

IDÉES DE PHYSIQUE

Le chat contorsionniste

C'est en déformant son corps par des torsions bien coordonnées qu'un chat retombe toujours sur ses pattes.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Un plongeur met son corps en rotation lors de l'impulsion initiale créée en sautant du plongoir. En modifiant sa posture pendant qu'il est en l'air, il amplifie ou réduit cette vitesse de rotation déjà existante et contrôle ainsi son orientation dans l'espace. En revanche, un chat qu'on lâche après l'avoir tenu par les pattes commence son mouvement immobile, sans aucune rotation à amplifier ni à réduire. Et pourtant, cet animal se retourne et retombe sur ses pattes : une acrobatie prodigieuse due, comme nous allons le voir, à la grande souplesse du félin et aux torsions qu'il fait effectuer à son corps.

Comment mettre un objet en rotation ? S'il est maintenu par un axe, comme une

LES AUTEURS



Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris. Leur blog : <http://blog.idphys.fr>

porte, il suffit d'appliquer une force qui n'est pas dirigée vers cet axe. Mieux encore, on peut appliquer un couple, c'est-à-dire un ensemble de deux forces de même module et de directions opposées, de part et d'autre de l'axe de rotation. Lorsque l'objet n'est pas tenu, la rotation s'effectue autour du centre de masse : si vous lancez un bâton cylindrique, il tournera autour de son centre ; si vous lancez un marteau, il tournera autour d'un point du manche situé près de la tête.

Les efforts nécessaires pour mettre un objet en rotation sont d'autant plus importants que sa masse est élevée et éloignée de l'axe de rotation. C'est le « moment d'inertie » de l'objet qui caractérise cette difficulté. Pour une roue, dont la masse est concentrée à sa périphérie, ce moment d'inertie est le produit de la masse par le carré de la distance à l'axe de rotation, c'est-à-dire le carré du rayon.

Jouer sur le moment d'inertie

En l'absence de frottements, le mouvement de rotation se perpétue. Cela traduit la conservation du moment cinétique, grandeur égale au produit de la vitesse angulaire par le moment d'inertie de l'objet. Il s'ensuit que si l'on modifie le moment d'inertie, la vitesse de rotation changera. C'est ce que fait un patineur ou une patineuse lors d'une pirouette. Le mouvement est entamé avec bras écartés ; une fois lancé, le sportif ramène les bras près du corps, c'est-à-dire près de l'axe de rotation, et réduit ainsi son



1. LORS D'UN SAUT, si le motard bloque sa roue arrière (dessin du milieu), la moto se met à tourner globalement par conservation du moment cinétique. Quand son orientation est bonne, le motard remet les gaz : la roue arrière tourne à nouveau tandis que la moto cesse sa rotation.

moment d'inertie, ce qui augmente considérablement sa vitesse de rotation.

C'est aussi ce que fait le plongeur lors d'un saut périlleux. Son corps tourne bien plus vite lorsqu'il est ramassé que lorsqu'il est étendu. En modifiant sa posture, ramassée ou étendue, le plongeur contrôle ainsi sa vitesse de rotation et parvient à terminer son saut en acquérant la bonne orientation.

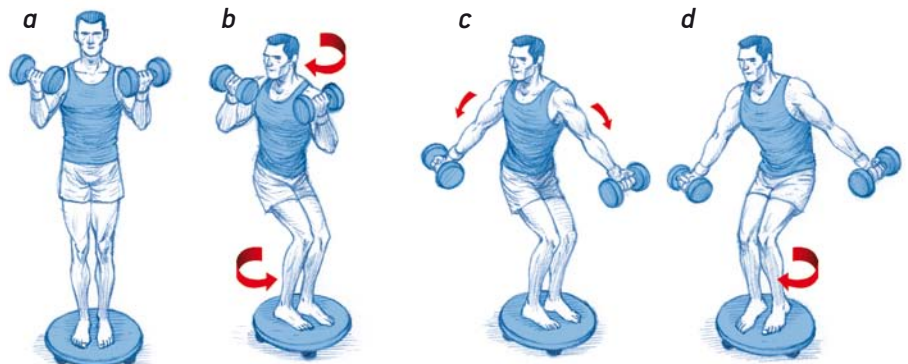
Une autre méthode pour changer l'orientation est utilisée par les motards effectuant des sauts, notamment lors des supercross [voir la figure 1]. Lors du décollage sur le tremplin d'élan, la moto est orientée vers le haut et les roues sont en rotation rapide. Une fois en l'air, le motard appuie sur son frein, ce qui bloque ou ralentit sa roue arrière. Lors de ce freinage, l'action de la roue sur le cadre de la moto met ce dernier en rotation : le moment cinétique du bicycle, qui est conservé, est transféré des roues au cadre. Une fois que la moto s'est orientée dans la direction du tremplin de réception, le motard accélère. Le moment cinétique étant conservé, la roue arrière se remet en rotation au détriment du cadre de la moto, qui cesse de tourner.

Retournement du chat : deux scénarios combinés

Contrairement aux situations que l'on vient de décrire, le moment cinétique initial du chat qu'on lâche par les pattes est nul. Il doit le rester durant la chute. Mais comment effectuer un retournement avec un moment cinétique nul ? Deux scénarios entrent en jeu et se complètent. Tous deux font intervenir la grande souplesse du félin, en particulier celle de sa colonne vertébrale.

Le premier scénario est analogue à celui par lequel un gymnaste portant de petits haltères et debout sur un support à roulettes, lequel peut tourner sans frottement ou très peu, change son orientation [voir la figure 2].

Dans ce scénario, la moitié antérieure de l'animal pivote par rapport à la moitié postérieure. Dans une première étape, le chat écarte ses pattes postérieures et fait tourner ses épaules en ramenant les pattes antérieures près du corps. Le moment cinétique

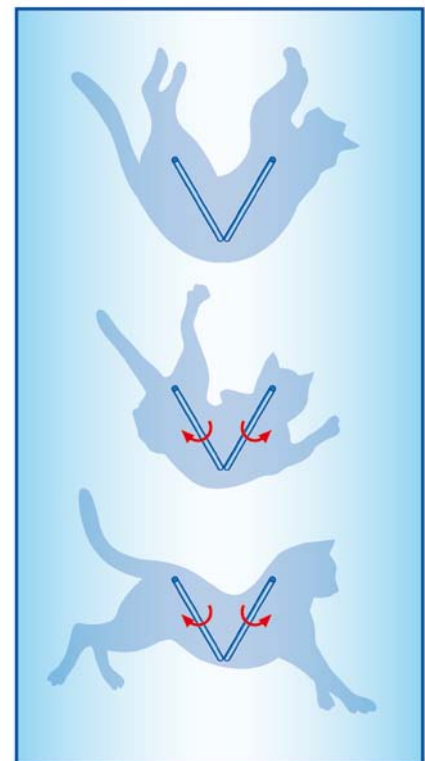


2. UN GYMNASTE DEBOUT SUR UNE PLATE-FORME libre de tourner [a] peut changer d'orientation grâce à la modification de son moment d'inertie. Après une torsion de son corps [b], il étend ses bras [c] ; cela augmente le moment d'inertie de la partie supérieure de son corps, qui ne tournera que très peu lorsque le gymnaste fera pivoter ses pieds [d].

total du chat est la somme des moments cinétiques de ses parties antérieure et postérieure. Le fait que le moment total soit nul et conservé a deux conséquences. *Primo*, si les épaules tournent dans un sens autour d'un axe horizontal, les hanches doivent tourner dans le sens contraire. *Secundo*, les pattes arrière étant tendues, le moment d'inertie de la partie postérieure est plus important que celui de la partie avant, ce qui implique que les hanches tournent moins que les épaules.

Dans la seconde étape de son acrobatie, le chat rabat ses pattes postérieures vers lui et déploie ses pattes antérieures. Il ramène ensuite ses hanches pour les aligner avec ses épaules avec l'effet opposé au premier mouvement : forte rotation de la partie postérieure par rapport à la partie antérieure. La souplesse du chat fait le reste : il est capable de se tordre à presque 180 degrés, donc la succession des deux étapes de mouvement permet à l'animal de se retourner complètement !

Des prises de vue ultrarapides appuient ce scénario, en montrant les hanches en retard dans leur rotation par rapport aux épaules. Cependant, l'explication n'est pas complète. Tout récemment, Richard Kaufman, de l'Université du Massachusetts, a conclu que ce mécanisme est quantitativement insuffisant, après avoir estimé les moments d'inertie mis en jeu. En fait, il semble que pour se retourner, le chat doive combiner ces mouvements avec ceux d'un



3. UN CHAT RETOMBE SUR SES PATTES en combinant deux types de mouvements. L'un d'eux, illustré ici, consiste à faire tourner la partie antérieure de l'animal autour de son axe, et de même pour sa partie postérieure.

Retrouvez les articles de J.-M. Courty et E. Kierlik sur www.pourlascience.fr



■ BIBLIOGRAPHIE

R. D. Kaufman, *The electric cat : Rotation without net overall spin*, *American Journal of Physics*, vol. 81(2), pp. 147-155, 2013.

Site de J. R. Galli
sur le retournement du chat :
www.physics.weber.edu/galli/catflip/catflip.html.

second scénario, que nous allons analyser maintenant de façon indépendante.

Selon ce scénario complémentaire, le mouvement du chat est semblable à celui que nous réalisons quand nous faisons du hula-hoop, où nous plions notre corps en deux en faisant parcourir un cercle à nos hanches.

Au moment où on lâche le félin, sa colonne vertébrale dessine un V (*voir la figure 3*). Imaginons que le chat soit totalement plié en deux. La colonne vertébrale se plie, mais ne se tord pas : les rotations des deux moitiés du chat se font avec des vitesses de rotation opposées par rapport à une direction fixe de l'espace. Dans ce cas, le moment cinétique total de l'animal est nul et le V garde toujours la même orientation. Toutefois, le corps du chat aura, à la fin du mouvement, tourné de 180 degrés autour de sa colonne vertébrale.

En réalité, le chat n'est pas totalement plié. Les rotations de ses parties antérieure et postérieure autour de leurs axes respectifs engendrent un moment cinétique le long de l'axe tête-fesses qui doit être compensé par un mouvement de rotation de l'ensemble du corps autour de cet axe. Des estimations grossières montrent qu'avec une rotation complète de chaque moitié, ou encore un mouvement de hula-hoop complet, le retournement serait réalisable.

Ronald Galli, de l'Université d'État de Weber, aux États-Unis, a réalisé un chat mécanique qui fonctionne selon ce scénario. Un caoutchouc tendu imite l'effet d'un muscle sur une colonne vertébrale constituée de deux tiges reliées par un ressort. L'effet est saisissant, même si le lien de ce modèle avec les capacités morphologiques réelles du chat reste ténu. ■

france culture

LA MARCHE DES SCIENCES

Découvertes, inventions, aventures savantes au fil de l'Histoire

Aurélie Luneau
14h-15h / chaque jeudi

franceculture.fr

SCIENCE

COLLECTION POUR LA SCIENCE LES PETITS THEMATIQUES

Des feuilletables numériques fiables
et pratiques sur l'actualité scientifique

Accédez facilement à **l'essentiel**
sur un **thème marquant** de l'actualité
scientifique grâce à :

- **une sélection d'articles de référence**
parus dans *Pour la Science*
et *Cerveau & Psycho*
- **compilée dans un feuilletable**
numérique de 35 pages environ
- **téléchargeable en format**
PDF au prix de 3,99€
(compatible avec
ordinateur et tablette).



Des dizaines de sujets à découvrir sur
www.pourlascience.fr/petitsthemes