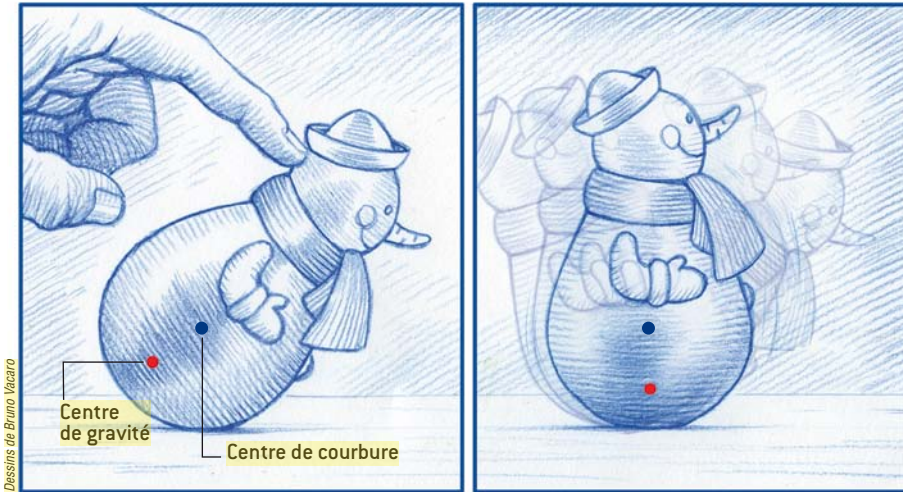




Dessins de Bruno Vacaro

LE CULBUTO est un objet de densité non homogène, construit de telle sorte que son centre de gravité (*en rouge*) soit bas, et au-dessous du centre de courbure de la partie roulante du jouet. Lorsqu'on incline le culbuto, le centre de gravité s'élève : si on lâche alors le culbuto, il revient à la position verticale en oscillant de part et d'autre de cette dernière, qui est une position d'équilibre stable.

LES AUTEURS



Jean-Michel COURTJY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'université Pierre-et-Marie Curie, à Paris.
Leur blog : <http://blog.idphys.fr>

la figure page 89). Il s'agit d'une planchette percée d'un trou. Si vous tentez de la poser sur sa tranche la plus petite, qui est taillée de biais, elle bascule, car la projection de son centre de gravité est hors de la surface de contact. En revanche, en enfonçant le goulot d'une bouteille dans la perce, vous pouvez ajuster la position du centre de gravité de l'ensemble bouteille/porte-bouteille de telle façon qu'il soit situé à la verticale de la tranche en contact avec le support. La bouteille semble alors suspendue comme par magie.

Avec le polygone de sustentation, l'équilibre d'un objet plat ou à pattes est donc relativement simple à analyser. Qu'en est-il des objets ronds, qui n'ont qu'un seul point de contact avec le plan qui les supporte ? Pour que le couple exercé par le poids et la réaction soit nul, le centre de masse doit se trouver à la verticale du point de contact. Mais si l'on pense à un crayon en équilibre sur sa pointe, on comprend que ce n'est pas suffisant : l'équilibre que nous pouvons trouver avec patience est instable. Dès que l'on s'écarte légèrement de la position d'équilibre, le basculement est immédiat.

Pour déterminer facilement la stabilité ou instabilité de l'équilibre, il suffit de déterminer ce que devient la position du centre de gravité lorsqu'on fait bouger légèrement l'objet. Si le centre de gravité s'élève, c'est que notre action revient à

soulever l'objet. Dès que cette action cesse, il retombe dans sa position basse : l'équilibre est alors stable. Si, au contraire, le centre de gravité s'abaisse, notre action revient à faire descendre l'objet, et il ne remontera pas de lui-même : l'équilibre est instable.

Le culbuto, un rêve de tortue

Bien souvent, la stabilité est obtenue lorsque l'objet n'est pas homogène et que sa masse est concentrée près du point de contact avec le sol, comme dans le culbuto (*voir la figure ci-contre*). Ce jouet d'enfant sous forme de personnage se caractérise par une assise (généralement une demi-sphère) assez large et lestée, surmontée par un corps creux qui s'affine. Son centre de gravité est ainsi très bas, et il s'élève lorsqu'on incline le culbuto, même fortement. Aussi, quand on le lâche à partir d'une position inclinée, le culbuto se redresse et oscille avant de s'immobiliser tout droit.

Cette stabilité, qui porte ici sur un seul point de contact, serait avantageuse pour certains animaux – notamment les tortues et les coléoptères, animaux à carapace que les circonstances conduisent parfois à finir sur le dos, pattes en l'air. Si cette position inconfortable et, à terme, mortelle était trop stable, il leur serait impossible de se redresser en contorsionnant leurs pattes et leur cou. L'idéal ne serait-il pas que les positions d'équilibre sur le dos soient toutes instables et que la position sur le ventre soit stable, c'est-à-dire que l'animal soit une sorte de culbuto vivant ?

La tortue est approximativement de symétrie cylindrique (les coupes de sa carapace le long de son axe longitudinal qui va de la tête à la queue sont grossièrement identiques, en dehors de ses extrémités). Contrairement au culbuto, le reptile est à peu près homogène (on estime négligeables les variations de densité entre chair, carapace et os). Peut-on alors avoir une seule position d'équilibre stable ? En 1995, le mathématicien russe Vladimir Arnold a répondu à la question par la négative : un objet homogène



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

à symétrie cylindrique a au minimum deux positions d'équilibre stable !

Que se passe-t-il si l'on oublie la symétrie cylindrique ? Les mathématiciens ont, à ce jour, apporté deux types de réponses à cette question. D'une part, le Britannique John Conway et ses collègues ont montré en 1969 qu'un polyèdre homogène doit avoir au minimum 19 facettes pour être « monostatique » (stable sur une seule facette) : cela signifie que pour 18 de ses facettes de contact possibles, la projection de son centre de gravité est en dehors du polygone de sustentation et qu'il va basculer d'une facette à l'autre jusqu'à atteindre la facette stable (voir la figure page 89, en bas).

D'autre part, deux chercheurs hongrois, Gábor Domokos et Péter Várkonyi, ont démontré en 2006 l'existence de solides homogènes

ayant une seule position d'équilibre stable sur un point de contact unique. Tel est le cas de leur « gömböc », (terme dérivé de *gömb*, qui signifie sphère en hongrois) construit par impression 3D l'année suivante et qui a acquis une belle renommée.

La gömböc est un objet délicat à fabriquer tant le moindre petit défaut est susceptible de se transformer en point d'équilibre stable. Cela explique sans doute pourquoi on ne trouve pas exactement ces formes dans la nature, même si l'on peut noter une forte ressemblance avec certaines carapaces, en particulier celle de la tortue étoilée d'Inde. Probablement en raison de cette similarité, les autres positions d'équilibre différentes de la position ventrale peuvent être facilement déséquilibrées. Pas tout à fait un culbuto, mais presque. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

G. Domokos et P. L. Várkonyi, **Geometry and self-righting of turtles**, *Proceedings of the Royal Society B*, vol. 275, pp. 11-17, 2008.

P. L. Várkonyi et G. Domokos, **Mono-monostatic bodies: The answer to Arnold's question**, *The Mathematical Intelligencer*, vol. 28(4), pp. 34-38, 2006.

CONFÉRENCES • ATELIERS • VISITES

ENTRE CIEL
ET MER

LA ROCHELLE
DU 27 AU 30 OCTOBRE 2015

63^e
CONGRÈS
NATIONAL

UNION DES PROFESSEURS
DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE

Informations : www.udppc.asso.fr

Avec la participation de

Jean DALIBARD

Les atomes froids :
un outil pour explorer le monde quantique

Serge DOUADY

Danse et chant des dunes

Serge ABITEBOUL

Des données à l'information
et aux connaissances : le Web de demain

Jean-Pierre LUMINET

Un siècle de Relativité Générale

Anny CAZENAVE

Océans, glaces, niveau de la mer et climat :
apport de l'observation spatiale

Etienne KLEIN

Ettore Majorana :
la résurrection d'un jeune physicien

et **25 autres conférenciers**