

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).

Complétez votre collection!



Retrouvez tous les numéros depuis 1996 !

Commandez vos numéros sur
www.pourlascience.fr

POUR LA
SCIENCE | ARCHIVES



Flashez ce QR code
 et accédez
 directement à
 toutes les archives !

SCIENCE & GASTRONOMIE

Légumes artificiels à foison

En jouant avec des gels et des liquides, on peut produire des fruits ou légumes artificiels bien plus vite que par des cultures in vitro.

Hervé THIS



Des oranges artificielles ? Ce furent, en 2001, les « conglo-mèles ». Aujourd'hui, on sait obtenir mieux : des tissus végétaux artificiels dont les compartiments contiennent, au choix, un gel ou un liquide.

Commençons par observer une orange : sans entrer dans les détails de sa structure, il y a la peau, qui protège l'ensemble des « poils endocarpiques » emplis de jus. L'utilisation d'alginate de sodium, un gélifiant extrait d'algues, permet de reproduire ces derniers : soit on dissout du lactate de calcium dans du jus d'orange et on laisse tomber des gouttes de ce liquide dans une solution d'alginate de sodium, soit on dissout de l'alginate de sodium dans le jus d'orange et on dépose des gouttes de ce liquide dans une solution de lactate de calcium.

Dans les deux cas, une peau gélifiée se forme, les ions calcium Ca^{2+} venant ponter les molécules d'alginate, ce qui forme une mince couche de gel à la surface des gouttes. La conglo-mèle s'obtient alors simplement en déposant les perles formées dans un bol, puis en versant une solution de gélatine, qui les solidarise. Avec deux demi-sphères recollées, on forme une sphère, puis on peut, si l'on veut, ajouter une « peau d'orange » en trempant la sphère refroidie dans une solution de gélatine colorée en orange (avec du bêta-carotène, pigment des carottes et vendu sous le code E160a) à la limite de la prise.

On le voit, cette reproduction n'est guère difficile, mais qu'en est-il pour les tissus végétaux formés de cellules dont la taille est de

l'ordre du micromètre ? La technique des perles évoquée plus haut n'est pas utilisable, car les perles ont un diamètre limité par la taille de gouttes que l'on peut produire. Une autre technique consiste à diviser finement un matériau gélifié, puis à solidariser les « particules » formées.

Par exemple, si l'on part de jus d'orange que l'on fait prendre en gel à l'aide d'agar-agar (un polysaccharide, cousin de l'amidon, donc, mais extrait des algues) et si l'on passe le gel dans un moulin électrique, on produira des particules de gel que l'on pourra ensuite solidariser à l'aide d'un gélifiant différent (par exemple une solution de gélatine), afin de former une dispersion de microgels dans un gel. Dans ce système, la gélatine reproduit la paroi végétale, et l'agar-agar reproduit la gélification du cytosol, le liquide à l'intérieur des cellules.

Voudrait-on une reproduction de paroi plus réaliste, avec de la cellulose ? Utilisons alors une centrifugeuse de cuisine, pour y mettre des carottes, par exemple. Le résidu de centrifugation, souvent jeté, est fait de cellulose quasi pure, que l'on peut laver, puis sécher, avant de l'incorporer à la préparation que l'on fait gélifier.

On préférerait un pseudo-cytosol liquide, et non gélifié ? Une première solution consiste à emplir de liquide un matériau poreux. Pensons au baba au rhum : selon le type de « gâteau » ou de « pain », on peut obtenir soit des porosités connectées, soit des porosités isolées. Pour le baba, l'existence d'un réseau connecté permet au rhum de se répartir dans tout le gâteau.

Toutefois, cette solution reproduit mal le tissu végétal, où les cellules communiquent peu : il vaut mieux les reproduire par des poches de liquide. On les obtient, par exemple, en commençant par faire un gel de gélatine. Mixons-le, afin d'obtenir de petits fragments de gel qu'on solidarise ensuite à l'aide d'un gélifiant qui ne soit pas une protéine et d'un liquide contenant du jus d'ananas frais. Une fois la gélification faite, l'enzyme du jus d'ananas, la broméline, diffusera vers le gel de gélatine et dégradera son réseau solide. Des poches liquides se formeront alors dans la matrice solide.

Et c'est ainsi que d'innombrables solutions se présentent à qui veut faire des fruits ou des légumes artificiels, dont la consistance rappellera celle des végétaux, mais dont le goût sera exactement celui qu'on aura décidé d'avoir, soit parce que l'on aura dissous des solutés dans l'eau qui forme les divers gels, soit parce que l'on aura émulsionné de la matière grasse, où seront dissous des composés odorants. ■



Hervé THIS, physico-chimiste, est directeur du Centre international de gastronomie moléculaire AgroParisTech-Inra et directeur scientifique de la Fondation science & culture alimentaire (Académie des sciences).



Retrouvez la rubrique
Science & gastronomie sur
www.pourlascience.fr