

ajoute la valeur du troisième dé. On indique le total au magicien qui, immédiatement, donne les trois valeurs initiales des dés. En effet, le résultat est $10(5(2a + 5) + b) + c$, soit $100a + 10b + c + 250$. Retirant alors 250, les trois chiffres du résultat sont les nombres a, b, c cherchés.

D'autres problèmes de dés utilisent des dés modifiés avec des marquages non standards. Par exemple, sauriez-vous marquer les faces de deux dés en n'utilisant que les nombres 0, 1, 2, 3, 4, 5 ou 6, pour obtenir une paire telle que tous les totaux de 1 à 12 soient équiprobables? (La réponse est indiquée en fin d'article).

LES DÉS NON TRANSITIFS

Le phénomène relatif aux dés le plus contraire à l'intuition est sans doute celui des «dés non transitifs». Numérotez trois cubes A, B, C ainsi :

$A : 3 \ 3 \ 4 \ 4 \ 8 \ 8$

$B : 1 \ 1 \ 5 \ 5 \ 9 \ 9$

$C : 2 \ 2 \ 6 \ 6 \ 7 \ 7$

Si un joueur prend le dé B et un autre le dé A et qu'ils jouent un long moment, vous constaterez qu'en moyenne, le dé B bat le dé A . En fait, B présente un nombre supérieur à A , avec la probabilité $5/9$. De même, C bat B avec la même probabilité. Par suite, il semblerait que C batte A , non? Eh bien non! A bat C , avec la probabilité $5/9$! Le tableau de la page précédente (voir la figure 4) justifie clairement ces assertions. Vous pouvez faire fortune avec un ensemble de trois tels dés! Vous laissez votre adversaire choisir son dé, puis vous sélectionnez le dé qui le bat (à long terme, avec une probabilité supérieure à 0,5). Vous gagnerez 55,55 pour cent des jeux alors que votre adversaire a le libre choix du «meilleur» dé!

Une mise en garde cependant : ne vous fondez pas à l'excès sur la théorie des probabilités sans avoir rigoureusement précisé les règles du jeu. Dans son merveilleux petit livre *Au hasard* (Seuil, 1991), Ivar Ekeland raconte l'histoire de deux rois nordiques qui jouèrent aux dés le sort d'une île convoitée. Le roi suédois lança deux dés et obtint un double six. «Cela, fanfaronna-t-il, est imbattable». Olaf, le roi de Norvège marmonna qu'il pourrait lui aussi faire un double six et lança ses deux dés. L'un donna 6 et l'autre se fendit en deux parties, arborant l'une un 1 et l'autre un 6. Total : 13! Ce qui tend à prouver que ce que vous pensez possible dépend de la manière dont vous modélisez le problème.

RÉPONSE : Pour rendre tous les totaux de 1 à 12 équiprobables, il suffit qu'un dé porte : 1, 2, 3, 4, 5, 6 et l'autre 0, 0, 0, 6, 6 et 6.

Marcher sur l'eau

CAROLINE LOUBET

De la semoule modifie l'écoulement de l'eau.

Certains matériaux ne sont ni liquides ni solides, mais un peu les deux à la fois. Pour les explorer, je vous propose quelques expériences avec de la farine de maïs (couramment vendue dans les épiceries ou dans les grandes surfaces sous le nom de *Maïzena*).

Prenez-en un peu et mélangez-la avec de l'eau pour faire une sauce épaisse. On ne peut dire, en observant le mélange immobile, s'il est solide ou liquide. Si l'on donne un coup de poing à la surface, on se heurte à un solide : rien ne bouge, et la main reste sèche. En revanche, si nous penchons lentement le récipient sur le côté, le mélange coule comme un liquide. Seul le temps de réaction que l'on a laissé au mélange a changé, entre les deux manipulations : court dans la première expérience, long dans la seconde.

Chaque matière possède son propre temps de réaction à une contrainte extérieure ; si nous imposons rapidement une contrainte pendant un temps inférieur au temps de réaction de la matière, les molécules ou les agrégats moléculaires

n'ont pas le temps de réagir, et le matériau a un comportement de solide. Inversement, si la contrainte est appliquée en un temps supérieur à ce temps de réaction, le matériau réagit et la matière s'adapte.

On retrouve cette ambiguïté de la matière dans les cathédrales : les vitraux anciens sont souvent plus épais à la base qu'au sommet, parce que la pesanteur agit sur eux depuis des siècles ; le verre, qui paraît solide à notre échelle, ne cesse de couler comme un liquide, mais très lentement. De même, les câbles des ponts suspendus doivent être retendus périodiquement, parce qu'ils s'allongent lentement. Passons à encore plus grandiose : le Globe terrestre. Est-il vraiment solide ? Les remarques précédentes nous rappellent que l'échelle d'observation détermine la réponse à la question. Les montagnes sont immobiles, à l'échelle de la vie humaine, mais elles se sont formées, et elles se forment encore, par plissements de terrain. Les continents, eux, se déplacent les uns par rapport aux autres à la vitesse d'un ongle qui croît, soit quelques centimètres par an. Les

solides seraient-ils ainsi des liquides auxquels on ne donnerait pas le temps de couler ? Voilà qui confirmerait l'idée d'Héraclite, pour qui « tout coule ».

Les mécanismes de fluage des roches sont toutefois différents de ceux qui rendent solides les mélanges d'eau et de farine de maïs. Dans ce dernier cas, le comportement est plutôt analogue à celui du sable mouillé. Quand on appuie doucement sur un tel sable, la pression se transmet en partie par le sable, dont les grains appuient les uns sur les autres, et en partie par le liquide, dans les interstices. Quand la pression est plus forte, le volume total augmente, parce que les grains doivent se séparer pour bouger (sans contrainte, le sable est compact, parce que les grains sont imbriqués). L'augmentation de volume aspire l'eau alentour. La réaction du système est limitée par l'écoulement du fluide : quand on marche sur une plage, le pourtour du pied s'assèche lentement, parce que la migration de l'eau dans les interstices, sous le pied, n'est pas immédiate.

Ainsi quelqu'un qui marcherait lentement sur du sable mouvant s'enfoncerait, parce que les grains auraient le temps de se réorganiser au poser du pied, mais que le retrait, qui est plus rapide, serait impossible : le liquide n'aurait pas le temps de migrer pour s'adapter aux déformations globales du sable. Ce type de comportement des liquides « dilatants » est caractéristique de dispersions très concentrées, telle celle de la farine de maïs dans l'eau.

Voici enfin quelques expériences pour poursuivre vos explorations rhéologiques : dans un saladier, mélangez un paquet de 350 grammes de *Maïzena* (attention à choisir de la farine sans adjonction) et 0,35 litre d'eau, afin d'obtenir un demi-litre de matière.

Plongez-y un doigt, doucement d'abord, puis rapidement ensuite.

Puis amusez-vous à en faire une boule, en ne cessant pas de malaxer la matière ou de faire sauter la boule dans la main. Si vous cessez d'agiter la boule, vous la verrez couler.

Pour apprécier la dureté du mélange, cassez-le en prenant rapidement un morceau que vous soulevez comme une plaque.

Enfin, si vous voulez reproduire un exploit du Nouveau Testament, faites une quantité supérieure de mélange et emplissez un grand bac : vous pourrez alors courir à la surface sans vous enfoncer.



Des enfants ont couru sur de l'eau additionnée de farine de maïs, pour les caméras d'Archimède, le magazine scientifique d'Arte : ils ne s'y enfonçaient pas.

Caroline LOUBET est coordinatrice de l'Association des ateliers des Petits Débrouillards en Île-de-France.

Les hologrammes

Un hologramme est l'enregistrement sur un film à grain très fin d'une image optique tridimensionnelle réalisée à l'aide d'un faisceau laser. Contrairement à la photographie, qui enregistre uniquement l'intensité d'une onde lumineuse réfléchie par un objet (ce qui produit des zones claires et sombres sur un film), un hologramme enregistre à la fois l'intensité et la direction, ou phase, de la lumière. L'information sur l'intensité et la direction est contenue dans la figure d'interférence entre l'onde réfléchie par l'objet et une

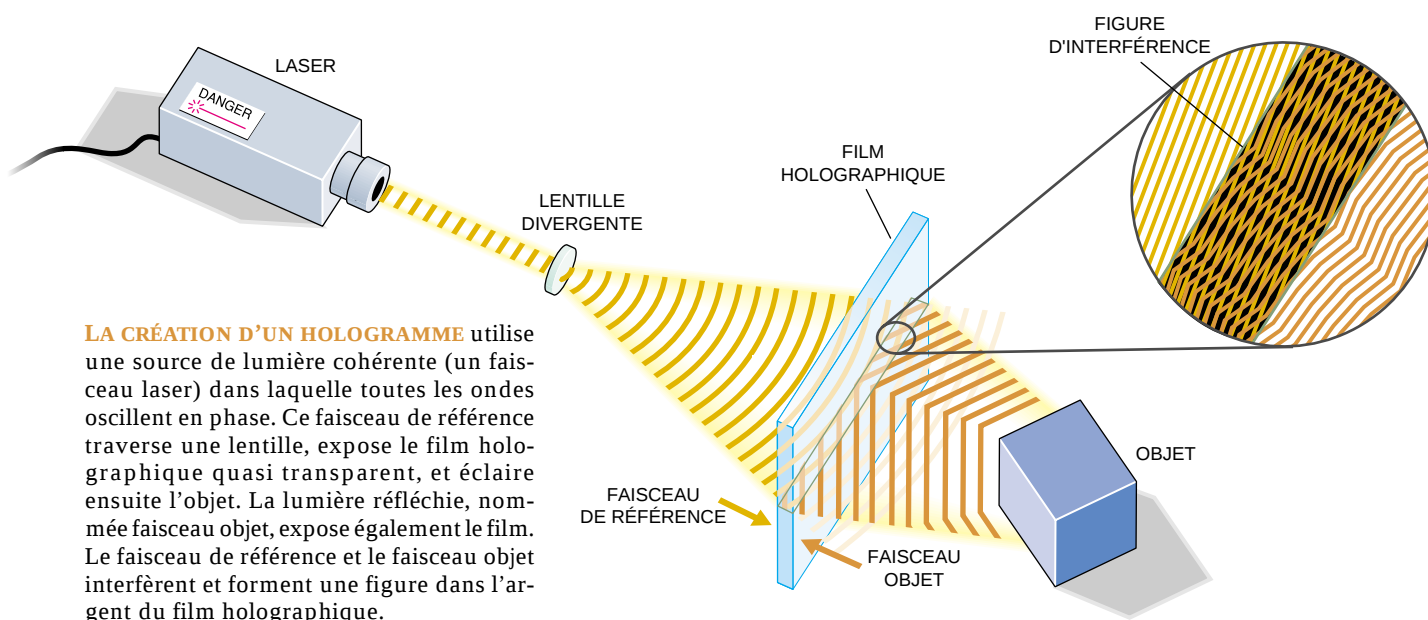
onde de référence. Les deux ondes qui interfèrent créent sur le film des zones brillantes, quand elles sont en phase, et des zones sombres, quand elles sont en opposition de phase.

Après l'enregistrement, lorsqu'on éclaire le film holographique développé avec de la lumière blanche, la figure d'interférence agit comme une multitude de minuscules miroirs placés à des myriades d'angles. Ces miroirs réfléchissent la lumière à la surface de l'hologramme exactement dans la même direction que celle réfléchie par l'objet

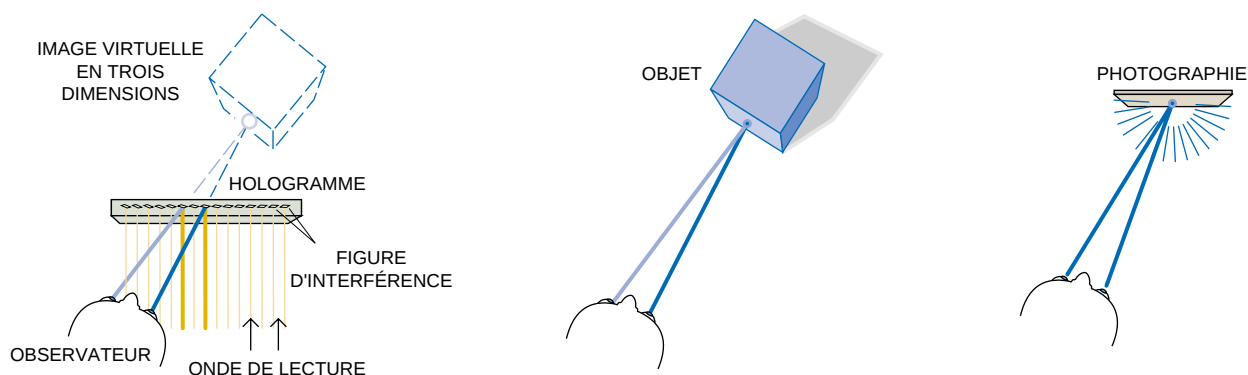
initial. Chaque œil à un angle de vue différent parce que l'intensité des ondes réfléchies varie selon leur direction ; ainsi, l'observateur voit en relief.

Un unique hologramme équivaut à de nombreuses photographies classiques, chacune prise d'une direction différente et mise au point à différentes profondeurs de champ.

Stephen BENTON, Groupe d'imagerie spatiale du Laboratoire des média, Institut de technologie du Massachusetts



LA CRÉATION D'UN HOLOGRAMME utilise une source de lumière cohérente (un faisceau laser) dans laquelle toutes les ondes oscillent en phase. Ce faisceau de référence traverse une lentille, expose le film holographique quasi transparent, et éclaire ensuite l'objet. La lumière réfléchie, nommée faisceau objet, expose également le film. Le faisceau de référence et le faisceau objet interfèrent et forment une figure d'argent du film holographique.



LA LECTURE D'UN HOLOGRAMME requiert un éclairage sur le film qui provient de la même direction que le faisceau de référence. La figure d'interférence sur le film d'argent diffracte et réfléchit la lumière de façon à recréer l'orientation et l'intensité de l'onde lumineuse du faisceau objet original. Pour un même point de l'objet, chaque œil voit la lumière arriver d'un point différent de la figure d'interférence (à gauche). En répétant cette opération pour chaque point de l'objet, l'observateur voit une

image virtuelle en trois dimensions flotter derrière l'hologramme. L'hologramme imite la manière dont on perçoit un objet réel : la nature de la lumière réfléchie varie avec l'angle de vue. Cette variation est indiquée par la différence de couleur entre les rayons atteignant chaque œil pour l'hologramme et l'observation de l'objet réel (à gauche et au centre). À l'inverse, une photographie en deux dimensions réfléchit la même intensité de lumière dans toutes les directions (à droite).

Illustrations de Boris Starosta