

Résumé

L'éducation est une épée à double tranchant.
Elle peut devenir dangereuse si elle n'est pas
maniée correctement.

Wu Ting-Fang

Après vingt ans d'un travail de pointe en neurosciences, la communauté éducative prend conscience du fait que « comprendre le cerveau » peut indiquer de nouvelles voies de recherche et améliorer politiques et pratiques éducatives. Ce rapport constitue un panorama synthétique de l'apprentissage informé par le fonctionnement cérébral, et soumet des thèmes cruciaux à l'attention de la communauté éducative. Il ne propose pas de solutions simplistes, ni ne prétend que la neuroscience ait réponse à tout. En revanche, il constitue un état des lieux objectif des connaissances actuelles au carrefour des neurosciences cognitives et de l'apprentissage; il indique également des pistes à explorer, et liste des implications politiques pour la prochaine décennie.

La première partie, « Le cerveau apprenant », constitue le rapport proprement dit. Il est issu de sept ans d'analyses et de travaux du projet « Sciences de l'apprentissage et recherche sur le cerveau » du CERI de l'OCDE. La seconde partie, « Articles en coopération », contient trois réflexions portant sur le cerveau apprenant, durant la petite enfance, à l'adolescence et à l'âge adulte respectivement. Chacun est l'œuvre de trois experts, qui ont mis en commun expérience et connaissances pour réunir les perspectives de la neuroscience et de l'éducation. L'annexe A est tirée du site Internet interactif, ouvert à la société civile et comprenant un forum destiné aux enseignants. L'annexe B présente au lecteur les dernières avancées en matière de technologies d'imagerie cérébrale, qui sont au cœur des découvertes étudiées dans ce rapport.

Le premier chapitre est un abécédaire de mots clés, qui présente brièvement des concepts complexes et permet au lecteur de se référer aux chapitres correspondants pour plus de détails. Le début du chapitre suivant présente ce qu'il faut savoir de l'architecture et du fonctionnement du cerveau.

Comment le cerveau apprend au long de la vie

Les neuroscientifiques ont clairement montré que le cerveau dispose d'une grande capacité d'adaptation aux demandes de son environnement : la plasticité. Des connexions neuronales sont créées ou renforcées, d'autres sont affaiblies ou éliminées, selon les besoins. L'ampleur de la modification dépend du *type* d'apprentissage effectué : l'apprentissage à long terme entraîne des modifications plus profondes. Elle dépend aussi du *moment* où l'apprentissage a lieu : chez les bébés, la création de nouvelles synapses se

fait à un rythme extraordinaire. Mais l'un des messages les plus fondamentaux reste celui-ci : la plasticité est une caractéristique fondamentale du cerveau tout au long de la vie.

Malgré cette plasticité permanente, il existe des périodes idéales ou « sensibles » durant lesquelles un apprentissage donné présentera une efficacité maximale. Pour les stimuli sensoriels (tels les sons du langage) et pour certaines expériences émotionnelles et cognitives (telle l'exposition à une langue), les périodes sensibles sont assez brèves et se situent à un âge assez jeune. D'autres compétences (comme l'acquisition de vocabulaire) ne connaissent pas de période sensible nette et peuvent être apprises de façon optimale tout au long de la vie.

Les images de cerveaux d'adolescents montrent qu'ils sont loin d'être arrivés à maturité, et qu'ils subissent d'importantes modifications structurelles bien après la puberté. L'adolescence est une période fondamentale pour le développement émotionnel, en raison de la grande quantité d'hormones présentes dans le cerveau; l'immaturité du cortex préfrontal des adolescents joue sans doute un rôle crucial dans l'instabilité de leur comportement. Nous traduisons cette combinaison d'immaturité émotionnelle et de fort potentiel cognitif par l'expression : « la puissance est là, mais pas le contrôle ».

Chez les adultes plus âgés, l'aisance ou l'expérience dans une tâche donnée peut réduire le niveau d'activité cérébrale : on peut considérer cela comme une preuve d'un traitement plus efficace. Mais le cerveau décline quand on l'utilise moins, ainsi que quand on vieillit. Des études ont montré qu'apprendre peut limiter le déclin cérébral : plus les personnes d'âge mûr ont l'occasion d'apprendre (*via* des cours pour adultes, leur métier ou des activités sociales), plus elles ont de chances de retarder l'apparition de maladies neurodégénératives, ou d'en limiter le développement.

L'importance de l'environnement

La neuroscience montre que la façon dont on nourrit et traite le cerveau joue un rôle crucial dans les processus d'apprentissage, et commence à déterminer quels sont les environnements les plus favorables à l'apprentissage. La plupart des façons d'améliorer le fonctionnement cérébral dépendent de facteurs simples et quotidiens – qualité de l'environnement social et des rapports humains, alimentation, exercice physique et sommeil – qui semblent tellement évidents qu'on a tendance à négliger leur importance. En prêtant attention à l'état du cerveau et du corps, il est possible de mettre à profit la plasticité cérébrale et de faciliter l'apprentissage. Il faut adopter une approche globale, qui tienne compte des liens étroits entre bien-être physique et intellectuel et ne néglige pas l'interaction entre aspects émotionnels et cognitifs.

Au centre du cerveau humain se trouve un ensemble de structures parfois appelé « cerveau émotionnel » : le système limbique. On sait aujourd'hui que nos émotions « sculptent » le tissu neural. En cas de stress excessif ou de peur intense, les processus neuraux de régulation émotionnelle sont perturbés, ce qui diminue les capacités de jugement social et les performances cognitives. Le stress rend performant et améliore la cognition et l'apprentissage, mais au-delà d'un certain niveau, on obtient l'effet inverse. Quant aux émotions positives, il est clair que l'un des plus grands facteurs de motivation est ce sentiment d'illumination qui se produit lorsqu'on comprend un nouveau concept; le cerveau réagit très bien à cette sensation. L'école devrait faire en sorte que les enfants découvrent très jeunes le plaisir de comprendre, se rendant ainsi compte qu'apprendre est une expérience très agréable.

Pour apprendre efficacement, il est très important de savoir gérer ses émotions; l'autorégulation est l'une des compétences émotionnelles et comportementales les plus importantes parmi celles qui sont nécessaires à l'enfant comme à l'adulte dans leurs environnements sociaux. Les émotions guident ou perturbent les processus psychologiques tels que la concentration ou la résolution de problèmes, et influencent les relations humaines. La neuroscience (appuyée sur la psychologie cognitive et l'étude du développement de l'enfant) commence à identifier d'importantes régions cérébrales dont l'activité et le développement sont en relation avec le self-control.

Langage, littératie et cerveau

Le cerveau est biologiquement préparé à acquérir le langage dès le début de la vie, mais ce processus doit être catalysé par l'expérience. Il existe une relation inverse entre l'âge et l'efficacité de l'apprentissage pour de nombreux aspects des langues : en général, plus jeune est l'apprenant, plus efficace est l'apprentissage. La neuroscience connaît mieux à présent les différences dans la façon dont enfants et adultes gèrent le langage au niveau cérébral. Cela pourrait avoir d'importantes répercussions sur les politiques éducatives concernant l'enseignement des langues étrangères, qui ne commence souvent qu'à l'adolescence. Adolescents et adultes sont bien sûr capables d'apprendre une nouvelle langue, mais cela leur est plus difficile.

L'importance simultanée, dans la façon dont le cerveau gère le langage, du traitement phonologique et du traitement sémantique « direct » peut alimenter le débat classique autour des méthodes de lecture. Comprendre le rôle et la place de ces deux processus permet d'avancer que la meilleure façon d'enseigner la lecture combine l'instruction dite « syllabique » et la méthode dite « globale », l'importance relative de chacune de ces approches devant être fonction des caractéristiques morphologiques de la langue concernée.

Une grande partie des circuits cérébraux permettant la lecture est commune à toutes les langues, mais il existe des différences lorsque les spécificités de chaque langue nécessitent des fonctions particulières (par exemple en cas de différences dans les types d'encodage ou les stratégies de reconnaissance des mots). Pour se limiter provisoirement aux langues alphabétiques, ce rapport s'intéresse surtout aux différents niveaux de « transparence » des orthographes : une langue « non transparente » comme l'anglais ou le français (c'est-à-dire une langue dans laquelle la correspondance entre les sons et les lettres est très variable) s'oppose à une langue « transparente » (à l'orthographe plus « cohérente », par exemple le finnois ou le turc). Des structures cérébrales spécifiques sont activées pour gérer les aspects de la lecture propres à chaque langue.

La dyslexie est très répandue et ignore les frontières culturelles et socio-économiques. Elle est souvent associée à des caractéristiques corticales atypiques à l'arrière de l'hémisphère gauche et entraîne des difficultés à traiter les éléments sonores de la langue. Sur le plan linguistique, les conséquences en sont relativement minimales (confusion des mots à la prononciation similaire), mais les conséquences pour la littératie peuvent être énormes, car relier les phonèmes aux symboles écrits est indispensable à toute lecture dans une langue alphabétique. La neuroscience réalise actuellement d'importantes avancées, tant pour ce qui est du diagnostic que pour ce qui est de la remédiation.

Numératie et cerveau

La numératie, comme la littératie, est créée dans le cerveau *via* une synergie entre biologie et expérience. L'évolution a développé certaines structures cérébrales pour traiter le langage; de la même façon il en existe d'autres permettant une perception quantitative. Et, toujours comme pour le langage, les structures génétiquement prévues ne suffisent pas à gérer les mathématiques; elles travaillent en coordination avec d'autres circuits neuraux, non prévus pour la numératie mais adaptés au traitement de celle-ci par l'expérience. On voit combien l'éducation est importante (à l'école, à la maison ou par le jeu), et donc combien la neuroscience peut aider dans cette mission éducative.

La neuroscience des mathématiques n'en est qu'à ses balbutiements, mais le domaine a déjà beaucoup progressé ces dix dernières années. On sait aujourd'hui qu'effectuer des opérations simples nécessite la collaboration de nombreuses structures situées dans différentes régions du cerveau. La simple représentation d'un nombre implique un circuit complexe qui fait appel à la représentation de magnitude, à la représentation visuelle et à la représentation verbale. Le calcul nécessite lui aussi un réseau complexe, qui varie selon l'opération effectuée : la soustraction dépend du circuit pariétal inférieur, alors que l'addition et la multiplication activent d'autres réseaux neuraux. Actuellement la neuroscience sait peu de choses sur les mathématiques avancées, mais il semble que les circuits activés par des opérations complexes soient au moins partiellement distincts.

Comprendre les voies développementales qui permettent l'accès aux mathématiques d'un point de vue cérébral peut faciliter la mise au point des méthodes didactiques. Des méthodes différentes peuvent déboucher sur la création de voies neurales plus ou moins efficaces : l'apprentissage par répétition crée des circuits neuraux moins efficaces que l'apprentissage par stratégie. La neuroscience montre la supériorité de méthodes qui permettent d'apprendre de façon détaillée, précise et réfléchie sur celles qui cherchent à identifier des résultats exacts ou inexacts. Cela va dans le sens des idées qui sous-tendent l'évaluation formative.

Les fondements neuraux de la dyscalculie – l'équivalent mathématique de la dyslexie – sont encore peu connus, mais l'étude des caractéristiques biologiques associées à des troubles mathématiques précis suggère que les mathématiques ne sont pas une construction purement culturelle : elles sont régies par des structures cérébrales spécifiques qui doivent fonctionner correctement. Les circuits neuraux dont la déficience cause la dyscalculie peuvent probablement être rétablis grâce à des interventions ciblées, en raison de la « plasticité » (ou flexibilité) des réseaux impliqués dans le traitement des mathématiques.

Dissiper les « neuromythes »

Ces dernières années, de plus en plus d'idées fausses se sont mises à circuler à propos du cerveau. L'éducation est concernée par ces « neuromythes », qui prennent souvent la forme de théories sur la façon dont on apprend. À leur base, on trouve souvent un fait scientifiquement exact, ce qui les rend plus difficile à identifier – et à réfuter. Ils sont incomplets, exagérés, voire totalement faux : il faut donc les disqualifier, de peur que le système scolaire ne se fourvoie.

Pour chaque « mythe » ou groupe de mythes, on étudie la façon dont il est apparu dans la conscience populaire, et on explique en quoi il est scientifiquement inexact. Ils sont répartis ainsi :

- « Il n'y a pas de temps à perdre, car pour le cerveau tout se joue avant trois ans ».
- « Il existe des périodes durant lesquelles certains enseignements/apprentissages sont indispensables ».
- « Mais j'ai lu quelque part que nous n'utilisons que 10 % de notre cerveau de toute façon ».
- « Je suis "cerveau gauche", elle est "cerveau droit" ».
- « Il faut bien reconnaître que le cerveau de l'homme est différent de celui de la femme ».
- « Le cerveau d'un jeune enfant ne peut correctement apprendre qu'une langue à la fois ».
- « Améliorez votre mémoire ! »
- « Apprenez en dormant ! »

Éthique et organisation de la neuroscience de l'éducation

Cette nouvelle discipline est riche de promesses ; il ne faut pas pour autant ignorer les questions éthiques qu'elle soulève.

Dans quel but, et pour qui ? Il importe de réfléchir aux usages et aux abus des techniques d'imagerie cérébrale. Comment s'assurer que les données médicales resteront confidentielles et ne seront pas communiquées à des entreprises ou à des institutions scolaires ? Plus la technologie permettra d'identifier des caractéristiques auparavant secrètes et indécélables, plus il faudra être vigilant sur leurs utilisations dans le domaine éducatif.

Utilisation de produits qui agissent sur le cerveau : La limite entre usage médical et usage non médical n'est pas toujours évidente. La question se pose surtout quand des individus sains absorbent des substances qui agissent sur l'état et le fonctionnement de leur cerveau. Les parents doivent-ils avoir le droit d'administrer à leurs enfants des produits pour améliorer leurs performances scolaires, avec les risques associés – de la même manière que des sportifs peuvent se doper ?

Cerveaux et machines : On arrive de mieux en mieux à combiner organes vivants et technologie, ce qui recèle un énorme potentiel pour les handicapés – alors susceptibles, par exemple, de contrôler des machines à distance. Mais ces mêmes technologies pourraient permettre de contrôler le comportement des gens, ce qui est bien sûr source d'inquiétudes.

Une approche « trop scientifique » de l'éducation ? La neuroscience peut apporter un éclairage très utile, mais si par exemple les « bons » enseignants étaient repérés grâce à l'impact qu'ils ont sur le cerveau de leurs élèves, le scénario serait bien différent : on courrait le risque de créer un système éducatif qui reposerait trop sur les mesures scientifiques et serait terriblement conformiste et monocole.

La neuroscience éducative n'en est qu'à ses débuts. Pour qu'elle se développe dans les meilleures conditions possibles, elle doit être trans-disciplinaire (utile à la fois aux communautés scientifique et éducative) et internationale. Il est indispensable d'établir une méthodologie et un vocabulaire communs. Il s'agit d'établir une relation réciproque entre pratique éducative et recherche sur l'apprentissage, similaire à la relation entre médecine

et biologie, en créant et en entretenant un échange d'informations bidirectionnel et continu, nécessaire à une pratique éducative reposant sur ce qu'on sait du fonctionnement cérébral.

Le désir de progresser dans ce domaine a été à l'origine d'institutions, de réseaux, d'initiatives variés. Ce rapport contient des encadrés décrivant les exemples les plus marquants à ce jour, comme l'« Institut de recherche en science et technologie pour la société » de l'Agence japonaise de la science et de la technologie (JST-RISTEX); le Centre de transfert pour la neuroscience et l'apprentissage (ZNL), Ulm, Allemagne; le Learning Lab Denmark, Danemark; le Centre pour les neurosciences dans l'éducation, Université de Cambridge, Royaume-Uni; le programme « Esprit, cerveau et éducation » (MBE pour « Mind, Brain, and Education ») de la Harvard Graduate School of Education, Université de Harvard, États-Unis.

Messages clés et perspectives

La neuroscience de l'éducation débouche sur des connaissances précieuses et neuves, qui permettent d'informer politiques et pratiques éducatives : sur bien des sujets, la neuroscience confirme des éléments déjà connus et observables dans la vie quotidienne, mais elle permet de passer de la simple corrélation à la causalité (comprendre les mécanismes à l'œuvre dans des processus familiers), ce qui facilite l'élaboration d'approches efficaces. Sur d'autres sujets, la neuroscience génère de nouvelles connaissances et ouvre de nouvelles pistes.

Les recherches sur le cerveau apportent des éléments neuroscientifiques importants qui permettent de favoriser l'apprentissage tout au long de la vie : loin de soutenir l'idée qu'il faut surtout éduquer les jeunes – même s'il est vrai que ceux-ci disposent d'un fabuleux potentiel d'apprentissage –, la neuroscience a montré que l'apprentissage se fait tout au long de la vie, et que plus on continue d'apprendre, mieux on apprend.

La neuroscience confirme qu'il est toujours bénéfique d'apprendre, surtout chez les personnes âgées : on a de plus en plus conscience que l'éducation apporte de nombreux « bénéfices » (au-delà des éléments économiques si importants dans l'élaboration des politiques éducatives). La neuroscience est en train de montrer que l'apprentissage est très utile pour remédier à la démence sénile, un problème capital dans nos sociétés.

Le besoin d'approches globales, prenant en compte l'interdépendance du corps et de l'esprit, de l'émotionnel et du cognitif : prendre conscience de l'importance du cerveau ne veut pas dire qu'on ne s'intéresse plus qu'aux aspects cognitifs et aux performances. Au contraire, il ressort à quel point il importe d'adopter une approche globale, qui tienne compte des liens étroits entre bien-être physique et intellectuel, aspects émotionnels et cognitifs, esprit analytique et capacités créatrices.

Comprendre l'adolescence – la puissance est là, mais pas le contrôle : il est très important de comprendre l'adolescence, car c'est un âge clé en matière éducative, et ce qui se passe à ce moment-là chez un individu a généralement des conséquences pour toute sa vie ultérieure. Les adolescents ont des capacités cognitives très développées (« la puissance est là »), mais n'ont pas encore atteint la maturité émotionnelle (« mais pas le contrôle »). On ne doit certes pas en conclure qu'il faille nécessairement attendre l'âge adulte pour prendre des décisions importantes pour l'avenir. En revanche, il serait plus que souhaitable que les choix effectués à cette période de la vie ne soient pas définitifs, et puissent être modulés plus tard.

Tenir compte de la neuroscience dans la conception des programmes et l'organisation de la scolarité : à ce sujet, le message exprimé dans ce rapport est très nuancé. Il n'existe pas de « périodes critiques » durant lesquelles un apprentissage donné doit se faire, mais des « périodes sensibles », durant lesquelles un apprentissage sera plus efficace (l'apprentissage langagier est ici étudié de près). Ce rapport souligne l'importance de bases solides pour l'apprentissage tout au long de la vie, donc insiste sur l'éducation des jeunes enfants et la maîtrise des compétences de base.

Faire en sorte que la neuroscience contribue à résoudre les principaux problèmes auxquels l'apprentissage est confronté, y compris les « 3 D » : dyslexie, dyscalculie, démence. On a longtemps ignoré les causes de la dyslexie, par exemple ; mais aujourd'hui on sait qu'elle est principalement due à une atypie du cortex auditif (voire peut-être, dans certains cas, du cortex visuel), et on arrive à l'identifier chez des enfants très jeunes. La remédiation est d'autant plus efficace que l'enfant est jeune, mais elle reste souvent possible chez les plus grands.

Des évaluations plus personnalisées qui améliorent l'apprentissage, sans sélectionner ni exclure : la neuroimagerie peut grandement faciliter l'identification des caractéristiques d'apprentissage d'un individu, et permettrait de personnaliser les méthodes d'évaluation. Cela dit, elle pourrait aussi déboucher sur des moyens de sélection et d'exclusion plus puissants que ceux que nous connaissons aujourd'hui.

Ces thèmes clés sont des priorités pour la recherche en neuroscience ; il ne s'agit pas d'un programme exhaustif, mais des conclusions tirées du présent rapport. Ce programme de recherche – qui a pour but de mieux comprendre les moments optimaux pour chaque type d'apprentissage, le développement et la régulation des émotions, l'influence des outils et de l'environnement, et le traitement du langage et des mathématiques – conduirait à la naissance d'une nouvelle science de l'apprentissage, science nécessairement trans-disciplinaire.

C'est sur cette aspiration que ce rapport s'achève, et c'est elle qui lui donne son titre. Nous espérons qu'il sera possible de mettre à profit ces nouvelles connaissances pour créer un système éducatif adapté à l'individu et à la société, c'est-à-dire à la fois personnalisé et universel.

Glossaire

Acalculie. Voir Dyscalculie.

Acides gras. Le corps humain est capable de produire tous les acides gras dont le cerveau a besoin, sauf deux (l'acide linoléique et l'acide alpha-linolénique), qui doivent être apportés par l'alimentation (les végétaux et l'huile de poisson, respectivement). Ils sont donc appelés acides gras essentiels. (Voir aussi Acides gras oméga et AGHI.)

Acides gras oméga. Acides gras polyinsaturés que le corps humain est incapable de synthétiser.

ADHD. *Attention Deficit Hyperactivity Disorder* : syndrome d'hyperactivité et de déficit de l'attention. Syndrome lié à des problèmes de l'apprentissage et du comportement. Caractérisé par la difficulté à maintenir l'attention, un comportement impulsif (exemple : parler sans y être invité) et souvent l'hyperactivité.

ADN. Acide désoxyribonucléique. L'ADN est un long polymère de nucléotides (un polynucléotide) qui code la séquence d'acides aminés grâce à des protéines, en utilisant le code génétique.

AGHI. Acides gras hautement insaturés.

Aire de Broca. Zone située dans le lobe frontal de l'hémisphère gauche, impliquée dans la production langagière.

Aire de Wernicke. Région cérébrale impliquée dans la compréhension du langage et la production du discours.

Alzheimer (Maladie d'~). Maladie dégénérative progressive du cerveau liée au vieillissement, caractérisée par une atrophie cérébrale diffuse, des lésions distinctives appelées plaques séniles et des amas de fibres anormales (dégénérescence neurofibrillaire). Les processus cognitifs de la mémoire et de l'attention sont affectés.

Amygdale. Partie du cerveau impliquée dans les émotions et la mémoire. Chacun des deux hémisphères contient une amygdale (« en forme d'amande »), localisée dans les profondeurs du cerveau, près de la surface interne de chacun des lobes temporaux.

Anhédonie. L'un des principaux symptômes des dépressions avec troubles de l'humeur. Les patients souffrants d'anhédonie sont incapables de tirer du plaisir des activités normalement agréables (manger, faire de l'exercice, rapports sociaux et sexuels).

Aphasie. Trouble de la compréhension ou de la production langagière.

Apolipoprotéine E ou « apoE ». Étudiée depuis plusieurs années en raison de son implication dans les maladies cardio-vasculaires. On a récemment découvert que l'un des allèles (facteurs génétiques) du gène de l'apoE (e4) était un facteur de risque associé à la maladie d'Alzheimer.

Apprentissage (Science de l'~). Terme tentant de désigner et de définir le type de recherche qui devient possible lorsque la neuroscience cognitive et les autres disciplines concernées rejoignent la recherche et la pratique dans le domaine de l'éducation.

Apprentissage attendant de recevoir de l'expérience. Apprentissage lié à une propriété d'un système neural fonctionnel dans lequel le développement du système a évolué jusqu'à dépendre de façon critique d'entrées environnementales stables plus ou moins semblables pour tous les membres d'une espèce (par exemple : la stimulation des deux yeux chez le nouveau-né durant le développement des colonnes de dominance oculaire). On pense que cette propriété est surtout opératoire au début de la vie.

Apprentissage dépendant de l'expérience. Apprentissage lié à une propriété d'un système neural fonctionnel dans lequel des variations de l'expérience entraînent des variations dans les fonctions. On pense que cette propriété est opératoire pendant toute la vie.

Apprentissage implicite. Voir Souvenir implicite.

Attention. Processus cognitif permettant de se concentrer délibérément sur une tâche en ignorant le reste. Les études par imagerie ont montré les réseaux distincts qui gèrent les diverses composantes de l'attention : maintenir l'acuité mentale, gérer l'information sensorielle et arbitrer entre plusieurs pensées ou plusieurs sentiments.

Autisme/Troubles du spectre autistique. Spectre d'anomalies du développement neurologique, caractérisées par des difficultés pour communiquer et créer des relations sociales, par des comportements répétitifs et par des difficultés d'apprentissage.

Axone. Long filament fibreux partant du corps cellulaire du neurone, et par lequel celui-ci transmet l'information aux cellules cibles.

Cartes cognitives. Représentations mentales d'objets et de lieux par rapport à leur environnement.

Cellules gliales. Voir Gliales (cellules).

Cerebrum ou télencéphale. Terme désignant l'ensemble composé des hémisphères cérébraux et d'autres structures cérébrales plus petites. Le cerebrum est composé des régions suivantes : système limbique, cortex cérébral, ganglions de la base et bulbe olfactif.

Cerveau droit. Terme de profane basé sur la conception erronée selon laquelle les processus mentaux supérieurs sont strictement divisés et se produisent indépendamment dans les deux parties du cerveau. Découle probablement d'exagérations de découvertes spécifiques sur certaines spécialisations de l'hémisphère droit dans des domaines limités.

Cerveau gauche. Terme de profane basé sur la conception erronée selon laquelle les processus mentaux supérieurs sont strictement divisés et se produisent indépendamment dans les deux parties du cerveau. Découle probablement d'exagérations de découvertes spécifiques sur certaines spécialisations de l'hémisphère gauche, tels que les systèmes neuraux contrôlant la parole.

Cerveau dit « reptilien ». Plus ancienne (en termes d'évolution) partie du cerveau humain.

Cervelet. Partie du cerveau située derrière et en dessous des hémisphères principaux, impliquée dans la régulation des mouvements.

Circadien (rythme)/Circadienne (horloge). Cycle comportemental ou physiologique, d'une durée d'environ 24 heures.

Cochlée. Organe en forme d'escargot, contenant un fluide et situé dans l'oreille interne, et qui transforme les mouvements perçus en informations neurologiques, produisant ainsi des perceptions auditives.

Cognition. Ensemble des opérations mentales incluant tous les aspects de la perception, de la pensée, de l'apprentissage et de la mémoire.

Cognition sociale. Étude de la façon dont les gens traitent l'information sociale (codage, stockage, récupération et utilisation.)

Cognitive (Neuroscience -). Étude et développement de la recherche sur le cerveau et les processus mentaux, ayant pour but l'investigation des fondements psychologiques, analytiques et neuroscientifiques de la cognition.

Cognitive (Science -). Étude des processus mentaux. Science interdisciplinaire s'inspirant de plusieurs domaines dont la neuroscience, la psychologie, la philosophie, l'informatique, l'intelligence artificielle et la linguistique. Le but de la science cognitive est de développer des modèles permettant d'expliquer la cognition humaine – la perception, la pensée et l'apprentissage.

Compétence. En parlant des apprenants, capacité mentale nécessaire à réaliser une tâche donnée.

Conditionnement classique. Apprentissage lors duquel un stimulus qui produit naturellement une réaction donnée (le stimulus inconditionnel) est systématiquement associé à un stimulus neutre (le stimulus conditionnel). À force, le stimulus conditionnel déclenche une réaction similaire à celle obtenue par l'exposition au stimulus inconditionnel.

Conditionnement de la peur. Il s'agit d'une forme de conditionnement classique (type d'apprentissage par association, expérimenté sur des animaux, dont Ivan Pavlov a été l'un des pionniers dans les années 20), mettant en jeu l'association d'un stimulus neutre (une lumière par exemple) appelé « stimulus conditionnel » et d'un stimulus négatif (douleur d'intensité moyenne par exemple) appelé « stimulus inconditionnel » jusqu'à ce que l'animal manifeste de la peur en réaction au stimulus neutre (non associé au stimulus douloureux) : c'est la réaction conditionnelle. Le conditionnement de la peur semble dépendre de l'amygdale. Empêcher le fonctionnement de l'amygdale peut empêcher de ressentir et d'exprimer la peur.

Consolidation de la mémoire. Changements physiques et psychologiques qui se produisent quand le cerveau organise et restructure l'information afin de l'intégrer à la mémoire à long terme.

Constructivisme. Théorie de l'apprentissage selon laquelle l'individu construit activement le sens à partir de ses expériences.

Corps calleux. Large ruban de fibres nerveuses qui relie les deux hémisphères cérébraux.

Cortex auditif. Partie du cerveau responsable du traitement de l'information auditive (les sons).

Cortex (cérébral). Couche supérieure des hémisphères cérébraux.

Cortex cingulaire antérieur. Partie frontale du cortex cingulaire. Il est impliqué dans de nombreuses fonctions autonomes, dont la régulation du rythme cardiaque et de la pression sanguine. Son rôle est crucial pour les fonctions cognitives : attente de récompense, prise de décision, empathie et émotions.

Cortex moteur. Régions du cortex cérébral impliquées dans la planification, le contrôle et l'exécution des fonctions motrices volontaires.

Cortex moteur primaire. Collabore avec les aires prémotrices pour planifier et exécuter les mouvements.

Cortex occipito-temporal ou aire de Brodman. Dans le cerveau humain, partie du cortex temporal.

Cortex préfrontal. Région située à l'avant du cortex frontal, impliquée dans la planification et dans d'autres fonctions cognitives supérieures.

Cortex visuel. Situé dans le lobe occipital, il est impliqué dans la détection des stimuli visuels.

Cortex visuel primaire. Région du cortex occipital où la plus grande partie de l'information visuelle est reçue en premier lieu.

Cortisol. Hormone fabriquée par le cortex surrénal. Chez les humains, c'est avant l'aube qu'elle est produite en plus grande quantité; elle prépare le corps aux activités de la journée.

Décodage. Processus élémentaire de l'apprentissage des systèmes d'écriture alphabétiques (par exemple : l'anglais, l'espagnol, l'allemand ou l'italien), dans lequel on déchiffre les mots inconnus en associant leurs lettres aux sons correspondants.

Démence sénile. État de détérioration des processus mentaux, caractérisé par un net déclin du niveau intellectuel du sujet et souvent par une apathie émotionnelle marquée. La maladie d'Alzheimer est une forme de démence sénile.

Dendrite. Ramification issue du corps d'un neurone, et qui reçoit l'information transmise par d'autres neurones.

Densité synaptique. Voir Synaptique (Densité ~).

Dépression. Diminution de la vitalité ou de l'activité fonctionnelle; état d'une personne dont la vitalité physique ou mentale est en dessous de la normale. La dépression sénile atteint les seniors, et se caractérise souvent par l'agitation et l'hypochondrie. On ne sait pas encore vraiment si cette dépression chez les personnes âgées est différente ou non de celle qui peut toucher les sujets plus jeunes.

Développement phylogénétique. Processus par lequel l'évolution favorise les comportements génétiques qui assurent le mieux la survie de l'espèce.

Dopamine. Neurotransmetteur appartenant aux catécholamines, dont l'effet varie selon l'endroit où il agit. Chez les personnes atteintes de la maladie de Parkinson, ce sont les neurones produisant de la dopamine de la substantia nigra qui sont détruits. Il semble que la dopamine régule les réactions émotionnelles, soit impliquée dans la schizophrénie et soit affectée par la consommation de cocaïne.

Dyscalculie ou acalculie. Désordre se manifestant par des difficultés dans la réalisation de calculs arithmétiques simples en dépit d'une instruction normale, d'une intelligence adéquate et de conditions socioculturelles non défavorables.

Dyslexie. Désordre se manifestant par des difficultés dans l'apprentissage de la lecture en dépit d'une instruction normale, d'une intelligence adéquate et de conditions socioculturelles non défavorables.

Dyspraxie. Troubles de la coordination motrice lors d'enchaînements complexes.

ECG. Électrocardiogramme. Mesure de la tension électrique dans le cœur, exprimée par une ligne continue.

EEG. Électroencéphalogramme. Mesure de l'activité électrique du cerveau au moyen d'électrodes. L'EEG s'obtient à partir de capteurs placés à divers endroits du cuir chevelu, sensibles à l'activité globale de groupes de neurones situés dans une région donnée du cerveau.

Élagage synaptique. Voir Synaptique (Élagage ~).

Émotions. Il n'existe pas de définition universellement acceptée. D'un point de vue neurobiologique, l'émotion est un état mental agréable ou désagréable dont le siège principal est le système limbique.

Empan mnésique. Quantité d'information qui est parfaitement retenue dans un test de mémoire immédiate.

Endorphine. Neurotransmetteur produit dans le cerveau, et dont les effets sur les cellules et le comportement sont similaires à ceux de la morphine.

Entraînement cognitif. Méthodes d'enseignement et d'apprentissage visant à remédier aux déficits cognitifs.

Épigénétique. Expression des gènes affectée par les stimuli environnementaux.

Épilepsie. Désordre nerveux chronique chez l'être humain, entraînant des convulsions d'une gravité variable accompagnées de pertes de conscience; l'épilepsie implique des altérations de la conscience et des mouvements, dont l'origine est soit une déficience congénitale, soit une lésion cérébrale produite par une tumeur, une blessure, des agents toxiques ou des troubles glandulaires.

ERP. *Event-Related Potentials* : voir Potentiels évoqués

Esprit. Rôle et fonction du cerveau, comprenant l'intellect et la conscience.

Étude de cohorte. Type d'étude longitudinale (ou « diachronique ») utilisée en médecine et en sciences sociales. Une cohorte est un groupe de gens qui partagent une caractéristique ou une expérience commune.

Étude diachronique. Voir Étude longitudinale.

Étude longitudinale. Étude portant sur un même groupe d'individus observés à des âges différents.

Étude par échantillonnage. Type d'étude descriptive qui mesure les caractéristiques d'une population à un moment précis.

Excitation. Modification de l'état électrique d'un neurone, associée à une augmentation des probabilités des potentiels d'action.

Fluide cérébro-spinal. Liquide contenu dans les ventricules cérébraux et au centre de la moelle épinière.

Gammatomographie. Imagerie fonctionnelle utilisant la tomographie d'émission à photon unique.

Ganglions de la base. Groupes de neurones comprenant le noyau caudé, le putamen, le globus pallidus et la substantia nigra; situés au cœur du cerveau, ils jouent un rôle important dans le mouvement. La mort de cellules de la substantia nigra contribue à l'apparition des symptômes de la maladie de Parkinson.

Gène. Unité de l'hérédité chez les organismes vivants. Les gènes influencent le développement physique et le comportement de l'organisme. Voir aussi Génétique.

Génétique. Science des gènes, de l'hérédité et de l'évolution des organismes. La **génétique classique** regroupe les techniques et méthodes datant d'avant l'avènement de la biologie moléculaire. La **génétique moléculaire** se fonde sur la génétique classique pour étudier la structure et la fonction des gènes au niveau moléculaire. La **génétique comportementale** étudie l'influence des variations génétiques sur le comportement animal, ainsi que les causes et les conséquences des maladies humaines.

Glande pinéale. Organe endocrinien du cerveau. Chez certains animaux, elle semble avoir un rôle d'horloge biologique et être influencée par la lumière.

Glande pituitaire. Organe endocrinien étroitement lié à l'hypothalamus. Chez les humains, elle se compose de deux lobes et sécrète des hormones qui régulent l'activité d'autres organes endocriniens du corps.

Gliales (cellules). Cellules spécialisées qui alimentent et entretiennent les neurones.

Globus pallidus. Structure sous-corticale.

Graphèmes. Plus petit élément écrit d'un alphabet; lettre.

Gyrus. Circonvolutions du cortex, dont chacune a reçu une appellation distinctive : gyrus frontal médian, gyrus frontal supérieur, gyrus frontal inférieur, gyrus frontal intérieur gauche, gyrus médian postérieur, gyrus post-central, gyrus supermaginal, gyrus angulaire, gyrus angulaire gauche, gyrus fusiforme gauche, gyrus cingulaire.

Gyrus angulaire. Zone du cortex dans le lobe pariétal, associée au traitement de la structure sonore du langage et à la lecture.

Gyrus fusiforme. Région du cortex courant le long de la surface ventrale (inférieure) des lobes occipitaux temporaux, associée aux processus visuels. On déduit de l'activité fonctionnelle de cette zone qu'elle est spécialisée dans la reconnaissance visuelle des visages et dans la forme visuelle des mots.

Hémisphères cérébraux. Chacune des deux parties du cerveau : le gauche et le droit.

Hippocampe. Élément important du système limbique, impliqué dans l'apprentissage, la mémoire et les émotions.

Hormones. Molécules produites par les glandes endocrines et qui régulent l'activité des cellules cibles. Elles jouent un rôle dans le développement sexuel, le métabolisme du calcium (osseux), la croissance, et bien d'autres éléments.

Hypothalamus. Structure cérébrale complexe, composée de nombreux centres aux fonctions variées, dont la régulation de l'activité des organes internes, le suivi des informations transmises par le système nerveux autonome, et le contrôle de la glande pituitaire.

Image mentale ou visualisation. Les images mentales (comprenant des informations visuelles et spatiales) sont créées par le cerveau à partir des souvenirs, de l'imagination ou d'un mélange des deux. On a émis l'hypothèse que les zones du cerveau responsables de la perception étaient également impliquées dans ce processus.

Imagerie par tenseur de diffusion. (DTI pour *Diffusion Tensor Imaging*). Technique d'imagerie par résonance magnétique (IRM) qui permet de mesurer la diffusion de l'eau dans les tissus. On peut ainsi observer *in vivo* la diffusion des molécules, et donc l'organisation moléculaire, dans les tissus.

Imagerie fonctionnelle. Ensemble de techniques de mesure dont le but est d'obtenir des informations quantitatives relatives aux fonctions physiologiques.

Inhibition. En parlant des neurones, message synaptique qui empêche l'activation de la cellule cible.

Insomnie. Incapacité à rester endormi pendant une durée raisonnable.

Intelligence. Propriété de l'esprit sans définition scientifique. Peut être de type fluide ou cristallisé. (Voir également Intelligences multiples et QI.)

Intelligence artificielle (IA). Domaine de l'informatique qui cherche à mettre au point des machines qui se comportent de façon « intelligente ».

Intelligence émotionnelle. Parfois appelée quotient émotionnel (QE). Les individus dotés d'intelligence émotionnelle sont capables de considérer autrui avec compassion et empathie, ont des capacités sociales développées et utilisent leur conscience émotionnelle pour déterminer leurs actes et leur comportement. Ce terme a été forgé en 1990.

Intelligences multiples. Terme créé pour mieux expliquer et décrire les diverses façons, toutes également importantes, de percevoir et penser l'environnement.

Ions. Atomes électriquement chargés.

IRM. Imagerie par résonance magnétique. Technique non invasive utilisée pour créer des images des structures contenues dans un cerveau humain vivant, par l'emploi combiné d'un champ magnétique fort et de pulsations radio.

IRMf. Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle. Utilisation d'un scanner IRM pour observer indirectement l'activité neurale grâce à des variations dans la chimie du sang (telle que celle du taux d'oxygène) et pour étudier des augmentations de l'activité dans les zones du cerveau associées à diverses formes de stimuli et de tâches mentales.

Limnique (Système ~). Également appelé « cerveau émotionnel ». Ce système bordant le thalamus et l'hypothalamus est constitué de certaines des structures les plus profondes du cerveau – dont l'amygdale, l'hippocampe, le septum et les ganglions de la base – qui contribuent à la régulation émotionnelle, à la mémoire et à certains aspects du mouvement.

Lobe. Terme désignant des zones du cerveau différenciées par leurs fonctions (lobe occipital, temporal, pariétal et frontal).

Lobe frontal. L'une des quatre grandes parties de chaque hémisphère du cortex cérébral. Il est impliqué dans le contrôle du mouvement et la coordination des fonctions des autres aires corticales. On pense qu'il joue un rôle essentiel dans la planification et les processus cognitifs supérieurs.

Lobe occipital. Région postérieure du cortex cérébral recevant l'information visuelle.

Lobe pariétal. L'une des quatre parties du cortex cérébral. Il est impliqué dans le traitement sensoriel, l'attention et le langage, ainsi que dans le traitement de l'information spatiale, la représentation corporelle, etc. Il est divisé en lobule pariétal supérieur et lobule pariétal inférieur. Il se compose du précunéus, du gyrus postcentral, du gyrus supramarginal et du gyrus angulaire.

Lobe temporal. L'une des quatre grandes parties de chaque hémisphère du cortex cérébral. Il est impliqué dans la perception auditive, la parole et les perceptions visuelles complexes.

Maladie de Parkinson. Maladie dégénérative du système nerveux central, qui affecte le contrôle musculaire, et donc le mouvement, la parole et les attitudes physiques. (Voir aussi Neurodégénératives.)

Maniaco-dépression ou trouble bipolaire. Troubles de l'humeur qui passe de crises maniaques (une forme d'euphorie) à des épisodes dépressifs aigus. Il n'y a pas de cause évidente, mais la maniaco-dépression est associée à des modifications internes des neurotransmetteurs cérébraux. Ces troubles peuvent être déclenchés par le stress, un événement de la vie quotidienne, un événement traumatisant ou, plus rarement, un traumatisme physique (blessure à la tête par exemple).

MEG ou Magnéto-encéphalographie. Technique d'imagerie fonctionnelle non invasive du cerveau, sensible aux changements rapides de l'activité cérébrale. Les enregistreurs (« SQUIDS » pour *Superconducting Quantum Interference Devices*) placés près de la tête sont sensibles aux faibles fluctuations magnétiques associées à l'activité neurale dans le cortex. Les réactions aux événements peuvent être mesurées à la milliseconde près, avec une bonne résolution spatiale pour les générateurs auxquels cette technique est sensible.

Mélatonine. Produite à partir de la sérotonine, la mélatonine est diffusée dans le sang par la glande pinéale. Elle joue sur les modifications physiologiques dues au temps et aux cycles de luminosité.

Mémoire. La **mémoire de travail** et la **mémoire à court terme** désignent les structures et les processus utilisés pour stocker momentanément l'information et la manipuler. La **mémoire à long terme** conserve les souvenirs et leur signification. Un souvenir à court terme peut être intégré dans la mémoire à long terme grâce à la répétition et à l'association significative.

Mémoire à court terme. Étape de la mémoire, capable de retenir une quantité limitée d'informations pour une durée allant de plusieurs secondes à quelques minutes.

Mémoire à long terme. La dernière étape de la mémoire. L'information peut être stockée pour une durée qui varie de quelques heures à la vie entière.

Messagers secondaires. Substances récemment identifiées, qui déclenchent la communication entre différentes parties d'un neurone. Ils jouent probablement un rôle dans la fabrication et la libération des neurotransmetteurs, dans les mouvements intracellulaires, dans le métabolisme glucidique, voire dans les processus de croissance et de développement. Leurs effets directs sur le matériel génétique des cellules entraînent peut-être des modifications comportementales durables, et pourraient concerner la mémoire.

Métabolisme. Somme de toutes les modifications physiques et chimiques qui se produisent dans un organisme, et de toutes les transformations énergétiques qui se produisent dans des cellules vivantes.

Métacognition. Pensée sur la pensée.

Microgénétique. Méthode d'observation des changements qui se produisent lors du développement. La méthode microgénétique insiste sur le fait que le changement est continu, et se produit sur bien des points en plus des étapes majeures. Observer ces changements peut aider les chercheurs à comprendre comment les enfants apprennent.

Mnémotechnique. Technique qui améliore les performances mnésiques.

Morphologie. En linguistique, étude de la structure des mots.

Motivation. Peut être définie comme ce qui fait agir. Les états de motivation sont ceux où l'organisme est prêt à agir physiquement et mentalement d'une manière concentrée; ils sont caractérisés par un niveau d'excitation élevé. La motivation est donc étroitement liée aux émotions, qui permettent au cerveau de prendre des décisions. La **motivation intrinsèque** pousse les gens à pratiquer une activité pour elle-même, sans motifs extérieurs, alors que la **motivation extrinsèque** est due à des facteurs extérieurs comme l'attente d'une récompense.

Myéline. Substance grasseuse compacte qui entoure et isole les axones de certains neurones.

Myélinisation. Processus par lequel les nerfs sont recouverts d'une substance grasseuse protectrice. La gaine (myéline) entourant les fibres nerveuses se comporte comme un câble dans un système électrique, ce qui empêche la perte des messages transmis par les fibres nerveuses.

Mythe du « Tout se joue avant trois ans » ou « Mythe des premières années ». Selon cette affirmation, seules les trois premières années comptent pour ce qui est de l'évolution de l'activité cérébrale, le cerveau étant insensible au changement après cette période. On peut considérer qu'il s'agit là d'une forme extrême du concept de « période critique ».

Nerf auditif. Faisceau de fibres nerveuses entre la cochlée et le cerveau, contenant deux parties : le nerf cochléaire qui transmet l'information sonore, et le nerf vestibulaire qui transmet l'information liée à l'équilibre.

Neurobiologie. Étude des cellules du système nerveux.

Neurodégénératives (maladies). Désordres du cerveau et du système nerveux conduisant à des dysfonctionnements, puis à une dégénérescence du cerveau, telles que la maladie d'Alzheimer, la maladie de Parkinson et les autres affections généralement associées au vieillissement.

Neurogénèse. Naissance dans le cerveau de cellules nouvelles, parmi lesquelles des neurones.

Neuromythe. Concept erroné découlant d'une erreur de compréhension, de lecture ou de citation d'un fait neuroscientifique établi.

Neurone. Cellule nerveuse spécialisée dans l'intégration et la transmission de l'information. Un neurone comporte de longs filaments fibreux, les axones, et de plus petites excroissances, les dendrites. Le neurone est l'élément constitutif fondamental du système nerveux.

Neurone moteur. Neurone qui transporte l'information du système nerveux central jusqu'au muscle.

Neurones miroir. Neurones qui sont activés lorsque quelqu'un réalise une action, mais aussi lorsqu'il voit quelqu'un d'autre réaliser cette même action. Les neurones miroir « reflètent » les comportements, et réagissent comme si l'observateur réalisait lui-même l'action.

Neurotransmetteur. Substance chimique libérée par les neurones au niveau des synapses, et qui transmet l'information jusqu'aux récepteurs.

NIRS *Near InfraRed Spectroscopy* : voir Spectroscopie en proche infrarouge.

Noyau accumbens. Groupe de neurones situé à la jonction de la tête du noyau caudé et de la partie antérieure du putamen, sur le côté du septum pellucidum. Le noyau

accumbens semble jouer un rôle important dans les systèmes de récompense, de plaisir et d'addiction.

Noyau caudé. Noyau du télencéphale situé à l'intérieur des ganglions de la base. Important pour les systèmes cérébraux de mémorisation et d'apprentissage.

Ocytocine. Parfois appelée hormone de l'amour, l'ocytocine est impliquée dans la formation de liens sociaux, et peut-être dans l'établissement du sentiment de confiance entre des individus.

Ontogénèse. Histoire du développement d'un individu.

Organe endocrinien. Organe qui secrète une hormone et la diffuse dans le sang afin de réguler l'activité cellulaire de certains autres organes.

Orthographe. Ensemble de règles déterminant la façon correcte d'écrire une langue.

OT. Voir Topographie optique.

Période critique. Concept désignant certaines périodes au début de la vie, durant lesquelles la capacité du cerveau à se modifier en fonction de l'expérience est substantiellement meilleure qu'à l'âge adulte. Il vaut mieux parler de « période sensible », pendant laquelle un processus biologique a tendance à se dérouler le mieux. (Voir Période sensible.)

Période sensible. Laps de temps durant lequel un événement biologique est susceptible de se produire dans les meilleures conditions. Les scientifiques ont établi l'existence de périodes sensibles pour certains types de stimuli sensoriels (tels la vision et les sons associés au langage) et pour certaines expériences émotionnelles et cognitives (liens affectifs, exposition au langage). Cependant, il existe de nombreuses compétences mentales, telles que l'acquisition de vocabulaire et la capacité à distinguer les couleurs, dont le développement ne semble pas dépendre de périodes sensibles.

Périsylvienne (Régions -). Zones du cortex adjacentes à la fissure sylvienne (fissure majeure de la surface latérale du cerveau située le long du lobe temporal).

PET. Tomographie par émission de positons. Ensemble de techniques utilisant des nucléotides émetteurs de positons pour créer une image de l'activité cérébrale, souvent par le biais de la circulation sanguine ou de l'activité métabolique. La TEP produit des images colorées des substances chimiques opérant dans le cerveau.

Phonèmes. Unités fondamentales du discours oral, qui constituent les mots.

Plasticité ou plasticité cérébrale. Phénomène par lequel le cerveau est capable de changer et d'apprendre. Voir aussi Apprentissage dépendant de l'expérience et Apprentissage attendant de recevoir de l'expérience.

Potentialisation à long terme (LTP). Augmentation de la réactivité d'un neurone en conséquence d'une stimulation passée.

Potentiel d'action. Se produit lorsqu'un neurone est activé, et inverse de manière temporaire l'état électrique de sa membrane interne (de négatif à positif). Cette charge électrique gagne le terminal du neurone via l'axone, et déclenche la libération d'un neurotransmetteur excitateur ou inhibiteur.

Potentiels évoqués ou « ERP » (*Event-Related Potentials*). Mesure de l'activité électrique dans le cerveau en réponse aux stimuli sensoriels, grâce à des électrodes placés sur le crâne (ou, plus rarement, à l'intérieur), et qui administrent un stimulus de façon répétée. On enregistre des signaux électriques au moyen d'un EEG. Les données ainsi

obtenues sont ensuite synchronisées avec la présentation répétée au sujet d'un stimulus donné, afin d'observer le cerveau en action. L'activation cérébrale qui en résulte peut être ainsi mise en corrélation avec le stimulus.

Précunéus. Structure cérébrale située au-dessus du cunéus, dans le lobe pariétal.

QI. Nombre censé traduire l'intelligence relative d'une personne, obtenu à l'origine en divisant son âge mental par son âge réel et en multipliant par 100.

Qualia. Sensations subjectives. Dans *Phantoms in the Brain*, Ramachandran en parle ainsi : « Comment le flux d'électrons et de courants électriques dans ces grumeaux de gelée que sont mes neurones peut-il générer ce monde de sensations subjectives – rouge, chaleur, froid, douleur? Quelle magie transforme la matière en sensations, en sentiments impalpables? »

Régulation émotionnelle. Capacité de réguler et de contrôler ses émotions (maîtriser sa colère par exemple).

Réseaux cognitifs. Réseaux cérébraux impliqués dans des processus comme la mémoire, l'attention, la perception, l'action, la résolution de problème et la visualisation d'images mentales. Ce terme est également utilisé pour les réseaux artificiels (exemple : l'intelligence artificielle).

Rythme circadien/Horloge circadienne. Voir Circadien (rythme).

Schizophrénie. Maladie mentale caractérisée par des troubles de la perception ou de l'expression de la réalité, et/ou par des troubles sociaux importants.

Science cognitive Voir Cognitive (Science -).

Science de l'apprentissage Voir Apprentissage (Science de l'-).

Sérotonine. Neurotransmetteur monoamine contribuant entre autres à la régulation thermique, à la perception sensorielle et à l'endormissement. Les neurones utilisant la sérotonine comme transmetteur se trouvent dans le cerveau et dans les intestins. Un certain nombre d'antidépresseurs agissent sur la sérotonine cérébrale.

Signaux électrochimiques. Signaux par lesquels les neurones communiquent entre eux.

Sillon ou sulcus. Sillon à la surface du cerveau (opposé à gyrus).

SMT ou Stimulation magnétique trans-crânienne. Procédure durant laquelle l'activité électrique du cerveau est influencée par les pulsations d'un champ magnétique. La SMT a été récemment employée pour étudier certains aspects des processus corticaux, notamment les fonctions sensorielles et cognitives.

Sommeil paradoxal. Stade du sommeil caractérisé par des mouvements oculaires rapides, durant lequel l'activité des neurones est très proche de celle observée à l'état de veille.

Souvenir/apprentissage explicite. Souvenir pouvant être évoqué par un acte conscient (remémoration) et pouvant être verbalisé, par contraste avec un souvenir implicite ou procédural, moins explicite sur le plan verbal.

Souvenir/apprentissage implicite. Souvenir ne pouvant être évoqué par un acte conscient, mais activé dans le cadre d'une compétence ou d'un acte donné et traduisant l'apprentissage d'une procédure ou d'une structure, très certainement difficile à verbaliser de façon explicite ou à définir de façon consciente (par exemple : un souvenir permettant

d'accomplir plus vite la deuxième fois que la première une action comme celle de lacer ses souliers).

Spectroscopie en proche infrarouge ou NIRS (*Near InfraRed Spectroscopy*). Méthode d'imagerie non invasive permettant de mesurer la concentration d'hémoglobine désoxygénée dans le cerveau au moyen de l'absorption des fréquences proches de l'infrarouge. (La lumière dont la longueur d'onde est comprise entre 700 et 900 nm peut partiellement pénétrer les tissus humains.)

Stimulus. Événement de l'environnement que les récepteurs sensoriels sont capables de percevoir.

Stress. Réactions physiques et mentales à toute expérience, réelle ou imaginaire, et à tout changement. Un stress excessif ou persistant peut conduire à des comportements dépressifs.

Striatum. L'une des parties subcorticales du télencéphale, surtout connue pour son rôle dans la planification et la modulation des mouvements, mais également impliquée dans de nombreux autres processus cognitifs faisant appel aux fonctions exécutives.

Substance blanche. Parties du cerveau composées surtout d'axones myélinisés connectant entre elles les zones de « substance grise ».

Substance grise. Parties du cerveau composées surtout des corps cellulaires des neurones ainsi que des dendrites.

Synapse. Espace séparant deux neurones, par lequel un neurone transmet de l'information à un autre neurone (alors appelé « cellule cible » ou « neurone post-synaptique »).

Synapses excitatrices. Synapses dans lesquelles les neurotransmetteurs diminuent la différence de potentiel entre les membranes des neurones.

Synaptique (Densité). Désigne le nombre de synapses associées à un neurone. Un nombre élevé traduit probablement une meilleure capacité de représentation et d'adaptation.

Synaptique (Élagage ~). Processus du développement cérébral par lequel les synapses (connexions entre neurones) inutilisées sont éliminées. C'est l'expérience qui détermine quelles synapses seront éliminées ou préservées.

Synaptogénèse. Formation d'une synapse.

Système immunitaire. Ensemble de cellules, d'organes et de tissus qui protègent le corps des infections.

Système nerveux parasympathique. Division du système nerveux autonome, impliqué dans la conservation de l'énergie et des ressources du corps pendant les périodes de repos.

Système nerveux périphérique. Division du système nerveux comprenant tous les nerfs qui n'appartiennent ni au cerveau ni à la moelle épinière.

Système nerveux sympathique. Division du système nerveux autonome qui mobilise l'énergie et les ressources du corps pendant les périodes d'activité, de stress et d'excitation.

Tâche de Stroop. Test psychologique d'évaluation de la vitalité et de la flexibilité mentale. Si le nom d'une couleur est imprimé dans une couleur différente (par exemple le mot « vert » écrit en bleu), il faut plus de temps au sujet pour identifier la couleur de l'encre; les réponses sont alors plus lentes, et plus souvent fausses.

Terminal (d'un axone). Structure spécialisée située à l'extrémité des axones, d'où sont libérés les neurotransmetteurs afin de communiquer avec les neurones cibles.

Thalamus. Structure constituée de deux masses ovoïdes de tissu nerveux (chacune de la taille d'une noix), située au centre du cerveau. C'est par là que passent toutes les informations sensorielles qui parviennent au cerveau. Le thalamus ne relaie que les informations utiles, et ignore la masse de celles qui ne servent à rien.

Théorie de l'interférence. Une théorie de l'oubli qui veut que les autres souvenirs perturbent la rétention du souvenir cible.

Tomographie assistée par ordinateur. D'abord appelée tomographie axiale. Méthode d'imagerie médicale qui génère une image en 3 dimensions de l'intérieur d'un objet grâce à de nombreuses images en 2 dimensions prises aux rayons X autour d'un axe de rotation fixe.

Topographie optique ou OT (*Optical Topography*). Méthode d'imagerie trans-crânienne non invasive permettant d'observer les fonctions cérébrales élevées. Cette méthode, fondée sur la spectroscopie en proche infrarouge (NIRS), n'est pas obérée par le mouvement, et il est possible de tester un sujet dans des conditions naturelles.

Traitement de l'information. Analyse de la cognition humaine, via une série d'étapes, qui permet de traiter les informations abstraites.

Transdisciplinarité. Terme employé pour expliquer le concept par lequel des disciplines complètement différentes, fusionnant l'une avec l'autre, donnent naissance à une discipline nouvelle dotée de sa propre structure conceptuelle, qui permet de faire reculer les frontières des sciences et des disciplines ayant présidé à sa formation.

Tronc cérébral (« brainstem »). Principale voie de communication entre le cerveau d'une part et la moelle épinière et les nerfs périphériques d'autre part. Il contrôle, entre autres, la respiration et le rythme cardiaque.

Ventricule. L'un des quatre espaces assez vastes, pleins de fluide cérébro-spinal. Trois sont situés dans le cerveau, et un dans le tronc cérébral. Les ventricules latéraux (les deux plus grands) sont placés de chaque côté de celui-ci, un dans chaque hémisphère.

Table des matières

Résumé	13
---------------------	----

Partie I

Le cerveau apprenant

Introduction	23
Chapitre 1. Un abécédaire du cerveau	27
Apprentissage	28
Bases neurales du phénomène d'apprentissage	28
Cerveau	28
Développement	29
Émotions	29
Fonctions cognitives	30
Génétique	30
Habilités (« Skills »)	30
Intelligence	31
J'entends, j'oublie. Je vois, je me souviens. Je fais, je comprends. [Confucius]	31
Kafka	32
Langage	32
Mémoire	33
Neurone	33
Opportunité (fenêtres d')	34
Plasticité	34
Qualité, hygiène de vie	35
Représentations	35
Sociales (interactions)	35
Tu me dis, j'oublie, Tu m'enseignes, je me souviens, Tu m'impliques, j'apprends. [Benjamin Franklin]	36
Universalité	36
Variabilité	37
W comme « travail »	37
... XYZ	37
Chapitre 2. Comment le cerveau apprend tout au long de la vie	39
L'architecture du cerveau : les bases	41
Organisation fonctionnelle	42

La structure du cerveau	43
Comment le cerveau apprend au cours de la vie	46
Plasticité et périodes sensibles	46
La petite enfance (environ 3 à 10 ans)	47
L'adolescence (environ 10 à 20 ans)	50
L'âge adulte et la vieillesse	54
Récupérer grâce à l'apprentissage des fonctions cérébrales atteintes	55
Surmonter le déclin des fonctions cognitives.	55
Récupérer les fonctions cérébrales endommagées	57
Conclusions.	61
Références.	62
Chapitre 3. L'impact de l'environnement sur l'apprentissage	65
Interactions sociales	68
Régulation des émotions.	69
Motivation.	77
Sommeil et apprentissage	79
Conclusions.	83
Références.	83
Chapitre 4. Littératie et cerveau	89
Langage et sensibilités du développement	91
La littératie au niveau cérébral.	93
L'influence de la langue sur le développement de la littératie	94
Dyslexie développementale	96
Conclusions.	99
Références.	100
Chapitre 5. Numératie et cerveau	103
Création de la numératie	104
Des nourrissons qui calculent	105
La numératie au niveau cérébral.	106
Nombres et espace.	108
Le rôle de l'instruction	108
Sexe et mathématiques.	110
Entraves à l'apprentissage mathématique	110
Conclusions.	111
Références.	112
Chapitre 6. Dissiper les neuromythes	115
Qu'est-ce qu'un « neuromythe » ?	116
« Il n'y a pas de temps à perdre car pour le cerveau tout se joue avant l'âge de trois ans »	117
« Il existe des périodes "critiques" où certains enseignements/apprentissages sont indispensables »	119

« Mais j'ai lu quelque part que nous n'utilisons que 10 % de notre cerveau de toute façon... »	121
« Je suis "cerveau gauche", elle est "cerveau droit"... »	123
« Il faut bien reconnaître que le cerveau de l'homme est différent du cerveau de la femme »	127
« Le cerveau d'un jeune enfant ne peut correctement apprendre qu'une seule langue à la fois »	128
« Améliorez votre mémoire ! »	130
« Apprenez en dormant ! »	132
Conclusions	134
Références	135
Chapitre 7. Éthique et organisation de la neuroscience de l'éducation	139
Les défis éthiques qui attendent la neuroscience de l'éducation	140
Dans quels buts et pour qui ?	141
Questions éthiques concernant l'utilisation des produits agissant sur le cerveau	142
Interface cerveau-machine – qu'est-ce qu'être humain ?	143
Les risques d'une approche trop scientifique de l'éducation ?	143
Créer une nouvelle approche transdisciplinaire pour comprendre les apprentissages	144
Transdisciplinarité	144
Contributions réciproques de part et d'autre : progrès bidirectionnel	150
Au-delà des frontières nationales : pour des initiatives internationales	157
Précautions et limites	160
Références	161
Conclusions et perspectives d'avenir	163
Messages clés et conclusions	164
Les grands thèmes de recherche à venir	169
Naissance d'une science de l'apprentissage	170
Références	171

Partie II

Articles en coopération

Article A. Cerveau, développement et apprentissage durant la petite enfance	175
A.1. Introduction	176
A.2. Que savons-nous du développement cérébral chez les nouveaux-nés, les bébés et les jeunes enfants?	176
A.2.1. Processus du développement initial du cerveau	176
A.2.2. Le rôle de l'expérience	178
A.2.3. Choisir le bon moment – les facteurs importants du développement cérébral	178
A.2.4. La plasticité, caractéristique fondamentale du cerveau des bébés. . . .	179

A.2.5. Périodes critiques ou sensibles du développement neural?	180
A.2.6. Périodes sensibles et plasticité cérébrale	181
A.2.7. Apprendre durant la petite enfance, et au-delà.	182
A.3. Quelle est l'importance des premières années de la vie dans le développement et l'apprentissage?	183
A.3.1. Les avantages des programmes destinés aux jeunes enfants	183
A.3.2. L'apprentissage, élément crucial de la petite enfance	184
A.3.3. Ce qui nuit à l'apprentissage	185
A.3.4. Soins et éducation à la petite enfance : il n'y a pas de baguette magique	186
A.4. Les environnements qui favorisent le développement des jeunes enfants . .	186
A.4.1. Les liens subtils entre jeu et apprentissage	186
A.4.2. Rôles des programmes et des orientations pédagogiques dans le développement du jeune enfant	187
A.4.3. Favoriser l'acquisition du langage	188
A.4.4. Comment encourager l'apprentissage chez les jeunes enfants	188
A.5. Les défis à relever pour synthétiser les résultats des recherches en neuroscience et en sciences de l'éducation	190
A.6. Réactions du praticien.	191
Références.	194
Article B. Le cerveau et l'apprentissage à l'adolescence.	199
B.1. Introduction	200
B.2. Le développement cérébral – de quoi s'agit-il?	200
B.2.1. Le développement cérébral au niveau microscopique	200
B.2.2. Le développement cérébral au niveau macroscopique.	201
B.2.3. Le développement cérébral peut être examiné à de nombreux niveaux.	202
B.2.4. Techniques d'imagerie cérébrale	202
B.2.5. Il est difficile de déterminer le rôle de l'inné et de l'acquis dans le développement cérébral	203
B.3. L'expérience modèle le cerveau.	204
B.3.1. Activité cérébrale au fil du temps	204
B.3.2. Structure cérébrale au fil du temps	205
B.3.3. Les relations entre le cerveau et le comportement doivent souvent faire l'objet de déductions indirectes	206
B.3.4. Enfants et adultes n'utilisent pas leur cerveau de la même manière .	206
B.3.5. Cerveau adolescent et modifications du comportement	207
B.3.6. Résumé et implications	208
B.4. Théories de l'apprentissage à l'adolescence et évolution au cours de la vie .	209
B.4.1. Implications pour l'enseignement et l'apprentissage à l'adolescence.	213
B.5. Défis et pistes à venir	215
B.6. Réactions du praticien : J'ai fait un rêve	217
B.6.1. Un nouveau regard sur l'enseignement	217
B.6.2. Faut-il fixer de nouveaux buts à l'école et de nouvelles missions aux enseignants?	220
Références.	221

Article C. Cerveau, cognition et apprentissage à l'âge adulte	225
C.1. Introduction	226
C.1.1. Qu'est-ce que l'apprentissage?.....	226
C.1.2. Le cerveau humain à l'âge adulte	227
C.1.3. Vue d'ensemble de l'article.....	227
C.2. L'âge adulte : cognition et apprentissage au fil du temps	228
C.2.1. Vieillesse et cognition	228
C.2.2. L'apprentissage tout au long de la vie : la perspective de l'éducation des adultes.....	229
C.3. Vieillesse et fonctions cérébrales : la neuroimagerie structurale	231
C.4. Vieillesse et fonctions cérébrales : la neuroimagerie fonctionnelle	232
C.5. Différences individuelles dans les modifications cérébrales et cognitives au cours du temps	233
C.6. La génétique et les différences individuelles en matière de cognition	234
C.7. Entraînement et vieillesse	236
C.7.1. Entraînement cognitif	236
C.7.2. La formation : les perspectives pour le développement.....	236
C.8. L'apprentissage pour adultes : créer des environnements favorables	239
C.8.1. L'apprentissage fondé sur les compétences : pour préparer à résoudre des problèmes	239
C.8.2. L'apprentissage constructiviste : mettre à profit des expériences subjectives	239
C.8.3. L'apprentissage <i>in situ</i> : organiser les environnements d'apprentissage..	240
C.9. Programme de travail	241
C.10. Réactions du praticien.....	242
Références.....	246
Annexe A. Les forums	251
Annexe B. Technologies d'imagerie cérébrale	257
Glossaire	263
Autres ouvrages disponibles dans la collection CERI	277
 Encadrés	
2.1. La Learning Therapy (Japon)	60
3.1. Nutrition.....	67
3.2. Les aspects organiques de l'attention	72
3.3. Exercice physique	74
3.4. Musique	76
3.5. Jeu	78
3.6. Jeux vidéo.....	79
3.7. Niveaux sonores	82
7.1. Esprit, cerveau et éducation (« Mind, Brain and Education » ou « MBE »).....	149
7.2. Le Centre pour les neurosciences dans l'éducation : Université de Cambridge, Royaume-Uni.....	150
7.3. Learning Lab Denmark.....	151

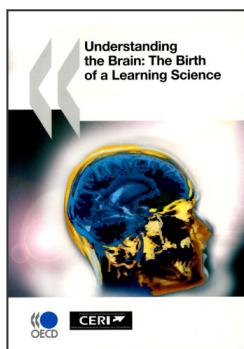
7.4. Université de Harvard Graduate School of Education	152
7.5. Le point de vue des éducateurs sur le rôle de la neuroscience dans l'éducation	153
7.6. Technologie et éducation : une perspective mondiale	155
7.7. Le Centre de transfert pour la neuroscience et l'apprentissage (ZNL), Ulm, Allemagne.	156
7.8. JST-RISTEX, Japan Science and Technology-Research Institute of Science and Technology for Society, Japon	157
7.9. La neuroscience de l'éducation aux Pays-Bas.	159
A.1. Émotions et mémoire (apprentissage)	177
A.2. Le développement initial du langage.	181
A.3. Les neurones miroirs	182
B.1. Le principe de l'IRM	203
B.2. Le principe de la TEP et de l'IRMf	203
A. Qu'est ce que l'IRMf ?	258
B. La topographie optique en proche infrarouge utilisée en sciences de l'apprentissage et en recherche sur le cerveau	260

Tableaux

2.1. Comment le cerveau apprend : récapitulatif	53
2.2. Déclin ou atteintes des fonctions cérébrales, et solutions possibles	61

Graphiques

2.1. Connection synaptique entre deux neurones	42
2.2. Principales régions du cortex cérébral.	44
2.3. Le lobe frontal	45
2.4. Le cerveau de l'adolescent.	51
3.1. Structure interne du cerveau humain, comprenant le système limbique	70
5.1. Aires cérébrales.	108
7.1. L'évolution de la transdisciplinarité.	146
7.2. Échange bidirectionnel entre recherche et pratique	152
A. Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle.	258



Extrait de :

Understanding the Brain: The Birth of a Learning Science

Accéder à cette publication :

<https://doi.org/10.1787/9789264029132-en>

Merci de citer ce chapitre comme suit :

OCDE (2007), « Résumé », dans *Understanding the Brain: The Birth of a Learning Science*, Éditions OCDE, Paris.

DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264029156-2-fr>

Cet ouvrage est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE. Les opinions et les arguments exprimés ici ne reflètent pas nécessairement les vues officielles des pays membres de l'OCDE.

Ce document et toute carte qu'il peut comprendre sont sans préjudice du statut de tout territoire, de la souveraineté s'exerçant sur ce dernier, du tracé des frontières et limites internationales, et du nom de tout territoire, ville ou région.

Vous êtes autorisés à copier, télécharger ou imprimer du contenu OCDE pour votre utilisation personnelle. Vous pouvez inclure des extraits des publications, des bases de données et produits multimédia de l'OCDE dans vos documents, présentations, blogs, sites Internet et matériel d'enseignement, sous réserve de faire mention de la source OCDE et du copyright. Les demandes pour usage public ou commercial ou de traduction devront être adressées à rights@oecd.org. Les demandes d'autorisation de photocopier une partie de ce contenu à des fins publiques ou commerciales peuvent être obtenues auprès du Copyright Clearance Center (CCC) info@copyright.com ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC) contact@cfcopies.com.