

PARTIE I

Conclusions et perspectives d'avenir

Il n'est pas bon d'essayer d'empêcher la connaissance d'avancer. L'ignorance n'est jamais préférable à la connaissance.

Enrico Fermi

Ce chapitre, qui conclut la première partie du présent rapport, en rassemble les messages clés et les implications politiques potentielles, montrant en quoi la recherche neuroscientifique contribue d'ores et déjà aux politiques et aux pratiques éducatives en termes d'apprentissages. Les thèmes abordés comprennent : l'apprentissage tout au long de la vie; le vieillissement; les approches holistiques en matière éducative; la nature de l'adolescence; les âges propices à certaines formes d'apprentissage, en lien avec les programmes; le traitement des « 3 D » (dyslexie, dyscalculie, et démence); et les problèmes relatifs à l'évaluation et à la sélection, dans lesquels la neuroscience pourrait être de plus en plus impliquée. On indique également ici dans quels domaines il apparaît, à la suite des chapitres précédents, que la recherche en neuroscience de l'éducation peut ou doit faire porter ses efforts à venir.

Après sept ans de travail sur une activité aussi novatrice que les sciences de l'apprentissage, il serait tentant d'exagérer les résultats obtenus, et facile de réclamer des recherches plus approfondies avant de formuler des conclusions. Il est vrai, cependant, que de plus amples études sont nécessaires, et des pistes importantes sont suggérées ci-dessous. Il est vrai également que ce chapitre de conclusion cherche à éviter de formuler des recommandations péremptoires. Ce domaine de recherche est encore trop récent et les liens entre la neuroscience et l'enseignement sont trop complexes et incertains pour que cela puisse se justifier. Il est rare que les résultats neuroscientifiques, aussi riches et prometteurs soient-ils, permettent de prouver le bien-fondé de pratiques et de politiques particulières. En effet, une des leçons à tirer de notre travail – leçon déjà claire dans le rapport de 2002 (*Comprendre le cerveau : vers une nouvelle science de l'apprentissage*) est qu'il faut se méfier des approches simplistes ou réductionnistes, qui, pour plaire aux médias ou sembler rentables, trahissent néanmoins les conclusions scientifiques.

Ce chapitre reprend les grands thèmes et les conclusions de la réflexion qui précède. On peut proposer des idées et des questions à résoudre, qui permettraient de lancer ou de renouveler les débats sur l'évolution de nos systèmes éducatifs. Si nous assistons à la naissance d'une science de l'apprentissage, des idées et des arguments nouveaux apparaîtront rapidement et pourront changer beaucoup de choses. Il n'est cependant pas indispensable d'attendre. L'une des missions du CERI a toujours été d'aider les pays de l'OCDE à réfléchir à l'avenir. Si les conclusions formulées ici sont assez générales, c'est précisément pour créer l'élan nécessaire à l'exploration de l'immense territoire décrit dans les chapitres précédents.

Messages clés et conclusions

Les plus importantes révolutions scientifiques supposent toutes, et c'est leur seul point commun, de détrôner l'arrogance humaine, de la faire descendre, un piédestal après l'autre, de ses convictions antérieures quant à la place centrale que nous occupons dans le cosmos.

Stephen Jay Gould

La neuroscience de l'éducation débouche sur des connaissances précieuses et neuves, qui permettent d'informer politiques et pratiques éducatives.

Cet ouvrage traite une vaste gamme de sujets – de l'apprentissage des bébés à celui des personnes âgées, des connaissances sur un sujet précis à l'étude des émotions et de la motivation, de la remédiation à la compréhension globale des processus d'apprentissage –, ce qui montre la richesse et la variété de ce que la neuroscience peut apporter aux politiques et aux pratiques éducatives. Cette contribution adopte différentes formes.

Sur bien des sujets, *la neuroscience utilise des conclusions déjà établies par d'autres moyens* : études psychologiques, observations *in vivo* ou études de résultats. Les exemples repris dans

ce volume – rôle de l'alimentation dans l'amélioration des résultats scolaires, importance de la confiance en soi et de la motivation, etc. – ne sont pas nouveaux. Néanmoins, l'apport de la neuroscience est important même dans des sujets déjà bien connus, car :

- elle permet d'établir la *causalité*, et pas seulement la *corrélation*, et permet de quitter le domaine de l'intuition et de l'idéologie pour celui de la preuve scientifique ;
- elle peut aider à informer des interventions et des solutions efficaces, en explicitant les mécanismes responsables des éléments observés.

Mais sur d'autres sujets, la neuroscience *génère de nouvelles connaissances et ouvre de nouvelles pistes*. Ainsi, connaître le fonctionnement du cerveau est indispensable pour déterminer les différents types d'activation cérébrale apparaissant chez les spécialistes d'un domaine et non chez les novices (ce qui est un moyen d'étudier la compréhension, le savoir-faire et la maîtrise de compétences), ou pour étudier en quoi l'apprentissage peut être une stratégie efficace pour combattre le déclin dû au vieillissement, ou encore pour comprendre pourquoi des troubles de l'apprentissage apparaissent chez des individus qui dans d'autres domaines éducatifs n'ont aucun problème particulier.

Un troisième rôle de la neuroscience est de *dissiper les neuromythes* (voir chapitre 6). Les connaissances distordues sont dangereuses pour les pratiques éducatives sérieuses, auxquelles on risque de préférer des formules à la mode ou des grandes théories aussi fumeuses qu'éphémères.

Parmi les autres contributions importantes de la neuroscience dans le domaine éducatif, on trouve :

- les études qui *approfondissent les connaissances de base sur l'apprentissage* en tant qu'aspect central de la vie humaine et sociale, en transcendant les différentes institutions éducatives ;
- les méthodes permettant de *révéler des particularités non apparentes*, afin de proposer des moyens de remédiation – par exemple pour surmonter des troubles de l'apprentissage de la lecture, ou une dyscalculie. Ces méthodes pourraient aussi permettre de sélectionner les individus, d'améliorer leurs performances ou d'en exclure certains, ce qui soulève de bien épineuses questions éthiques abordées dans le chapitre 7 ;
- la capacité (avec d'autres disciplines) à *éclairer la conception de pratiques éducatives*, surtout en ce qui concerne l'équilibre entre, d'un côté, la meilleure façon d'apprendre et le meilleur moment pour apprendre, et, de l'autre, l'organisation traditionnelle des institutions scolaires. On peut se demander si, aujourd'hui, on tient suffisamment compte de ce qui a été établi à ce sujet.

Les recherches sur le cerveau apportent les preuves neuroscientifiques qui permettent de soutenir la notion d'apprentissage tout au long de la vie, et confirment qu'il est toujours bénéfique d'apprendre, surtout pour des populations vieillissantes.

L'une des principales découvertes dans le domaine de l'apprentissage est la remarquable « plasticité » du cerveau – cette capacité à s'adapter, à évoluer en fonction de l'expérience et des besoins, et à élaguer des éléments devenus inutiles –, qui se maintient durant toute la vie, et jusqu'à un âge bien plus avancé que ce qu'on croyait naguère. Les pressions environnementales sont la clé de la plasticité : plus on apprend, plus on peut apprendre. 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 continue d'apprendre*.

Le besoin d'éléments de preuves sur lesquels fonder politiques et pratiques se fait plus pressant; il est donc de plus en plus important de bien comprendre les « bénéfiques connexes » de l'éducation, au-delà des critères économiques qui dominent si souvent les analyses politiques. Un nombre croissant d'éléments prouvent que la participation à l'apprentissage peut avoir d'importantes conséquences sur la santé ou la participation citoyenne d'une population (voir à ce sujet les travaux du CERI sur « Mesurer les retombées sociales de l'éducation »). Le présent rapport montre l'ensemble des bénéfiques qu'apporte l'apprentissage : les problèmes cruciaux, et coûteux, posés par la démence sénile (d'autant plus sensibles dans des pays touchés par le vieillissement de leur population), peuvent être nettement réduits grâce à des techniques d'apprentissage identifiées par la neuroscience.

L'amélioration des diagnostics, la possibilité de pratiquer une activité physique, des traitements médicamenteux adaptés et surveillés, et de bonnes interventions éducatives peuvent, ensemble, nettement favoriser le bien-être global et prévenir le déclin lié à l'âge chez les seniors.

Il nous faut des approches globales prenant en compte l'interdépendance du corps et de l'esprit, de l'émotionnel et du cognitif

Étant donné l'importance accordée aux performances cognitives – à l'intérieur de chaque pays, et à un niveau international –, le risque est grand d'adopter une conception réductrice du rôle de l'école. 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, cela fait comprendre 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.

On connaît de mieux en mieux les effets de la nutrition, de l'activité physique et du sommeil sur le cerveau, donc leur influence sur l'apprentissage. Chez les seniors, l'activité cognitive (jouer aux échecs ou faire des mots croisés, par exemple), l'activité physique et le maintien de rapports sociaux favorisent l'apprentissage et peuvent retarder la dégénérescence cérébrale (voir le chapitre 2).

Ce rapport montre non seulement l'importance des émotions pour le fonctionnement cérébral, mais aussi l'influence que chaque émotion exerce sur toutes les autres. Pour l'éducation, il importe surtout d'étudier le stress et la peur (il a été établi que ceux-ci réduisent les capacités analytiques), et de faire comprendre que les émotions positives permettent au cerveau de mieux fonctionner.

C'est vrai aussi bien pour des apprenants adultes, mal à l'aise de « retourner sur les bancs de l'école », que pour des jeunes qui arrivent dans le secondaire ou à l'université et ont du mal à s'adapter. Ces sujets touchent aux questions de justice sociale et d'équité, car la peur d'échouer, le manque de confiance en soi et des problèmes comme « l'anxiété mathématique » (voir chapitres 3 et 5) ont plus de chance de toucher des apprenants issus des milieux moins favorisés.

Il nous faut mieux comprendre l'adolescence : la puissance est là, mais pas le contrôle

Ce rapport montre ce qu'est l'adolescence du point de vue du développement cérébral, et surtout de la maturation émotionnelle.

L'apport de la neuroscience sur l'étude de l'adolescence est particulièrement important, car cette période est cruciale sur le plan éducatif. C'est à l'adolescence que l'on

fréquente l'enseignement secondaire, période à laquelle on doit prendre des décisions fondamentales dont les conséquences (personnelles, éducatives et professionnelles) seront très lourdes. C'est un âge où les capacités cognitives sont certes bien développées (« la puissance est là »), mais où les individus n'ont pas encore atteint la maturité émotionnelle (« mais pas le contrôle »).

On ne doit certes pas en conclure qu'il faut attendre l'âge adulte pour prendre ces décisions. En revanche, il serait important que les choix effectués ne soient pas définitifs et puissent être modulés plus tard. Il faut mieux déterminer les différentes occasions d'apprentissage ultérieur (formelles et informelles) et mieux identifier les trajectoires de maturation à l'adolescence.

La neuroscience a également développé le concept de « régulation émotionnelle ». Pour apprendre efficacement, il faut savoir gérer ses émotions. La régulation émotionnelle recouvre des éléments complexes tels que les capacités d'attention, de résolution de problèmes et d'établissement de relations sociales. Étant donné que les adolescents contrôlent mal leurs émotions, et qu'il importe de favoriser leur maturation émotionnelle, il pourrait être judicieux de réfléchir à l'introduction de la régulation émotionnelle dans les programmes scolaires.

Il nous faut considérer le facteur temps et la périodicité lorsque l'on traite de programmes

Les travaux de psychologues comme Piaget ont durablement influencé notre conception de l'apprentissage et du développement individuel. La neuroscience de l'éducation permet aujourd'hui de préciser les modèles de Piaget (y compris de mettre en évidence les capacités dont les bébés disposent déjà), tout en aidant à mieux comprendre l'importance du facteur temps grâce à l'étude des périodes « sensibles ».

Le message exprimé dans ce rapport est nuancé : il n'existe pas de « périodes critiques » durant lesquelles un apprentissage donné doit absolument intervenir, et d'ailleurs la notion de « plasticité » tout au long de la vie indique qu'on peut apprendre à tout âge; en revanche, on connaît mieux les caractéristiques des périodes dites « sensibles », et les âges auxquels un individu est particulièrement réceptif à telle ou telle activité d'apprentissage.

Nous nous sommes surtout occupés de l'exemple des apprentissages langagiers, car ce sujet est fondamental dans des sociétés de plus en plus tournées vers l'extérieur. En règle générale, plus tôt on commence à apprendre une langue étrangère, plus efficace sera l'apprentissage. L'activité cérébrale déclenchée par cet apprentissage n'est pas la même chez les bébés, chez les enfants et chez les adultes : globalement, plus on vieillit, plus le nombre d'aires cérébrales impliquées augmente, et moins l'apprentissage est efficace. Cela dit, les adultes sont malgré tout parfaitement capables d'apprendre une langue étrangère.

Ce rapport a également dissipé le mythe aux termes duquel l'apprentissage de langues étrangères serait nocif à la maîtrise de la langue maternelle. En effet, un enfant qui apprend une autre langue améliore aussi ses compétences dans sa langue maternelle.

Ces questions sont importantes pour l'éducation. Les découvertes qu'elles ont suscitées permettent d'éclairer la réflexion sur les meilleurs moments pour entreprendre certains apprentissages, en fondant celle-ci sur la science et non sur la tradition. Elles montrent d'autre part qu'il est très important de disposer de bases solides pour l'apprentissage tout au long de la vie : l'éducation des jeunes enfants et la maîtrise des compétences de base ne sont donc pas seulement des fins en soi, mais représentent un investissement pour l'avenir.

Parallèlement, ce rapport montre qu'il est dangereux de surestimer l'influence des trois premières années de vie sur l'apprentissage ultérieur (voir chapitre 6).

La neuroscience peut constituer un apport crucial aux grands défis auxquels l'éducation est confrontée

C'est en ce qui concerne les « 3 D » – dyslexie, dyscalculie, démence – que les apports de la neuroscience pour le diagnostic et l'élaboration de techniques de remédiation sont les plus visibles.

Dyslexie : jusqu'à une époque récente, on ne connaissait pas l'origine de la dyslexie. On sait aujourd'hui qu'elle est principalement due à une atypie du cortex auditif (ou, parfois peut-être, du cortex visuel). On peut à présent identifier les caractéristiques de la dyslexie chez de très jeunes enfants. La remédiation est souvent d'autant plus efficace que l'enfant est jeune, mais elle reste possible chez les individus plus âgés.

Dyscalculie : on sait à présent que ses causes sont comparables à celles de la dyslexie, mais les diagnostics précoces sont moins développés, et les interventions se font donc plus tard.

Démence : nous avons déjà cité les découvertes fondamentales concernant les liens entre démence et apprentissage. Ce dernier est clairement identifié comme un moyen efficace de « prévention » qui permet entre autres de retarder l'apparition des symptômes de la maladie d'Alzheimer, et d'en diminuer la gravité.

Plus généralement, en ce qui concerne la littératie (voir chapitre 4), l'importance simultanée du traitement phonologique et du traitement sémantique direct lors de la lecture en anglais permet de supposer qu'une méthode mixte est la plus adaptée pour apprendre à lire dans des langues alphabétiques non transparentes. Pour les langues transparentes, la neuroscience semble confirmer que les « méthodes syllabiques » sont les plus adaptées. Il sera intéressant de comparer les processus d'acquisition de la lecture entre langues alphabétiques et non-alphabétiques.

Quant à la numératie (voir chapitre 5), les hommes ayant une tendance innée à comprendre le monde en termes mathématiques, l'enseignement devrait utiliser le sens informel des nombres pour construire des compétences plus complexes. Nombres et espace sont étroitement liés au niveau cérébral; les méthodes pédagogiques qui unissent nombres et espace sont donc très efficaces.

Une évaluation plus personnalisée pour améliorer l'apprentissage, non pour sélectionner et exclure

Dans le domaine éducatif, le potentiel des techniques d'imagerie cérébrale est immense, mais pose aussi des questions éthiques très importantes. Les connaissances sur le fonctionnement du cerveau, et sur les manifestations physiologiques des compétences et des savoir-faire, peuvent être utilisées au niveau des institutions pour réfléchir aux pratiques éducatives traditionnelles et chercher à les optimiser. La plupart des méthodes d'évaluation, qui permettent de réussir par le bachotage, ne sont pas adaptées au fonctionnement réel du cerveau, et sont inefficaces à moyen et long terme.

Mais, d'une manière moins générale, les découvertes neuroscientifiques pourraient aussi être appliquées au niveau de l'individu : pour déterminer par exemple si un élève a réellement compris un sujet, ou pour évaluer son niveau de motivation ou d'anxiété. Bien utilisée, cette possibilité offrirait un outil de diagnostic très précieux lors d'évaluations formatives (OCDE, 2005) et pour l'apprentissage personnalisé.

À ce sujet, on doit noter que beaucoup de pays cherchent à « personnaliser » programmes et pratiques éducatives (OCDE, 2006). La neuroimagerie peut grandement faciliter cette personnalisation. Dans le même temps, des études montrent que les caractéristiques individuelles sont loin d'être « fixées » : l'interaction entre génétique, expérience et plasticité est permanente, et la notion de « capacités » chez un individu doit être envisagée avec précaution.

Cela dit, les applications individuelles de la neuroimagerie peuvent déboucher sur des techniques de sélection et d'exclusion plus puissantes que celles que nous connaissons aujourd'hui. Un « CV biologique » serait très dangereux – et très tentant pour les universités ou les employeurs. Il s'agirait d'un vrai détournement d'un outil utile et précieux, dont l'usage à des fins non souhaitables permettrait de refuser des élèves ou des candidats dont le « potentiel » serait jugé insuffisant (alors même que la plasticité cérébrale montre combien les capacités d'apprentissage peuvent se développer). Une conception trop étroitement scientifique de l'éducation, telle que décrite au chapitre 7, utilisée pour sélectionner étudiants et enseignants, serait pour beaucoup de gens une véritable catastrophe.

Les grands thèmes de recherche à venir

Si nous accordons quelque valeur à la recherche de la connaissance, nous devons être libres d'aller jusqu'au bout, où que cette quête nous mène.

Adlai E. Stevenson Jr.

Nous ne prétendons pas que les domaines cités ci-dessous soient exhaustifs; mais l'analyse de notre rapport a permis de les définir comme questions prioritaires. Certains sont encore très peu étudiés et ont grand besoin d'être approfondis.

Il s'agit également d'établir un programme de recherche portant sur l'éducation, et non plus seulement sur des aspects médicaux (qui jusqu'ici ont naturellement été les plus abondamment traités). La communauté neuroscientifique doit comprendre combien elle peut éclairer l'apprentissage et l'éducation, domaines qui nous concernent tous, du plus au moins performant, du bébé au très vieux monsieur.

- Mieux connaître les périodes les plus appropriées à chaque forme d'apprentissage, surtout pour des adolescents ou des adultes dont les connaissances de base ne sont pas assez solides (voir le tableau du chapitre 2). Cela inclut les « périodes sensibles » durant lesquelles la capacité d'apprentissage est à son apogée, dans des domaines précis comme l'apprentissage langagier.
- Comprendre l'interaction entre augmentation des connaissances et diminution des fonctions exécutives et de la mémoire. Mieux étudier le processus de vieillissement, non seulement chez les personnes âgées mais aussi chez les adultes, à la fois quant à la capacité d'apprentissage et quant au rôle de l'apprentissage pour retarder les effets indésirables du vieillissement.
- Mieux connaître les émotions présentes dans le cerveau. Des études psychologiques et par neuroimagerie permettraient d'étudier les mécanismes neurobiologiques liés à l'impact du stress sur l'apprentissage et la mémoire, et les facteurs permettant de le réduire ou de le supprimer. Il serait bon d'étudier précisément la façon dont le cerveau émotionnel des adolescents interagit avec différents types d'environnement et de salles de classe.

- Mieux comprendre en quoi les conditions de laboratoire influencent les résultats obtenus, ainsi que l'applicabilité et la transférabilité des résultats dans des conditions autres que celles de départ. Il faut analyser de manière fine le rôle et l'importance d'un matériel pédagogique et d'un environnement adaptés, de façon à mettre fin aux interrogations binaires ou simplistes (« L'environnement a-t-il ou non une influence sur l'apprentissage? »)
- Continuer à étudier en quoi un régime alimentaire adapté favorise un bon développement cérébral; poursuivre les études portant directement sur le domaine éducatif. De même pour l'activité physique, le sommeil, la musique et l'expression artistique et créative.
- Beaucoup plus étudier quels types d'apprentissage nécessitent une interaction sociale, et s'intéresser davantage à l'importance des différences culturelles. Cette question peut être subdivisée ainsi : différences démographiques (surtout en fonction du sexe des apprenants) et différences socioculturelles. C'est potentiellement très dangereux, et la neuroscience ne doit surtout pas servir à justifier des stéréotypes racistes ou sexistes.
- Éclairer des itinéraires multi-dimensionnels débouchant sur la même compétence par des chemins différents (pour la lecture par exemple). Il faut pour cela étudier les situations d'apprentissage réelles, c'est-à-dire s'intéresser à la lecture de phrases complètes et non de mots isolés, voire de lettres.
- Poursuivre la cartographie des mathématiques au niveau cérébral, qui repose, et cela semble paradoxal, d'une part sur des capacités et des fonctions cérébrales distinctes et d'autre part sur l'interconnectivité. Il serait très utile de déterminer des stratégies permettant de surmonter « l'anxiété mathématique ».
- Comparer les différentes activités cérébrales – réseaux neuraux, fonctions cognitives et mémoire – chez des « spécialistes » d'un domaine, chez des apprenants de niveau moyen, et enfin chez des individus confrontés à de réels problèmes. Cela permettrait de mieux définir ce qu'est un apprentissage réussi, et aussi de développer des méthodes d'enseignement efficaces et ciblées.

Naissance d'une science de l'apprentissage

De récentes avancées en neuroscience ont fourni des éléments importants pour l'éducation. En parallèle, la recherche en sciences de l'éducation a accumulé un grand nombre de données relatives à l'apprentissage. Il est évident que la neuroscience pourrait apporter une dimension nouvelle et importante à l'étude de l'apprentissage, et que ce que les éducateurs en savent pourrait aider la neuroscience à traiter des questions les plus pertinentes. Mais les deux domaines sont déjà bien en place, leurs cultures sont solidement ancrées, leurs méthodes et leur langage sont spécifiques, et les spécialistes d'un domaine ont beaucoup de mal à utiliser les connaissances de l'autre. La création d'un champ transdisciplinaire permettrait de réunir les différentes communautés et leurs perspectives propres. Il faut établir une relation réciproque, semblable au lien entre biologie et médecine, afin d'alimenter l'échange continu et bidirectionnel d'informations, nécessaire à une pratique éducative informée par ce qu'on sait du fonctionnement cérébral et fondée sur les éléments scientifiques dont on dispose. Chercheurs et praticiens peuvent collaborer pour déterminer des thèmes de recherche pertinents, et réfléchir ensemble sur les implications des résultats obtenus. Lorsque des méthodes éducatives issues de la recherche sur le cerveau seront mises en place, les praticiens devront toujours en étudier

l'efficacité et alimenter le travail des chercheurs en leur rapportant les résultats obtenus en classe. La création de lieux où pratique éducative et recherche sont intimement liées semble une excellente façon de stabiliser le travail transdisciplinaire.

La neuroscience de l'éducation peut participer à la création d'une véritable science de l'apprentissage. Elle pourrait même servir de modèle à la formation d'autres champs transdisciplinaires. Nous espérons que cette publication contribuera à faire naître une véritable science de l'apprentissage, qui sera un modèle de fusion transdisciplinaire.

Références

OCDE (2002), *Comprendre le cerveau : vers une nouvelle science de l'apprentissage*, OCDE, Paris.

OCDE (2005), *L'évaluation formative : pour un meilleur apprentissage dans les classes secondaires*, OCDE, Paris.

OCDE (2006), *Personnaliser l'enseignement*, OCDE, Paris.

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

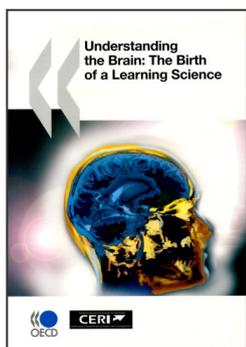
7.4. Université de Harvard Graduate School of Education	152
7.5. Le point de vue des éducateurs sur le rôle de la neuroscience dans l'éducation	153
7.6. Technologie et éducation : une perspective mondiale	155
7.7. Le Centre de transfert pour la neuroscience et l'apprentissage (ZNL), Ulm, Allemagne.	156
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), « Conclusions et perspectives d'avenir », dans *Understanding the Brain: The Birth of a Learning Science*, Éditions OCDE, Paris.

DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264029156-11-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.