



# Un cerveau naturellement conçu pour les mathématiques

Jean-Luc Berthier

Spécialiste des sciences cognitives de l'apprentissage

Deux questions se posent autour de la relation entre les mécanismes cognitifs et les mathématiques, qui interrogent fortement leur enseignement dans le monde scolaire. Déjà, le cerveau humain est-il naturellement conçu pour manipuler les outils et traiter les concepts mathématiques ? Ensuite, que peut-on attendre des mathématiques pour le développement des fonctions cognitives ?

Des premiers éléments de réponses peuvent être avancés. On peut évoquer le ressenti croissant de difficulté, pouvant aller jusqu'à l'aversion, qu'éprouvent les élèves, depuis le cycle primaire (où la discipline est généralement appréciée) jusqu'à la fin du cycle lycée. Rares sont les adultes disant leur plaisir à avoir étudié les mathématiques ! On peut également s'interroger sur la place que peuvent occuper les mathématiques dans le développement des fonctions exécutives, qui sont le fondement de la cognition de tout humain.

## Des prédispositions qui sont un cadeau de l'évolution !

L'idée clé désormais validée par la communauté des neuroscientifiques, qui ne l'était pas à l'époque du psychologue du développement Jean Piaget (1896—1980), est que le cerveau du bébé n'apprend pas de rien, telle une ardoise vierge. Il dispose à sa naissance de compétences le prédisposant à manipuler des concepts à caractère mathématique. C'est un cadeau de l'évolution humaine : le cerveau est prêt pour développer des compétences en numération et algèbre, analyse, géométrie, symbolisation, résolution de problème et abstraction.

## Plasticité cérébrale, connectivité neuronale et modèles mentaux

Dès la vie utérine et au long des premières années, les neurones se créent à une vitesse fulgurante pour atteindre un nombre stabilisé d'une centaine de milliards, regroupés pour activer des fonctions dédiées, intégrer savoirs et compétences, agir, penser, apprendre. Les neurones se caractérisent par une connectivité évolutive qui va rendre possible l'évolution de la pensée et l'apprentissage. Les neurones modifient incessamment leur voisinage et leur structure, multipliant les liens entre eux, accroissant la vitesse de déplacement de l'information dans les axones, voire disparaissant. C'est la phase biologique de l'apprentissage, au cours de laquelle s'acquièrent les savoirs et compétences, se complexifie la pensée, se gèrent les erreurs.

Une connaissance, une idée, un concept, le sens d'un terme se représentent par des modèles mentaux, qui fourmillent et s'entremêlent dans notre esprit. L'apprentissage—on apprend continûment—peut s'interpréter comme une mise à jour et un accroissement permanent des modèles. Penser en mathématique, c'est reconfigurer, grâce à la plasticité, nos modèles mentaux, tous interconnectés. L'architecture mentale s'élabore tout au long de la vie, en particulier au cours de l'enfance et de la jeunesse, permettant par exemple de manipuler des symboles de plus en plus nombreux, de passer du monde concret au monde abstrait, d'élaborer des modèles mathématiques de plus en plus sophistiqués.

## La manipulation des symboles et le passage à l'abstraction

Le monde mathématique fourmille de symboles, éléments de son langage. Le cerveau possède naturellement cette aptitude de pénétrer et évoluer dans le monde de l'abstrait en associant aux entités concrètes des symboles, puis en les manipulant pour s'en approprier de nouveaux afin d'embrasser un monde de plus en plus complexe. L'enfant se dote de chiffres, puis de nombres, de signes associés aux opérations mathématiques de base, de traits pour les fractions, du nombre  $\pi$ , des représentations géométriques... Plus grand, il se familiarise avec les parenthèses, les puissances, les logarithmes, l'infini, les nombres complexes, et le paysage ne cesse de s'enrichir. Parti de l'objet, de l'image, du concret, ses représentations s'abstractisent. Ce chemin progressif et naturel de la pensée est à la base de la « méthode de Singapour » : manipuler, verbaliser, abstractiser. L'enfant conçoit des quantités concrètes et visibles (trois boules, dix personnes, un dé, un cône...) puis, progressivement, l'imaginaire perd pied (cent personnes, mille grains de sable, des millions, des puissances de 10, le nombre d'Avogadro, l'infini...).

On peut comparer la progression vers l'abstrait à l'échelle d'un cerveau depuis la petite enfance, avec l'évolution des systèmes de numération à l'échelle collective : les petits traits gravés dans l'argile, la symbolisation par les lettres chez les Romains, puis les chiffres arabes discontinus, l'écriture décimale, les puissances, les logarithmes...

Le passage à l'abstrait devient de plus en plus difficile pour un nombre croissant d'élèves. C'est peut-être l'une des différences de fond qui distinguent les mathématiques d'autres disciplines.

## Évoluer dans les limites de la mémoire de travail

Où, dans le cerveau, la cognition se déroule-t-elle, et avec quelles contraintes naturelles ? Nous plongeons dans deux mondes cérébraux intimement complémentaires : les *systèmes de la mémoire*, et les *fonctions exécutives* (mémoire de travail, attention, inhibition, flexibilité mentale, planification). Une fois les informations perçues et reconnues (*mémoires perceptives*), elles activent les populations neuronales associées à l'une de nos grandes fonctions exécutives, la *mémoire de travail*. Durant un temps limité (une poignée de secondes, voire de minutes), les informations sont comprises, traitées en relation avec la mémoire sémantique des savoirs et avec la mémoire procédurale des automatismes.

La mémoire de travail est quantitativement limitée en traitement d'informations. Plusieurs processus cognitifs se mettent en œuvre, fondamentaux en mathématique. Passons-les en revue.

*La mobilisation de mécanismes automatiques acquis.* Avec eux, le cerveau fonctionne rapidement, inconsciemment, presque toujours sans erreur. C'est ce que l'on nomme le *système 1* de la pensée, ou des *heuristiques*. Il permet à la mémoire de travail de se libérer de la charge cognitive pour penser rationnellement, lentement et plus sûrement. C'est le fonctionnement en *système 2* ou *algorithmique*. Le mixage judicieux permettant d'optimiser ce double fonctionnement intriqué s'opère grâce au *système 3*, dit système de *l'inhibition*, dont le rôle est de ne pas se laisser



Stanislas Dehaene, professeur au Collège de France, à l'occasion d'une conférence sur le Salon Culture et Jeux Mathématiques (mai 2017).

© É. Thomas, 2017

entraîner dans des automatismes inopportuns tels qu'un raisonnement hâtif et erroné, des réflexes inadaptés, et plus généralement des impulsions excessives ou embarrassantes. C'est une forme de résistance cognitive régulatrice, indispensable aux raisonnements. L'utilisation d'opérations mathématiques relève du champ heuristique, qu'il convient d'entraîner, et d'entraîner encore, jusqu'à les automatiser en partie.

*L'attention.* Autre fonction exécutive directement associée à la mémoire de travail, l'attention est l'une des plus utiles chez l'humain. Elle améliore la mémorisation, la gestion des informations, la précision et la qualité du focus sur l'exécution de la tâche en cours. Nous sommes au cœur même de la compréhension, et de la production cognitive.

*La manipulation d'un lexique de mots et de sens de concepts aussi riche et précis que possible.* La compréhension de consignes, la communication, démarre chez le jeune par la désignation et l'explicitation. Plus ce vocabulaire de base est riche, meilleur (et rapide) est le fonctionnement de la mémoire de travail, pour laisser de l'espace au raisonnement.

## La nécessité d'un bon entraînement à l'attention

L'insuffisance de la mémoire de travail entraîne de lourdes conséquences pour les élèves, relativement à l'attention, à la limitation des informations à traiter conjointement, à la planification du raisonnement, à l'inhibition des phases inappropriées d'un raisonnement. Peut-on améliorer à l'école ces capacités ? Oui, par des exercices d'entraînement à l'attention, par la mentalisation (activités de type Mathador, Réseau Canopé, 1999), par l'acquisition d'automatismes (opérations mathématiques, lecture d'un graphique, traitement des fractions, résolution d'équations...), par l'entraînement au contrôle de la pensée (mise au calme mental, préparation à la concentration).

Au fur et à mesure de l'apprentissage, l'élève progresse dans la gestion de la complexité, qui se traduit par le traitement d'un nombre croissant d'éléments en mémoire de travail, qui pourtant est limitée ; il mobilise un nombre plus important de situations de référence, qui nourrissent son intuition ; et il devient plus créatif, en se désenfermant des automatismes.

Une divergence opère entre ceux qui évoluent aisément dans le monde mathématique et les autres. C'est pour certains le début du décrochage.

## Le cerveau est de nature prédictive et probabiliste

En toutes circonstances, y compris les plus anodines du quotidien, le cerveau se pose des questions, pour lesquelles il émet, consciemment ou inconsciemment, des hypothèses issues des modèles mentaux acquis. L'apprentissage a lieu lorsque les hypothèses sont confrontées à la réponse donnée par l'enseignant ou tout simplement à la vie. Ce processus d'émission repose sur un fonctionnement mental statistique (« une hypothèse semble plus probable que d'autres »). C'est le cas chez le bébé déjà.

On peut en tirer certaines conclusions : nous apprenons essentiellement par questionnement, par résolution de situations problèmes, par résolution d'erreurs dites pertinentes. C'est l'efficacité pédagogique du jeu, des groupes d'apprentissage, des énigmes, de l'implication active. On pressent en filigrane une forme efficace de pédagogie. Écouter, lire, imiter, ne suffisent pas.

## Un sens inné de la quantité et du repérage spatial

L'estimation de la quantité (dire si l'une est plus grande ou plus petite que l'autre) fait partie des compétences innées. Chez l'humain, l'évaluation est d'abord approximative, avec la possibilité balbutiante d'amorcer les mécanismes de l'addition et de la soustraction. Puis la précision s'affine avec le comptage discret d'objets physiques. C'est sur cette capacité que va se construire la numératie. L'humain est prêt à la développer sans limite !

Citons également l'aptitude au repérage spatial, les notions de gauche, droite, haut, bas, arrière, avant, qui permettent dès les premiers mois de positionner les objets et les personnes, de les relier à d'autres. L'aptitude à la géométrie est là, même embryonnaire, soutenue par la compétence à faire pivoter les images mentales dans le cerveau.

*L'appareil cognitif est donc conçu pour les mathématiques. Toute la question est la mise en œuvre de modalités pédagogiques subtilement adaptées pour les développer avec le moins possible d'empêchements pour chacun.*

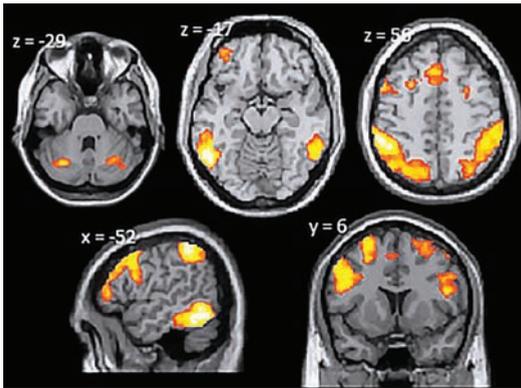
## Les maths pour le développement des fonctions cognitives

Toute activité cognitive s'appuie sur les fonctions exécutives de base, les systèmes de la mémoire et la plasticité cérébrale. En cela, les mathéma-

tiques ne sont pas vraiment spécifiques. Mais elles sont un terrain magnifique d'opportunités de développement du cerveau : inhibition, rigueur et logique, étonnement et questionnement, symbolisation, planification.

C'est à partir d'une architecture innée, imparfaite et balbutiante que se structure toute pensée. Oui, le cerveau de l'humain est conçu pour évoluer dans le monde mathématique. Oui, l'activité mathématique dépassant largement la pratique des outils opérationnels de base permet aux fonctions exécutives de se développer efficacement, au service de tout acte de la vie, très au-delà de la seule culture mathématique.

### J.-L. B.



Coupes montrant les zones du cerveau en activité lors d'une résolution de problème par un mathématicien expert.

Source : *Origins of The Brain Networks For Advanced Mathematics In Expert Mathematicians, Proceedings Of The National Academy Of Sciences 113 (18), 2016*

© Marie Amalric et Stanislas Dehaene

#### Pour en savoir (un peu) plus :

*La bosse des maths, quinze ans après.* Stanislas Dehaene, Odile Jacob, 2010.

*Maths Langages Express.* Comité international des jeux mathématiques, 2017.

*Maths Jeux Culture Express.* Comité international des jeux mathématiques, 2019.