

International Physicist Tournament : Cumulative Cannon Protocoles et méthodes

Montage expérimental :

Un montage expérimental particulier a été mis en oeuvre dans le but de pouvoir effectuer des expériences de chute de gobelets de manière relativement reproductible tout en permettant une mesure facile de la hauteur de rebond de la balle (Schéma : cf. vidéo, diapositive n°3). La structure métallique est réalisée à l'aide de pièces en aluminium Norcan, comme présenté en Figure 1. La hauteur du dispositif doit au moins dépasser les 2 mètres pour permettre de mesurer des rebonds suffisamment hauts.

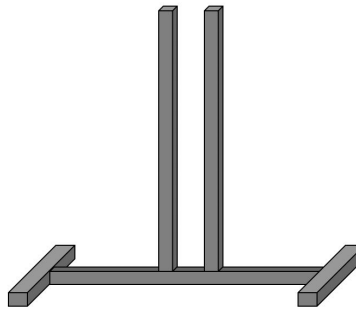


Fig.1 : Structure schématique construite à partir de pièces Norcan. Les deux barres disposées à terre de part et d'autre de la barre horizontale principale servent à assurer une meilleure stabilité.

Une plateforme en plastique rigide et épais est placée entre les deux barres verticales centrales au plus bas, pour servir de lieu d'impact. Un ruban mesureur est disposé le long d'une des barres à partir de cette plateforme pour la mesure des hauteurs. Cependant, à la mesure que donne ce mètre de la hauteur atteinte par une balle après rebond doit être soustraite la hauteur initiale d'eau dans le verre pour obtenir la véritable hauteur de rebond de la balle.

Les récipients utilisés pour les expériences sont des gobelets plastiques jetables, de diamètres moyens 4,5 cm et 6,5 cm.

Ces gobelets ont été percés sur les côtés afin d'y insérer deux jeux de vis et écrou Norcan, qui permettent de disposer le gobelet entre les deux barres verticales de la structure et de le laisser tomber sur la plateforme tout en bloquant une de ses directions de rotation.

A l'intérieur de ces gobelets, des fines ailettes découpées dans une feuille de plastique transparent sont disposées verticalement à intervalles réguliers, afin de maintenir la balle au centre du gobelet. Ces ailettes ont la forme présentée en Figure 2 ; la partie la plus étroite est destinée à se trouver fond du gobelet. Les mesures ont été faites pour que, une fois collées aux parois, l'espace libre (de forme cylindrique) laissé au centre du gobelet ait un diamètre légèrement supérieur à la balle (il ne faut pas qu'il y ait de frottements).



Fig. 2 : Forme d'une ailette intérieure de gobelet. La hauteur est environ celle du gobelet, la largeur est de l'ordre de 1 à 2 cm de façon à pouvoir maintenir la balle sans la contraindre.

Il est important de préciser que les ailettes ne sont pas directement collées sur le gobelet en plastique. Le fond d'un gobelet en plastique (identique aux autres) a été enlevé afin de ne garder que la paroi verticale. C'est à l'intérieur de ce cylindre que les ailettes ont été collées, puis ce cylindre a été inséré dans notre gobelet. Il y a un double intérêt pratique à faire cela. Le premier est qu'il est bien plus aisé de coller les ailettes en ayant une ouverture des deux côtés de la paroi, le deuxième est que lorsque le gobelet se fissure (suite à l'enchaînement des expériences) il suffit d'enlever la paroi avec les ailettes et de l'insérer dans un nouveau gobelet.

Les expériences sont filmées à l'aide de deux caméras Basler acA1440-220uc, au rythme de 227 images par seconde, connectées directement à un ordinateur. Les caméras sont placées plus ou moins proche de la structure selon le but du film (étude détaillée du phénomène de rebond au niveau de la surface de l'eau et mesure des vitesses avant et après impact, ou mesure d'un hauteur de rebond). Dans le premier cas, un panneau LED (dim. 30cmx30cm) est disposé derrière le montage pour procurer un éclairage suffisant.

Mesures et incertitudes :

Après analyse du phénomène, notamment au niveau de la surface de l'eau, à l'aide des vidéos, des résultats quantitatifs sont obtenus en faisant varier les paramètres suivants : hauteur de lâcher du gobelet, quantité d'eau dans le gobelet et diamètre du gobelet.

- Il est important de s'intéresser à la vitesse de chute du gobelet avant impact ainsi que la vitesse initiale de la balle après impact. Afin d'obtenir ces mesures, une analyse des vidéos enregistrées a été faite en utilisant Image J, le logiciel permettant de réaliser un pointage et de définir l'échelle.
- La hauteur maximale de rebond h est mesurée à partir des vidéos grâce à la présence du ruban mesureur. Pour limiter les erreurs liées au manque de reproductibilité, les résultats aberrants sont systématiquement éliminés et une moyenne est effectuée sur $n \geq 5$ lâchers corrects avec les mêmes paramètres (parfois il a fallu faire plus d'une dizaine de mesures afin de réduire suffisamment les incertitudes). L'incertitude est évaluée par l'écart type standard sur ces mesures : $\Delta h = \sigma = \sqrt{\frac{\sum(h-\bar{h})^2}{(n-1)}}$; $h = \bar{h} \pm \Delta h$, et représente l'erreur liée à des variations de l'impact du gobelet sur la surface et des directions de rebond de la balle (ce qui peut causer une erreur de parallaxe).
- La quantité d'eau (directement liée à la hauteur d'eau dans le verre) est mesurée précisément à l'aide d'une balance de résolution 0,1 g, de sorte que l'incertitude de mesure sur la quantité d'eau soit négligeable vis à vis de celle, bien plus importante au vu des aléas des expériences, sur la hauteur de rebond.
- La hauteur maximale ou la vitesse initiale de la balle peut alors être obtenue en fonction de la hauteur de lâcher, de la quantité d'eau, du diamètre du verre, mais aussi en fonction de sa vitesse juste avant le rebond (Figures : cf. vidéo, diapositives n°12 et 13).
- Les mesures réalisées permettent d'obtenir l'évolution du rapport des énergies cinétiques avant et après rebond connaissant les masses mises en jeu, pour deux diamètres de gobelets différents par exemple (Figures : cf. vidéo, diapositive n°14) . De même, les mesures sont répétées et l'incertitude est obtenue par écart-type standard, et l'incertitude sur les masses est négligée vis à vis de celle sur les vitesses pointées.
- Pour comparer l'influence du diamètre des gobelets, il faut comparer des expériences avec même hauteur de lâcher (en fait il faut même vitesse de chute avant impact) et le même remplissage relatif.