

Comment notre cerveau calcule-t-il ?

STANISLAS DEHAENE

L'observation de notre cerveau en activité révèle quelles régions cérébrales sont spécialisées dans le traitement arithmétique (comparaison, soustraction et multiplication) et comment leurs actions sont coordonnées.

En 1945, le mathématicien Jacques Hadamard publie un essai sur la psychologie de l'invention dans le domaine mathématique. Il y résume sa longue enquête sur la représentation mentale des objets mathématiques, glanant des indices dans les biographies de ses prédécesseurs, dans les témoignages de ses contemporains les plus prestigieux et dans son expérience personnelle. Il en déduit d'intéressantes hypothèses sur les conditions psychologiques de la découverte mathématique.

Pourtant, son brillant mémoire s'achève sur une interrogation. Mentionnant les théories de Franz Joseph Gall, qui postulait un organe cérébral dédié au «sens des rapports des nombres», il conclut : «Des idées plus ou moins analogues à celles de Gall vaudraient la peine d'être suivies. Mais comment?... Arrivera-t-il jamais que des mathématiciens en sachant assez au sujet de la physiologie du cerveau et que des neurophysiologistes soient suffisamment au courant de la découverte mathématique pour qu'une coopération efficace soit possible?»

Le vœu d'Hadamard est en voie d'être exaucé : nous étudions aujourd'hui scientifiquement les bases cérébrales des mathématiques élémentaires. Avec des méthodes issues de la psychologie cognitive, de la neuropsychologie et de l'imagerie cérébrale, nous découvrons les zones cérébrales actives lors des opérations arithmétiques. Mes propres recherches se sont concentrées sur les plus

simples, mais aussi les plus fondamentaux des objets mathématiques : les nombres entiers.

L'analyse du temps que nous mettons à comparer deux nombres indique que notre cerveau examine les mots ou les chiffres arabes, expressions symboliques, selon une représentation interne des quantités numériques analogue à une ligne le long de laquelle les nombres se succéderaient dans l'ordre croissant. Cette représentation et la manipulation des nombres utilisent de façon prépondérante une aire cérébrale, la région pariétale inférieure. Toutefois, selon l'opération arithmétique que nous effectuons, comparaison, soustraction ou multiplication, cette région s'active dans l'un ou l'autre hémisphère et coordonne son activité avec plusieurs autres aires spécialisées et réparties dans le cerveau, notamment celles qui contrôlent la production du langage.

Comparons deux nombres

Supposons que vous ayez quelques francs en poche et que vous envisagiez d'acheter différents articles. Combien de temps vous faudra-t-il pour juger si leur prix dépasse ou non vos faibles moyens ? En 1967, Robert Moyer et Thomas Landauer, de l'Université Stanford, ont remarqué que le temps de comparaison de deux nombres est d'autant plus long que ceux-ci sont proches : nous comparons plus rapidement 8 avec 2 que 5 avec 6.

Avec Emmanuel Dupoux et Jacques Mehler, du Laboratoire de sciences

cognitives et psycholinguistiques de l'EHESS et du CNRS, nous avons observé le même «effet de distance» pour la comparaison de nombres à deux chiffres. Dans l'une de nos expériences, nous avons étudié la comparaison à une référence fixe de 65. L'affichage d'un nombre de deux chiffres sur un écran d'ordinateur déclenchait un chronomètre qui s'arrêtait dès que la personne testée répondait «plus grand» ou «plus petit» en appuyant sur un bouton. Les résultats sont d'une grande régularité. À mesure que le nombre comparé se rapproche de 65, le temps de réponse augmente (voir la figure 2) ; les erreurs suivent une courbe semblable.

Lorsque l'on reconstruit cette courbe par un modèle mathématique, on découvre que le temps de réponse est une fonction du logarithme de la distance entre les nombres. De façon remarquable, une loi logarithmique similaire rend compte du temps nécessaire à un sujet humain pour comparer deux grandeurs physiques, tels le poids ou la longueur de deux objets... ou du temps nécessaire à une balance de Roberval pour basculer, d'autant plus long que les valeurs des poids placés sur ses plateaux sont voisines. Ainsi les nombres, objets symboliques abstraits, semblent traités par le cerveau humain comme des quantités physiques concrètes et continues. Même présentés sous forme d'une série de chiffres arabes, ils seraient convertis mentalement en une quantité interne continue, puis «pondérés» mentalement.

Dans le cas des nombres à deux chiffres, les résultats de l'expérience de