

vers l'intérieur; réciproquement, en vertu de la loi de l'action et de la réaction, elle exerce sur la roue une force centrifuge, c'est-à-dire dirigée vers l'extérieur.

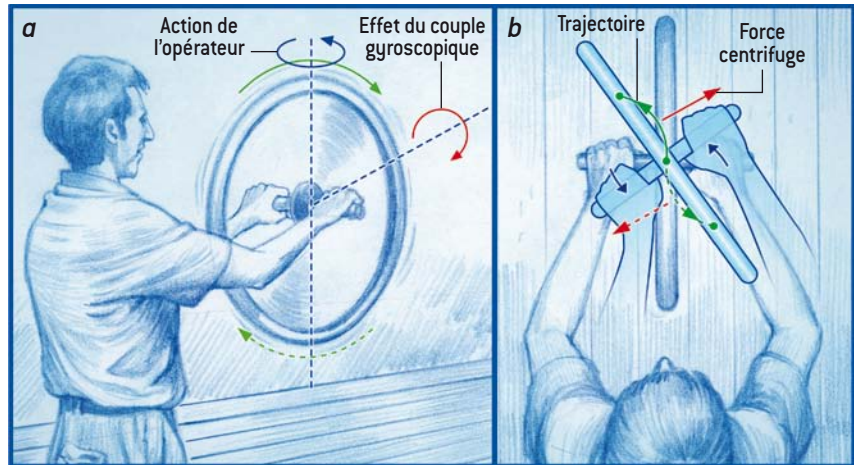
Qu'en est-il lorsque nous tournons lentement la roue vers la gauche? La trajectoire de la punaise n'est plus un cercle parfait: quand la punaise est en haut, sa trajectoire s'incurve vers la gauche. Cela signifie qu'à son accélération centripète vient s'ajouter une accélération vers la gauche. Il en résulte une force supplémentaire, exercée par la punaise sur la roue et dirigée vers la droite. Lorsque la punaise est en bas et qu'elle se rapproche de nous, sa trajectoire s'incurve cette fois vers la droite, d'où une force supplémentaire sur la roue dirigée vers la gauche, mais de même intensité que la précédente.

Si la punaise nous a aidés à visualiser le mouvement, les conclusions qui précèdent s'appliquent aussi à un morceau de pneu situé en haut ou en bas de la roue; et en raison du caractère solide du matériau, ces forces nouvelles viennent s'appliquer sur la jante.

Pour les autres morceaux du pneu, il est plus difficile de visualiser les trajectoires, mais le calcul montre que chaque morceau de pneu exerce sur la jante une force dirigée vers la droite dans la moitié supérieure de la roue, et vers la gauche dans la partie inférieure. Globalement, ces forces se compensent, mais elles créent un couple qui tend à faire basculer le plan de la roue vers la droite. Ce couple gyroscopique est perpendiculaire à la fois à l'axe de rotation rapide et à l'axe de la rotation imprimée par nos mains à la roue.

Stabilité gyroscopique grâce à la précession

C'est ce couple gyroscopique qui stabilise une toupie, grâce à un mécanisme particulier. Habituellement, pour maintenir un objet dans une certaine position, nous exerçons une force opposée à son déplacement afin de le ramener vers sa position initiale. Mais ce n'est pas la seule solution possible. Si l'on vous pousse dans le dos, plutôt que de résister, vous pouvez esquiver en continuant à avancer, mais en tournant vers

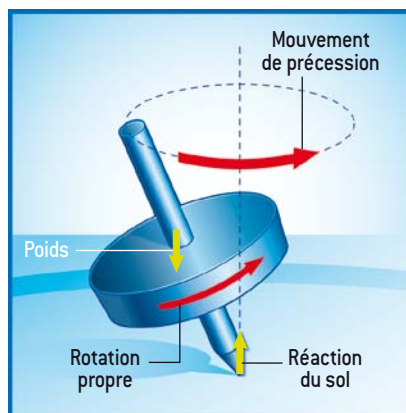


2. QUAND ON ESSAIE DE FAIRE PIVOTER LA ROUE, en rotation rapide, vers la gauche, une résistance apparaît et la roue tend à s'incliner vers la droite (a). C'est l'effet du couple gyroscopique (b): la trajectoire des points de la roue (en vert; seuls les points haut et bas sont illustrés) n'étant plus circulaire, des forces centrifuges supplémentaires apparaissent, dont l'effet global est un couple qui tend à incliner la roue.

la gauche. Vous allez alors effectuer un cercle et revenir à votre position initiale, sans jamais vous être opposé à la force qui vous meut.

C'est exactement le cas pour les toupies. Lorsqu'on cherche à déstabiliser une toupie verticale, son sommet décrit un cercle autour de la verticale, un cercle d'autant plus petit que la rotation de la toupie est rapide. Lorsque le facteur déstabilisant est le poids (c'est le cas lorsque la toupie est lâchée en étant inclinée), l'effet est le même. Au lieu de tomber, l'axe de la toupie se met à tourner autour de la verticale: c'est le mouvement de précession. La rotation et la précession de la toupie créent un couple gyroscopique qui compense le couple dû au poids. Autrement dit, la toupie n'échappe pas au poids, mais elle réussit en quelque sorte à l'esquiver.

Qu'en est-il alors des toupies de combat qui passionnent tant les enfants? L'arène dans laquelle elles évoluent est une sorte de grand bol. Pour tenter de gagner, il est possible de modifier les caractéristiques de la toupie: la forme de la pointe, la couronne qui entre en contact avec les toupies adverses ou la masse centrale qui, avec la couronne, détermine l'inertie de la toupie (cette dernière est d'autant plus élevée qu'on éloigne la masse de l'axe de rotation).



3. UNE TOUPIE LÉGÈREMENT INCLINÉE ne tombe pas: le couple gyroscopique, créé par la rotation rapide et le mouvement de précession, compense le couple dû au poids et à la réaction du sol.

■ BIBLIOGRAPHIE

L'explication classique du couple gyroscopique fait appel à la conservation du moment cinétique. Voir par exemple : E. Hecht, *Physique* [chapitre « Mouvement de rotation »], de Boeck, 1999.



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

Pour tourner le plus longtemps possible, les joueurs utilisent des toupies d'endurance. Leurs pointes sont en forme de cône, très pointu, afin de réduire au minimum le frottement avec le support.

La stratégie d'endurance n'est cependant pas infaillible. Les toupies d'attaque, en cognant les toupies, peuvent les éjecter de l'arène ou les faire tomber en les déstabilisant. Pour créer des chocs violents, la base d'une toupie d'attaque est plate. Ainsi, puisque l'arène n'est pas plane, le contact de la base sur le support est un cercle qui agit comme une roue et anime la toupie de déplacements rapides. En outre, la couronne d'une telle toupie est crantée et très irrégulière, de façon à ajouter au choc le mouvement de ces aspérités dû à la rotation de la toupie sur elle-même.

Pour ne pas voir son jouet éjecté ou déstabilisé par une collision avec une toupie

d'attaque, on peut opter pour une toupie de défense. Elle est plus massive pour ne pas être éjectée, sa couronne est lisse pour ne pas accrocher, et surtout sa base est non plus plate, mais hémisphérique, afin d'assurer un bon contact. Lors d'un choc, une telle toupie s'inclinera beaucoup moins et sera bien plus stable.

En revanche, la base large d'une toupie de défense est source de frottements. Cette toupie tournera donc moins longtemps qu'une toupie d'endurance. On aura alors la tentation de choisir une toupie d'équilibre, censée présenter à un moindre degré toutes les qualités des trois autres. Il reste cependant douteux que ces appréciations de physiciens soient les critères retenus par les enfants pour choisir des toupies aux noms aussi évocateurs que *Big Bang*, *Pegasus* ou *Diablo Nemesis* ! ■

Toutes les ARCHIVES

- Pour la Science
- Dossier Pour la Science

depuis

1996



maintenant disponibles sur www.pourlascience.fr*

* Numéros à lire en ligne ou téléchargeables en PDF, en vente à l'unité ou accessibles par abonnement.