'objet
- Direction : celle du ressort

- Sens : si le ressort est étiré, la force est dirigée de l'objet vers le ressort;
si le ressort est comprimé, la force est dirigée du ressort vers l'objet;
- Norme : $F=k(L-L_0)$ où k est une constante appelée constante de raideur du ressort, L_0 est la longueur à vide du ressort et L la longueur du ressort lorsque l'objet est accroché, avec F en N, k en N/m et les longueurs en m. Plus cette constante et élevée, plus il sera difficile de déformer le ressort. Cette constante de raideur peut être déterminée de deux façons différentes, en utilisant soit la méthode statique, soit la méthode dynamique.

Étude statique :

On accroche l'extrémité supérieure d'un ressort de longueur à vide L_0 à un support fixe, et son extrémité inférieure supportant un objet de masse m (voir figure 1). Une fois l'équilibre atteint, la longueur du ressort devient L et on peut écrire: $\vec{P}+\vec{F}=0$ avec:

$$P = mg \quad \text{et} \quad F = k(L - L_0)$$

La 2éme loi de Newton impose:

$$P - k.x = 0 \quad \Rightarrow \quad P = k.dx = k(L-L_0)$$

Il suffit donc de répéter l'expérience en faisant varier la valeur de la masse m et de tracer le graphe $P=f(\Delta L)$. La constante de rappel du ressort est donnée par la pente de ce graphe .

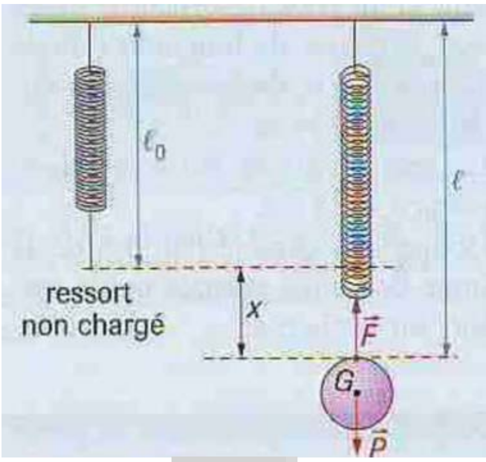


Figure 1

Étude dynamique :

On reprend le système {ressort + masse m}initialement à l'équilibre, puis on tire la masse m légèrement vers le bas et on l'abandonne à lui-même, il effectue des oscillations de part et d'autre de sa position d'équilibre ; on parle d'un pendule élastique vertical.

La relation fondamentale de la dynamique permet de montrer que le mouvement pris par le système est rectiligne sinusoïdal de période T (à condition bien sûr que le distance dont on le tire soit suffisamment petite).

Il suffit de mesurer la période T des oscillations pour accéder à la constante de rappel du ressort utilisé. Appliquons cette relation au

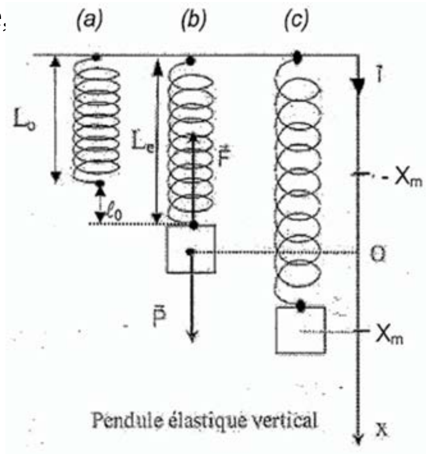


Figure 2: Pendule élastique vertical

pendule (voir figure 2): $P + F = m.a$

avec : $a = d^2x/dt^2$, soit $m.g - k.dx = m.a$ (**1**) (dans notre cas, x=L)

le second terme peut être développé ainsi : $k.dx = k.(x_0-x) = k.x_0 - k.x$

A l'équilibre (partie statique), on a trouvé: P = F, soit $mg = k.\ x_0$

En remplaçant dans l'équation (1), on a donc: $- k.x = m.a$ ➔ $m.d^2x/dt^2 + k.x=0$ (**2**)

Cette équation différentielle admet comme solution : $x(t) = A.\sin(w.t + \Phi)$ (**3**)

La dérivée seconde de cette solution donne :

$d^2x/dt^2 = - (k/m).x$ ➔ qu'on écrit sous la forme $d^2x/dt^2 = - w^2.x$

On en déduit la pulsation du mouvement: $w^2 = k/m$, soit, en reliant à la période T à w: $w=2\pi/T$,

d'où: $4.\pi^2/T^2 = k/m$ et donc: $T^2 = (4.\pi^2.m)/k$, d'où l'expression de la période en fonction des données du système utilisé (m et constante de rappel du ressort): $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

Pour déterminer la constante k du ressort, il faut donc tracer la courbe : $T^2 = f(m)$; la pente de cette droite est alors: $a=T^2/m = (4.\pi^2)/k$ ➔ $k = (4.\pi^2)/a$

4. Manipulation

Afin de déterminer la constante de rappel ou de raideur d'un ressort, on utilise les deux méthodes citées ci-dessus: la méthode statique et la méthode dynamique.

4a. Etude statique :

On suspend verticalement l'extrémité supérieure d'un ressort de longueur L_0 à un support immobile, une masse m étant accrochée à son extrémité inférieure. Une fois l'équilibre atteint, on mesure l'allongement $\Delta L = L - L_0$, L_0 étant la longueur initiale du ressort (sans masse suspendue). Puis on fait varier la valeur de la masse accrochée au ressort et on relève, à chaque fois, l'allongement ΔL.

Compléter le tableau 1 ci-dessous:

Tableau 1:

Masse m (g)	0	60	110	160	210	260
P = mg (N)	0					
L (cm)	L_0 =					
Allongement (cm)	$\Delta L = L-L_0$					

- Tracer alors le graphe donnant P en fonction de l'allongement, soit $P = f(\Delta L)$. Quelle est la nature de ce graphe.

- En déduire la constant de raideur k du ressort.
- Calculer l'incertitude sur la mesure de k.

4b. Etude dynamique:

Après avoir accroché l'extrémité supérieure du ressort à un support immobile, on suspend une masse m (de valeur m=60g) à son extrémité inférieure. Une fois l'équilibre atteint, on tire légèrement la masse vers le bas,puis on la lâche. Le système est alors animé d'un mouvement rectiligne sinusoïdal (à la condition d'avoir écarté légèrement la masse m de sa position d'équilibre). On mesure alors la durée de 10 oscillations et on en déduit la période du mouvement (voir partie théorique).

On répète l'expérience en faisant varier la masse m de 60g à 260g. Compléter alors le tableau 2 ci-dessous:

Tableau 2:

Masse m (g)	60	110	160	210	260
T = t/10 (s)					
T^2 (s^2)					

- Tracer sur feuille de papier millimétré, le graphe donnant T^2 en fonction de m. Quelle est la nature de ce graphe ?
- En déduire la constante de raideur du ressort utilisé.

4c. Comparaison:

Comparer les résultats obtenus à l'aide de deux méthodes et conclure.

La Collection TP de PHYSIQUE

Travaux Pratiques de MECANIQUE

Cette collection TP de PHYSIQUE est un modeste recueil des travaux pratiques de physique assurés au sein des laboratoires du département de physique de la faculté des sciences (UMMTO); ces TP, conçus sur la base du matériel disponible, concernent plusieurs domaines de la physique (Mécanique, Electricité, Thermodynamique, Electromagnétisme, Physique de la Matière Condensée, Radiocristallographie, Optique,...). Ils constituent un apport pédagogique complémentaire aux cours magistraux dispensés dans les filières Licence et Master du département.

Roue de Maxwell

Appareil de chute libre