

IDÉES DE PHYSIQUE

Tomber plus vite qu'en chute libre

Lorsqu'un objet déformable tombe, son contact avec le sol peut accélérer la chute au lieu de la ralentir.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

L'accélération des objets due à la gravité ne dépend pas de leur masse, si bien qu'ils tombent en chute libre à la même vitesse (si l'on néglige le frottement aérodynamique). Cette loi de la physique est tellement ancrée dans nos esprits que l'on est très surpris par certaines situations où une partie d'un objet tombe plus lentement ou plus vite que son centre de gravité !

Les ressorts de la chute d'un ressort mou...

Un tel cas peut se produire lorsque l'objet qui tombe est soumis à des tensions internes. Le « slinky » en fournit un exemple (voir la figure 1). Tenons par une extrémité ce jouet en forme de ressort souple, que l'on s'amuse habituellement à faire dévaler les escaliers, et laissons-le pendre en l'air. Il s'allonge, l'écartement de deux spires successives augmentant de bas en haut. Rien d'étonnant à cela : à l'équilibre, un segment donné du ressort soutient le poids de tout ce qui se trouve au-dessous de lui ; cette force augmente de bas en haut, d'où l'allongement proportionné.

Lâchons maintenant le slinky et observons sa chute. Même si tout va très vite, on s'aperçoit à l'œil nu que l'extrémité inférieure ne tombe pas : elle reste immobile tant qu'elle n'est pas rattrapée par la partie supérieure ! Le visionnage au ralenti d'images vidéo (il y en a pléthore sur le Web) montre plus de détails. Le ressort en chute libre présente deux parties : une zone

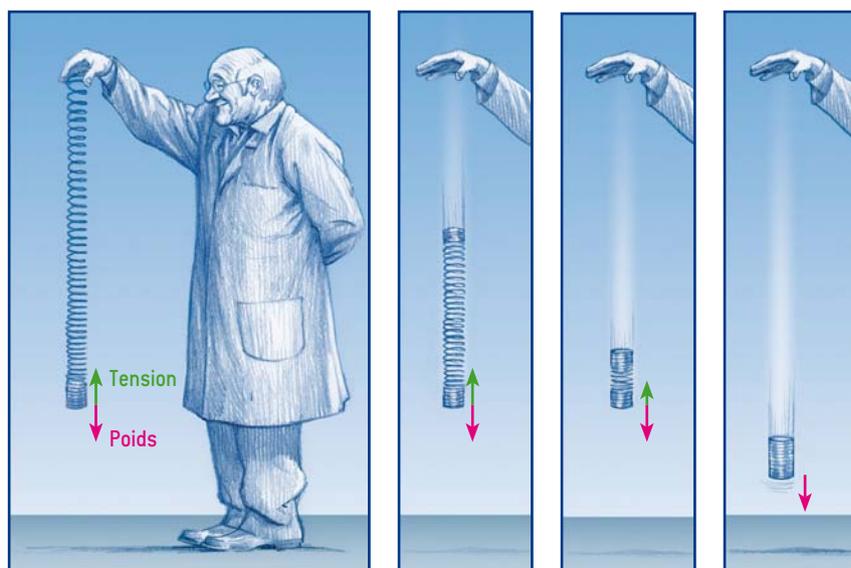
LES AUTEURS



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>

inférieure immobile, qui conserve l'état de déformation qu'elle avait lorsqu'on tenait le ressort ; une zone supérieure qui tombe, où les spires sont jointives et le ressort totalement replié. Pourquoi cela ?

Au moment où on lâche le slinky, le segment supérieur subit, outre son propre poids, une force dirigée vers le bas et due à la tension du ressort. Il s'ensuit que l'accélération de ce segment sera supérieure à l'accélération g de la pesanteur, la force totale subie dépassant le poids. Autrement dit, ce segment tombe plus vite qu'en chute libre !



1. QUAND ON LÂCHE UN LONG RESSORT SOUPLE, la partie supérieure chute avec une accélération supérieure à g . Le bas du ressort reste immobile, jusqu'à ce que l'onde de compression du ressort l'atteigne et fasse diminuer la tension, initialement opposée au poids de cette partie.

Dès le lâcher, l'écartement des spires du haut commence à se réduire, le ressort se raccourcit et sa tension interne diminue au niveau de son segment supérieur. Pour le segment suivant du slinky, la tension subie par son extrémité du bas reste la même, les spires n'ayant pas encore bougé, tandis que la tension exercée sur son extrémité supérieure a diminué. Ce deuxième segment amorce alors sa chute. Et ainsi de suite pour les segments successifs du ressort.

Le fait d'avoir lâché le slinky est donc ressenti en un point du ressort uniquement lorsque ce point est atteint par l'onde de compression des spires, qui se propage de proche en proche selon le mécanisme que l'on vient de décrire. Or le slinky est tellement mou que la vitesse de l'onde de compression est inférieure à la vitesse de chute acquise en une fraction de seconde par les spires. Il s'ensuit que la chute s'amorce par les spires du haut : elles se resserrent et forment une partie supérieure compacte qui tombe en bloc et entraîne dans sa chute les spires de la partie inférieure restées immobiles.

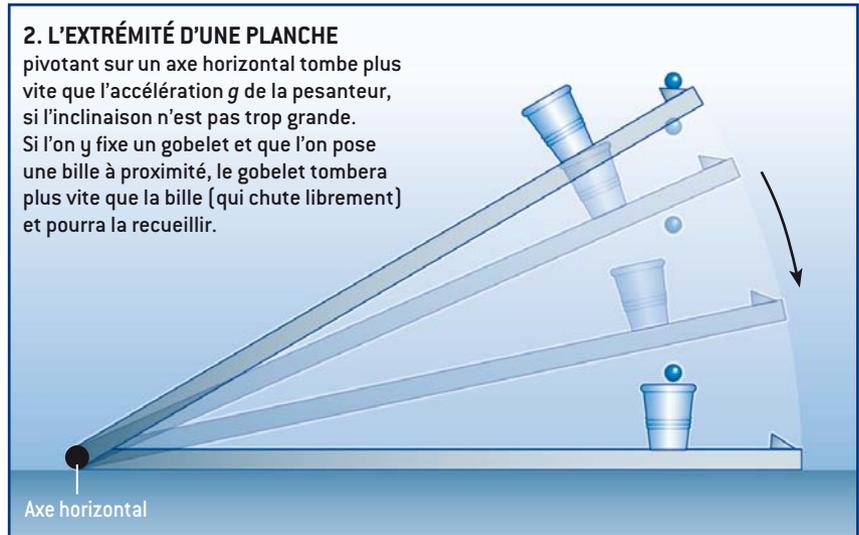
Considéré comme un tout, le ressort est soumis uniquement à son poids. L'accélération de son centre de gravité doit donc être égale à l'accélération g de la pesanteur. Sa partie inférieure étant immobile, cela confirme que la partie supérieure accélère plus vite que g ...

Le mécanisme décrit ci-dessus est *a priori* présent dans tous les objets en chute libre. Mais comme les objets sont en général bien moins mous que le slinky, ils sont très peu déformés sous l'effet de leur propre poids, et les tensions internes se relâchent très rapidement par rapport à la vitesse de chute : bas et haut semblent tomber de conserve lorsqu'on les lâche.

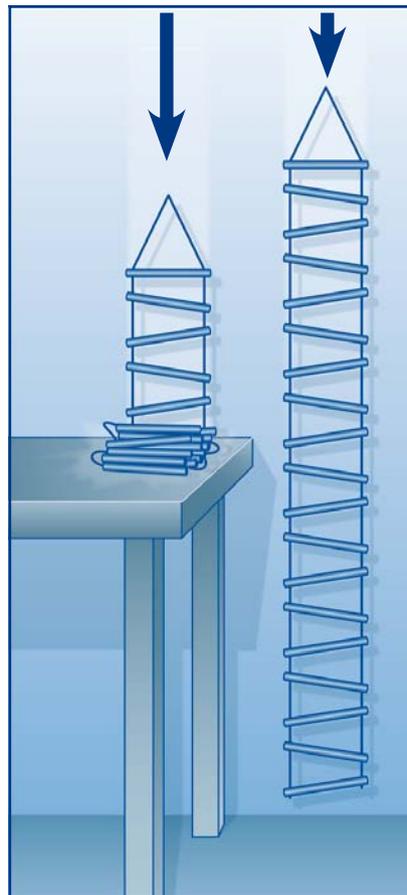
Un objet dans son ensemble ne peut pas chuter avec une accélération supérieure à g s'il reste en l'air. Toutefois, son contact avec le sol peut engendrer des tensions internes qui accélèrent sa chute. En témoigne un système simple et pourtant plein de surprises : une longue planche rigide fixée au sol à un axe horizontal (voir la figure 2). Soulevons la planche et lâchons-la. Elle

2. L'EXTRÉMITÉ D'UNE PLANCHE

pivotant sur un axe horizontal tombe plus vite que l'accélération g de la pesanteur, si l'inclinaison n'est pas trop grande. Si l'on y fixe un gobelet et que l'on pose une bille à proximité, le gobelet tombera plus vite que la bille (qui chute librement) et pourra la recueillir.



Dessins de Bruno Vacaro



3. UNE ÉCHELLE À MONTANTS souples et à barreaux inclinés alternativement tombe plus vite (échelle de gauche) qu'en chute libre (échelle de droite) lorsque sa partie inférieure est en contact avec la surface de réception.

retombe au sol en pivotant autour de son axe. Son accélération angulaire, qu'on peut calculer, est égale à $3/2 g/L \cos \theta$, où L est la longueur de la planche et θ l'inclinaison par rapport au sol.

On en déduit que pour les petits angles ($\cos \theta$ à peu près égal à 1), le centre de gravité de la planche, situé à une distance $L/2$ de l'axe, a une accélération verticale égale à $3g/4$, c'est-à-dire inférieure à g . Ce n'est pas étonnant, puisque la planche subit une réaction de l'axe qui la pousse vers le haut.

La chute accélérée par le contact avec le sol

En revanche, par un effet de levier, l'extrémité haute de la planche a une accélération verticale double, soit $3g/2$, qui vient en quelque sorte compenser l'absence d'accélération de l'extrémité fixée au sol. Si l'on incline davantage la planche, l'accélération verticale de l'extrémité sera moins importante, mais restera supérieure à g tant que l'angle est inférieur à environ 35 degrés.

On peut visualiser cela en fixant un gobelet à l'extrémité de la planche et en posant une bille près de ce gobelet. Si on lâche l'ensemble préalablement incliné (mais pas trop), le gobelet tombe plus vite que la bille et peut se positionner sous cette dernière : la bille tombe à l'intérieur, alors qu'initialement elle était à côté !

■ BIBLIOGRAPHIE

M. Vollmer et K.-P. Möllmann, **Faster than g , revisited with high-speed imaging**, *European Journal of Physics*, vol. 33(5), pp. 1277-1288, 2012.

A. Grewal *et al.*, **A chain that speeds up, rather than slows, due to collisions: How compression can cause tension**, *American Journal of Physics*, vol. 79(7), pp. 723-729, 2011.

La discussion qui précède nous permet de concevoir un objet qui tombe plus vite qu'en chute libre. Attachons à l'extrémité de la planche, avec une ficelle, une masse placée plus haut. Cette extrémité tombant plus vite qu'en chute libre, elle va tirer sur la masse par l'intermédiaire de la ficelle et la fera donc tomber avec une accélération supérieure à g . L'idée est alors de démultiplier cet effet en réalisant une échelle dont les montants sont constitués de cordes, et les barreaux de planches inclinées successivement dans un sens puis dans l'autre (voir la figure 3).

Contrairement à ce qu'il advient dans une échelle aux barreaux horizontaux et parallèles, chaque fois qu'une extrémité d'un barreau de cette échelle atypique touche le support, ce barreau pivote autour de cette

extrémité et accélère la seconde extrémité, ce qui tire l'échelle vers le bas. À chaque impact de barreau, l'effet s'additionne. Il en résulte que le sommet d'une telle échelle descend plus vite lorsque sa partie inférieure a touché le sol que lorsqu'elle tombait en chute libre ! En revanche, le centre de gravité de l'échelle tombe moins vite qu'en chute libre (comme il se doit, puisque la partie de l'échelle ayant atteint le sol est immobile).

L'aspect énergétique de cette situation est également intéressant. Pour une échelle à barreaux horizontaux, l'énergie cinétique de chaque barreau est intégralement dissipée sous forme de chaleur lorsque ce barreau percute le sol. Mais lorsque le barreau est incliné, une partie de cette énergie cinétique est transférée à la partie supérieure de l'échelle et l'accélère.

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



9 VOYAGES FASCINANTS

À LA DÉCOUVERTE DE L'UNIVERS ET DE NOTRE SYSTÈME SOLAIRE

MEILLEUR FILM
FESTIVAL INTERNATIONAL
DU FILM SCIENTIFIQUE 2010 - ATHÈNES
LA VIE SECRÈTE DU CHAOS

SÉLECTION OFFICIELLE
PARISCIENCE 2011
CE RIEN QUI EST TOUT

- Des images exceptionnelles et inédites rapportées par les sondes spatiales
- Des interviews des plus grands spécialistes mondiaux
- Des reconstitutions stupéfiantes en 3D

L'UNIVERS EN 9 FILMS

ENIGMES DE L'UNIVERS³
LE TOUT, LE RIEN ET LE CHAOS

ET

ENIGMES DES PLANÈTES
VOYAGE AU CŒUR DU SYSTÈME SOLAIRE

4 DVD

LE COFFRET 4 DVD INDISPENSABLE POUR PERCER LES MYSTÈRES DU COSMOS.

Retrouvez Showshank Films sur [facebook](https://www.facebook.com/showshankfilms)