



LABORATOIRE 2

CHUTE LIBRE ET ACCÉLÉRATION GRAVITATIONNELLE

BUT

Mesurer l'accélération d'une bille en chute libre.

MATÉRIEL

- Potence à chute libre
- 2 capteurs optiques
- Module d'acquisition LabQuest

THÉORIE

Nous disposons pour cette expérience d'un système mesurant la durée de la chute d'un objet sur une distance connue. Plusieurs chutes seront donc produites pour connaître le temps de chute pour plusieurs hauteurs différentes.

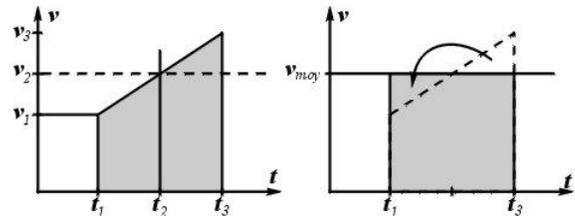
Si on assume que le taux de chute est le même chaque fois, on pourra associer toutes les valeurs notées à un même mouvement de chute uniformément accélérée. On disposera donc des temps de passage de la bille à différents endroits lors de sa chute. On pourra alors rédiger un graphique de la position en fonction du temps à partir des temps et distances relevés.

La chute libre d'un corps est un mouvement uniformément accéléré (MRUA) (à quelques décimales près en raison de la résistance de l'air, mais la variation est très faible sur les premiers mètres pour un objet aussi dense qu'une bille en acier). La position devrait donc évoluer comme une fonction du temps du second degré, soit $x = at^2 + bt + c$. Les coefficients de cette équation sont directement liés à l'accélération, la vitesse initiale et la position initiale de la bille, et pourront être connus grâce à une analyse graphique.

Il sera également possible de calculer la vitesse de la bille à des instants précis à partir des données de position en fonction du temps, grâce au principe suivant : *lors d'un MRUA, la vitesse moyenne d'un mobile durant un intervalle de temps donné est égale à la vitesse instantanée de l'instant milieu*. Ce principe peut être démontré graphiquement par l'analyse de l'aire sous la courbe (voir figure 1).

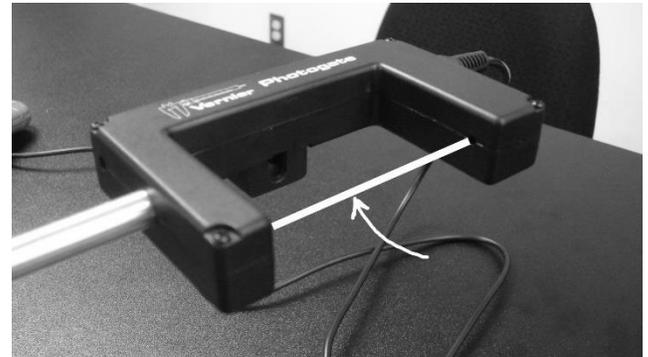
Ainsi, pour des intervalles de temps où l'accélération est constante, nous allons déterminer la vitesse au centre de ces intervalles par le calcul de la vitesse moyenne durant ces mêmes intervalles. Un graphique de la vitesse en fonction du temps pourra alors être rédigé et analysé

FIGURE 1



INTRODUCTION AUX CAPTEURS OPTIQUES

Chacun des deux capteurs optiques liés au module d'acquisition fonctionne à partir d'un rayon infrarouge (invisible) émis d'un côté et capté de l'autre côté du dispositif.



Lorsqu'un objet bloque le passage de ce rayon par sa présence, un signal est envoyé au module d'acquisition qui affichera alors « BLOCKED » comme état du capteur. Lorsque le rayon passe à nouveau, l'état redevient « UNBLOCKED ».

Si une bille en chute libre coupe successivement les deux rayons sur son passage, le module d'acquisition indiquera le temps de chaque événement (un événement étant la coupure d'un rayon ou son dévoilement).

À partir de l'instant où le module d'acquisition est placé en mode « lecture », le premier événement sera considéré comme référence $t = 0$, et les moments de tous les événements ultérieurs seront enregistrés à partir de cette référence.

Lors de la chute de la bille, le premier événement sera donc la coupure du premier rayon. Le second événement sera la libération de ce rayon après que la bille l'ait traversé, et ensuite la coupure et la libération du second rayon (donc 4 événements). Si on note le délai entre les deux coupures des rayons, on connaît donc le temps mis par la bille pour parcourir la distance

entre ces deux rayons. Nous allons donc relever, pour plusieurs distances différentes, le temps de parcours de distances connues.

PRÉPARATION ET CARACTÉRISTIQUES DU MONTAGE

Observez les sondes et leurs supports. Notez que la position des supports est indiquée par un trait visible dans une ouverture permettant de voir l'échelle graduée. Notez que le phénomène de parallaxe peut affecter l'ajustement des positions si vous ne vous placez pas à la bonne hauteur pour faire la lecture. La sonde du haut devrait être précisément à 10 cm du sommet.

Les capteurs sont fixés aux supports par l'intermédiaire de tiges, vissées et pincées à leurs deux extrémités. Cet intermédiaire enlève inévitablement de la rigidité au positionnement des capteurs, et vous devrez évaluer pour les positionner l'incertitude qui en découle. Aussi, essayez de réduire les causes d'erreur et d'incertitude en faisant les ajustements qui vous paraissent pertinents.

La qualité des mesures de temps dépend de plusieurs caractéristiques du montage. Dans un premier temps, on veut que la bille (dont on veut la chute parfaitement verticale) coupe les deux rayons infrarouges avec la même partie, soit son point le plus bas (le dessous de la bille). Les deux rayons doivent donc être parfaitement l'un au-dessus de l'autre. Utilisez la corde fournie pour assurer cette verticalité :

- 1) Placez le second capteur à la position 90 cm sur l'échelle graduée (assurez-vous de fixer fermement le support pour qu'il soit bien horizontal);
- 2) Placez la lame d'aluminium sur le premier capteur de façon à ce que la corde coupe le premier rayon;
- 3) Ajustez les pattes du montage pour faire en sorte que la corde coupe le second rayon.
À ce stade, ne déplacez plus le montage. Si vous ne faites que modifier la hauteur du second capteur, on pourra assumer que le montage demeure vertical, et vous n'aurez plus à refaire cet ajustement.

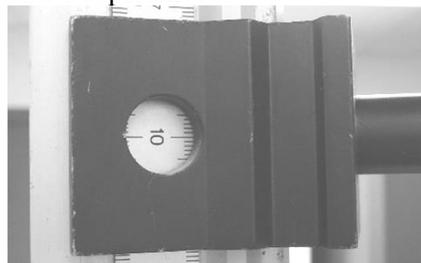
DÉTERMINATION DE L'INCERTITUDE SUR LE TEMPS

Le système du module d'acquisition avec ses capteurs optiques vous donnera des mesures de temps à cinq décimales. Cependant, il ne faut pas assumer que tous ces chiffres sont significatifs. Et puisque le fournisseur de ces composantes n'a pas établi de valeur d'incertitude sur le temps pour la configuration que

vous utilisez dans cette expérience, vous devez vous-même établir une incertitude à l'aide de quelques manipulations supplémentaires.

On peut déterminer l'incertitude d'une mesure de façon empirique/statistique. Si on reproduit une même mesure un grand nombre de fois, on peut observer les plus grands écarts du résultat par rapport à une valeur moyenne ou centrale. Nous allons donc faire dix fois une même mesure pour déterminer cette incertitude.

- 1) Placez le premier capteur à la position 10 cm sur l'échelle graduée. Conservez cette position pour toute l'expérience



- 2) Placez le second capteur à 90 cm (il devrait déjà y être).
- 3) Mettez sous tension le module d'acquisition LabQuest branché aux deux capteurs optiques. Vous devriez apercevoir deux indications « UNBLOCKED ». Observez maintenant que si vous coupez un rayon avec votre doigt, l'indication du capteur passera à « BLOCKED ».



- 4) Sélectionnez l'icône $|x|y|$ () en haut à droite de l'écran. Vous passerez alors à l'affichage des temps d'événements.
- 5) Ouvrez la source de tension et vérifiez qu'elle indique environ 12 volts. Suspendez la bille d'acier à l'aimant au-dessus du premier capteur, bien au centre de l'anneau magnétisé.



- 6) Sur le module d'acquisition, appuyez sur ► (bouton « play », ou ► à l'écran), ce qui démarre l'enregistrement des événements.
- 7) Placez votre main sous le deuxième capteur pour recevoir la bille et éteignez la source de tension pour provoquer la chute de la bille.
- 8) Appuyez à nouveau sur le bouton ► (ou sur Stop ■ à l'écran) et notez le temps de l'événement « Blocked » du second capteur (le troisième événement). C'est la durée de parcours des 80 cm entre les capteurs (puisque la première valeur « Blocked » devrait être à l'instant zéro). Notez la valeur dans le tableau 1 avec toute sa précision (l'incertitude sur ces mesures ne sera connue qu'après avoir rempli et utilisé le tableau 1).
- 9) Refaites les manipulations 5 à 8 dix fois, tout en prenant soin de procéder exactement de la même façon sans modifier la configuration du montage. Remarque : le fait d'appuyer à nouveau sur ► écrasera automatiquement les temps de l'essai précédent. Dans certains cas, le programme vous demandera quoi faire avec les données précédentes, auquel cas il suffit de les jeter (« Discard »).
- 10) Ces valeurs permettront lors de l'analyse de calculer une incertitude pour les mesures de temps officielles.

MANIPULATIONS POUR L'ÉTUDE DE LA CHUTE LIBRE

- 1) Le premier capteur étant toujours à 10 cm sur l'échelle graduée, placez le second capteur à 20 cm. (Assurez-vous de fixer fermement le support pour qu'il soit bien horizontal.)
- 2) Ouvrez la source de tension et suspendez la bille d'acier à l'aimant au dessus du premier capteur.
- 3) Sur le module d'acquisition, appuyez sur ► (le bouton ou à l'écran), ce qui démarre l'enregistrement des événements.
- 4) Placez votre main sous le deuxième capteur pour recevoir la bille et éteignez la source de tension pour provoquer la chute de la bille.
- 5) Appuyez à nouveau sur le bouton ► (ou sur « stop » ■ à l'écran) et notez le temps de

l'événement « Blocked » du second capteur. C'est la durée de parcours de la distance entre les capteurs. Notez la valeur dans le tableau 2 avec toute la précision donnée par l'appareil.

- 6) Refaites la procédure deux autres fois pour calculer le temps moyen sur cette même distance.
- 7) Répétez les étapes 2 à 6 en plaçant successivement le deuxième capteur aux positions 30, 40, 50, 60, 70 et 80 cm (pour la position 90 cm, vous pouvez transcrire au tableau 2 les trois premières valeurs notées au tableau 1).
- 8) Évaluez une incertitude sur la position d'un capteur, en tenant compte non seulement des graduations de la potence, mais aussi des capteurs et leurs supports dont le poids et la flexibilité peuvent affecter la position réelle. Notez l'incertitude au tableau 2, vis-à-vis les positions x .
- 9) Il peut être utile de prendre une photo du montage. Lorsque vous avancerez dans l'analyse, vous pourriez vous poser des questions pour lesquelles avoir une image du montage pourrait vous aider.
- 10) Éteignez tous les appareils et rangez le matériel utilisé.

Prendre une photo du montage avant de quitter pourra vous aider lors de l'analyse si vous avez oublié certains éléments ou la configuration du montage.

ANALYSE

Faites les calculs pour déterminer l'incertitude sur les temps mesurés :

Identifiez les valeurs minimale et maximale parmi les dix temps notés au tableau 1. L'écart entre ces valeurs extrêmes est le domaine d'incertitude des mesures de temps. La moitié de cet écart représente donc l'incertitude sur le temps, de part et d'autre du centre de l'intervalle. Ce demi-écart (arrondi à 1 c.s.) pourra représenter votre incertitude sur le temps, utilisée pour toutes les mesures. Vous pourrez arrondir les valeurs en fonction de cette incertitude lorsque vous les transcrirez à l'ordinateur dans le tableau 2.

En considérant l'échelle graduée de la potence comme l'axe du mouvement, il en résulte que l'axe est dirigé vers le bas et que le point de départ de la bille n'est pas l'origine de l'axe; cela ne modifie en rien la méthode d'analyse et permet d'associer directement les temps de passage aux positions du second capteur.

- Tracez le graphique de la position en fonction du temps (t_{moy}) et faites afficher l'équation.
- Créez un nouveau tableau (le tableau 3) où vous calculerez l'instant central de chaque portion du déplacement après avoir reporté les temps de début

et de fin de chaque intervalle. Par exemple, pour le déplacement de 20 cm à 30 cm, l'instant central sera donné par $(t_{30} + t_{20}) \div 2$. Calculez ensuite les vitesses instantanées pour chacun de ces instants en utilisant des déplacements de 10 cm et utilisant les intervalles de temps correspondants (c'est un calcul de vitesse moyenne mais elle coïncide avec la vitesse instantanée de l'instant central).

- Tracez le graphique de la vitesse en fonction du temps et faites afficher l'équation.

QUESTIONS

- Présentez le tableau 1 (avec les valeurs brutes) et le processus/calcul permettant de déterminer l'incertitude sur le temps.
- Présentez les tableaux 2 et 3 complétés.
À partir du graphique $x(t)$ et de l'équation de la courbe :
- Réécrivez l'équation de la position de la bille en fonction du temps (avec valeurs numériques et unités), de façon à ce qu'elle soit homogène au niveau des unités.
C'est après la page contenant la réponse à cette question que devrait paraître le graphique $x(t)$, pleine page.
- À partir de l'équation du graphique, déterminez la valeur de l'accélération de la bille.
- Sur le graphique même, tracez une sécante à la courbe passant par le premier et le dernier des points connus. Calculez sa pente à partir des données du tableau 2 liées à ces points. (La sécante peut être tracée à la main après l'impression du graphique. Ne pas imprimer une seconde copie du graphique.)
- Identifiez le point central de l'intervalle de temps considéré à la question précédente et tracez le plus précisément possible une droite tangente à la courbe à cet instant (peut être fait à la main également). Estimez les coordonnées (t, x) de deux points appartenant à cette tangente et calculez sa pente. Est-elle semblable à la pente de la sécante?
- À partir de l'équation, identifiez la valeur de la position initiale de la bille. À quoi correspond physiquement cette valeur, par rapport au montage?

À partir du graphique $v(t)$ et de l'équation de la courbe :

- Identifiez la valeur de l'accélération de la bille.
C'est après la page contenant la réponse à cette question que devrait paraître le graphique $v(t)$, pleine page.

- Identifiez la vitesse à l'instant 0 s et interprétez sa valeur en fonction du montage.
- Calculez le pourcentage d'écart de la valeur de g obtenue dans cette expérience (via le graphique $x(t)$) avec la valeur admise de $9,81 \text{ m/s}^2$.
Note : L'accélération gravitationnelle peut être mesurée avec une précision de 1 partie sur 10^8 avec un *gravimètre* (appareil servant à mesurer g). À la *Tour des arts* de l'Université Laval, il indique $(9,807\ 140\ 3 \pm 0,000\ 000\ 5) \text{ m/s}^2$.
- Faites la démonstration du calcul détaillé de l'incertitude absolue (telle qu'indiquée au tableau de valeurs) sur la vitesse pour la portion 30 à 40 cm. Utilisez la *méthode des valeurs extrêmes*.

TRAVAIL À REMETTRE

- Page couverture;
- Tableaux reproduits et complétés (3) (avec incertitudes à toutes les valeurs);
- Graphiques (2) (les incertitudes ne sont pas requises sur les graphiques);
- Réponses aux questions (incluez les tableaux et graphique à travers les réponses aux questions, là où ils sont mentionnés la première fois);
- Consultez la liste de vérification avant la remise finale :
cegep-ste-foy.qc.ca/profs/maverreault/Labs_Correction.htm
- Date de remise : _____

Remarque : Dans le rapport, tous les nombres doivent être accompagnés de leur unités, sauf :

- Les données en tableau : les unités sont en tête de colonne;
- L'équation sur un graphique : modifier le texte d'une équation dans Excel altère le lien entre l'équation et la courbe de tendance. Mais ramené dans l'analyse, les termes de l'équation comportent des unités.

TABLEAU 1 : DONNÉES UTILISÉES POUR L'ÉVALUATION DE L'INCERTITUDE SUR LE TEMPS

Essai	Temps
-	s
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

TABLEAU 2 : MESURES DU TEMPS DE CHUTE POUR DIFFÉRENTES DISTANCES

Position du 2 ^e capteur	t_1	t_2	t_3	t_{moy}	x
	s	s	s	s	m
----	±	±	±	±	±
20					0,20
30					0,30
40					0,40
50					0,50
60					0,60
70					0,70
80					0,80
90					0,90

ÉVALUATION DE L'INCERTITUDE SUR LA POSITION D'UN CAPTEUR :

$\Delta x =$ _____

TABLEAU 3 : DONNÉES RELATIVES AU CALCUL DE VITESSE DE LA BILLE EN CHUTE LIBRE

Intervalle	$t_{début}$	t_{fin}	$t_{central}$	v
cm	s	s	s	m/s
	±	±	±	±
20 à 30				
30 à 40				
40 à ...				

* Une incertitude propre à chaque valeur exigerait l'ajout d'une colonne. L'apparence actuelle des tableaux n'est pas une confirmation d'une incertitude commune.