



### Objectifs de la séance :

Vous allez ici mesurer les coefficients de frottement statique et dynamique entre différents couples de surfaces. Les mesures seront exploitées par l'évaluation d'incertitudes de type A et B.

### 1 - Lois d'Amontons-Coulomb du frottement solide (rappels)

Lorsque deux solides sont en contact, ils subissent chacun de la part de l'autre une force de réaction comportant deux composantes :

- **composante normale** à la surface de contact traduisant la **résistance à la déformation** par enfoncement.
- **composante tangentielle** à la surface de contact traduisant la **résistance au glissement** relatif des solides.

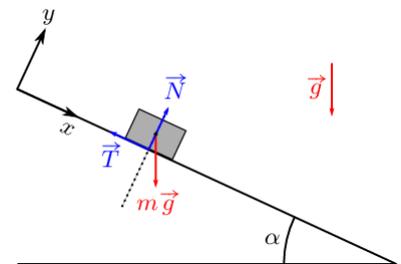
Considérons comme système une masse solide en contact avec un support-guide solide :

Lois d'Amontons-Coulomb :

En cas de non glissement (adhérence) :  $\|\vec{T}\| \leq f_s \|\vec{N}\|$

En cas de glissement :  $\|\vec{T}\| = f_d \|\vec{N}\|$

où  $f_s$  et  $f_d$  sont respectivement les coefficients de frottement statique et dynamique ( $f_s \gtrsim f_d$ )



### 2 – Mesure de coefficients de frottement statique

Vous disposez d'un système de deux planches articulées par des charnières ce qui permet de faire varier l'angle entre ces planches à l'aide d'un support élévateur (ou « boy »). Une équerre et un rapporteur vous permettront de mesurer l'angle entre ces planches.



On pose une masse sur le plan inclinable et on mesure l'angle critique  $\alpha_c$  entre les planches pour lequel la masse se met en mouvement.



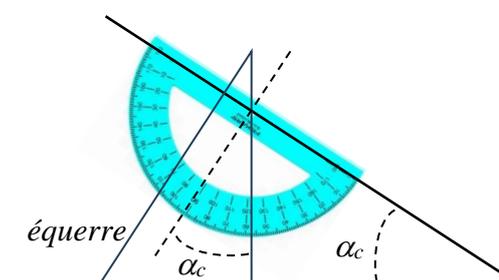
Montrer que  $f_s = \tan(\alpha_c)$

Projection du TCI appliqué au centre d'inertie de la masse dans le référentiel galiléen du plan incliné :

$$\begin{cases} 0 = mg \sin \alpha_c - T \\ 0 = -mg \cos \alpha_c + N \end{cases} \Rightarrow \tan \alpha_c = \frac{T}{N} \quad \text{or à la limite du glissement } f_s = \frac{T}{N} \Rightarrow \boxed{f_s = \tan \alpha_c}$$



Décrire à l'aide d'un schéma une méthode de mesure de  $\alpha_c$  à l'aide du matériel disponible.



## 2.1 – Coefficient de frottement statique bois-bois – Incertitude de type A

La masse déposée sur la planche inclinable est un bloc de bois (portant une ficelle enroulée qui servira ultérieurement).



Effectuer 10 mesures de  $\alpha_c$ . Les reporter dans un tableau qui figurera dans le compte rendu ainsi que les 10 valeurs de  $f_s$  correspondantes.

Coefficient de frottement statique bois-bois											moyenne	ecart-type exp	incertitude
essai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
alpha (°)	30	26	25	24	25	24	23	24	25	24	25,00	1,94	0,61
$f_s = \tan(\alpha)$	0,577	0,488	0,466	0,445	0,466	0,445	0,424	0,445	0,466	0,445	<b>0,467</b>	0,043	0,013



Exploiter ces mesures afin de fournir une incertitude type de type A (statistique), puis écrire  $f_s$  muni de son incertitude type :  $f_s = 0,467 \pm 0,13$

## 2.2 – Coefficient de frottement statique caoutchouc bois– Incertitude de type B



Effectuer une unique mesure de  $\alpha_c$  et en déduire  $f_s$ .  $\alpha_c = 35^\circ \rightarrow f_s = 0,70$



Procéder à une simulation de Monte-Carlo afin d'obtenir l'incertitude type de type B (mesure unique), puis écrire  $f_s$  muni de son incertitude type :  $f_s = 0,700 \pm 0,015$ .

On estime la précision de mesure de  $\alpha_c$  à  $1^\circ$ .

Vous trouverez les fichiers Python et EXCEL prêts pour cette simulation dans le dossier

**DOCS PEDAGO > Doc-elevs > PC-PCstar > TP\_Physique > Coef\_frottement**



Comparer ces deux coefficients de frottement statique (bois-bois ; caoutchouc-bois). On pourra commenter la relation d'ordre en évoquant des applications de ces frottements solides.

Le coefficient de frottement statique bois-caoutchouc est supérieur à celui de bois-bois. On met à profit cette différence par exemple avec des cale-portes.

## 3 – Mesure de coefficient de frottement dynamique

Vous disposez d'une planche en bois munie d'une poulie équipée sur son axe d'un roulement à billes, d'une masse d'entraînement  $m = 1 \text{ kg}$ . La masse  $M$  et la masse  $m$  sont reliée par une ficelle via la poulie. La masse  $m$  tombe d'une hauteur  $h$  et entraîne la masse  $M$  (phase 1). Puis, la masse  $M$  ainsi entraînée est seule mouvement jusqu'à son arrêt (phase 2). Elle aura parcouru la distance totale  $d$  (phase1 + phase 2).

En considérant la ficelle idéale (sans masse, sans raideur, inextensible) et la poulie idéale (sans masse liaison pivot parfaite), on montre que le coefficient de frottement dynamique se déduit des grandeurs mesurables à l'aide de la relation :

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

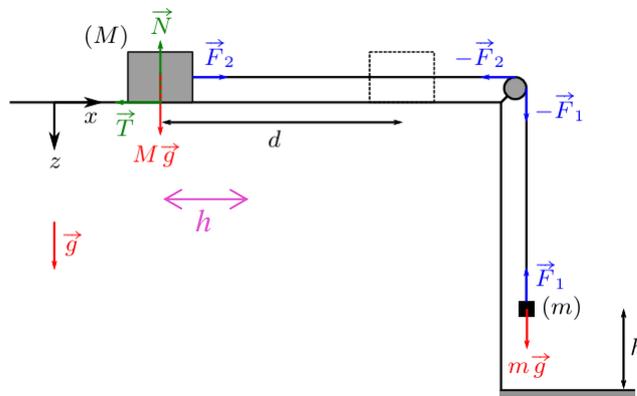


Montrer cette relation.

**1<sup>ère</sup> phase : chute de  $m$  entraînant  $M$ .**

Système : { $M$ , poulie, fil,  $m$ }

Notons  $v_0$  la vitesse acquise par  $M$  et  $m$  à l'issue de cette première phase.



Les forces de tension du fil inextensible et de masse négligeable par rapport à  $M+m$  se compensent deux à deux. L'énergie cinétique acquise par le fil est négligeable.

Théorème de l'énergie cinétique :  $\frac{1}{2}(M+m)v_0^2 = -f_d Mgh + mgh \rightarrow \frac{1}{2}v_0^2 = \frac{-f_d Mgh + mgh}{M+m}$  (a)

**2<sup>ème</sup> phase : Freinage et arrêt de M.**

Système : {M}

Théorème de l'énergie cinétique :  $-\frac{1}{2}Mv_0^2 = -f_d Mg(d-h) \rightarrow -\frac{1}{2}v_0^2 = \frac{-f_d Mg(d-h)}{M}$  (b)

(a) + (b) :  $0 = \frac{-f_d Mgh + mgh}{M+m} + \frac{-f_d Mg(d-h)}{M} \rightarrow f_d \left( \frac{M}{M+m} + \frac{d}{h} - 1 \right) = \frac{m}{M+m} \rightarrow f_d = \frac{1}{\frac{M}{m} + \left(\frac{d}{h} - 1\right) \left(1 + \frac{M}{m}\right)}$  😊

**3.1 – Coefficient de frottement dynamique bois-bois – Incertitude de type A**

La planche est munie d'une règle permettant de repérer les abscisses de départ et d'arrêt de la masse M.

**On ne tracera pas de trait sur la planche. On utilisera l'équerre.**



Peser  $M$  et  $m$

Effectuer 10 mesures de  $d$  et  $h$ . Les reporter dans un tableau ainsi que les 10 valeurs de  $f_d$  correspondantes. On précisera dans son compte rendu comment on a procédé pour mesurer  $h$  précisément.

Coefficient de frottement dynamique bois-bois											x0= 25 cm		m= 1,002 kg	
essai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	M=	0,19 kg		
h (cm)	5,45	5,45	5,45	5,45	5,45	5,45	5,45	5,45	5,45	5,45	5,45	0,00	0,00	
d (cm)	16,2	14,7	16,6	14,1	17,0	13,9	16,5	13,4	13,6	14,9	15,1	1,37	0,43	
fd	0,3943	0,455	0,3812	0,4813	0,3689	0,4916	0,3844	0,5195	0,508	0,444	<b>0,443</b>	0,057	0,018	
											moyenne	ecart-type exp	incertitude	



Exploiter ces mesures afin de fournir une incertitude type de type A (statistique), puis écrire  $f_d$  muni de son incertitude type :  $f_s = 0,443 \pm 0,18$

On obtient bien un coefficient de frottement dynamique légèrement inférieur au coefficient statique.

**3.2 – Coefficient de frottement dynamique métal-bois – Incertitude de type B**

Au verso de la planche se trouve un revêtement métallique



Effectuer un unique essai et mesurer  $d$  et  $h$ . En déduire  $f_d$ .  $h = 5,0 \text{ cm}$  ;  $d = 11 \text{ cm} \rightarrow f_d = 0,62$

Procéder à une simulation de Monte-Carlo afin d'obtenir l'incertitude type de type B (mesure unique), puis écrire  $f_d$  muni de son incertitude type :  $f_d = 0,623 \pm 0,055$ . **Commenter**

On peut négliger les incertitudes sur la mesure des masses, la balance affichant une précision au dixième de gramme (donc  $< 0,01\%$  en valeur relative) devant les incertitudes de mesure de  $h$  et  $d$  (palet souvent incliné à l'arrivée).

On s'attend à trouver un coefficient de frottement métal-bois inférieur au coefficient bois-bois. On remarque cependant que la face bois en contreplaqué est très peu rugueux au touché.

***Avant de quitter votre poste de physique.***

	Eteignez l' <b>unité centrale</b> et l'écran de votre PC.
	Eteignez oscillo, GBF, alimentations...
	Débranchez les <b>transformateurs</b> (interface, laser...).
	<b>Rangez</b> (éléments d'optique sur râtelier, composants rassemblés...).
	Rangez le <b>classeur</b> de notices dans votre placard sous paillasse.
	Rangez votre <b>tabouret</b> sous la paillasse.

*MERCI*