

Étude du frottement entre solides

Objectifs de cette séance de travaux pratiques :

- Mesurer les coefficients de frottement statique et dynamique entre différentes surfaces solides.
- Étudier quelques conséquences de la présence d'un frottement solide.

Matériel :

- Plans inclinables.
- Mobles parallélépipédiques. Masses marquées.
- Moteur. Ressorts. Poulie et fil.
- Capteurs de position et de forces. Logiciels DataStudio et Latis-Pro.

I Mesure de coefficients de frottement.

On dispose d'une boîte et de blocs parallélépipédiques pouvant glisser sur une « piste » (planche) inclinable. Il est possible d'ajouter des masses dans la boîte pour faire varier son poids.

1. Coefficient statique.

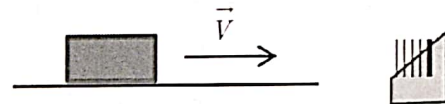
La boîte étant posée sur la piste horizontale, faire augmenter progressivement l'inclinaison jusqu'à l'amorce du glissement. En déduire la valeur du coefficient de frottement statique.

Recommencer plusieurs fois la mesure avec et sans ajout de masse dans la boîte. Commenter les résultats.

Changer le matériau constituant la piste. Mesurer les coefficients de frottement dans chaque cas possible.

2. Coefficient dynamique.

Positionner la piste à l'horizontale (ou utiliser la table comme piste). Placer le capteur de position à ultra-sons dans l'axe de la piste. Relié à l'ordinateur, il va permettre d'étudier la position du mobile au cours du temps. Orienter son haut-parleur vers le mobile.



Connecter le capteur à son interface. Une fenêtre nommée PasPortal s'ouvre. Sélectionner « Démarrer DataStudio ». Le logiciel s'ouvre alors. Si ce n'est pas le cas, démarrer directement DataStudio par son icône de raccourci sur le bureau et choisir sur l'écran d'accueil « Créer une expérience ».

Les mesures commencent par appui sur le bouton « Démarrer » et se terminent par appui sur le même bouton devenu « Arrêt ».

Chaque prise de mesure s'appelle dans DataStudio un « essai ». Il est possible d'effacer un ou plusieurs « essais » par le menu « Expérience » ---> Supprimer ou dans le panneau « Résumé » par utilisation de la touche « Suppr » du clavier.

Le choix de la fréquence d'échantillonnage se fait dans le menu « Configurer » (zone « Fréquence de lecture »).

Lancer le mobile vers le capteur pour faire une acquisition de sa position au cours du temps (Démarrer l'acquisition avant de lancer le mobile).

Une fois un enregistrement correct obtenu, on peut en déduire le coefficient de frottement en modélisant la partie du mouvement où le mobile est abandonné par un mouvement uniformément accéléré :

Sélectionner la partie utile de l'enregistrement $x(t)$ (Icône « Zoom sélectif ») et choisir sous l'icône « Régression » l'option « Régression quadratique ».

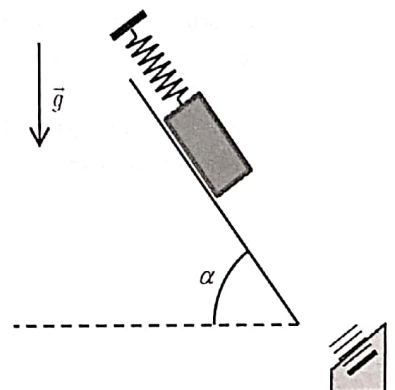
Déduire des coefficients du modèle quadratique le coefficient de frottement dynamique.

Si on a le temps, refaire des mesures en changeant le matériau de la piste.

II Oscillateur harmonique avec frottement solide.

On place un parallélépipède sur un plan très incliné (α voisin de 75°). Il est retenu par un ressort. Ses oscillations vont être suivies par le capteur de position à ultra-sons (bien orienter son haut-parleur).

Enregistrer le mouvement que le mobile effectue lorsqu'on l'abandonne après l'avoir attiré vers le bas. (Le capteur doit être à au moins 15 cm du mobile. Si la courbe n'est pas très propre lorsque le mobile est proche du capteur, placer ce dernier plus loin).



Essayer d'avoir un mouvement avec au moins 4 oscillations complètes tout en évitant que le ressort se raccourcisse trop et devienne détendu.

Commenter la courbe obtenue.

Repérer les positions de vitesse nulle (maxima locaux, minima locaux, position finale). Tracer la courbe représentant $(-1)^n (x_{\text{vitesse nulle}} - x_0)$ en fonction du numéro n du point et vérifier l'alignement pour un bon choix de x_0 . En déduire la valeur du coefficient de frottement dynamique (et un encadrement du statique).

III Ficelle et poulie

Deux capteurs de force (C_1 et C_2) sont fixés sur un support. Un fil, fixé à ces deux capteurs passe autour d'une poulie. L'axe de la poulie est fixé sur le même support. En montant plus ou moins le point de fixation A, on peut tendre plus ou moins les fils. Une manivelle (M) permet de faire tourner la poulie (ou du moins d'exercer un moment Γ par rapport à l'axe de la poulie).

Positionner les capteurs pour que les deux brins du fil soient verticaux.

Une fois les capteurs reliés à leur interface, le logiciel DataStudio permet d'étudier les tensions T_1 et T_2 des deux fils.

Démarrer l'acquisition.

Il faut régler le zéro des capteurs : le fil n'étant pas tendu, appuyer sur le bouton de réinitialisation de chacun des capteurs.

Tendre ensuite les fils (position de A) pour que les tensions soient de l'ordre de 10 N.

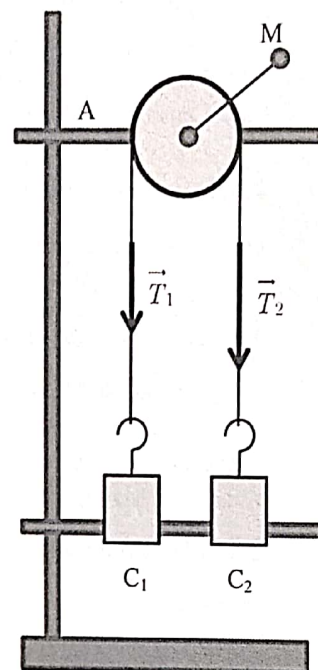
Si on tente (modérément) de tourner la manivelle, la poulie ne tourne pas. Observer l'évolution de T_1 et T_2 . Augmenter le moment Γ progressivement jusqu'à la limite de glissement de la poulie.

On montre qu'à la limite du glissement $\frac{T_2}{T_1} = \exp(\pm f_0 \theta)$ où θ est l'angle associé

au contact entre poulie et fil (ici $\theta = \pi$). Essayer d'obtenir le plus précisément possible la limite de glissement (dans un sens et dans l'autre). En déduire la valeur de f_0 .

On exerce maintenant un moment assez important pour faire tourner régulièrement la poulie. Effectuer l'enregistrement des deux forces. Faire varier au cours de l'enregistrement le sens de rotation (et aussi éventuellement la vitesse).

Le traitement des données peut être fait par le logiciel DataStudio (voir annexe 3) ou bien par un autre logiciel (par exemple LatisPro) après exportation (voir annexe 5).



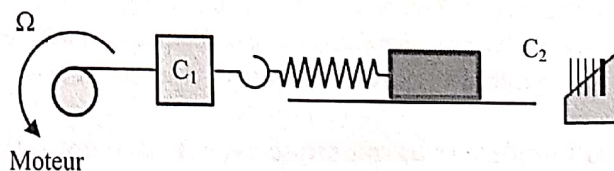
IV Phénomène de collé-glissé (stick-slip pour les anglophones).

1. Principe.

Un mobile posé sur un plan horizontal est tiré par l'intermédiaire d'un ressort (ou d'un fil élastique). L'extrémité du ressort est entraînée à vitesse constante par un fil enroulé sur l'axe d'un moteur. Un capteur de force C_1 intercalé entre le fil et le ressort mesure la tension du ressort. Par ailleurs, un capteur de position C_2 permet d'étudier la position du mobile.

2. Expérience.

Un seul exemplaire de l'expérience est monté (sur le bureau). Avant tout enregistrement, régler le zéro du capteur en appuyant sur le bouton alors que le ressort est détendu. Lancer l'enregistrement (logiciel DataStudio) puis le moteur. Sauvegarder l'enregistrement et aller l'exploiter quantitativement sur un autre ordinateur pour laisser le poste disponible.



Annexe 1 : Barre d'outils de DataStudio



Zoom sélectif

Ajustement d'une
courbe sur un modèle

Annexe 2 : Résultats théoriques pour l'oscillateur à frottement solide

À chaque demi-oscillation, l'élongation $|x_{\text{vitesse nulle}} - x_0|$ diminue de $\frac{2fmg \cos \alpha}{k}$.

L'arrêt est définitif si $|x_{\text{vitesse nulle}} - x_0| < \frac{f_0 mg \cos \alpha}{k}$

Annexe 3 : Utilisation de DataStudio pour calculer à partir des données acquises

Pour calculer le coefficient de frottement de la partie III (ficelle et poulie)

À partir du rapport des deux forces de tension, on utilise le fait que $\frac{T_2}{T_1} = \exp(\pm f\theta)$ donc :

$$\text{pour } \theta = \pi, f = \left| \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) \right|$$

Cliquer sur le bouton « Calculer »

Dans la fenêtre « Calculatrice » :

Cliquer sur « Nouveau »

Dans la zone « Définition » écrire $f = \text{abs}(\ln(y/x)/\pi)$

Pour définir la variable x : Dans la zone « Variables » : cliquer sur la flèche, valider « Valeur mesurée », choisir la variable associée à la première force

Pour définir la variable y : Dans la zone « Variables » : cliquer sur la flèche, valider « Valeur mesurée », choisir la variable associée à la seconde force.

Cliquer sur le bouton « Accepter »

Pour afficher la courbe calculée

Dans la fenêtre « Données », prendre avec la souris la variable calculée (f1) et venir la déposer dans le bas de la fenêtre graphique.

Remarques

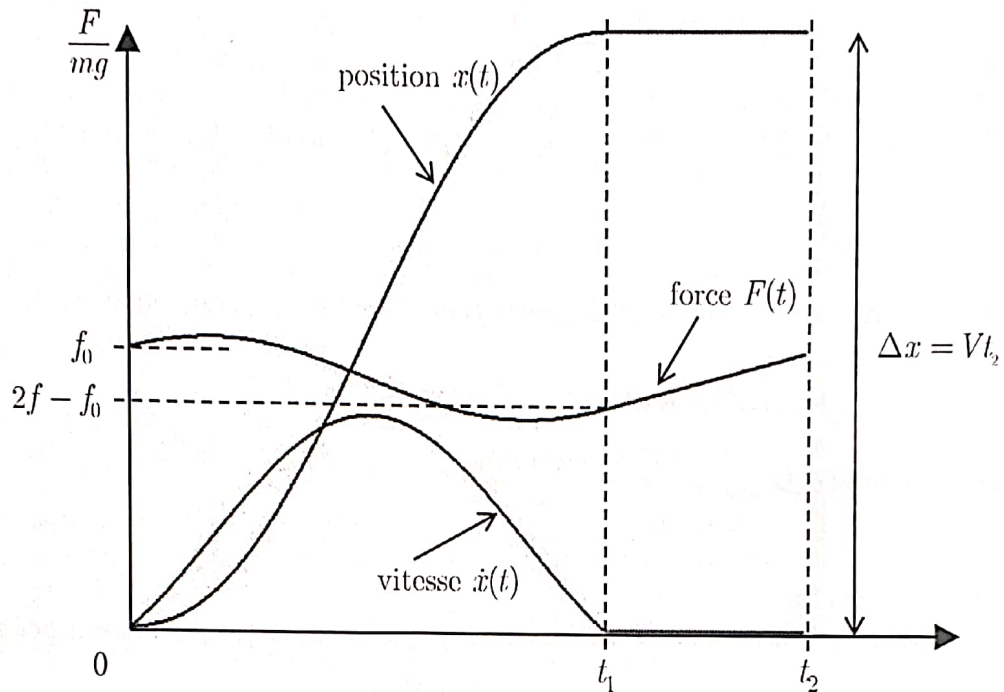
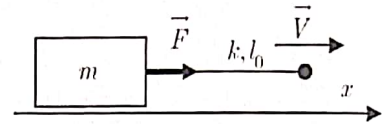
Dans la fenêtre graphique, en passant le curseur de la souris sur un axe ou sur ses labels, le curseur se transforme en main ou en ressort. Il est alors possible de changer l'échelle sur l'axe (translation ou affinité).

Les courbes peuvent être imprimées.

Annexe 4 : Résultats théoriques pour l'expérience « collé-glissé »

On pose $k = m\omega_0^2$ et $X = \frac{g(f_0 - f)}{\omega_0 V}$

Les courbes théoriques sur un épisode « glissé-collé » sont ci-dessous :



Pour $t \in]0, t_1[$: glissement. Pour $t \in [t_1, t_2]$: non glissement

$$\omega_0 t_1 = \pi + 2 \arctan \frac{1}{X}$$

$$\omega_0 (t_2 - t_1) = 2X$$

$$\omega_0 t_2 = \pi + 2 \arctan \frac{1}{X} + 2X$$

L'amplitude des oscillations de $\frac{F}{mg}$ est $(f_0 - f) \sqrt{1 + \frac{1}{X^2}}$. La valeur moyenne est f .