

## TPDS 2 – Coefficient de frottement solide

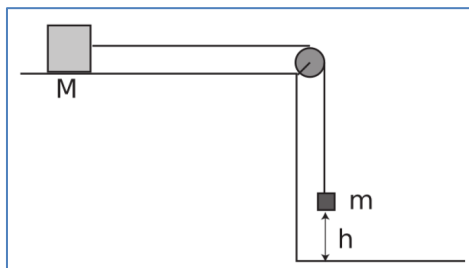
Au quotidien, la notion de frottement est une des plus fondamentales qui soit. Imaginez un monde sans frottement... Pour autant, les théories permettant de modéliser un frottement ne permettent pas d'obtenir des valeurs permettant de différencier le frottement sur de l'acier de celui sur du bois. Le recours à l'expérimentation est donc indispensable pour les déterminer. Nous allons nous intéresser ici à la mesure de différents coefficients de frottement statique et dynamique par différentes méthodes pour un contact bois/bois.

Matériel à disposition :

- 1 chronomètre
- 1 dispositif de mesure avec des masses en bois tarés.
- 1 régle (ou votre règle 😊)
- 1 sachet en plastique remplissable à l'aide d'une propipette.
- 2 masses de 1kg pour maintenir le support en bois lors de son élévation.
- 1 support boy pour permettre l'inclinaison du support en bois.
- 1 rapporteur, 1 inclinomètre ou 1 application inclinomètre à installer sur votre smartphone. (IOS : rapporteur d'inclinomètre , Android : Inclinomètre simple)

### I – Mesure du coefficient de frottement statique.

#### a) Expérience 1



Placer votre masse en bois n°1 (la plus légère des deux) à la place de M sur le support en bois, et à la place de m disposez le petit sachet en plastique

Q1) Proposer un protocole qui permette d'avoir accès au coefficient de frottement solide statique. On réalisera six fois le protocole afin de pouvoir effectuer une incertitude type A sur la moyenne obtenue.

- On observe pour quelle quantité d'eau la masse M se met en mouvement. On pèse l'ensemble (ficelle verticale 😊)+sac+eau) et on obtient 12,48g à la première mesure.
- L'équilibre statique appliqué à la masse M dans le référentiel terrestre supposé galiléen peut s'écrire :

$$\begin{cases} N = Mg \\ m'g = T \end{cases}$$

Or lors de la phase statique :  $T < f_s N$

$$\Rightarrow T < f_s Mg$$

À l'instant où la masse M se met en mouvement on peut écrire :

$$f_s = \frac{m'}{M} = \frac{12,8}{34,85} = 0,367$$

Coefficient de frottement statique						
Expérience 1		M(g) 34,85				
m' (g)	12,8	12,6	12,3	12,5	12,6	12,5
fs	0,3673	0,3615	0,3529	0,3587	0,3615	0,3587
Moyenne	0,3601	Incertitude		0,0033		

$$\Rightarrow f_s = 0,360 \pm 0,004$$

#### b) Expérience 2 (Haftreibung)

On va cette fois incliné le support en bois, et relever l'angle  $\alpha$  (angle d'inclinaison du support par rapport à l'horizontale) qui entraîne la mobilité de M.

Q2) Démontrer que le mobile  $M$  reste immobile tant que  $\tan \alpha < f_s$ .

Par projection sur l'axe de  $\vec{N}$  et  $\vec{T}$  on obtient :

$$N = Mg \cos \alpha \text{ et } T = Mg \sin \alpha$$

$$\text{Donc : } \frac{T}{N} = \tan \alpha$$

Le solide reste en équilibre tant que  $\tan \alpha < f_s$

Q3) Réaliser six fois le protocole afin de pouvoir effectuer une incertitude type A sur la moyenne obtenue. Comparer vos deux valeurs obtenues. Conclure.

Expérience 2		M(g)		34,85		
alpha	21,5	20	20,5	19,5	19	21
f <sub>s</sub>	0,3939	0,3640	0,3739	0,3541	0,3443	0,3839
Moyenne	0,3690		Incertitude	0,0149		

$$\Rightarrow f_s = 0,369 \pm 0,015$$

## II – Mesure du coefficient de frottement dynamique.

Cette fois  $m$  est la masse en bois n°2 (la plus lourde des deux). La masse  $m$  chute d'une hauteur  $h$  et entraîne avec elle la masse  $M$ . La masse  $M$  parcourt d'abord la distance  $h$  et met ensuite la distance  $d$  pour s'arrêter.

Q4) A partir de considérations énergétiques, démontrer que le coefficient de frottement dynamique  $f$  est relié aux distances  $d$  et  $h$  par la relation :

$$f = \frac{1}{\frac{M}{m} + \frac{d}{h} \left(1 + \frac{M}{m}\right)}$$

Phase 1 : Chute de la masse  $m$  sur une hauteur  $h$  :

On applique le TEC au système  $\{M+m\}$  :

$$\frac{1}{2}(M+m)v^2 - 0 = -fMgh + mgh \Rightarrow v^2 = \frac{2gh(m-fM)}{M+m}$$

Phase 2 : Déplacement de la masse  $M$  sur une distance  $d$  :

On applique le TEC au système  $\{M+m\}$  ou  $\{M\}$  vu que  $m$  est immobile :

$$0 - \frac{1}{2}Mv^2 = -fMgd \Rightarrow \frac{1}{2}M \frac{2gh(m-fM)}{M+m} = fMgd$$

$$\Rightarrow f(M+m)Mgd + fM^2gh = ghmM$$

$$\Rightarrow f((M+m)Md + M^2h) = hMm$$

$$\Rightarrow f = \frac{Mmh}{(M+m)Md + M^2h} = \frac{1}{\frac{d}{h} \left(1 + \frac{M}{m}\right) + \frac{M}{m}}$$

Q5) Réaliser six fois le protocole afin de pouvoir effectuer une incertitude type A sur la moyenne obtenue.

Coefficient de frottement statique						
Expérience 1		M(g)		34,85		m(g)
d (cm)	9,7	10	10,4	11	10,8	11,2
h(cm)	8,9000	9,1000	9,2000	9,0000	8,9000	8,8000
f	0,3759	0,3737	0,3661	0,3458	0,3476	0,3355
Moyenne	0,3574		Incertitude	0,0145		

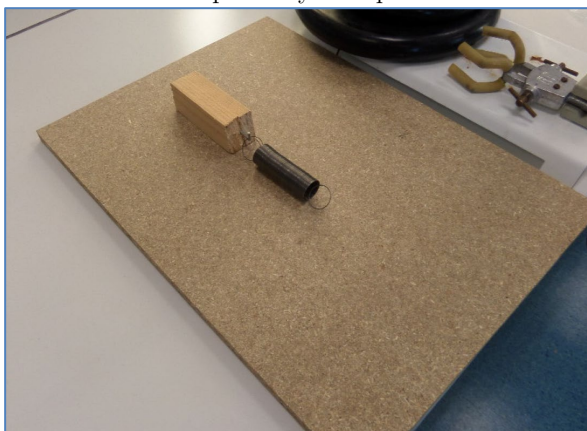
$$\Rightarrow f = 0,357 \pm 0,015$$



On remarque que  $f < f_s$  ce qui est logique vu le contact au niveau microscopique.

### III – Stick-slip

Le *stick-slip* (collé-glissé) est un phénomène non linéaire très courant. Il explique le crissement d'une craie sur un tableau, le son d'un archet sur une corde de violon, les à-coups d'un ruban de scotch que l'on déroule... Il est caractérisé par des phases de non glissement (*stick*) puis de glissement (*slip*). Pour étudier ce phénomène, on attache un ressort à un solide en bois que l'on tire progressivement sur une planche en bois. On observe que le solide se déplace par à-coups et nous allons en déduire les coefficients de frottement statique et dynamique bois sur bois.



Q6) Proposez et réalisez une expérience, permettant de déterminer expérimentalement la constante de raideur  $k$  du ressort. Exprimer la valeur de  $k$  avec son incertitude.

On laisse le pendule vertical oscillé et on note le nombre de périodes pendant une durée connue :

$$40 \text{ oscillations en } 23 \text{ s}$$

$$k = m\omega_0^2 = m \left( 2\pi \times \frac{40}{23} \right)^2 = 3,0 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

Ressort vertical						
Expérience 1		mbille (kg)		0,025		
N	40	40	40	40	40	40
Deltat(s)	23,0000	22,5000	24,0000	21,5000	24,5000	19,8000
k (N/m)	2,9821	3,1161	2,7388	3,4127	2,6281	4,0239
Moyenne	3,1503		Incertitude	0,3787		

On pouvait faire aussi une type B ici comme calcul avec :

$$\frac{u(k)}{k} = \sqrt{\left(\frac{u(m)}{m}\right)^2 + 4\left(\frac{u(f_0)}{f_0}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{u(m)}{m}\right)^2 + 4\left(\frac{u(N)}{N}\right)^2 + 4\left(\frac{u(\Delta t)}{\Delta t}\right)^2}$$

Cependant on peut négliger  $u(m)$  d'où  $u(k) = \frac{2,98}{\sqrt{3}} * \sqrt{4\left(\frac{2}{40}\right)^2 + 4\left(\frac{0,2}{23}\right)^2} = 0,178 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$   
 $\Rightarrow k = 3,2 \pm 0,4 \text{ ou } 3,0 \pm 0,2 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$

Q7) En allongeant progressivement le ressort, constatez que la masse « colle » au support jusqu'à un allongement critique  $l_1$  du ressort. Interprétez et en déduire une évaluation du coefficient de frottement. S'agit-il du coefficient statique ou dynamique ?

Cette phase correspond à la première manipulation faite telle que  $kl_1 = f_s Mg \Rightarrow f_s = \frac{kl_1}{Mg} = 3,2 \frac{0,016}{0,03485 \cdot 9,81} = 0,15$

Collé-Glissé 1						
Expérience 5		k (N/m)		3,1503		
l1	0,02	0,022	0,016	0,01	0,025	0,017
fs	0,1843	0,2027	0,1474	0,0921	0,2304	0,1566
Moyenne	0,1689		Incertitude	0,0369		

Ici la propagation des incertitudes, entache fortement la valeur obtenue. Il faut faire attention à la face du solide présentée.

$$f = 0,19 \pm 0,04$$

Q8) Une fois la phase de « collé » terminée, la masse glisse jusqu'à coller de nouveau. L'allongement diminue jusqu'à  $l_2$ . En appliquant un théorème énergétique lors de la phase de glissement, déterminer expérimentalement le coefficient de frottement. De quel type de coefficient de frottement s'agit-il ?

On applique le théorème de l'énergie mécanique au système {Masse + ressort} :

$$\frac{1}{2}kl_2^2 - \frac{1}{2}kl_1^2 = -fMg(l_1 - l_2)$$

D'où :

$$f = \frac{k(l_2^2 - l_1^2)}{2Mg(l_2 - l_1)} = \frac{k(l_2 + l_1)}{2Mg} = 3,2 \times \frac{0,01 + 0,016}{2 \times 0,03485 \times 9,81} = 0,12$$

$$f = 0,15 \pm 0,03$$

Collé-Glissé 1						
Expérience 5			k (N/m)	3,1503		
l1 (m)	0,02	0,022	0,016	0,02	0,025	0,017
l2 (m)	0,006	0,01	0,01	0,015	0,016	0,01
fs	0,1843	0,2027	0,1474	0,1843	0,2304	0,1566
f ou fd	0,1198	0,1474	0,1198	0,1613	0,1889	0,1244
Moyenne fs	0,1843		Incertitude	0,0215		
Moyenne f	0,1436		Incertitude	0,0223		

Les valeurs sont éloignées des premières expériences. Le ressort a-t-il été mal évalué.

Q9) Conclure sur l'ensemble des protocoles du TP.

- Dans l'ensemble des expériences on remarque que le frottement dynamique est inférieur au frottement statique, ce qui est le résultat attendu.
- Les résultats des expériences 1 et 2 sont proches des valeurs communément admises dans les tables.
- Par contre le collé-glissé en est assez éloigné. Le fait de rajouter un ressort augmente l'incertitude dans les mesures. Souvent on rajouter un tapis oscillant sous la masse afin de mettre en oscillation le système.