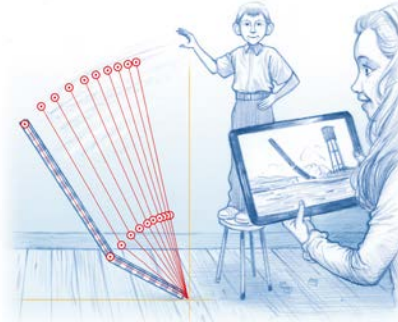


UNE TOUR HAUTE ET ÉTROITE composée d'éléments dont la cohésion n'est pas trop forte se brise quand elle bascule. Curieusement, le point de rupture se situe au tiers de la hauteur ou un peu plus, ce que des calculs confirment.



à la compression. Ainsi, de la craie, du béton ou de l'os résistent très bien à la compression, mais beaucoup moins à la traction. Par conséquent, la rupture se produira sur le dessus (du côté extérieur à la flexion). En revanche, le bois, et en particulier le bois vert, présente une excellente résistance à la traction lorsque celle-ci s'exerce dans le sens des fibres. Mais il éclate en compression : un bâton rompra donc par le dessous (du côté intérieur de la flexion).

Considérons maintenant une barre posée verticalement sur le sol et qui pivote sur son point d'appui. Parfois, elle se brise lors de sa chute, et cela se produit nettement sous son milieu, comme l'illustrent ces photos de cheminées d'usine que l'on détruisait en les inclinant jusqu'à les faire chuter (voir l'illustration ci-dessus). Vous pouvez reproduire l'expérience chez vous en construisant une tour en pièces de Lego, mais attention : pour observer l'effet, il vous faudra jouer les constructeurs de l'extrême et empiler par exemple plus de 150 pièces.

Comment expliquer une telle rupture ? Il faut d'abord remarquer qu'il s'agit d'objets fragiles, qui se briseraient sous l'effet de leur propre poids si on les tenait à l'horizontale, tant les forces qui assurent la cohésion entre leurs composants (le mortier entre les briques, l'emboîtement des pièces de Lego) sont faibles.

Est-ce à dire que seul le poids est à l'œuvre ? Non, il faut aussi compter avec la

réaction du sol, et le bilan des forces et des couples permet de déterminer la dynamique de la chute de la tour.

Isolons une brique par la pensée. Au cours de sa chute, elle va suivre une trajectoire circulaire, tant que la tour conserve son intégrité. Son accélération dépend, comme il se doit, de sa position et de l'accélération angulaire globale de la tour.

Or cette accélération de la brique n'est pas égale à l'accélération qu'elle aurait si elle chutait seule le long d'un arc de cercle. La différence est due à l'existence de contraintes internes, à la fois de compression-extension ou de cisaillement, exercées sur la brique par les éléments qui lui sont adjacents.

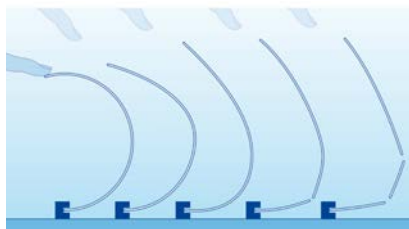
Rupture en cours de chute

Le calcul montre alors que la tour est bien en compression au début de sa chute (quand le poids domine), mais qu'à partir d'environ 45 degrés d'inclinaison, elle se retrouve en extension sous l'effet de la force centrifuge. On trouve que le moment fléchissant maximal se produit au tiers de la hauteur de la tour : c'est donc un point de rupture privilégié.

Un calcul plus détaillé des contraintes d'étirement exercées sur les faces de la tour (là où elles sont maximales) montre que le résultat est robuste pour des tours très hautes, mais aussi que la rupture peut avoir lieu plus haut que le tiers de la hauteur pour des tours moins élancées (mais toujours plus bas que le milieu).

Qu'en est-il du spaghetti, sorte de tour très élancée puisque le rapport entre sa longueur et son épaisseur dépasse 200 ? La rupture de cette étroite tige de pâte sèche est étrange : quand on courbe peu à peu un spaghetti, il se casse invariablement en plus de deux morceaux (voir la figure ci-contre). En quoi se distingue-t-il alors des tiges que nous avons évoquées plus haut ?

Première surprise : le spaghetti semble ne pas s'en distinguer ! En effet, lorsque la pâte est bien homogène et sans défaut, c'est bien au milieu qu'il se brise, là où les contraintes et la courbure sont maximales. Mais la différence apparaît lorsqu'on examine



UN SPAGHETTI FORTEMENT COURBÉ se casse quand on lâche son extrémité. Le lâcher crée une onde de flexion qui se propage le long du spaghetti et qui augmente localement la courbure (donc les contraintes mécaniques). Le spaghetti se brise là où la courbure dépasse le seuil de résistance. Les nouvelles ondes de flexion ainsi créées conduisent alors à une autre rupture.

ce qui advient ensuite aux deux morceaux, et la seconde surprise est là.

Les physiciens ont longtemps pensé que les extrémités libres de ces morceaux oscillaient, comme la règle que l'on fait vibrer en maintenant l'une de ses extrémités sur la table. Or ce mouvement est assez lent (période de l'ordre de 0,2 seconde) et ne correspond pas du tout aux observations faites avec des caméras ultrarapides par Basile Audoly et Sébastien Neukirch, de l'université Pierre-et-Marie-Curie.

Des ondes de flexion

Juste après la rupture, l'extrémité libre ne subit plus aucune contrainte, alors même qu'elle est fléchie. Les deux physiciens ont établi qu'elle se redresse, mais beaucoup plus rapidement dans l'épaisseur du spa-

ghetti que dans sa longueur. Il s'ensuit l'émission d'une série d'ondes de flexion très particulières. Leur vitesse de propagation le long de la tige diminue avec le temps tandis que, au début, leur amplitude croît. On assiste ainsi à une augmentation de la courbure du spaghetti, et donc de ses contraintes internes, à mesure que ces ondes se propagent.

Comme ces contraintes étaient déjà proches de la contrainte de rupture, une seconde cassure se produit sur chacun des deux morceaux très peu de temps après la première (moins de dix millièmes de seconde). Des ruptures supplémentaires peuvent suivre, compte tenu des réflexions des ondes de flexion sur l'extrémité fixée. Pour éviter une telle explosion de fragments, il faudrait donner de l'épaisseur à nos spaghettis. Mais ce ne seraient alors plus des spaghettis ! ■

BIBLIOGRAPHIE

B. Audoly et S. Neukirch, **Fragmentation of rods by cascading cracks: Why spaghetti do not break in half**, *Physical Review Letters*, vol. 95, article 095505, 2005.

G. Varieschi et K. Kamiya, **Toy models for the falling chimney**, *American Journal of Physics*, vol. 71, pp. 1025-1031, 2003.



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






les conférences

Semaine du cerveau

Entrée libre dans la limite des places disponibles

À la Cité des sciences et de l'industrie

cycle Santé en questions

Jeudi 16 mars à 19h

Les pouvoirs de l'esprit ?

La méditation ou l'hypnose aident à combattre le stress, les douleurs chroniques et les addictions.

- Organisé avec l'Inserm
- En duplex avec la Bibliothèque de la Part-Dieu à Lyon.

Au Palais de la découverte

Table ronde

Samedi 18 mars à 15h

Regards croisés sur l'esprit et la pensée

Avec François Ansermet, pédopsychiatre,
Jean-Gaël Barbara, historien des neurosciences,
Elena Pasquinelli, philosophe.

programme complet sur
cite-sciences.fr et palais-decouverte.fr

En partenariat avec



Avec le soutien de

