

ont ensuite écouté un ensemble de phrases mêlées à un fond sonore aléatoire. À leur insu, la moitié des participants entendaient des phrases prononcées par la personne sur les lèvres de laquelle ils venaient de lire. Ils ont mieux réussi à détecter les phrases au milieu du bruit de fond que les autres.

Les résultats sur la perception multisensorielle de la parole ont incité les chercheurs à examiner tous les types d'interactions. Dès lors, ils ont multiplié les découvertes. Le goût perçu est par exemple influencé par l'odeur, mais aussi par les images et les sons. Ainsi, une boisson parfumée à l'orange semble avoir le goût de cerise si elle est colorée en rouge, et *vice versa*. En 2005, Massimiliano Zampini, de l'Université de Trente, en Italie, et son équipe ont montré que la diffusion d'un son modifié de « croquant » à des sujets qui mangent des chips change la façon dont ils perçoivent la fraîcheur et le croustillant de l'aliment. Quand on regarde un motif visuel qui descend continuellement, telle une chute d'eau, tout en touchant certaines surfaces immobiles, on a l'impression que ces surfaces sont en train de monter. Tom Stoffregen, de l'Université du Minnesota, et ses collègues ont demandé à des sujets de se tenir droits et de déplacer leur regard, d'une cible proche à une cible éloignée. Ce décalage de leur centre d'attention visuel a entraîné de légères modifications de leur posture.

Des interactions dans tous les sens

L'activité d'une aire sensorielle est donc souvent modulée par des signaux issus de plusieurs sens. En outre, le cerveau fait preuve d'une plasticité importante : une aire cérébrale peut changer de fonction lors d'une privation sensorielle, même partielle ou de courte durée. Des études d'imagerie menées depuis quatre ans l'ont confirmé pour le cortex visuel : quand on bande les yeux d'une personne ne serait-ce que durant une heure et demie, on constate que son cortex visuel se met à réagir au toucher, ce qui renforce la sensibilité tactile. Autre exemple, la myopie accroît souvent les facultés auditives et spatiales d'un individu, même s'il porte des lunettes (qui laissent flou une partie du champ visuel périphérique). Ainsi, la compensation multisensorielle est omniprésente.

On en déduit des indications thérapeutiques pour ceux qui ont perdu l'un de

Aire multisensorielle ou redirection de l'attention ?

La privation temporaire d'un sens augmente la sensibilité aux autres sens, ce que l'auteur de l'article semble attribuer aux capacités multisensorielles des aires cérébrales. Ainsi, le cortex visuel s'active en réponse au toucher lorsqu'on a les yeux bandés depuis une heure et demie. Toutefois, cette activation pourrait être le signe non pas d'un traitement des données tactiles par le cortex visuel (qui n'est plus accaparé par les données visuelles), mais d'as-

sociations apprises entre les deux types de propriétés : on associe par exemple une certaine texture tactile avec l'apparence des objets sur lesquels on l'a rencontrée, de sorte que toucher cette texture active le cortex visuel.

D'où viendrait alors l'augmentation de la sensibilité au toucher ? Elle pourrait être due à des effets attentionnels : n'étant plus mobilisée par les autres sens, l'attention peut se concentrer sur le toucher. Des études sup-

plémentaires sont nécessaires pour trancher. Le phénomène est différent lors de la privation définitive d'un sens : chez les aveugles, par exemple, le cortex visuel se « recâble » pour l'audition, et l'augmentation de la sensibilité aux sons est donc due à l'établissement de nouvelles connexions neuronales.

Pascal Mamassian,
Laboratoire Psychologie
de la perception, CNRS
et Université Paris Descartes

leurs cinq sens. Par exemple, les implants cochléaires sont moins efficaces si le cerveau a eu trop de temps pour « reprogrammer » le cortex auditif pour d'autres formes de perception, tels la vue et le toucher. C'est pourquoi, quand on décide de mettre un implant cochléaire à un enfant sourd de naissance, mieux vaut le faire aussi tôt que possible. On encourage aussi les enfants sourds dotés de ces implants à regarder des films de personnes qui parlent, afin qu'ils apprennent à associer les mouvements des lèvres à ce qu'ils entendent.

Les dispositifs de reconnaissance de la parole (tels ceux traduisant les paroles captées par un microphone en un texte écrit) ont aussi bénéficié des recherches sur la perception multisensorielle. Ces dispositifs sont souvent perturbés par le bruit de fond, même modéré. Quand on leur fait analyser les mouvements de la bouche du locuteur (ils doivent alors disposer d'une caméra), leur précision s'améliore notablement. Cette stratégie fonctionne avec les caméras des téléphones cellulaires.

La notion de perception multisensorielle semble contredire notre expérience quotidienne. D'instinct, nous séparons les sens, qui paraissent traiter des aspects différents du monde. Nous utilisons les yeux pour voir et les oreilles pour entendre ; nous ressentons la consistance d'une pomme avec les mains et son goût avec la langue. Cependant, lorsqu'une information sensorielle atteint le cerveau, tout s'amalgame. Le cerveau ne range pas l'information visuelle provenant des yeux dans un conteneur neuronal, et celle, auditive, issue des oreilles dans un autre. Au contraire, il interprète le monde qui nous entoure en mêlant les diverses formes de perceptions sensorielles. ■

■ L'AUTEUR



Lawrence
ROSENBLUM
est professeur
de psychologie
à l'Université
de Californie
à Riverside, aux États-Unis.

■ SUR LE WEB

Vidéos sur l'effet McGurk et d'autres expériences de perception multisensorielle : ScientificAmerican.com/jan2013/multisensory-perception.

■ BIBLIOGRAPHIE

Barry Stein (éd.), *The New Handbook of Multisensory Processing*, MIT Press, 2012.

L. Rosenblum, *See What I'm Saying : The Extraordinary Power of Our Five Senses*, W. W. Norton, 2010.

L. Rosenblum, *Speech perception as a multimodal phenomenon*, *Current Directions in Psychological Science*, vol. 17, pp. 405-409, 2008.

Les grappes de sphères collantes

Brian Hayes

Dans un tas de billes, quel est le nombre maximal de contacts que l'on peut former ? On connaît depuis peu la réponse... mais seulement pour moins de 12 billes !

Prenez 12 billes identiques, et serrez-les pour former un amas compact. Comptez alors le nombre de points où les billes se touchent. Quel est le plus grand nombre que vous pouvez obtenir ? Quel est l'arrangement géométrique correspondant ? La grappe optimale est-elle unique, ou bien en existe-t-il plusieurs donnant le même maximum ?

Pour une grappe constituée de trois, quatre ou cinq sphères de taille égale, on imagine que le problème ne pose pas de difficultés particulières. Mais il se corse très vite quand la taille des grappes augmente. Ces trois dernières années, le nombre maximal de contacts a été déterminé pour les grappes comprenant jusqu'à 11 sphères. Pour ce faire, il a fallu recourir à des outils mathématiques empruntés à la théorie des graphes ou à la géométrie, ainsi qu'à de gros calculs et, à quelques étapes cruciales, à la construction de modèles de boules et de tiges.

Pour les grappes de 12 sphères ou plus, on ne connaît toujours pas les réponses. Il est un peu humiliant d'être mis en échec par de si modestes tas de billes, mais ce n'est en fait pas si surprenant. Les problèmes

L'ESSENTIEL

■ Les empilements de sphères intéressent depuis longtemps les mathématiciens et les physiciens.

■ L'une des questions porte sur le nombre maximal de contacts entre sphères dans un empilement fini.

■ Ce problème est facile pour moins de cinq sphères, mais il n'a été résolu que récemment pour des agrégats contenant jusqu'à 11 sphères.

■ Le cas d'une grappe de 12 sphères pourrait être bientôt réglé. Au-delà, c'est l'inconnu.

Sauf mention contraire, toutes les illustrations sont de Brian Hayes

d'empilements compacts de sphères sont notoirement épineux. Certains résistent depuis des siècles.

Ainsi, en 1611, Johannes Kepler a affirmé que l'empilement le plus dense possible de sphères identiques est l'arrangement correspondant aux pyramides d'oranges que l'on voit chez les marchands de primeurs (voir la figure 1). Toute sphère y touche 12 autres sphères, et la fraction du volume rempli par les sphères s'élève à $\pi/\sqrt{18}$, soit environ 0,74. Kepler pensait apparemment que la supériorité de son empilement était tellement évidente qu'aucune démonstration n'était nécessaire ; et aucune preuve n'a été fournie pendant près de 400 ans. Ce n'est qu'en 1998 que Thomas Hales, de l'Université de Pittsburgh, a enfin démontré qu'aucun autre empilement tridimensionnel n'était plus dense.

La conjecture de Kepler et sa démonstration par Th. Hales s'appliquent à un réseau infini de sphères. Mais une autre énigme pluricentenaire concerne les grappes finies. Tout a commencé dans les années 1690 avec une dispute entre Isaac Newton et son disciple David Gregory. D'après une version de

l'histoire, Newton soutenait qu'une sphère centrale ne pouvait pas toucher plus de 12 autres sphères identiques, alors que, selon Gregory, il y avait de la place pour une 13^e sphère dans le halo. Ce problème du «nombre de baisers» n'a été résolu qu'en 1953, quand l'Allemand Kurt Schütte et le Néerlandais Bartel van der Waerden ont prouvé que Newton avait raison, mais de justesse : quand on introduit une 13^e sphère dans la grappe, le diamètre global n'augmente que d'environ cinq pour cent (voir la figure 2).

Pourquoi le compactage des sphères suscite-t-il autant d'intérêt ? Kepler tentait d'expliquer les symétries des flocons de neige, et de nombreux travaux ultérieurs sur les empilements de sphères étaient également motivés par des questions sur la structure des solides et des liquides. L'accent mis récemment sur les grappes a pour origine l'étude des colloïdes, poudres et autres systèmes physiques où la cohésion des amas de particules est assurée par des forces de très courte portée.

Pour construire des grappes et compter les contacts, il est commode de travailler avec des sphères de diamètre de 1 (donc de rayon 1/2). Quand deux telles sphères se touchent, la distance

1. CETTE « GRAPPE » DE DIX ORANGES, construite sur le même mode que l'empilement compact de Kepler, contient 22 contacts entre deux oranges. On peut faire mieux : il existe trois grappes de dix sphères identiques présentant 25 contacts.

entre leurs centres vaut 1. Les diagrammes accompagnant cet article montrent une tige de longueur 1 reliant les centres des sphères qui se touchent. Certains modèles physiques des grappes (dont les kits *Geomag*) conservent ce squelette de tiges de liaison et omettent complètement les sphères.

Maximiser les contacts

Dans une grappe de n sphères, notons C_n le nombre total de points de contact, et $\max(C_n)$ la valeur maximale de C_n que l'on rencontre parmi toutes les grappes de n sphères. Pour les plus petites valeurs de n , il n'est pas difficile de trouver $\max(C_n)$ (voir la figure 3).

Le cas $n = 1$ est trivial : une sphère isolée ne touche rien, donc $\max(C_1) = 0$. Deux sphères ne peuvent se toucher qu'en un point, d'où $\max(C_2) = 1$. Pour trois sphères, la meilleure solution est de placer les centres des sphères aux sommets d'un triangle équilatéral ; dans cette configuration, il y a trois points de contact, donc $\max(C_3) = 3$. On peut placer une quatrième sphère au sommet du triangle pour créer un tétraèdre régulier à six contacts deux à deux, d'où $\max(C_4) = 6$.



© Shutterstock/Imageman