

PARTIE I

Chapitre 6

Dissiper les neuromythes

En face de la vérité avec un grand V, on distingue trois groupes d'individus :

Ceux qui la cherchent : ce sont les moins nombreux.

Ceux qui s'en fichent : ce sont les plus heureux.

Ceux qui la possèdent : ce sont les plus dangereux.

Anonyme

Ce chapitre traite quelques-uns des dérapages qui se produisent lorsque des passerelles infondées ou mal fondées sont établies entre neuroscience et éducation. Il s'agit donc ici de décrire, pour mieux les dissiper, un certain nombre de « neuromythes » : idées fantaisistes mais néanmoins répandues, allant de la pensée de type « cerveau gauche » ou « cerveau droit » au déterminisme développemental pendant la petite enfance, en passant par les différences entre sexes ou le multilinguisme. Ce chapitre est particulièrement pertinent pour tout lecteur intéressé par les phénomènes d'apprentissage, notamment s'il souhaite éviter les pseudosolutions sans fondement scientifique.

Qu'est-ce qu'un « neuromythe »?

La science avance en tâtonnant. À partir de l'observation, une théorie est construite, que d'autres phénomènes viennent confirmer, moduler ou contredire. Une autre théorie est alors échafaudée, complémentaire ou contradictoire de la précédente, et le processus continue ainsi indéfiniment. Cette avancée cahotante de la science est la seule possible, mais elle n'est pas sans défaut : les hypothèses qui ont été infirmées laissent des traces dans les esprits. Pour peu que lesdites traces prennent une ampleur suffisante en termes de notoriété, s'enracinent alors des « mythes », croyances battues en brèche par la science mais largement répandues et relayées, par divers vecteurs, dans l'esprit du profane.

Les neurosciences ne sont bien entendu pas épargnées par le phénomène. Certaines expressions de la langue française en témoignent : la « bosse des maths », par exemple, dérive des recherches d'un anatomiste et physiologiste allemand, Franz Joseph Gall (1758-1828). En analysant des crânes de repris de justice vivants, et en disséquant les cerveaux de défunts, Gall a en son temps fondé la théorie de la phrénologie : un talent particulier produirait une excroissance cérébrale qui pousserait sur l'os et déformerait le crâne. En palpant la tête, Gall se targuait de reconnaître le criminel de l'honnête homme, le « matheux » du « littéraire ». Bien que la phrénologie ne soit plus d'actualité depuis longtemps, on sait aujourd'hui que certaines zones du cerveau sont spécialisées, plus particulièrement que d'autres associées à certaines fonctions. Mais contrairement aux régions que Gall avait cru reconnaître, il s'agit en fait de spécialités fonctionnelles (telles que la formation des images, la production de mots, la sensibilité tactile, etc.) et non de caractéristiques morales comme la bonté, ou la combativité¹...

La science n'est certes pas seule responsable de l'émergence de tels mythes. Il n'est en effet pas toujours facile de comprendre toutes les subtilités des résultats d'une étude, non plus que ses protocoles et autres choix méthodologiques. Or l'humaine nature se contente souvent, si ce n'est se délecte, d'explications rapides, simples, univoques², qui fatalement conduisent à de mauvaises interprétations, à de douteuses extrapolations et au bout du compte à la genèse d'idées fausses³.

Dans ce chapitre seront examinés un par un les principaux mythes propres aux sciences du cerveau; la part belle sera faite à ceux qui peuvent influencer les méthodes d'apprentissage. Pour chaque mythe, un survol historique permettra d'explicitier comment s'est forgée l'idée fausse, puis un point sera fait sur l'état actuel de la recherche scientifique

1. Gall avait aussi supposé l'existence de zones propres au langage et au calcul.
2. Les médias de masse, dont l'influence en matière de constitution d'opinions est décisive, usent et abusent de cette qualité, pour représenter souvent, de par l'adhérence de leur logique discursive avec ce besoin « humain, trop humain », un paroxysme dans le domaine de la simplification abusive (à ce sujet, voir Bourdieu, *Sur la télévision*, Paris, 1996).
3. Les scientifiques ne sont aucunement immunisés contre cette tendance. On peut certes attendre d'eux qu'ils soient rigoureux dans leur domaine (même si tel n'est pas toujours le cas), mais, pour les sujets éloignés de leurs travaux de recherche, ils sont soumis, comme tout être humain, aux influences subjectives et émotionnelles.

sur le sujet. Paradoxalement, certains mythes ont été bénéfiques à l'éducation, car ils lui ont permis de se diversifier. Mais la plupart peuvent entraîner des conséquences fâcheuses et doivent donc, à ce titre et à d'autres, être combattus.

« Il n'y a pas de temps à perdre car pour le cerveau tout se joue avant l'âge de trois ans »

Si, sur votre ordinateur, vous entrez dans un moteur de recherche les mots-clés « Birth to three » (de la naissance à trois ans), vous trouverez un nombre impressionnant de sites anglo-saxons – les sites francophones dédiés à ce thème sont plus rares – vous expliquant que les trois premières années de votre enfant sont primordiales pour son développement futur et que, pratiquement, « tout se joue » à cet âge. Vous trouverez aussi de nombreux produits commerciaux prêts à stimuler l'intelligence de votre tout jeune enfant, avant qu'il n'atteigne ce fameux âge « fatidique » de trois ans.

Quelques phénomènes physiologiques intervenant lors du développement cérébral peuvent en effet faire croire que les étapes décisives de l'apprentissage se produisent entre la naissance et la troisième année. Ce mythe est surexploité par certains décideurs, éducateurs, fabricants de jouets, et parents, qui abreuvent leurs enfants de gymnastique pour nouveau-nés et de musiques stimulantes enregistrées sur magnétophones ou lecteurs de CD accrochés au-dessus du lit des bébés. Quels sont les phénomènes physiologiques découverts par la recherche qui pourraient être à l'origine d'une telle croyance ?

Le composant fondamental du traitement de l'information dans le cerveau est la cellule nerveuse, appelée neurone. Un cerveau humain contient environ 100 milliards de neurones. Chacun peut être connecté avec des milliers d'autres, ce qui permet aux informations nerveuses de circuler massivement et dans plusieurs directions à la fois. À travers les connexions entre les neurones (synapses), les impulsions nerveuses voyagent de cellule en cellule et servent de support au développement des compétences et à la capacité d'apprentissage. L'apprentissage est donc le fait de la création de nouvelles synapses, ou du renforcement ou de l'affaiblissement de synapses existantes. Comparé à celui d'un adulte, le nombre de synapses chez le nouveau-né est faible. Après deux mois de croissance la densité synaptique du cerveau augmente de façon exponentielle et dépasse celle d'un adulte (avec un pic à l'âge de dix mois). Puis on assiste à un déclin régulier jusqu'à l'âge de dix ans, lorsque le « nombre adulte » de synapses est atteint. Une relative stabilisation se produit alors. Le processus par lequel des synapses sont produites en grand nombre est appelé synaptogenèse. Le processus de déclin est nommé élagage. Il s'agit d'un mécanisme naturel, nécessaire à la croissance et au développement.

La science a longtemps cru que le nombre maximal de neurones était fixé à la naissance et que, contrairement à la majorité des autres cellules, les neurones ne se régénéraient pas. Ainsi, chaque individu semblait perdre régulièrement des neurones. De même, à la suite d'une lésion cérébrale, les cellules nerveuses détruites ne semblaient pas remplacées. Cependant, depuis une vingtaine d'années, des études viennent nuancer ces positions en montrant deux phénomènes jusque là insoupçonnés : non seulement de nouveaux neurones apparaissent à tout moment de la vie (neurogenèse), mais de plus, dans certains cas du moins, le nombre de neurones ne fluctue pas au cours de la vie.

Quoi qu'il en soit, la synaptogenèse est intense dans les premières années de la vie d'un être humain. Et comme l'apprentissage semble être lié à la création de nouvelles synapses (intuitivement, l'idée est séduisante), il n'y a qu'un pas pour déduire l'idée selon

laquelle les premières années de l'enfant sont celles où il est le plus apte à apprendre. Ou, autre version plus courante en Europe : le très jeune enfant doit être stimulé en permanence à son plus jeune âge (les deux ou trois premières années), de façon que ses capacités d'apprentissage s'en trouvent par la suite renforcées. De telles assertions dépassent largement ce qu'il est sérieusement possible d'affirmer aujourd'hui avec quelque base scientifique.

Une expérience menée voici vingt ans a pu entretenir un tel mythe. Des études effectuées en laboratoire sur des rongeurs ont en effet montré que la densité synaptique pouvait augmenter lorsque les sujets étaient placés dans un environnement complexe, défini dans ce cas comme une cage peuplée d'autres rongeurs et de divers objets à explorer. Lorsque, plus tard, les mêmes rats ont été soumis à un test d'apprentissage de labyrinthe, il a été démontré qu'ils passaient cette épreuve avec plus de succès (et plus rapidement) que d'autres rats appartenant à un groupe de contrôle et vivant dans des environnements « pauvres » ou « isolés » (Diamond, 2001). On en a conclu que les rats vivant dans un environnement « enrichi » avaient vu leur densité synaptique augmenter, et étaient par conséquent mieux à même d'effectuer la tâche d'apprentissage.

Tous les éléments sont alors réunis pour créer un mythe : une belle expérience, assez facile à comprendre (même si la réalisation est délicate), des résultats qui vont dans le sens attendu (à milieu stimulant, bon apprentissage)... Mais il s'agit ici de conditions de laboratoire, loin des conditions réelles (existe-t-il des rats dans la nature vivant dans un environnement pauvre⁴ ?). De plus, l'expérience est menée sur des rongeurs. Des non-spécialistes ont détourné les données expérimentales sur les rats, obtenues avec une rigueur scientifique incontestable, et les ont mélangées avec des idées courantes sur le développement humain pour en conclure qu'une intervention éducative, pour être plus efficace, devrait être effectuée en fonction de la synaptogenèse. Ou que, durant la petite enfance, des « environnements enrichis » sauvent des synapses de l'élagage, voire créent de nouvelles synapses, contribuant par conséquent à un accroissement de l'intelligence, ou en tout cas à une capacité d'apprendre plus élevée. C'est là attribuer à des faits établis par des travaux pertinents une signification qui outrepassa les résultats présentés dans l'étude originelle.

Encore une fois, les limites à ne pas dépasser sont assez claires : il n'existe guère, pour les humains, de données neuroscientifiques concluantes sur la relation prédictive entre la densité synaptique du premier âge et l'amélioration de la capacité d'apprentissage; de même, peu de données sont disponibles sur la relation prédictive entre la densité synaptique chez l'enfant et la densité synaptique chez l'adulte; il n'est aucune preuve

4. Dans la nature, les rats vivent dans des environnements stimulants (docks, canalisations, etc.) et on peut donc supposer qu'ils ont le nombre exact de synapses nécessaire à leur survie. Si on les place dans un environnement artificiellement appauvri, leur cerveau aura exactement la densité synaptique appropriée audit environnement. En d'autres termes, ils seront aussi « malins » qu'ils ont besoin de l'être pour survivre dans une cage de laboratoire. En admettant que le même raisonnement s'applique aux êtres humains (ce qui reste à prouver), la plupart d'entre eux étant élevés dans des environnements normalement stimulants, leur cerveau est précisément ajusté à leur environnement particulier. La plupart des enfants grandissent naturellement dans des environnements stimulants. Des recherches ont par ailleurs montré que même des enfants grandissant dans un environnement qu'on qualifierait traditionnellement d'appauvri (un ghetto, par exemple) pouvaient à terme avoir une scolarité excellente et poursuivre des études supérieures. Enfin, il y aurait beaucoup trop de facteurs à prendre en compte pour définir ce que devrait être un environnement « enrichi » pour la majorité des apprenants. En conséquence, de tels résultats sont en l'état actuel des connaissances inutilisables en matière éducative.

neuroscientifique directe, chez l'animal ou chez l'humain, liant la densité synaptique chez l'adulte à une meilleure capacité d'apprentissage – ce qui ne signifie pas que la plasticité du cerveau en général, et la synaptogenèse en particulier, n'aient aucun rapport avec l'apprentissage, mais simplement que de nouvelles recherches sont nécessaires.

Pour approfondir le sujet, le lecteur pourra utilement consulter l'ouvrage de John Bruer : « Le mythe des trois premières années » (Bruer, 2000). L'auteur a été le premier à lutter contre ce mythe, qu'il a présenté comme « ancré dans nos croyances culturelles sur les enfants et sur l'enfance, jouant sur notre fascination pour la conscience et le cerveau, et dans notre besoin permanent de trouver des réponses rassurantes à des questions dérangementes ». Bruer remonte au XVIII^e siècle pour en trouver l'origine : on croyait déjà que l'éducation d'une mère était la force la plus puissante pour tracer la vie et la destinée d'un enfant; les enfants épanouis étaient ceux qui avaient « bien » interagi avec leur famille. Dans son livre Bruer détruit un à un les mythes reposant sur les mauvaises interprétations de la synaptogenèse des premiers âges.

« Il existe des périodes “critiques” où certains enseignements/apprentissages sont indispensables »

S'il existe bien une synaptogenèse intense chez le jeune enfant, on ne connaît donc pas encore son influence sur le cerveau de l'adulte. Pourtant, il semble bien que les adultes soient moins aptes à apprendre certaines choses : pour qui commence tardivement à apprendre une langue étrangère, par exemple, la probabilité est forte de toujours conserver un « accent étranger » dans ladite langue; même chose pour l'apprentissage de la pratique d'un instrument de musique : la virtuosité d'un apprenant tardif n'égalera probablement jamais celle de l'enfant confronté au même apprentissage dès l'âge de cinq ans. Existe-t-il donc des périodes où l'on ne peut plus apprendre certaines choses ? Ou bien sont-ce seulement des âges où l'on apprend plus lentement – ou disons différemment ?

Si l'on a longtemps cru que le cerveau perdait des neurones avec l'âge, de nouvelles technologies ont remis en cause cette certitude. Terry et ses collègues ont montré que le nombre total de neurones dans chaque zone du cortex cérébral ne dépend pas de l'âge de l'individu. La dépendance vis-à-vis de l'âge est remarquable seulement lorsque l'on compte le nombre de neurones « larges ». Les cellules nerveuses rétrécissent, avec pour conséquence l'augmentation du nombre de neurones plus petits. Mais le nombre global reste inchangé. On a récemment découvert que d'autres régions du cerveau, comme l'hippocampe, génèrent de nouveaux neurones tout au long de la vie. L'hippocampe est, entre autres, impliqué dans les processus de mémoire spatiale et de navigation (Burgess et O'Keefe, 1996). D'étonnantes recherches comparant les chauffeurs de taxi londoniens aux autres citoyens suggèrent une relation forte entre la taille relative et l'activation de l'hippocampe d'une part, et une bonne capacité pour la navigation d'autre part. De façon similaire, on a remarqué un agrandissement du cortex auditif lors du développement du talent musical, ou un accroissement des zones motrices du cerveau à la suite d'un entraînement intense du mouvement des doigts. Dans ce dernier cas, les modifications de la configuration des réseaux de neurones affectés par le processus d'apprentissage ont pu être mesurées en imagerie cérébrale dès le cinquième jour, soit sur une durée extrêmement brève.

Les processus qui remodelent le cerveau, synaptogenèse, élagage, développement et modification de neurones, sont regroupés dans un terme : la plasticité cérébrale. De nombreuses études ont montré que le cerveau restait plastique tout au long de la vie, non

seulement pour ce qui est du nombre de neurones (cf. ci-dessus), mais aussi pour ce qui est du nombre de synapses. Il ne faut pas perdre de vue que l'acquisition de compétences résulte de la formation et du renforcement de certaines connexions, mais aussi de l'élagage de certaines autres. Opérer une distinction entre deux types de synaptogenèse est donc nécessaire : celle qui se produit naturellement au début de la vie, et celle qui résulte de l'exposition à des environnements complexes tout au long de la vie. Les chercheurs parlent dans le premier cas d'apprentissage attendant de recevoir de l'expérience, et, dans le second cas, d'apprentissage dépendant de l'expérience. À titre d'exemple : l'apprentissage de la grammaire se fait au mieux, c'est-à-dire plus vite et plus facilement, quand on est jeune (*grosso modo*, avant l'âge de seize ans), mais la capacité à enrichir son vocabulaire s'améliore tout au long de la vie (Neville, 2000). Les processus d'apprentissage dépendant d'une « période sensible », comme l'apprentissage de la grammaire, correspondent à des phénomènes attendant de recevoir de l'expérience : pour que l'apprentissage se fasse sans difficulté excessive, une expérience pertinente doit idéalement avoir lieu durant un laps de temps donné (la période sensible). Les processus d'apprentissage ne dépendant pas d'une période sensible, telle l'acquisition d'un lexique, sont des phénomènes dits « dépendants de l'expérience » ; la période durant laquelle se produit l'expérience de l'apprentissage n'est soumise ni à des contraintes d'âge ni à des contraintes de temps (voir chapitre 2).

Existe-t-il des « périodes critiques », c'est-à-dire des moments uniques en dehors desquels certains types d'apprentissage ne peuvent plus être effectués avec succès ? En d'autres termes, certaines compétences (voire certaines connaissances) ne peuvent-elles être acquises que lors d'une relativement courte « fenêtre d'opportunité » qui se fermerait à un moment précis du développement cérébral, et ce une fois pour toutes ? Ce concept de « période critique » date d'expériences relativement bien connues du grand public, menées en 1970 par l'éthologue Konrad Lorenz. Il avait observé que les oisillons, lors de l'éclosion de leur œuf, s'attachaient de façon indélébile à l'objet mobile prééminent de l'environnement. D'habitude, l'objet en question est leur mère, et Lorenz avait nommé ce phénomène d'attachement « l'empreinte ». En prenant la place de la mère, Lorenz parvenait à s'attacher des cohortes d'oisillons qui le suivaient partout. La période permettant cet attachement était très courte, juste à la sortie de l'œuf, et il était impossible de modifier l'objet d'attachement : les oisillons suivaient définitivement le substitut au lieu de leur mère. Dans un tel cas le terme de « période critique » s'impose : un événement (ou une absence d'événement) durant une période précise entraîne une situation définitivement irréversible⁵.

Chez l'homme, jusqu'à présent, on n'a pas découvert de période critique; ce qui ne signifie pas qu'il n'en existe pas. On préfère parler de « périodes sensibles », laps de temps où l'apprentissage, dans tel ou tel domaine spécifique, est plus facile. La communauté scientifique admet qu'il existe des périodes sensibles, particulièrement pour l'apprentissage

5. Les résultats d'études animales doivent être maniés, dans le contexte qui nous préoccupe, avec une extrême prudence (ce que, on le sait, Lorenz et quelques autres sont loin d'avoir toujours fait...). Par analogie avec des expériences menées sur des rongeurs, une croyance s'est répandue, aux termes de laquelle fournir des environnements stimulants aux apprenants était de nature à accroître leur connectivité cérébrale, et à les rendre plus performants. On a même recommandé aux enseignants (et aux parents), s'ils voulaient des enfants brillants, de leur assurer un environnement coloré, intéressant et riche au niveau sensoriel. Argumenter en faveur du besoin d'« environnements enrichis » pour les enfants à partir d'études menées uniquement sur des rats n'est pas justifié (par exemple : écouter du Mozart, regarder des mobiles de couleurs, etc.), en particulier si l'on considère qu'aucune étude neuroscientifique parallèle n'a été conduite à ce jour quant à l'impact des environnements « complexes » ou « isolés » sur le développement du cerveau humain.

du langage (qui en connaît plusieurs, dont un certain nombre à l'âge adulte). Des recherches complémentaires sont nécessaires avant de pouvoir déterminer si les programmes des systèmes éducatifs sont assortis à la succession des périodes sensibles. L'imagerie cérébrale pourra apporter de nouveaux éclaircissements sur les processus biologiques liés à ces périodes.

L'apprentissage des langues fournit de bons exemples en la matière. La recherche a montré qu'à la naissance, les enfants peuvent distinguer tous les sons du langage, même ceux d'une langue très éloignée de celle de leurs parents. Mais il est bien connu que, par exemple, les adultes japonais éprouvent des difficultés à distinguer la différence entre le son « r » et le son « l » en anglais ; « ra » et « la » sont perçus comme identiques, même si le tout jeune bébé japonais les distingue. La perception des sons est rapidement déterminée par l'environnement sonore de l'enfant, au cours des douze premiers mois de sa vie. À la fin de la première année, il ne perçoit plus les différences de sons auxquels il n'a pas été exposé. L'aptitude à différencier des sons étrangers diminue entre le sixième et le douzième mois. Pendant ce temps, le cerveau de l'enfant se modifie afin qu'il puisse devenir un locuteur très compétent dans sa langue maternelle. Comme l'acquisition du répertoire sonore de la langue maternelle n'est pas une acquisition de nouveaux sons, mais au contraire une « perte » des sons non-perçus (et, par la suite, non-produits), il est possible de formuler l'hypothèse selon laquelle ce processus se fait par élagages successifs de synapses. On préfère parler de « périodes sensibles » plutôt que de « périodes critiques » à propos de l'apprentissage humain, entre autres raisons parce qu'il s'agit d'une perte d'informations, et non d'un gain. Quoi qu'il en soit, il ne fait pas de doute que l'aptitude à reproduire les sons d'une langue (phonologie, accent) et la capacité à intégrer efficacement une grammaire sont optimales pendant l'enfance. Seule la faculté d'acquérir du lexique (apprentissage de nouveaux mots) semble perdurer dans les mêmes termes tout au long de la vie.

Les travaux de Piaget ont grandement influencé l'organisation des systèmes scolaires au cours du dernier tiers du XX^e siècle. L'idée piagétienne de base à propos du développement est la suivante : l'enfant connaît des périodes spécifiques de développement cognitif et il n'est apte à apprendre à lire et à compter que vers 6-7 ans. Dans les systèmes scolaires des pays de l'OCDE, la lecture, l'écriture et l'arithmétique ne sont pas enseignées officiellement avant cet âge. Piaget et ses collègues ont entre autres affirmé que les enfants viennent au monde sans idée préconçue sur les nombres. Or, de récentes recherches sur le fonctionnement du cerveau ont montré que les enfants naissent avec un sens inné de la représentation des nombres (Dehaene, 1997). Il ne s'agit pas ici de remettre en cause tous les résultats de Piaget. Comme il l'avait pressenti, des périodes sensibles existent bel et bien. Mais il semble, aujourd'hui, que les enfants soient plus « doués » à la naissance que les chercheurs ne l'ont longtemps pensé (Gopnik et autres, 2005). C'est pour cette raison que les théories de Piaget doivent être relativisées à la lumière des recherches en cours, et de celles à venir.

« Mais j'ai lu quelque part que nous n'utilisons que 10 % de notre cerveau de toute façon... »

On entend souvent dire que l'homme n'utilise que 10 ou 20 % de son cerveau. D'où provient ce mythe ? Il est difficile de le dire. Certains attribuent son origine à Einstein, qui aurait répondu lors d'une interview qu'il n'utilisait que 10 % de son cerveau. Lors des premières recherches sur le cerveau, les chercheurs ont entretenu ce mythe. Dans les années 30, Karl Lashley explorait les fonctions de certaines zones cérébrales à l'aide de chocs électriques. De nombreuses zones cérébrales ne réagissant pas à ces chocs, le

chercheur en a conclu que ces régions n'avaient pas de fonction. Ainsi est apparu le terme de « cortex silencieux ». Cette thèse est maintenant jugée incorrecte.

De mauvaises interprétations du fonctionnement cérébral ont aussi entretenu ce mythe. Le cerveau est aujourd'hui, grâce aux techniques d'imagerie, précisément décrit en zones fonctionnelles. À titre d'exemple, à chaque sens correspondent une ou plusieurs zones fonctionnelles primaires : une zone visuelle primaire, qui reçoit les informations perçues par les yeux, une zone auditive primaire, qui reçoit les informations perçues par les oreilles... Par ailleurs, plusieurs régions sont liées à la production et à la compréhension du langage. Toutes ces zones sont parfois décrites séparément par les physiologistes, et le public non initié, ne retenant que ces descriptions partielles, peut avoir ainsi l'impression que le cerveau fonctionne zone par zone, et que donc, globalement, à chaque instant, seule une petite région du cerveau est active. Or, ce n'est pas ce qui se produit. Tout d'abord, les zones primaires sont entourées de zones secondaires. Par exemple, les informations provenant des images perçues par les yeux sont envoyées dans les zones visuelles primaires, puis sont ensuite analysées dans les zones visuelles secondaires, où s'accomplit la reconstitution en trois dimensions des objets perçus. Au même moment, des informations provenant de la mémoire du sujet circulent dans le cerveau pour reconnaître ces objets, tandis que des informations sémantiques en provenance des zones du langage viennent s'y adjoindre, afin que le sujet puisse rapidement nommer les objets. En outre, à tout moment, les zones cérébrales chargées de traiter les informations de posture et de mouvement sont en action sous l'effet des signaux nerveux provenant de tout le corps, permettant au sujet de savoir s'il est assis, debout, la tête tournée vers la droite, la gauche... Ainsi, une description passive des zones du cerveau peut entraîner une mauvaise interprétation du fonctionnement cérébral.

Une autre origine du mythe est à chercher dans le fait que le cerveau est constitué de dix cellules gliales pour un neurone. Les cellules gliales ont un rôle nutritif et de support des cellules nerveuses, mais ne transmettent aucune information. D'où le mythe des 10 %, puisque qu'en termes de transmission des impulsions nerveuses, seuls les neurones sont recrutés (soit 10 % des cellules composant le cerveau). Mais cette vision des fonctions cellulaires est un peu simpliste; si les cellules gliales ont un rôle différent de celui des neurones, elles n'en sont pas moins indispensables au fonctionnement de l'ensemble.

Toutes les données en neurosciences aujourd'hui montrent que le cerveau est actif à 100 %. En neurochirurgie, où il est possible d'observer des fonctions cérébrales sur des patients en anesthésie locale (le cortex ne possédant pas de récepteurs à la douleur), des stimulations électriques n'ont montré aucune zone inactive, même quand aucun mouvement, sensation ou émotion n'est observé. Aucune zone cérébrale ne doit être totalement inactive, même pendant le sommeil – et en trouver signale un sérieux trouble fonctionnel. De même, des exemples en neurologie montrent qu'une perte bien inférieure à 90 % du tissu cérébral entraîne de sérieuses conséquences sur le fonctionnement du cerveau. Aucune région cérébrale ne peut être abîmée sans provoquer de déficits physiques ou mentaux. Les exemples de gens ayant vécu pendant des années avec une balle dans le cerveau (ou avec tout autre traumatisme) n'indiquent pas l'existence de « zones inutiles ». S'il est effectivement possible, dans certains cas, de se remettre complètement d'un choc, ce n'est pas dû au fait que la lésion toucherait à une ou des « zones inutiles », mais plutôt à l'extraordinaire capacité de plasticité décrite ci-dessus : des neurones, ou des réseaux de neurones, sont capables de suppléer ceux qui sont détruits (dans de tels cas, le cerveau se reconfigure), et par conséquent de pallier les déficits qui en résultent.

Enfin, une raison physiologique vient à l'appui de la démonstration : l'évolution ne permet pas le gaspillage. Comme les autres organes, plus que tout autre sans doute, le cerveau est façonné par la sélection naturelle. Il ne représente que 2 % du poids total du corps humain, mais consomme 20 % de l'énergie disponible. Considérant ce haut coût énergétique, il semble bien improbable que l'évolution ait permis le développement d'un organe dont 90 % de la structure ne servirait à rien...

« Je suis “cerveau gauche”, elle est “cerveau droit”... »

Le cerveau est formé de réseaux neuronaux. Il présente des zones fonctionnelles interagissant entre elles. De surcroît, il est constitué de deux hémisphères : un gauche et un droit. Chaque hémisphère semble plus spécialisé dans certains domaines que dans d'autres, et, ainsi, on entend souvent d'étranges énoncés, tels que : « moi, je suis plutôt cerveau gauche » ou « les femmes ont le cerveau droit plus développé »... Peut-on réellement soutenir de tels propos ? Existe-t-il vraiment un cerveau droit et un cerveau gauche ? Une rapide analyse des origines de ces termes est nécessaire pour déterminer s'ils correspondent à des réalités, ou s'il ne s'agit pas, une fois encore, de contestables extrapolations de données scientifiques.

Tout d'abord, il est important de savoir que les deux hémisphères ne sont pas des entités anatomiques et fonctionnelles séparées : des structures nerveuses les relient (le corps calleux, ou « corpus callosum ») ; de nombreux neurones ont leur noyau cellulaire dans un hémisphère et des prolongements dans l'autre. Ce simple fait suffit à s'interroger.

Le « cerveau gauche » est parfois décrit comme le siège du rationnel, de l'intellectuel, de l'analyse et de la parole. C'est également lui qui traite l'information numérique d'une façon déductive et logique. Il dissèque l'information en analysant, distinguant et structurant les parties d'un tout, en ordonnant les données de façon linéaire. L'hémisphère gauche est le mieux équipé pour s'occuper des tâches liées au langage (écriture et lecture), à l'algèbre, à la résolution de problèmes mathématiques, aux opérations logiques. On pense donc que les personnes qui utilisent préférentiellement leur « cerveau gauche » seraient rationnelles, intellectuelles, logiques, et auraient un bon sens analytique. On les voit plutôt comme mathématiciens, ingénieurs, chercheurs...

Par opposition au « cerveau gauche », spécialiste de la pensée analytique, le « cerveau droit » est présenté comme le siège de l'intuitif, de l'émotionnel, du non-verbal, du synthétique, qui permet les représentations dans l'espace, la création et les émotions. Le « cerveau droit » synthétise plutôt l'ensemble, voit la forêt mais non les arbres. C'est lui qui recrée les formes en trois dimensions, remarque les ressemblances plutôt que les différences, comprend les configurations complexes. Il agit ainsi dans la reconnaissance des visages, la perception des espaces. D'après ces caractéristiques, les personnes qui utilisent préférentiellement leur « cerveau droit » seraient intuitives, émotives, imaginatives et se repèreraient bien dans l'espace. On les voit plutôt dans les professions artistiques et créatives.

Cette opposition « cerveau gauche/cerveau droit » tire son origine des premières recherches en neurophysiologie. Les capacités intellectuelles étaient alors souvent décrites en deux classes : les aptitudes critiques et analytiques d'une part, les aptitudes créatrices et synthétiques d'autre part. Une des doctrines majeures de la neurophysiologie du XIX^e siècle associait chaque classe à un hémisphère. En 1844, Arthur Ladbroke Wigan publie *A New View of Insanity: Duality of the Mind*. Dans ce livre, il décrit les deux hémisphères cérébraux comme indépendants, et attribue à chacun une volonté et une

façon de penser propres. Ils travaillent habituellement ensemble mais dans certaines maladies, ils peuvent travailler l'un contre l'autre. Une notion popularisée, entre autres, par la publication du fameux livre de Robert Louis Stevenson en 1866, *L'étrange cas du Docteur Jekyll et de Mister Hyde*, qui exploite l'idée d'un hémisphère cérébral gauche cultivé, s'opposant à un hémisphère droit émotif, primitif, qui perd facilement tout contrôle. Avec Paul Broca, neurologue français, la fiction est dépassée pour faire place à des résultats fonctionnels réels. Broca a été le premier à localiser différentes fonctions dans les deux hémisphères. Entre 1861 et 1863, il examina *post-mortem* les cerveaux de plus de 20 patients dont les fonctions du langage avaient été altérées. Dans tous les cerveaux examinés, il remarqua des lésions dans l'hémisphère gauche, dans le lobe frontal, alors que l'hémisphère droit était toujours intact. Il en conclut que la production du langage parlé devait être localisée dans la partie frontale de l'hémisphère gauche. Quelques années plus tard, Wernicke, un neurologue allemand, compléta la théorie de Broca sur le langage. Comme son collègue français, il procéda à l'examen *post-mortem* de cerveaux ayant connu des troubles du développement du langage. De ces observations, Wernicke suggéra que la capacité de comprendre le langage est située dans le lobe temporal de l'hémisphère gauche. Ainsi, Broca et Wernicke ont associé le même hémisphère cérébral, le gauche, à deux composants essentiels du traitement du langage, la compréhension et la production orale.

Jusqu'aux années 60, les observations sur la latéralisation du langage (le langage est dans l'hémisphère gauche) étaient fondées sur des études *post-mortem* de patients présentant des lésions cérébrales de localisation et de sévérité variables. Certains neurologues prétendaient que le langage n'était pas totalement latéralisé, car l'absence de lésion dans l'hémisphère droit ne signifiait pas que celui-ci ne tenait aucun rôle dans ce cadre. La présence de lésions situées uniquement du côté gauche pouvait être due au hasard. Les preuves de la pertinence de cette intuition ont été fournies par des études sur des patients à « cerveaux séparés ». Chez ces patients, le corps calleux était sectionné afin de stopper les attaques épileptiques d'un hémisphère vers l'autre. Même si le but premier de l'opération était de réduire les crises épileptiques, les chercheurs pouvaient sur ces patients étudier les fonctions de chaque hémisphère. Les premières études de ce type eurent lieu dans les années 60 et 70 (le prix Nobel de médecine Roger Sperry et ses collaborateurs du Californian Institute of Technology ont ici joué un rôle prépondérant). Sperry et son équipe ont réussi à fournir de l'information à un seul hémisphère de leurs patients à « cerveaux séparés » et demandaient, par exemple, auxdits patients d'utiliser chaque main séparément pour identifier des objets, sans regarder ceux-ci. Pour comprendre ce protocole expérimental, il faut savoir que les fonctions sensibles et motrices de base sont divisées symétriquement entre les deux hémisphères cérébraux; l'hémisphère gauche reçoit (presque) toutes les informations sensibles (et commande les mouvements) de la partie droite du corps alors que l'hémisphère droit reçoit (presque) toutes les informations sensibles (et commande les mouvements) de la partie gauche du corps. Ainsi, les informations sensibles perçues par la main droite, lorsqu'elle tâte un objet, sont reçues dans l'hémisphère gauche – et inversement. Lorsque les patients touchaient un objet avec leur main droite, ils pouvaient nommer facilement l'objet. Quand l'objet était touché par la main gauche, ils ne pouvaient le nommer (mais en reconnaissaient la fonction). La preuve que l'hémisphère gauche est le siège des principales fonctions du langage était ainsi administrée.

Cette localisation inégale des fonctions du langage lança l'idée que l'hémisphère gauche était celui du verbe, le droit celui du non-verbal. Comme le langage a souvent été perçu comme la fonction la plus noble de l'espèce humaine, l'hémisphère gauche fut déclaré « dominant ».

D'autres expériences avec le même type de patients ont permis de préciser les fonctions de l'hémisphère droit. Une vidéo de Sperry et Gazzaniga montrant le patient « W.J. » est une des plus surprenantes démonstrations de la supériorité de l'hémisphère droit pour la vision dans l'espace. Plusieurs dés avaient été donnés au patient : chacun avait deux faces rouges, deux faces blanches et deux faces avec des bandes en diagonale alternativement rouges et blanches. Le patient devait arranger les dés selon des modèles dessinés sur des cartes. Le début de la vidéo montre « W.J. » qui range rapidement les dés selon le modèle en utilisant sa main gauche (qui est commandée, rappelons-le, par l'hémisphère droit). Lorsqu'il utilise sa main droite (qui est commandée par l'hémisphère gauche), « W.J. » rencontre de grandes difficultés pour accomplir la même tâche. Il est lent et bouge les dés de façon indécise, mais dès que sa main gauche intervient, il redevient rapide et précis. Lorsque les chercheurs écartent la main gauche de « W.J. », celui-ci redevient lent et indécis. D'autres recherches conduites par Sperry et ses collègues (1969) ont également montré la prépondérance de l'hémisphère droit dans les processus de vision dans l'espace. Ce rôle a ensuite été confirmé par des études de cas cliniques. Des patients atteints de lésions dans l'hémisphère droit étaient incapables de reconnaître des visages familiers, d'autres patients avaient des difficultés d'orientation spatiale.

Certains patients ayant des lésions dans l'hémisphère droit ont présenté des déficits dans l'identification des intonations émotionnelles des mots et dans la reconnaissance des expressions émotionnelles faciales. Les études de comportement confortent les études cliniques : la prosodie est mieux perçue si les stimuli sont reçus par l'oreille gauche (dont l'information arrive à l'hémisphère droit) ; des images vues par le champ visuel gauche provoquent une plus grande réaction émotionnelle. On en a déduit que l'hémisphère droit était aussi spécialisé dans les processus liés aux émotions.

En 1970, le psychologue Robert Ornstein, dans *The Psychology of Consciousness*, lançait l'hypothèse aux termes de laquelle les « Occidentaux » utilisent principalement la moitié gauche de leur cerveau : ils ont un hémisphère gauche très entraîné, à cause de leur attention sur le langage et la pensée logique. En revanche, ils négligent leur hémisphère droit, et par ce biais, leur pensée intuitive et émotionnelle. En résumé, Ornstein associe l'hémisphère gauche à la pensée analytique et logique des « Occidentaux », et l'hémisphère droit à la pensée intuitive et émotionnelle des « Orientaux ». Ainsi, le dualisme traditionnel entre intelligence et intuition trouvait une origine physiologique fondée sur la différence des deux hémisphères cérébraux. Outre l'aspect éminemment contestable des théories d'Ornstein au plan éthique, cette conception résultait de l'accumulation de mauvaises interprétations et de distortions des résultats scientifiques précédemment évoqués.

Un autre modèle assez répandu en la matière, quoique non accepté scientifiquement, stipule que l'hémisphère gauche traite plutôt les changements rapides et analyse les détails et les caractéristiques des stimuli, alors que le droit traite les caractéristiques globales et simultanées des stimuli. Ce modèle sans fondement scientifique reste entièrement spéculatif. Ainsi, à partir des différences entre l'hémisphère verbal (le gauche) et le non-verbal (le droit), est apparu sur le marché des neuromythes un nombre sans cesse grandissant de concepts abstraits et de relations entre fonctions mentales et hémisphères, toutes ces interpolations s'éloignant de plus en plus des résultats scientifiques.

Puis, peu à peu, les deux hémisphères n'ont plus été décrits comme deux façons de penser, mais comme révélateurs de deux types de personnalité. Les concepts de « penser avec son cerveau droit » et « penser avec son cerveau gauche », liés à l'idée d'un hémisphère dominant, ont fait émerger l'idée que chaque individu dépendait de façon prédominante d'un hémisphère. On a décrit ainsi des styles cognitifs : une personne rationnelle, analytique est dite « hémisphère gauche » ou « cerveau gauche » ; une personne intuitive, émotionnelle est déclarée « hémisphère droit » ou « cerveau droit ». Ces styles cognitifs, relayés entre autres par certains médias (périodiques, livres de « connaissance de soi », congrès...) sont devenus très populaires et ont soulevé de grandes questions relatives à leur application dans l'enseignement : fallait-il, selon les caractéristiques de l'apprenant en termes de latéralisation cérébrale, imaginer des méthodes d'enseignement/apprentissage qui s'adaptent au mieux à l'utilisation de l'un ou l'autre des hémisphères ? Les programmes scolaires étaient-ils bien adaptés à un enseignement qui utilise l'ensemble du cerveau ou, avec leur focalisation sur les mathématiques et le langage, étaient-ils trop centrés sur le « cerveau gauche » ?

L'idée selon laquelle les sociétés occidentales se focalisent sur une moitié seulement de nos capacités mentales (« la façon de penser de notre hémisphère gauche ») et négligent l'autre moitié (« la façon de penser de notre hémisphère droit ») s'est répandue. Les systèmes éducatifs occidentaux n'étaient pas en reste. Des didacticiens renommés, tels que E.P. Torrance ou M. Hunter, ont recommandé que l'école change ses méthodes d'enseignement en fonction du concept d'hémisphère dominant. Hunter prétendait que les programmes éducatifs étaient principalement faits pour les « cerveaux gauches ». Torrance confirmait que l'école favorise les activités dépendantes du « cerveau gauche », comme le fait d'être toujours assis, d'apprendre l'algèbre... Favoriser l'hémisphère droit consisterait, en permettant aux élèves de s'allonger, d'apprendre la géométrie... Ces réflexions ont conduit à l'apparition de méthodes mettant en jeu les deux hémisphères, certaines allant jusqu'à renforcer les activités liées à l'hémisphère droit. Un exemple de ces nouvelles méthodes est « montre et dit » : au lieu de seulement lire des textes à ses élèves (action de l'hémisphère gauche), l'enseignant montre aussi des images et des graphiques (actions liées à l'hémisphère droit). D'autres méthodes utilisent la musique, des métaphores, des jeux de rôles, de la méditation, du dessin, etc., dans le but d'activer la synchronisation des deux hémisphères. Ces méthodes ont permis de faire progresser les principes éducatifs en les diversifiant. Pourtant, elles se fondent sur une mauvaise interprétation scientifique, car on ne peut séparer si nettement les deux moitiés du cerveau.

En effet, aucune preuve scientifique ne montre une corrélation entre le degré de créativité et l'activité de l'hémisphère droit. Une analyse récente de 65 études en imagerie cérébrale sur le traitement des émotions souligne qu'on ne peut pas associer cette tâche uniquement à l'hémisphère droit. De même, aucune preuve scientifique ne valide l'idée selon laquelle l'analyse et la logique dépendent de l'hémisphère gauche ni que celui-ci est le siège privilégié des mathématiques, de la lecture ou de l'écriture. À l'inverse, Stanislas Dehaene (1997) a montré que les deux hémisphères sont actifs pour identifier les chiffres arabes (exemples : 1 ou 2 ou 5). De même, d'autres données récentes établissent que, lorsque les processus de lecture sont analysés à l'échelle de composants plus fins, des sous-systèmes des deux hémisphères sont activés (par exemple : le décodage de mots écrits ou la reconnaissance de sons pour les processus de niveau plus élevé, tels que la lecture d'un texte). En fait, même une capacité associée par essence à l'hémisphère droit, l'encodage des relations spatiales, se révèle être du ressort des deux hémisphères – mais de façon différente. L'hémisphère gauche est plus

habile à l'encodage des relations spatiales « catégorielles » (par exemple haut/ bas ou droite/ gauche) alors que l'hémisphère droit est plus habile à l'encodage des relations spatiales métriques (c'est-à-dire ce qui concerne les distances continues). En outre, la neuroimagerie a montré que, même dans ces deux cas précis, des zones des deux hémisphères étaient activées et que ces zones travaillaient ensemble. Cas plus étonnant : des recherches ont révélé que l'hémisphère dominant pour le langage n'était pas aussi lié qu'on le pensait à la latéralité manuelle. En effet, une idée très répandue est que « les droitiers ont leur langage à gauche, les gauchers leur langage à droite ». Or, 5 % des droitiers ont les zones principales liées au langage dans l'hémisphère droit et 30 % des gauchers les ont dans l'hémisphère gauche.

Ainsi, en se fondant sur les dernières études, les scientifiques pensent que les hémisphères cérébraux ne travaillent pas isolément, mais ensemble, pour toutes les tâches cognitives, même s'il existe des asymétries fonctionnelles. Le cerveau est un système hautement intégré; il est rare que l'une de ses parties travaille de façon isolée. Il existe certaines tâches, telles que la reconnaissance d'un visage et la production d'un discours, pour lesquelles un hémisphère donné est dominant, mais la plupart des tâches nécessitent le travail des deux hémisphères en parallèle. À la lumière de ces notions, l'utilisation des concepts de « cerveau gauche » et de « cerveau droit » est abusive. Même si, comme mentionné précédemment, de tels concepts en grande partie erronés ont permis de diversifier les méthodes éducatives (bienfaits collatéraux...), tomber dans le piège de la classification des élèves ou des cultures en fonction d'un hémisphère virtuellement dominant est non seulement hautement contestable au plan scientifique, potentiellement dangereux au plan social, mais de surcroît fortement discutable (pour dire le moins) au plan éthique. Il importe donc d'éviter de telles manœuvres.

« Il faut bien reconnaître que le cerveau de l'homme est différent du cerveau de la femme »

L'étude PISA de 2003 révèle des différences d'apprentissage liées au sexe dans la majorité des pays. Par exemple, les garçons réussissent mieux en mathématiques. Ces dernières années ont vu paraître des ouvrages prétendant s'inspirer de résultats scientifiques pour montrer que les hommes et les femmes pensent différemment et que cela est dû à un développement cérébral différent – on pourrait citer *Why Men Don't Listen and Women Can't Read Maps: How We're Different and What to Do About It* de Allan Pease et Barbara Pease, 1999 (en français : *Pourquoi les hommes n'écoutent jamais rien et pourquoi les femmes ne savent pas lire les cartes routières?*). Qu'en est-il exactement des recherches actuelles ? Peut-on parler d'un « cerveau féminin » et d'un « cerveau masculin » ? Est-il souhaitable de proposer un enseignement différencié selon le sexe ?

Des recherches sur le cerveau révèlent des différences morphologiques et fonctionnelles entre les cerveaux de l'homme et de la femme : chez l'homme le cerveau est plus volumineux; lorsque le langage est en jeu, la zone propre au langage est activée plus fortement chez la femme. Mais déterminer ce que signifient de telles différences est extrêmement malaisé. Actuellement, aucune étude n'a montré de processus différents selon le sexe dans la constitution des réseaux neuronaux lors de l'apprentissage. Des recherches complémentaires sont nécessaires.

Les termes même de « cerveau féminin » et de « cerveau masculin » correspondent plus à une « façon d'être » cognitive qu'à une réalité biologique. Baron-Cohen, qui a utilisé ces expressions, pour décrire l'autisme et les troubles associés (Baron-Cohen, 2003), affirme que les hommes sont plus « méthodiques » (aptitudes à comprendre les systèmes

mécaniques) et les femmes meilleures « communicantes » (aptitudes à communiquer et à comprendre les autres). Il suggère alors que l'autisme peut être perçu comme une forme extrême du « cerveau masculin », mais ne soutient pas que les hommes et les femmes aient des cerveaux radicalement différents, ni que les femmes autistes aient un cerveau masculin; il emploie plutôt les termes « cerveaux féminin et masculin » pour désigner des profils cognitifs particuliers. Ces dénominations sont un peu malheureuses, car elles contribuent à propager des idées fausses sur le fonctionnement du cerveau.

Supposons maintenant que l'on établisse vraiment qu'en moyenne le cerveau des filles les rend moins aptes à l'apprentissage des mathématiques. Serait-ce suffisant pour proposer un enseignement différencié ? Si l'objectif de l'enseignement est de produire des êtres sur-spécialisés, alors la question pourra se poser. Mais s'il importe avant tout de former des citoyens possédant une culture de base, le débat change de nature, et une telle avancée perdrait de sa pertinence et de sa signification en termes de politique éducative. En admettant toujours que lesdites différences existent et que l'on parvienne à le prouver, il y a fort à parier qu'elles seront minimales et de plus reposeront sur des moyennes. Or, il est concevable que les variations individuelles soient telles qu'il serait impossible de savoir si une jeune fille, prise au hasard, sera moins apte à l'apprentissage qu'un jeune garçon pris au hasard...

« Le cerveau d'un jeune enfant ne peut correctement apprendre qu'une seule langue à la fois »

De nos jours, la moitié de la population mondiale parle au moins deux langues et le multilinguisme est considéré comme un atout. Pourtant, on a longtemps cru qu'apprendre plusieurs langues posait un problème, et il reste quelques traces de cette superstition dont les fondements mêmes sont pour le moins douteux. La plupart des idées fausses sur ce sujet reposent sur la représentation du langage dans le cerveau. Un premier mythe consiste à croire que plus une personne apprend une nouvelle langue, plus elle perd l'autre. Une autre fausse représentation imagine que deux langues dans le cerveau se trouvent en deux zones séparées sans points de contact. On a ainsi pensé que les connaissances acquises dans une langue ne pouvaient être transférées dans une autre. De ces idées, on a déduit que l'apprentissage simultané de deux langues durant l'enfance pouvait créer un mélange des deux langues dans le cerveau, qui ralentirait le développement de l'enfant : la langue maternelle devait être apprise « correctement » avant de commencer l'apprentissage d'une autre langue.

Ces idées fausses proviennent d'une combinaison de facteurs. Comme la langue est une entité culturelle et politique importante, il a été utilisé de nombreux arguments, dont des résultats de recherches sur le cerveau, pour privilégier une langue, dite officielle, au détriment d'autres. Quelques observations médicales ont aussi une part de responsabilité : certains patients, après un traumatisme cérébral, ayant totalement oublié une langue et pas du tout une autre, l'idée que les langues occupaient des zones séparées dans le cerveau s'est mécaniquement imposée. Des études au début du XX^e siècle ont montré que les personnes bilingues avaient une « intelligence »⁶ inférieure. Ces travaux présentaient un biais de protocole, car elles concernaient surtout des enfants de migrants connaissant des conditions sociales et culturelles difficiles, et pour la plupart sous-alimentés. Il aurait fallu

6. Le terme « intelligence » doit être employé avec mesure. Il ne connaît pas de réelle définition scientifique.

aussi prendre en compte que ces enfants avaient commencé à apprendre la langue de leur pays d'accueil vers l'âge de 5-6 ans, voire plus tard, et que, ne la maîtrisant pas (bien), ils rencontraient des problèmes dans l'apprentissage des autres matières. Ainsi, ces études prétendaient comparer l'intelligence d'enfants monolingues provenant de familles autochtones (et socialement favorisées) à l'intelligence d'enfants multilingues issus de milieux défavorisés pour qui les connaissances familiales limitées de la langue dominante représentaient un fort handicap social.

Les études récentes ont révélé un chevauchement des zones du langage dans le cerveau des personnes qui maîtrisent plusieurs langues⁷. Ce point pourrait se voir détourné afin de confirmer le mythe selon lequel le cerveau dispose de ressources limitées (en volume) pour stocker les informations relatives au langage. Cependant, d'autres études sur des sujets bilingues ont montré l'activation de zones distinctes de quelques millimètres quand ces personnes ont décrit leurs activités du jour d'abord dans leur langue maternelle, puis dans une langue apprise plus tardivement (Kim, 1997). La question des « zones du langage » chez les personnes multilingues n'est donc pas résolue. Il est faux d'affirmer que la maîtrise de la langue maternelle est amoindrie quand une seconde langue est apprise. Les personnes expertes en plusieurs langues en sont une preuve vivante. Les élèves qui apprennent une langue étrangère à l'école ne faiblissent pas dans leur langue maternelle. Ils progressent plutôt dans les deux⁸.

Les connaissances acquises dans une langue ne seraient pas accessibles (ou transférables) dans une autre : ce mythe est peut-être le plus contre-intuitif de tous. Toute personne qui apprend un concept difficile dans une langue (l'évolution, par exemple) est capable de le comprendre dans une autre langue. Une éventuelle incapacité d'expliquer le concept est certainement due à un manque de vocabulaire, plutôt qu'à une diminution de connaissances. Des expériences ont montré que plus des connaissances sont acquises dans des langues différentes, plus elles sont stockées en des zones éloignées de la zone réservée au langage : elles ne sont pas seulement préservées sous forme de mots mais aussi sous différents supports, des images par exemple. Les personnes multilingues ne se rappellent plus, souvent, dans quelle langue elles ont appris certaines choses : elles peuvent avoir oublié si elles ont lu tel article ou vu tel film en français, en allemand ou en anglais.

Le mythe selon lequel il faut bien parler la langue maternelle avant d'apprendre une seconde langue suppose que les langues doivent être apprises dans des temps séparés. Cependant, des études ont montré que les enfants qui maîtrisent deux langues comprennent mieux les structures langagières (dans les deux langues) et les appliquent de façon plus consciente. Ainsi, le multilinguisme permet d'acquérir d'autres compétences liées au langage. Ces effets positifs sont plus nets quand la deuxième langue est acquise tôt; une éducation multilingue n'entraîne pas de retard de développement. Il est vrai que, quelques fois, les très jeunes enfants font des confusions entre les langues. Mais dans la plupart des cas, ce phénomène disparaît ensuite.

7. Les conditions de la création d'un tel chevauchement sont controversées. Une théorie stipule que les zones réservées aux langues se chevauchent quand elles sont apprises à un âge jeune; lorsque la deuxième langue (ou les autres) est apprise tardivement, il n'y a pas chevauchement. Une autre théorie affirme qu'un chevauchement apparaît quand les deux langues sont maîtrisées.
8. Des études menées en 1990 sur des enfants d'immigrants turcs dans la République fédérale d'Allemagne ont montré que le nombre de fautes commises par ces enfants diminuait en turc et en allemand, à condition de suivre une scolarité régulière.

Jusqu'à présent, les théories sur le bilinguisme et le multilinguisme sont surtout fondées sur des théories cognitives. Les futurs programmes scolaires sur l'apprentissage des langues devraient s'appuyer sur des exemples de pratiques d'enseignement réussies. Des recherches supplémentaires sur le cerveau sont nécessaires pour découvrir d'éventuelles périodes favorables à l'apprentissage des langues (périodes sensibles décrites ci-dessus).

« Améliorez votre mémoire ! »

La mémoire, fonction essentielle dans l'apprentissage (peut-on apprendre sans mémoire?), est aussi le sujet privilégié de bien des fantasmes et des idées fausses. « Améliorez votre mémoire ! », « Augmentez vos capacités mémorielles ! », « Comment acquérir rapidement une mémoire exceptionnelle ! » : slogans publicitaires pour des ouvrages ou des produits pharmaceutiques. Vers les périodes d'examens scolaires et universitaires, on entend ce genre de choses avec une insistance accrue. Les connaissances actuelles permettent-elles de comprendre suffisamment les processus pour envisager la réalisation de produits ou de méthodes améliorant la mémorisation ? A-t-on besoin actuellement de la « même mémoire » qu'il y a cinquante ou cent ans, alors que les techniques ont évolué et que les métiers ont changé ? Existe-t-il différentes mémoires : visuelle, lexicale, émotionnelle ? Enfin, les méthodes d'apprentissages utilisent-elles la mémoire comme il y a cinquante ans ?

La recherche sur les processus mémoriels a progressé ces dernières années. On sait maintenant que la mémoire n'obéit pas à un seul type de phénomène et qu'elle n'est pas localisée en un seul point du cerveau. Cependant, contrairement à une croyance populaire, la mémoire n'est pas infinie. Cela est scientifiquement impossible car les informations sont stockées dans des réseaux neuronaux et le nombre de ces réseaux est fini (même s'il peut être gigantesque). Personne ne peut espérer mémoriser toute l'*Encyclopaedia Universalis*. Des recherches ont aussi montré que la capacité d'oubli est nécessaire à une bonne mémorisation. Le cas d'un patient suivi par le neuropsychologue Alexander Luri est assez éclairant : il possédait une mémoire qui semblait infinie, mais dont les mécanismes d'oubli ne fonctionnaient pas ; ce patient était incapable de trouver un emploi stable, si ce n'est comme « champion de la mémoire ». Il semble que le taux d'oubli des enfants soit le taux optimal pour se constituer une mémoire efficace (Anderson, 1990).

Quid des gens qui ont une mémoire visuelle presque photographique, très habiles à mémoriser une longue liste de numéros tirés au hasard, capables de jouer simultanément plusieurs parties d'échec, les yeux bandés ?... Les chercheurs en neurosciences attribuent ces performances à des modes de pensée spécialisés, plutôt qu'à un type de mémoire visuelle. Degroot (1965) s'est intéressé aux grands maîtres des échecs, les soumettant à des expériences où des positions sur l'échiquier étaient brièvement présentées; ces excellents joueurs devaient ensuite reconstituer les positions, ce qu'ils réussissaient parfaitement, sauf quand les positions présentées n'avaient aucune chance de se présenter lors d'une vraie partie. L'aptitude des grands joueurs à reconstituer les places sur l'échiquier n'était pas donc due à une mémoire visuelle, mais plutôt à une capacité d'organiser mentalement les informations d'un jeu qu'ils connaissaient parfaitement (conclusion proposée par Degroot). Ainsi, le même stimulus est perçu et compris différemment selon la connaissance que le sujet a de la situation.

Pourtant, certaines personnes semblent vraiment posséder une mémoire visuelle étonnante, qui garderait une image pratiquement intacte. On parle alors de « mémoire eidétique ». Ces personnes peuvent, par exemple, épeler une page entière écrite dans une langue inconnue, qu'elles ont vue très brièvement, un peu comme si elles avaient pris une photo de la page. Cependant, l'image eidétique ne se forme pas dans le cerveau comme une photographie, ce n'est pas une reproduction, mais une construction. Il faut du temps pour la former; les personnes disposant d'un tel type de mémoire doivent regarder l'image pendant au moins trois à cinq secondes pour pouvoir en inspecter chaque point. Une fois cette image formée dans le cerveau, les sujets sont capables de décrire ce qu'ils ont vu, comme s'ils regardaient ce qu'ils décrivent. Par contraste, les sujets normaux (sans mémoire eidétique) sont plus hésitants dans leur description. Il est intéressant et troublant de savoir qu'une plus grande proportion d'enfants que d'adultes semble posséder une mémoire eidétique (Haber et Haber, 1988). Comme si l'apprentissage, ou l'âge, faisait diminuer cette capacité. Haber et Haber ont ainsi montré que 2 à 15 % des enfants en âge d'aller à l'école primaire possédaient une mémoire eidétique. Leask et ses collaborateurs (1969) ont montré que la verbalisation durant l'observation d'une image interférait avec la capture eidétique de l'image, donnant ainsi une explication possible de la perte de la mémoire eidétique avec l'âge. Kosslyn (1980) a aussi essayé d'expliquer cette corrélation négative entre la mémorisation visuelle et l'âge. Selon ses études, les adultes sont capables d'encoder de l'information en utilisant des mots, mais non les enfants, qui n'ont pas encore fini de développer leurs aptitudes verbales. Il manque encore des résultats scientifiques pour confirmer ou contredire cette théorie. Des études d'imagerie cérébrale sont nécessaires.

Il existe de nombreuses techniques pour améliorer sa mémoire, mais elles agissent toujours sur un type particulier de mémoire seulement, qu'il s'agisse de moyens mnémotechniques, de répétitions d'un même stimulus, de la création de cartes conceptuelles (donner un sens à des choses qui n'en ont pas forcément pour les apprendre plus facilement), etc. Joseph Novak a beaucoup étudié les cartes conceptuelles (Novak, 2003) et a noté, chez les étudiants en physique des lycées, une augmentation significative des aptitudes à résoudre des problèmes grâce à l'utilisation des cartes conceptuelles. Cependant, il manque encore une étude en imagerie cérébrale pour définir les zones cérébrales activées lors de ces différents processus. On a pu cependant remarquer que selon que le sujet était novice ou non dans la matière concernée, des zones différentes du cerveau étaient activées⁹. De nombreuses études neurologiques sont donc encore nécessaires pour comprendre comment fonctionne la mémoire. De grandes diversités individuelles existent, et un même individu, au cours de sa vie, utilisera sa mémoire différemment selon son âge. Ce que la science a confirmé concrètement, c'est que l'exercice physique, une utilisation active du cerveau et un régime alimentaire équilibré, incluant des acides gras, aident à développer la mémoire et diminuent les risques de maladies dégénératives (voir le chapitre 3).

Les questions relatives à l'utilisation de la mémoire dans les méthodes actuelles d'enseignement (et, singulièrement, dans le rôle crucial joué par la mémoire dans les systèmes d'évaluation/certification), devront vraisemblablement être reconsidérées à l'avenir, à la lueur des nouvelles découvertes neuroscientifiques. De nombreux programmes mettent en jeu davantage la mémoire que la compréhension. La réponse à la question

9. Ce qui corrobore nombre d'autres observations à propos de l'expertise et de la façon dont elle se reflète dans les structures cérébrales.

« N'est-il pas préférable d'apprendre à apprendre ? » dépasse bien entendu le cadre des neurosciences ; mais il n'empêche qu'elle se doit d'être posée, quels que soient les résultats des études futures sur le fonctionnement cérébral.

« Apprenez en dormant ! »

Apprendre en dormant : quelle idée fascinante... et séduisante ! Apprendre rapidement, facilement, confortablement et sans effort est le rêve, sans doute, d'une grande majorité. Cependant, même les plus enthousiastes reconnaissent que si l'on peut acquérir des connaissances en dormant, on n'apprend pas ainsi à les utiliser. Est-ce totalement un mythe, ou existe-t-il une part de vérité dans cette affaire ?

Les méthodes utilisées pour asseoir ce genre de théories supposent d'abord que de l'information est répétée pendant le temps de sommeil. Par exemple, des messages, des textes sont continuellement ressassés à un dormeur par l'intermédiaire d'un magnétophone ou d'un lecteur de CD. Des entreprises commerciales ont promis des succès phénoménaux en prétendant que l'apprentissage en dormant était non seulement possible, mais plus efficace que tout apprentissage à l'état de veille. L'idée s'est ainsi propagée pendant la Seconde Guerre mondiale, où des espions auraient appris en dormant les dialectes, les accents, les habitudes, les coutumes des pays dans lesquels ils allaient être envoyés. C'est dans la science-fiction que l'on trouve l'origine de ce type d'apprentissage : il est décrit pour la première fois dans un livre de Hugo Gernsback, *Ralph 124 C41+ : A Romance of the Year 2660*, paru en 1911. À peu près vingt ans plus tard, Aldous Huxley décrit des enfants apprenant pendant leur sommeil dans son *Meilleur des mondes*. Ces histoires d'apprentissage pendant le sommeil dans des mondes utopiques (ou dystopiques) se sont ainsi peu à peu répandues dans le monde réel. Plusieurs théories tentent d'expliquer comment ce mode d'apprentissage peut fonctionner, mais elles restent vagues et contradictoires. L'une d'entre elles avance que l'acte d'apprendre commence toujours par un processus inconscient et qu'il est donc plus efficace pendant le sommeil que pendant l'éveil. Pour le moment, aucune étude scientifique sérieuse ne justifie cette idée.

Cependant, certains travaux qui ont essayé de mettre en évidence un apprentissage réussi pendant le sommeil méritent d'être rappelés. Ce sont surtout des études russes ou provenant de l'ancienne Europe de l'Est communiste. Kulikov (1968) a conduit ses recherches en présentant une narration à des enfants endormis d'un sommeil naturel (une histoire écrite par Tolstoï). L'un des douze sujets présentait des souvenirs du texte à son réveil. Dans un second groupe, Kulikov a d'abord établi un contact avec ses sujets d'expérience pendant qu'ils dormaient, à l'aide de phrases enregistrées comme « vous dormez tranquillement, ne vous réveillez pas ». Après ces phrases, le texte était diffusé, suivi par d'autres phrases demandant de se souvenir du texte et de continuer à dormir calmement. Ces propositions semblaient avoir un réel impact sur les performances des sujets à se remémorer, une fois éveillés, les textes lus. Les sujets à qui les textes avaient été lus pendant leur sommeil semblaient s'en souvenir aussi bien que des sujets éveillés à qui on avait lu les mêmes textes. D'autres études plus longues ont suivi en Russie et en Europe de l'Est, toujours avec des instructions données avant l'endormissement (pour une revue, voir Hoskovec, 1966, Rubin, 1968). Sur la base des résultats de ces études, l'apprentissage en dormant fut pratiqué intensément dans les pays de l'ancienne Union soviétique, surtout pendant les années 50 et 60. Il a été dit que des langues ont été apprises non seulement par des individus qui dormaient mais aussi par des villages entiers grâce à des diffusions radiophoniques nocturnes (Bootzin et autres, 1990).

Ces études souffraient cependant de nombreux défauts, ce qui soulève des doutes sur l'efficacité réelle de l'apprentissage pendant le sommeil. Souvent, les chercheurs indiquaient que l'apprentissage fonctionnait sur des sujets « sensibles », sans jamais définir clairement ce qu'ils entendaient par « sensible » dans un tel contexte, le sens variant de « sujet sensible à l'hypnose » à « sujet persuadé de l'efficacité de l'apprentissage en dormant ». Une autre carence de ces expériences tenait au mauvais contrôle de l'état de sommeil : on pense ainsi que des sujets pouvaient être légèrement éveillés. En général, les informations à retenir n'étaient pas diffusées pendant le sommeil profond; de plus, il n'y avait pas de contrôle de l'état du sommeil à l'électroencéphalogramme (EEG), comme c'était le cas dans les études menées dans le monde occidental. Les informations étaient plutôt diffusées au commencement du sommeil ou au petit matin, moments où les enregistrements de l'EEG montrent surtout des ondes alpha (Aarons, 1976). Il est ainsi probable que les sujets n'étaient pas profondément endormis pendant la diffusion des informations mais plutôt dans un état « d'endormissement léger », et, d'une certaine façon, encore conscients. L'analyse de ces conditions explique les résultats si souvent positifs de chercheurs d'Europe de l'Est, mais ne porte pas à y ajouter foi.

Les chercheurs du monde occidental n'ont pas trouvé de preuves d'un apprentissage réussi pendant le sommeil. Ils ont pu cependant montrer un effet pendant les anesthésies (Schacter, 1996). Traditionnellement, les patients sous anesthésie sont considérés comme étant dans un état de sommeil d'où ils ne perçoivent rien. Dans les années 60, les expériences suivantes ont été menées : pendant que le patient était sous anesthésie, les chirurgiens prétendaient qu'il y avait une urgence. Lorsque à leur réveil les patients étaient questionnés sur leur opération, certains étaient très agités. On en avait conclu que les patients devaient avoir retenu implicitement quelque chose de la période pendant laquelle ils étaient endormis (Levinson, 1965). Dans d'autres études, des patients récupéraient mieux de leur opération sous anesthésie générale si pendant celle-ci il avait été dit qu'ils allaient se rétablir rapidement.

Toutefois, ces études n'étaient pas sans défauts non plus. Premièrement, l'anesthésie n'est pas le sommeil et ne peut pas lui être directement comparée. Deuxièmement, les patients réveillés ne pouvaient pas se souvenir explicitement de ce qu'ils avaient subi ou entendu pendant l'opération. L'agitation ou la récupération ne sont pas des critères assez sensibles pour évaluer la mémoire. Troisièmement, la nature et l'efficacité des anesthésiants pouvaient créer une différence dans le processus de mémorisation (Schacter, 1996). Quatrièmement, des études ultérieures n'ont pas réussi à reproduire le phénomène. Elles ont plutôt suggéré qu'il n'était pas possible de se souvenir des événements intra-opératoires, que le patient soit conscient ou non pendant l'opération. Aucune étude sur l'apprentissage pendant le sommeil menée dans les pays occidentaux, avec un contrôle strict par EEG de l'état du sommeil, n'a pu mettre en évidence un apprentissage (Bootzin et autres, 1990 ; Wood, 1992).

Il n'y a donc pas un grain de vérité dans le mythe de l'apprentissage en dormant. Bien que la fonction précise du sommeil reste un mystère, les études récentes montrent qu'il joue différents rôles dans le développement du cerveau et dans son fonctionnement. Il est aussi bénéfique pour la consolidation de compétences, comme l'apprentissage moteur. Par exemple, la mémorisation de séquences spécifiques de tapage de doigts s'améliore lorsque l'entraînement est suivi de périodes de sommeil (Kuriyama et autres, 2004 ; Walker et autres, 2002). De même, le sommeil pendant la première moitié de la nuit favorise la

mémoire factuelle alors que la seconde moitié de la nuit favorise la mémoire des compétences (Gais et Born, 2004).

Jusqu'à présent, de nombreuses études ont montré que le sommeil modifie la mémorisation des choses apprises juste avant l'endormissement (Gais et Born, 2004). Les premiers résultats concernaient l'apprentissage de faits : des histoires courtes et des syllabes dépourvues de sens étaient mieux retenues si elles précédaient de peu le sommeil (Jenkins et Dallenbach, 1924 ; van Ormer, 1933). Les réflexes conditionnés peuvent aussi être appris pendant le sommeil. Un réflexe conditionné est l'association de deux stimuli : un stimulus conditionnant (SC), une sonnerie, par exemple, qui est présenté simultanément ou juste avant le stimulus non conditionnant (SNC) : un choc électrique au doigt, par exemple. Le SNC provoque généralement une réponse forte, comme le retrait du doigt après le choc électrique. Après plusieurs essais, le sujet apprend à associer les deux stimuli, et réagit même si seul le SC est produit (le sujet retire son doigt au son de cloche, qu'il y ait choc électrique ou non). Des études ont montré qu'un tel « réflexe conditionné » peut être appris pendant le sommeil et maintenu à l'éveil (Ikeda et Morotomi, 1996; Beh et Barratt, 1965) alors que d'autres études ont montré la voie inverse : la réponse conditionnée est apprise pendant l'éveil et maintenue pendant le sommeil (McDonald et autres, 1975).

Aucun fait scientifique ne prouve qu'il est possible d'apprendre quoi que ce soit en dormant. De plus, que ce soit en dormant ou non, on ne peut pas tout apprendre par de simples répétitions. Pour apprendre une langue étrangère, les sciences naturelles, la physique, etc., des efforts conscients sont nécessaires. Les CD à écouter en dormant ne promettent pas seulement d'apprendre mais permettraient aussi d'arrêter de fumer ou de perdre du poids. Pourtant, aucune preuve scientifique de tout cela n'a été rapportée. Peut-être n'est-ce pas le CD qui fait arrêter de fumer ou perdre du poids, mais la motivation. L'apprentissage en dormant continue d'être un mythe. Il semble hautement improbable de voir un jour de telles méthodes préconisées dans un programme scolaire ou universitaire.

Conclusions

Le cerveau est un phénomène à la mode. Il passe rarement une semaine sans qu'un acteur médiatique titre d'une façon ou d'une autre sur les mystères de cette boîte noire. Un tel engouement s'explique tout à la fois par l'intérêt naturel que suscite l'objet chez la plupart des gens (« si on parle de mon cerveau, on parle de moi »), ainsi que par la densité de nouveautés mises en lumière par la recherche neuroscientifique, dont les médias sont friands. L'attrait médiatique pour le sujet ne va pas sans quelques dérapages. C'est ainsi que l'on a vu croître et multiplier, au cours des dernières années, une multitude de conceptions erronées à propos du cerveau, conceptions que l'on baptise depuis quelques années du nom de « neuromythes ».

La plupart des neuromythes répertoriés à ce jour (et dont les principaux sont décrits ci-dessus) sont nés dans des conditions similaires : ils s'appuient presque toujours sur des résultats scientifiques solides, et comportent donc une part de vérité (ce qui rend leur identification et leur réfutation d'autant plus malaisées); cependant, les résultats sur lesquels les neuromythes s'appuient sont soit mal compris, soit incomplets, soit exagérés, soit extrapolés, soit enfin tout cela à la fois. Cette difficulté est inhérente à la nature même du discours scientifique, et aux difficultés que l'on rencontre inévitablement à vouloir le traduire en langage quotidien (en ce sens, les médias, de par le caractère commercial de leur logique discursive, ne font qu'amplifier un phénomène inévitable). L'émergence d'un

neuromythe peut résulter d'un mouvement volontaire ou involontaire. Sans vouloir exagérer l'importance des distorsions pratiquées à dessein, on ne peut que constater les avantages que certains tirent de l'existence d'un ou plusieurs mythes de ce type. Il serait vain de nier que les neuromythes font souvent marcher le commerce. En conséquence, la présomption est forte selon laquelle si certains neuromythes naissent accidentellement, l'écrasante majorité doit sa survie et sa prospérité à des causes qui n'ont rien d'accidentel.

Qui est sensible aux neuromythes? Potentiellement, tout le monde. Mais certains « publics cibles » sont évidents : ce sont, en premier lieu, tous les éducateurs, qu'ils soient parents, enseignants ou autres. Ce sont eux, en effet, les premiers consommateurs de biens éducatifs. À ce titre, ils représentent un terrain favorable à l'enracinement et à l'expansion des neuromythes « qui font vendre ». Force est de constater que, par ailleurs, les incertitudes qui planent sur le monde de l'éducation représentent un terrain particulièrement favorable à l'accueil de toute idée nouvelle qui se présenterait comme une panacée, ou simplement comme un embryon de solution. Dans un univers où l'éducation avancerait sûre d'elle-même, telle une légion prête à conquérir de nouveaux territoires sans se poser (trop) de questions, les demi vérités, les solutions toutes faites, les quarts de panacées et les mythes complets auraient moins de chance de proliférer. Mais en ce début de XXI^e siècle, la réflexion et la pratique éducatives sont prises de trop de vertige pour développer des systèmes immunitaires efficaces. Les neuromythes ont donc encore un bel avenir devant eux.

Dissiper ou déboulonner les neuromythes est une tâche à laquelle le CERI s'est attelé depuis plusieurs années, tout en étant conscient des multiples difficultés qu'un tel travail suppose. D'abord, traiter des neuromythes expose le critique au feu des neuro-sceptiques, qui ne vont pas manquer de s'appuyer sur l'existence de fables oiseuses pour s'en prendre de manière indifférenciée à toute approche neuroscientifique des questions éducatives, aussi humble, sérieuse, et rigoureuse soit-elle. Ensuite, dénoncer comme tel un neuromythe revient à s'agiter avec un chiffon rouge devant un peloton d'exécution composé de ceux qui en profitent. Enfin, c'est accréditer l'idée selon laquelle les éducateurs font parfois preuve, dans le meilleur des cas, d'une touchante naïveté.

Les passerelles entre les neurosciences et l'éducation sont encore trop peu nombreuses. Pourtant, une analyse des mythes existant sur le fonctionnement du cerveau indique nettement qu'une plus grande coopération entre les deux domaines est nécessaire. Toute réforme de l'éducation qui se voudrait réellement au service des élèves se doit de tenir compte des études et des résultats neuroscientifiques, tout en gardant une certaine distance. De même, les chercheurs ne doivent pas s'exclure du monde éducatif et du monde en général. Ils sont dans l'obligation d'expliquer leurs travaux, de les rendre compréhensibles et accessibles. Ce n'est que par des échanges entre les différentes disciplines, entre les différents acteurs (chercheurs, enseignants, responsables politiques), qu'il sera possible de réaliser un système éducatif adapté au plus grand nombre, en respectant au mieux le rythme de chacun.

Références

- Aarons, L. (1976), « Sleep-assisted Instruction », *Psychological Bulletin*, vol. 83, pp. 1-40.
- Anderson, J. (1990), *The Adaptive Character of Thought*, Erlbaum, Hillsdale, NJ.
- Baron-Cohen, S. (2003), *The Essential Difference: Men, Women and the Extreme Male Brain*, Allen-Lane, Londres.

- Beh, H.C. et P.E.H. Barratt (1965), « Discrimination and Conditioning During Sleep as Indicated by the Electroencephalogram », *Science*, 19 mars, vol. 147, pp. 1470-1471.
- Bootzin, R.R., J.F. Kihlstrom et D.L. Schacter (éd.) (1990), *Sleep and Cognition*, American Psychological Association, Washington.
- Bruer, J.T. (2000), *The Myth of the First Three Years, a New Understanding of Early Brain Development and Lifelong Learning*, The Free Press, New York.
- De Groot, A. (1965), « Thought and Choices in Chess », Mouton Publishers, La Haye.
- Dehaene, S. (1997), *The Number Sense: How the Mind Creates Mathematics*, Allen Lane, The Penguin Press, Londres.
- Diamond, M. C. (2001), « Successful Ageing of the Healthy Brain », article présenté à la Conférence de l'American Society on Aging et du National Council on the Aging, 10 mars, Nouvelle-Orléans, LA.
- Gabrieli, J. (2003), « Round Table Interview », www.brainalicious.com.
- Gais, S. et J. Born (2004), « Declarative Memory Consolidation: Mechanisms Acting During Human Sleep », *Learning and Memory*, nov-déc., vol. 11, n° 6, pp. 679-685.
- Gernsback, H. (2000), *Ralph 124C 41+ : A Romance of the Year 2660*, Bison Books, University of Nebraska Press, Lincoln, NE.
- Gopnik, A., A. Meltzoff et P. Kuhl (2005), *Comment pensent les bébés?*, Le Pommier (traduction de Sarah Gurcel).
- Guillot, A. (2005), « La bionique », *Graines de Sciences*, vol. 7 (ouvrage collectif), Le Pommier, pp. 93-118.
- Haber, R.N. et L.R. Haber (1988), « The Characteristics of Eidetic Imagery », dans D. Fein et L.K. Opler (éd.), *The Exceptional Brain*, The Guilford Press, New York, pp. 218-241.
- Hoskovec, J. (1966), « Hypnopaedia in the Soviet Union: A Critical Review of Recent Major Experiments », *International Journal of Clinical and Experimental Hypnosis*, vol. 14, n° 4, pp. 308-315.
- Huxley, A. (1998), *Brave New World* (édition réimprimée), Perennial Classics, HarperCollins, New York.
- Ikeda, K. et T. Morotomi (1996), « Classical Conditioning during Human NREM Sleep and Response Transfer to Wakefulness », *Sleep*, vol. 19, n° 1, pp. 72-74.
- Jenkins, J.G. et K.M. Dallenbach (1924), « Obliviscence during Sleep and Waking », *American Journal of Psychology*, vol. 35, pp. 605-612.
- Kim, K.H. et autres (1997), « Distinct Cortical Areas Associated with Native and Second Languages », *Nature*, vol. 388, n° 6638, pp. 171-174.
- Kosslyn, S.M. (1980), *Mental Imagery*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Kulikov, V.N. (1968), « The Question of Hypnopaedia », dans F. Rubin (éd.), *Current Research in Hypnopaedia*, Elsevier, New York, pp. 132-144.
- Kuriyama, K., R. Stickgold et M.P. Walker (2004), « Sleep-Dependent Learning and Motor-Skill Complexity », *Learning and Memory*, vol. 11, n° 6, pp. 705-713.
- Leask, J., R.N. Haber et R.B. Haber (1969), « Eidetic Imagery in Children: Longitudinal and Experimental Results », *Psychonomic Monograph Supplements*, vol. 3, n° 3, pp. 25-48.
- Levinson, B.W. (1965), « States of Awareness during General Anaesthesia: Preliminary Communication », *British Journal of Anaesthesia*, vol. 37, n° 7, pp. 544-546.
- Lorenz, K. (1970), *Studies in Animal and Human Behaviour*, Harvard University Press, Cambridge MA.
- McDonald, D.G. et autres (1975), « Studies of Information Processing in Sleep », *Psychophysiology*, vol. 12, n° 6, pp. 624-629.
- Neville, H.J. (2000), « Brain Mechanisms of First and Second Language Acquisition », présentation au premier forum « Brain Mechanisms and Early Learning », 17 juin, Sackler Institute, New York City, États-Unis.
- Neville, H.J. et J.T. Bruer (2001), « Language Processing: How Experience Affects Brain Organisation », dans D.B. Bailey et autres (éd.), *Critical Thinking About Critical Periods*, Paul H. Brookes Publishing Co., Baltimore, pp. 151-172.

- Novak, J.D. (2003), « The Promise of New Ideas and New Technology for Improving Teaching and Learning », *Cell Biology Education*, vol. 2, été, American Society for Cell Biology, Bethesda, MD, pp. 122-132.
- OCDE (2002), « Une approche neuroscientifique de l'apprentissage », *Comprendre le cerveau : vers une nouvelle science de l'apprentissage*, OCDE, Paris, pp. 69-77.
- OCDE (2004), *Apprendre aujourd'hui, réussir demain : premiers résultats de PISA 2003*, OCDE, Paris, www.pisa.oecd.org.
- van Ormer, E.B. (1933), « Sleep and Retention », *Psychological Bulletin*, vol. 30, pp. 415-439.
- Ornstein, R. (1972), *The Psychology of Consciousness*, Viking, New York.
- Rubin, R. (1968), *Current Research in Hypnopædia*, MacDonald, Londres.
- Schacter, D.L. (1996), *Searching for Memory: The Brain, the Mind and the Past*, Basic Books, New York.
- Scientific American (2004), « Do We Really Only Use 10 Percent of Our Brains? », *Scientific American*, juin.
- Sperry, R.W., M.S. Gazzamiga et J.E. Bogen (1969), « Interhemispheric Relationships: The Neocortical Commissures; Syndromes of Hemisphere Disconnection », dans P.J. Vincken et G.W. Bruyh (éd.), *Handbook of Clinical Neurology*, North-Holland Publishing Company, Amsterdam.
- Walker, M.P. et autres (2002), « Practice with Sleep Makes Perfect: Sleep-Dependent Motor Skill Learning », *Neuron*, vol. 35, n° 1, pp. 205-211.
- Wood, J. et autres (1992), « Implicit and Explicit Memory for Verbal Information Presented during Sleep », *Psychological Science*, vol. 3, pp. 236-239.

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.

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 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.

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. 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 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 <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

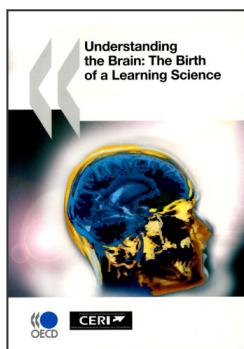
7.4. Université de Harvard Graduate School of Education	152
7.5. Le point de vue des éducateurs sur le rôle de la neuroscience dans l'éducation	153
7.6. Technologie et éducation : une perspective mondiale	155
7.7. Le Centre de transfert pour la neuroscience et l'apprentissage (ZNL), Ulm, Allemagne.	156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

DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264029156-9-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.