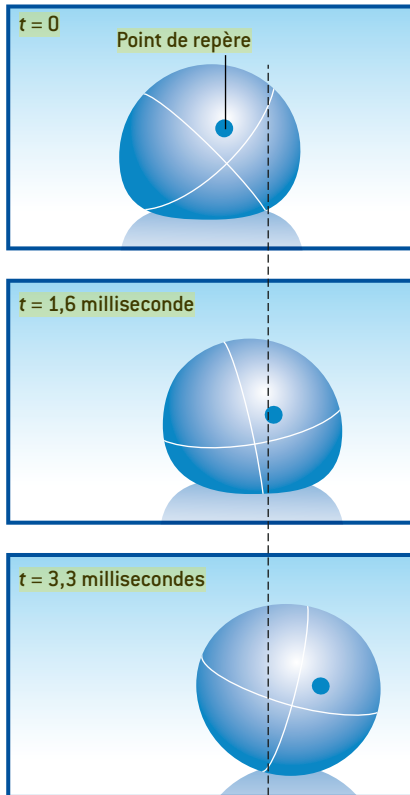




AU COURS DE L'IMPACT, la balle est comprimée verticalement. Et si l'incidence est oblique ou si la balle est en rotation, elle glisse brièvement et subit un cisaillement horizontal, d'où une déformation asymétrique.

LES AUTEURS



Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'université Pierre-et-Marie-Curie, à Paris. Leur blog : www.scilogs.fr/idees-de-physique



Retrouvez la rubrique
Idées de physique sur
www.pourlascience.fr

fait avec la même rotation qu'au lâcher, toujours selon la verticale.

Et si on lance la balle en avant, avec une rotation dont le sens est tel que la vitesse de translation et celle de rotation s'additionnent au point d'impact ? La balle revient alors en tournant dans l'autre sens, puis repart vers l'avant, etc. (voir la figure page précédente).

Avec deux plans, par exemple le sol et la face inférieure d'une table, c'est encore plus étonnant. Quand on lance la balle à 45 degrés sous une table, elle rebondit au sol et acquiert une rotation qui, lorsqu'elle remonte frapper le dessous de la table, la fait revenir vers l'arrière – si bien qu'après un troisième rebond, la balle revient vers les mains du lanceur.

Glissade et frottement

En pratique, avec une superballe, on observe de tels comportements prévus par la théorie. Cependant, la très bonne élasticité de cet objet n'explique pas tout.

Nos hypothèses d'une situation idéale sont en effet loin d'être vérifiées. D'abord, la balle glisse très brièvement sur le sol, jusqu'à ce que le frottement immobilise le point de contact (le frottement augmente fortement à mesure que la balle se comprime et décélère verticalement).

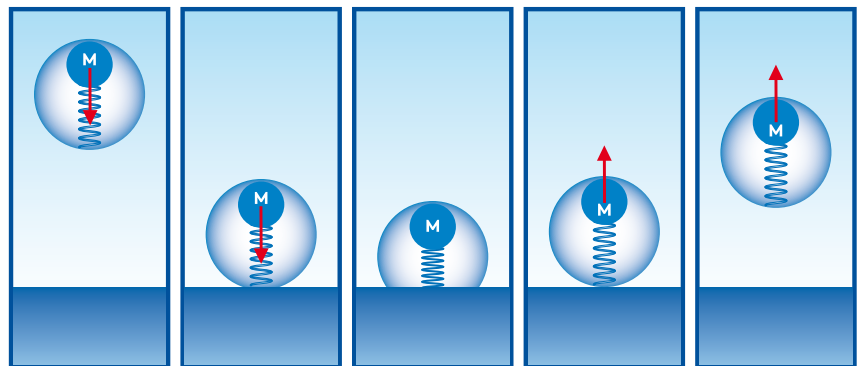
Ces frottements sur la superballe en mouvement dissipent de l'énergie (ils chauffent le sol et la balle !). On constate que

le coefficient de restitution horizontale, rapport entre les vitesses horizontales de la balle après et avant l'impact, est inférieur au coefficient de restitution verticale : d'un peu plus de 0,9, on descend à un peu moins de 0,8. L'écart est, somme toute, modeste.

Avec une balle pleine en caoutchouc, le coefficient mesuré est plutôt de l'ordre de 0,5. Et avec des balles en matériau plus dur, qui glissent davantage sur un sol lisse, par exemple une balle de golf ou une bille d'acier, le coefficient de restitution est encore plus faible.

Jusqu'à très récemment, on expliquait ces coefficients de restitution horizontale exclusivement en termes de coefficients de frottement : plus ce dernier est élevé, plus la balle accroche, et moins elle glisse, meilleur est le coefficient de restitution horizontale. Toutefois, pour une balle de caoutchouc creuse, qui présente donc le même coefficient de frottement que la balle pleine, le coefficient de restitution mesuré est égal à $-0,1$, c'est-à-dire bien plus faible et négatif ! Comment expliquer ce paradoxe ?

Il faut détailler davantage la phase d'impact. La balle se déforme notablement : elle est comprimée par la réaction verticale du sol, mais aussi cisailée par la force de frottement, horizontale (voir la figure à gauche). Ces déformations peuvent être élastiques et on peut alors assimiler les vibrations qui en résultent à celles d'un oscillateur harmonique, c'est-à-dire un ressort



ON PEUT ASSIMILER LA BALLE et son élasticité à une masse M attachée à un ressort.

Au moment de l'impact sur la surface, le ressort se comprime puis se détend, d'où le rebond. En cas d'impact oblique ou si la balle est en rotation, le cisaillement produit est assimilable à la compression d'un ressort horizontal. Dans une superballe, les périodes d'oscillation des deux ressorts sont voisines. La restitution de l'énergie cinétique au rebond est alors optimale.

attaché à une masse qui ne s'écarte pas trop de la position d'équilibre.

Au cours du choc, l'oscillateur harmonique équivalent aux déformations verticales vibre d'une demi-période (balle incidente non déformée à pleine vitesse, compression maximale et arrêt, rebond à pleine vitesse, voir la figure page précédente, en bas) et, idéalement, la balle retrouve l'intégralité de son énergie cinétique « verticale » incidente.

Dans le même temps, l'oscillateur harmonique équivalent aux déformations horizontales vibre... mais pas forcément avec la même période. Par conséquent, au moment du rebond, l'état de déformation de ce ressort peut être quelconque et une partie de l'énergie cinétique « horizontale » incidente peut rester stockée sous forme élastique. Relâchée d'un coup au décollage, cette énergie provoquera des vibrations de la balle en vol.

Ainsi, en règle générale, l'origine des pertes d'énergie pour le mouvement horizontal est double : frottement et transfert partiel d'énergie sous forme élastique. Il se trouve que dans une superballe, les deux périodes de vibration (horizontale et verticale) coïncident, par un heureux hasard. Il s'ensuit que la superballe rebondit sans emporter d'énergie élastique.

Pour une superballe creuse ou un ballon de basket, pourtant très élastiques, les deux périodes de vibration différent, ce qui fait qu'une partie de l'énergie cinétique reste stockée sous forme élastique lors du rebond. Il en résulte un coefficient de restitution horizontale réduit, si bien qu'il devient très difficile d'obtenir tous les étonnants rebonds de la superballe. Heureusement, en un sens : un superballon de basket serait probablement dangereux !

BIBLIOGRAPHIE

R. Cross, *Impact behavior of a superball*, *American Journal of Physics*, vol. 83, pp. 238-248, 2015.

R. Cross, *Behaviour of a bouncing ball*, *Physics Education*, vol. 50, pp. 335-341, 2015.

R. L. Garwin, *Kinematics of an ultraelastic rough ball*, *American Journal of Physics*, vol. 37, pp. 88-92, 1969.

Dans l'interêt de la science

mathieu vidard | la tête au carré 14:05-15:00

france inter
franceinter.fr