

DOSSIER POUR LA SCIENCE

POMPÉI, CITÉ DES PLAISIRS

Fresques, accessoires,
graffitis... révèlent une
sexualité différente
de la nôtre



Actuellement
en kiosque

DOSSIER POUR LA SCIENCE - SOCIOLOGIE - ÉCONOMIE - ART DE VIVRE - ARCHÉOLOGIE

ROME

une civilisation
qui se pensait
éternelle



M 01930 68 F 7.50 € RD

ARCHÉOLOGIE D'UN EFFONDREMENT

Le rôle des inégalités, des déficits
commerciaux et des épidémies
dans la chute de l'Empire romain.

N° 88 Juillet-Septembre 2015

pouirlascience.fr

Belgique : 8,90€ - Canada : 12,50\$ CA - États-Unis : 12,50\$ - France : 7,50€ - Allemagne : 8,90€ - Espagne : 9,90€ - Italie : 9,90€ - Japon : 12,50\$ - Royaume-Uni : 7,50£ - Suisse : 12,50\$ - Autriche : 9,90€ - Danemark : 12,50\$ - Grèce : 9,90€ - Hongrie : 9,90€ - Irlande : 9,90€ - Israël : 12,50\$ - Mexique : 12,50\$ - Pays-Bas : 9,90€ - Pologne : 9,90€ - Portugal : 9,90€ - République tchèque : 9,90€ - Roumanie : 9,90€ - Royaume-Uni : 7,50£ - Suède : 12,50\$ - Suisse : 12,50\$ - Taiwan : 12,50\$ - Turquie : 9,90€ - États-Unis : 12,50\$ - Venezuela : 12,50\$

n°88 - 120 pages - prix de vente : 7.50 €

www.pouirlascience.fr

Le site de référence de l'actualité scientifique internationale

IDÉES DE PHYSIQUE

Le culbuto, la gömböc et la tortue

Retrouver son équilibre aussi facilement qu'un culbuto ? Ce serait l'idéal pour les tortues, dont certaines ont une carapace de forme avantageuse, proche de la gömböc.

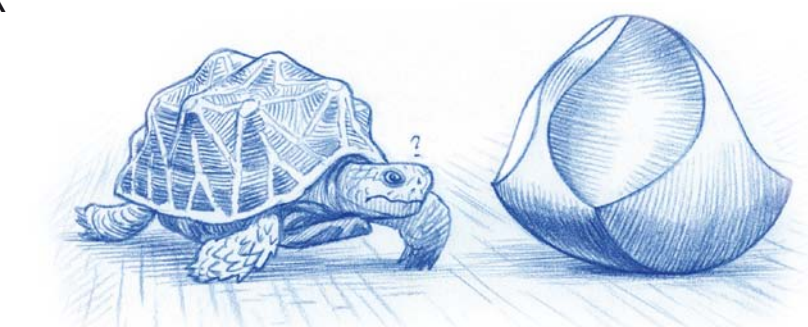
Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Posés sur le dos, de nombreux animaux à carapace, insectes ou tortues, ont toutes les peines du monde à se redresser sur leurs pattes. Ce n'est pas le cas de la tortue étoilée d'Inde (*Geochelone elegans*), qui se redresse sans trop d'effort grâce à la forme particulière de sa carapace. Elle ressemble à la gömböc, un objet remarquable construit par deux scientifiques hongrois en 2007 : il a la particularité d'être de densité homogène et de n'avoir qu'une seule position d'équilibre stable lorsqu'il est placé sur un plan horizontal (voir la figure ci-dessus). Cet objet fascinant, popularisé notamment par le mathématicien Cédric Villani, nous permet de (re)découvrir avec un œil neuf les lois de l'équilibre.

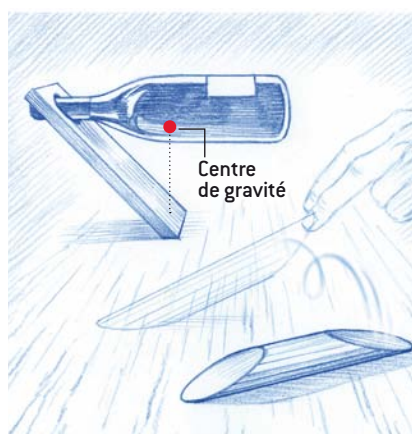
Trouver son équilibre... et le garder

Lorsque nous cherchons à tenir debout sur un seul pied, nous sentons bien ce que signifie « être à l'équilibre » : c'est rester immobile sans basculer. À cette fin, l'ensemble des forces qui s'exercent sur le corps doivent se compenser, et il doit en être de même pour l'ensemble des moments associés à ces forces (le moment d'une force par rapport à un point est, en grandeur, le produit de l'intensité de la force par la distance entre le point et la droite qui porte la force).

La situation est ici simple à analyser, car seules deux forces entrent en jeu : le poids



LA PARTICULARITÉ DE LA GÖMBÖC est d'être un solide homogène qui, posé sur un plan horizontal, n'a qu'une seule position d'équilibre stable. La carapace de la tortue étoilée d'Inde a une forme similaire, ce qui est un avantage lorsque l'animal se retrouve sur le dos : il parvient à se redresser sans trop d'efforts.



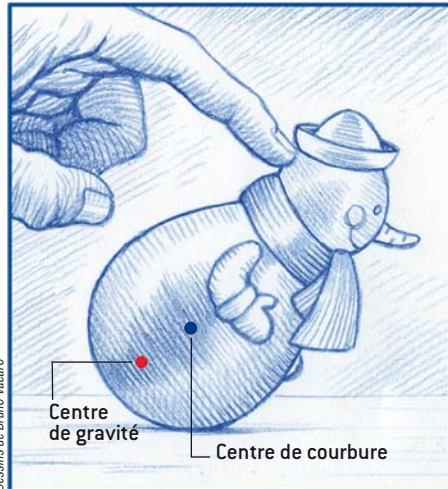
LE PORTE-BOUTEILLE ne peut pas tenir tout seul en équilibre dans cette position. En revanche, avec la bouteille enfoncée de façon appropriée, l'ensemble est en équilibre : le centre de gravité du système se trouve au-dessus du « polygone de sustentation » défini par les points de contact avec le support. Quant au polyèdre représenté, il est homogène et ne peut reposer en équilibre que sur une face bien déterminée. Les mathématiciens ont prouvé que le nombre minimal de faces pour que cette propriété soit vérifiée est 19.

et la réaction du sol. Les forces de gravité s'exercent sur l'ensemble des parties de notre corps, mais tout se passe comme si leur somme, c'est-à-dire le poids, s'appliquait en un point unique : le centre de gravité (ou centre de masse).

Quant à la réaction du sol, elle est la résultante de toutes les petites forces verticales que le sol exerce sur notre semelle, et son point d'application est le barycentre de tous ces points de contact, chacun pondéré par l'intensité de la force qui s'y exerce. Il se situe donc dans le « polygone de sustentation », la plus petite surface convexe du plan qui contient tous les points de contact avec le sol.

Pour que nous ne basculions pas, il faut que le couple (moment dû à deux forces de même intensité) créé par le poids et la réaction du sol soit nul. Ces deux forces opposées doivent donc être alignées, c'est-à-dire que le poids doit être à la verticale du point d'application de la réaction du sol. Si ce n'est pas le cas, nous perdons l'équilibre et basculons.

Une illustration saisissante de ce principe est le « porte-bouteille magique » (voir



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 COURT Y 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.

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**

QUESTION AUX EXPERTS

L'argent fait-il le bonheur ?

Le bonheur augmente avec la richesse, mais seulement jusqu'à un certain seuil. Au-delà, on ne constate plus d'effet global : tout dépend de la façon d'utiliser son argent.

Rébecca SHANKLAND



« **S**i l'argent ne fait pas le bonheur, rendez-le », conseillait l'écrivain français Jules Renard. Alors, pour être heureux, faut-il refuser son salaire ou dilapider son héritage ? Ce n'est pas aussi simple. Les études indiquent que dans une certaine mesure, le bonheur dépend de l'argent.

On le quantifie en demandant aux personnes sondées d'évaluer leur vie sur une échelle de 1 (« la pire possible ») à 10 (« la meilleure possible »). Ainsi, les habitants des pays riches se déclarent en moyenne plus heureux que ceux des pays pauvres. Et dans un même pays, plus le revenu augmente, plus le sentiment de bonheur est élevé... jusqu'à un certain seuil.

Edward Diener, de l'université de l'Illinois, a montré qu'une fois le seuil de pauvreté dépassé (un peu moins de 1 000 euros par mois en France aujourd'hui), le bonheur augmente bien moins vite avec la richesse. La psychologue canadienne Lara Aknin et ses collègues ont estimé cette augmentation à environ 9 % pour un doublement des revenus. Au-delà d'une certaine richesse (environ 5 500 euros par mois d'après une étude américaine), il n'y a plus aucun effet.

Inutile, donc, d'espérer le nirvana en jouant au loto : une victoire vous procurerait une décharge d'émotions positives, mais votre niveau de bonheur reviendrait à la normale après quelques mois, selon des résultats obtenus par le psychologue américain Philip Brickman et ses collaborateurs. De

même, à l'échelle des sociétés, on constate que le niveau de bonheur moyen stagne depuis les années 1970 dans les pays développés, tandis que le PIB a beaucoup progressé. C'est ce qu'on appelle le paradoxe d'Easterlin. Comment l'expliquer ?

Le responsable serait un phénomène qualifié d'adaptation hédonique. La richesse semble réduire la capacité à savourer, car les choses devenant plus accessibles, on y accorde moins d'attention et de valeur ; *in fine*, on doit en avoir plus pour un même plaisir. En outre, le bonheur dépend de l'écart entre ses attentes et ses réalisations effectives... et la richesse pousse à réévaluer ses attentes à la hausse ! Jordi Quoidbach, de l'université Pompeu Fabra, et ses collègues ont ainsi montré que des vacanciers perdent le goût des destinations ordinaires après avoir effectué des voyages plus exotiques.

L'effet de la comparaison

Le niveau de bonheur n'augmente donc pas indéfiniment avec la richesse. Une fois satisfaits les besoins essentiels, ce qui importe n'est pas tant la quantité d'argent que la façon dont on l'utilise et... le fait d'en gagner plus que son voisin ! Dans une étude réalisée en 1998, Sara Solnick, de l'université de Miami, et son collègue ont demandé à des étudiants s'ils préféreraient gagner 50 000 dollars par an tandis que la population gagnerait en moyenne deux fois moins, ou 100 000 dollars alors que le revenu moyen serait deux fois et demie

plus élevé. La plupart des étudiants ont choisi la première option.

Comment bien dépenser pour être heureux ? Selon plusieurs études, l'acquisition de biens matériels n'est pas la panacée. Il est plus profitable de vivre de nouvelles expériences et de satisfaire les « besoins psychologiques fondamentaux » décrits par Edward Deci et Richard Ryan, de l'université de Rochester. Ces besoins sont les sentiments de compétence (qu'on peut augmenter par exemple en apprenant à jouer d'un instrument de musique), d'autonomie (se sentir maître de son destin) et de connexion sociale. Dans une expérience menée en 2008, Elizabeth Dunn, de l'université de la Colombie-Britannique, et ses collègues ont donné quelques dollars à dépenser aux participants, soit pour eux-mêmes soit pour autrui. Ceux qui se sont montrés altruistes ont ensuite rapporté un niveau de bonheur plus élevé.

À partir d'un certain seuil, mieux vaut donc modifier la façon de dépenser son argent que de tenter d'en gagner davantage. En particulier, l'utiliser avec altruisme permet d'augmenter durablement son niveau de bonheur, qui sera encore accru par un effet de contagion émotionnelle : plus ceux que vous côtoyez seront heureux, plus vous aurez de chances de l'être à votre tour. ■

Rébecca SHANKLAND est maître de conférences en psychologie à l'université Grenoble Alpes. Elle est auteure de La psychologie positive (Dunod, 2014).