

Physique

TP 12 – Tir et balistique

L. TORTEROTOT
29 avril, 6 mai 2024

Objectifs

- Déterminer expérimentalement la raideur d'un ressort.
- Étudier le mouvement d'un projectile.

Compétences à acquérir

- ✚ Utiliser un dynamomètre.
- ✚ Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant d'étudier une loi de force.
- ✚ Évaluer, par comparaison à un étalon, une longueur (ou les coordonnées d'une position) sur une image numérique et en estimer la précision.
- ✚ Acquérir l'image d'un phénomène physique sous forme numérique, et l'exploiter à l'aide d'un logiciel pour conduire l'étude d'un phénomène.
- ✚ Enregistrer un phénomène à l'aide d'une caméra numérique et repérer la trajectoire à l'aide d'un logiciel dédié, en déduire la vitesse et l'accélération.
- ✚ Réaliser et exploiter quantitativement un enregistrement vidéo d'un mouvement : évolution temporelle des vecteurs vitesse et accélération.

1 Présentation

L'arbalète, figure 1a, est une arme de trait¹, au même titre que le lance-pierre, figure 1b.



(a) Une arbalète du XIV^e siècle.



(b) Un lance-pierre.

Figure 1

⚠ Afin d'éviter tout dommage collatéral, les projectiles utilisés sont des balles de ping-pong.

Après avoir mis en équation la phase de lancement et de vol² du projectile, partie 2, la mesure des paramètres en partie 3 permet d'évaluer numériquement la portée du tir. Il est alors possible de déterminer *a priori* l'angle α et l'élongation initiale ℓ_i permettant d'envoyer le projectile sur l'endroit souhaité³. Des tirs expérimentaux sont réalisés en partie 4, les résultats obtenus sont alors comparés aux prédictions faites. La partie 5 s'intéresse à l'effet des frottements sur la phase de lancement puis de vol.

1. Outil destiné à envoyer un projectile par l'intermédiaire d'un mécanisme.

2. La balle ne vole pas vraiment... elle tombe avec panache!

3. Cet endroit n'est pas l'espace occupé par un de vos camarades, encore moins par votre enseignant.

2 Mise en équation

Le système est modélisé en figure 2. Deux ressorts identiques de raideur k et de longueur à vide ℓ_0 sont fixés entre la rampe et une plaque contre laquelle est installé le projectile.

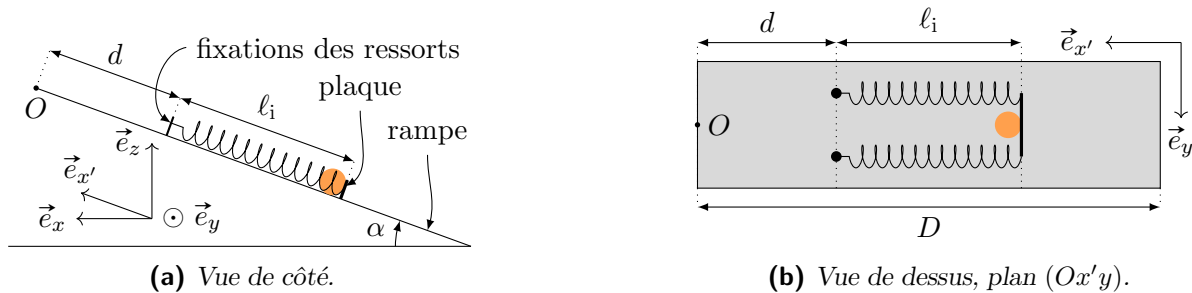


Figure 2 – Modélisation du lanceur.

La rampe de lancement est inclinée d'un angle α par rapport à l'horizontale. Les fixations des ressorts à la rampe sont situées à une distance d de la fin de la rampe, de longueur totale D . Le repère $(Oxyz)$ est orthonormé direct et son origine est au bout de la rampe. L'axe (Ox') est celui de la rampe.

Les positions de la plaque et du projectile lors de la phase de lancement sont repérées par leur coordonnée selon (Ox') . Dans la suite, x' correspond à la position du centre du projectile, supposé ponctuel dans la suite des calculs⁴. Le projectile est considéré comme lancé lorsque $x' = 0$.

1. Exprimer l'élongation ℓ du ressort en fonction de x' . Quelle est *a priori* l'élongation maximale ℓ_{\max} autorisée par la géométrie du lanceur ?

⚠ Les ressorts disponibles ne doivent pas être étirés autant que cette élongation maximale géométrique.

2. Exprimer l'énergie potentielle élastique de l'ensemble des ressorts en fonction de ℓ_i , ℓ_0 et k .

3. Exprimer l'énergie potentielle de pesanteur du projectile de masse m en fonction de z puis de x' .

4. En négligeant les frottements et l'effet de la présence de la plaque sur les ressorts, déterminer la vitesse $v_0 = \vec{v} \cdot \vec{e}_{x'}$ du projectile à l'éjection à partir du théorème de l'énergie mécanique.

5. En déduire la portée du tir en fonction des paramètres du système, le sol étant horizontal et situé au bas de la rampe (figure 2a).

3 Mesure des paramètres

► Pour estimer la raideur du ressort, accrocher celui-ci à une potence et tirer dessus à l'aide d'un dynamomètre ou de masses calibrées.

▷ Mesurer l'élongation $\Delta\ell$ du ressort pour différentes forces de traction F .

▷ Estimer la constante de raideur à l'aide d'une régression linéaire réalisée avec un script Python.

► Mesurer la masse m du projectile, d , D et fixer un angle α .

► Dans ce même script Python, définir les paramètres k , m , ℓ_i , ℓ_0 , α , d , D , g en leur affectant leurs valeurs dans les unités du système international.

► Évaluer numériquement v_0 puis la portée du tir et stocker leurs valeurs respectives dans deux variables.

4. L'étendue spatiale de la balle est considérée comme négligeable face aux autres dimensions du système.

4 Tirs expérimentaux

- ▶ Armer le système, viser, tirer. Mesurer la portée L du tir.
 - ▷ Utiliser, pour tous les groupes, un seul dispositif commun ⁵.
 - ▷ Recommencer un grand nombre de fois.
- ▶ Stocker toutes les valeurs de L dans une liste Python.
 - ▷ Évaluer la moyenne puis l'écart-type de la distribution de L .
 - ▷ En déduire l'incertitude-type sur la mesure de L .
 - ▷ Évaluer l'écart-normalisé (ou z-score) entre la valeur théorique et la valeur mesurée. Conclure.

5 Évaluation des frottements

6. Quelles sont les sources de frottements possibles ?

7. En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, exprimer le travail des forces de frottements pendant la phase de lancement en fonction de la vitesse v_0 prévue sans frottements et de la vitesse v_{0r} réellement obtenue.

- ▶ Filmer la phase de lancement avec votre téléphone. Déposer la vidéo sur l'ordinateur et la convertir en fichier `avi`.
- ▶ Ouvrir la vidéo au format `avi` avec Latis-Pro (menu Édition → Analyse de séquences vidéo) et pointer la position du projectile.
 - ▷ En déduire la vitesse v_{0r} à l'éjection.
- ▶ Évaluer numériquement le travail des forces de frottements lors de la phase de tir et le comparer au travail des ressorts.
- ▶ La valeur de v_{0r} est-elle en accord avec la mesure de L ?
 - ▷ Déterminer l'écart normalisé.
- ▶ Filmer la phase de vol avec votre téléphone. Déposer la vidéo sur l'ordinateur et la convertir en fichier `avi`.
- ▶ Ouvrir la vidéo au format `avi` avec Latis-Pro (menu Édition → Analyse de séquences vidéo) et pointer la position du projectile.
 - ▷ La trajectoire est-elle sensiblement modifiée à cause des frottements par rapport à celle attendue avec une chute libre ?

5. Cela permet de réaliser de meilleures comparaisons entre les groupes.