

LA DYNAMIQUE DU YO-YO

L'étude de la physique n'est pas un passage obligé pour le maniement du yo-yo, mais elle peut vous suggérer des améliorations de l'appareil et au moins une meilleure synchronisation des mouvements.

Un yo-yo lâché sans vitesse initiale tombe en déroulant la ficelle. La vitesse de descente v , la vitesse de rotation ω et le rayon du moyeu sur lequel s'enroule la ficelle r , sont reliés par le déroulement de la ficelle : $v = \omega r$.

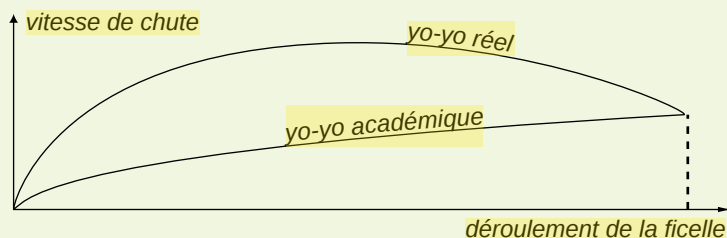
La somme de l'énergie cinétique de translation, $1/2 mv^2$, et de l'énergie de rotation, $1/2 J \omega^2$, est égale à l'énergie potentielle mgh (h est la hauteur de chute, J est le moment d'inertie du yo-yo, et m sa masse.)

Il s'ensuit que la vitesse est donnée par la formule :

$$v = \sqrt{2gh / (1 + J/mr^2)}$$

J/mr^2 est le quotient de l'énergie de rotation sur l'énergie de translation. Si J est nul, on retrouve l'expression pour la vitesse de chute libre d'un corps. La rotation du yo-yo diminue la vitesse de chute : toute l'énergie potentielle n'est pas convertie en énergie de translation.

Le rayon r diminue avec la hauteur de chute, car le diamètre de la ficelle n'est pas nul. C'est ce qui distingue le yo-yo réel du yo-yo que nous appellerons "académique" où le rayon du moyeu est constant. La vitesse v de chute du yo-yo réel passe par un maximum puis diminue, la vitesse finale étant identique pour les deux yo-yo : elle correspond, dans la formule, au rayon minimal r_0 du moyeu. La durée de chute pour le yo-yo réel est plus faible que pour le yo-yo académique. Avec les paramètres d'un yo-yo réel, cette durée de chute est de 1,3 seconde alors que pour le yo-yo académique elle est de 3,8 secondes. Il serait intéressant de vérifier ces valeurs en utilisant un fil très fin à la place de la ficelle habituelle, transformant ainsi le yo-yo réel en yo-yo académique.



rotation est diminuée par les frottements, les ressorts resserrent les mâchoires sur le moyeu où est fixée la ficelle et le yo-yo remonte. Ce principe de débrayage-embayage a été utilisé dans les mobylettes et dans l'embayage des 2 CV Citroën. Le moyeu en Téflon réduit la friction et la durée de la roue libre peut atteindre plusieurs secondes, ce qui est avantageux, voire indispensable pour les figures complexes.

Pour augmenter la vitesse de rotation, il est avantageux de lancer le yo-yo en lui conférant une vitesse initiale, donc une énergie cinétique additionnelle, au lieu de le laisser simplement tomber. Les champions amènent la vitesse de rotation en roue libre à plus de 140 tours par seconde, ce qui correspond à la vitesse que le yo-yo atteindrait après une chute de 25 mètres. La vitesse de rotation à la périphérie du moyeu dépasse alors 100 kilomètres/heure.

Certains yo-yo sont dépourvus d'embayage, mais la ficelle forme une boucle autour de l'axe : en bas de la descente il tourne sans remonter jusqu'à ce que les frottements l'arrêtent. Avant l'arrêt on peut déclencher la remontée en tirant d'un coup sec sur la corde, ce qui resolidarise le moyeu et l'axe tournant du yo-yo.

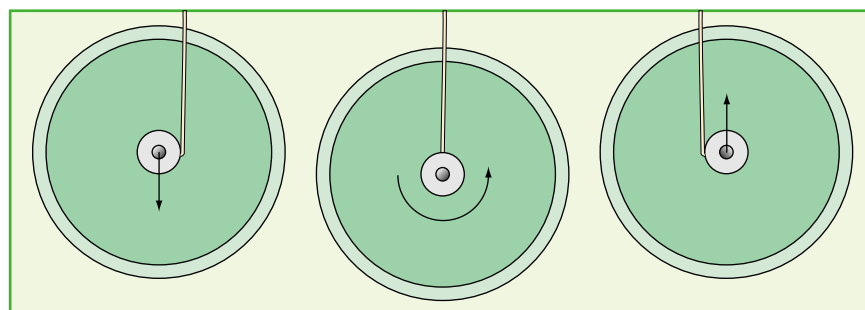
UN PETIT ANIMAL INDOCILE

Le yo-yo peut vibrer et devenir incontrôlable. Le yo-yo se souvient alors que son mouvement peut se faire à trois dimensions, et que sa masse peut tournoyer hors du plan de sa trajectoire, ce qui est un inconvénient pour les figures. Le moment dangereux est celui où sa vitesse de rotation est la plus faible, c'est-à-dire lorsqu'il revient dans la main. Quand la vitesse de rotation est forte l'axe de rotation du yo-yo est maintenu horizontal par effet gyroscopique : tout changement de direction engendre une force perpendiculaire à ce changement qui limite les errements de l'axe. Si la ficelle est tordue, le yo-yo peut devenir incontrôlable, aussi des yo-yo, inventés par P. MacCarthy de l'École des Mines du Colorado, utilisent-ils un ruban au lieu d'une ficelle : un ruban ne peut se tordre lorsqu'il s'enroule.

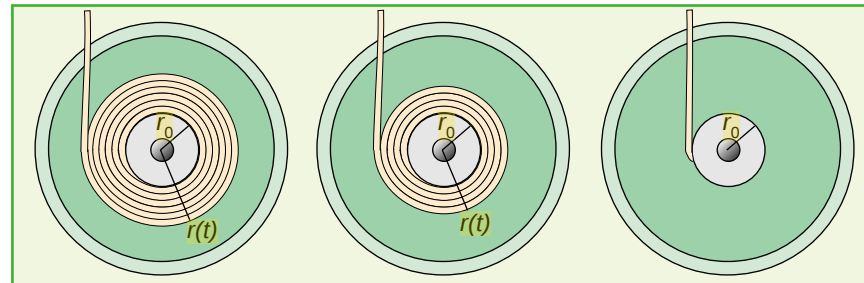
Le yo-yo est un exemple d'application de nombreux principes physiques, et il remplace avantageusement, pour une initiation à la dynamique, le simpliste pendule simple ou le déprimant ressort.

W. BERGER, *The Yo-yo, a Toy Fly-wheel*, *American Scientist*, vol. 72, n° 2, mars-avril 1984, pp 137-142.

Brian H. KAYE, *Golf Balls, Boomerang and Asteroids*, VCH, 1996.



2. En bas de sa course, la vitesse de rotation du yo-yo est maximale. Là, le yo-yo pivote d'un demi-tour autour du point d'attache de la ficelle puis remonte le long de la corde. Cette rotation est de faible durée par rapport au temps de chute du yo-yo et peut-être considérée comme instantanée (en l'absence de roue libre).



3. Le yo-yo réel diffère du yo-yo «académique» en ce que le rayon du moyeu $r(t)$ varie en fonction de la hauteur de chute. Au début de la chute, le rayon $r(t)$ est grand : le yo-yo réel tourne moins vite que le yo-yo académique et sa vitesse de chute est supérieure.