

## TP MECA 1 : Mesure de coefficients de frottements solides

### Objectifs

- Mesurer les coefficients de frottements solides statique et dynamique.
- Vérifier que la masse du solide n'intervient pas
- Evaluer des incertitudes de type A

Le frottement se répartit sur toute la surface de contact entre la plaque plane du support et le rectangle plastifié sur lequel repose le solide étudié (un parallépipède chargé d'une masse variable).

Le solide est susceptible de se déplacer sur toute la surface plane servant de support ; ce support devra donc être uniforme et sans impuretés (absence de poussière, de liquide...) afin que la nature du contact ne change pas au cours du mouvement. Cette condition est impossible à réaliser rigoureusement ; il faudra donc s'attendre à des écarts de résultats expérimentaux conséquents. Les mesures expérimentales devront être répétées afin d'en faire une étude statistique permettant la modélisation d'un comportement « moyen » de l'interaction de contact.

Par ailleurs, les lois de Coulomb prévoient que le coefficient de frottement statique  $f_s$ , pour maintenir le solide en équilibre sur le support, est différent du coefficient dynamique  $f_d$  caractérisant le glissement.

### 1) Coefficient de frottement statique $f_s$

#### ▪ Mesure du coefficient de frottement statique $f_s$

**Q1)** En s'appuyant sur les lois de Coulomb en statique, montrer que le solide reste théoriquement en équilibre sur un plan incliné tant que  $\tan\alpha < f_s$  ( $\alpha$  : angle d'inclinaison du support par rapport à l'horizontale). Cette propriété dépend-elle a priori de la masse du solide ?

On utilise cette propriété pour tenter de mesurer  $f_s$ . L'angle d'inclinaison  $\alpha$  est réglable à l'aide d'un boy permettant de monter une extrémité du plan-support.

- 🔧 Charger le solide d'une masse  $M = 100$  g et déterminer la masse  $M_{tot}$  du solide à l'aide de la balance monoplateau.
- 🔧 Déposer le solide sur le plan incliné d'un angle  $\alpha < \alpha_{lim}$  assez faible pour qu'il reste en équilibre. Augmenter peu à peu l'angle d'inclinaison, jusqu'à ce que le solide se mette en mouvement.

**ATTENTION !** L'équilibre du solide juste avant le glissement est instable ( $f_s > f_d$ ). Il faut donc éviter toute vibration du support qui risquerait de provoquer un ébranlement du solide et par conséquent un brusque passage de  $f_s$  à  $f_d$  entraînant la mise en mouvement du solide avant que  $\alpha$  n'atteigne la valeur limite  $\alpha_{lim}$ . Il faut donc monter le boy lentement, sans à-coup et en évitant les vibrations de la paillasse.

- 🔧 Relever soigneusement, à l'aide d'un rapporteur (ou d'un inclinomètre si vous en possédez un), l'angle  $\alpha_{lim}$  que fait le plan incliné par rapport à l'horizontale lorsque le solide se met à glisser.
- 🔧 Répéter l'opération une dizaine de fois (abaisser  $\alpha$  d'une dizaine de degrés ; poser le solide ; augmenter  $\alpha$  avec précautions jusqu'à la mise en mouvement du solide ; relever  $\alpha_{lim}$ ).
- 🔪 Déterminer la valeur moyenne valeur  $f_s = \tan \alpha_{lim}$  et évaluer l'incertitude associée (de type A ou simulation de Monte-Carlo).

#### ▪ Influence de la masse du solide

Bien qu'au cours du calcul, la masse  $M_{tot}$  du solide n'intervienne pas, il n'est pas exclu que le coefficient de frottement  $f_s$  puisse dépendre de  $M_{tot}$ . En effet, la pression exercée par le solide sur le support variant avec  $M_{tot}$ , on peut envisager des interactions microscopiques différentes et donc une valeur différente de  $f_s$ .

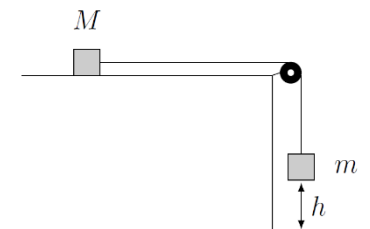
- 🔧 Refaire une série de mesures en chargeant le solide par une autre masse (50 g).
- 🔪 Déterminer la nouvelle valeur expérimentale de  $f_s$  dans ces conditions.
- 🔪 Evaluer l'écart relatif entre les deux résultats obtenus et commenter

### 2) Coefficient de frottement dynamique $f_d$

#### ▪ Mesure du coefficient de frottement dynamique $f_d$

On garde le solide précédent (chargé de sa masse de 50 g) de masse totale notée ici  $M$ . Il va cette fois glisser sur le support horizontal.

Lors d'une première phase, le solide est accéléré en étant tiré par l'intermédiaire d'une ficelle inélastique et de masse négligeable accrochée à la masse déposée dans le solide



d'un côté et une autre masse  $m$  de l'autre côté (voir schéma). Une poulie de masse négligeable permet la traction du solide par la chute de  $m$ . Cette phase se termine lorsque la masse  $m$  arrive au sol : elle est alors descendue de  $h$ , qui représente aussi la distance parcourue par le solide lors de cette première phase.

Dans la seconde phase, la ficelle est détendue : le solide est ralenti par les frottements ; il parcourt encore la distance  $D$  en glissant avant de s'immobiliser.

**Q2)** A l'aide d'un calcul énergétique utilisant les lois de Coulomb en dynamique appliquée sur le système composé des solides  $m$  et  $M$ , montrer que :

$$f_d = \frac{h \cdot m}{(m + M) \cdot D + M \cdot h}$$

**Q3)** Montrer que tant que  $m < m_{lim} = f_s \cdot M$ , le solide ne bouge pas.

- ✂ Vérifier expérimentalement ce résultat en utilisant la valeur de  $f_s$  mesurée précédemment.
- ✂ Régler la hauteur de la poulie pour que la ficelle soit horizontale lors de la première phase (il faut poser la plaque sur un tabouret). Régler la longueur de la ficelle pour que la solide reste sur le support pendant tout le mouvement ( $h$  compris entre 15 et 30 cm).
- ✂ Repérer soigneusement la position de départ du solide (à l'aide d'un trait au crayon sur le support) ainsi que la position où se termine la première phase ( $m$  arrive au sol ; la ficelle se détend) : on peut ainsi mesurer  $h$  (distance séparant ces deux positions).
- ✂ Lâcher sans vitesse initiale le solide de sa position de départ ; repérer par un petit trait sa position finale.
- ✂ Répéter l'opération une dizaine de fois : on pourra relever ainsi une dizaine de valeurs de  $D$ .

**Remarque :** Il sera nécessaire d'effacer les traces de crayon sur le support. Il faudra veiller à ce que ce nettoyage ne modifie pas l'état de surface du support (bien nettoyer la surface de toute trace de poussière de gomme et de liquide).

- ✂ Evaluer  $f_d$  ainsi que l'incertitude associée.
- ✂ Refaire une deuxième série de 10 mesures en changeant la valeur de  $h$  (il suffit de déplacer la position de départ).

✂ Les résultats obtenus sont-ils compatibles avec ceux de la première série ?

### ■ Influence de la masse

✂ Reprendre une série de mesures en chargeant le solide d'une masse de différente (mesurer la masse totale sur la balance) en gardant l'une des positions de départ des expériences précédentes.

✂ Déterminer la nouvelle valeur expérimentale de  $f_d$  dans ces condition.

✂ Evaluer l'écart relatif entre les deux résultats obtenus et commenter

## 3) Conclusions

Les lois de Coulomb prévoient que les coefficients de frottement ne dépendent ni de la charge du solide, ni de la surface de contact, mais uniquement de la nature de chacune des surfaces en contact. Elles prévoient de plus que  $f_s > f_d$ .

✂ Les résultats trouvés sont-ils en accord avec ces propriétés ?

En fait, ces coefficients peuvent dépendre faiblement de la pression exercée par le solide sur la surface... donc de la charge et de la surface de contact ! C'est particulièrement vrai pour le coefficient statique  $f_s$  où de faibles irrégularités de surface peuvent engendrer des micro-grippages.

Ce problème est très atténué pour le coefficient dynamique  $f_d$  où le solide adopte un comportement « moyen » au cours de son mouvement.

Dans tous les cas, une précision donnant un coefficient de frottement avec une précision supérieure à 10% serait illusoire !

Notons cependant l'importance de ces frottements solides : ce sont les seuls permettant d'immobiliser (pour  $f_s$ ) ou d'arrêter un solide en déplacement sur une surface (pour  $f_d$ ). Ainsi, la qualité du freinage d'un véhicule nécessite la recherche des matériaux offrant le plus fort coefficient de frottement, tout en ne risquant pas de prendre feu (ou de se dégrader) aux températures élevées.

Remarque : Le frottement est également essentiel pour assurer une puissance motrice... Essayez de démarrer sur glace avec des pneus lisses !