

## Science et objets tournants

# Les acrobaties d'un œuf

Mis en rotation telle une toupie, un œuf cru tourne péniblement, son mouvement faiblit et s'arrête rapidement. Quant à un œuf dur, il part dans une rotation effrénée et plus longue. Avec un coup de poignet vigoureux, il se redresse sur l'une de ses pointes et accélère telle une patineuse artistique étirant ses bras au-dessus de sa tête. Comment fait-il ?

PAR HASSAN KHLIFI, RESPONSABLE ADJOINT DE L'UNITÉ DE PHYSIQUE DU PALAIS DE LA DÉCOUVERTE

Comment savoir si un œuf est dur ou cru ? Pour démasquer un œuf dur, il existe plusieurs expériences amusantes, dont l'une a intrigué de grands physiciens tels les prix Nobel Wolfgang Pauli (1900-1958) et Niels Bohr (1885-1962) ! Le secret se cache derrière un phénomène physique contre-intuitif et en apparence paradoxal : l'*effet gyroscopique*.

### ŒUF CRU OU DUR, FAITES TOURNER !

Sur une surface ni trop lisse ni trop rugueuse, couchez un œuf cru à plat et faites-le tourner. Ce dernier tourne d'une manière peu stable, lentement et s'arrête assez rapidement. Si vous touchez brièvement l'œuf lors de sa rotation, elle cesse puis reprend quelques instants. Répétez la même expérience avec un œuf dur. La rotation de ce dernier est plus rapide et dure nettement plus longtemps.

Si vous touchez l'œuf avec la main, il s'arrête net et ne reprend plus sa rotation, contrairement à l'œuf cru.

Si vous parvenez à imprimer une vitesse de rotation d'environ une dizaine de tours par seconde à l'œuf dur, vous le verrez se redresser progressivement sur l'une de ses pointes, mouvement accompagné d'une augmentation de sa vitesse de rotation (conservation du moment cinétique). Cette expérience demande un bon coup de poignet, ainsi qu'un peu de patience et d'exercice sur un support adéquat (fig. 1).

### EXPLICATION

L'intérieur d'un œuf cru est liquide ; il n'est pas entraîné totalement et de manière homogène lors de la mise en rotation de la coquille solide qui le contient. En effet, lorsque l'œuf cru

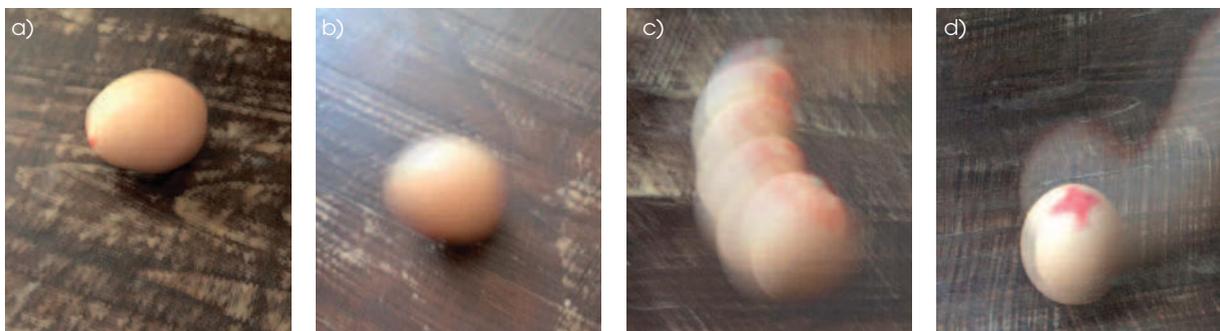
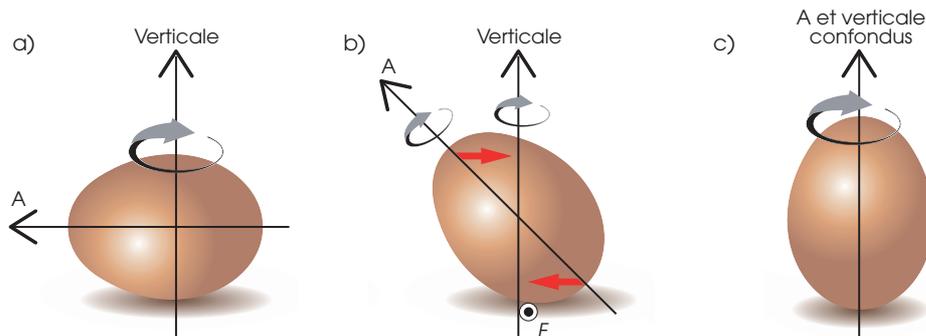


Figure 1. a) L'axe de symétrie de l'œuf dur se lève légèrement. b) L'œuf glisse, se redresse un peu et commence à tourner autour de son axe de symétrie. c) Il continue à glisser et se redresse complètement. d) Il tourne autour de son axe de symétrie sur l'un de ses sommets (marqués en rouge). © O. Béourtare / service graphisme du Palais de la découverte / Universcience.



**Figure 2.** a) L'œuf tourne à l'horizontale sur un unique point de contact avec le support décrivant un cercle. b) La force de frottement, pointant vers le lecteur, fait apparaître un couple qui fait tourner l'axe de symétrie A autour de F. L'œuf tourne et entame alors une seconde rotation autour de A, tout en continuant à tourner suivant la verticale. c) La vitesse de rotation autour de la verticale diminue pendant que celle autour de l'axe de symétrie augmente, jusqu'à la confusion des deux axes suivant la verticale. © H. Khlifi.

tourne, sa partie solide entraîne celle liquide par frottements, par couches successives de la périphérie vers le centre. Une partie de l'énergie transmise à l'œuf pour le faire tourner est dissipée sous forme de chaleur, sa rotation est donc plus faible. Lorsqu'on le touche brièvement avec la main pour l'arrêter, le liquide qui se trouve à l'intérieur continue à tourner par inertie et entraîne ainsi à son tour la coquille solide. L'œuf reprend alors son mouvement.

L'intérieur d'un œuf dur est quant à lui solide et solidaire de sa coque. L'énergie qui lui est communiquée est utilisée presque intégralement pour sa mise en mouvement, d'où une rotation stable, rapide et plus longue.

#### POURQUOI L'ŒUF SE REDRESSE-T-IL ?

Lors de sa rotation, l'œuf glisse également avec des frottements qui sont responsables d'un effet dit *gyroscopique*, à l'origine du basculement de l'œuf et de son redressement sur l'une de ses pointes. Deux mathématiciens, le Britannique Keith Moffatt et le Japonais Yutaka Shimomura, ont modélisé le phénomène sur un sphéroïde – résultats

publiés dans la revue *Nature* en 2002. Ils ont montré que lorsque l'œuf entre en rotation, il ne possède qu'un seul point de contact avec le support, dont la trajectoire décrit un cercle. Si la surface du support n'est ni trop lisse ni trop rugueuse, l'œuf glisse avec frottement en même temps qu'il tourne. Ces forces de frottement ralentissent l'œuf et le déstabilisent, si bien que, par asymétrie, le sommet le plus pointu se redresse au détriment de l'autre. C'est à ce moment-là que l'effet gyroscopique entre en jeu. Un couple (force qui fait tourner) apparaît et fait pivoter l'œuf autour de la direction du frottement F (fig. 2) pour le redresser à la verticale. Cette rotation lente de l'axe de symétrie qui redresse l'œuf s'appelle la *précession*.

C'est grâce à la précession qu'une toupie en rotation entrant en collision avec un obstacle fait tourner son axe de symétrie autour de la direction de la force qui tente de la faire tomber. Cette force correspond au poids de la toupie dirigé suivant la verticale. La toupie finit par chuter sous l'action de ce dernier lorsque la vitesse de rotation devient trop faible. **H. K.**