ISBN 978-92-64-02914-9
Comprendre le cerveau : naissance d'une science de l'apprentissage
© OCDE 2007

ANNEXE A

Les forums

Les forums de discussion « Teach the brain » (*www.ceri-forums.org/forums*) du CERI de l'OCDE ont grandement contribué à faire communiquer deux communautés très importantes : enseignants et scientifiques. Ils permettaient aux enseignants de poser des questions sur la façon dont le cerveau apprend, de se renseigner sur les moyens d'intégrer les avancées de la neuroscience dans leurs méthodes pédagogiques, de comprendre pourquoi et comment leurs pratiques et leurs intuitions fonctionnent, et de partager leur point de vue de praticiens. Des scientifiques leur répondaient et apportaient leurs compétences. Enfin, des experts et le « Brain Team » du CERI se tenaient prêts à dissiper les malentendus et à expliquer les termes utilisés.

En deux ans, le succès a été considérable : plus de 160 discussions ont été créées, entraînant plus de 2 000 réponses, et l'activité a sans cesse augmenté : de 300 visites par mois en 2005, on est passé à 600 par mois au premier semestre 2006.

Ces forums ont permis d'aborder les questions que se posent aujourd'hui les enseignants (des faiblesses en mathématiques peuvent-elles être dues à un problème cérébral ?), les idées fausses qu'ils peuvent avoir (un enfant atteint d'ADHD manque-t-il de motivation ?), et ont apporté aux éducateurs des éléments de réponse sur ce que la neuroscience peut apporter à l'éducation (comment tenir compte du fonctionnement cérébral dans une pratique pédagogique ?).

Vous trouverez ici une sélection d'échanges tirés de plusieurs discussions, de « émotions et apprentissage » à « Littératie et cerveau » en passant par « Dyscalculie » et « Neuroscience et éducation ». L'un des participants est en Californie, à Solana Beach, un autre au Royaume-Uni, dans une ferme à East York ; un autre encore en plein cœur des États-Unis, un autre en Australie ; certains viennent de pays qui n'appartiennent pas à l'OCDE, comme l'Inde ou le Nigeria. Vous croiserez des enseignants, des éducateurs, des neuroscientifiques, des experts de l'OCDE. Ils ont pour pseudonymes « segarama », « puppet-maker », « justme », « the foreign brain » ou « institutrice de CM1 ». Certains, sexagénaires, sont à la retraite ; toujours passionnés par l'enseignement et l'apprentissage, ils veulent se tenir au courant des découvertes neuroscientifiques et de leurs applications possibles.

Venez à leur rencontre, découvrez ce qu'ils ont à dire ; ils sont au carrefour de la neuroscience et de l'éducation, quelque part entre échange d'information et applications concrètes. C'est tous ensemble que nous pourrons avancer.

Les échanges qui suivent sont directement tirés des forums. Rien n'a été modifié – ni le fond, ni la forme (à part la traduction !) – afin de préserver l'authenticité des messages, et la personnalité des intervenants.

La dyslexie…

Chers tous,

Je voudrais savoir ce qui fait qu'un élève dyslexique n'arrive pas à entendre la différence entre deux sons. D'où viennent ses difficultés à percevoir les rimes, à segmenter les mots en sons, à les assembler ? Et qu'est-ce qui cause le déficit de traitement phonologique ? Une infection de l'oreille chez un bébé peut-elle entraîner une dyslexie ? Et une blessure ou un coup à la tête ? Faut-il une cause extérieure, ou bien y a-t-il des raisons internes ? ça fait longtemps que je m'intéresse aux causes des handicaps. J'aimerais que vous me parliez de l'origine des troubles du traitement phonologique qui gênent tant les dyslexiques.

justme

Bonjour justme,

Vous trouverez des informations à ce sujet sur le site *Cerveau et apprentissage* de l'OCDE à l'adresse : *www.oecd.org/document/51/0,2340,en_2649_14935397_35149043_1_1_1_1,00.html* (page en anglais). Je vous recommande également la lecture de *Overcoming Dyslexia*, de Sally Shaywitz (2003).
Bien à vous,

Christina Hinton
Experte, consultante pour le CERI de l'OCDE

Chers tous,

J'aimerais que vous développiez l'idée que la dyslexie n'est pas un état « particulier » qui empêche de lire correctement, mais simplement une incapacité à segmenter et associer les sons, indépendante de l'intelligence – tout comme le daltonisme. Cette façon de voir a récemment été défendue à la télévision britannique, mais je n'ai pas retenu le nom des invités.

Deborah

Chère Deborah,

Au sujet de cette émission de télé et de la position de M. Elliot. Tous les enfants atteints d'un « trouble de l'apprentissage » doivent d'abord être « étiquetés » en fonction de leur trouble avant qu'on les aide à y remédier. Pas d'étiquette, pas d'aide. Le problème, c'est que très peu d'enfants/d'adultes correspondent exactement aux étiquettes utilisées. Cela crée un autre problème : que se passe-t-il après l'étiquetage ? On détermine une stratégie de remédiation en fonction de l'étiquette. Ce qui ne tient pas compte de la grande variété de causes possibles quand un enfant a « du mal à apprendre à écrire », « du mal à apprendre à lire » ou « est dyslexique ». Elliot, lui, affirme que cette étiquette recouvre des choses très diverses. Il dit qu'il faut s'occuper, non de l'étiquette, mais de l'origine du trouble, et adopter ainsi une « approche individualisée ».

J'ai tendance à dire qu'il faut s'occuper, non de l'étiquette, mais d'apprendre au grand public comment fonctionne le cerveau.

Geoff.

COMPRENDRE LE CERVEAU : NAISSANCE D'UNE SCIENCE DE L'APPRENTISSAGE – ISBN 978-92-64-02914-9 – © OCDE 2007

Cher forum,

On considère aujourd'hui la dyslexie comme un problème. J'espère que bientôt ce sera considéré comme un autre mode de pensée, capable de déboucher sur des idées originales et sur des nouvelles façons de résoudre tel ou tel problème. Vue comme ça, la dyslexie peut être un atout… il suffit de la regarder différemment.

frulle

Les mathématiques…

Chers tous,

Je connais un enfant très intelligent, qui a d'excellentes notes dans toutes les matières sauf en maths. Ses parents disent qu'il travaille autant dans cette matière que dans les autres. Il vient d'avoir huit ans. Est-ce normal? Pensez-vous que ses faibles résultats en maths puissent être liés à un problème au niveau cérébral ?
Merci d'avance,

The foreign brain

Chers enseignants,

Ce week-end, j'ai lu sur ce site un excellent article à propos des troubles de l'apprentissage des mathématiques. Je ne peux malheureusement pas vous dire comment je suis tombée dessus : il y a trop de choses intéressantes ici, je passe des heures à lire différents textes et j'ai du mal à en retrouver un précis. En tout cas, je crois que c'est lié au sens des nombres. À l'origine, le problème vient de ce que l'enfant ne comprend pas ce que sont les nombres et ce qu'ils représentent. L'article explique que pour comprendre le nombre cinq, par exemple, un enfant doit reconnaître le symbole 5, le mot écrit cinq, et le concept de cinq. J'espère que vous pourrez retrouver l'article dont je parle, et que vous apporterez vos contributions ici. Je trouve cela très intéressant.

Cathy Trinh

L'enfant dont vous parlez est peut-être dyscalculique. La dyscalculie est l'équivalent de la dyslexie pour les maths, mais elle est bien moins connue que la dyslexie. Les définitions et les tests de diagnostic varient selon les pays. Même la terminologie peut changer : aux États-Unis, on parle de « handicap mathématique ». En Angleterre, on utilise un test mis au point par Brian Butterworth, le « Dyscalculia Screener ». En France, les orthophonistes se débrouillent tout seuls. Aux États-Unis, c'est le psychologue scolaire qui pose le diagnostic.

Cathy, l'article dont vous parlez est sans doute celui qui parle du symposium sur le logiciel de remédiation à la dyscalculie (dont le développement est en partie financé par l'OCDE); vous le trouverez vers le bas de la page « Cerveau et apprentissage ».

Pour en savoir plus sur la dyscalculie, vous pouvez consulter le site de Brian Butterworth : *www.mathematicalbrain.com*.

L'équipe de l'OCDE va bientôt mettre en ligne davantage d'informations sur la dyscalculie, alors revenez nous voir !

Anna Wilson

Sur les méthodes d'évaluation…

Bonjour Christina,

Merci de votre réponse.

À propos des implications possibles pour l'enseignement, je voudrais revenir à notre récent échange sur les méthodes d'évaluation.

Cela souligne les avantages de l'évaluation formative quand on veut dépasser l'évaluation élémentaire qui permet de déterminer si un élève est « bon » ou « mauvais » dans une matière, sans indiquer les points sur lesquels il a besoin d'aide.

L'évaluation formative s'intéresserait aux processus neuraux mis en œuvre pour apprendre quelque chose. Cela permettrait d'identifier le(s) processus neuraux qu'il faut aider à mettre en place. On retombe donc sur la question de savoir ce que les Enseignants doivent connaître des neurosciences appliquées à l'apprentissage ?

Geoff.

Cher Geoff,

Votre idée de lier directement neuroscience et évaluation donne à réfléchir. Verra-t-on un jour contrôles ou partiels s'accompagner d'un examen neuroscientifique, IRMf ou autre ?

À plus tard,

Christina Hinton
Experte, consultante pour le CERI de l'OCDE

Chère Christina,

C'est peut-être un sujet explosif ? ça pourrait être très utile, puisque ça permettrait d'identifier les « problèmes » très tôt et d'y remédier de façon ciblée, au lieu d'attendre des années de mauvaises notes pour réagir, alors que l'élève a déjà pris beaucoup de retard. Ça aurait des avantages indéniables, non ?

Geoff.

Sur les émotions et l'apprentissage…

Chers enseignants,

Pensez-vous qu'à l'école on puisse séparer émotions et processus cognitifs ?

Christina Hinton
Experte, consultante pour le CERI de l'OCDE

Chers tous,

Un mot suffit : non.

Dans un monde idéal, les profs se retrouveraient face à des élèves qui apprendraient tout ce qu'on leur enseigne dès qu'on le leur enseigne, et qui montreraient d'eux-mêmes qu'ils ont compris. C'est ça que beaucoup de gens attendent de l'école. Et pour eux, si les choses se passent différemment, c'est que le prof ou l'élève a un problème. Mais à mon avis, le seul vrai problème, c'est qu'on ne s'occupe pas assez des émotions.

Regardez le cas des maths. Les élèves de CM1 qui peuvent réciter « automatiquement » les tables de multiplications arrivent à résoudre des problèmes plus compliqués que les autres, en moins de temps. (Bien sûr, certains élèves ont besoin de temps pour réciter leurs

COMPRENDRE LE CERVEAU : NAISSANCE D'UNE SCIENCE DE L'APPRENTISSAGE – ISBN 978-92-64-02914-9 – © OCDE 2007

tables, mais sont très efficaces dans les problèmes plus complexes; mais les enseignants s'occupent de beaucoup d'élèves en même temps, et on a tendance à généraliser.) Il y a des années, je me suis rendu compte que travailler les tables en groupe était très nocif. Les bons élèves étaient ravis; les autres étaient malheureux. Quelques-uns appréciaient l'émulation, et travaillaient d'autant plus dur. La plupart réagissaient en s'auto-dénigrant et décidaient qu'ils étaient « nuls en maths ». Tous les ans, des parents me disent que leurs enfants détestent ces interrogations parce que – quelle qu'en soit la raison – ils n'arrivent pas à réfléchir assez vite. Ils en concluent donc que les maths n'ont pas grande importance, et qu'il ne faut pas insister. Ce à quoi je réponds qu'on va encore essayer quelques semaines, pour voir comment ça évolue. Et là, je demande à des parents de faire travailler les enfants individuellement. Quand les élèves se retrouvent seuls, et que personne n'est là pour les juger, ils font tous des progrès. Ils sont heureux, les parents aussi, et certains viennent même me remercier.

Je trouve très intéressantes les remarques faites ici au sujet de l'apprentissage global, des capacités motrices, de la physique, de la philo, et des bases biologiques. Pour vraiment comprendre chaque message, j'essaie d'imaginer la personne qui l'écrit, sa vie et son état d'esprit, pour comprendre ce qu'elle a en tête. Comprendre les gens sur le plan émotionnel aide à comprendre leur raisonnement et la façon dont ils l'expriment : c'est encore un exemple de ce qu'est vraiment « apprendre à lire ». Nous avons tous une « voix » quand nous écrivons, et quoi que nous écrivions. La voix dépend de la personnalité de celui qui écrit, donc de ses émotions.

Il ne me paraît donc pas possible de séparer émotions et processus cognitifs. Je pense même qu'il faut que l'apprentissage comporte une part de passion. Mais la concentration, l'adaptation, la gestion des émotions en somme, c'est tout à fait possible; c'est même une grande part du travail d'un enseignant. Tout dépend peut-être de ce que vous entendez par « séparer »?

Quelle est là-dessus la position de la neuroscience?

Une enseignante de CM1

Chère enseignante de CM1,

Merci beaucoup pour votre intervention.

Au niveau cérébral, les processus émotionnels et cognitifs ne sont pas distincts, tout simplement parce qu'émotion et cognition sont des concepts qui ne correspondent à rien dans la façon dont le cerveau fonctionne. Le cerveau consiste en groupes de neurones dotés de propriétés et de fonctions propres; c'est ce qu'on appelle la modularité. Ces groupes gèrent des fonctions très spécifiques, par exemple la perception spatiale ou la distinction des sons. Un stimulus déclenche un ensemble de réactions dans divers groupes de neurones, ce qui produit une sensation. Certains éléments de cette sensation peuvent être décrits comme « cognitifs » ou « émotifs », mais cette répartition ne renvoie à rien dans le cerveau. Je considère donc que les émotions de vos élèves lorsqu'ils font des maths ne peuvent pas être séparées des processus cognitifs qu'ils mettent en œuvre. Il me semble que c'est également votre opinion.

Bien à vous,

Christina Hinton
Experte, consultante pour le CERI de l'OCDE

La neuroscience de l'éducation…

Chers enseignants,

Voici les réflexions qu'un expert de l'éducation et un célèbre neuroscientifique ont partagées avec nous lors de la réunion du réseau « Apprentissage tout au long de la vie » (tenue à Tokyo en janvier 2005). Nous aimerions que vous nous fassiez part de vos réactions.

« Pour construire un pont, les ingénieurs ne se reposent pas sur la physique. Et ils n'attendent pas de la physique qu'elle leur explique comment s'y prendre. Non, ils *étudient* la physique, et ils en *adaptent* les principes aux décisions concrètes qu'ils doivent prendre, y compris les éléments régissant les déplacement des véhicules qui emprunteront un jour ce pont. ».

(Michael Posner, neuroscientifique)

« Si nous utilisons tous tellement de métaphores dans le domaine de l'éducation et du cerveau, c'est qu'il n'existe pas vraiment de domaine de référence. On est obligé d'aborder ce concept comme une relation à quelque chose que les groupes sociaux pourront reconnaître. ».

Frank Coffield

Chers tous,

Posner a parfaitement raison, mais je vous recommande l'ouvrage *Why Buildings Fall Down* de Matthys Levy et Mario Salvadori. Aucun progrès n'est possible sans échec, et personne n'irait prétendre que les architectes ne devraient jamais prendre de risque. Il faut accepter de ne pas tout savoir, et avancer quand même : on n'a pas le choix.

Alors, qui va oser avancer ?

Karl

COMPRENDRE LE CERVEAU : NAISSANCE D'UNE SCIENCE DE L'APPRENTISSAGE – ISBN 978-92-64-02914-9 – © OCDE 2007

ANNEXE B

Technologies d'imagerie cérébrale

Les techniques de la recherche neuroscientifique sont variées et peuvent englober des processus dits invasifs (comme la neurochirurgie par exemple). Cependant, les outils les plus connus et les plus utilisés aujourd'hui relèvent de la technologie non invasive de l'imagerie cérébrale. Ces outils peuvent être séparés en deux catégories : ceux qui fournissent, sur l'activité cérébrale, une information spatiale de haute résolution et ceux qui fournissent une information temporelle de haute résolution. Parmi les outils fournissant une information spatiale de haute résolution, les plus connus sont la tomographie par émission de positons (TEP) et l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf). Les techniques TEP détectent l'activité cérébrale au moyen de radio-isotopes en relevant les modifications dans la consommation d'oxygène et de glucose, et les altérations du flux sanguin cérébral. L'IRMf, par l'utilisation de fréquences radio et d'aimants, identifie les changements dans la concentration d'hémoglobine désoxygénée (voir encadré A). Ces deux techniques demandent que le sujet conserve une immobilité parfaite pour que l'on parvienne à une imagerie exacte.

Il faut en retenir que le signal qui est mesuré (le changement en oxygène) est une fonction naturelle du corps; on n'a pas besoin d'injecter quoi que ce soit. La procédure est donc non invasive, au contraire d'autres méthodes d'imagerie cérébrale comme la tomographie par émission de positons, qui nécessite l'injection d'un produit radioactif. L'IRMf, sans danger, permet donc d'étudier le cerveau d'un enfant, et peut être utilisée de façon répétée sur un même individu : il est maintenant possible d'étudier les effets dans le temps d'un apprentissage, d'interventions, etc. Il faut également garder à l'esprit que le signal – dont on considère qu'il représente l'activité neurale – est une mesure INDIRECTE. Cette limite est importante : aujourd'hui, toute mesure directe de l'activité neurale n'est possible que sur des animaux.

La TEP et l'IRMf fournissant une résolution spatiale au millimètre près mais une résolution temporelle d'une précision de plusieurs secondes seulement, ces techniques sont utiles à la mesure des changements de l'activité cérébrale durant des phases d'activité cognitive relativement prolongées. Une autre technique, la stimulation magnétique transcrânienne (SMT), est utilisée pour créer une disruption temporaire (quelques secondes) des fonctions cérébrales afin d'aider à localiser l'activité dans une région circonscrite du cerveau. Néanmoins, des processus tels que celui du calcul mathématique ou de la lecture impliquent plusieurs autres processus se produisant en l'espace de quelques centaines de millisecondes. Pour cette raison, la TEP et l'IRMf sont capables de localiser des régions du cerveau impliquées dans la lecture ou l'activité mathématique, mais ne peuvent mettre en lumière les interactions dynamiques entre processus mentaux durant ces activités.

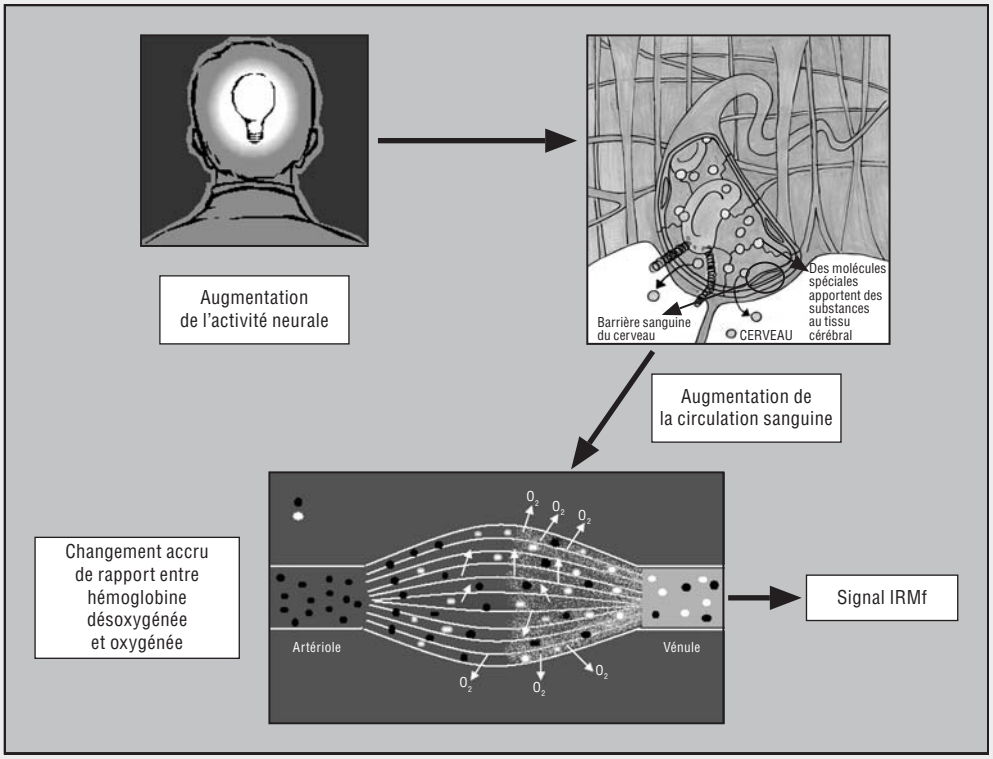
Encadré A. **Qu'est ce que l'IRMf ?**

L'IRMf, qui permet d'observer le fonctionnement du cerveau, est une variante de l'IRM classique utilisée dans les hôpitaux pour examiner les tissus mous : genoux, dos ou cerveaux (alors que les rayons X, eux, révèlent les parties dures : os et calcifications). C'est donc à l'IRM qu'apparaît le cerveau, entièrement composé de tissus mous. L'IRMf a globalement les mêmes avantages que l'IRM et les mêmes inconvénients : 1) le patient doit rester parfaitement immobile; 2) il est très difficile pour les claustrophobes de supporter l'étroitesse du tube; 3) c'est très bruyant. L'IRM classique fonctionne parce que les différents tissus ont des propriétés magnétiques légèrement différentes, et les aimants les font réagir de manières légèrement différentes; les ordinateurs permettent ensuite de traduire cela en images. L'IRMf repose sur le fait que l'oxygène, et l'hémoglobine qui le transporte, ont des propriétés magnétiques et réagissent au champ magnétique. Cela permet de mesurer la fonction cérébrale, puisque les neurones les plus actifs utilisent plus d'oxygène que les autres : leur signal magnétique est différent.

Le fonctionnement en bref :

Un sujet pense à quelque chose, ou réalise une tâche cognitive ou perceptuelle; l'activité neurale augmente donc dans une (ou des) région(s) précise(s) du cerveau, ce qui entraîne une augmentation de l'afflux sanguin dans ces mêmes régions, et une augmentation de la quantité d'oxygène qui y est apportée (ou, plus précisément, une modification des quantités respectives d'hémoglobine oxygénée et désoxygénée). C'est cette variation de la quantité d'oxygène qui est mesurée par l'IRMf (voir le graphique A).

Graphique A. **Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle**



Source : Elize Temple, image de Cassandra Davis.

COMPRENDRE LE CERVEAU : NAISSANCE D'UNE SCIENCE DE L'APPRENTISSAGE – ISBN 978-92-64-02914-9 – © OCDE 2007

Un autre ensemble d'outils fournit une résolution temporelle à l'échelle de la milliseconde, mais la résolution spatiale est plus grossière, se limitant à quelques centimètres. Ces techniques mesurent les champs électrique ou magnétique à la surface du cuir chevelu durant l'activité mentale. Parmi elles figurent l'électroencéphalographie (EEG), les potentiels évoqués (ERP pour Event-Related Potentials) et la magnéto-encéphalographie (MEG). L'EEG et les ERP utilisent des électrodes placées en des endroits bien précis du crâne. Vu leur facilité d'utilisation et leur relative souplesse, ces techniques sont souvent utilisées avec succès chez les enfants. La MEG utilise des appareils fonctionnant à la température de l'hélium liquide, les SQUIDs (pour Super-Conducting Quantum Interference Devices). Grâce à ces outils, on peut effectuer des mesures exactes à l'échelle de quelques millisecondes dans les changements de l'activité cérébrale durant la réalisation de tâches cognitives.

Parmi les nouvelles méthodes d'imagerie non invasive des fonctions cérébrales figure la topographie optique (OT pour Optical Topography, voir encadré B), développée à partir de la spectroscopie en proche infrarouge (NIRS pour Near-Infrared Spectroscopy). Contrairement aux méthodologies conventionnelles, elle peut être utilisée pour des études de comportement, les fibres optiques flexibles permettant au sujet de conserver sa liberté de mouvement, de sorte qu'on peut construire un système aussi léger que compact. Cette méthode peut être appliquée à l'enfant comme à l'adulte. L'observation du développement lors du premier âge sur une durée d'un mois fournira des informations sur l'architecture du système des processus neuraux dans le cerveau. La topographie optique est susceptible d'avoir des répercussions très importantes sur l'éducation et l'apprentissage[1].

Pour procéder à des recherches efficaces dans le domaine de la neuroscience cognitive, il est nécessaire de combiner ces techniques afin de fournir des informations sur la localisation spatiale et les changements temporels de l'activité cérébrale associée à l'apprentissage. En opérant la liaison avec les processus de l'apprentissage, il est important pour le neuroscientifique de disposer d'opérations et d'analyses cognitives fines afin de tirer au maximum parti des outils d'imagerie cérébrale. Parmi les disciplines associées à l'apprentissage, celles qui fournissent le plus d'analyses fines sont les études en science cognitive et en psychologie cognitive et, à ce jour, les études sur les processus visuels, la mémoire, le langage, la lecture, les mathématiques, et la résolution de problèmes.

Parmi les autres options de recherche offertes aux neuroscientifiques, on trouve l'examen du cerveau lors d'une autopsie (pour mesurer la densité synaptique, par exemple) et, dans quelques rares cas, le travail auprès de certaines populations médicales, tels que les épileptiques par exemple (pour identifier les processus cérébraux auprès de personnes victimes de lésions ou de dommages cérébraux dus à une maladie ou à un traumatisme). Certains neuroscientifiques étudient les enfants souffrant du syndrome d'alcoolisme fœtal ou du syndrome du chromosome X fragile, d'autres la dégénérescence cognitive caractéristique du déclenchement de la maladie d'Alzheimer ou de la dépression sénile. D'autres encore étudient le cerveau des primates ou d'autres animaux, tels que les rats et les souris, afin de mieux comprendre le fonctionnement du cerveau humain. Par le passé, avant l'avènement des techniques d'imagerie cérébrale, il était difficile de collecter des informations d'essence neuroscientifique au sein de la partie saine de la population.

1. Koizumi, H. et autres (1999), « Higher-order brain function analysis by trans-cranial dynamic near-infrared spectroscopy imaging », *Journal Biomed*. Opt., vol. 4.

Encadré B. **La topographie optique en proche infrarouge utilisée en sciences de l'apprentissage et en recherche sur le cerveau**

La topographie optique en proche infrarouge (NIR-OT) est une nouvelle méthode non invasive d'étude des fonctions cérébrales supérieures. Elle permet d'observer l'activation cérébrale chez plusieurs sujets en même temps en conditions réelles (à domicile ou en classe, par exemple). Elle permet d'évaluer l'activité cérébrale d'un individu ou d'un groupe d'individus lors d'études diachroniques par échantillonnage.

Depuis le début des années 90, on utilise d'autres méthodes (imagerie par résonance magnétique fonctionnelle ou IRMf, et magnéto-encéphalographie ou MEG); mais celles-ci ont des inconvénients : le sujet doit être immobile à l'intérieur d'une machine durant toute l'opération de mesure. Ce n'est pas très gênant pour la neurologie traditionnelle, qui s'occupe surtout de malades; mais depuis qu'on s'intéresse aux fonctions cérébrales normales en conditions réelles, c'est handicapant. La NIR-OT permet d'observer plusieurs sujets sans aucune restriction, ce qui est essentiel lorsqu'on s'intéresse à l'interaction élèves-professeurs.

La NIR-OT utilise une lumière proche de l'infrarouge, transmise par une fibre optique et dirigée sur le crâne; une partie des ondes lumineuses pénètre sur environ 30 millimètres de profondeur (chez les adultes), est réfléchie par le cortex et ressort par la peau du crâne. Cette lumière est alors détectée par une autre fibre optique située à environ 30 millimètres du point d'entrée, et analysée. L'irradiation équivaut à celle de la lumière du soleil, l'hiver et par temps couvert. Il s'agit d'une machine semi-conductrice mobile, qui à l'avenir pourra se présenter sous la forme d'un circuit intégré petit et maniable, ce qui agrandirait beaucoup l'environnement de mesure.

Plusieurs études préliminaires dans le domaine des sciences de l'apprentissage et de la recherche sur le cerveau ont déjà été menées, dont des études sur le développement de bébés en bonne santé, des études sur le langage, et sur la mémoire de travail. La NIR-OT a également été employée pour étudier les modifications des fonctions cérébrales lorsqu'on cuisine et lorsqu'on conduit.

Source : Hideaki Koizumi, Fellow, Hitachi, Ltd.

Une autre limitation tient au fait qu'il n'existe pas un seul ensemble bien compris de tâches d'apprentissage ayant jamais été appliqué à des populations humaines normales sur toute la durée d'une vie. Un travail considérable a été accompli en ce qui concerne l'apprentissage lors de la petite enfance, beaucoup moins pour ce qui est de l'apprentissage pendant l'adolescence et encore moins à l'âge adulte. Sans schéma de référence du développement cognitif normal, il est difficile de comprendre une éventuelle pathologie de l'apprentissage.

Nous devons comprendre à la fois le pouvoir et les limites des technologies d'imagerie cérébrale et la nécessité de protocoles cognitifs rigoureux si nous voulons commencer à comprendre comment la neuroscience cognitive peut guider l'éducation dans la formation de programmes d'études fondés sur les mécanismes cérébraux. De récentes découvertes commencent à montrer que l'éducation finira par se situer au carrefour de la neuroscience cognitive et de la psychologie cognitive tout en intégrant une analyse pédagogique sophistiquée et bien définie. À l'avenir, l'éducation sera transdisciplinaire, à la croisée de plusieurs domaines différents qui se fondront pour produire une nouvelle génération de chercheurs et de spécialistes de l'éducation aptes à poser des questions pertinentes et signifiantes au regard de l'éducation.

COMPRENDRE LE CERVEAU : NAISSANCE D'UNE SCIENCE DE L'APPRENTISSAGE – ISBN 978-92-64-02914-9 – © OCDE 2007

Les méthodes de recherche actuelles en matière de neuroscience cognitive limitent nécessairement les types de problèmes étudiés. Par exemple, des questions comme : « Comment les individus apprennent-ils à reconnaître les mots écrits ? » sont plus ouvertes au traitement que « Comment les individus reconnaissent-ils les thèmes dans un texte ? », parce que l'objet de la première question mène à des études où les stimuli et les réponses sont plus faciles à contrôler et à contraster avec une autre tâche. En conséquence, le processus devient compréhensible en référence à des modèles cognitifs connus. L'objet de la seconde question implique trop de facteurs impossibles à séparer avec succès durant la phase expérimentale. Pour cette raison, les tâches éducatives valorisées par la société resteront toujours plus complexes que celles qui conviendraient sans doute à la neuroscience cognitive.

Les chercheurs soulignent aussi la nécessité méthodologique de tests d'apprentissage non seulement aussitôt après une intervention éducative (ce qui est typique des habitudes actuelles), mais aussi après un certain laps de temps, en particulier dans le cas d'une comparaison relative à l'âge. Dans le cadre de telles études diachroniques, les projets de recherche quittent l'enceinte du laboratoire pour s'intéresser au vivant en situation réelle, ce qui induit une incertitude quant aux délais de disponibilité des résultats pour une interprétation dans un but éducatif.

Lorsque l'on tente de comprendre et d'analyser des données scientifiques, il est important de conserver un esprit critique pour juger des affirmations relatives à la neuroscience cognitive et à ses conséquences en matière éducative. Il faut considérer les points suivants :

- Quelle est l'étude originelle et quel est son but principal ?
- L'étude est-elle isolée ou fait-elle partie d'une série ?
- L'étude est-elle censée avoir des conséquences pour l'éducation ?
- Quelle est la population utilisée[2] ?

On a récemment souligné[3] l'importance pour les progrès de la science du développement d'une communauté informée et critique (qui parviendrait, au bout d'un certain temps, à un consensus sur les découvertes scientifiques ou prétendues telles). Le développement d'une telle communauté (composée d'éducateurs, de psychologues cognitifs, de neuroscientifiques cognitifs, de politiques, etc.) autour de la science de l'apprentissage en émergence est d'une importance cruciale. Si l'on souhaite que cette communauté se développe, il est nécessaire de dégager un jugement critique approprié en matière d'affirmations relatives à l'apprentissage et à l'éducation et ayant trait au cerveau. Intégrés à cette communauté, les décideurs politiques en matière éducative définiront avec plus de succès des programmes d'études fondés sur une connaissance des mécanismes cérébraux s'ils reconnaissent les points suivants :

a) la popularité d'une affirmation neuroscientifique n'implique pas nécessairement sa validité ;

b) la méthodologie et la technologie de la neuroscience cognitive sont encore en chantier ;

2. Que l'on ait utilisé des primates humains ou non humains, il est de la plus haute importance de questionner le caractère représentatif de l'échantillon et de demander quelle est la population concernée par les résultats.
3. Dans un rapport de l'US National Research Council sur « La démarche scientifique dans l'éducation » (*www.nap.edu*).

c) l'apprentissage n'est ni entièrement conscient ni entièrement volontaire ;

d) le cerveau subit des changements et un développement naturels tout au long de la vie ;

e) une grande partie des recherches en matière de neuroscience a été consacrée à la compréhension ou à l'exploration des maladies et des pathologies du cerveau ;

f) pour être satisfaisante, une science de l'apprentissage doit considérer des facteurs émotionnels et sociaux en plus des facteurs cognitifs ;

g) bien que la science de l'apprentissage et l'éducation « fondée sur le cerveau » n'en soient qu'à leurs débuts, d'importants progrès sont déjà acquis.

Il existe quantité de données de nature psychologique (en majorité extraites d'études bien conçues en psychologie cognitive) à partir desquelles tirer des leçons pour l'apprentissage et l'enseignement. Les données provenant de la neuroscience cognitive peuvent aider à affiner certaines hypothèses, à lever l'ambiguïté de certaines affirmations et à suggérer des directions pour la recherche. En d'autres termes, l'une des contributions majeures de la neuroscience cognitive à la science émergente de l'apprentissage serait de doter cette discipline nouvelle d'un scepticisme scientifique, qui serait appliqué aux affirmations péremptoires et aux plaidoyers concernant l'amélioration de l'enseignement et de l'apprentissage, plaidoyers dont les fondements ne sont pas toujours vérifiés. Mais le scepticisme qui reste de mise face à certaines affirmations relatives aux fondements neuroscientifiques de l'apprentissage ne doit pas servir de terreau au cynisme lorsqu'il est question des bénéfices potentiels que l'éducation peut retirer des neurosciences.

COMPRENDRE LE CERVEAU : NAISSANCE D'UNE SCIENCE DE L'APPRENTISSAGE – ISBN 978-92-64-02914-9 – © OCDE 2007

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.

COMPRENDRE LE CERVEAU : NAISSANCE D'UNE SCIENCE DE L'APPRENTISSAGE – ISBN 978-92-64-02914-9 – © OCDE 2007

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.

COMPRENDRE LE CERVEAU : NAISSANCE D'UNE SCIENCE DE L'APPRENTISSAGE – ISBN 978-92-64-02914-9 – © OCDE 2007

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.

COMPRENDRE LE CERVEAU : NAISSANCE D'UNE SCIENCE DE L'APPRENTISSAGE – ISBN 978-92-64-02914-9 – © OCDE 2007

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.

Limbique (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 supramaginal 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 continuel, 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.

COMPRENDRE LE CERVEAU : NAISSANCE D'UNE SCIENCE DE L'APPRENTISSAGE – ISBN 978-92-64-02914-9 – © OCDE 2007

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 graisseuse compacte qui entoure et isole les axones de certains neurones.

Myélinisation. Processus par lequel les nerfs sont recouverts d'une substance graisseuse 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.

Ontogenèse. 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.

Périsylviennes (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. Voire 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

COMPRENDRE LE CERVEAU : NAISSANCE D'UNE SCIENCE DE L'APPRENTISSAGE – ISBN 978-92-64-02914-9 – © OCDE 2007

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.

COMPRENDRE LE CERVEAU : NAISSANCE D'UNE SCIENCE DE L'APPRENTISSAGE – ISBN 978-92-64-02914-9 – © OCDE 2007

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
Habiletés (« 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 trandisciplinaire 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. Vieillissement et cognition 228
C.2.2. L'apprentissage tout au long de la vie : la perspective de l'éducation des adultes 229
C.3. Vieillissement et fonctions cérébrales : la neuroimagerie structurelle 231
C.4. Vieillissement 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 vieillissement 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 *in situ* : 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

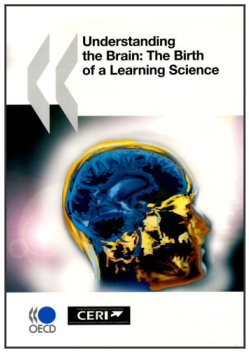
Tableaux

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

COMPRENDRE LE CERVEAU : NAISSANCE D'UNE SCIENCE DE L'APPRENTISSAGE – ISBN 978-92-64-02914-9 – © OCDE 2007



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), « Annexe A et B », dans *Understanding the Brain: The Birth of a Learning Science*, Éditions OCDE, Paris.

DOI: https://doi.org/10.1787/9789264029156-15-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.