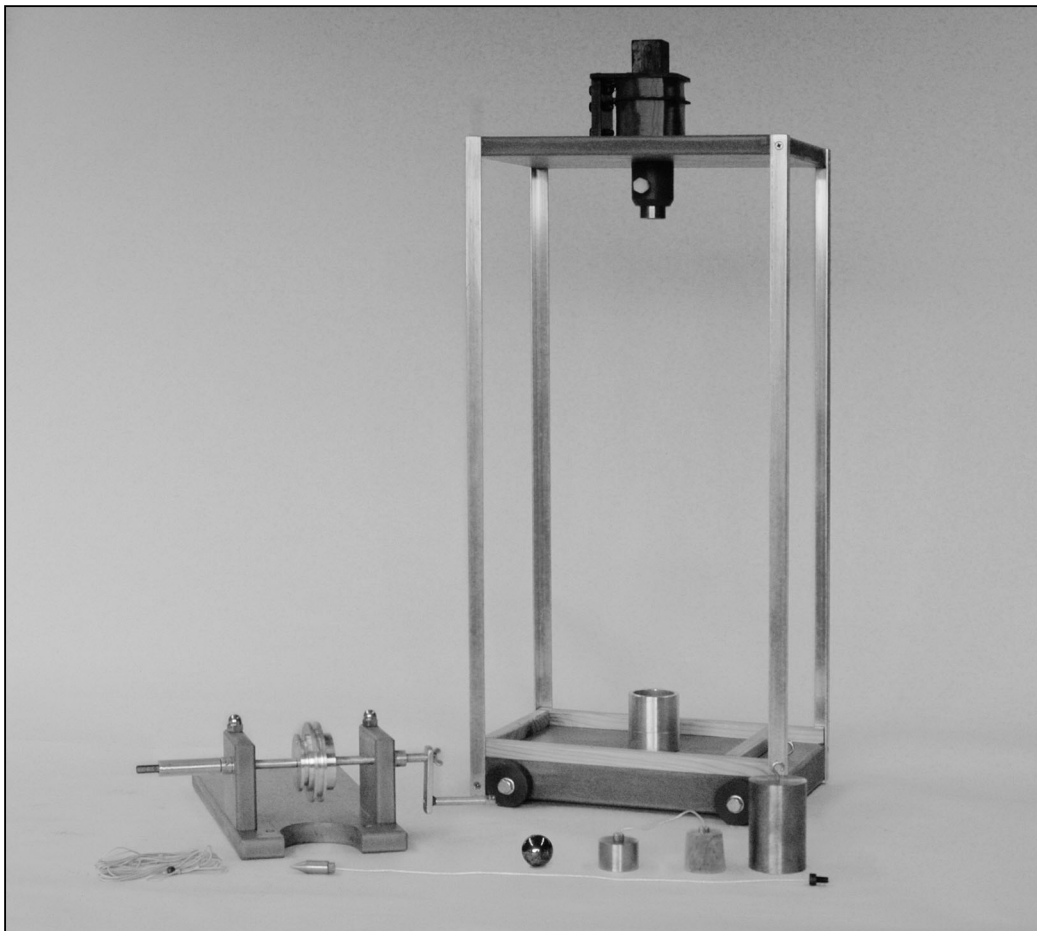


Chariot avec système de suspension pour l'étude de la mécanique

ME 0742 23443



Mode d'emploi



Centre technique et pédagogique
de l'Enseignement de la Communauté française

1. But

Montrer que:

- le point d'impact d'une bille tombant en chute libre dans un repère immobile ou dans le même repère en mouvement rectiligne uniforme se fait au même endroit dans ce repère;
- le point d'impact d'une bille tombant dans un repère animé d'un mouvement rectiligne accéléré est différent du point d'impact lorsque le repère est immobile ou en mouvement rectiligne uniforme;
- si un corps tombe verticalement en entraînant avec lui, grâce à une ficelle, un chariot se déplaçant sur un plan horizontal, pendant le mouvement, la tension dans la ficelle est inférieure au poids du corps tracteur; elle est égale au poids du corps tracteur avant le départ du chariot;
- la direction du fil à plomb est verticale dans un repère immobile placé sur un plan incliné, que cette direction n'est plus verticale si le repère est abandonné à lui-même sur le plan incliné ou si ce repère se déplace horizontalement animé d'un mouvement accéléré;
- un bouchon en liège maintenu sous l'eau dans un repère en mouvement accéléré a tendance à se mouvoir dans le même sens que celui de l'accélération du repère.

2. Description

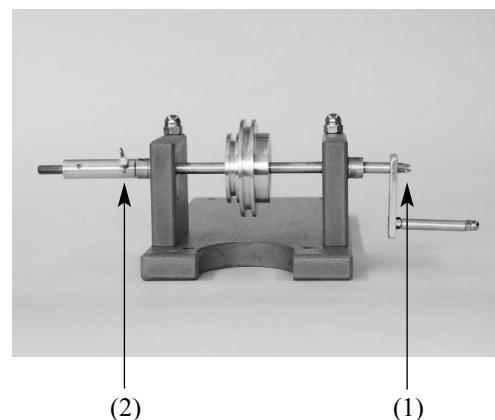
L'ensemble comprend:

- 1 bille d'acier,
- 1 chariot équipé d'un dispositif de maintien de la bille et d'un système de récupération de celle-ci,
- 1 treuil dont le tambour est remplacé par deux poulies de diamètres différents,
- 2 ficelles (une avec une boucle et un morceau de plomb à ses extrémités, l'autre avec une boucle à une extrémité),
- 2 cylindres en aluminium avec écrou borgne,
- 1 fil à plomb muni d'une vis *Allen*,
- 1 cylindre en laiton auquel est attaché un bouchon en liège,
- 1 cylindre en acier dont le poids est d'environ 10 N,
- 1 câble de raccordement bananes / bananes d'environ 3,5 m.

Remarque

Aux extrémités de l'axe du treuil il y a, d'un côté, une manivelle et, de l'autre, un embout hexagonal pour pouvoir raccorder un tournevis électrique. Ces deux systèmes d'entraînement de l'axe du treuil sont interchangeables. Pour plus de facilité, on placera du côté du manipulateur le système d'entraînement que l'on veut utiliser.

Pour interchanger la manivelle et l'embout, il suffit de dévisser complètement la vis papillon (1) fixant la manivelle et dévisser partiellement la vis papillon (2) maintenant le cylindre contenant l'embout (voir photo ci-contre). Replacer les deux systèmes d'entraînement aux endroits souhaités et les fixer de nouveau.



3. Matériel complémentaire nécessaire

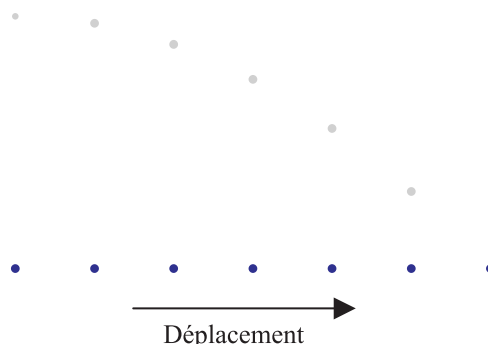
- 1 bobine de transformateur démontable de 800 à 1200 spires (*Phywe, Luni, Leybold...*),
- 1 noyau en fer feuilleté adapté à la bobine,
- 1 générateur de tensions continues (environ 10 V, 2 A),
- 1 tournevis électrique (éventuellement) dont l'embout tourne à vitesse constante (environ 180 tours/ min),
- 1 interrupteur (éventuellement),
- 1 dynamomètre ($\approx 10\text{ N}$) capable de peser le corps tracteur,
- 1 cuve en verre collé ($L \times l \times h$: 26 cm \times 17 cm \times 35 cm),
- 1 planche (minimum 35 cm de large, la plus longue possible) ou un banc que l'on peut incliner,
- objets lourds (noyaux de fer, cylindres en métal...),
- fils de connexion.

4. Rappels théoriques

4.1. Chute d'une bille dans un repère

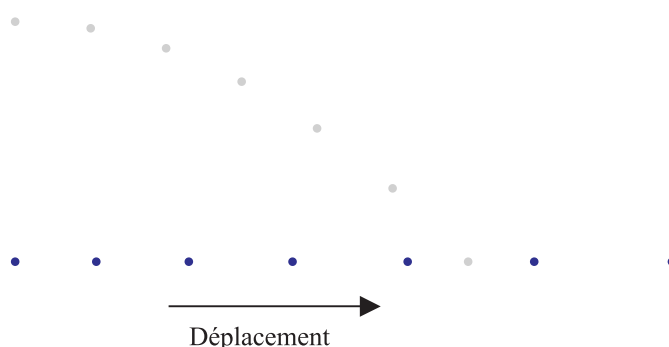
Si, dans un repère immobile, on laisse tomber une bille, elle atteint la base du repère à la verticale de son point de départ.

Si on déplace le repère horizontalement en un mouvement rectiligne uniforme et si, à un instant donné, on y laisse tomber la même bille du même endroit, pendant toute la durée de sa chute, elle possède une vitesse horizontale \vec{v}_h égale à celle



du repère. Cette vitesse reste constante*. La bille atteint la base du repère au même endroit que précédemment. C'est ce que montre le dessin stroboscopique ci-dessus, le repère se déplaçant vers la droite (en gris: la trajectoire de la bille; en foncé: la trajectoire du point de la base du repère situé à la verticale du dispositif de maintien de la bille).

Si maintenant on déplace le repère horizontalement en un mouvement rectiligne accéléré et si, à un instant donné, on y laisse tomber la même bille du même endroit, pendant toute la durée de sa chute, elle va garder sa vitesse horizontale \vec{v}_h constante*, initialement égale à celle du repère à cet instant. En ce qui concerne le repère, il ne garde pas la même vitesse puisqu'il est accéléré. La



bille n'atteint pas la base du repère au même endroit que précédemment. C'est ce que montre le dessin stroboscopique ci-avant, le repère se déplaçant vers la droite (en gris: la trajectoire de la bille; en foncé: la trajectoire du point de la base du repère situé à la verticale du dispositif de maintien de la bille).

* On néglige les forces de frottement dans l'air.

4.2. Force entraînant un chariot

Lorsque le chariot de masse m_2 est entraîné par le corps tracteur de masse m_1 tombant verticalement, le chariot est soumis à une force \vec{T} qui reste constante pendant toute la durée du mouvement à condition que les forces de frottement \vec{F}_f restent constantes et qu'on ne tienne pas compte de l'influence de la poulie.

En appliquant la 2e loi de Newton au chariot, on a:

$$\vec{T} + \vec{F}_f = m_2 a$$

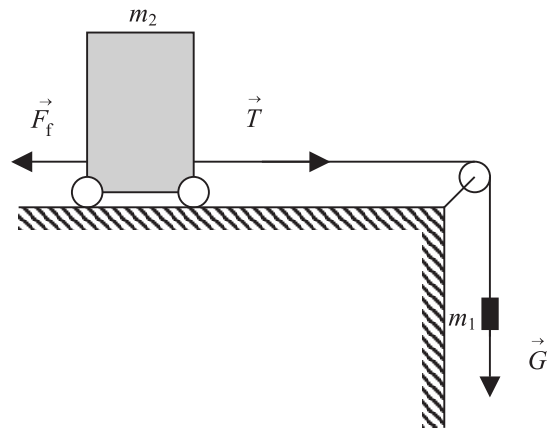
ou encore:

$$T - F_f = m_2 a$$

On en déduit que:

$$T = m_2 a + F_f$$

(1)



En appliquant la 2e loi de Newton à l'ensemble en mouvement, on a:

$$\vec{G} + \vec{F}_f = (m_1 + m_2) a$$

ou encore:

$$G - F_f = (m_1 + m_2) a$$

On en déduit que:

$$F_f = G - (m_1 + m_2) a$$

(2)

En remplaçant (2) dans (1), on a:

$$T = m_2 a + G - (m_1 + m_2) a = G - m_1 a$$

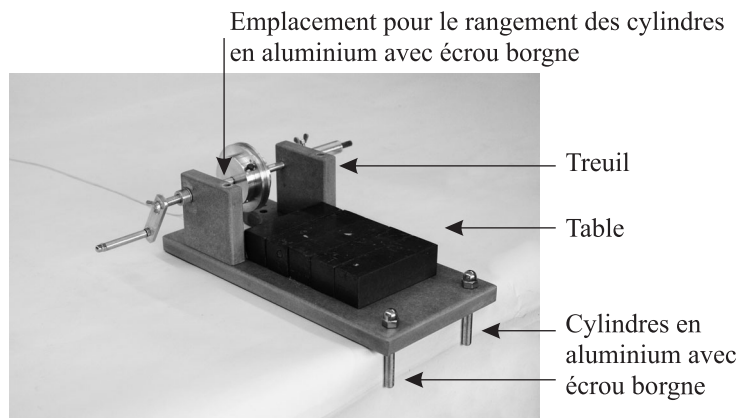
La tension T dans le fil est donc inférieure au poids G du corps tracteur ($T < G$).

Si le chariot de masse m_2 est à l'arrêt, la tension T dans le fil est égale au poids G du corps (il n'y a pas d'accélération).

5. Manipulations

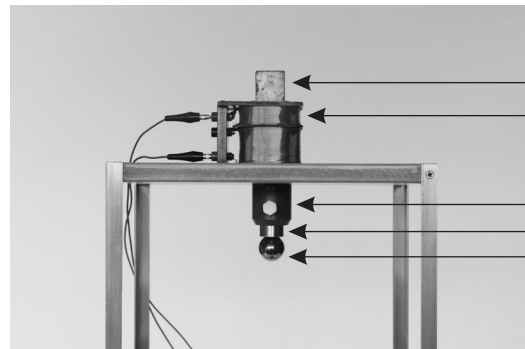
5.1. Chute d'une bille dans un repère en MRU

1. Enfoncer dans les deux trous prévus dans la planchette supportant le treuil, du côté opposé à ce dernier, les deux cylindres en aluminium avec écrou borgne. (Pour le rangement, ceux-ci sont placés dans la partie supérieure du treuil.)



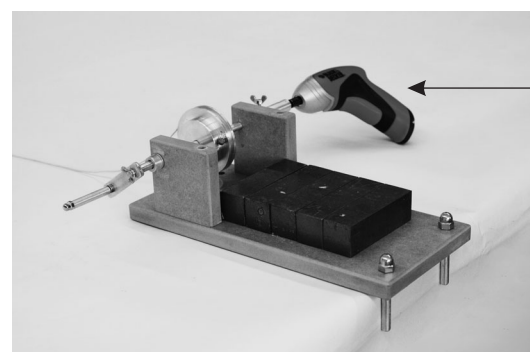
2. Placer le treuil à l'extrémité d'une table ayant une longueur minimale de 1,5 m en veillant à ce que les cylindres en aluminium soient placés contre le bord vertical de la table (voir photo ci-avant). Pour faciliter le rangement, les tiges sont glissées dans le support.
3. Déposer sur la planchette supportant le treuil, du côté des cylindres en aluminium, quelques objets lourds afin de l'immobiliser.
4. Modifier éventuellement le système d'entraînement de l'axe du treuil comme expliqué précédemment.
5. Placer le chariot sur la table, en face du treuil, à environ 1,5 m de ce dernier. Prendre la ficelle ayant une boucle et un morceau de plomb à ses extrémités. Accrocher la boucle de la ficelle au chariot et l'autre extrémité de la ficelle à une des poulies du treuil, en passant la ficelle dans la rainure prévue à cet effet (le morceau de plomb doit être hors de la gorge de la poulie).

6. Placer la bobine avec son noyau sur la partie supérieure du chariot de manière telle que le noyau soit placé verticalement, au-dessus du cylindre en acier (voir photo ci-contre). Une découpe asymétrique est prévue pour certains types de bobine.



7. Ajuster, à l'aide de la vis de réglage, la position du cylindre en acier afin qu'il soit en contact avec le noyau de la bobine.
8. Connecter la bobine au générateur de tensions continues (environ 10 V) avec le câble de raccordement bananes / bananes. Prévoir éventuellement un interrupteur. Placer la bille sous le cylindre en acier et régler la tension aux bornes du générateur pour que la bille soit maintenue en place par le champ magnétique.
9. Couper l'alimentation électrique de la bobine et observer l'endroit où tombe la bille.
10. Récupérer la bille après avoir enlevé puis replacé le tube en aluminium placé sur la partie inférieure du chariot. Rebrancher l'alimentation de la bobine et positionner de nouveau la bille sous le cylindre en acier.

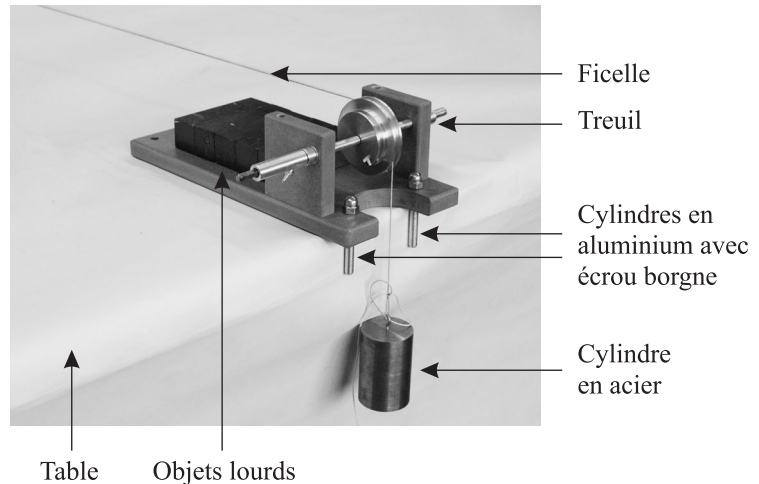
11. Tendre la ficelle reliant le chariot au treuil. Mettre le chariot en mouvement, soit à l'aide de la manivelle, soit à l'aide d'un tournevis électrique (voir photo ci-contre). Lorsque le chariot se déplace en un mouvement rectiligne uniforme, couper l'alimentation électrique de la bobine et observer l'endroit où la bille tombe.



12. Refaire la manipulation en fixant l'extrémité de la ficelle sur l'autre poulie ou en modifiant autrement la vitesse à laquelle se déplace le chariot.

5.2. Chute d'une bille dans un repère en MRA

1. Enfoncer dans les deux trous prévus dans la planchette supportant le treuil, du même côté que ce dernier, les deux cylindres en aluminium avec écrou borgne.
2. Placer le treuil à l'extrémité d'une table ayant une longueur minimale de 1,5 m en veillant à ce que les cylindres en aluminium soient placés contre le bord vertical de la table (voir photo ci-contre).
3. Déposer sur la planchette supportant le treuil quelques objets lourds afin d'augmenter sa stabilité. Dévisser la manivelle (non utilisée). Placer le chariot sur la table, en face du treuil, à environ 1,5 m de ce dernier. Prendre la ficelle qui a uniquement une boucle. Placer cette dernière dans le crochet fixé sur le chariot et attacher le cylindre en acier pesant environ 10 N à l'autre extrémité de la ficelle.
4. Refaire les points 6 à 8 de la manipulation précédente (5.1.).
5. Immobiliser le chariot. Placer la ficelle dans la gorge de la plus grande poulie et laisser pendre le cylindre au bout de la table, le plus haut possible. Libérer le chariot.
6. Couper l'alimentation électrique de la bobine avant que le corps tracteur n'arrive au sol et observer l'endroit où tombe la bille. Éviter la chute du chariot et du treuil!



5.3. Force entraînant un chariot

1. Placer le treuil à l'extrémité d'une table ayant une longueur minimale de 1,5 m comme expliqué aux points 1 et 2 de la manipulation précédente (5.2.).
2. Déposer sur la planchette supportant le treuil quelques objets lourds afin d'augmenter sa stabilité. Dévisser la manivelle (non utilisée). Placer le chariot sur la table, en face du treuil, à environ 1,5 m de ce dernier. Accrocher le dynamomètre au crochet du chariot. Prendre la ficelle qui a uniquement une boucle. Placer cette dernière dans le crochet du dynamomètre et attacher le cylindre en acier pesant environ 10 N à l'autre extrémité de la ficelle.
3. Immobiliser le chariot. Placer la ficelle dans la gorge de la plus grande poulie et laisser pendre le cylindre au bout de la table, le plus haut possible. Observer et noter l'indication du dynamomètre. Libérer le chariot, observer et noter l'indication du dynamomètre pendant le mouvement. Si le déplacement du chariot est trop rapide, on peut y déposer sur la partie inférieure quelques objets dont la masse est de 2 ou 3 kg. Éviter la chute du chariot et du treuil!

5.4. Fil à plomb dans un repère en MRA

1. Refaire la manipulation 5.2. après avoir enlevé la bobine et avoir fixé, à l'aide de la vis Allen, le fil à plomb sous le cylindre en acier placé sous la partie supérieure du chariot. Libérer le chariot et observer la direction du fil à plomb.

- Placer le chariot, équipé du fil à plomb, sur un plan incliné (planche inclinée, banc incliné). Immobiliser le chariot et observer la direction du fil à plomb. Libérer le chariot et observer de nouveau la direction du fil à plomb.

5.5. Mouvement d'un bouchon en liège maintenu sous l'eau dans un repère en mouvement accéléré

- Enlever le tube en aluminium et son support fixés sur la partie inférieure du chariot (en tirant verticalement). Placer la cuve en verre sur le chariot et déposer, au milieu de la cuve, le corps cylindrique en laiton auquel est attaché un bouchon en liège.
- Verser de l'eau dans la cuve de manière telle que le bouchon soit complètement immergé.
- Mettre le chariot en mouvement et observer le mouvement du bouchon (démarrage et arrêt).

6. Exploitation

Que peut-on déduire de ces expériences?

7. Exemples de résultats

Attention: l'observateur est en dehors du repère!

7.1. Chute d'une bille dans un repère en MRU

Lorsque le chariot est au repos (par rapport à la table), la bille tombe dans le tube en aluminium prévu à cet effet. Il en est de même lorsque le chariot est animé d'un mouvement rectiligne uniforme, quelle que soit sa vitesse.

7.2. Chute d'une bille dans un repère en MRA

Si le mouvement du chariot est accéléré, la bille tombe derrière le tube en aluminium, si le mouvement est décéléré, la bille tombe devant le tube. Le point de chute est différent de celui observé lorsque le chariot est au repos ou en mouvement rectiligne uniforme.

7.3. Force entraînant un chariot

Dans l'expérience réalisée, $m_1 = (1,096 \pm 0,001)$ kg et $m_2 = (3,634 \pm 0,010)$ kg.

La force \vec{T} entraînant le chariot est à peu près constante pendant toute la durée du mouvement. Cette force, mesurée avec le dynamomètre, vaut environ 9 N.

Pendant le mouvement, on constate bien que $T < G$.

Lorsque le chariot est immobile $T \approx G \approx 11$ N.

Si on mesure l'accélération a du chariot à l'aide d'un détecteur à ultrasons, on obtient $(1,52 \pm 0,01)$ m/s².

En appliquant les expressions (2) et (1), on déduit:

$$F_f = (1,096 \pm 0,001) \times 9,81 - (4,730 \pm 0,011) \times (1,52 \pm 0,01) = (3,56 \pm 0,07) \text{ N}$$

$$T = (3,634 \pm 0,010) \times (1,52 \pm 0,01) + (3,56 \pm 0,07) = (9,08 \pm 0,12) \text{ N}$$

En tenant compte des incertitudes des mesures, les résultats sont compatibles.

7.4. Fil à plomb dans un repère en MRA

Sur un plan incliné, lorsque le chariot est à l'arrêt, le fil à plomb indique la verticale du lieu.

Lorsque le fil à plomb est fixé sous le cylindre en acier, si le chariot est accéléré, le fil à plomb se déplace, par rapport au repère qu'est le chariot, dans le sens opposé de l'accélération puis, se met à osciller.

Si le chariot est en mouvement accéléré sur le plan incliné, le fil à plomb a tendance à se déplacer dans le sens opposé de l'accélération; la direction indiquée par le fil à plomb, un instant après le départ, est à peu près perpendiculaire au plan incliné.

7.5. Mouvement d'un bouchon en liège maintenu sous l'eau dans un repère en mouvement accéléré

Lorsqu'on observe le bouchon maintenu immergé dans l'eau d'une cuve placée sur un chariot, si celui-ci est accéléré, le bouchon se déplace dans le sens du déplacement du chariot. On peut expliquer facilement ce phénomène à partir de la loi d'inertie. Au démarrage du chariot, l'eau a tendance à rester sur place et pousse le bouchon, qui est moins dense que l'eau, dans le sens du déplacement.

Si le chariot est décéléré, le bouchon se déplace dans le sens opposé du mouvement. En effet, l'eau a tendance à continuer son mouvement à vitesse constante et se déplace dans le sens du mouvement. Le bouchon se déplace donc dans le sens opposé.