

## 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.

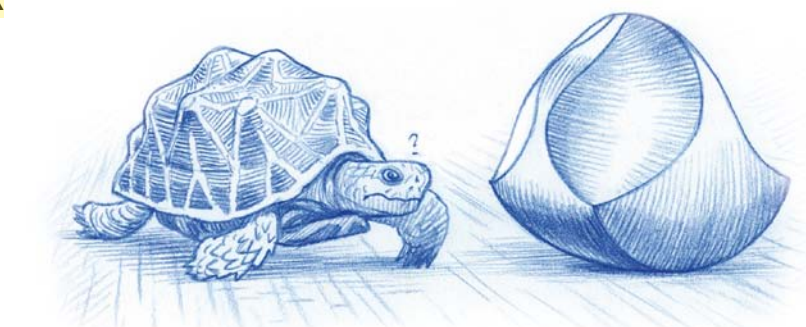
Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

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