

## I. Étude statique

### 1 - Matériel

Vous disposez, en plus des outils de mesure usuel, d'une plaque rigide et d'une masse marquée en acier.

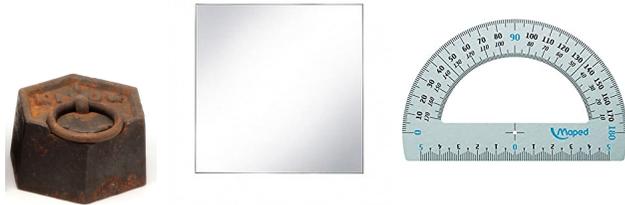


FIGURE 1 – Matériel disponible

### 2 - Mesure de $f_s$

#### 🔍 Appel Professeur, à l'oral

Proposer un protocole pour estimer rapidement le coefficient de frottement statique entre la masse test et le support.

#### 🍃 À rédiger

- Q 1 - Représenter un schéma de l'expérience proposée
- Q 2 - À partir des valeurs mesurées donner une valeur du coefficient de frottement statique accompagnée de son incertitude.

## II. Étude dynamique

### 1 - Matériel

On considère le dispositif ci-contre composé de deux masses  $m_1 = 1,0 \text{ kg}$  et  $m_2 = 500 \text{ g}$  reliée par un fil inextensible. On supposera qu'il n'y a pas de pertes par frottement dues à la poulie. Lorsque le fil est tendu, la masse  $m_2$  est à une hauteur  $h = 28 \text{ cm}$  du sol.

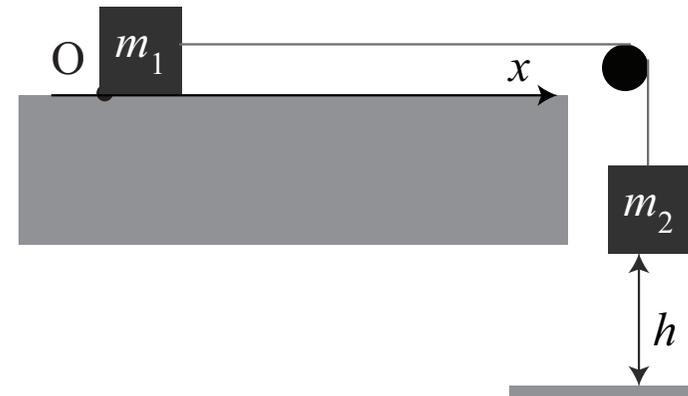


FIGURE 2 – Notations

À  $t = 0$ , le fil entre les deux masses est tendu. On lâche la masse  $m_2$  d'une hauteur  $h$ . La masse  $m_1$  s'arrête après avoir parcouru une distance  $h + d$  sur le plan horizontal.

#### 🔧 Expérience 1

- ✓ À partir du fichier vidéo fourni, identifier la masse  $m_1$  et la masse  $m_2$ .
- ✓ À l'aide de la fiche fournie, effectuer un pointage (automatisé) de la position de la masse  $m_1$ .
- ✓ Exporter les données de la position sous format `.csv`



FIGURE 3 – Film effectué en caméra rapide, 500 i/s

## 2 - Exploitation du mouvement

On rappelle qu'une dérivée numérique peut s'effectuer avec l'approximation suivante :

$$v(t_n) \approx \frac{x(t_{n+1}) - x(t_{n-1}))}{t_{n+1} - t_{n-1}}$$

Cette méthode dite de *dérivée centrée* ne permet pas de calculer la vitesse à chaque instant. La première valeur et la dernière ne peuvent être évaluées par cette méthode. La figure attendue est la suivante.

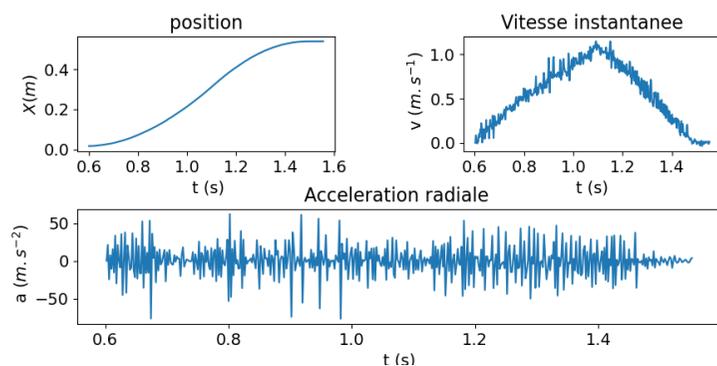


FIGURE 4 – Position, vitesse et accélération du mouvement.

### 🔍 Appel Professeur, à l'oral

- | Identifier les deux phases du mouvement sur la courbe  $v = f(t)$ .
- | Justifier que l'accélération calculée numériquement n'est pas exploitable.

### 🔧 Expérience 2

- ✓ Évaluer les pentes de la vitesse notées  $a$  et  $a'$  dans chacune des phases du mouvement et estimer leur incertitude.

### 🍃 À rédiger

- Q 3 - À partir des valeurs de  $a$  et ou  $a'$ , évaluer la valeur du coefficient de frottement dynamique et son incertitude.
- Q 4 - Cette valeur est elle compatible avec celle obtenue en première partie.

## III. Étude énergétique

Une exploitation de l'expérience par une méthode énergétique permet d'améliorer considérablement les résultats.

### 🍃 À rédiger

- Q 5 - Définir l'énergie cinétique du système  $\{m_1 + m_2\}$ .
- Q 6 - À l'aide d'un théorème énergétique, exprimer la vitesse  $V_1$  de la masse (1) à la fin de la première phase du mouvement lorsque le fil reste tendu, en fonction de  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $g$  et  $f$ .
- Q 7 - Soit  $d$  la distance sur laquelle glisse la masse  $m_1$  une fois le fil détendu, exprimer  $d$  en fonction de  $V_1$ ,  $f$ , et  $g$

□ **Q 8** - En déduire que le coefficient de frottement dynamique  $f$  entre le verre et l'acier peut s'écrire sous la forme :

$$f = \frac{m_2 h}{d(m_1 + m_2) + h m_1}$$

### 🔧 Expérience 3

- ✓ Évaluer les distances  $h$  et  $d$  accompagnées de leurs incertitudes.
- ✓ En utilisant le script fourni, propager l'incertitude sur le coefficient de frottement. Indiquer dans votre compte rendu la valeur obtenue en faisant attention aux chiffres significatifs.
- ✓ Conclure sur les deux méthodes.

### 🔍 Appel Professeur, à l'oral

Justifier oralement que la prise en compte de l'incertitude sur les valeurs des masses n'est pas pertinente.

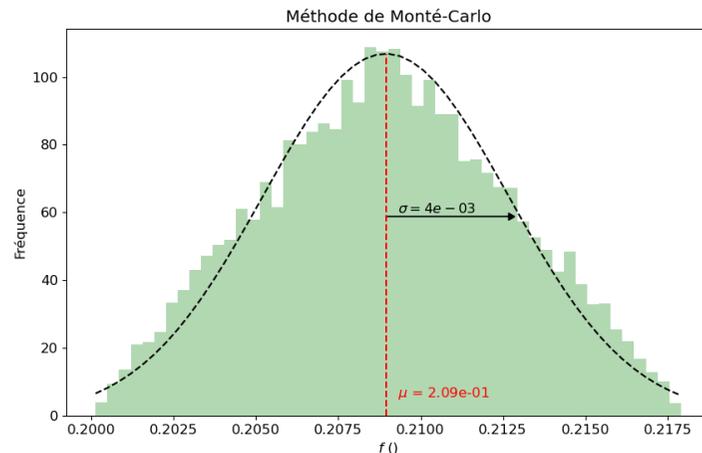


FIGURE 5 – Variabilité de la valeur du coefficient de frottement

### ☢ DéfiSUP ou 5/2

L'énergie cinétique de la poulie est donnée par  $\frac{1}{2}J\omega^2$ , montrer grâce à une estimation numérique que cette énergie cinétique est négligeable.

## IV. Force exponentielle...

### 1 - Modélisation

On considère un fil supposé inextensible, sans raideur et de masse négligeable. Il passe autour d'un cylindre fixe de rayon  $a$  sur un demi-tour (voir figure ci-dessous). On note  $f_s$  et  $f_d$  les coefficients de frottement de glissement respectivement statique et dynamique entre le fil et le cylindre (la poulie). On note  $\tau_1$  et  $\tau_2$  les tensions du fil de part et d'autre du cylindre en supposant que  $\tau_2 > \tau_1$  (les indices 1 et 2 sont arbitraires).

On considère une portion de fil de longueur  $2d\theta$  centré en  $\theta$ . On note  $dT(\theta)$  la composante tangentielle infinitésimale de l'action du cylindre sur la portion de fil et  $N(\theta)$  sa composante normale. On note  $\tau(\theta)$  l'action du fil situé à gauche de  $\theta$  sur la partie située à droite.

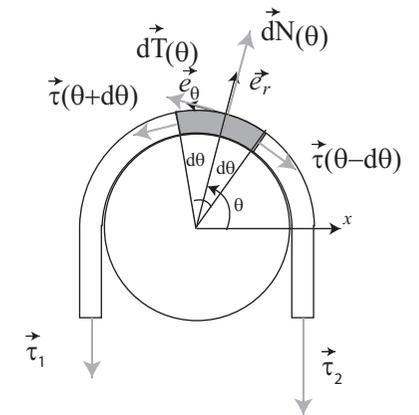


FIGURE 6 – Schéma

### 📄 À rédiger

- **Q 9** - Projeter sur la base locale les actions  $\vec{\tau}(\theta + d\theta)$  et  $\vec{\tau}(\theta - d\theta)$
- **Q 10** - En effectuant un bilan des forces sur une petite portion de fil  $2d\theta$ , montrer que, au premier ordre en  $d\theta$  :

$$\frac{dT}{d\theta} + 2\frac{d\tau}{d\theta} = 0 \quad \text{et} \quad \frac{dN}{d\theta} - 2\tau = 0$$

**Q 11** - En utilisant les lois de Coulomb, montrer que lorsque le fil glisse sur le cylindre (dans le sens de 1 vers 2), on a  $\tau_2 = \tau_1 \times \exp(\pi f_d)$  où  $f_d$  est le coefficient de frottement dynamique.

## 2 - Expérimentation

On considère l'équilibre d'un fil frottant sur un axe cylindrique horizontal. Ce fil est soumis à une traction différente sur chacun des brins grâce à une série de masses marquées s'accrochant aux extrémités. On note  $M$  la masse fixée sur le brin gauche et  $m$  la masse accrochée sur le brin droit.

Le fil se met à glisser lorsque le rapport des masses  $M/m$  atteint une valeur critique. Ce rapport est différent si le fil est simplement posé sur le cylindre (enroulement sur 1/2 tour) ou est enroulé (1 tour 1/2 ou plus).

Le fichier `frottement.py` permet d'effectuer une régression linéaire de données issues d'un fichier `frott.csv` utilisant ';' comme séparateur de données.

### **Expérience 4**

- ✓ Pour différents enroulements jusqu'à 4,5 tours, remplir un tableau de valeurs avec le nombre de tours, et les valeurs de  $M$  et  $m$  permettant le glissement.
- ✓ En utilisant le fichier `frottement.py`, représenter  $\ln(M/m)$  en fonction de l'angle de contact du fil avec la poulie. (1/2 tour =  $\pi$ ).
- ✓ Effectuer une régression linéaire et faire apparaître la valeur du coefficient de corrélation.
- ✓ Imprimer votre courbe.

## 3 - Exploitation

### **À rédiger**

- Q 12** - Justifier que la courbe obtenue est compatible avec une force de croissance exponentielle avec le nombre de tours.
- Q 13** - Dédurre de votre expérience le coefficient de frottement statique entre le fil et le cylindre en acier. Courbe attendue

### **Appel Professeur, à l'oral**

En voile, un tour mort est parfois effectué lors de l'amarrage pour limiter les efforts de la personne retenant le bateau. Justifier l'intérêt d'une telle manipulation pour une personne de masse  $m = 80$  kg face à un voilier de 6 t.



FIGURE 7 – Amarrage

**Exercice 1**

On considère le dispositif ci-contre composé de deux masses  $m_1 = 1,0\text{ kg}$  et  $m_2 = 500\text{ g}$  reliée par un fil inextensible. On supposera qu'il n'y a pas de pertes par frottement dues à la poulie. Lorsque le fil est tendu, la masse  $m_2$  est à une hauteur  $h = 28\text{ cm}$  du sol.

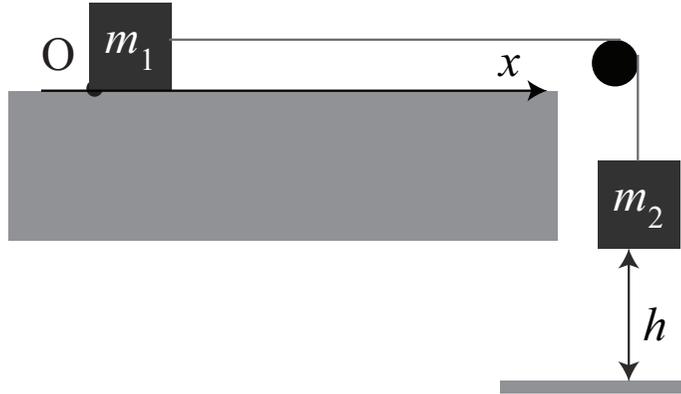


FIGURE 8 – Notations

À  $t = 0$ , le fil entre les deux masses est tendu. On lâche la masse  $m_2$  d'une hauteur  $h$ . La masse  $m_1$  s'arrête après avoir parcouru une distance  $h + d$  sur le plan horizontal.

- Q 1** - Déterminer une condition sur  $m_2$  et  $m_1$  et  $f$  pour qu'il y ait mouvement.
- Q 2** - Effectuer un schéma accompagné d'un bilan des forces dans chacune des phases du mouvement.
- Q 3** - Exprimer l'accélération de la masse  $m_1$  dans la première phase du mouvement en fonction de  $m_2$ ,  $m_1$ ,  $f$  et  $g$ .
- Q 4** - Dans la deuxième phase du mouvement, exprimer l'accélération de la masse  $m_1$  dans la deuxième phase du mouvement en fonction de  $f$  et  $g$ .

**Exercice 2**

On considère le dispositif ci-contre composé de deux masses  $m_1 = 1,0\text{ kg}$  et  $m_2 = 500\text{ g}$  reliée par un fil inextensible. On supposera qu'il n'y a pas de pertes par frottement dues à la poulie. Lorsque le fil est tendu, la masse  $m_2$  est à une hauteur  $h = 28\text{ cm}$  du sol.

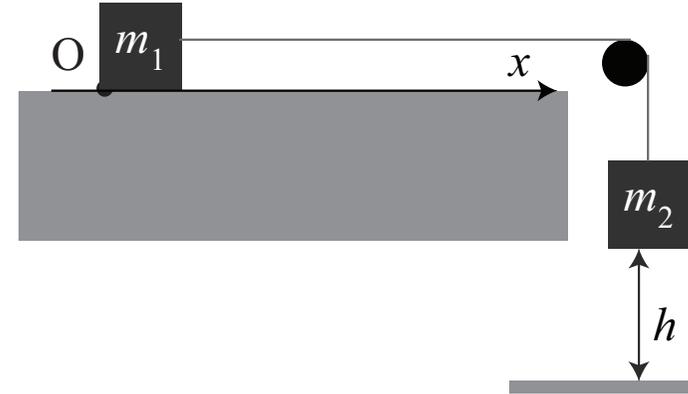


FIGURE 9 – Notations

À  $t = 0$ , le fil entre les deux masses est tendu. On lâche la masse  $m_2$  d'une hauteur  $h$ . La masse  $m_1$  s'arrête après avoir parcouru une distance  $h + d$  sur le plan horizontal.

- Q 1** - Déterminer une condition sur  $m_2$  et  $m_1$  et  $f$  pour qu'il y ait mouvement.
- Q 2** - Effectuer un schéma accompagné d'un bilan des forces dans chacune des phases du mouvement.
- Q 3** - Exprimer l'accélération de la masse  $m_1$  dans la première phase du mouvement en fonction de  $m_2$ ,  $m_1$ ,  $f$  et  $g$ .
- Q 4** - Dans la deuxième phase du mouvement, exprimer l'accélération de la masse  $m_1$  dans la deuxième phase du mouvement en fonction de  $m_1$ ,  $f$  et  $g$ .