

Rapport du travail de séance

Maxime Miard, Elouan Fare

1 Frottements solides

1.1 Mesure d'un coefficient statique

La première partie du TP avait pour objectif de déterminer expérimentalement les coefficients de frottement statique et dynamique entre un poids et une planche en bois. Pour cela, nous avons placé un poids sur la planche, puis nous avons progressivement incliné celle-ci jusqu'à ce que le glissement se produise. La hauteur d'inclinaison nécessaire de la planche permet ensuite d'utiliser la relation suivante:

$$k_s = \tan(\alpha)$$

Avec α l'angle entre le support et la planche. Or nous avons la distance le projeter du poids entre l'intersection de la table et la planche. On peut donc trouver α en faisant:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{AB}{BC}\right)$$

Avec AB la hauteur nécessaire entre le table et la planche pour que le poids glisse et BC la distance angle-point de hauteur. Ainsi on obtient

$$k_s = \tan\left(\arctan\left(\frac{AB}{BC}\right)\right) \Rightarrow k_s = \frac{AB}{BC}$$

Pour obtenir les valeurs nécessaires à notre calcul nous avons fait trois séries de mesures chacune contenant 5 itérations afin de trouver AB :

- La première prise de mesures a été faite en simplement plaçant le poids sur la planche, et, en ajustant la hauteur, faire glisser le poids. Nous avons obtenu des mesures très hétérogènes allant de 60.2 cm à 75.6 cm avec une moyenne à 67.3 cm.
- La deuxième série de mesure était similaire à la précédente à l'exception que l'on nettoyait la planche et le poids à chaque itération. Les mesures

obtenus ont été moins hétérogènes que les premières avec pour maximum 66.1 cm, minimum 55.8 cm et pour moyenne 60.4 cm.

- La dernière série utilisait le protocole de la première avec une étape en plus qui consistait à centrer le poids au milieu de la planche avant chaque itération. Finalement on a obtenu des mesures plutôt homogènes avec: 63.5 cm pour maximum, 60.7 cm pour minimum et 62.5 cm en moyenne.

Grâce aux trois séries de mesures présentées ci-dessus, on observe que la propreté du revêtement influence directement les frottements : ceux-ci augmentent lorsque la surface est propre et diminuent lorsqu'elle se charge de particules, probablement parce que de petites poussières roulent sous le poids et réduisent l'adhérence. La troisième série montre aussi la nécessité de fixer un point de départ unique afin d'éviter les variations liées à l'état local du matériau ; dans notre cas, la planche, largement utilisée, est plus lisse au centre qu'aux extrémités, ce qui réduit la résistance et permet au poids de glisser davantage.

Avant de calculer l'indice de frottement k_s , on cherche les incertitudes:

$$AB_{min} = 60.7cm$$

$$AB_{max} = 63.5cm$$

L'imprécision est donnée par:

$$\frac{\Delta k_s}{k_s} = \sqrt{\left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2}.$$

Avec $h = 62.5cm$; $\Delta h = 1.4cm$ $\frac{\text{plus grande mesure} - \text{plus petite}}{2}$
 $l = 120cm$; $\Delta l = 0.1cm$ Donc:

$$\Delta k_s = k_s \times \sqrt{\frac{\Delta h^2}{h^2} + \frac{\Delta l^2}{l^2}}$$

$$\Delta k_s \approx k_s \times 0.02$$

Nous pouvons donc trouver l'indice de frottement k_s et l'angle α :

$$k_s = \frac{AB}{BC} \Rightarrow k_s \approx \frac{62.5cm}{120cm} \approx 0.52 \pm 0.01$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{AB}{BC}\right) \Rightarrow \alpha \approx \arctan\left(\frac{62.5}{120}\right) \approx 27.51^\circ \pm 0.5^\circ$$

Donc l'angle α est de 27.51° , et le coefficient de frottement statique est de 0.52. On peut donc constater que nos différentes prises de mesures ont permis d'avoir une valeur avec une incertitude basse.

1.2 Mesure d'un coefficient dynamique

Dans cette partie, on utilise le même montage, mais en accrochant le poids à une nacelle suspendue au-dessus du sol. On place ensuite des masses dans la nacelle, puis on lâche le poids initial. On mesure la distance parcourue par le mobile et on la compare à la hauteur initiale de la nacelle. Le procédé est répété en abaissant progressivement la nacelle. On obtient alors le tableau de valeurs suivant :

M (g)	m (g)	h (cm)	$h + d$ (cm)	X	Y	d (cm)
305.2	187	57	60	18873	10659	3
305.2	187	47	69	25172.8	8789	22
305.2	187	37	77	30980.4	6919	40
305.2	187	27	84.6	36591.12	5049	57.6
305.2	187	17	92	42103.4	3179	75
305.2	187	7	99	47418.8	1309	92

Dans le tableau ci-dessus, les variables M , m , h et d correspondent à celles du schéma ci-dessous.

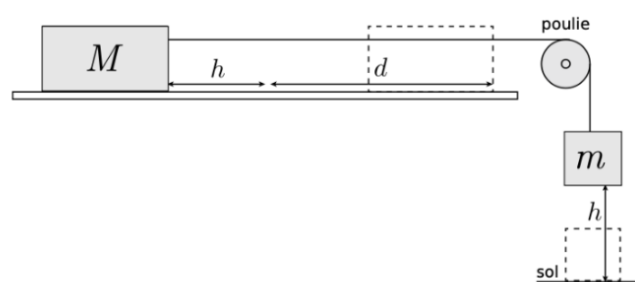


Figure 1: Schéma du montage. Source : Moodle, MEC 102 TP

Les variables X et Y sont définies par :

$$X = m d + M(h + d) \quad \text{et} \quad Y = m h.$$

Le graphique suivant représente Y en fonction de X :

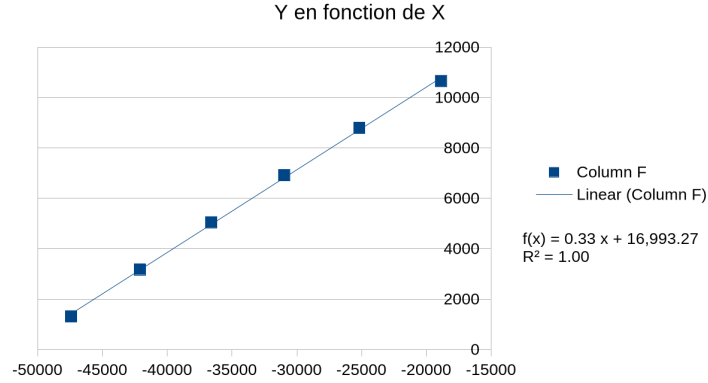


Figure 2: Représentation de Y en fonction de X et droite de tendance $f(X)$.

On remarque que les valeurs de X ont été prises avec un signe négatif. Cela n'affecte pas la validité du modèle : le changement de signe permet simplement d'obtenir une droite de tendance croissante, ce qui est plus cohérent avec l'expression théorique $Y = k_d X$. Cette opération ne modifie pas la valeur absolue de la pente.

Le coefficient de détermination R^2 est arrondi à 1,00 au centième, ce qui indique un excellent accord entre le modèle et les données expérimentales.

Le coefficient dynamique est égal à la pente de la droite ajustée ; on obtient ici $k_d \approx 0,33$. Cela est cohérent avec la physique du frottement, puisque le coefficient dynamique doit être inférieur au coefficient statique : ici $k_d < k_s$, ce qui donne $0,33 < 0,52$, de plus après quelques recherches sur internet on peut voir que les coefficient trouver correspondent à "des frottements bois - bois ou bois - polymère" ce qui est le cas de l'expérience. Cependant quelque limitations apparaissent sur ce type d'expérience : Si on augmentait drastiquement la masse ou la hauteur, des écarts apparaîtraient rendant, le régime non linéaire.

2 Frottements fluides

2.1 Réalisation expérimentale

Dans le cadre du protocole, l'objectif est de produire une chute strictement verticale, sans vitesse initiale et sans rotation. Toute déviation par rapport à ces conditions perturbe l'identification du régime d'écoulement et augmente l'incertitude sur la mesure de la vitesse instantanée. Le dispositif vidéo doit donc être préparé pour réduire les artefacts liés au lâcher, aux mouvements parasites de l'opérateur et aux imprécisions de repérage sur les images. Les consignes imposent la maîtrise de trois points : garantir l'absence de vitesse horizontale initiale, éviter tout couple induisant un

spin, assurer un enregistrement suffisamment contrasté et étalonné pour un traitement fiable sous Tracker. Les précautions détaillées ci-dessous s'inscrivent dans ce cadre.

- Nous avons tout d'abord essayé de lâcher la balle simplement avec les doigts, ce qui provoquait un spin et introduisait une vitesse horizontale parasite faussant les mesures.
- Après constat de ce phénomène, nous avons utilisé une épingle à nourrice pour maintenir la balle en position fixe, en la piquant avec la pointe plutôt qu'en la contraignant par la pression des doigts. Cette méthode a amélioré l'immobilisation sur l'axe horizontal. Nous avons également veillé à rester immobiles au moment du lâcher afin d'éviter que la détection automatique sous Tracker ne confonde la balle avec nos propres mouvements. Enfin, la chute a été filmée sur fond noir (balle blanche) pour augmenter le contraste, et le mètre présent dans le champ a servi de référence d'étalonnage lors du traitement vidéo.

2.2 Étude énergétique

L'analyse énergétique de la chute permet de vérifier si le système conserve son énergie mécanique ou si, au contraire, une dissipation apparaît sous l'effet des frottements fluides. À partir du suivi de la trajectoire dans **Tracker**, on dispose de la position verticale $z(t)$ et de la vitesse $v(t)$ de la balle. On calcule alors les énergies massiques :

$$e_c(t) = \frac{1}{2}v(t)^2, \quad e_p(t) = g z(t), \quad e_m(t) = e_c(t) + e_p(t).$$

Le graphe suivant représente simultanément $e_c(t)$, $e_p(t)$ et $e_m(t)$:

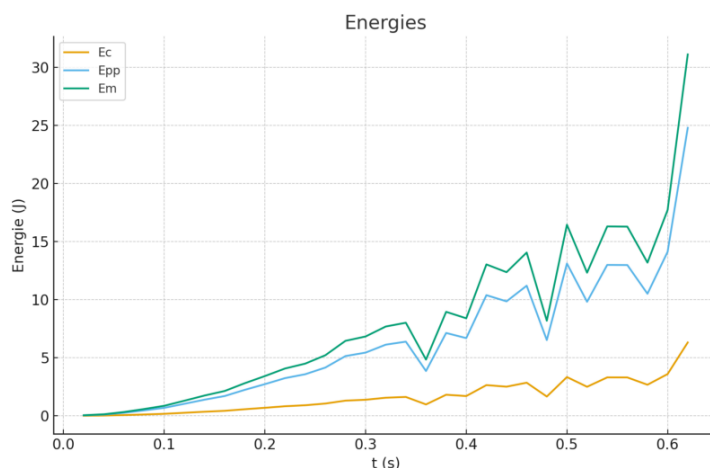


Figure 3: Évolution des énergies massiques au cours de la chute.

On observe :

- e_p diminue continûment (la balle descend),
- e_c augmente rapidement puis commence à s'infléchir,
- e_m décroît, signe d'une dissipation due aux frottements fluides.

La perte d'énergie mécanique massique s'obtient par :

$$\Delta e_m = e_m(t_{\text{fin}}) - e_m(0) < 0.$$

Cette perte correspond à une conversion en énergie interne du fluide (échauffement très faible) et en petites structures tourbillonnaires : c'est la signature de la dissipation mécanique.

2.3 Identification de l'écoulement

On souhaite déterminer si le frottement est laminaire (proportionnel à v) ou turbulent (proportionnel à v^2). Les modèles théoriques utilisés sont :

$$v_\ell(t) = v_{\ell,\text{lim}}(1 - e^{-t/\tau_\ell}), \quad v_t(t) = \frac{v_{t,\text{lim}}}{\sqrt{1 + e^{-2t/\tau_t}}}.$$

La vitesse expérimentale obtenue sous **Tracker** est d'abord tracée :

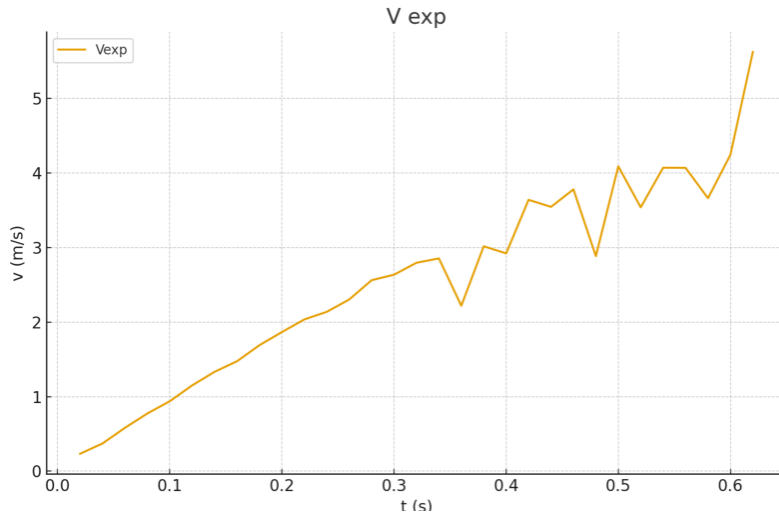


Figure 4: Vitesse expérimentale $v(t)$ obtenue à partir du suivi vidéo.

Une estimation graphique de v_{lim} et τ est effectuée en observant la pente initiale et l'amorce de stabilisation. À partir de ces valeurs, deux colonnes sont ajoutées dans un tableur pour générer les modèles laminaire et turbulent. Les superpositions suivantes permettent d'évaluer la pertinence des deux descriptions.

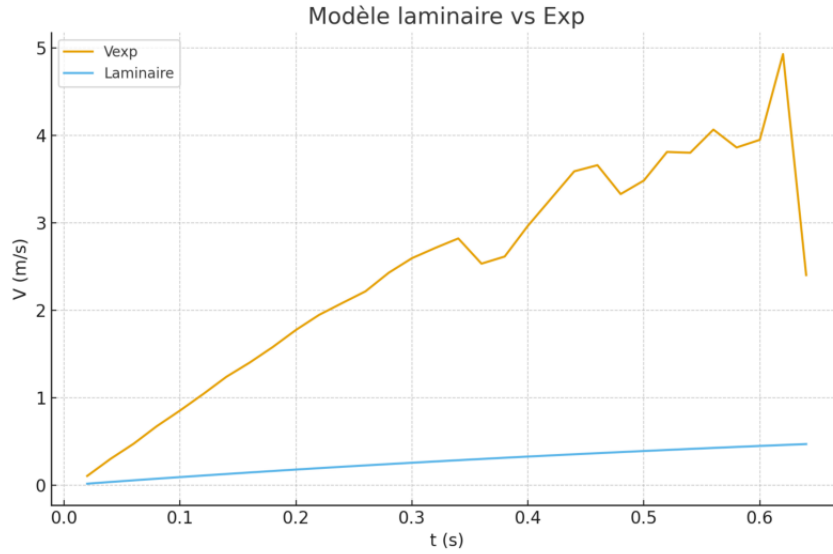


Figure 5: Superposition du modèle laminaire (frottement linéaire) et des données expérimentales.

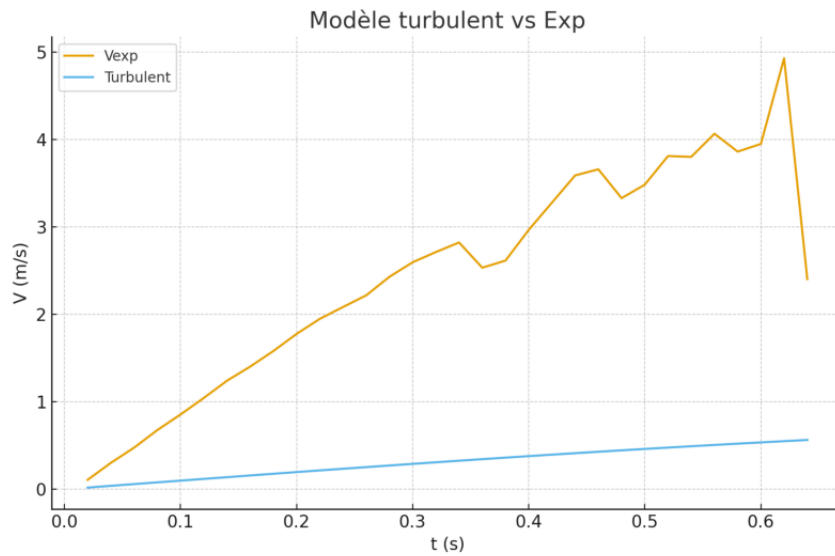


Figure 6: Superposition du modèle turbulent (frottement quadratique) et des données expérimentales.

L'analyse montre que :

- le modèle laminaire impose une croissance exponentielle trop lente et ne reproduit ni la pente initiale ni la forme globale,
- le modèle turbulent reproduit correctement la montée rapide de $v(t)$ et l'infléchissement progressif,
- les paramètres du modèle laminaire conduisent à une viscosité η irréaliste lorsqu'on les injecte dans l'expression $\tau_\ell = \frac{m}{6\pi\eta R}$,

- les paramètres du modèle turbulent donnent un coefficient C_x de l'ordre de 0.4–0.6, cohérent pour une petite sphère dans l'air.

Les deux arguments concordent : forme de la courbe et ordre de grandeur des paramètres physiques. On conclut que l'écoulement autour de la balle est **turbulent**.