

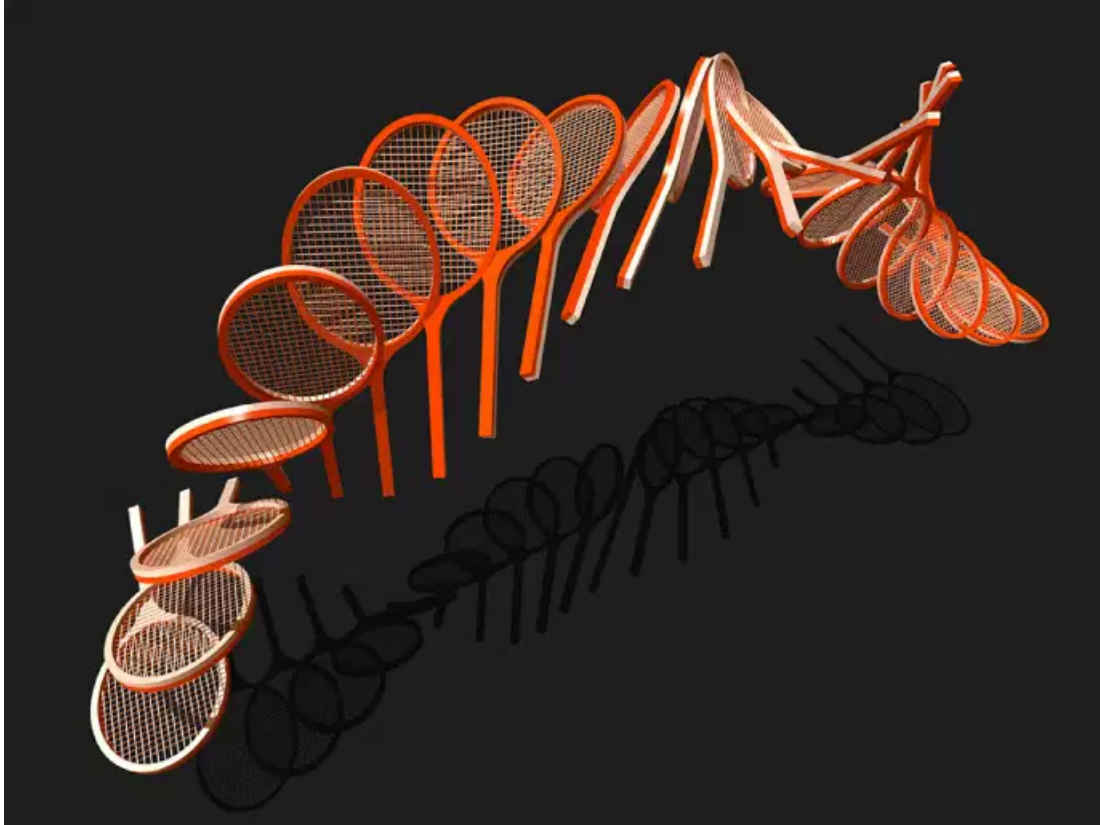
SCIENCES • PHYSIQUE

Pourquoi, en physique, le salto favorise la vrille

Inspirée par une figure de skate-board théoriquement impossible, une équipe française a décrypté l'effet Dzhanibekov, pour décrire des propriétés de rotation parfois surprenantes, en fonction des caractéristiques des objets.

Par David Larousserie • Publié aujourd'hui à 18h30

Article réservé aux abonnés



Lors d'une rotation en salto, une raquette de tennis effectue aussi une vrille.
D.Sugny/P.Mardesic

On ne défie pas les lois de la physique éternellement. Un exploit réputé impossible, réalisé en 2015 par le jeune skater américain Christopher Chann –1,4 million d'abonnés sur YouTube –, a enfin une explication, publiée le 6 août dans *Physical Review Letters* par une équipe de l'université de Bourgogne.

La figure exécutée par l'Américain a été baptisée « retournement monstre », ou *monster flip* en anglais, signe de sa difficulté. Elle consiste à sauter planche aux pieds, puis à faire faire un salto arrière au skate le long de l'axe qui passe par sa largeur, avant de retomber sur ses roues. Problème, un vieux théorème de mécanique interdit ce genre de prouesse : la planche exécute naturellement une vrille et retombe sur sa face supérieure, roues en l'air.

Cet effet est bien connu. Il illustre même des livres de mécanique de référence. Prenez une raquette de tennis par le manche, le tamis face en l'air. Faites sauter la raquette comme une crêpe et rattrapez le manche après un tour complet. Inévitablement c'est la face opposée du tamis qui est alors face à vous...



La figure exécutée par le jeune skater américain Christopher Channa, baptisée « retournement monstre », a enfin une explication, publiée le 6 août dans « Physical Review Letters » par une équipe de l'université de Bourgogne. Youtube

Plus spectaculaire, en 1985, Vladimir Dzhanibekov, un cosmonaute russe, dévisse, dans la station spatiale *Saliout 7*, un écrou papillon (avec deux « ailes ») qui sort du pas de vis, puis recule dans l'air (il n'y a pas de gravité). Soudain il se retourne, continuant son mouvement dans la même direction mais avec les ailes de papillon à l'opposé. Avant de se retourner à nouveau. Là encore, la rotation le long d'un axe impose un demi-tour autour d'un autre axe. L'effet, qui existe aussi pour un objet de type livre ou smartphone, porte désormais le nom de son découvreur.

Trois axes de rotation

« Dans un article précédent, en 2017, nous avons analysé le cas de la raquette de tennis. Puis nous sommes tombés sur une vidéo de vulgarisation de physique, de l'internaute *Physics Girl*, qui citait ce travail et l'appliquait au monster flip », rappelle Dominique Sugny, professeur à l'université de Bourgogne, à Dijon. Mais le skater de la vidéo « trichait » un peu, en contrôlant le mouvement avec son pied. « Ensuite, nous avons vu d'autres vidéos, comme celle de Christopher Chann, qui ne s'aide pas du pied. On a voulu l'expliquer. »

Tous les objets ne sont pas soumis à cette loi déroutante – un ballon fait des saltos sans vriller. La première condition est que l'objet possède trois axes de rotation, comme le roulis, le tangage et le lacet. Pour le skate, le premier est le long de la planche, le second est le long de l'axe médian qui « traverse » la planche, et le troisième est perpendiculaire à la planche. La vitesse des rotations autour de ces axes dépend de ce que l'on appelle les moments d'inertie, qui évaluent la résistance à une rotation. Pour une même énergie, la vitesse est d'autant plus grande que le moment d'inertie est faible : un patineur qui rassemble ses bras le long du corps tourne plus vite que s'il écarte ses bras.

La seconde condition est que les trois moments d'inertie de l'objet soient très différents, avec un « petit » (le premier, pour le roulis), un « grand » (le troisième, pour les lacets) et un « intermédiaire », le second, pour le tangage. C'est le cas pour le skate, une raquette... mais pas pour un stylo avec un capuchon, comme le rappellent Dominique Sugny et ses collègues dans l'article *Images des maths*.

Mis en équations, le mouvement d'un objet dit asymétrique avec ces trois moments d'inertie très différents fait apparaître une particularité : la rotation le long de l'axe « intermédiaire » est instable alors qu'elle est stable le long des deux autres axes. Une raquette continue de vriller même si on la perturbe un peu. En revanche, le long de l'axe médian, le salto est instable, et induit une vrille.

Contrôler des qubits

« Notre article quantifie mieux le phénomène, généralise les premiers résultats publiés en 2017 et permet d'expliquer d'autres cas que celui de la raquette », explique Pavao Mardesic, autre membre de l'équipe. Celle-ci a adopté une approche géométrique pour décrire le « paysage » dans lequel a lieu ce mouvement. L'objet, skate ou raquette, quand il tourne autour de l'axe intermédiaire, se trouve comme sur une ligne de crête étroite. Il en faut peu pour qu'il bascule dans la vallée voisine, ce qui équivaut à une rotation d'un demi-tour.

Mais alors pourquoi le *monster flip* est-il possible ? Simplement parce que la ligne de crête, pour être étroite, n'en est pas moins praticable, sans vriller. Les chercheurs ont ainsi quantifié les chances d'y arriver. Tout dépend des vitesses et angles initiaux, et des ratios entre moments d'inertie.

« Dommage que les fabricants ne communiquent pas les moments d'inertie de leur planche, car on pourrait vite savoir si c'est favorable ou pas au monster flip », regrette avec ironie Pavao Mardesic.

Ce travail ouvre la voie à un autre exploit : le mythique ordinateur quantique. Cette machine promet de calculer plus rapidement en manipulant non des bits d'informations 0 ou 1, mais des bits quantiques ou qubits, valant à la fois 0 et 1. « Il existe une analogie mathématique entre la rotation d'un objet classique et ces qubits, rappelle Hans-Rudolf Jauslin, de l'université de Bourgogne, qui n'a pas participé à ces travaux. Mes collègues apportent un point de vue nouveau pour contrôler ces qubits. » En effet, ces objets sont très fragiles, perdant vite leurs propriétés à cause de perturbations diverses. Alors si, comme pour la raquette, un type de rotation en induit une autre avec certitude, cela rendrait plus robustes les qubits. Une première expérience en 2017, avec l'université de Munich, a déjà contrôlé un seul qubit grâce à des champs électromagnétiques les faisant tourner. Reste à le faire avec plus de qubits. Plus simple qu'un *monster flip* ?

David Larousserie