

# TP de FCE n°1

## Etude du frottement solide

- Objectifs de ce TP :

- Aborder la mesure d'un paramètre physique par différents dispositifs
- Différencier frottement statique et cinétique

- Compétences visées :

- Manipuler de manière précise
- Comparer des résultats issus de mesures

## 1 Contexte de l'expérience

**Frottement sec :** Lorsque deux corps sont en contact, il se produit toujours un frottement qui dépend de la nature et de l'état physique des surfaces. À l'échelle microscopique, ce frottement résulte des interactions électromagnétiques entre les atomes situés à proximité l'un de l'autre sur les deux surfaces en contact, il dépend donc de la rugosité de ces surfaces. Du point de vue macroscopique, le frottement se traduit par l'apparition d'une force qui agit toujours pour s'opposer au mouvement relatif des deux surfaces. Cette force, parallèle aux deux surfaces en contact, est la composante tangentielle de la réaction d'un corps sur l'autre.

**Coefficient de frottement :** Souvent symbolisée par la lettre grecque  $\mu$ , le coefficient de frottement est une valeur scalaire sans dimension qui décrit le rapport entre la force de friction et la force pressante (partie normale de la réaction). Le coefficient de frottement est une grandeur empirique : il doit être mesuré expérimentalement et ne peut pas être trouvé par un modèle.

Dans ce TP, nous abordons uniquement l'étude macroscopique des frottements secs (par opposition aux frottements visqueux) et nous nous limitons aux solides immobiles ou glissants sur d'autres solides.

## 1.1 Force de frottement statique

Considérons un corps solide posé sur une surface plane horizontale (Figure 1). Il est soumis, de la part du support, à une réaction dont la composante normale  $\vec{N}$  est opposée au poids  $\vec{P}$ . Si on exerce sur lui une force horizontale  $\vec{F}_a$  faible, le corps reste au repos. Cette force est donc compensée par une force qui lui est opposée : la **force de frottement statique**  $\vec{f}_s$  qui est la composante tangentielle de la réaction  $\vec{R} = \vec{N} + \vec{f}_s$ .

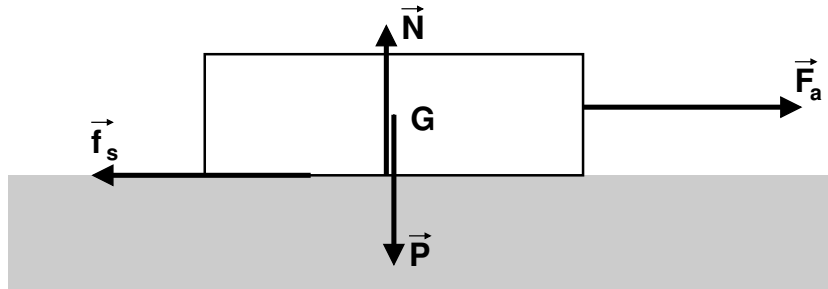


Figure n°1 : Force de frottement statique  $\vec{f}_s$  agissant sur un corps immobile sur lequel est appliquée une force  $\vec{F}_a$  ( $G$  est le centre de gravité du corps).

Augmentons progressivement  $\vec{F}_a$  : lorsque cette force atteint une valeur limite qui correspond à une force de frottement maximale  $\vec{f}_{s,max}$ , le corps se met à glisser. On observe expérimentalement que l'intensité de cette force  $\vec{f}_{s,max}$  est, avec une bonne approximation, proportionnelle à l'intensité de la force normale qui s'exerce entre les deux surfaces :

$$f_{s,max} = \mu_s \cdot N$$

où le coefficient  $\mu_s$  ainsi introduit est le **coefficient de frottement statique**.

Remarque : cette relation n'est pas vectorielle.

## 1.2 Force de frottement cinétique

La force de frottement exercée sur le solide en mouvement est appelée force de frottement cinétique  $\vec{f}_c$  et son intensité est donnée par :

$$f_c = \mu_c \cdot N$$

Le **coefficient de frottement cinétique** ou dynamique  $\mu_c$  est généralement inférieur ou égal à  $\mu_s$  car  $f_c \leq f_{s,max}$ .

L'évolution typique de la force de frottement sec en fonction de la force appliquée sur un solide est schématisée sur la Figure n°2. Notons que ces valeurs dépendent fortement de l'état des surfaces, en particulier de leur propreté et de leur rugosité.

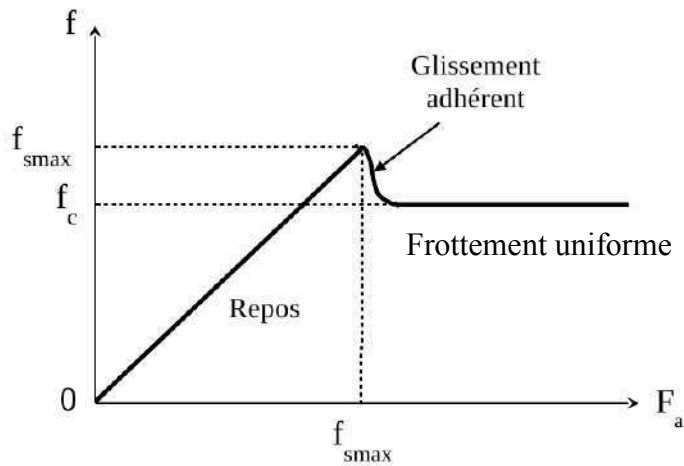


Figure n°2 : Représentation de la norme  $f$  de la force de frottement, en fonction de la norme  $F_a$  de la force extérieure appliquée à un corps initialement au repos sur un plan horizontal.

Le but de la séance de TP est de déterminer expérimentalement les coefficients de frottement statique et dynamique d'un mobile glissant sur une surface métallique. La surface du mobile en contact avec le support est interchangeable.

## 2 Préparation

### 2.1 Solide sur un plan incliné

Le mobile  $M$  est à l'arrêt (Figure n°3) sur un plan incliné d'un angle  $\theta$  par rapport à l'horizontale.

✎ Dessiner toutes les forces auxquelles il est soumis.

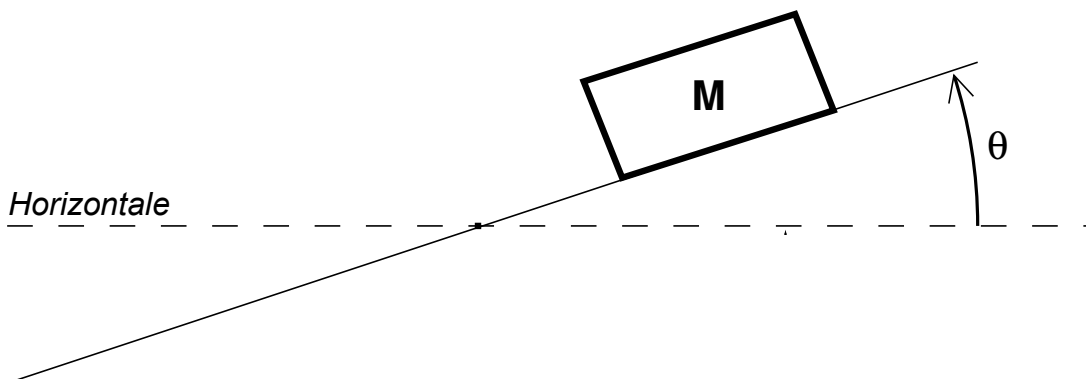
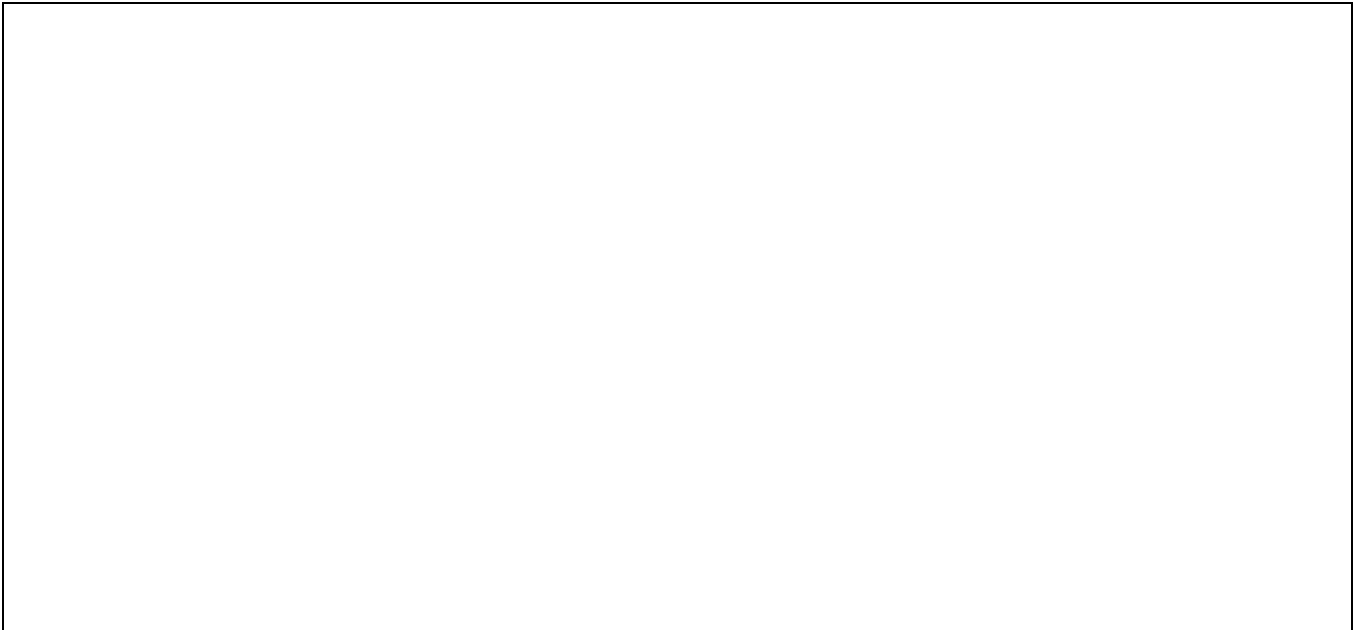


Figure n°3 : Mobile à l'arrêt sur le plan incliné

✎ A partir de la relation fondamentale de la dynamique, montrer que le coefficient de frottement statique  $\mu_s$ , correspondant à la rupture de l'équilibre du mobile sur le plan incliné, s'obtient par la relation :

$$\mu_s = \tan \theta_{lim} \quad (\text{Equation n}^\circ 1)$$



## 2.2 Solide entraîné par un moteur

Pour mesurer le coefficient de frottement cinétique  $\mu_c$ , un moteur tire, à vitesse constante  $v$ , le solide de masse  $M$  sur un plan horizontal, par l'intermédiaire d'un fil inextensible (Figure n°4). À l'aide d'un dynamomètre, on mesure le module de la force  $\vec{F}$  nécessaire pour produire le mouvement.

✎ Représenter, sur la Figure n°4, toutes les forces appliquées à la masse  $M$ .

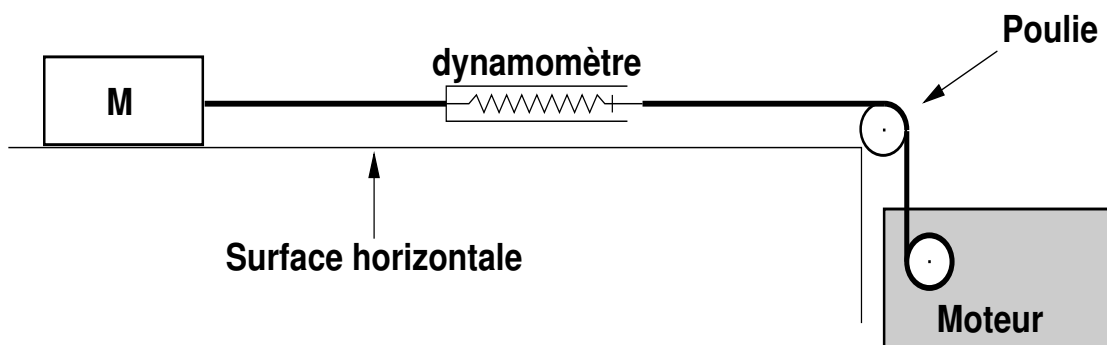
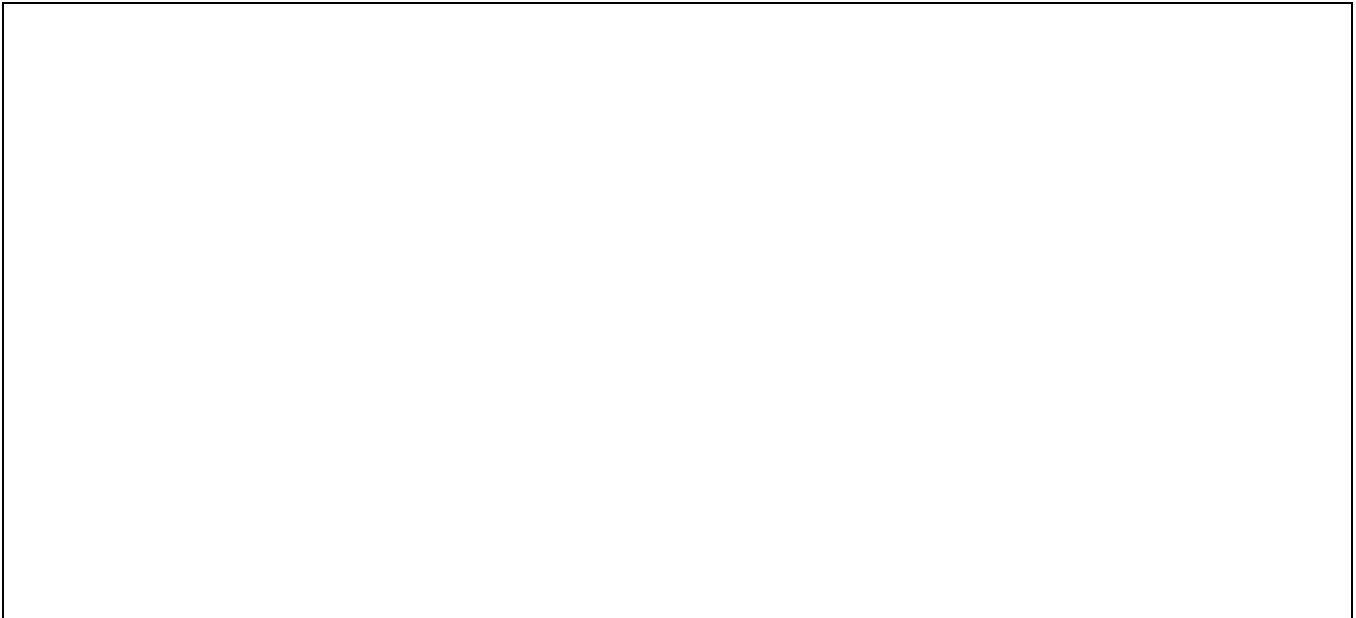


Figure n°4 : Mobile en mouvement à vitesse constante sur un plan horizontal

✎ A partir de la première loi de Newton, montrer que la norme de la force  $F$  peut s'écrire :

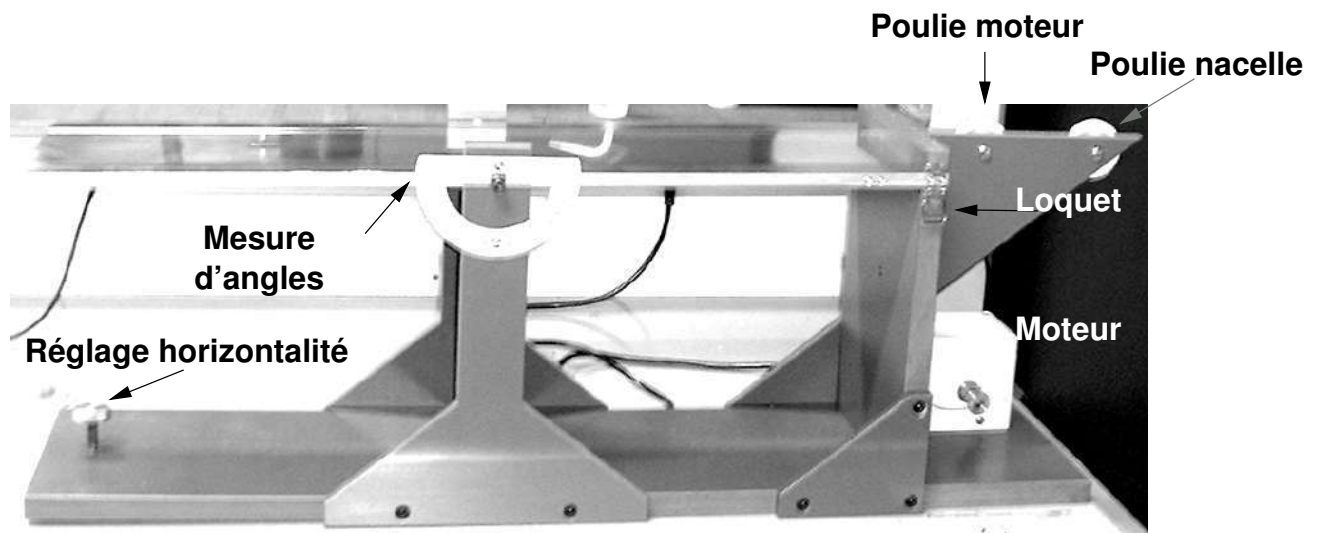
$$F = \mu_c \cdot g \cdot M \quad (\text{Equation n}^\circ 2)$$

Où  $g$  est l'accélération de la pesanteur.



### 3 Matériel

Le plan en dural (alliage à base d'aluminium) poli est monté sur pivot, donc inclinable après avoir déverrouillé le loquet. D'un point de vue pratique, vous devez veiller à ce que la surface du palet et celle du plan de travail soient toujours parfaitement propres (un chiffon est disponible pour nettoyer les surfaces régulièrement). Par ailleurs, le matériel est fragile : ne forcez pas sur les charnières et ne laissez pas tomber le palet.



*Figure n°5 : Dispositif expérimental*

Le solide qui frotte sur le plan en dural est un palet, également en dural, de masse  $M_0$  et de surface de base circulaire, dont on peut changer la semelle. Vous disposez de trois semelles recouvertes de différents matériaux (papier, feutrine et caoutchouc). On peut également ajouter sur le palet quatre surcharges différentes de masses  $m_i$ .

Vous disposez aussi d'une nacelle en plastique et des billes de verre qui serviront à la lester. Enfin, pour la mesure de force, vous utiliserez le dynamomètre gradué en Newtons.

**Remarque :** *Il va de soi que vous devez apporter le plus grand soin à vos mesures, lesquelles seront facilement entachées d'erreurs. En effet, l'évaluation des coefficients de frottement est délicate, car elle dépend de l'état des surfaces. Vous évalueriez l'incertitude en réalisant plusieurs mesures. Si un résultat vous paraît aberrant, n'hésitez pas à l'éliminer et à refaire une mesure.*

☞ A l'aide de la balance électronique, mesurer la masse  $M_0$  du palet, les masses des semelles en papier  $M_p$ , en feutrine  $M_f$  et en caoutchouc  $M_c$ . Mesurer enfin les masses  $m_i$  des surcharges et reporter les dans le tableau ci-dessous.

$M_0$ (g)	$M_p$ (g)	$M_f$ (g)	$M_c$ (g)
$m_1$ (g)	$m_2$ (g)	$m_3$ (g)	$m_4$ (g)

## 4 Mesure du coefficient de frottement statique

Dans cette première étude, le mobile  $M$  est initialement à l'arrêt et on incline très progressivement le plan jusqu'à ce que le mobile se mette en mouvement. Le coefficient de frottement statique  $\mu_s$ , correspondant à la rupture de l'équilibre du mobile sur le plan incliné, s'obtient par l'équation n°1.

La lecture de l'angle se fait directement sur le rapporteur en veillant à ce que l'œil soit bien face aux graduations.

Pour les 4 cas suivants, procéder de la façon suivante :

☞ Réaliser 5 mesures de l'angle  $\theta_{lim}$  en des endroits différents de la planche et déterminer la valeur de  $\mu_s$  correspondante ( $\mu_{s,i=1,5}$ ).

☞ Calculer la valeur moyenne de  $\mu_s$  ( $\overline{\mu_s}$ ) ainsi que son incertitude  $\Delta\mu_s$  par l'intermédiaire de l'expression :  $\Delta\mu_s = \max(|\overline{\mu_s} - \mu_{s,i}|_{i=1,5})$ .

☞ Proposer un encadrement de vos résultats sous la forme :  $\mu_s = (\overline{\mu_s} \pm \Delta\mu_s)$

#### 4.1 Palet avec semelle en papier

$\theta_{lim} (^\circ)$					
$\mu_s$					

--

#### 4.2 Palet avec semelle en feutrine

$\theta_{lim} (^\circ)$					
$\mu_s$					

--

#### 4.3 Palet avec semelle en feutrine + surcharge

Ajouter au palet avec la semelle en feutrine, la surcharge  $m_i$  la plus élevée.

$\theta_{lim} (^\circ)$					
$\mu_s$					

☞ Comparer cette valeur avec la valeur de  $\mu_s$  obtenue précédemment sans surcharge.

#### **4.4 Palet avec semelle en caoutchouc - Conclusion**

☞ Faire une seule mesure pour le palet avec la semelle en caoutchouc (sans surcharge)

$\theta_{lim} (^\circ)$	
$\mu_s$	

☞ Que peut-on dire de la valeur de  $\mu_s$  obtenu par rapport à celui des autres surfaces ?



## 5 Mesure du coefficient de frottement cinétique

### 5.1 Dispositif expérimental

Le coefficient de frottement cinétique  $\mu_c$  est déterminé en étudiant le mouvement du palet (muni de la semelle en feutrine) sur le support horizontal.

Le dispositif expérimental est représenté sur la Figure n°6. Le palet, muni de sa semelle en feutrine, est placé à l'extrémité de la planche. Un fil est attaché à l'arbre du moteur. On le déroule pour lui donner suffisamment de longueur. Le fil, qui passe dans la gorge de la poulie la plus proche, est alors relié à une extrémité du dynamomètre.

L'autre extrémité est attachée au palet. Le moteur se met en route et le fil s'enroule autour de l'arbre lorsqu'on presse sur le bouton poussoir.

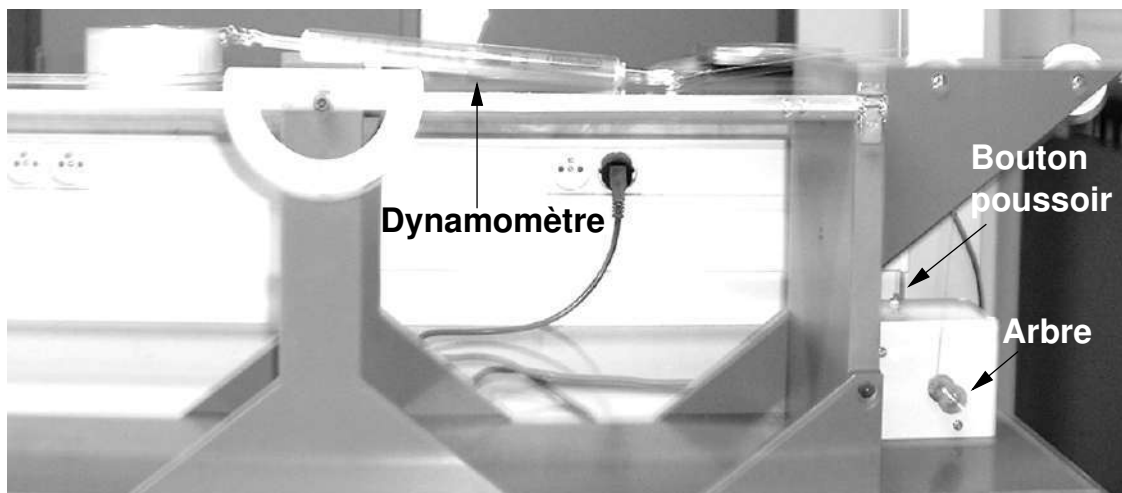


Figure n°6 : Dispositif expérimental - coefficient de frottement cinétique

### 5.2 Mesures

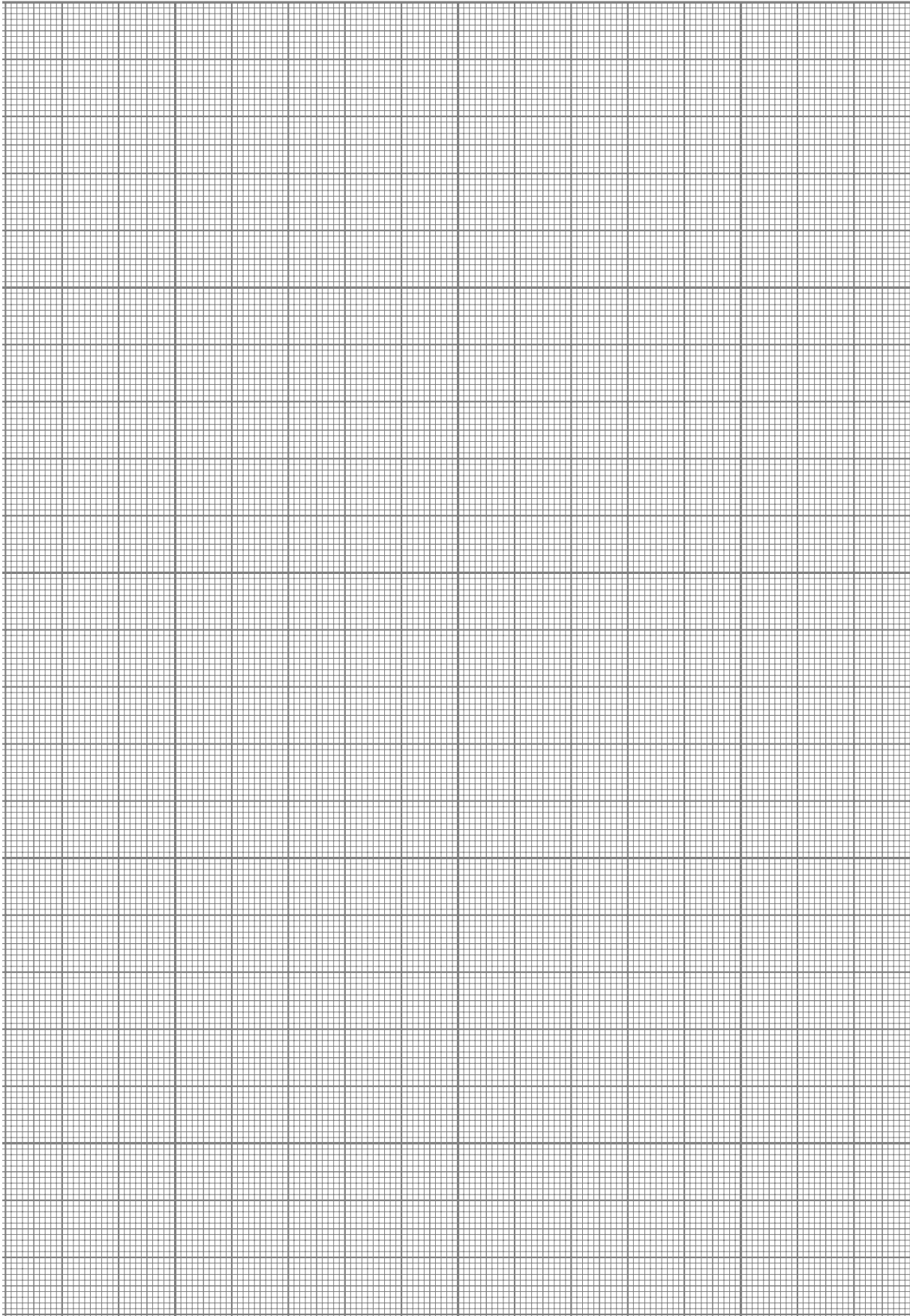
Pour chacune des mesures, mesurer directement la tension du fil  $F$  sur le dynamomètre après avoir lancé le moteur et attendu que la vitesse du solide se stabilise.

☞ Réaliser 1 mesure de  $F$  pour chaque masse totale du palet  $M$ .

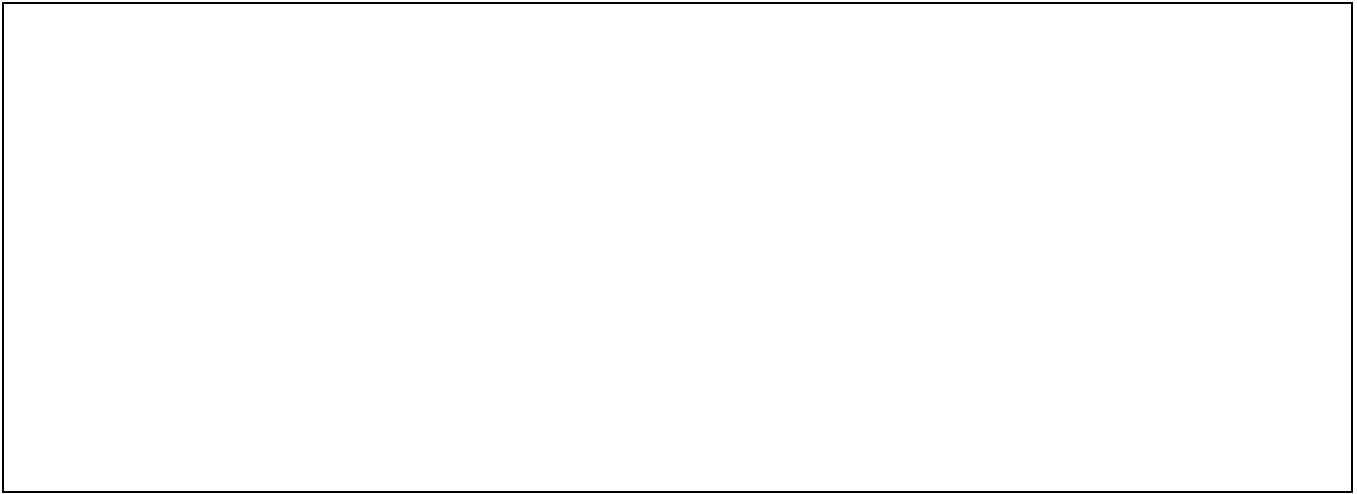
Tout d'abord en utilisant le palet avec semelle en feutrine ( $M=M_0 + M_f$ ) puis en ajoutant les différentes surcharges tel que  $M = M_0 + M_f + m_{i,(i=1,4)} \rightarrow 5$  mesures au total.

$M$ (g)					
$F$ (N)					

☞ Sur le papier millimétré (disponible sur la page suivante), reporter vos points de mesure de façon à tracer le graphique  $F(M)$ .



✎ A partir de ce graphique, calculer le coefficient directeur (pente) de la droite moyenne.



✎ En utilisant la relation n°2 et le résultat précédent, déterminer la valeur du coefficient de frottement cinétique  $\mu_c$ .



✎ Comparer les coefficients  $\mu_s$  et  $\mu_c$  pour la feutrine puis conclure.

