Dossier élaboré avec la collaboration de l'institut thématique multiorganisme (Itmo) Neurosciences

Les secrets de l'apprentissage

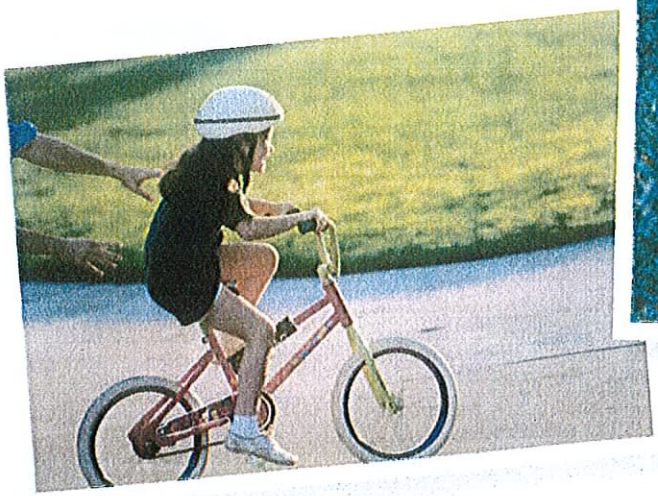
- Les arcanes de la mémoire 24
- Comment notre cerveau apprend ? 26
- Apprendre à apprendre 28
- Lire et écrire : rien que du plaisir ? 31
- Mathématiques : de l'intuition à la manipulation 34

C'est la rentrée. Chaque jour, pendant 10 mois, les élèves vont apprendre. Des théorèmes de géométrie, des règles de grammaire, et pour les plus jeunes, l'écriture et la lecture. Comment font-ils ? Quels mécanismes permettent d'engranger tant d'informations et surtout de pouvoir y accéder lorsqu'on en a besoin ? La mémoire joue ici un rôle essentiel. Mais d'autres fonctions cognitives entrent également en jeu. Quelles sont-elles ? Peut-on les améliorer et apprendre plus facilement ?

MICHEL LE NOANE/FEDELPHOTO

Les arcanes de la mémoire

Tout au long de notre vie, nous apprenons. Lors de la scolarité, l'apprentissage est encore plus présent. Or, pour apprendre, il faut mémoriser. Comment cette mémoire fonctionne-t-elle ?



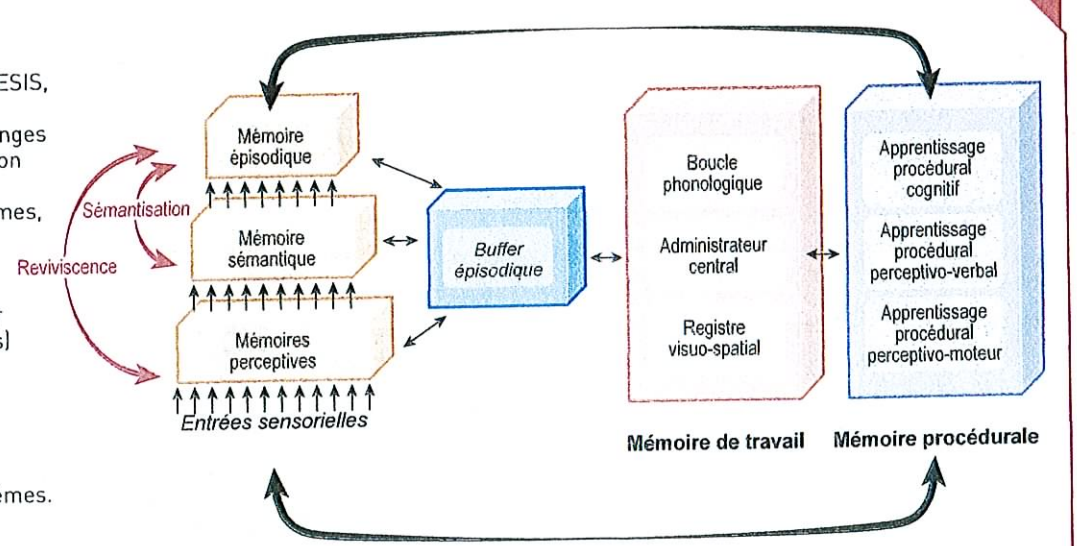
© MARK HARMEL

« *C'est la mémoire qui fait toute la profondeur de l'Homme* », disait Charles Péguy. Mais comment est organisée cette fonction qui nous permet de faire revenir à l'esprit un savoir, une expérience acquise antérieurement ? La mémoire n'est pas une entité unique. « *On parle plutôt de systèmes de mémoires, définies en fonction de leur rôle* », fait remarquer Francis Eustache (☛), neuropsychologue au Laboratoire de Neuropsychologie cognitive et neuroanatomie fonctionnelle de la mémoire humaine, à Caen. Ainsi, la mémoire de travail, autrefois appelée « à court terme », permet de mémoriser un numéro de téléphone le temps de le composer. En parallèle, quatre autres systèmes interviennent dans le stockage des informations à long terme. La mémoire procédurale, elle, consigne tous nos savoir-faire : conduire une voiture, passer la tondeuse, faire du vélo… Quant à la mémoire déclarative, celle qu'on peut exprimer par le langage, elle regroupe deux autres systèmes. D'abord la mémoire épisodique qui renferme les souvenirs personnellement vécus : « *Ma première leçon de piano, j'avais 10 ans et aucune envie d'y aller, mais j'y ai fait la connaissance d'une autre élève, devenue ma meilleure amie.* » C'est cette mémoire qui est sollicitée quand on revit des expériences du passé… ou que l'on se projette dans le futur. Ensuite, la mémoire sémantique, qui compile les connaissances générales sur le monde : la France est en Europe, les roses ont des épines, l'eau mouille… « *On se souvient rarement du contexte d'apprentissage*

☛ **Francis Eustache** : unité 923 Inserm/EPHE/Université Caen Basse-Normandie

MNESIS

Dans ce modèle de la mémoire MNESIS, Francis Eustache et Béatrice Desgranges mettent en avant son organisation en plusieurs systèmes, mais aussi son aspect constructif et dynamique. Au centre, le *buffer* (tampon en anglais) se rapproche de la notion de conscience de soi, puisqu'il est en prise directe avec les différents systèmes.



© INFOGRAPHIE : CAROLE FUMAT

© PURESTOCK/BSIP

© WILFRIED KRECICHWOST/GETTY IMAGES

© BASTIEN DEFIVES / TRANSIT / PICTURETANK

La mémoire fourmille d'informations, de savoir-faire, de souvenirs... Comment s'organise-t-elle ?

de ce type d'informations », souligne Francis Eustache. En parallèle, la mémoire perceptive permet, par exemple, de reconnaître une forme plus rapidement si on l'a déjà vue auparavant.

Encoder, stocker... et récupérer

Trois étapes permettent de mémoriser des informations et surtout, de s'en rappeler : l'encodage, le stockage et la récupération. « *Surtout, la mémoire se construit*, insiste Francis Eustache. *Et pour que la construction s'opère, pour que la mémoire soit fluide, il faut que l'on oublie beaucoup.* »

Imaginons que vous venez d'assister à une réunion. Immédiatement après, vous vous souvenez que le dernier orateur n'avait pas de cravate, mais vous avez déjà oublié son nom. De plus, bien que vous n'ayez pas trouvé un intérêt particulier à son discours, et que vous soyez incapable d'en citer une phrase, celui-ci vous a changé. Vous avez appris des informations sans en avoir vraiment conscience. C'est alors qu'intervient la phase de stockage, celle qui vous permet de consolider les souvenirs. Allez-vous enregistrer de façon permanente toutes les informations entendues ? Non. « *Plus ou moins volontairement, chacun va agréger d'une façon ou d'une autre ce qu'il a appris en fonction de ce qu'il connaît. Processus d'oubli, d'une part, et de sémantisation, d'autre part, sont alors à l'œuvre : nous gardons en mémoire les éléments-clés, ceux qui renforcent nos croyances ou au contraire ceux qui les remettent en cause* », précise Francis Eustache.

© UNITE INSERM 923, CAEN

L'imagerie cérébrale permet d'étudier le fonctionnement de la mémoire.

Mais ces systèmes de mémoire ne sont pas étanches et la mémoire est loin d'être figée. Ainsi, des souvenirs très précis d'une ville, enregistrés suite à une visite, vont devenir au fil du temps des connaissances générales sur cette même ville, indépendamment du contexte qui a permis de les apprendre.

Julie Coquart

TEST

La mémoire est un processus actif

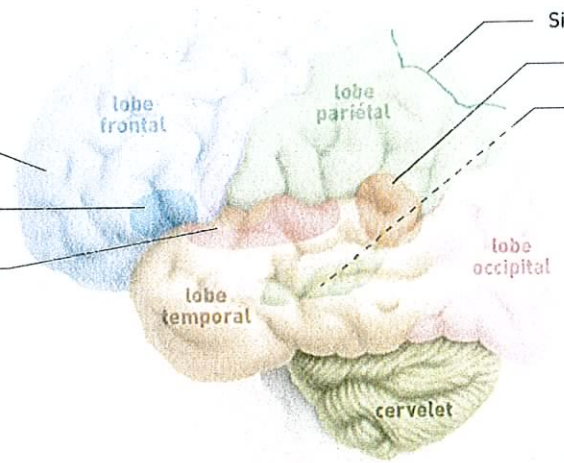
Faites passer ce test à votre entourage : recopiez la liste de mots suivante et présentez-la avec pour consigne de les retenir.

Caramel, loukoum, dragée, ganache, réglisse, sucette, chewing-gum, calisson, nougat, bergamote, praline, guimauve, truffe, orangette, marrons glacés

Quelques instants plus tard, citez certains de ces mots en leur demandant s'ils appartiennent à la liste. Parmi ceux-là, glissez le mot « sucreries ». La plupart des gens répondront qu'il fait effectivement partie des mots à retenir. Ce qui est faux. Mais qui prouve bien que le cerveau n'a pas enregistré les mots sans traitement: il les a analysés et les a répertoriés comme étant tous des sucreries. C'est la mémoire sémantique qui est ici à l'œuvre.

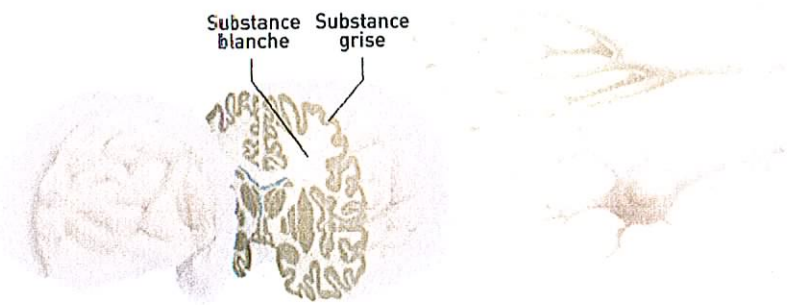
Comment notre cerveau apprend ?

Renfermant une centaine de milliards de neurones, notre cerveau est le centre de contrôle de notre organisme et le siège de toutes les fonctions cognitives. Il permet, entre autres, d'acquérir de nouvelles connaissances et de les réutiliser. Mais comment fait-il ?



L'hippocampe, le chef d'orchestre de nos souvenirs

C'est une petite structure limbique enfouie au fond de notre cerveau ressemblant au poisson du même nom. Durant le sommeil, des interactions répétées entre l'hippocampe et des régions spécifiques du néocortex - la couche externe des hémisphères cérébraux - ont lieu, permettant la consolidation mnésique.



Notre cerveau est constitué de la substance blanche, composée d'une multitude de fibres nerveuses, les axones, reliant les différentes régions cérébrales, et de la substance grise, composée des corps cellulaires des neurones qui communiquent grâce aux synapses. Toutes deux présentent une certaine plasticité : les circuits cérébraux sont donc capables de se remodeler sous l'effet de l'expérience. Plus on apprend, plus il y a de connexions synaptiques qui s'établissent entre les neurones et plus ces synapses se renforcent. Les signaux sont ainsi transmis encore plus rapidement et plus efficacement. La substance grise se développe quant à elle avec la création de nouvelles synapses et même de nouveaux neurones dans certaines régions du cerveau comme l'hippocampe. Ces synapses utilisent comme neurotransmetteur le glutamate, qui se fixe sur des récepteurs spécifiques au niveau du neurone post-synaptique, les récepteurs AMPA. Mais, lorsque la stimulation est forte ou répétée et que la concentration de glutamate libéré est importante, d'autres récepteurs du glutamate entrent en action, les récepteurs NMDA. L'activation de ces derniers déclenche l'entrée d'ions calcium dans le neurone post-synaptique. S'en suit une cascade de réactions chimiques aboutissant à l'expression de certains gènes qui permettent la synthèse de protéines nécessaires à la modification des connexions entre les cellules nerveuses. Serge Laroche (☛) et son équipe du Centre de neurosciences Paris-Sud à Orsay ont identifié certains de ces gènes, dont *zif268*. En inactivant celui-ci chez des souris, ils ont constaté que les petits rongeurs ne pouvaient pas retenir les informations apprises plus de quelques heures. En réalité, *zif268* permettrait de stabiliser les modifications synaptiques et serait essentiel à la consolidation mnésique, c'est-à-dire à la mémorisation à long terme.

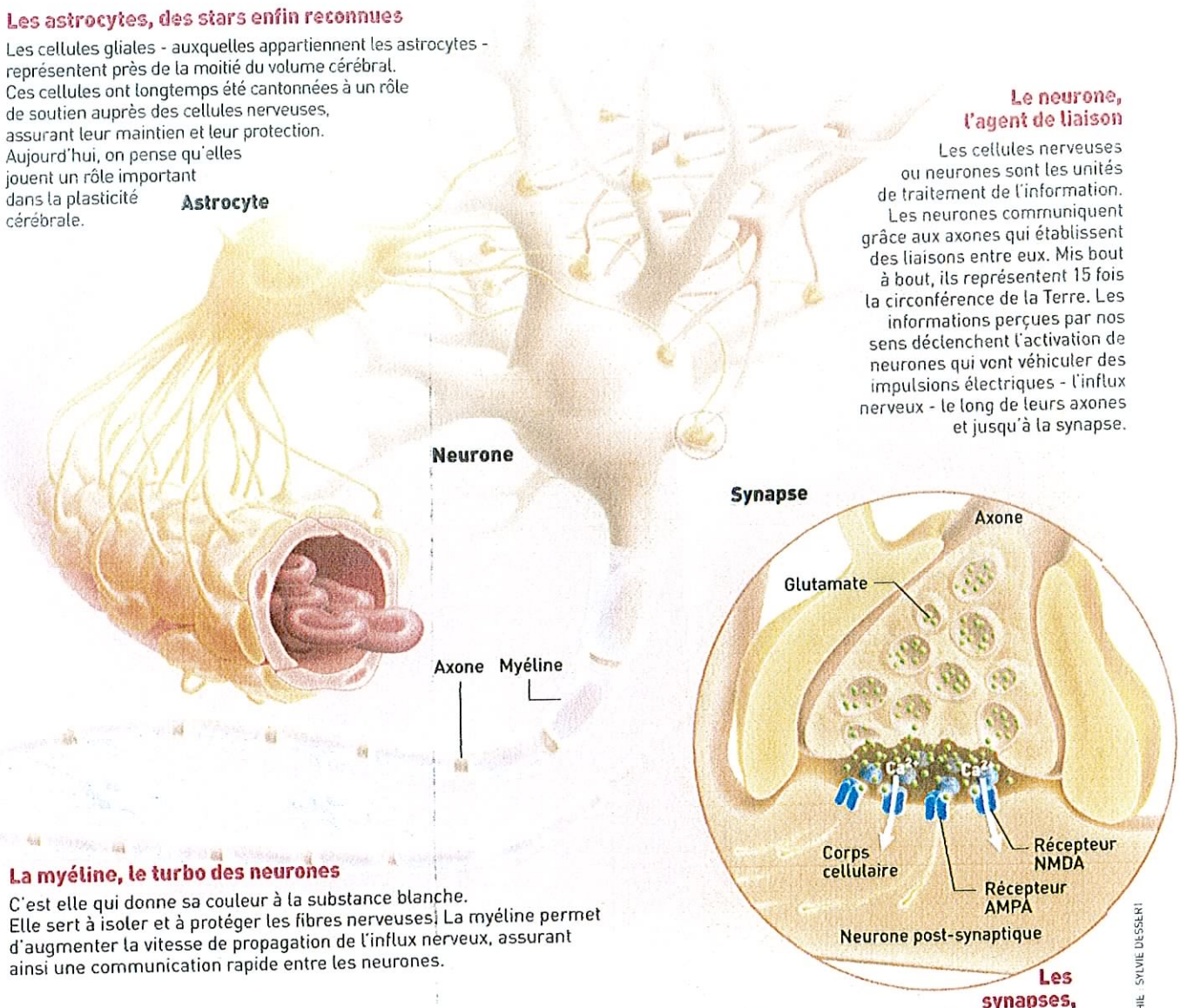
☛ **Serge Laroche** : UMR 8195 CNRS/Université Paris-Sud 11
☛ **Stéphane Oliet** : Unité 862 Inserm « Physiopathologie de la plasticité neuronale »
☛ **Édith Lesburguères et Bruno Bontempi** : UMR 5293 CNRS/Université Bordeaux 2 Victor Segalen

Les astrocytes, des stars enfin reconnues

Les cellules gliales - auxquelles appartiennent les astrocytes - représentent près de la moitié du volume cérébral. Ces cellules ont longtemps été cantonnées à un rôle de soutien auprès des cellules nerveuses, assurant leur maintien et leur protection. Aujourd'hui, on pense qu'elles jouent un rôle important dans la plasticité cérébrale.

Le neurone, l'agent de liaison

Les cellules nerveuses ou neurones sont les unités de traitement de l'information. Les neurones communiquent grâce aux axones qui établissent des liaisons entre eux. Mis bout à bout, ils représentent 15 fois la circonférence de la Terre. Les informations perçues par nos sens déclenchent l'activation de neurones qui vont véhiculer des impulsions électriques - l'influx nerveux - le long de leurs axones et jusqu'à la synapse.



La myéline, le turbo des neurones

C'est elle qui donne sa couleur à la substance blanche. Elle sert à isoler et à protéger les fibres nerveuses. La myéline permet d'augmenter la vitesse de propagation de l'influx nerveux, assurant ainsi une communication rapide entre les neurones.

Les synapses, chemins de la mémoire

Une synapse est l'espace qui sépare deux neurones et au niveau duquel ils communiquent. L'arrivée de l'influx nerveux entraîne la libération des neurotransmetteurs à l'extrémité de l'axone du premier neurone. Des récepteurs à la surface de la membrane du second captent ces composés chimiques, déclenchant ainsi la transmission d'un nouvel influx nerveux.

© INI-GRAPHIE - SYLVIE DESSERT

Récemment, de nombreux travaux se sont accumulés en faveur d'un rôle actif d'un autre acteur de la plasticité cérébrale : les cellules gliales, et notamment des astrocytes, en forme d'étoiles.

Des modifications durables

Stéphane Oliet (☛) et son équipe du Neurocentre Magendie à Bordeaux ont découvert qu'un acide aminé libéré par les astrocytes, la d-sérine, était nécessaire à l'activation des récepteurs NMDA, eux-mêmes indispensables au phénomène de plasticité synaptique et au maintien à long terme de ces modifications. À un niveau plus structurel, l'hippocampe jouerait lui aussi un rôle dans cette « consolidation mnésique » qui se déroule au cours de phases de repos ou de sommeil. L'hippocampe trie les informations pertinentes, pour les mémoriser. Ensuite, celles-ci sont stockées de façon durable dans différentes zones du néocortex. Édith Lesburguères et Bruno Bontempi (☛), à l'Institut de maladies neurodégénératives à Bordeaux, ont précisé comment s'instaurait ce « dialogue ». Selon eux, l'hippocampe relèverait les « adresses » des réseaux de neurones impliqués dans la formation d'un souvenir. Il les utiliserait ensuite pour réactiver de façon répétée ces réseaux, permettant ainsi le renforcement des connexions neuronales et la formation d'un souvenir durable et stable.

Cette « plasticité synaptique » est donc essentielle à l'apprentissage car elle permet de conserver, dans un réseau de neurones, la trace d'un chemin spécifique à un souvenir ou à une information apprise. Ainsi, apprendre modifie la structure de notre cerveau, et ces modifications conduisent à l'amélioration de nos performances. Un phénomène qui s'opère tout au long de notre vie. ■

Yann Cornillier

Apprendre à apprendre

Comment perfectionner notre capacité à améliorer nos connaissances ? En s'appuyant sur les trois piliers de l'apprentissage, répondent les chercheurs : attention, inhibition, motivation. Démonstration.

De quelle façon peut-on ancrer de nouvelles informations dans sa mémoire ? Premier élément de réponse : on se souvient d'autant plus d'une information que l'on retrouve au moment où on en a besoin des indices similaires aux conditions dans laquelle on l'a apprise. « *Savoir de quelle manière on va être interrogé peut conditionner la façon dont on apprend une leçon* », détaille Francis Eustache. Ainsi, dans le cadre des examens par exemple, si un étudiant sait qu'il va être interrogé sous forme de questionnaire à choix multiples, il aura tout intérêt à ordonner ses cours sous la même forme. « *Mais un traitement profond, c'est-à-dire sémantique, permet d'ancrer l'info de façon plus pérenne* », précise le chercheur. En effet, la vitesse à laquelle les informations sont oubliées est fonction de la façon dont elles ont été encodées. Premiers à disparaître, les souvenirs sensoriels, comme les odeurs. Pour s'en convaincre, il suffit de penser à une halte dans une parfumerie, où l'on veut tester plusieurs parfums. Généralement, il faut humer plusieurs fois une essence pour pouvoir la comparer aux autres. Il est donc très difficile de retenir une nouvelle odeur. « *À l'inverse*, nuance Béatrice Desgranges, neuropsychologue dans le même laboratoire que Francis Eustache, *les odeurs que l'on connaît très bien ont un fort pouvoir évocateur.* » Marcel Proust, avec ses madeleines, ne dira pas le contraire. Viennent ensuite les souvenirs passés par le filtre du codage lexical. Dans une expérience où des participants doivent apprendre un texte, on vérifie leur mémoire en leur faisant comparer des phrases exactes du texte à des phrases transformées, dans lesquelles certains termes ont été remplacés par leurs synonymes, comme « bateau » par « voilier ». « *Au-delà d'une semaine, la mémoire lexicale, celle des*

© FLORENCE DURAND/SIPA

Être attentif, l'une des conditions de l'apprentissage

Le cerveau n'est pas un muscle, mais peut-on quand même l'entraîner ?

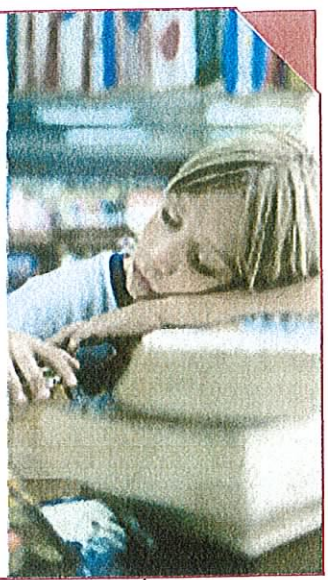
Surfant sur la peur que provoque la maladie d'Alzheimer, de nombreux programmes proposent d'entraîner son cerveau, voire de faire rajeunir son âge cérébral. Info ou intox ?
Pour Alain Lieury, il s'agit de supercherie. En effet, une expérience menée avec des enfants d'âge scolaire n'a pas montré d'amélioration dans les matières scolaires chez les jeunes ayant suivi ce type d'entraînement par rapport à ceux qui s'étaient adonnés aux jeux du style *Journal de Mickey*. Si l'on constate une amélioration des scores à ce type de jeux sur console, elle serait uniquement due à un effet d'habituation. Francis Eustache n'est pas aussi catégorique. « *Les mots fléchés, également mis en avant pour entretenir son cerveau existaient avant l'arrivée de ces programmes.* » Sa critique porte plus sur le marketing à outrance qui peut aller jusqu'à la tromperie. « *Il ne faut pas y jouer trois heures par jour, en espérant améliorer sa mémoire ou sa capacité de raisonnement au détriment des relations sociales. Ces dernières, par leur complexité, et la nécessité qu'elles impliquent de se mettre à la place de l'autre, sont tout autant importantes dans le maintien des fonctions cognitives.* »

mots, n'est plus fiable, rapporte Alain Lieury, ancien directeur du laboratoire de psychologie expérimentale de Rennes. *Mais les idées ont cependant été retenues.* » Les images mettent plus de temps à être oubliées. Quant aux informations sémantiques, porteuses du sens donc, elles résistent plus longtemps aux charmes de Léthé, la déesse grecque de l'oubli. De plus, si l'on est amené à retenir une grande quantité d'informations, il est essentiel d'étaler les périodes de mémorisation dans le temps. Ménager des temps de repos entre les phases d'apprentissage permet aux informations nouvelles d'être consolidées. Les séances de bachotage intensif jusqu'à des heures tardives ne sont donc pas efficaces sur le long terme.

Dormir pour mieux apprendre

Mémoriser, c'est sélectionner des informations à enregistrer et en oublier d'autres. Les travaux menés par Géraldine Rauchs (☛) et Pierre Maquet de l'université de Liège (Belgique) ont montré l'importance du sommeil dans ce processus de sélection. Les participants de l'expérience devaient retenir ou, au contraire, oublier certains mots qui leur étaient présentés. La moitié du groupe était ensuite privée de sommeil la première nuit après l'apprentissage. Trois jours plus tard, des tests montraient que les sujets n'ayant pas pu dormir avaient retenu autant de mots à mémoriser que les sujets ayant dormi, mais avaient aussi mémorisé plus de mots qu'ils avaient pour consigne d'oublier. Sans sommeil, le tri entre les informations pertinentes et celles qui ne le sont pas ne s'est pas fait correctement. Cette expérience confirme l'importance du sommeil dans la consolidation des souvenirs. De plus, l'IRMf a montré que l'activation de l'hippocampe lors de l'apprentissage différencie les mots qui seront retenus de ceux qui seront oubliés au cours du sommeil. Un résultat qui concorde avec ceux d'Edith Lesburgères (voir p. 27).

☛ **Géraldine Rauchs** : unité 923 Inserm/Université Caen Basse-Normandie

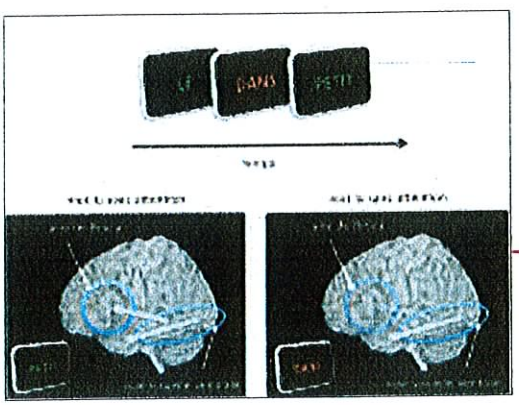


© ALTOPHES/PHOTOALTO/BSIP

Dormir permet de mieux apprendre... mais pas pendant les cours !

Attention

Pour Jean-Philippe Lachaux (☛), neurobiologiste au Centre de recherche en neurosciences de Lyon, la condition principale d'un bon apprentissage reste l'attention. Mais comment faire attention à son attention ? Il est en effet bien difficile de la définir, sauf par exclusion : tout le monde sait ce que cela signifie de ne pas faire attention ! Le chercheur invite ainsi chacun à mener sa propre introspection et à identifier les facteurs distrayants, ceux qui justement détournent notre attention. Dans son livre, *Le cerveau attentif*, Jean-Philippe Lachaux raconte ainsi une expérience menée dans son laboratoire. Des volontaires avaient pour mission de retenir les mots qui s'inscrivaient sur un écran d'ordinateur, mais seulement s'ils étaient en vert. Dans l'expérience, des mots rouges s'intercalaient entre les mots verts, apparaissant suffisamment longtemps pour que les participants puissent les lire. Ces derniers devaient ensuite raconter l'histoire énoncée par les mots verts. En général, aucun problème. Mais lorsqu'il s'agissait de raconter celle décrite par les mots rouges, ils en étaient incapables. L'expérience montre ainsi à quel point l'attention ne peut être focalisée que sur un seul objet, et qu'elle inhibe ainsi la prise en compte de tout autre stimulus. « *L'attention est un bien rare et précieux, elle ne peut être partout à la fois* », explique le chercheur. C'est d'ailleurs bien ainsi que Jean-Philippe Lachaux la définit : par la mise de côté des autres objectifs qui pourraient parasiter la tâche du moment. Un exercice difficile à mettre en œuvre, car cela demande « *de se faire confiance, de passer une sorte de contrat avec soi-même* ». On accepte de focaliser son attention sur un seul but, à l'exclusion de tout autre, comme penser à une liste de courses, aux mails en attente, à ce bourdonnement de mouche dans la pièce. Mais cet état attentif ne peut durer très longtemps. Un conseil ? Relever la tête de la tâche du moment, sortir de sa bulle, comme pour respirer et vérifier que rien d'autre ne mérite notre attention, puis... s'y replonger.



© J. P. LACHAUX

Lus sans attention (à droite), les mots n'activent pas l'aire du langage (aire de Broca).

Inhibition

Quant à Olivier Houdé, professeur de psychologie à l'Université Paris-Descartes et titulaire de la chaire de Sciences des apprentissages à l'Institut universitaire de France, il va encore plus loin. Au-delà de la simple focalisation de l'attention, l'inhibition doit aussi être mise en œuvre lors d'apprentissage. S'inspirant des travaux de Piaget, le psychologue, ancien instituteur, a développé une nouvelle théorie sur le développement cognitif des enfants. Contrairement à Piaget qui énonçait que ce développement passait par différents stades, Olivier Houdé considère que les enfants possèdent, à chaque âge, différentes stratégies cognitives. Et selon leur âge, ils en utilisent ▶▶

☛ **Jean-Philippe Lachaux** : unité 1028 Inserm/Université Lyon 1

▷▷ une préférentiellement. Ce qui peut les conduire à donner des réponses erronées. Il s'agit alors de leur apprendre à inhiber la stratégie inadéquate pour utiliser celle qui est la plus propice à la situation. Grâce à ses recherches, Olivier Houdé a réussi à mettre en évidence ce qui se passe dans le cerveau lorsqu'une stratégie est inhibée. L'expérience consistait, par exemple, à présenter deux rangées d'objets placés en correspondance un à un, en nombre identique et à demander à des enfants s'il y en avait le même nombre. À cette étape de l'expérience, la plupart des enfants répondent correctement oui. Ensuite, les objets de la rangée du dessous sont espacés, mais sans que leur nombre soit changé. Lorsqu'on demande à nouveau aux enfants d'indiquer s'il y a ou non le même nombre d'objets, ceux de moins de 7 ans répondent généralement « non ». Ils se fondent, pour répondre, sur la stratégie « longueur égale nombre ». Les plus âgés, eux, parviennent à inhiber cette réponse automatique, et à choisir l'algorithme de quantification exacte. Grâce à l'IRMf, Olivier Houdé a mis en évidence la reconfiguration cérébrale qui s'opère chez les enfants selon la situation : « *Lorsqu'ils inhibent la stratégie "longueur égale nombre", on observe l'émergence d'un nouveau réseau pariétal et préfrontal, siège des fonctions exécutives.* »

Neurite
Prolongement du corps cellulaire d'un neurone (axone ou dendrite)

Synaptogenèse
Formation des synapses

Motivation

Et si le plus important pour mieux apprendre, ce n'était pas tout simplement la motivation ? Dans ces derniers travaux, Mathias Pessiglione (☛), neuropsychologue au Centre de recherche en neurosciences de la Pitié-Salpêtrière, a ainsi montré le rôle des récompenses financières dans l'apprentissage moteur. Dans l'expérience mise en œuvre, les participants devaient appuyer sur trois des cinq touches à leur disposition de façon simultanée. Le choix des trois touches était indiqué par une image sur un écran d'ordinateur. Pour chaque combinaison de touches, une motivation financière de 10 euros ou 10 centimes, était associée. Et le résultat est sans appel : plus la récompense associée était élevée, plus les participants apprenaient rapidement à exécuter la tâche. Le plus surprenant dans cette expérience ? Les volontaires n'étaient pas conscients de la somme associée à chaque tâche : ils voyaient juste leur cagnotte augmenter progressivement. Comment transposer ces constatations à l'apprentissage scolaire ? « *Les bons points, les félicitations ou les encouragements obtenus après un effort pourraient faciliter l'apprentissage à l'école, comme dans notre expérience* », suggère Mathias Pessiglione.

Et le sport alors ? Ne recommande-t-on pas de pratiquer une activité sportive régulière pour améliorer ses performances ? Et c'est avec raison. En effet, au cours d'une activité physique, la sécrétion d'une molécule, la *brain-derived neutrophic factor* (BDNF), augmente. Or, elle joue un rôle dans la plasticité synaptique, dans la croissance neuritique (♀) et la synaptogenèse (♀), dans la maturation et la survie des nouveaux neurones, en particulier dans l'hippocampe. « *Bien que ces résultats aient été observés chez l'animal, la communauté scientifique a tendance à les considérer comme applicables à l'homme* », confirme Serge Laroche. ■

Julie Coquart

☛ Mathias Pessiglione : unité 975 Inserm/Université Pierre et Marie Curie

Test

Savez-vous inhiber ?

À l'aide des symboles présentés ci-contre, indiquez où placer deux d'entre eux pour réfuter la règle suivante « S'il n'y a pas de carré rouge à gauche, alors il y a un cercle jaune à droite ».

Il y a de fortes chances pour que vous placiez un carré rouge à gauche d'un cercle jaune... ce qui est une erreur. Vous avez été victime du biais d'appariement perceptif, piégés par la perception des figures citées dans le texte. Pour répondre correctement, il vous faut inhiber cette stratégie perceptive erronée et mettre en place la stratégie logique : pour réfuter cette règle conditionnelle, il suffit de choisir une situation où l'antécédent de la règle « s'il n'y a pas de carré rouge à gauche » est vrai et le conséquent « alors il y a un cercle jaune à droite » est faux. Un losange vert à gauche et un carré bleu à droite conviennent très bien par exemple.

Psychostimulants : peut-on doper son intelligence ?

Avec la réputation d'améliorer les performances intellectuelles, certaines substances psychoactives circulent de plus en plus sur les campus ainsi que dans le monde du travail. Mais ces médicaments rendent-il véritablement plus intelligent ? « *C'est là où réside toute l'ambiguïté de ces produits*, souligne Hervé Chneiweiss (☛) du Centre de psychiatrie et neurosciences à l'hôpital Sainte-Anne à Paris. *Si on prend l'exemple du modafinil et du méthylphénidate, ils augmentent uniquement la durée d'éveil et la vigilance, en aucun cas les capacités intellectuelles. Vous travaillerez plus longtemps mais le résultat de votre labeur n'en sera pas pour autant de meilleure qualité.* » De plus, ces substances peuvent avoir de graves effets secondaires. Si le modafinil, un médicament prescrit dans le traitement de la narcolepsie et l'hypersomnie, permet de sauter une ou deux nuits, le manque de sommeil qu'il entraîne peut déclencher certains troubles psychiatriques (anxiété, paranoïa, trouble schizoïde...). Pour les dérivés des amphétamines (méthylphénidate), dont le représentant le plus connu est la Ritaline®, un médicament employé dans le traitement de l'hyperactivité, ils peuvent avoir de graves conséquences cardiovasculaires. Mieux vaut donc bien réfléchir avant de se lancer dans le dopage intellectuel.
Peut-être que la meilleure solution, et sans doute la plus efficace, reste encore d'étudier régulièrement et sérieusement.

☛ Hervé Chneiweiss : Unité 894 Inserm/Paris 5, équipe Plasticité gliale et tumeurs au cerveau

Lire et écrire
Rien que du plaisir ?

Lire et écrire nous semblent des activités automatiques. Pourtant, les principes et les mécanismes qui les sous-tendent sont loin d'être simples. Comment les enfants parviennent-ils à les maîtriser ? Et peut-on leur simplifier la tâche ?

© FRANCK COURTES/AGENCE VU

Avant de s'automatiser, la lecture nécessite un apprentissage, plus ou moins difficile.

Vous ne vous en rendez pas compte, mais à l'instant même, vous faites quelque chose d'extraordinaire. Si, si. Vous lisez. Or, cette opération n'a rien de simple. Elle implique en effet de faire correspondre des symboles écrits avec du sens. Mais pour cela, il faut passer par le « son », car les lettres représentent les sons de la parole. C'est en effet le principe des systèmes d'écriture alphabétique, comme le français. Apprendre à lire signifie que l'on comprend cette règle.

Une première étape se caractérise donc par une procédure de lecture phonologique : autrement dit, traduire la séquence de lettres d'un mot lu en une séquence de sons correspondants. Pour Johannes Ziegler (☛), du laboratoire de Psychologie cognitive d'Aix-Marseille, « *ce décodage phonologique est le mécanisme essentiel de l'apprentissage de la lecture, permettant de récupérer en mémoire la forme sonore des mots dont l'enfant connaît déjà la signification.* » Et point besoin de lire à haute voix : même lors de la lecture silencieuse, cette « musique des mots » est activée. La preuve ? Lors d'une expérience, des pseudo-mots - une suite de caractères ressemblant à un mot réel mais n'ayant pas de signification - sont présentés sur un écran aux enfants. Ils doivent alors préciser si le mot existe en français ou pas. Or, ils mettent plus de temps à rejeter un pseudo-mot produisant le même son qu'un mot réel, comme « balaine », qu'un pseudo-mot comme « baloine ». Ce délai indique que la forme phonologique de « baleine » a été repérée, mais qu'il faut ensuite réaliser que l'orthographe n'est pas la bonne. La présence de cette petite voix qui résonne lors de la lecture rejoint les résultats des recherches de Stanislas Dehaene (☛), qui dirige l'unité de Neuroimagerie cognitive du centre Neurospin à Gif-sur-Yvette. Le chercheur s'intéresse en effet aux bases neurologiques de la lecture dont l'apparition est très récente au regard de l'âge de l'humanité. Sur quels réseaux de neurones s'appuie cette capacité ?

Recyclage cérébral

Stanislas Dehaene et Laurent Cohen (☛), neuropsychologue au Centre de recherche en neurosciences de la Pitié-Salpêtrière à l'Institut du cerveau et de la moelle épinière (ICM), ont regardé directement dans notre cerveau. Ou presque. Grâce à l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) qui permet de visualiser, quasiment en temps réel, quelles zones du cerveau sont activées, les chercheurs ont montré que celui-ci est un adepte du recyclage. Hé oui, dans la zone occipitale gauche, les réseaux de neurones spécialement ▶▶

☛ **Johannes Ziegler** : unité 6146 CNRS/Université Aix-Marseille
☛ **Stanislas Dehaene** : unité 992 Inserm/Paris 11
☛ **Laurent Cohen** : unité 975 Inserm/Université Pierre-et-Marie-Curie

Dyslexie : quand la lecture ne se laisse pas apprivoiser

La dyslexie se caractérise par des difficultés spécifiques d'apprentissage de la lecture : son diagnostic ne peut être posé que si on constate un retard de 18 mois entre l'âge réel et l'âge de lecture. Touchant 10 % de la population, la dyslexie aurait des bases génétiques : un enfant aura plus de risques de souffrir de dyslexie si des membres de sa famille en sont déjà atteints. Elle se traduit par une lecture lente, hésitante, des inversions de lettres comme « b » et « p », des difficultés de compréhension... Alors que plusieurs formes cliniques sont décelées, mettant en cause soit la conscience phonologique, soit le mécanisme visuo-attentionnel, cette capacité à appréhender les lettres qui entourent celle sur laquelle le regard est posé, la communauté scientifique a mis en évidence deux types d'anomalies cérébrales. D'une part, une atteinte des aires du langage de l'hémisphère gauche, la plus fréquente. Et d'autre part, un dysfonctionnement au niveau du cervelet, cette petite zone du cerveau impliquée dans le contrôle des mouvements. Aux troubles d'apprentissage de la lecture s'ajoutent en effet parfois des troubles de coordination motrice. Très active, la recherche sur la dyslexie explore différentes pistes, avec comme objectif d'améliorer les techniques de remédiation qui existent déjà.

dans le même institut à Marseille, a donc comparé l'apprentissage traditionnel de la lecture/écriture et celui avec un clavier. Le chercheur et son équipe ont fait apprendre à des enfants, âgés de 33 à 57 mois, 12 lettres écrites en majuscules dont l'image en miroir est différente de la lettre elle-même. Un premier groupe se voyait présenter les lettres sur une feuille de papier et devait les reproduire à la main. Pour le second, les lettres apparaissaient sur un écran et ils devaient les reproduire à l'aide des touches d'un clavier. Après trois semaines d'apprentissage, les enfants devaient reconnaître ces mêmes lettres parmi des distracteurs (autres lettres, image miroir des lettres). Et le résultat est sans appel : ceux qui avaient suivi l'enseignement manuscrit étaient meilleurs. Ils se trompaient moins dans la distinction entre une lettre et son image en miroir. L'écriture manuscrite semble donc contribuer à une meilleure mémorisation des caractères. Mais le chercheur ne rejette pas pour autant l'usage du clavier : « *Si l'écriture manuscrite enrichit la représentation des caractères et facilite leur reconnaissance chez la majorité des enfants, elle pourrait produire l'effet inverse chez ceux qui, pour des raisons diverses, ont des difficultés à effectuer les mouvements fins et précis imposés par l'écriture. Dans ce cas, l'usage du clavier, beaucoup plus simple au plan moteur, associé à l'ordinateur pour lequel les enfants manifestent un engouement prononcé, pourrait constituer une étape pour préparer le passage à l'écriture manuscrite.* »

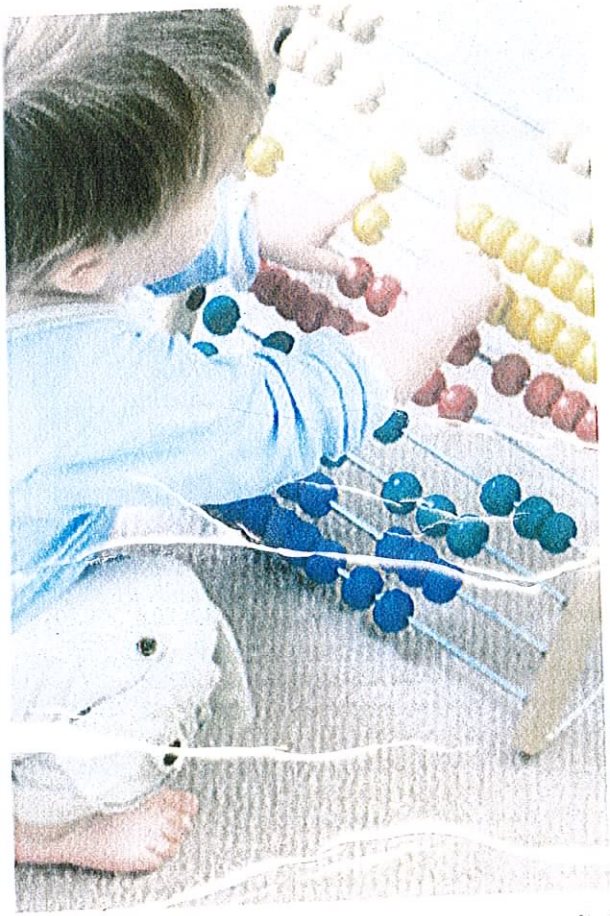
Lire, écouter... toucher

Ces résultats rejoignent les recherches menées par Édouard Gentaz (☛), au Laboratoire de psychologie et neurocognition de Grenoble. Le chercheur explore en effet l'avantage d'un apprentissage faisant intervenir plusieurs modalités sensorielles, permettant d'associer plus facilement la forme d'une lettre au son correspondant. Une des difficultés de l'apprentissage de la lecture réside en effet dans le travail d'élaboration des connexions entre les représentations orthographiques des lettres et les représentations phonologiques. Le lien entre la lettre traitée visuellement et le son traité auditivement serait difficile à établir. Lors de l'apprentissage multimodal, les élèves de grande section de maternelle sont invités à suivre des doigts le contour d'une lettre en relief (graphème) qu'ils apprennent, afin de bien identifier sa forme et le son (phonème) correspondant. Tandis qu'un autre groupe suit un apprentissage classique associant seulement la vision d'une lettre et le son qui lui correspond. Au bout de plusieurs semaines, les enfants ayant suivi l'entraînement visuo-haptique (qui concerne à la fois la vision et le toucher) lisent deux fois plus de pseudo-mots que ceux ayant suivi l'entraînement classique. « *Les enfants ne peuvent les lire que s'ils ont compris le principe de la représentation des sons par les lettres* », explique Édouard Gentaz. Le toucher agirait ainsi comme un ciment pour renforcer l'association audition (son de lettre)-vision (forme de la lettre). ■ **Julie Coquart**

☛ **Julie Chobert et Jean-Luc Velay** : UMR 6193, CNRS/Université de la Méditerranée
☛ **Édouard Gentaz** : UMR 5105 CNRS/Université Pierre Mendès France
☛ **Michel Fayol** : UMR 6024 CNRS/Université Blaise-Pascal Clermont-Ferrand 2, équipe Langage et autres systèmes symboliques»

De la difficulté de maîtriser « l'aurtografe » en français

Apprendre l'orthographe, pour les écoliers français, n'est pas une mince affaire. À peine ont-ils compris le système de correspondance entre une lettre et un son, qu'ils réalisent que le français est une langue inconsistante : certains phonèmes peuvent se traduire par plusieurs graphèmes et vice versa. Le son / o / peut ainsi s'orthographier « eau », « o » ou « au ». Comment choisir le bon graphème ? L'enfant a deux stratégies complémentaires : il peut mémoriser dans son lexique orthographique les mots connus au fur et à mesure de l'apprentissage ; il peut aussi déduire l'orthographe correcte grâce à la régularité statistique. Le graphème « eau » ne se trouve en effet jamais en début de mot et beaucoup plus fréquemment en position finale. Cet apprentissage implicite permet souvent à l'élève de faire le bon choix. Mais, nouvel écueil dans l'apprentissage : les lettres muettes. Elles sont souvent l'apanage des marques du pluriel : « chat » et « chats » se prononcent de la même façon, tout comme «mange » et « mangent ». « *C'est d'abord en appliquant les règles de grammaire que l'enfant saura comment accorder le verbe ou le nom. Ensuite, ces règles vont devenir procédures, et s'automatiser.* » Pour les accords, Michel Fayol (☛), professeur en psychologie cognitive, au Laboratoire de psychologie sociale et cognitive de Clermont-Ferrand, fait l'hypothèse que les noms et les verbes (et sans doute les adjectifs) les plus fréquents sont appris par cœur, mémorisés : au lieu de raisonner, ceux qui rédigent font appel à la mémoire pour les transcrire, ce qui est moins coûteux et généralement permet de fournir la bonne réponse. Encore faut-il les avoir acquis !



© GI HOIMAGES/SPL/PHANIE

Un mélange d'intuition et de manipulation est le secret d'un apprentissage des mathématiques réussi.

Mathématiques
De l'intuition à la manipulation

Bonne nouvelle pour les enfants qui souffrent lors du calcul mental et des tables de multiplication : nous avons tous à la naissance la « bosse des maths ». Percevoir les nombres et les quantités est en effet inné et universel. Toutefois, cette perception reste approximative. Pour résoudre des opérations exactes, l'apprentissage scolaire est nécessaire, avec comme outil de réussite : la manipulation.

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, il n'est pas nécessaire d'aller à l'école ni même d'être en âge de parler pour faire des mathématiques. En réalité, nous possédons dès la naissance la faculté innée de percevoir le sens des nombres et d'avoir une impression immédiate des quantités.

Selon Stanislas Dehaene, cette faculté reposerait sur des bases cognitives « *issues d'intuitions fondamentales de l'espace, du temps et du nombre, et que nous avons héritées d'un lointain passé où elles jouaient un rôle essentiel à notre survie* ». Dans notre cerveau, il existerait même des « neurones des nombres », des circuits cérébraux spécifiques aux mathématiques, qui répondent chacun en fonction du nombre d'objets présentés, et que l'on retrouve également chez d'autres primates. Stanislas Dehaene les situe dans le cortex préfrontal et le sillon intrapariétal.

Ce caractère inné a été confirmé par les travaux de Véronique Izard (☛), du laboratoire Psychologie de la perception, à Paris. « *En présentant, à des bébés de moins de 3 mois, une succession d'images représentant une certaine quantité d'objets, comme 4 canards puis 8 canards, nous avons enregistré une modification de leur activité cérébrale, ce qui montre qu'ils perçoivent intuitivement les différences de quantités* », raconte la jeune chercheuse. En faisant entendre à des bébés à peine nés (de 0 à 3 jours) une répétition de syllabes, puis en leur montrant des images illustrant une quantité d'objets correspondant ou non au nombre de syllabes précédemment énoncées, elle a également pu constater que les nouveau-nés fixaient beaucoup plus longtemps les images lorsque les quantités correspondaient. Il semble donc que l'on soit capable dès la naissance d'apparier et de différencier des quantités, même présentées par des *stimuli* différents. « *Le nouveau-né vit dans l'abstraction, d'autant plus que son acuité visuelle et auditive est limitée*, explique Véronique Izard. *Ainsi, il arriverait seulement à saisir des principes très généraux sur le monde. Le sens du nombre serait l'un d'entre eux.* »

Des intuitions innées et universelles

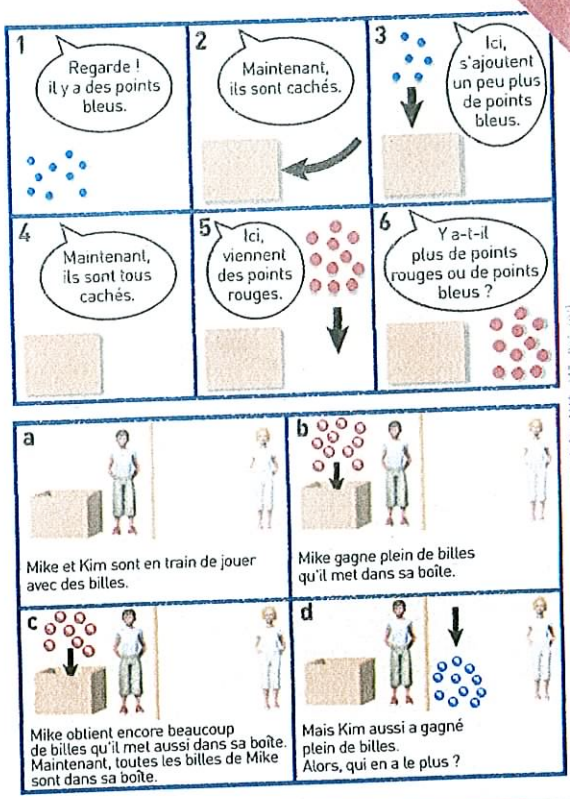
Ces intuitions numériques sont de plus universelles, puisqu'on les retrouve dans les sociétés humaines où il n'existe aucun enseignement des mathématiques, ainsi que chez de nombreuses espèces animales (pigeons, rats, lions, singes, dauphins…). Véronique Izard et Pierre Pica (☛), de l'unité Structures formelles du langage à Saint-Denis, ont étudié les Indiens Mundurucus, une peuplade d'Amazonie vierge de toute instruction aux mathématiques. D'abord, en

☛ **Véronique Izard :** UMR 8158 CNRS/Université Paris-Descartes, Sorbonne Paris Cité
☛ **Pierre Pica :** UMR 7023 CNRS/Paris 8

Stimuler ces intuitions mathématiques

Il existe des petits exercices illustrés qui permettent d'étudier et de stimuler la perception intuitive des nombres et des quantités chez des enfants, avant leur entrée à l'école primaire. En voici deux exemples.

Racontez l'histoire illustrée à votre enfant vignette après vignette, puis demandez-lui de répondre à la question finale. Ses réponses seront approximatives mais correctes. Il sera tout à fait capable de juger où il y a le plus de billes ou de points.



© PHILIPPE MOUCHE (D'APRÈS GILMORE ET AL. COGNITION, 2010, 115, 394-401)

▶▶ ne s'appréhende qu'à partir de 6-7 ans. « *Soit ces intuitions géométriques sont innées mais n'émergent que vers l'âge de 6-7 ans. Soit elles sont acquises entre la naissance et cet âge, grâce à un apprentissage fondé sur les expériences communes à tous les êtres humains* », suggère la chercheuse. À leur entrée à l'école primaire, les enfants semblent donc naturellement armés pour entamer le programme de mathématiques. En général, la plupart d'entre eux savent déjà compter oralement. Mais cette capacité est trompeuse. En effet, leur perception des nombres et des quantités reste approximative. La première étape de l'apprentissage scolaire va donc être de faire correspondre des quantités précises à des codes symboliques représentant les nombres : les mots de la langue française (un, deux, trois, quatre, cinq…), les symboles arabes (1, 2, 3, 4, 5…), ou encore les chiffres romains (I, II, III, IV, V…).

Manipuler pour bien calculer

« *C'est grâce à la manipulation de petites quantités que les enfants vont connaître ce que sont véritablement les nombres, à quelle grandeur chacun correspond, que 2 c'est 1+1, que 3 c'est 2+1, que 4 c'est 1+1+1+1 ou 2+2 ou encore 3+1*, explique Michel Fayol du Laboratoire de psychologie sociale et cognitive (Lapsco). *Les exercices avec des billes par exemple permettent de voir et de sentir ces quantités.* » Cet apprentissage est difficile et va durer jusqu'à la fin du cours préparatoire, mais il est essentiel pour la suite et notamment pour résoudre des opérations. « *L'enfant doit apprendre qu'en réalisant une addition ou une soustraction sur des*

Les nombres venus de l'espace

Au sein de l'unité de Neuroimagerie cognitive dirigé par Stanislas Dehaene, André Knops (☛) a mis en évidence pour la première fois que le calcul mental s'apparentait à un déplacement spatial au niveau cérébral. En effet, grâce à l'imagerie par résonnance magnétique, il a montré, chez des volontaires qui effectuaient soit des additions et des soustractions dans leur tête, soit des mouvements oculaires vers la gauche ou vers la droite, que le calcul mental activait des aires cérébrales impliquées dans l'attention spatiale. Par exemple, lorsqu'une personne, qui a appris à lire de gauche à droite, réalise dans sa tête l'addition « 18 + 5 », son attention se déplace vers la droite de 18 à 23 dans l'espace des nombres, comme si les nombres étaient représentés sur une ligne virtuelle. En démontrant l'interconnexion entre le sens des nombres et celui de l'espace, ces travaux nous éclairent sur l'organisation de fonctions cognitives liées à l'arithmétique dans le cerveau. Ils montrent aussi que, chez des enfants en difficulté, l'utilisation de jeux qui insistent sur la correspondance entre les nombres et l'espace, tels que le jeu des petits chevaux, peut améliorer les compétences arithmétiques. Sur ce principe, l'équipe de Stanislas Dehaene a développé un logiciel ludo-pédagogique en libre accès, « La course aux nombres », destiné aux enfants de 4 à 8 ans dyscalculiques ou qui présentent des difficultés d'apprentissage des mathématiques. Téléchargeable facilement sur le web, le jeu se présente sous la forme d'une course entre deux personnages, dont l'un est incarné par l'enfant. Pour devancer son adversaire, ce dernier doit résoudre des calculs simples et reconnaître des nombres.

« La course aux nombres », le logiciel pour apprendre à mieux calculer

☛ André Knops : unité 992 Inserm/Paris 11

© ALTOPRESS/PHOTOALTO/BSIP

La manipulation permet de comprendre le sens des nombres.

symboles, on obtiendrait la même chose en opérant sur de vraies quantités dans le monde réel », précise le chercheur.
Là encore, les nombreux exercices où il faut manipuler des objets sont essentiels pour comprendre. Par exemple, prendre deux billes, en ajouter trois, puis dénombrer l'ensemble. Ensuite, l'enfant pourra remplacer les billes par ces doigts, puis enfin compter mentalement. Progressivement, il ne sera plus obligé de compter pour trouver le résultat d'une opération, il ira directement chercher dans sa mémoire les résultats acquis par expérience. Cette dernière stratégie sera à la fois plus rapide et moins coûteuse en attention que les précédentes.

Mémoriser pour calculer facile

Puis, vient le tour de l'apprentissage de la multiplication. Pour l'enfant, il s'agit d'abord d'intégrer un nouveau symbole d'opération, le « X », et de savoir dans quelles situations l'utiliser. L'objectif de l'enseignement est alors de l'amener à mémoriser les tables de multiplication, la meilleure des stratégies pour résoudre cette opération rapidement et efficacement. Et il s'agit de celle utilisée automatiquement par les enfants. « *Si on regarde les mauvaises réponses données à la question "combien font 3x8", on constate que 32 est bien plus souvent avancé que 23*, remarque Michel Fayol. *En effet, 32 est enregistré dans la mémoire de l'enfant comme étant une solution à une multiplication "4x8". En revanche, 23 ne correspond à aucun résultat dans les tables.* »
Un autre exemple montre que la mémorisation est essentielle à la résolution d'opération, que ce soit pour une addition ou une multiplication. Vers la fin du CE1 et le début du CE2, les erreurs du type 3+4=12 se produisent fréquemment. Or, c'est à ce moment que les enfants apprennent la multiplication. Associé aux chiffres 3 et 4, le chiffre 12, résultat de la multiplication, est enregistré. Comme l'indique Michel Fayol : « *Quand l'enfant répond 3x8=32 ou 3+4=12, il n'a pas tout faux, il a simplement mal sélectionné la réponse. Mais allez dire ça au professeur !* »
Concernant la division, les choses se compliquent, puisqu'elle ne peut pas être automatisée comme une addition ou une multiplication. Pour résoudre ce type d'opération, la plupart des individus utilisent en mémoire la réciproque des tables de multiplication : si nous devons diviser 20 par 5, on sait que dans la table de 5, 5x4=20, donc on en déduit que 20:5=4.
À la fin de l'école primaire, l'enfant connaît l'addition et la soustraction d'un côté, la multiplication et la division de l'autre, ainsi que la relation d'inversion de chacun de ces couples. « *Encore une fois, c'est la manipulation qui va permettre à l'enfant de comprendre le sens des nombres, pour qu'à terme il puisse réaliser facilement des opérations sur des symboles, tout en respectant les règles qui y sont liées* », souligne Michel Fayol. Ajoutez à cela une bonne mémorisation et vous aurez un crack en calcul mental !

Yann Cornillier

EN SAVOIR PLUS

→ *Les chemins de la mémoire*
Francis Eustache et Béatrice Desgranges
Éditions Le Pommier/Inserm, 2010, 514 p., 29 €

→ *Le cerveau attentif*
Jean-Philippe Lachaux
Éditions Odile Jacob, mars 2011, 368 p., 23,90 €

→ *La bosse des maths : quinze ans après*
Stanislas Dehaene
Éditions Odile Jacob, 2010, 380 p., 24,90 €

→ *Les neurones de la lecture*
Stanislas Dehaene
Éditions Odile Jacob, 2007, 478 p., 29 €

→ *Apprendre et transmettre*
Nicolas Balacheff et Michel Fayol
Le Mook, éditions Autrement à paraître