Lab 3. Mouvement rectiligne

But

- ✓ Se familiariser avec un système d'acquisition automatique de données.
- ✓ Analyser des mouvements en 1 D à l'aide de la théorie.
- ✓ Faire le lien entre les graphiques de position, de vitesse et d'accélération.
- ✓ Approfondir la compréhension des signes de l'accélération.

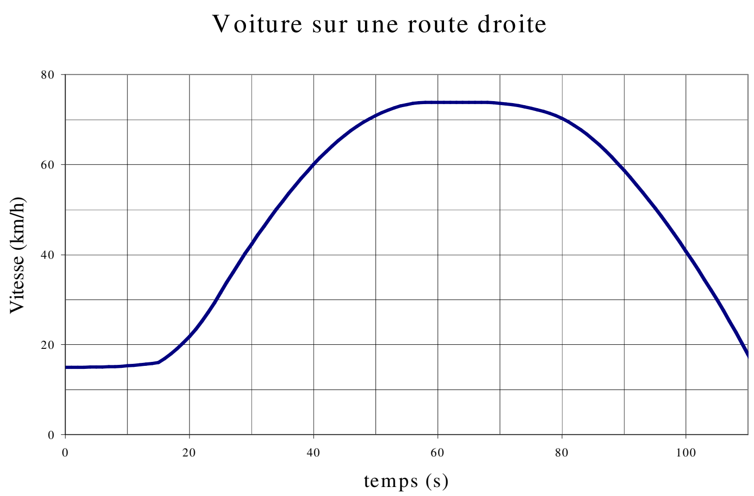
Matériel

- ✓ Rail à coussin d'air comprimé Ealing,
- ✓ Chariot glissant sur un rail à coussin d'air,
- ✓ Mètre et support réglable,
- ✓ Ensemble d'enregistrement Pasco muni de la sonde « détecteur de mouvement» .

Théorie

A) Mouvement rectiligne uniforme

Les mouvements rectilignes sont ceux qui se produisent en ligne droite. Souvent, nos voitures font de tels mouvements (sur une route droite par exemple). La complexité de ces mouvements peut être aussi grande qu'on veut. Dans le graphique suivant, pouvez-vous deviner comment les passagers se sont sentis à mesure que le temps s'écoulait ?



Il existe donc une infinité possible de types de mouvements. Dans ce cours, nous en étudions uniquement deux : le mouvement rectiligne uniforme (MRU) et le mouvement rectiligne uniformément accéléré (MRUA) qui sont les plus simples. Lorsque la somme vectorielle des forces extérieures appliquées à un mobile est nulle, (par exemple si on élimine la force de frottement ou qu'on la contrebalance exactement), celui-ci ***conserve son état*** de repos ou ***de mouvement*** rectiligne uniforme (1^e loi de Newton). Pour un tel mobile, la position en fonction du temps augmente régulièrement à chaque seconde.

Graphiquement, ce mouvement se traduit par un graphique de position-temps où l'on retrouve une droite et la pente de cette droite correspond à la vitesse du mobile. Expérimentalement, si le graphique n'est pas exactement une droite, c'est que la vitesse n'est pas exactement constante !

B) Mouvement rectiligne uniformément accéléré

Dans notre expérience, nous inclinons le rail d'un angle θ. Plus le rail est incliné, plus l'accélération devrait être grande. Nous verrons plus loin comment analyser les forces. S'il n'y a aucun frottement, la théorie prédit que l'accélération sera donnée par :

$$a = g \sin\theta$$

Examinons un peu les cas limites de cette prédiction: un rail horizontal ($\theta = 0°$ donnera une accélération nulle ($\sin 0° = 0$). Si le rail était vertical, ($\theta = 90°$) alors $\sin 90° = 1$ et l'accélération serait égale à g. On peut dire que ces prédictions sont compatibles avec nos observations et logiques par rapport à la théorie.

Dans le cas d'un mouvement uniformément accéléré, (MRUA), la vitesse augmente de façon tout à fait régulière avec le temps et le graphique du déplacement en fonction du temps – x(t) – donne une parabole. Toutefois, les mouvements où ce graphique donne une courbe semblable à une parabole ne correspondent pas tous à une accélération uniforme, loin s'en faut.

Analyse des graphiques x(t) et v(t)

1. Sur le graphique x(t), la pente correspond à la vitesse. Si la vitesse est constante, la pente est constante (on a donc une droite). Sinon, la pente de x(t) en un point est la vitesse instantanée au temps t.
2. Sur le graphique v(t), la pente correspond à l'accélération. Sur ce graphique, si la pente

n’est pas constante, ce n’est pas un MRUA. De la même façon, si l’accélération est constante pour un intervalle de temps, la pente est constante (on a donc une droite). Sinon, la pente de v(t) en un point est l’accélération instantanée au temps t.

3. Sur le graphique v(t), la surface entre la courbe et l'axe correspond au déplacement Δx.

En pratique, vous allez voir que les graphiques de v(t) sont assez chaotiques, et ceux de a(t) sont encore pires. C’est facile à comprendre. Lorsque les mesures de position sont très voisines, la valeur calculée de Δx devient entachée d'incertitude. En effet si des positions (disons par exemple x = 25,0 cm et 25,9 cm) sont mesurées à ± 0,4%, l'incertitude absolue sur chaque position sera ± 0,1 cm et on pourrait avoir

$$\Delta x = (25{,}9 \pm 0{,}1) - (25{,}0 \pm 0{,}1) \text{ mm} = (0{,}9 \pm 0{,}2) \text{ mm}$$

ce qui représente **22 % d'incertitude** sur Δx, donc autant sur la vitesse $v = \Delta x / \Delta t$. En pratique, les ordinateurs mesurent très bien des temps courts, de sorte que l’incertitude sur Δt est négligeable. Lorsque la courbe de vitesse est chaotique, on peut réduire cette fluctuation en utilisant la pente de la sécante. En pratique, cela revient au même que de faire la moyenne de quelques valeurs de vitesses instantanées voisines. Vous trouverez une fonction de **lissage** dans DataStudio.

Manipulation

A) Mouvement du chariot avec le ***rail horizontal***

1. Ajustez avec soin le rail à coussin d'air pour qu'il soit horizontal.

2. Placez la sonde de position au bout du rail pointée vers le chariot. En chronométrant l'aller-retour des ultrasons, la sonde pourra mesurer la position du chariot plusieurs fois par seconde. Le trajet du chariot d'un bout à l'autre du rail devrait durer 1 à 2 secondes. Faites quelques essais, préparez la sonde et procédez à l'enregistrement du mouvement d’aller-retour.

B) Mouvement du chariot avec le ***rail incliné***

3. Inclinez le rail de façon marquée en insérant un grand bloc sous une de ses pattes.

4. ***À deux endroits différents***, mesurez des longueurs requises pour déterminer l'angle θ d'inclinaison du rail et prenez le temps de faire un dessin soigné sur lequel on verra l’endroit où vos mesures ont été prises. Prenez votre angle sur les plus longues

distances possibles pour augmenter votre précision. Vérifiez tout de suite que ces deux séries de mesures vous donnent des angles égaux.

5. Projetez doucement le chariot vers le haut pour lui donner une vitesse d'éloignement par rapport à la sonde. Laissez retomber le chariot et enregistrez l'aller-retour.

C) Chute libre vers le bas

6. Placez maintenant le détecteur à la verticale et enregistrez les positions du ballon en chute libre. Laissez l'enregistrement durer quelques rebonds sur le plancher.

Travail demandé

A) Rail horizontal

1. Faites imprimer vos trois graphiques x(t), v(t) et a(t) sur une même feuille (axes barrés, demandez si vous avez des doutes). À partir de vos données de "position vs temps", déterminez le plus précisément possible la vitesse du mouvement d'aller et celle du mouvement de retour. Illustrez ces valeurs sur le graphique de x(t). En guise d'analyse, répondez aux questions suivantes : comment savez-vous si la vitesse était constante ? Quel lien faites-vous entre le graphique de x et celui de l'accélération v ? Entre le graphique de v et celui de l'accélération a ?

B) Rail incliné

2. Après avoir fait imprimer les graphiques x(t), v(t) et a(t) sur une même feuille, tracez proprement des tangentes à la courbe aux points initial et final du mouvement de rebond et utilisez les carreaux pour trouver graphiquement les vitesses initiale et finale du mouvement. Utilisez ces valeurs pour trouver (grossièrement) l'accélération. Montrez ces calculs ***sur*** le premier graphique.

3. À partir du graphique v(t), trouvez l'accélération moyenne. Illustrez ce calcul sur le graphique. Lorsque la vitesse n'est pas constante, cela n'implique pas nécessairement que l'accélération sera constante. Que pouvez-vous dire de l'accélération ? Si elle est constante, comment voyez-vous cela ?

4. En guise d'analyse dans votre cahier, répondez aux questions suivantes : quel est le lien entre les trois graphiques. Choisissez quelques valeurs de ***t*** et montrez le lien. Par exemple ; supposons qu'un collègue facétieux vous ait joué un tour en remplaçant le

graphique de vitesse par un autre (tiré d'un autre mouvement). Sauriez-vous dire ce qui ne va pas ? Sauriez-vous reconstituer le graphique de v? Celui de a ? À quel moment sur le graphique de x(t) la vitesse change-t-elle de signe ? Que voyez-vous de l'accélération sur les graphiques v(t) et a(t) à ce moment-là ? Commentez les modules des vitesses aller et retour ; les signes des vitesses aller et retour.

5. Faites lire à l'ordinateur la valeur moyenne de l'accélération sur le graphique a(t).

6. Calculez l'accélération gravitationnelle par la formule $a = g \sin\theta = \boldsymbol{g\,\Delta h / L}$ avec son incertitude. Il est plus facile de calculer l'incertitude sur la valeur de l'accélération en passant par la dernière formule (en caractères gras). Montrez dans un tableau comparatif, les valeurs que vous avez obtenues en 2, 3, 5 et 6. Comparez (% d'écart) la moyenne des valeurs d'accélération tirée des graphiques (2, 3 et 5) par rapport à celle que vous avez obtenue en 6.

C) Chute libre

7. Pour le ballon en chute libre, produisez sur une même feuille les trois graphiques x(t), v(t) et a(t). Sur le graphique x(t), identifiez les instants suivants: lancement, chacun des rebonds au sol, chacun des instants où le ballon s'immobilise au sommet de sa trajectoire.

8. À partir du graphique v(t), trouvez la valeur de l'accélération du ballon entre le lancer et le premier rebond (si possible) et entre chacun des rebonds par la suite. Comparez ces valeurs entre elles et comparez avec 9,8 m/s^2.
(***Note***; parce que la mesure des positions se fait par un aller-retour des ultrasons, la valeur de g que vous devriez prendre pour fins de comparaison se rapproche d'avantage de 9,65 que de 9,8).
Note*: «**Comparer**»* ça implique toujours, entre autres, de donner le pourcentage d'écart. S'il y a un calcul d'incertitude, on vérifie aussi si les valeurs tombent à l'intérieur des limites d'incertitude.

Points de vérification dans le cahier

Graphiques ***fixés*** et annotés
Calculs de vitesse et d'accélération
Conclusion pertinente et concise. Au besoin, relire le guide méthodologique des sciences de la nature et répondez à la question : «Qu'est-ce, au juste, que vous avez démontré dans cette manipulation ? ».