

> s'agissait d'un défi lancé par le physicien Jim Pantaleone, de l'université de l'Alaska à Anchorage. Prenez une carabine (c'est facile aux États-Unis...), placez-la bien verticalement sous un bloc parallélépipédique de bois posé sur un support, et tirez une balle. Est-ce que la hauteur à laquelle s'élève le bloc dépend de la position de l'impact ?

Non, répondra-t-on rapidement. Il s'agit d'un choc mou (la balle reste logée dans le bloc) et juste après le choc, la quantité de mouvement de l'ensemble balle + bloc est égale à la quantité de mouvement initiale de la balle (celle du bloc étant initialement nulle). Cette loi fondamentale permet de calculer sans ambiguïté la vitesse de l'ensemble après l'arrêt de la balle et donc la hauteur qui sera atteinte. Cette prédiction est d'ailleurs parfaitement vérifiée lorsqu'on tire au centre du bloc, ou légèrement à côté.

En revanche, au-delà d'une certaine distance du centre, plus l'impact est décentré, plus le bloc monte haut ! Comment expliquer ce fait ?

UN COUPLE QUI PROPULSE

Lorsque la balle pénètre dans le bois, elle est ralentie et, en vertu de la loi de l'action et de la réaction, pousse sur le bloc jusqu'à ce qu'elle s'y immobilise. La force (variable) qui en résulte met en mouvement le bloc et, plus précisément, accélère son centre de masse. Mais simultanément, cette force exerce un couple qui fait tourner le bloc sur lui-même.

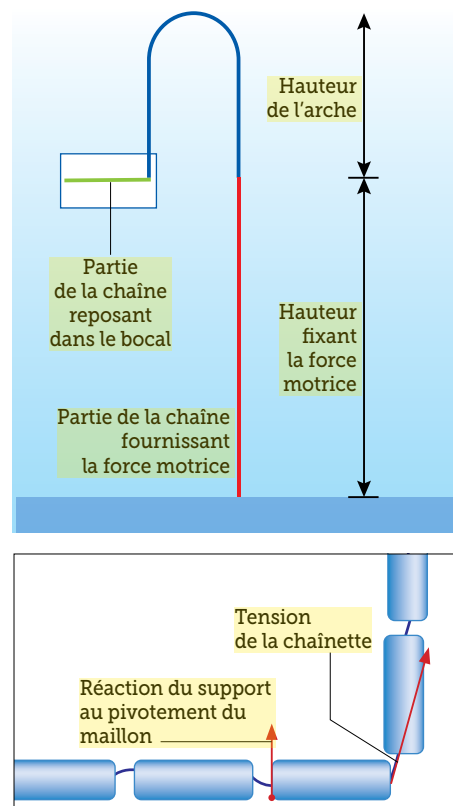
Si ce couple est faible, la rotation du bloc est suffisamment lente pour que la vitesse de l'arête du bloc située du côté opposé à l'impact et en contact avec le support soit verticale : le bloc décolle sans s'appuyer sur le support et monte à la hauteur donnée par la loi de conservation de la quantité de mouvement.

Au contraire, si le couple est important, la rotation induite est rapide et l'arête en question s'enfoncerait dans le support si celui-ci n'était rigide. En pratique, l'arête reste immobile et appuie fortement sur le support tandis que le bloc se met à pivoter autour de cette ligne de contact. Au cours de cette phase très brève, le bloc subit donc de la part du support une force importante, dirigée vers le haut, qui s'ajoute à la force due à l'impact de la balle.

Comme l'angle de rotation du bloc lors de cette phase est faible, les forces qui agissent sont presque verticales. Il s'ensuit que l'accélération du centre de masse est plus importante et le bloc monte donc plus haut qu'avec un impact

LA PROPULSION D'UN MAILLON

Le même effet qui produit un supplément de poussée pour un bloc posé sur un support (voir l'encadré page précédente) est à l'œuvre dans le phénomène de la chaîne-fontaine, où une chaînette semi-rigide se déverse hors d'un bocal. La principale force qui agit ici est la tension de la chaîne, due au poids de la partie suspendue entre le bocal et le sol (en rouge sur le schéma ci-contre). Cette tension est transmise jusqu'au premier segment ou maillon posé horizontalement dans le bocal. Ce maillon subit donc une force quasi verticale au niveau de son extrémité droite. Cela le fait pivoter, d'où une poussée supplémentaire vers le haut due à la réaction du support au niveau de son extrémité gauche.



de balle centré. Dans le cas d'un bloc peu épais, cette situation survient dès que l'on décentre le tir de plus de un sixième de la longueur de la pièce de bois.

Quel est le rapport avec la chaîne-fontaine ? Les deux ingrédients nécessaires à l'effet précédent, une force initiale décentrée et une rigidité suffisante pour assurer la rotation en bloc du solide posé, sont justement présents au niveau des segments de la chaînette.

C'est particulièrement flagrant avec la chaîne de macaronis : lorsqu'un segment s'apprête à quitter le fond du récipient, il subit à son extrémité, de la part du segment précédent, une force quasi verticale égale à la tension de la chaîne. Sa rotation, due au couple exercé, est entravée par le support, d'où une force supplémentaire qui agit sur son autre extrémité. Le segment acquiert donc une accélération et une vitesse supérieures à celles qu'il aurait acquises sous l'effet de la seule tension de la chaîne. Celle-ci peut ainsi s'élever et donner l'illusion d'une fontaine d'un nouveau genre.

Il existe d'autres phénomènes apparentés. Par exemple, une chaîne qui tombe sur une table verra sa vitesse de chute augmenter, et si l'on tire rapidement sur une chaîne à plat, une partie se redressera et présentera une ondulation caractéristique. Nos lecteurs en dénicheront-ils d'autres ? ■

BIBLIOGRAPHIE

J. Pantaleone et R. Smith, **A bullet-block experiment that explains the chain fountain**, *The Physics Teacher*, vol. 56, pp. 294-297, 2018.

J. Pantaleone, **A quantitative analysis of the chain fountain**, *American Journal of Physics*, vol. 85, pp. 414-421, 2017.

J. S. Biggins, **Growth and shape of a chain fountain**, *Europhysics Letters*, vol. 106, article 44001, 2014.

La vidéo de Steve Mould :
https://www.youtube.com/watch?v=_dQJBk1pQQ