**ACCÉLÉRATION DUE À LA GRAVITÉ**

# 1 Introduction

Dans cette expérience[1], vous ferez une *analyse graphique* du mouvement d'un objet tombant en chute libre et vérifierez la valeur de la constante de gravitation, $g$. Un graphique linéaire sera utilisé, puisque les droites sont plus faciles à étudier; elles sont décrites par la pente, $m$, et l'ordonnée à l'origine, $b$.

Veuillez insérez vos réponses aux questions ci-dessous dans la section *Analyse des résultats* de votre rapport.

# 2 Questions

(Essayez de les compléter avant la séance de laboratoire. Insérez vos réponses dans la section *Analyse des résultats* de votre rapport.)

La théorie, couverte dans le cours magistral, est résumée à la Section 3.

1. Selon la disposition des variables $d$ et $t$, il y a différentes façons de tracer le graphique de l'équation (1), $d = v_0 t + \frac{1}{2}gt^2$. Par contre, pas tous les graphiques seraient linéaires. Trois différentes dispositions graphiques de la forme de $y$ en fonction de $x$ sont:

$$\text{(i)}\ \frac{d}{t^2}\ \text{en fonction de}\ \frac{1}{t};\quad \text{(ii)}\ \frac{t}{d}\ \text{en fonction de}\ \frac{t^2}{d};\quad \text{(iii)}\ \frac{1}{t}\ \text{en fonction de}\ \frac{1}{d}$$

   Quels graphiques seraient linéaires? Non-linéaires? Si le graphique est linéaire, quelles quantités correspondent à la pente et à l'ordonnée l'origine, respectivement? Démontrez clairement comment vous avez obtenu vos réponses en récrivant l'équation (1). Pour avoir une relation linéaire, vous devez avoir *deux* variables, $x$ et $y$, et *deux* constantes, $m$ et $b$ sous la forme:

$$y = mx + b.$$

2. L'accélération due à la gravité $g$ est donnée par la loi de gravitation universelle de Newton

$$g = \frac{GM}{r^2}.$$

   où $G$ est la constante de gravitationnelle ($G = 6.67 \times 10^{-11}\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$), $M$ est la masse de la Terre ($M = 5.98 \times 10^{24}$ kg) et $r$ est la distance du centre de la Terre à l'objet en chute libre ($r = 6.38 \times 10^6$ m).

   Calculez l'expression algébrique de l'erreur sur la gravité, $\Delta g$, causée par l'incertitude sur $r$ ($\Delta r$). Supposez que les erreurs sur $G$ ($\Delta G$) et sur $M$ ($\Delta M$) soient négligeables (c.-à-d. $\Delta G$= 0 et $\Delta M$=0).

3. Dans cette expérience, l'objet en chute libre tombe d'environ 1 mètre. Puisque $r$ n'est pas constant, mais varie de $\Delta r$, alors $g$ n'est pas constant et ceci introduit une erreur sur la gravité $g$. Calculez l'erreur $\Delta g$ en prenant l'incertitude de $r$, $\Delta r = 1$ m. Est-ce que vous vous attendez à ce que cette erreur soit perceptible dans vos résultats expérimentaux?

[1]Adaptation et traduction de: Experiment 2 - Acceleration due to gravity, *Physics Laboratory Manual- Phys 124/126,* Department of Physics, University of Alberta.

# 3 Théorie

Considérons un corps en chute libre. Si la résistance de l'air peut être négligée et si la distance de sa chute est petite, comparée au rayon de la Terre, alors l'accélération de l'objet est constante.

Dans le cas d'une accélération en une dimension constante, $a$, les trois équations suivantes décrivent le mouvement:

$$d = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2 \tag{1}$$

$$v = v_0 + at \tag{2}$$

$$v^2 = v_0^2 + 2ad \tag{3}$$

où $t$ est le temps écoulé depuis l'origine "0", $d$ est la distance totale parcourue durant le temps $t$ à partir de l'origine "0", $v_0$ est la vitesse initiale à l'origine au temps $t = 0$ et $v$ la vitesse instantanée au temps $t$.

Chacune des équations (1), (2) et (3) utilise une combinaison différente des variables de base $d$, $v$ et $t$. Ces équations vous fournissent trois approches distinctes d'obtenir un graphique linaire, et ainsi de déterminer graphiquement la valeur de l'accélération $a$. Dans cette expérience, vous utiliserez uniquement l'équation (1) puisque cette relation correspond le plus "directement" aux valeurs mesurées de $v$ et $t$. Dans les équations (2) et (3), vous auriez à effectuer des calculs supplémentaires afin de déterminer la vitesse instantanée $v$.

# 4 Manipulations

## 4.1 Collecte des données

Il y a seulement un montage expérimental dans le laboratoire, alors chaque groupe d'étudiants devrait obtenir en succession leurs données. Ce montage expérimental consiste en un objet qui tombe en chute libre et un étincelleur qui brûle des points sur un papier ciré à des intervalles de temps régulier. Les données sont donc un enregistrement sur du papier à étincelleur - une série de points brûlés sur le ruban en papier de cire. L'intervalle de temps utilisé est 1/60 seconde ou 60 Hertz.

Obtenez un ruban de données (ruban avec les points brûlés), étalez-le sur votre table de travail et encerclez les points brulés pour une identification plus facile. Vous devriez voir un patron régulier sans espace évident. Si des points sont absents, obtenez un nouveau ruban de données.

Choisisssez un point près du début de l'enregistrement pour l'origine ($d$=0, $t$=0) et identifiez-le "0". N'utilisez pas le premier point brûlé comme étant l'origine parce que le début de la chute de l'objet n'est pas synchronisé avec la première étincelle. Remarquez que $v_0 \neq 0$ à l'origine "0". Comme illustré à la figure 1, numérotez successivement les 12 autres points brûlés (jusqu'à $d_{12}$).

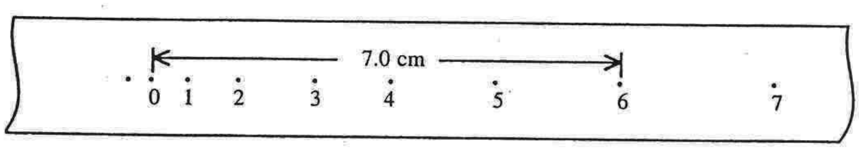


Figure 1: Enregistrement des points brûlés sur le ruban de papier

Mesurez la distance $d$ entre l'origine choisie "0" et chacun des points numérotés. Par exemple à la figure 1, la distance au point 6 est $d_6 = 7.0$ cm. Si la fréquence de l'étincelleur est à 60 Hz, alors le temps écoulé à $t_6 = 6/60$ seconde. Notez les mesures de distance et de leur temps dans un tableau.

Tableau 1: Distance et vitesse moyenne d'un objet en chute libre

| Numéro $n$ | Temps $t$ (s) | Distance $d$ $\pm 0.001$ (m) | Distance/temps $d/t$ (m/s) | $\Delta(d/t)$ (m/s) |
|---|---|---|---|---|
| 0 | | | | |
| 1 | | | | |
| .... | | | | |

### 4.2 Estimation des erreurs

**a. Erreur sur la distance** $d$. En plus de l'erreur de base de ± 1/2 mm lorsque vous utilisez un mètre, il y a une erreur additionnelle. La position de l'étincelle peut jouer d'environ ±1/2 mm parce que l'étincelle ne va pas toujours directement de l'étincelleur au papier et que le papier n'est pas toujours centré. Ce qui donne une erreur de ± 1 mm à chacune des mesures de la distance $d$.

**b. Erreur sur le temps** $t$. Dans cette expérience, l'erreur attribuable à l'étincelleur est de ± 0.2%. Puisque l'erreur de $t$ ($\pm\Delta t$) est très petite, cette erreur peut être considérée négligeable ($\Delta t$=0).

## 5 Analyse

L'analyse des données expérimentales consiste à vérifier la **relation** entre $d$ et $t$ énoncée dans l'équation (1). Le meilleur procédé de vérifier cette relation est l'utilisation des graphiques puisque le comportement de **toutes** les données expérimentales sont représentées. Le graphique montre si la "forme" mathématique de la relation est en effet valide. La substitution des valeurs dans l'équation est inacceptable parce que vous *supposez* la relation plutôt que de la vérifier. De plus, les deux quantités $v_0$ et $a$ sont inconnues dans l'expérience et il serait incorrect de supposer que $v_0$=0! Si le graphique est conforme à la théorie, alors des résultats numériques peuvent être déterminés et ensuite comparés aux valeurs théoriques ou prévues. De plus, la meilleure ligne d'un graphique fait automatiquement la moyenne les fluctuations aléatoires des points des données individuelles. Ce type de moyenne donne un meilleur résultat que d'utiliser un seul point de données.

1. Les variables de l'équation (1) sont $d$ et $t$. Si un graphique est tracé à partir des valeurs observées de ces variables, on s'attend à obtenir une courbe. Pour tester ceci, créez un graphique à l'ordinateur de la distance $d$ en fonction du temps $t$, en omettant les barres d'erreur. Voir l'Annexe 2 pour vous aider à créer ce graphique avec *Excel*. Utilisez l'ordinateur pour tracer la meilleure ligne de la forme $y = Ax^2 + Bx + C$ et indiqué l'équation sur le graphique. Incluez votre graphique dans votre rapport. À partir des coefficients A et B, déterminez les valeurs approximatives de $a$ et $v_0$. Vous ne pouvez pas déterminer l'erreur sur ces valeurs parce que l'erreur sur les coefficients n'est pas disponibles.

2. Il est plus facile de vérifier si *l'expérience correspond à la théorie* par la méthode d'un graphique d'une droite. Dans cette expérience, les variables $d$ et $t$ ne sont pas directement proportionnelles (ne sont

pas reliées linéairement). Nous devons alors assigner des nouvelles variables pour $y$ et $x$, de sorte que la forme linéaire est satisfaite. Transformez l'équation (1) sous la forme linéaire en la divisant par $t$. Identifiez les variables et les constantes de cette relation linéarisée. Décrivez le graphique linaire prévu en identifiant les variables qui correspondent à $y$ et celles à $x$, et aussi les quantités qui correspondent à la pente et celles à l'ordonnée à l'origine.

3. Maintenant que vous avez identifié les variables pertinentes afin de créer un graphique linéaire, complétez le tableau des données en calculant $(d/t)$ et son erreur $(\Delta d/t)$. Montrez un exemple de calcul. Incluez votre tableau dans votre rapport.

4. Créez votre graphique linéaire. *Excel* détermine la meilleure droite de régression avec la pente et l'ordonnée à l'origine en utilisant une méthode statistique. L'erreur statistique de la pente et celle de l'ordonnée à l'origine obtenues sont un peu plus petites qu'avec la méthode de la pente max-min. Les pentes max-min indiquent les cas extrêmes avec des probabilités faibles de se produire. L'erreur statistique implique une probabilité de 68% que la valeur actuelle se trouve à l'intérieur de l'intervalle d'erreur.

5. Citez la pente et l'ordonnée à l'origine dans votre analyse (même si elles apparaissent sur le graphique). Ensuite montrez comment ces quantités peuvent être utilisées pour déteminer des résultats numériques pour $a \pm \Delta a$ et $v_0 \pm \Delta v_0$. Incluez toutes les formules et les étapes de votre travail.

6. Comparez votre valeur expérimentale de $a \pm \Delta a$ à la valeur acceptée pour Edmonton: $g = 9.81$ m/s$^2$. Sont-elles égales à erreur près? Est-ce que votre valeur expérimentale de $v_0 \pm \Delta v_0$ est raisonnable?

7. Calculez le pourcentage d'écart entre $a$ et $g$. C'est une pratique courante de déterminer le % de d'écart entre un résultat expérimental et la valeur acceptée, même si n'indique pas s'ils sont égaux à erreur près. *L'écart et l'erreur sont différents.* L'écart représente la différence entre la valeur expérimentale et la valeur théorique, alors que l'erreur signifie l'incertitude d'une quantité mesurée. Deux valeurs sont égales à erreur près lorsque $a \pm \Delta a$ inclue la valeur acceptée. Si la différence est plus grande que l'erreur, alors d'autres facteurs ont affecté l'expérience. Ces facteurs sont généralement des conditions expérimentales ou des suppositions idéalisées dans la théorie qui ne sont pas valides dans la réalité. Des facteurs systématiques forcent constamment les résultats dans une direction, alors que des erreurs aléatoires n'ont pas de direction. Dans cette expérience, est-ce qu'il y a évidence d'un effect systématique qui s'ajoute à l'erreur sur $a$ $(\pm\Delta a)$? Par exemple, si votre valeur expérimentale est faible, qu'est-ce qui aurait pu en être la cause?

# 6 Conclusion

Dans la conclusion, résumez brièvement ce que vous avez examiné. Ensuite expliquez ce que vous avez trouvé à partir de vos graphiques et résultats. Qu'est-ce qu'ils impliquent en relation à la théorie? Sont-ils cohérents avec les prédictions? Citez les résultats numériques et comparez-les aux valeurs prévues. Est-ce que vos résultats sont égaux à erreur près? Suggérez des raisons possibles pour les expliquer. (Expliquez *comment* et *pourquoi* les résultats ont été affectés. Ne faites pas des suppositions irréfléchies ou sans importance, qui ont un effet négligeable.)