

Comprendre le cerveau

**VERS UNE NOUVELLE
SCIENCE DE
L'APPRENTISSAGE**



© OCDE, 2002.

© Logiciel, 1987-1996, Acrobat, marque déposée d'ADOBE.

Tous droits du producteur et du propriétaire de ce produit sont réservés. L'OCDE autorise la reproduction d'un seul exemplaire de ce programme pour usage personnel et non commercial uniquement. Sauf autorisation, la duplication, la location, le prêt, l'utilisation de ce produit pour exécution publique sont interdits. Ce programme, les données y afférentes et d'autres éléments doivent donc être traités comme toute autre documentation sur laquelle s'exerce la protection par le droit d'auteur.

Les demandes sont à adresser au :

Chef du Service des Publications,
Service des Publications de l'OCDE,
2, rue André-Pascal,
75775 Paris Cedex 16, France.

Comprendre le cerveau

VERS UNE NOUVELLE SCIENCE DE L'APPRENTISSAGE



ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

En vertu de l'article 1^{er} de la Convention signée le 14 décembre 1960, à Paris, et entrée en vigueur le 30 septembre 1961, l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE) a pour objectif de promouvoir des politiques visant :

- à réaliser la plus forte expansion de l'économie et de l'emploi et une progression du niveau de vie dans les pays Membres, tout en maintenant la stabilité financière, et à contribuer ainsi au développement de l'économie mondiale ;
- à contribuer à une saine expansion économique dans les pays Membres, ainsi que les pays non membres, en voie de développement économique ;
- à contribuer à l'expansion du commerce mondial sur une base multilatérale et non discriminatoire conformément aux obligations internationales.

Les pays Membres originaires de l'OCDE sont : l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la France, la Grèce, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Luxembourg, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. Les pays suivants sont ultérieurement devenus Membres par adhésion aux dates indiquées ci-après : le Japon (28 avril 1964), la Finlande (28 janvier 1969), l'Australie (7 juin 1971), la Nouvelle-Zélande (29 mai 1973), le Mexique (18 mai 1994), la République tchèque (21 décembre 1995), la Hongrie (7 mai 1996), la Pologne (22 novembre 1996), la Corée (12 décembre 1996) et la République slovaque (14 décembre 2000). La Commission des Communautés européennes participe aux travaux de l'OCDE (article 13 de la Convention de l'OCDE).

Le Centre pour la Recherche et l'Innovation dans l'Enseignement a été créé par le Conseil de l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques en juin 1968 et tous les pays Membres de l'OCDE y participent.

Les principaux objectifs du Centre sont les suivants :

- de poursuivre les travaux de recherche et d'analyse sur les innovations et les indicateurs clés afin de mieux appréhender les problèmes d'enseignement et d'apprentissage existants ou qui se font jour, ainsi que leurs liens avec les autres domaines d'action ;
- d'explorer des stratégies d'enseignement et d'apprentissage cohérentes et prometteuses qui tiennent compte de l'évolution du contexte économique, social et culturel aux niveaux national et international ; et
- de faciliter la coopération pratique entre les pays Membres et, si nécessaire avec les pays non membres, afin qu'ils recherchent des solutions à des problèmes éducatifs communs et échangent leurs points de vue sur ces problèmes.

Le Centre exerce son activité au sein de l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques conformément aux décisions du Conseil de l'Organisation, sous l'autorité du Secrétaire général et le contrôle direct d'un Comité directeur composé d'experts nationaux dans le domaine de compétence du Centre, chaque pays participant étant représenté par un expert.

Also available in English under the title:

Understanding the Brain

TOWARDS A NEW LEARNING SCIENCE

© OCDE 2002

Les permissions de reproduction partielle à usage non commercial ou destinée à une formation doivent être adressées au Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris, France, tél. (33-1) 44 07 47 70, fax (33-1) 46 34 67 19, pour tous les pays à l'exception des États-Unis. Aux États-Unis, l'autorisation doit être obtenue du Copyright Clearance Center, Service Client, (508)750-8400, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA, or CCC Online: www.copyright.com. Toute autre demande d'autorisation de reproduction ou de traduction totale ou partielle de cette publication doit être adressée aux Éditions de l'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 Paris Cedex 16, France.

Avant-propos

Le projet du Centre pour la recherche et l'innovation dans l'enseignement (CERI) de l'OCDE intitulé « Sciences de l'apprentissage et recherche sur le cerveau » a été lancé en 1999. Le but premier de ce projet novateur était d'encourager la collaboration entre, d'une part, sciences de l'apprentissage et recherche sur le cerveau, et, de l'autre, chercheurs et décideurs politiques. Le Comité directeur du CERI a reconnu qu'il s'agissait là d'une tâche difficile, d'un véritable défi, mais dont les retombées positives étaient potentiellement très importantes. On a souligné en particulier que ce projet était des plus prometteurs pour ce qui est de la compréhension des processus d'apprentissage tout au long de la vie, et qu'il fournirait un cadre propice pour soulever nombre de questions éthiques de la plus haute importance. Ledit potentiel et lesdites interrogations ont fait encore davantage ressortir la nécessité d'un dialogue entre les différentes parties prenantes.

En dépit des remarquables progrès effectués par la recherche fondamentale durant la décennie écoulée, la recherche sur le cerveau commence à peine à trouver des applications dans le domaine de l'éducation. La quantité de découvertes provenant de la recherche sur le cerveau et exploitées par les sciences de l'apprentissage est encore minime, en partie peut-être du fait de la rareté, par le passé, des contacts directs entre les scientifiques de ces deux disciplines, et de l'absence d'un consensus fort sur les applications potentielles de la recherche sur le cerveau aux sciences de l'apprentissage. Mais il existe diverses raisons pour créer de nouvelles passerelles entre ces deux communautés de chercheurs. Citons, par exemple, les nouvelles découvertes sur la plasticité du cerveau, sur la capacité de l'être humain à apprendre tout au long de la vie, et le développement de nouvelles technologies (imagerie cérébrale permettant une exploration non invasive du cerveau), qui entraînent l'apparition de méthodes de travail totalement inédites pour la recherche. En rapprochant les deux communautés de chercheurs dans le cadre de leur travail, la probabilité de nouvelles découvertes à forte valeur ajoutée ne peut que croître.

La présente publication a pour but de fournir une brève présentation de ce qui est connu, de ce qui sera probablement bientôt révélé et de ce qui risque d'être « connaissable » au bout du compte. Elle a été conçue pour être accessible aux non-spécialistes et évite par conséquent le jargon. Son contenu dérive des

trois forums organisés par le CERI respectivement à New York en juin 2000 (« Mécanismes du cerveau et apprentissage durant l'enfance »), à Grenade en février 2001 (« Mécanismes du cerveau et apprentissage à l'adolescence ») et à Tokyo en avril 2001 (« Mécanismes du cerveau et apprentissage à l'âge mûr ») ; elle présente également les étapes suivantes du projet.

Dès le début, ce projet a reçu un soutien essentiel, en matière de contenu et de financement, de la part de la National Science Foundation (Directorat de la Recherche, de l'Évaluation et de la Communication/Division de l'Éducation) aux États-Unis ; de la Lifelong Learning Foundation au Royaume-Uni ; de la ville de Grenade en Espagne ; du ministère de l'Éducation, de la Culture, des Sports, de la Science et de la Technologie du Japon. Le projet a également reçu un soutien essentiel, pour ce qui est des questions scientifiques, financières et d'organisation, de la part du Sackler Institute aux États-Unis ; de l'Université de Grenade en Espagne ; et de l'Institut RIKEN de la Science du Cerveau au Japon.

Les première et troisième parties de ce livre ont été rédigées par Sir Christopher Ball et la deuxième partie par Anthony E. Kelly, avec l'assistance du Secrétariat de l'OCDE (Jarl Bengtsson, Bruno della Chiesa, Vanessa Christoph, Mélanie Dambrosse, Cassandra Davis, Cecilia Garrec, Cindy Luggery-Babic) ; ce livre a été relu et corrigé, en tout ou partie, par Christopher Brookes, Stanislas Dehaene, Hideaki Koizumi, Stephen Kosslyn, Bruce McCandliss, Michael Posner et Émile Servan-Schreiber. Au sein du Secrétariat, Jarl Bengtsson a pris l'initiative de lancer ce projet et a constamment apporté son soutien stratégique et critique ; Vanessa Christoph a mis en place la logistique ; le projet a été coordonné par Bruno della Chiesa. Ce livre est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE.

Table des matières

Remerciements	7
Introduction	9

Partie I PRÉMISSSES

Chapitre 1. Le contexte de l'éducation	19
1.1. <i>Pourquoi</i> apprendre et <i>qui</i> devrait apprendre ?	20
1.2. Apprendre <i>quoi</i> et apprendre <i>quand</i>	24
1.3. <i>Comment</i> apprendre et <i>où</i> le faire	27
Chapitre 2. L'apport de la neuroscience cognitive aux politiques et pratiques éducatives	31
2.1. Ce que la neuroscience cognitive peut dire... ..	31
2.2. ... aux politiques éducatives	35

Partie II LA NEUROSCIENCE COGNITIVE A LA RENCONTRE DE L'ÉDUCATION

Chapitre 3. Les trois forums	41
3.1. Mécanismes du cerveau et apprentissage durant l'enfance : Forum de New York...	42
3.2. Mécanismes du cerveau et apprentissage à l'adolescence : Forum de Grenade	44
3.3. Mécanismes du cerveau et apprentissage à l'âge adulte : Forum de Tokyo.....	47
Chapitre 4. Une approche neuroscientifique de l'apprentissage	51
4.1. Principes de l'organisation du cerveau et du traitement neural de l'information ..	51
4.1.1. Neurones, états mentaux, connaissance et apprentissage	51
4.1.2. Organisation fonctionnelle	53
4.2. Outils de recherche, méthodologies et implications éducatives : l'impact de l'imagerie cérébrale	54
4.3. Littératie et numératie	59
4.3.1. Apprentissage langagier	59
4.3.2. Compétences de lecture	62
4.3.3. Compétences mathématiques.....	63

4.4. Émotions et apprentissage	65
4.4.1. Le cerveau émotionnel	65
4.4.2. Régulation émotionnelle et images mentales	68
4.4.3. Le « contrôle avec effort » : une variable éducative.....	69
4.5. Le cerveau apprenant tout au long de la vie.....	71
4.5.1. Vieillesse et maladie : la maladie d'Alzheimer et la dépression sénile..	73
4.5.2. Forme physique et vitalité cognitive.....	77
4.5.3. Plasticité et apprentissage tout au long de la vie	79
4.6. Neuromythologies.....	80
4.6.1. Séparer la science de la spéculation	80
4.6.2. Domination ou spécialisation hémisphérique	84
4.6.3. Développement synaptique, environnements « enrichis » et périodes « critiques »	85

Partie III

CONCLUSIONS

Chapitre 5. Le chemin à suivre	95
5.1. Vers une nouvelle science de l'apprentissage fondée sur une approche transdisciplinaire ?.....	95
5.2. Les étapes suivantes : réseaux de recherche.....	101
5.2.1. Types de recherches et méthodologie	101
5.2.2. Trois domaines de recherche	102
5.2.3. Trois réseaux de recherche : structure et résultats attendus	104
Annexe : Agendas des trois forums	107
Bibliographie	117
Glossaire	123
Index	131

Remerciements

Le Secrétariat de l'OCDE remercie les personnes suivantes pour leur participation à la totalité ou à une partie des forums, leur contribution pour rendre ces forums possibles et en assurer le succès, et leur aide apportée au Secrétariat pour produire cette publication :

Sir Christopher Ball, Chancelier, université de Derby (Royaume-Uni) ; **Richard Bartholomew**, Department for Education and Skills (Angleterre) ; **Jean-Daniel Brèque**, traducteur (France) ; **Christopher Brookes**, directeur, The Lifelong Learning Foundation (Royaume-Uni) ; **John Bruer**, président, James S. McDonnell Foundation (États-Unis) ; **Stanislas Dehaene**, directeur de recherche, INSERM (France) ; **Juan Gallo**, directeur général de Cabinet, Junta de Andalucía (Espagne), et son équipe ; **Eric Hamilton**, directeur, Recherche, Évaluation et Communication/Division de l'éducation, National Science Foundation (États-Unis), et son équipe ; **Masao Ito**, directeur, Institut RIKEN de la science du cerveau (Japon), et son équipe ; **Anthony E. Kelly**, Professeur, Graduate School of Education, George Mason University (États-Unis) ; **Hideaki Koizumi**, Responsable scientifique, Laboratoire de recherche avancée, Hitachi Ltd. (Japon) ; **Stephen Kosslyn**, professeur, Département de psychologie, Harvard University (États-Unis) ; **Bruce McCandliss**, professeur assistant de psychologie, Sackler Institute, Weill Medical College, Cornell University (États-Unis) ; **José Moratalla**, maire de Grenade (Espagne), et son équipe ; **Michael Posner**, professeur de psychologie en psychiatrie, directeur, Sackler Institute, Weill Medical College, Cornell University (États-Unis) ; **Teiichi Sato**, directeur général, Société japonaise pour la promotion de la science, et conseiller auprès du ministère de l'Éducation, de la Culture, des Sports, de la Science et de la Technologie (Japon) ; **Émile Servan-Schreiber**, consultant international (France) ; **Pio Tudela**, professeur de psychologie, université de Grenade (Espagne) ; **Kenneth Whang**, Responsable de programme, National Science Foundation (États-Unis).

De plus, le Secrétariat exprime toute sa gratitude posthume à **Rodney Cocking**, directeur de programme, Sciences de l'Apprentissage et du Développement, National Science Foundation (États-Unis). Il nous manquera beaucoup.

Introduction

Il y a une génération de cela, il aurait été vain d'écrire ce livre ; d'ici une génération, cela ne vaudra pas la peine de s'en souvenir. Aujourd'hui, il est pertinent et arrive à point nommé. Nous qui vivons en ce moment avons la chance d'assister à une accélération du développement de la science du cerveau et de la compréhension des mécanismes et processus de l'apprentissage humain. Ceci est en quelque sorte un « rapport d'évolution » portant sur un sujet, ou plutôt plusieurs sujets, progressant à grande vitesse. En présentant un compte rendu collectif et transdisciplinaire sur « l'apprentissage et le cerveau », l'initiative du CERI de l'OCDE tente d'opérer la synthèse de plusieurs disciplines afin de voir ce qu'elles peuvent mutuellement s'apporter.

L'objectif de cette publication est triple :

- développer un dialogue créatif entre plusieurs disciplines et intérêts (la neuroscience cognitive, la psychologie, l'éducation, la santé et la politique) ;
- dégager les idées que la neuroscience cognitive est susceptible d'apporter à l'éducation et à la politique de l'éducation, et *vice versa* ; et
- identifier les questions et les problèmes relatifs à la compréhension de l'apprentissage humain pour la résolution desquels l'éducation a besoin de l'aide d'autres disciplines.

L'éducation n'est pas une discipline autonome. A l'instar de la médecine ou de l'architecture, elle trouve ses fondements théoriques dans d'autres disciplines. Mais, contrairement à l'architecture et à la médecine, l'éducation se trouve encore à un stade primitif de son développement. C'est un art et non une science.

Considérons le point de vue suivant :

« “Ce qui caractérise l'enseignement de la médecine aujourd'hui, c'est la fusion systématique des cours scientifiques et théoriques avec les leçons de l'expérience dans le domaine des soins et des responsabilités pratiques qui en découlent...” Peut-on en dire autant de la formation des maîtres ? Ceux qui ont l'expérience des responsabilités pratiques de l'enseignement, des jeunes comme des adultes, ont conscience de l'importance cruciale de la motivation,

de la confiance en soi et de l'exemple de la réussite. Avec ces ingrédients, l'enseignement est rarement un échec ; sans eux, c'est rarement une réussite. Ces observations, ainsi que d'autres également simples, fruits de l'expérience pratique des enseignants, attendent d'être renforcées par un soubassement de connaissances scientifiques et théoriques. La science de l'apprentissage, ce domaine de la psychologie humaine, en est encore à ses balbutiements. La théorie de l'apprentissage est préscientifique – en ce sens qu'elle n'a encore ni pouvoir prédictif ni pouvoir explicatif. La compréhension que nous avons des mécanismes d'apprentissage, chez l'enfant comme chez l'adulte, est encore insuffisante pour que nous puissions proposer des garanties en matière d'éducation et de formation. La science de l'éducation en est encore au stade de Linné – elle sait dresser des listes d'exemples à suivre, trier et clarifier des méthodes pédagogiques efficaces –, et elle attend le Darwin qui lui apportera une théorie de l'apprentissage puissamment explicative¹. »

Aujourd'hui, l'éducation est une discipline préscientifique, qui dépend de la psychologie (de la philosophie, de la sociologie, etc.) pour ses fondements théoriques. Cet ouvrage explore l'hypothèse selon laquelle la neuroscience cognitive pourrait offrir des bases solides à la compréhension de l'apprentissage et de la pratique de l'enseignement. Certains jugent présentement cette hypothèse trop audacieuse, parlant notamment d'un « pont trop loin »². Elle l'était assurément par le passé, mais le sera-t-elle encore à l'avenir ? Cela reste à voir. Quoi qu'il en soit, mieux vaut courir le risque d'être en avance sur son temps que celui de rater le coche.

C'est un lieu commun d'affirmer que la compréhension du cerveau humain est l'ultime frontière de la science. Nul doute que la science trouvera toujours de nouveaux horizons à explorer à mesure de nos progrès intellectuels. Néanmoins, le déchiffrement de la complexité du cerveau représentera une étape importante de ce périple. Il apparaît que la science est sur le point de faire des avancées substantielles dans la compréhension du cerveau. Ce livre se propose de présenter sommairement ce que nous savons aujourd'hui, ce que nous risquons d'apprendre dans un avenir proche et ce qui, au bout du compte, est susceptible d'être découvert. Mais il ne peut au mieux que montrer une photographie extraite d'un film passant en accéléré.

La science de l'enseignement et de l'apprentissage en est peut-être à ses premiers balbutiements, mais elle aussi se développe à grande vitesse. Nombre de facteurs suggèrent que le *statu quo* est instable : parmi eux figurent l'échec relatif du grand projet éducatif des XIX^e et XX^e siècles, l'impact prochain des nouvelles technologies de l'enseignement et, bien entendu, les avancées de la neuro-

1. Ball, C. (1991), *Learning Pays*, RSA, Londres.

2. Tel est le point de vue défendu avec vigueur par John Bruer. Voir chapitre 4.

science cognitive. Depuis plus d'un siècle, un enfant sur six³ (ou un adulte sur six interrogés sur leur enfance) déclare qu'il « déteste l'école » ; même proportion pour ceux qui ont échoué à maîtriser les éléments de la littérature et de la numératie d'une façon suffisante pour leur garantir un emploi ; même proportion pour ceux qui ont pratiqué l'absentéisme scolaire, le chahut ou la démission discrète face aux tâches scolaires. Les gouvernements qui se sont succédé à la tête de nombreuses nations ont effectué diverses tentatives pour améliorer la situation. Mais peut-être s'agit-il d'un problème insoluble ? Peut-être que l'éducation traditionnelle telle que nous la connaissons déclenche inévitablement l'hostilité d'un élève sur six ? Et si le modèle de la classe n'était pas « cérébro-convivial » ?

Des interrogations comme celles-ci, concomitantes à l'avènement de l'ordinateur, au scepticisme croissant eu égard à l'efficacité et à l'efficacéité de l'offre de services sociaux contrôlée par l'État, et aux découvertes de la neuroscience émergente, remettent en question certains des fondements mêmes de l'éducation traditionnelle – l'école, la classe, le professeur (dans l'acception que nous avons aujourd'hui de cette profession), voire les programmes scolaires, et même des concepts comme l'intelligence ou le talent.

En l'espace de vingt ans, ces interrogations ont ébranlé les certitudes d'un nombre de personnes sans cesse croissant, mais il ne fait pas de doute que les praticiens de l'éducation sont susceptibles d'acquérir sur le processus d'apprentissage humain des connaissances qui fourniront aux scientifiques des hypothèses à mettre à l'épreuve. La circulation entre les neurosciences cognitives (y compris la psychologie) d'un côté et l'éducation de l'autre n'est pas – et ne doit pas être – à sens unique. Grâce à leurs perceptions et à leur expérience, les éducateurs identifient souvent des questions exigeant une approche et une explication scientifiques. Parmi les exemples évidents, on peut citer l'importance de l'apprentissage durant la petite enfance, l'estime de soi et la motivation.

Le texte qui suit s'adresse à un public large mais bien informé. Il est conçu pour être accessible aux non-spécialistes. Il s'efforce d'éviter le jargon, les querelles d'initiés et les conflits territoriaux. Mais le lecteur est prié de se méfier de l'idée reçue selon laquelle nous partageons tous un langage commun et des références conceptuelles communes. Des termes tels que *plasticité* – d'une importance centrale pour la science du cerveau, inconnu dans le contexte de l'éducation – ou *intelligence* – pour lequel on pourrait presque énoncer la proposition inverse ! – montrent que des approches différentes conduisent à des points de vue différents. Peu importe.

3. Statistique en provenance du Royaume-Uni ; cependant, selon les premiers résultats de la récente enquête PISA menée par l'OCDE, la situation est peut-être encore plus grave dans l'ensemble des pays développés [voir : www.pisa.oecd.org et OCDE (2001), *Connaissances et compétences : des atouts pour la vie – Premiers résultats de PISA 2000*, tableaux 4.1 et 4.2, pp. 285-286].

Pour cartographier de nouvelles terres, on effectue toujours des triangulations à partir de plusieurs points de vue. Plus dangereux sont des termes comme *stimulation* – communs aux deux disciplines, ils n'ont pas nécessairement le même sens dans l'une et dans l'autre. Le lecteur est donc invité à avancer avec prudence, à réfléchir soigneusement et à apprécier jusqu'où peut aller un rapport sur l'apprentissage et le cerveau, fruit de la collaboration entre différentes communautés disciplinaires.

Ci-dessous figure une liste de dix questions sur l'apprentissage humain qui semblent d'une importance fondamentale et qu'un document comme celui-ci est censé éclairer. Chacune d'elles concerne des problèmes liés à la promotion d'un apprentissage réussi – que cette réussite soit mesurée à l'aune des diplômes scolaires ou universitaires, de l'avancement dans la hiérarchie sociale ou professionnelle, ou de la satisfaction personnelle.

1. Quel est l'équilibre entre l'inné et l'acquis dans la promotion d'un apprentissage réussi ?

Nos gènes nous soumettent-ils à une condamnation à perpétuité ? Ou bien pouvons-nous par exemple apprendre à apprendre plus vite ? Où devons-nous situer le point d'équilibre entre les extrêmes du déterminisme génétique et la fiction selon laquelle « tout est possible à condition que l'enfant ait un bon foyer et une bonne école » ?

2. Quelle est l'importance des premières années pour la réussite de l'apprentissage tout au long de la vie ?

Ceux qui croient que l'expérience des premières années est d'une importance critique pour l'acquisition d'une attitude positive et de compétences essentielles, et qu'elle est d'une importance cruciale pour une fondation solide des études primaires, secondaires, et tout au long de la vie, sont parfois accusés d'entretenir le mythe du « tout se joue avant trois ans ». Quels sont les stades du développement du cerveau de l'enfant ? Comment faire pour encourager au mieux une croissance saine ?

3. Quelle est l'importance de la distinction entre « développement naturel » et « éducation culturelle » ?

C'est naturellement que les enfants apprennent à parler et à marcher. Tous y parviennent, à moins de souffrir d'un grave handicap ou d'une cruelle maltraitance, et tous y parviennent à peu près au même âge. Il en va autrement quand il s'agit d'apprendre la trigonométrie ou le tango : cela ne vient pas naturellement. Il n'existe pas d'« âge normal » pour maîtriser de telles compétences – et tout le monde n'y arrive pas, loin de là. Bien que l'imitation soit une stratégie clé

permettant de réussir à la fois son développement naturel et son éducation culturelle, il semble s'agir de deux processus différents. Mais est-ce bien le cas ? Le cerveau est-il programmé pour un certain type de développement naturel – et est-il par ailleurs, en règle générale, réceptif (ou pas) aux expériences d'apprentissage dans la catégorie de l'« éducation culturelle » ?

4. Si cette distinction est significative, comment promouvoir au mieux ces deux types d'apprentissage – le « développement naturel » et l'« éducation culturelle » ?

S'il existe un mythe du « tout se joue avant trois ans »⁴, il découle d'un échec à analyser les conséquences de cette distinction. Apparemment, le « développement naturel » ne nécessite que des conditions de vie normales : de « bons » parents, un foyer satisfaisant, une alimentation correcte. L'amour, la stimulation, l'alimentation, l'exercice, la conversation, un bon environnement... l'enfant n'a probablement besoin de rien d'autre pour garantir un « développement naturel » sain. En ce qui concerne l'« éducation culturelle », c'est une autre histoire : pour commencer, on a presque certainement besoin d'un professeur si on souhaite apprendre à lire, à danser ou à conduire une voiture. Dans quelle mesure l'« éducation culturelle » est-elle appropriée aux premières années de l'existence, et quelle est la meilleure façon de la dispenser ?

5. Jusqu'à quel point l'acquisition d'attitudes, de compétences et de connaissances précises est-elle liée à l'âge ?

L'apprentissage lié au développement (la « maturation ») est de toute évidence une question d'âge. Par exemple, la puberté s'accompagne d'une conscience, d'un intérêt et d'une compétence accrus vis-à-vis du sexe opposé. Que dire des attitudes, des compétences et des connaissances formant le programme normal de l'« éducation culturelle » ? C'est à la crèche, par exemple, qu'on apprend la détermination, le travail d'équipe et les couleurs. Qu'en est-il de la lecture, de l'assimilation d'une deuxième (ou troisième) langue, de l'art d'être parent, de la direction d'entreprise, de la tolérance, de la planche à voile, du piano, des échecs, du calcul, du secourisme, de la cuisine, de la résolution des problèmes, de la conscience de soi, de la danse... ? Le cerveau humain est-il particulièrement réceptif à ces domaines à certains âges ? Et, si oui, pourquoi et comment ?

6. Pourquoi la remédiation est-elle si difficile ?

Cette question est peut-être la forme contraposée de la précédente. Les enfants auxquels manquent certains stades de développement – consécutifs par

4. Bruer, J.T. (1999), *The Myth of the First Three Years: A New Understanding of Early Brain Development and Lifelong Learning*, Free Press, New York.

exemple à des blessures ou à une maltraitance – ont par la suite des difficultés à rattraper leur retard. Si, à l'âge de dix ans, vous ne savez pas marcher ou parler, il vous sera toujours difficile de maîtriser ces deux activités. Le cerveau devient-il lui aussi moins réceptif à d'autres formes d'apprentissage, en particulier au programme de l'« éducation culturelle » ?

7. Que peut-on dire à propos des différents « styles d'apprentissage » ?

La question clé est apparemment la suivante : si les gens ont différents styles d'apprentissage, sont-ils nés avec ceux-ci ou bien les acquièrent-ils, les développent-ils en grandissant ? On dit souvent que certains préfèrent apprendre avec les yeux, d'autres avec les oreilles et d'autres encore grâce au toucher et aux sensations. Il est cependant probable, en vérité, qu'en chacun de nous se mêlent tous ces modes d'apprentissage⁵. D'autres approches de cette idée de « style d'apprentissage » évoquent les apprenants par incréments, ceux qui commencent par la fin, les apprenants réflexifs ou expérimentaux, ceux qui privilégient telle ou telle faculté (comme par exemple le langage, les nombres, la musique), des apprenants sociaux ou solitaires, ainsi de suite. A ce jour, il n'existe encore aucune théorie concrète des styles d'apprentissage⁶. Qu'est-ce que la science du cerveau peut nous apprendre sur cette question ?

8. Qu'est-ce que l'intelligence ?

Cela fait un siècle ou plus que la théorie du QI domine l'éducation. Sous sa forme extrême, simpliste et populaire, elle semble affirmer que notre intelligence est une entité univoque, déterminée à la naissance, qui impose un plafond à notre potentiel d'apprentissage. Une telle description de l'intelligence humaine est assurément inexacte et inadéquate. Pourtant, certaines personnes semblent capables d'apprendre plus vite que d'autres – à moins qu'elles n'apprennent *certaines choses* plus vite que leurs semblables ? Quelle est la différence entre le cerveau de l'enfant que nous qualifions un peu vite de « stupide » et celui de l'enfant que nous jugeons « vif » ? Avons-nous de multiples intelligences ou bien une seule ?

5. En outre, le sens commun nous suggère que le style d'apprentissage dépend probablement non seulement du sujet (l'apprenant) mais aussi de l'objet (l'appris) et des interactions entre sujet et objet.

6. Le Secrétariat de l'OCDE souhaite clairement se dissocier de toute interprétation de ce livre qui, fondée sur les idées de différences cérébrales individuelles et de styles d'apprentissage différents, tenterait d'établir, au niveau de groupes ou de communautés humaines, un lien quelconque entre certains gènes et QI, impliquant ainsi potentiellement des connotations racistes. De telles interprétations doivent être fermement condamnées, les auteurs ne souhaitant en aucun cas traiter de telles croyances, que ce soit dans le cadre de cet ouvrage ou dans celui plus large des études qui seront menées ultérieurement en matière de recherche sur le cerveau et de sciences de l'apprentissage.

9. Qu'est-ce que l'intelligence émotionnelle ?

Si le système limbique du cerveau est le siège des émotions (entre autres choses) et le cortex cérébral celui de la faculté de raisonnement, que signifie l'expression « intelligence émotionnelle » ? Fait-elle référence à la maturation naturelle de nos émotions ou bien parle-t-on ici de leur éducation et de leur apprentissage ? Que devons-nous conclure du paradoxe suivant : alors que la théorie du QI semble peu tenable, elle est apparemment mesurable... tandis que l'« intelligence émotionnelle », quoique non mesurable, nous semble une idée bien plus satisfaisante et bien plus adaptée ?

10. Comment fonctionne la motivation ?

Que peut nous dire la science sur ce que nous aimons et détestons ? Pourquoi les gens ne sont-ils pas passionnés, excités, lassés ou écœurés par les mêmes choses ? Quelle différence y a-t-il au niveau du cerveau entre « avoir envie » et « avoir vraiment envie » de quelque chose ? Que se passe-t-il lorsque notre motivation se modifie – ou lorsque quelqu'un nous donne envie de parvenir à un nouveau but ?

Aussi importantes soient-elles, ces questions sont peut-être trop générales. Des rapports comme celui-ci ont des chances de nous faire découvrir de précieuses idées, mais on ne peut pas s'attendre à ce qu'ils nous apportent une « nouvelle cartographie » de l'apprentissage. Il est toutefois plus que probable qu'ils bousculeront le *statu quo* par des interrogations subversives. Plus nous en apprenons sur le cerveau humain, en particulier durant les premières années de l'existence, moins nous sommes à l'aise avec le modèle traditionnel de la salle de classe et le programme imposé de l'éducation formelle. Ce souci est particulièrement pertinent, par exemple, lorsqu'on cherche à évaluer les mérites respectifs : pour le nourrisson, de la mère et de la crèche ; pour l'enfant, de la scolarité à domicile et de l'éducation formelle ; pour l'adolescent, de ses intérêts naturels et des programmes nationaux. Il semble douteux que la configuration actuelle de l'éducation de la jeunesse soit conçue pour encourager l'imagination et la créativité⁷, l'autonomie et l'estime de soi. Pour tous les âges, mais spécialement pour les jeunes, il est nécessaire de reconsidérer l'importance du jeu, le rôle du stress (vu à la fois comme défi et comme menace) et les implications de la diversité humaine. Cette liste n'est pas limitative.

7. Lors du forum de Tokyo, Akito Arima [examinant des données fournies par la 3^e enquête internationale TIMSS sur les mathématiques et les sciences (Third International Mathematics and Science Study)] a noté la nécessité d'inculquer un état d'esprit créatif aux individus dès leur plus jeune âge (voir le rapport de Tokyo sur le site web de l'OCDE : www.oecd.org/pdf/M00022000/M00022657.pdf).

Partie I
PRÉMISSES

Chapitre 1

Le contexte de l'éducation

*I keep six honest serving men
(They taught me all I knew);
Their names are What and Why and When
And How and Where and Who¹.*

Rudyard Kipling

« L'éducation est une épave, mais on trouve parfois des trésors dans les épaves. » Cette remarque, émise par un écolier il y a une dizaine d'années, restitue à merveille le paradoxe de l'éducation moderne : celle-ci est tout à la fois précieuse et décevante. Les grandes espérances des sociétés avancées qui, au XIX^e siècle, ont mis en place pour leur population une éducation élémentaire universelle, gratuite et obligatoire n'ont pas été pleinement concrétisées. Au lieu de cela, les jeunes sont extrêmement nombreux à déclarer détester l'école², beaucoup échouent à apprendre les bases de littérature et de numération nécessaires à leur assurer un emploi, certains troublent les cours et pratiquent l'absentéisme quand ce n'est pas carrément la démission intellectuelle.

Et cependant, celui ou celle qui a reçu le bénéfice d'une bonne éducation ne peut douter de sa valeur. L'apprentissage est source de santé, de richesse et de bonheur. L'éducation est une route qui mène potentiellement à une vie heureuse. Apprendre est rentable, apprendre rend fort. Un apprentissage efficace, débutant à la naissance et se poursuivant jusque pendant la vieillesse, donne à chaque individu l'espoir de connaître une vie épanouie. La première priorité des nouvelles ambitions en matière d'apprentissage est résumée par la phrase suivante : « L'apprentissage tout au long de la vie pour tous. » Cette formule montre à quel point les idées sur l'enseignement et les attitudes relatives à l'éducation ont changé ces dernières années. Et elles continuent de changer – notamment en ce

1. J'ai six honnêtes serveurs/(Ils m'ont appris tout ce que je sais) ; /Ils s'appellent *Quoi*, *Pourquoi* et *Quand*, /*Et Comment*, *Où* et *Qui*. (N.d.T.)

2. Voir : www.pisa.oecd.org et OCDE (2001), *Connaissances et compétences : des atouts pour la vie – Premiers résultats de PISA 2000*, tableaux 4.1 et 4.2, pp. 285-286.

qui concerne l'importance que leur attribue la société. Durant la seconde moitié du xx^e siècle, l'éducation humaine, de sujet relativement mineur aux yeux des gouvernants et des gouvernés, est devenue un problème crucial à l'échelle mondiale... et la priorité des priorités pour nombre de nations.

Les signes de ce changement sont omniprésents. Les médias ont un appétit insatiable de sujets portant sur l'apprentissage. Le marché de l'enseignement est en pleine croissance. Les gouvernements relèvent les défis que représentent l'introduction de l'enseignement à la crèche, l'amélioration de l'école et l'ouverture de l'enseignement supérieur au plus grand nombre. Les associations et les entreprises de toute sorte cherchent à se transformer en « organisations apprenantes ». Les individus créent leurs propres « plans d'apprentissage » et appliquent dans le concret la rhétorique de l'« apprentissage tout au long de la vie ». Aujourd'hui, rares sont les personnes qui estimeraient que Disraeli avait tort lorsqu'il déclarait en 1874 : « De l'éducation du peuple de ce pays dépend le destin de ce pays. » Et pourtant, le paradoxe reste toujours à résoudre. Quelles nouvelles réformes peuvent nous aider à proposer aux élèves mieux que « des trésors dans des épaves » ? A moins qu'il ne nous faille envisager des changements révolutionnaires en matière d'éducation ?

1.1. Pourquoi apprendre et qui devrait apprendre ?

Les sociétés ont tendance à connaître trois phases lors de leur développement : aristocratique, méritocratique et démocratique. La première phase respecte les privilèges, la deuxième le mérite, la troisième l'humanité. Aujourd'hui, il ne reste presque rien de la société des privilèges de jadis. Les privilèges sont passés de mode. Désormais, personne n'affirme sérieusement que les meilleurs se trouvent dans les « meilleures » familles – ni qu'une telle élite devrait automatiquement avoir droit à la meilleure éducation et aux meilleurs emplois. Dans la mesure où cela semble encore se produire, c'est parce qu'il s'avère (de façon imprévue mais peut-être pas réellement surprenante) que la société méritocratique favorise elle aussi les privilégiés³. Mais la classe, la race, la religion, le sexe et l'âge sont, chacun à sa façon, autant de facteurs de discrimination éducative inadéquats dans une société méritocratique ou démocratique.

Le principe méritocratique donne pouvoir et influence à ceux qui font la démonstration des plus hautes capacités. Dans une méritocratie, l'une des principales fonctions de l'éducation est de trier les gens en fonction de leurs « capacités et aptitudes ». Les aristocraties *savent* qui sont les meilleurs et les récompensent en conséquence. Les méritocraties *recherchent* les meilleurs, puis les récompensent généreusement. Dans un cas comme dans l'autre, l'éducation et

3. Voir : OCDE (2001), *Connaissances et compétences : des atouts pour la vie – Premiers résultats de PISA 2000*, tableaux 6.1 (a, b, c), 6.2 et 6.3, pp. 303-307, tableau 6.7, p. 311, tableau 8.2, p. 329.

l'opportunité de s'instruire au-dessus du niveau élémentaire sont rationnées et uniquement accordées aux meilleurs⁴.

Certes, les sociétés aristocratique et méritocratique justifient le caractère sélectif de leurs systèmes éducatifs en citant trois facteurs d'importance : les besoins du marché du travail, la portée de l'intelligence et le préjugé voulant que les gens les plus capables apprennent mieux s'ils sont séparés des moins capables. L'économie du XIX^e siècle exigeait une grande quantité d'ouvriers et de domestiques – et très peu de managers, de consultants et de professeurs. Aujourd'hui, c'est l'inverse qui est vrai. Pour ce que nous en savons, le XXI^e siècle aura de plus en plus besoin de gens travaillant avec leur cerveau et de moins en moins besoin d'hommes et de femmes ne pouvant offrir que la seule force de leurs bras. Dans les pays développés, il ne subsiste plus que de rares emplois ne nécessitant aucune littératie (au minimum, le niveau permettant de lire un tabloïd est requis). Ce genre de travail abrutissant tend à disparaître. Le monde du travail accroît lentement ses demandes vis-à-vis du système éducatif et des capacités de chacun à suivre un apprentissage tout au long de la vie.

L'*intelligence* est – ou devrait être – un terme embarrassant pour les éducateurs. Même si, bien entendu, tout le monde ne confond pas aussi nettement « intelligence » et « QI », nous nous exprimons comme si nous la comprenions, nous nous comportons comme si le QI était mesurable, nous classons nos élèves avec assurance... et cependant, on ne sait pas grand chose avec certitude de l'intelligence humaine. Une vision populaire et simpliste de la théorie du QI nous dit que notre intelligence est une entité univoque, déterminée pour toute la vie et qui (pour le plus grand nombre) nous fixe un plafond qui nous empêche de progresser indéfiniment dans l'apprentissage avancé. Ces trois idées sont probablement fausses. Les travaux d'Howard Gardner⁵ ont fait admettre à beaucoup de gens le concept d'intelligence multiple. Daniel Goleman⁶ a défini un nouveau concept, celui d'intelligence émotionnelle (IE), qui complique encore la situation. Quelle que soit sa nature, l'intelligence est indubitablement quelque chose de complexe.

Nombre d'individus ont fait la démonstration, au cours de leur vie et de leur éducation, que l'idée d'un niveau d'intelligence fixé à perpétuité était contestable, sinon carrément stupide. Certains, peu performants à l'école, ont décroché plus tard un diplôme universitaire dans un cadre d'éducation à distance et/ou se sont montrés brillants dans le cadre de leur travail. D'autres encore, excellents

4. Au Royaume-Uni, par exemple, l'examen de fin d'études primaires (« eleven-plus ») et les « grammar schools » (écoles secondaires les plus sélectives) étaient – et sont encore en grande partie – les outils de la méritocratie. La sélection et le *numerus clausus* au niveau des études supérieures, postobligatoires, vont dans le même sens.

5. Gardner, H. (1983), *Frames of Mind*, Londres.

6. Goleman, D. (1995), *Emotional Intelligence*, New York.

élèves durant leur scolarité, ont dû lutter pour ne pas perdre pied durant leur vie d'adulte. Même s'il demeure exact, en gros, que certains apprennent plus vite que d'autres, notre vivacité (qui est probablement un élément clé dans l'idée d'intelligence) est profondément affectée par d'autres facteurs comme la confiance en soi, la motivation et la compatibilité avec l'environnement éducatif.

Aujourd'hui, l'idée que l'intelligence humaine puisse être strictement limitée ou présente en faible quantité paraît des plus bizarres. Il y a quarante ans, peu de jeunes poursuivaient des études supérieures dans les pays de l'OCDE. Aujourd'hui, ils sont plus de 30 % à intégrer une université ou une grande école. Les conclusions du Rapport Robbins, publié au Royaume-Uni en 1963, ont été confirmées : « S'il faut parler de réservoir de capacités, alors c'est un réservoir qui surpasse la cruche de la veuve de Sarepta⁷, en ce sens que plus on exploite une génération donnée pour le bénéfice de l'éducation, plus on trouvera matière à exploiter au sein de la génération suivante. » A mesure que de plus en plus de gens se lancent, avec succès, dans l'enseignement supérieur, la seule chose que l'on puisse affirmer avec certitude à propos des limites de l'intelligence humaine (telles qu'elles sont mesurées par la réussite scolaire), c'est qu'elles sont inconnues et qu'elles continuent de déjouer nos prévisions.

Un tel point de vue ne nie pas la probabilité que notre patrimoine génétique conditionne, dans une certaine mesure, notre potentiel d'apprentissage, ni que la formation du cerveau lors de la petite enfance influence en grande partie notre future éducation, ni que le succès tende à appeler le succès (et l'échec, l'échec). Ce qu'il affirme, littéralement, c'est que personne n'est incapable de bénéficier de l'éducation.

Par ailleurs, même si le bon sens tend à le faire croire, il n'est pas certain que les plus capables apprendront mieux si on les sépare des moins capables. Par contre, les moins capables parviennent à de moins bons résultats s'ils sont séparés des plus capables⁸. Pendant plus d'un demi-siècle, le débat a fait rage entre ceux qui voyaient les avantages sociaux d'une éducation globale et polyvalente et ceux qui soulignaient les avantages éducatifs ou sociaux (pour les plus capables) d'une éducation sélective. Les deux camps ont d'une certaine façon raison – quoique ni l'un ni l'autre ne parviennent aisément à rendre justice aux arguments du camp opposé, peut-être parce que tous deux ont des buts différents et expriment des points de vue différents.

C'est là un problème crucial pour l'avenir de l'éducation. Car, à mesure que nous passons d'une société méritocratique à une société démocratique, toutes les justifications de l'éducation sélective tendent à disparaître. La société

7. Voir I Rois 17, 10-16.

8. Voir : OCDE (2001), *Connaissances et compétences : des atouts pour la vie – Premiers résultats de PISA 2000*, tableau 2.4, p. 277 et figure 8.4, p. 216.

démocratique recherche l'accomplissement de tous ses membres et non seulement de ceux qui sont jugés les plus capables. Elle propose des structures d'emploi qui exigent et récompensent l'apprentissage tout au long de la vie pour tous. Elle a une profonde foi et de grands espoirs dans l'intelligence et dans le potentiel d'apprentissage de chacun. Et elle est prête à rejeter la ségrégation et la sélectivité en matière éducative – en dépit de la perception (par certains) d'un bénéfice (pour certains, souvent les mêmes) apporté par un système sélectif.

Quoi qu'il en soit de ce débat, les groupes humains tendent à se conformer à une norme perçue. Les groupes résultant d'une ségrégation le font de façon encore plus forte que les groupes à population variée. Comparons le comportement d'enfants à l'école et en famille, ou d'adultes au travail et à la maison. La présence d'un groupe de pairs – à l'école ou sur le lieu de travail – peut conduire à un comportement conformiste. Notre conduite semble plus libre dans un contexte plus varié. Nous sommes davantage en mesure d'être nous-mêmes – et d'accomplir notre potentiel – lorsque nos pairs ne sont pas là pour nous limiter.

Certains affirment que ceux qui connaissent une réussite exceptionnelle ont le plus souvent bénéficié, durant leur enfance, de trois facteurs conditionnants des plus cruciaux : une grande interaction avec « des adultes affectueux et exigeants »⁹, un programme exploratoire d'apprentissage laissant à l'apprenant suffisamment d'espace pour l'initiative et l'expérience, et un accès limité aux groupes à influences négatives en termes d'apprentissage. Certes, le groupe des pairs peut apporter son soutien à l'apprenant tout en le mettant au défi de réussir, ce qui est positif pour lui. Mais la possibilité d'un effet négatif est au moins aussi forte (sinon plus forte) que la probabilité d'un bénéfice.

Une société démocratique, sincèrement vouée à encourager l'apprentissage tout au long de la vie pour la totalité de sa population, affronte un défi de taille dans la gestion du système éducatif qu'elle hérite de la société méritocratique qui l'a précédée. Un système conçu pour trier et récompenser les plus capables peut-il être réformé de façon à aider tous les élèves à réaliser leur potentiel (celui-ci étant des plus divers) ? Ou, si une réforme est impossible, l'avenir de l'éducation passe-t-il par une révolution ?

Dans le cadre d'une société démocratique, même si l'on s'accorde à encourager et à promouvoir l'apprentissage tout au long de la vie pour tous, il est probable que subsiste un désaccord sur ses objectifs. Certains soulignent l'importance de l'argument économique. Ils estiment qu'une « force de travail de classe mondiale » fera croître la prospérité nationale et augmentera la compétitivité

9. Voir : OCDE (2001), *Connaissances et compétences : des atouts pour la vie – Premiers résultats de PISA 2000*, tableaux 6.5 et 6.6, pp. 309-310.

dans le contexte de l'économie mondiale¹⁰. D'autres sont plus sensibles au discours égalitaire. Ils espèrent qu'une société de l'apprentissage démocratique œuvrera pour la disparition des inégalités héritées des modèles aristocratique et méritocratique du passé. Un troisième groupe se soucie avant tout de l'accomplissement humain. Ses membres reconnaissent et acceptent l'étendue et la diversité extraordinaires de réussite qui résultera sans doute d'un investissement dans l'apprentissage tout au long de la vie pour tous. Et n'oublions pas une quatrième position, qui rôde entre les points de vue, déjà contrastés, énoncés ci-dessus : celle des personnes qui, consciemment ou inconsciemment, accordent encore de la valeur au concept d'élite, et cherchent à préserver une certaine forme de sélectivité.

Il n'est pas possible de satisfaire simultanément toutes ces exigences si différentes. Il nous faudra choisir. Les arguments en faveur de l'économie et de l'accomplissement humain sont compatibles et persuasifs. L'apprentissage tout au long de la vie pour tous parviendra peut-être à réduire les inégalités héritées des systèmes aristocratique et méritocratique, mais de nouvelles inégalités viendront probablement les remplacer. Les vrais démocrates rejettent l'élitisme... tout en reconnaissant, non sans ironie, qu'ils sont souvent les bénéficiaires d'un tel système. Toutefois, il reste vrai que, si on ne sait pas *pourquoi* l'éducation est importante, ni *qui* devrait en bénéficier, on luttera quand même pour trouver des réponses cohérentes aux questions concernant le concept d'apprentissage tout au long de la vie.

1.2. Apprendre *quoi* et apprendre *quand*

Apprendre *quoi* et apprendre *quand* – deux questions qui se révèlent liées, tout comme *pourquoi* apprendre ? et *qui* devrait apprendre ? se sont révélées liées dans les paragraphes précédents. Si le modèle éducatif reste enraciné dans la primauté de l'« éducation initiale » (avec peut-être un rôle limité assigné à l'« éducation continue »), le programme scolaire et universitaire aura tendance à être alourdi, de peur que les apprenants laissent passer leur meilleure occasion d'en bénéficier. Mais si nous sommes vraiment décidés à promouvoir le concept d'apprentissage tout au long de la vie, il nous est possible d'alléger la charge de

10. Mais il a été montré que, pour une population donnée, c'est la réussite globale au niveau de l'éducation secondaire qui a l'impact le plus fort sur ses performances économiques [voir OCDE (2001), *Les villes et les régions dans la nouvelle économie apprenante*, chapitre 4, p. 38], et que par ailleurs, cette réussite globale est dans une large mesure proportionnelle au degré d'« inclusion sociale » des systèmes scolaires. Voir OCDE (2001), *Connaissances et compétences : des atouts pour la vie – Premiers résultats de PISA 2000* ; en d'autres termes, la promotion de l'« égalité des chances », pratiquée de façon consciente, volontaire, large et sérieuse, ne serait non seulement pas incompatible avec la logique économique, mais tout au contraire, serait un élément essentiel de la compétitivité.

travail des écoliers et des étudiants pour répartir le programme scolaire sur toute la durée de l'existence¹¹. La trigonométrie, par exemple, ou le japonais, ou l'histoire et la géographie de l'Amérique latine, sont autant de sujets intéressants – mais aucun d'eux n'est vraiment essentiel au programme initial des populations européennes. Quels sont d'ailleurs les sujets essentiels ?

Par contraste avec le modèle existant du programme scolaire national, qui semble vouloir englober tous les sujets de connaissance, peut-être pourrions-nous considérer l'idée d'un « programme minimal essentiel et global ». Quels pourraient en être les éléments ? La littératie (lire, écrire, parler et écouter) dans la langue maternelle et dans au moins une autre¹² ; la numératie, la littératie culturelle (comprenant les notions essentielles d'histoire, de géographie, de science et de technologie, associées à l'opportunité de développer ses talents en matière de musique, d'art, de théâtre et de sport), les aptitudes sociales et personnelles, les valeurs et l'éthique, apprendre à apprendre (comprenant bien entendu des éléments de neuroscience cognitive : la nature du cerveau, comment le cerveau apprend, etc.),... quoi d'autre ? Un tel « programme essentiel » laisserait aux plus vifs suffisamment de temps et d'espace pour explorer une vaste étendue d'autres sujets, tandis que les moins vifs auraient au moins une bonne chance d'apprendre ce que nous *devons* tous savoir, en théorie et en pratique, pour fonctionner efficacement dans le cadre de notre travail et, plus largement, de notre vie.

11. Les « périodes sensibles » pour l'acquisition des fonctions cognitives pourraient dans un avenir proche se révéler un outil fort utile pour la conception de ce « programme souhaitable ». Voir les remarques de Hideaki Koizumi relatives à la « réorganisation des systèmes éducatifs fondée sur la plasticité neuronale » (et sur la périodicité) dans le chapitre 4.5.3 infra.
12. Deux questions doivent être évoquées ici. Premièrement : il est évident qu'une personne n'apprenant qu'une seule langue étrangère (ce qui pourrait être insuffisant, soit dit en passant) devrait apprendre l'anglais, celui-ci étant considéré comme le « langage global » d'aujourd'hui (la « lingua franca » des temps modernes) ; cependant, et surtout si l'on considère que la maîtrise d'une deuxième langue étrangère (au moins) devient de plus en plus nécessaire en termes de compétitivité individuelle, l'anglais devrait-il être impérativement placé par un tel programme à la position privilégiée de première langue étrangère (au sens chronologique du terme) apprise par les non-anglophones ? Deuxièmement : les anglophones doivent-ils être dispensés de l'apprentissage d'une langue étrangère parce que leur langue natale est le « langage global » ? On est tenté de répondre par l'affirmative, du moins par réflexe. Il n'est cependant pas sûr que l'absence d'une langue étrangère au programme n'ait pas des effets négatifs, sur le plan individuel comme sur le plan collectif. Mais ceci est une autre histoire. La question devra être abordée un jour ou l'autre, d'autant plus qu'il est possible que l'acquisition d'une langue étrangère (en particulier à un âge relativement peu élevé) ait un impact positif sur la cartographie du cerveau (sans parler de l'ouverture d'esprit sur le plan culturel), ce qui donnerait à l'individu un net avantage d'une nature ne se limitant pas au niveau technique ; dans un tel cas de figure, ne pas avoir appris de langue étrangère constituerait peut-être un désavantage.

Traditionnellement, un programme scolaire se compose de trois éléments : connaissances, compétences et attitudes. Et les programmes scolaires traditionnels ont tendance à placer les connaissances au-dessus des compétences et les compétences au-dessus des attitudes. L'expérience de la vie et du travail suggère un ordre de priorité différent : attitudes, compétences, connaissances (« ASK »¹³). Les attitudes positives (responsabilité, espoir, confiance en soi, confiance dans les autres) sont la clé d'une vie réussie et d'un travail gratifiant. Certaines compétences (communication, travail en équipe, organisation, résolution des problèmes) sont elles aussi essentielles. Maintenant qu'une immense partie des connaissances du monde est accessible dans les livres ou sur l'Internet, il devient moins important de pouvoir la stocker dans son cerveau¹⁴. Le défi est de créer une « société apprenante » (et non une « société de la connaissance »¹⁵) pour le XXI^e siècle, société qui exige un programme ASK.

Dans bien des domaines, un jeune cerveau apprend plus vite qu'un cerveau mûr, mais les adultes sont souvent des apprenants plus motivés que les enfants. Globalement, la motivation est plus importante que la jeunesse quand il s'agit de réussir son apprentissage – l'alliance des deux étant toutefois imbattable, bien entendu. Peut-être devrions-nous considérer un « programme essentiel » obligatoire tel que celui esquissé ci-dessus, allié à l'audacieux principe consistant à faire *Confiance à l'apprenant informé dans ses demandes* (CAID), une fois que le programme essentiel est maîtrisé. Une nation qui suivrait ce précepte engagerait bien sûr des débats longs et acharnés sur la nature exacte de ce « programme essentiel » et investirait avec prudence dans la conduite des politiques éducatives.

Ce qui est clair, c'est que « le meilleur du passé » n'est plus nécessairement « ce qu'il y a de mieux pour l'avenir ». Dans une société ne connaissant aucun

13. Dans le texte original en anglais, ces trois mots forment l'anagramme ASK (*attitudes, skills, knowledge*), le verbe « to ask » signifiant « demander » (N.d.T.).

14. Voilà qui soulève une autre question, à propos du contenu et de la structure des connaissances à acquérir : le « savoir-quoi » (l'information, ou la « connaissance des faits ») et le « savoir-pourquoi » (« la connaissance des principes et des lois du mouvement dans la nature, dans l'esprit humain et dans la société »). Il s'agit là d'un débat des plus complexes, car il est nécessaire d'acquérir un minimum de « savoir-quoi » si l'on veut « apprendre à apprendre » et acquérir du « savoir-pourquoi ». Si « il devient moins important de pouvoir stocker [l'information] dans son cerveau », la question de savoir quelle information basique devrait être intégrée dans un « programme minimal, essentiel et global » reste ouverte [pour des définitions plus précises du « savoir-quoi » et du « savoir-pourquoi », et pour prolonger ce débat, voir OCDE (2000), *Société du savoir et gestion des connaissances*, en particulier pp. 15 sqq].

15. On a avancé l'idée que toute société humaine était une société de connaissance, ce qui semble parfaitement sensé, mais que toute société humaine n'était pas forcément une société « apprenante ».

changement ou presque, la sagesse des anciens et l'expérience du passé permettent de guider la jeunesse. Mais dans une époque de changement sans cesse plus rapide, ce n'est plus nécessairement vrai. Les jeunes sont peut-être mieux placés que les anciens pour juger des connaissances essentielles qu'ils doivent acquérir. A la médiane de ces deux extrêmes, un dialogue intergénérationnel, en ce qu'il peut apporter de bénéfices mutuels, est peut-être le plus souhaitable.

Dans la vie adulte, c'est le principe CAID qui devrait nous guider. Ce principe prévaut quand nous contrôlons ce que nous apprenons – à la maison, durant nos loisirs, si nous sommes des travailleurs indépendants ou des retraités. Nous apprenons ce que nous choisissons d'apprendre. Le monde du travail nous présente un tableau tout à fait différent. Certains employeurs qui raisonnent à court terme ne reconnaissent toujours pas la valeur de la formation permanente. D'autres comprennent que leurs employés cherchent à perfectionner leurs compétences quand celles-ci sont utiles à l'entreprise, mais ne pensent pas qu'il existe un principe économique justifiant que l'on investisse dans la formation de tout le personnel. Quelques-uns ont reconnu la vérité du principe selon lequel « apprendre est rentable » et sont disposés à aider au développement de véritables organisations apprenantes. En partenariat avec leurs employés, ils promeuvent et encouragent une approche libérale de l'apprentissage et appliquent le principe CAID.

1.3. Comment apprendre et où le faire

Comment font les gens pour apprendre au mieux ? Et où aiment-ils le mieux apprendre ? Certains préfèrent apprendre chez eux, d'autres au travail, d'autres encore à l'université. La réussite remarquable de « la scolarité à domicile » pourrait avoir des implications révolutionnaires. Il existe apparemment une multitude de styles d'apprentissage, définis par exemple en fonction d'un médium (l'œil, l'oreille, la main), ou d'un type d'intelligence préféré, ou encore du sexe, de la préférence pour la théorie ou la pratique, de la méthode, par incréments ou en commençant par la fin, ainsi de suite. Nous sommes encore loin d'avoir élaboré une théorie adéquate et une analyse pratique des styles d'apprentissage. Ce que nous savons, c'est que la réussite de l'apprentissage est probable si l'apprenant *a*) a une grande assurance et une bonne estime de soi, *b*) a une forte motivation pour apprendre, et *c*) est capable d'apprendre dans un environnement alliant un « défi élevé » à une « faible menace ».

L'échec se produit lorsque l'un au moins des quatre facteurs empêche la réussite. Ces obstacles à l'apprentissage sont : *a*) le manque d'assurance et d'estime de soi (le facteur « bien dans sa peau ») ; *b*) une motivation faible (le sujet « n'a pas vraiment envie » d'apprendre) ; *c*) un potentiel inadéquat, réel ou fantasmé (« c'est trop dur » ou « je n'y arrive pas ») ; *d*) l'absence d'opportunités d'apprentissage. La plupart des débats sur l'éducation s'attachent à ces deux derniers obstacles, évoquant des questions telles que « l'étendue des capacités », le QI, l'aptitude – ou encore l'accès au

savoir, l'égalité des chances, l'augmentation de l'offre éducative. Si importantes soient-elles, ces questions ne constituent pas nécessairement les principaux obstacles à l'apprentissage dans le monde développé d'aujourd'hui. Se concentrer sur elles à l'exclusion presque totale des deux premières constituait une sorte d'hérésie du xx^e siècle. Les principaux problèmes de l'apprenant sont la confiance en soi et la motivation. Cette idée, largement répandue dans le monde de l'éducation, pourrait en soi constituer un terrain fertile pour la recherche scientifique.

L'assurance et l'estime de soi sont des conditions nécessaires – mais non suffisantes – à la motivation (avoir *vraiment* envie d'apprendre). Il suffit de considérer un enfant heureux ou un adulte confiant pour comprendre cette vérité. Le défi que nous devons donc relever pour l'éducation de l'avenir est donc d'une simplicité trompeuse : renforcer (ou restaurer) l'assurance et l'estime de soi innées chez chaque bébé. C'est ce qu'accomplit un environnement caractérisé par un mélange de « défi élevé » et de « faible menace ». Les menaces induisent la peur de l'échec ; le défi encourage l'aspiration à la réussite.

Si l'association « défi élevé »/« faible menace » est idéale – l'inverse étant des plus pernicious –, la grille suivante nous montre chacune des combinaisons possibles et leur effet probable sur l'apprenant humain (enfant ou adulte) :

	Défi élevé	Faible défi
Menace élevée	« angoissé »	« stupide »
Faible menace	« brillant »	« gâté » ou « indifférent »

C'est en bas à gauche de cette grille que se déroulent une bonne éducation, une formation efficace et un apprentissage réussi. S'y développent et se forment des enfants et des adultes brillants (vifs, confiants, pleins d'assurance, motivés et heureux) qui sont des *maîtres apprenants*. Ceux qui vivent leur vie et font l'expérience de leur apprentissage dans les trois autres cases deviennent des *apprenants dépendants*, qui se reposent toujours sur autrui pour trouver leurs valeurs, leur motivation et leur estime de soi¹⁶.

Nous sommes aujourd'hui en passe de comprendre plus profondément comment les gens apprennent mieux – et comment les y aider au mieux. La

16. Même s'il est probable que les « maîtres apprenants » s'appuient également sur autrui pour trouver les mêmes choses (notamment leur motivation), cette « dépendance » relative est certainement plus positivement connotée : c'est la « récompense » ou la « reconnaissance » qui va être recherchée ici. Il faudra peut-être envisager à l'avenir de considérer cette « reconnaissance » comme un troisième élément de la grille ci-dessus, à côté de « défi » et de « menace ».

confiance en soi et l'estime de soi (tout comme le lait et le jus d'orange) sont essentiels à la bonne alimentation de l'apprenant qui réussit. Ces qualités sont essentielles à une motivation efficace, mais elles ne sont pas en elles-mêmes suffisantes. Les apprenants motivés développent une passion brûlante pour la réussite : ils comprennent les bénéfices de l'apprentissage, ils ont cessé de se soucier de leur prétendue inadéquation, de leur prétendue incapacité, ils ont découvert de bonnes opportunités d'apprendre, et leur priorité des priorités est la réussite de leur apprentissage. Il ne fait nul doute que la motivation humaine sera l'un de nos principaux sujets de préoccupation durant le *xxi*^e siècle.

Les « six honnêtes serviteurs » de Kipling nous fournissent un outil pratique pour esquisser l'évolution future de l'apprentissage. La question centrale est de savoir si nous pouvons créer une authentique société du savoir par le processus normal d'une réforme progressive, de façon à adapter nos modèles et nos structures existants afin de répondre aux besoins du nouveau siècle, ou s'il nous faut plutôt envisager de les remplacer par quelque chose de complètement différent. Un changement discontinu est difficile à concevoir... jusqu'à ce qu'il se soit produit. La dissolution des monastères, le développement du voyage aérien et la découverte de la pilule contraceptive peuvent être considérés, avec le recul, comme des exemples de changements discontinus aux implications révolutionnaires. Peut-être qu'il se produit aujourd'hui quelque chose de similaire dans l'éducation.

Il y a à cela plusieurs raisons, dont certaines ont été exposées ci-dessus. Trois d'entre elles paraissent particulièrement importantes : l'impact à venir des nouvelles « sciences du cerveau » sur notre compréhension de l'apprentissage humain, l'ordinateur – et le potentiel des technologies de l'information et de la communication (TIC)¹⁷ –, et l'idée de « subventionner l'apprenant » (plutôt que l'enseignement) afin de promouvoir les effets des forces du marché sur nos offres éducatives et ainsi en accroître la qualité, en améliorer la pertinence et l'accessibilité, et en baisser le coût. L'idée de subventionner l'éducation par des « bons d'apprentissage » destinés à ceux qui doivent en bénéficier, plutôt que de verser des fonds aux éducateurs, semble mériter d'être prise en considération.

Mais que les gouvernements décident ou non de « subventionner l'apprenant », la révolution de l'apprentissage est en marche, et elle est irréversible. Les TIC ont déjà fait la preuve de leur capacité à déclencher par elles-mêmes une révolution de l'apprentissage. Le marché de l'apprentissage est lancé¹⁸.

17. Voir : OCDE (2000), *Learning to Bridge the Digital Divide* (existe en anglais uniquement) ; OCDE (2001), *Les nouvelles technologies à l'école : apprendre à changer* ; OCDE (2001), *Cyberformation – Les enjeux du partenariat*.

18. Le CERI a inscrit la question du « Commerce des services éducatifs » à son programme de travail 2002-2004.

Durant les décennies à venir, nous pouvons nous attendre à commencer à démêler les complexités du cerveau et à comprendre enfin la nature de la mémoire et de l'intelligence (par exemple), ainsi que ce qui se passe exactement durant le processus d'apprentissage. Nous serons alors en mesure de refonder notre pratique de l'éducation sur une théorie solide de l'apprentissage. Le résultat sera probablement plus un exemple de changement discontinu qu'une adaptation graduelle du système qui prévaut aujourd'hui. Une révolution plutôt qu'une réforme.

Chapitre 2

L'apport de la neuroscience cognitive aux politiques et pratiques éducatives

2.1. Ce que la neuroscience cognitive peut dire...

« *My brain ? It's my second favourite organ.*¹ »

Woody Allen

Comment les gens apprennent-ils ? Que se passe-t-il dans le cerveau lorsque nous acquérons des connaissances (noms, dates, formules), des compétences (lire, danser, dessiner) ou des attitudes (autonomie, responsabilité, optimisme) ? De telles questions intéressent les êtres humains depuis des siècles. Aujourd'hui, les scientifiques commencent à comprendre comment se développe le jeune cerveau et comment apprend le cerveau mûr. Plusieurs disciplines contribuent à cette avancée des connaissances. La plus récemment créée, et probablement la plus importante, est la neuroscience cognitive.

Comme il en va le plus souvent en matière d'avancée scientifique, la clé est ici le développement de nouvelles technologies. Des techniques² telles que la neuro-imagerie fonctionnelle, incluant l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) et la tomographie par émission de positons (TEP), ainsi que la stimulation magnétique transcrânienne (SMT) et la spectroscopie en proche infrarouge (NIRS ou *Near-Infrared Spectroscopy*), permettent aux scientifiques de comprendre plus clairement le fonctionnement du cerveau et la nature de la pensée. Ces techniques permettent entre autres d'éclairer d'un jour nouveau des questions fort anciennes sur l'apprentissage humain et suggèrent des méthodes par lesquelles l'éducation et la pratique de l'enseignement peuvent venir en aide à l'apprenant, que celui-ci soit un enfant ou un adulte.

1. « Mon cerveau ? C'est le deuxième de mes organes par ordre de préférence. » (N.d.T.)

2. Voir 4.2 et glossaire pour des définitions plus étroites des différentes technologies mentionnées ici.

Ce serait une erreur que de promettre ou d'espérer trop, trop vite. Bien que certaines avancées et certains résultats, également précieux, soient d'ores et déjà acquis, il faudra peut-être des années avant de pouvoir appliquer sans risques à l'éducation les découvertes de cette nouvelle science. Mais ce sujet progressera avec un succès d'autant plus élevé que les diverses disciplines composant « les sciences de l'apprentissage » communiqueront et coopéreront les unes avec les autres. S'il est déjà clair que les neuroscientifiques et les éducateurs ont tout intérêt à dialoguer, à chercher à se construire un langage commun, et à examiner et à critiquer mutuellement leurs hypothèses et leurs postulats, le bénéfice d'un tel débat sera encore plus grand s'il inclut la psychologie et la médecine. La psychologie cognitive, en particulier, a un rôle essentiel à jouer, celui de pivot, de médiateur entre les neuroscientifiques d'une part et les éducateurs et les décideurs politiques d'autre part³. Mais il ne fait guère de doute que, à mesure qu'émergera dans les prochaines années une nouvelle « science de l'apprentissage », elle continuera à rassembler une variété encore plus grande de disciplines, parmi lesquelles la psychologie du développement et la psychologie évolutionnaire, l'anthropologie et la sociologie.

Il y aura des problèmes de communication entre neuroscientifiques et éducateurs. En règle générale, ces deux professions n'ont pas de vocabulaire commun ; elles appliquent des méthodes et des logiques différentes ; elles explorent des questions différentes ; elles ont des objectifs différents et elles sont perçues de façon différente par le monde politique. Les neuroscientifiques étudient de façon scientifique le siège même de l'apprentissage : le cerveau. Ils sont investis de l'autorité et de l'aura d'une science pour initiés. Ils sont relativement peu nombreux et utilisent une technologie coûteuse. Par contraste, ceux qui enseignent aux adolescents travaillent dans un milieu social complexe où leurs élèves ne partagent pas nécessairement leurs objectifs. Parmi leurs outils figurent la craie, la voix et le manuel scolaire. Il est par conséquent nécessaire d'avoir conscience des différences culturelles entre ces deux professions, d'œuvrer à réduire les malentendus et la mauvaise communication entre elles, et de promouvoir la compréhension mutuelle. Les décideurs politiques peuvent contribuer à la réduction de la distance entre les deux communautés, notamment en encourageant les uns et les autres à partager les résultats que chacun a obtenus à son propre niveau

3. En outre, l'une des plus importantes révolutions de la recherche sur le cerveau durant les années 90, confirmée par de nombreuses présentations lors des trois forums de l'OCDE, est que l'étude du cerveau « de l'extérieur », ce qui est le but de la psychologie cognitive, et l'observation du cerveau « de l'intérieur », le but même de la neuroscience, sont en fait complémentaires. La psychologie cognitive étudie et découvre des modes de penser et d'apprendre, et aide à formuler des hypothèses sur les mécanismes qui les expliquent ; la neuroscience cognitive étudie et dégage (ou confirme) la nature de ces mécanismes.

d'analyse (l'apprentissage en classe et les fonctions cérébrales) afin que les découvertes de ce domaine émergent puissent enrichir notre compréhension du cerveau en tant que machine et du cerveau en action (l'apprentissage humain). L'une des difficultés à affronter est la nécessité d'un langage commun et d'un vocabulaire partagé parmi les diverses disciplines formant « les sciences de l'apprentissage ». Un bon exemple nous est fourni par des termes comme *plasticité*, *intelligence* et *stimulation* (déjà identifiés comme problématiques dans l'introduction). Il serait facile d'allonger cette liste avec, par exemple, *apprentissage*, *attitude*, *capacité*, *contrôle*, *développement*, *émotion*, *esprit*, *imitation*, *mémoire*, *compétence* – sans oublier *inné* et *acquis*. Ces deux derniers termes devraient nous remettre en mémoire le fossé qui sépare la perception publique de l'*inné* et de l'*acquis* en tant que deux domaines autonomes et séparés, et la position du scientifique qui reconnaît leur influence l'un sur l'autre et le concept de « développement dépendant de l'expérience » du « cerveau naturel ». Le périple qui conduit des gènes au comportement est long et ardu : quelque part au centre se trouve le cerveau, à la fois expression de matériau génétique et source du comportement humain⁴.

Il faut espérer que la neuroscience cognitive, à mesure qu'elle favorise le dialogue sur les sciences et l'apprentissage, aidera à éclairer et à résoudre nombre de dichotomies maladroites telles celle de l'*inné* et de l'*acquis*. La *plasticité* et la *périodicité* composent un autre couple d'idées *a priori* antinomiques qui doivent être comprises de façon à éviter de choisir l'une d'elles au détriment de l'autre. Le sens commun et la science du cerveau confirment que notre cerveau est *plastique* – il continue de se développer, d'apprendre et de changer jusqu'à ce qu'intervienne la sénilité avancée ou la mort. L'idée d'apprentissage tout au long de la vie est parfaitement sensée. Il n'est jamais trop tard pour apprendre – à condition que l'apprenant soit doué de confiance en soi, d'estime de soi et de motivation. Et cependant, il semble bien qu'il existe des *périodes sensibles*, un peu comme des « fenêtres d'opportunité » durant lesquelles le cerveau en développement est particulièrement sensible à certains stimuli et très disposé à apprendre. Exemple évident : la vitesse extraordinaire avec laquelle les jeunes enfants assimilent leur langue maternelle. Tous les enfants du monde entier, excepté ceux souffrant d'un grave handicap, accomplissent cette tâche plus ou moins au même âge et au même rythme, quel que soit leur statut ultérieur d'apprenant vif ou lent, leur intelligence jugée élevée ou faible, leurs succès ou leurs échecs. Peut-être existe-t-il également des périodes sensibles pour l'« apprentissage d'une deuxième langue », l'acquisition de compétences sociales comme le travail en équipe et même le choix critique entre le statut d'apprenant « maître » ou « dépendant ». Et pourtant, le cerveau persiste à demeurer plastique.

4. Voir le rapport de Grenade sur le site web de l'OCDE : www.oecd.org/pdf/M00017000/M00017849.pdf

La neuroscience cognitive nous aidera aussi à comprendre la distinction entre ce qui est commun à tous les cerveaux humains et nos différences individuelles. Par exemple, il semble que le cerveau d'un homme soit différent de celui d'une femme, mais les implications de cette remarque sont tout sauf claires. Il existe des différences de maturation significatives entre le cerveau d'un enfant, d'un adolescent et d'un adulte. Pour l'instant, la neuroscience cognitive a peu de choses à nous dire sur les différences individuelles. En outre, on comprendra qu'à ce stade de son développement, les praticiens de cette science aient plus de facilité à étudier les incapacités cérébrales (et les capacités hors du commun) que le « cerveau normal ». Il ne faut pas nécessairement le regretter, si cela doit nous aider à comprendre et à mieux assister les victimes d'affections telles que l'autisme et le syndrome d'Asperger. De fait, l'étude de cerveaux lésés ou malades, ainsi que l'étude de cerveaux exceptionnels, est l'un des plus sûrs moyens de progresser dans la connaissance du fonctionnement du cerveau « normal ».

On comprendra que les scientifiques se montrent prudents, en particulier lorsqu'ils communiquent leurs conclusions relatives à un domaine sensible comme le cerveau humain. Il est donc souhaitable pour tous que l'on s'accorde pour chercher à distinguer *a*) les notions bien établies (la plasticité), *b*) les notions probables (les périodes sensibles), *c*) ce qui relève de la spéculation intelligente (les implications de la différence entre les sexes) et les simplifications ou erreurs de conception populaires (le rôle de « l'hémisphère gauche » et de l'« l'hémisphère droit »). Quoi qu'il en soit, il semble que, durant les prochaines années, la neuroscience cognitive jouera un rôle déterminant pour apporter des réponses fiables à des questions importantes sur l'apprentissage humain, telles que :

- Quels sont l'environnement et le programme d'apprentissage appropriés pour les très jeunes enfants ? En particulier, est-il souhaitable de concevoir pour eux un programme intensif de numératie et de littératie (« l'école à la crèche ») ?
- Quelles sont les périodes sensibles essentielles dans le développement du cerveau ? Quelles sont les implications de ces périodes pour un programme d'apprentissage modulé en fonction de l'âge ?
- Pourquoi certaines personnes ont-elles autant de difficultés à acquérir littératie et numératie ? Que peut-on faire pour prévenir (ou remédier à) des handicaps comme la dyslexie et la dyscalculie ?
- Quelles sont les limites du cerveau humain ? N'importe qui peut-il égaler la réussite de génies tels que Leibniz, Mozart ou John Stuart Mill, à condition de bénéficier d'un enseignement adéquat dans un environnement convenable ?

- Pourquoi est-il si difficile de désapprendre ? Comment corriger de façon efficiente et efficace les mauvaises habitudes, les compétences mal intégrées et les connaissances erronées ?
- Quel est le rôle de l'émotionnel dans l'apprentissage ? Comment pouvons-nous aider le système limbique (émotionnel) et le cortex (cognitif) du cerveau à coopérer face à un défi d'apprentissage ?

2.2. ... aux politiques éducatives

« *Politik ist die Kunst des Möglichen.*⁵ »

Bismarck

« *Politics is not the art of the possible.
It consists of choosing between the disastrous
and the unpalatable.*⁶ »

J. K. Galbraith

Les parents sont les premiers éducateurs des enfants. Dans de nombreuses parties du monde, l'éducation systématique était – et reste – un attribut du religieux. Dans le monde entier, dans les pays développés ou émergents, l'État a endossé cette responsabilité et fournit, dans la mesure du possible, une école libre et obligatoire pour les enfants et l'accès à un enseignement plus avancé pour les étudiants jeunes et adultes. Le premier défi qui se présente aux politiques est d'équilibrer et de réconcilier les rôles des parents, du religieux et de l'État.

Le deuxième est de veiller, en tant que partenaire dominant et maître d'œuvre de cette trinité, à ce que l'offre éducative proposée par les écoles, les lycées, les universités et autres établissements soit conforme aux besoins des apprenants, des employeurs et de la communauté au sens large, pour un coût acceptable. La rentabilité de l'éducation et de la formation est peut-être au cœur du problème. Et cependant, il est bien trop facile de supposer que le financement et les résultats sont les seules questions qui importent.

Depuis 1989, le monde reflète les implications de la chute du communisme. La démocratie, la société des libertés et le capitalisme des marchés semblent avoir vaincu les espoirs du socialisme. Nous avons appris qu'une économie libérale, contrôlée par un cadre légal démocratiquement régulé, répond aux besoins et aux envies des gens de façon à la fois plus efficiente et plus efficace que tout système planifié. Rares sont ceux qui contestent cette proposition en matière de distribution de biens tels que le logement, la nourriture ou les vêtements, ou de

5. « La politique est l'art du possible. » (N.d.T.)

6. « La politique n'est pas l'art du possible. Elle consiste à choisir entre le catastrophique et le désagréable. » (N.d.T.)

services tels que les loisirs, la banque ou la coiffure. L'éducation et, dans certaines parties du monde, la santé, sont encore considérées comme des services à part, qui ne sauraient être livrés au marché sans danger. Cette question est le sujet de débats animés en matière de santé.

Bien qu'il puisse être utile de considérer des solutions de rechange, on supposera pour le moment que l'État continuera de maîtriser l'offre éducative dans les pays de l'OCDE, ainsi que cela se produit dans la majorité des pays du monde. La plupart des États régulent et financent l'éducation universelle et obligatoire et fournissent les établissements scolaires et universitaires qui sont nécessaires à sa mise en œuvre. Ces États sont sensibles à la question de la rentabilité – comment parvenir au meilleur résultat aux moindres frais. La plupart des questions de politique abordées de façon récurrente dans les débats relatifs à l'éducation trouvent leur origine dans cette question fondamentale, par exemple l'effectif d'une classe, la durée de la période d'éducation obligatoire, l'accès à l'éducation une fois cette période passée, les effectifs du corps enseignant, le droit à l'apprentissage tout au long de la vie, les qualifications et résultats, l'inspection, etc. Il paraît probable qu'à terme, l'étude scientifique du cerveau et de l'apprentissage apportera non seulement une contribution significative à des questions politiques « fines » comme celles-ci, mais contribuera également à répondre aux défis fondamentaux posés par les problèmes de rentabilité en matière éducative.

Ces dernières années, on s'est beaucoup intéressé à l'offre éducative relative aux enfants en bas âge, à la révision et à la redéfinition des programmes, et à l'équipement informatique des écoles, pour ne citer que trois questions contemporaines. Dans chaque cas, on entretenait sans l'exprimer l'attente d'une plus grande efficacité et d'une plus grande efficacité (un meilleur taux de rentabilité), ainsi que celle d'une amélioration des résultats qui aurait plus que compensé l'augmentation des coûts. Il est de notoriété publique que les critères de réussite en matière éducative sont délicats à mesurer et qu'il est difficile de faire des comparaisons fiables entre les nations et entre les époques. Il n'est pas facile de s'assurer que l'on compare ce qui est comparable. Néanmoins, il ne fait guère de doute qu'on a constaté avec le temps à la fois une augmentation des coûts et une amélioration des résultats, mais on ne saurait affirmer avec certitude que ceux-ci sont proportionnels à ceux-là. Ce qui est clair, c'est que l'absence totale de toute forme de concurrence dans le monde de l'éducation réduit inévitablement sa capacité à faire des progrès en matière de rentabilité.

Les décideurs politiques sont également très préoccupés par la question des objectifs de l'éducation. Un point de vue traditionnel suggère que la société s'attend à ce qu'un système éducatif accomplisse trois missions : fournir aux étudiants, jeunes et adultes, les *compétences* qui leur sont nécessaires, les *socialiser* et les *trier* en fonction de leurs aptitudes et de leurs capacités. Ces trois fonctions

sont en tension les unes avec les autres. Si l'on donne la priorité au tri, alors les compétences des apprenants les moins vifs en souffriront, par exemple. Si les écoles doivent être responsables de l'acquisition de toutes les compétences requises par le ^{xxi}^e siècle et de la socialisation nécessaire à une société moderne et complexe, alors les programmes risquent d'être sérieusement surchargés. De façon similaire, le tri et la socialisation sont deux activités difficilement compatibles. En demande-t-on trop aux écoles ?

Finalement, il peut être utile d'attirer l'attention sur le fossé séparant les souhaits et les besoins de l'apprenant d'une part et, de l'autre, les préoccupations des décideurs politiques. L'obsession de la rentabilité peut facilement conduire ces derniers à négliger, voire à perdre de vue, la nature complexe de l'apprentissage, la variété et la sensibilité des apprenants, et le cerveau humain.

Partie II

**LA NEUROSCIENCE COGNITIVE
A LA RENCONTRE DE L'ÉDUCATION**

Chapitre 3

Les trois forums

L'objectif du projet « Sciences de l'apprentissage et recherche sur le cerveau », lancé par le CERI de l'OCDE, était d'encourager une collaboration entre, d'une part, éducateurs et neuroscientifiques et, d'autre part, chercheurs et décideurs politiques. Le potentiel d'une future « éducation fondée sur le cerveau »¹ et les questions qu'elle soulève soulignaient la nécessité d'un dialogue entre les différentes parties prenantes. Une fois établis les fondements conceptuels du projet, et après une année de préparation, les discussions initiales ont débuté avec des institutions scientifiques de première importance, conduisant à l'organisation de trois conférences ou forums, respectivement consacrés à « L'apprentissage durant l'enfance », « L'apprentissage à l'adolescence » et « L'apprentissage à l'âge adulte » (en insistant sur « L'apprentissage durant la vieillesse »). On trouvera des comptes rendus détaillés de ces trois forums sur le site web de l'OCDE².

Ce chapitre est un résumé chronologique des trois forums ; il est destiné à introduire le chapitre 4 et à le rendre ainsi plus aisément accessible. Les résultats scientifiques des forums sont donc brièvement décrits ici, et développés de façon plus détaillée dans le chapitre suivant.

1. A ce sujet, Jan van Ravens a comparé, lors du Forum de Grenade, la médecine et l'éducation : « (...) un effort explicite a été fait dans le domaine médical pour parvenir à une "médecine fondée sur des connaissances avérées", correspondant à une éradication générale de l'intuition et des croyances populaires en faveur d'une application des connaissances médicales dans la pratique quotidienne. L'éducation est prête pour ce type d'évolution : se dégager des programmes fondés sur la tradition et le compromis politique, pour s'engager sur la voie de programmes fondés sur les connaissances avérées fournies par les sciences de l'apprentissage, elles-mêmes fondées sur les résultats de la recherche sur le cerveau, dans la mesure du possible ».
2. www.oecd.org/oecd/pages/home/displaygeneral/0,3380,EN-document-603-5-no-27-26268-0,FF.html

3.1. Mécanismes du cerveau et apprentissage durant l'enfance : Forum de New York

« The distance from the new-born baby to the five-year-old is a chasm; from the five-year-old to me is just one step.³ »

Tolstoï

Le premier forum s'est déroulé au Sackler Institute de New York (États-Unis) les 16 et 17 juin 2000. La question centrale qui l'a dominé était la tension entre les concepts de plasticité cérébrale et de périodicité, l'idée selon laquelle – pendant que le cerveau continue de s'adapter la vie durant – il existe à certains âges des périodes sensibles pour l'apprentissage de sujets spécifiques. Le forum a enregistré des contributions relatives à nombre de questions importantes liées à l'apprentissage durant l'enfance : l'acquisition du langage, les débuts de la cognition, les mécanismes de la lecture, la pensée mathématique et la compétence émotionnelle.

Des recherches ont été présentées sur l'apprentissage d'une deuxième langue, suggérant que l'acquisition de la grammaire est en partie liée à des contraintes temporelles. « Plus tôt on apprend, plus c'est facile et plus c'est rapide. » Cette découverte suggère que l'apprentissage d'une deuxième langue serait plus efficace lors du cycle primaire que lors du cycle secondaire. Toutefois, le cerveau continue d'être réceptif à de nouvelles informations sémantiques durant toute la vie.

L'« apprentissage attendant de recevoir de l'expérience »⁴ se produit lorsque le cerveau effectue l'expérience pertinente au moment approprié, au cours de la période sensible. L'« apprentissage dépendant de l'expérience »⁵ est parfois assujéti à des contraintes d'âge, parce que les périodes sensibles peuvent ne se présenter qu'à certaines phases du développement. De plus, un apprentissage durant une période sensible requiert peut-être un environnement approprié. Il semble, ce qui n'a rien d'inattendu, que le cerveau réagisse mieux aux environnements complexes qu'à ceux qui manquent de stimulus ou d'intérêt.

Les enfants développent extrêmement tôt des théories sur le monde, théories qu'ils révisent à la lueur de l'expérience. Parmi les domaines de l'apprentissage de la petite enfance figurent la linguistique, la psychologie, la biologie et la physique – comment fonctionnent le langage, les gens, les animaux, les plantes et les objets. Même au moment de la naissance, le cerveau de l'enfant n'est pas une

3. « La distance séparant le nouveau-né de l'enfant de cinq ans est un fossé ; entre l'enfant de cinq ans et moi, il n'y a qu'un pas. » (N.d.T.)

4. Traduction un peu lourde, mais seule disponible, de l'expression anglaise « experience-expectant learning ».

5. Traduction de l'expression anglaise « experience-dependant learning ».

tabula rasa. Il est nécessaire que l'éducation du premier âge prenne mieux en compte à la fois les caractéristiques spécifiques de l'esprit de l'enfant, ainsi que la conception individuelle de celui-ci, et ses méthodes éducatives préférées, par exemple le jeu⁶.

C'est probablement dans le domaine de la littératie que la science du cerveau peut être présentement le plus utile aux éducateurs. Les difficultés de lecture peuvent provenir d'un grand nombre de causes, tel qu'un handicap visuel ou auditif, ou encore des stratégies non appropriées (dysfonctionnement cognitif). Aucune de ces conditions ne place l'enfant dans une situation désespérée. Lorsque enseignants et scientifiques travaillent ensemble, il y a un réel espoir pour que l'on parvienne à un diagnostic rapide et que l'on effectue des interventions appropriées pour assister les victimes potentielles de diverses formes de dyslexie.

La numératie, comme la littératie, est un domaine fondamental où la neuroscie cognitive peut venir en aide à l'éducation. L'intelligence mathématique apparaît comme fort complexe, impliquant plusieurs parties du cerveau qui sont organisées de façon à travailler ensemble par un mécanisme de contrôle dans le cortex frontal. Un tel modèle suggère que les difficultés liées à la numératie s'expliquent par plusieurs raisons différentes (liées à des activations de régions différentes du cerveau).

Le cerveau est autant le siège des émotions que celui de la raison. En fait, notre « intelligence émotionnelle » (le QE) semble encore plus importante pour notre réussite et nos accomplissements que notre « intelligence cognitive » (le QI). La distinction cruciale entre « maître apprenant » et « apprenant dépendant »⁷ est davantage une question d'attitude (émotionnelle) que d'intellect. Les apprenants

6. Selon Alison Gopnik (lors du Forum de New York), les nourrissons ont la capacité innée d'apprendre le langage. Mais ils apprennent aussi la façon dont ceux qui les entourent pensent et ressentent, et en quoi cela est lié à leurs propres pensées et sentiments. Les enfants apprennent *la psychologie de tous les jours*. Ils apprennent aussi *la physique de tous les jours* (comment les objets se déplacent et comment interagir avec eux) et *la biologie de tous les jours* (comment fonctionnent ces objets vivants tout simples que sont les plantes et les animaux). Ils maîtrisent ces domaines complexes avant que ne débute leur scolarité officielle. Les experts aimeraient que l'école prolonge cet apprentissage effectué par les enfants dans leur environnement d'origine. Par exemple, il serait sensé d'enseigner la psychologie de tous les jours à l'école maternelle. Ou, dans le cas de la physique et de la biologie, l'école pourrait partir des conceptions naturelles (justes ou erronées) que les enfants ont de la réalité pour leur faire acquérir une véritable compréhension des concepts scientifiques qui la décrivent. L'école pourrait tirer un meilleur parti du jeu, de l'exploration spontanée, de la prédiction et de la rétroaction, autant d'outils apparemment puissants dans la scolarité à domicile. L'école devrait offrir même à l'enfant le plus jeune la chance *d'être* un scientifique plutôt que de simplement lui parler de science (voir le rapport de New York sur le site web de l'OCDE : www.oecd.org/pdf/M00019000/M00019809.pdf).

7. Voir supra, 1.3.

qui réussissent semblent développer très tôt une forme de self-control appelée « contrôle avec effort »⁸. En principe, il est possible d'instiller et d'encourager en eux cette compétence-clé, bien qu'elle soit, de façon significative, génétiquement transmissible.

Les principales conclusions scientifiques du forum sont décrites de façon plus détaillée dans le chapitre 4. Le forum est parvenu à cinq conclusions générales liées à la valeur et au potentiel de la discussion transdisciplinaire⁹, à la distinction entre de nouveaux concepts et à la confirmation scientifique d'anciennes intuitions, à la nature fondamentale des idées de plasticité et de périodicité, à la relative importance des premières années pour l'apprentissage humain et à la possibilité de l'émergence d'une nouvelle *science de l'apprentissage*¹⁰.

3.2. Mécanismes du cerveau et apprentissage à l'adolescence : Forum de Grenade

« I would that there was no age between ten and three-and-twenty, or that youth would sleep out the rest. For there is nothing in the between but getting wenches with child, wronging the ancientry, stealing, fighting [...] would any but these boild brains of nineteen and two-and-twenty hunt this weather ? »

Shakespeare

Le deuxième forum s'est tenu à Grenade (Espagne) du 1^{er} au 3 février 2001. Deux questions ont dominé les débats : la traduction des découvertes émergentes de la neuroscience cognitive sous une forme accessible au monde de l'éducation et l'idée du cerveau adolescent considéré comme un « chantier ».

Il est facile d'exagérer la portée des découvertes de la neuroscience cognitive, qui n'en est qu'aux premières phases de son développement. On a tendance à généraliser à partir de résultats découlant de recherches effectuées sur des animaux pour avancer des déclarations pleines d'assurance sur le cerveau et

8. Voir infra, 4.4.3.

9. Bien que ces forums aient été organisés avant que le concept de « transdisciplinarité » de Koizumi (voir chapitre 5) ait été adopté comme modèle par ce projet et pour le dialogue qu'il implique, on préférera dans ce texte les termes de « transdisciplinarité » et de « transdisciplinaire » à ceux d'« interdisciplinarité » et d'« interdisciplinaire ».

10. Voir infra, chapitre 5.

11. « J'aimerais qu'il n'y ait pas d'âge entre dix et vingt-trois ans, ou que la jeunesse dorme durant ces années. Car il n'y a rien en ce temps hormis engrosser les filles, bafouer les anciens, voler, se battre [...] qui d'autre que ces cervelles bouillies de dix-neuf et de vingt-deux ans irait chasser par ce temps ? » (N. d. T.)

l'apprentissage humains. Or, il est nécessaire d'être prudent. Il est dans l'intérêt de tous qu'une collaboration s'instaure entre la neuroscience et la psychologie cognitive. Les éducateurs comme les politiques ont tout à gagner d'une alliance élargie entre plusieurs domaines de la recherche scientifique, dont la recherche médicale, et doivent contribuer à la mettre en place. La science de l'apprentissage est nécessairement transdisciplinaire.

Le cerveau adolescent peut être considéré comme un « chantier »¹². L'imagerie du cerveau a révélé que le volume et la myélinisation (un processus de maturation des connexions neurales) continuent de croître durant l'adolescence et même durant la période allant de vingt à trente ans.

Le forum a également enregistré des rapports sur : l'ADHD (syndrome d'hyperactivité et de déficit de l'attention), les effets de certaines drogues sur l'apprentissage, les dommages cérébraux et les capacités mathématiques, l'apprentissage implicite et explicite, les images mentales et la stimulation mentale, l'acquisition de la littérature et autres sujets¹³. Comme pour le précédent forum, les principales conclusions scientifiques du forum de Grenade sont détaillées dans le chapitre 4.

Ont été émises en outre un certain nombre de conclusions plus générales. La première concernait la tension entre l'appétit des éducateurs et des politiques pour de nouvelles découvertes scientifiques et la prudence des scientifiques à l'encontre des hypothèses prématurées sur l'apprentissage humain. La deuxième a été dégagée lors d'un débat amusant sur le fait de savoir si porter des lunettes pendant un examen constituait une tricherie. De toute évidence non. Pourtant, si l'une des principales fonctions de l'éducation est de trier les gens en fonction de leurs capacités et de leurs aptitudes, jusqu'à quel point est-il approprié d'utiliser

12. José-Manuel Rodríguez-Ferrer a proposé une hypothèse durant le Forum de Grenade. Il a suggéré une autre façon de comprendre certaines des difficultés auxquelles les adolescents et les jeunes adultes sont confrontés en liant la maturité psychologique aux mesures de la maturité du cortex préfrontal, sans attribuer les caractéristiques sociales, comportementales et psychologiques des adolescents à un quelconque substrat hormonal. Ses affirmations sont fondées sur des données recueillies par imagerie du cerveau et montrant que le cortex préfrontal connaît une maturation fort lente (voir Rapport de Grenade, site web de l'OCDE, *op. cit.*).

13. « Comment le public doit-il être informé de l'interprétation de ces données ? Que doivent penser les gens des contributions relatives des facteurs génétiques et environnementaux ? En particulier, les politiques devraient être informés des stratégies cognitives et des prothèses technologiques susceptibles de triompher des déficiences en matière d'apprentissage, quelle que soit leur base. Par exemple, si les découvertes relatives au syndrome d'hyperactivité et de déficit de l'attention sont confirmées, elles auront des implications politiques évidentes au niveau de l'intervention psychopharmacologique. » (Jim Swanson durant le Forum de Grenade. Voir le Rapport de Grenade sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*)

les nouvelles découvertes scientifiques pour aider, par exemple, l'apprenant qui lit trop lentement ou celui qui a des difficultés à calculer ? Comme presque tout le monde en a convenu, il est plus important de donner des compétences aux gens que de les trier. Troisièmement, le forum a été fort séduit par l'idée du cerveau adolescent considéré comme un organe immature, sinon incomplet. Concomitante à cette découverte, s'ajoute l'affirmation indéniable selon laquelle il faut aussi « apprendre à apprendre ».

Le forum a conclu que son programme n'avait pas permis de traiter comme elles le méritaient des questions aussi importantes que celles de la différenciation sexuelle, de la culture¹⁴, de l'estime de soi et de l'influence des pairs. Comme à New York, les participants ont discuté de l'émergence d'une nouvelle science de l'apprentissage et confirmé l'idée selon laquelle cinq sphères au moins devraient être impliquées : la neuroscience cognitive, la psychologie, la santé, l'éducation et le politique. Il serait préférable que le modèle d'interaction entre ces différentes sphères soit un rond-point ou une spirale ascendante¹⁵ plutôt qu'une rue à sens unique. L'heure est venue de passer du stade de la communication à celui de la coopération. Par exemple, les éducateurs ont beaucoup d'expérience des problèmes qui se posent dans le cadre de la classe : lesdits problèmes peuvent non seulement indiquer des programmes de recherche pour les scientifiques, mais de plus, des solutions ayant été appliquées avec succès « sur le terrain » peuvent fournir de puissantes hypothèses que l'on pourra formellement tester au laboratoire.

Finalement, le forum a permis de dégager plusieurs défis qui se présentent aux scientifiques et aux éducateurs. Pour favoriser la compréhension par le public de la complexité du cerveau et de l'apprentissage, nous avons un besoin urgent d'un nouveau modèle, supérieur à l'ancien, qui nous aidera à appréhender les relations entre l'inné et l'acquis¹⁶, la plasticité et la périodicité, le potentiel et la capacité, etc. On enregistre également une demande pour passer de systèmes éducatifs « gouvernés par le programme » à des systèmes « gouvernés par la pédagogie ». En matière d'apprentissage, c'est le « comment » qui dicte le « quoi ».

Les participants se sont demandé s'il était toujours sensé de lier dans nos écoles le « tri » à l'acquisition de « compétences ». Peut-être que le moment est venu de créer deux services et deux professions distincts. Certains se sont demandé si le modèle éducatif de l'école et de la classe, dérivé du modèle périmé de l'usine et de la production industrielle datant du XIX^e siècle, pouvait constituer la stratégie centrale apte à élever les jeunes dans les sociétés du XXI^e siècle.

14. Ces deux questions ont par la suite été abordées à Tokyo (voir infra, et le rapport de Tokyo sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*).

15. Voir dans le chapitre 5, le modèle transdisciplinaire de Koizumi.

3.3. Mécanismes du cerveau et apprentissage à l'âge adulte : Forum de Tokyo

« Si jeunesse savait, si vieillesse pouvait... »

Henri Estienne

Le troisième forum s'est déroulé à Tokyo (Japon) les 26 et 27 avril 2001. Bien qu'il ait été conçu pour aborder des questions relatives aux mécanismes du cerveau dans la population adulte prise dans son ensemble, les débats ont tourné pour la plupart autour de la nature du vieillissement du cerveau et du défi représenté par le maintien, voire l'augmentation, des fonctions cognitives au cours du troisième âge. Jusqu'à aujourd'hui, on n'a effectué que peu de recherches sur les besoins d'apprentissage des adultes *vieillissant normalement*. Par exemple, comment prendre en charge des enseignants¹⁷, ou plus généralement des adultes, pour les amener à s'adapter aux nouvelles technologies¹⁸. Le besoin d'une éducation continue pour les adultes est évident, en particulier pour ceux qui ne sont pas de « simples exécutants », surtout lorsqu'on considère les données relatives à la durée de vie limitée des nouvelles découvertes scientifiques (celles-ci ont tendance à ne plus être citées au bout de cinq ans¹⁹). A l'avenir, les adultes n'auront pas seulement davantage de choses à apprendre mais aussi davantage à désap-

16. Durant le Forum de Grenade (voir Rapport de Grenade, site web de l'OCDE, *op. cit.*), Antonio Marín a évoqué la controverse inné/acquis et sa relation avec l'héritabilité de l'intelligence, citant les travaux de Francis Galton étudiant la fréquence des individus éminents parmi les parents d'hommes remarquables. Il a également abordé les effets corrupteurs du mouvement eugéniste sur la question de l'héritabilité de l'intelligence. Il a souligné non seulement le rôle de la génétique mais aussi celui des facteurs environnementaux : les performances intellectuelles découlent de plusieurs années d'apprentissage impliquant l'influence des parents, des professeurs et d'autres individus (notamment dans le cas d'un apprentissage influencé par le groupe des pairs) : « Les gènes déterminant un trait mesurable ne peuvent pas être identifiés et il est impossible de faire une inférence quelconque pour ce qui est de leur nombre, de leur mode de transmission ou de leur mode d'action. » Il croit cependant que nous découvrirons un jour que la variabilité génétique des facteurs biologiques influant sur la capacité d'apprendre, ainsi que sur d'autres aspects du comportement humain, sera aussi importante que l'influence de la variabilité génétique sur la santé humaine. Des progrès sont déjà perceptibles dans ce domaine en ce qui concerne les analyses expérimentales pratiquées sur les animaux. D'un autre côté, chez les humains, le Projet Génome permet la découverte d'une grande variance génétique. Antonio Marín a conclu son discours en mettant son auditoire en garde contre un déterminisme biologique naïf, où les individus seraient considérés comme limités par leurs gènes.

17. Eric Hamilton, lors du Forum de Tokyo (voir le Rapport de Tokyo sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*).

18. Wolfgang Schinagl, lors du Forum de Tokyo (voir le Rapport de Tokyo sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*).

19. Kenneth Whang, lors du Forum de Tokyo (voir le Rapport de Tokyo sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*).

prendre²⁰. Bien que la recherche dans ce domaine n'en soit qu'à ses premiers balbutiements et que l'on ne comprenne que peu de chose sur le processus du vieillissement, il apparaît qu'il existe un réel espoir de retarder l'apparition ou l'accélération des maladies neurodégénératives de la vieillesse en les diagnostiquant à temps et en intervenant de façon appropriée. L'apprentissage tout au long de la vie apparaît comme une stratégie particulièrement efficace pour lutter contre la sénilité et des affections telles que la maladie d'Alzheimer²¹.

Le forum a enregistré des rapports sur : plusieurs désordres associés au vieillissement, des stratégies conçues pour freiner le déclin et augmenter les capacités des personnes atteintes, la preuve que la plasticité cérébrale dure toute la vie, la relation entre santé physique et santé mentale, les problèmes de mémoire et d'attention, les questions de méthodologie, de culture²², de différenciation sexuelle²³ et de politique, et leurs relations avec les questions de recherche et de santé. Les principales conclusions scientifiques de ce forum sont, comme précédemment, exposées plus en détail dans le chapitre 4.

Même si l'éventail des thèmes abordés était très large (des gènes aux compétences), on a remarqué la place insuffisante accordée aux questions de dispositions mentales – le développement des attitudes et des valeurs, l'aspect émotionnel de l'expérience et de l'apprentissage humains. On constate un vif désir de passer de la conversation à la coopération et de promouvoir un nouveau programme de recherche transdisciplinaire. Il convient certes d'être prudent et de ne pas

-
20. Durant le Forum de Tokyo les présentations de Bruce McCandliss et Andrea Volfova ont montré que la plasticité était une arme à double tranchant et pouvait, dans certains cas, interférer avec l'apprentissage (voir le Rapport de Tokyo sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*).
 21. Mais nous ne disposons toujours pas d'une méthode fiable pour détecter la maladie d'Alzheimer lors de sa phase préclinique, comme l'ont rapporté Akihiko Takashima et Raja Parasuraman lors du Forum de Tokyo (voir le Rapport de Tokyo sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*).
 22. L'influence de la culture est visible aux niveaux macroscopique et microscopique. Au niveau macroscopique, la question de la culture peut aider à orienter le programme de recherche et à se demander si la neuroscience cognitive devrait rechercher des processus universels ou si les études du cerveau et de l'apprentissage sont d'essence culturelle et doivent par conséquent se dérouler *in situ* (Shinobu Kitayama lors du Forum de Tokyo ; voir le Rapport de Tokyo sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*). A un niveau plus détaillé, on peut montrer que les différentes orthographes de différents langages ont un impact sur l'apparition des difficultés de lecture, en particulier la dyslexie, avec des conséquences importantes sur la façon dont on pourrait étudier et expliquer des phénomènes de ce type.
 23. Les résultats associés aux différenciations sexuelles sont équivoques, mais on constate l'émergence de données soutenant le concept de cerveau « masculin » et « féminin » (comprenant quelques suggestions en matière d'apprentissage), ainsi que l'a suggéré Yasumasa Arai lors du Forum de Tokyo (voir le Rapport de Tokyo sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*).

s'attendre à des miracles immédiats, mais on enregistre un réel espoir de réaliser de substantielles avancées à long terme.

On a reconnu que l'émergence d'une nouvelle science de l'apprentissage posait déjà des questions d'ordre politique portant sur l'avancement de la science, la réforme de l'éducation et le développement de la santé publique. Mais celles-ci ne peuvent être traitées efficacement si on les aborde de façon isolée. Une approche holistique est nécessaire... et il ne sera pas facile de la mettre en place.

Outre l'espoir réel de parvenir à de meilleurs diagnostics, à un retardement et une remédiation de la sénilité, le forum a identifié cinq champs d'étude pour un futur travail transdisciplinaire : la lecture, les mathématiques, la différenciation sexuelle, la mesure des capacités et le développement d'un nouveau métier d'enseignant. Le tronc commun de ces études, c'est que le concept d'émotion nous fournira peut-être la clé pour comprendre comment élever au mieux nos enfants et prendre soin de nos aînés au ^{xxi}^e siècle.

Une approche neuroscientifique de l'apprentissage

Les découvertes stimulantes de la neuroscience cognitive et les développements continus de la psychologie cognitive commencent à fournir des réflexions intéressantes sur les mécanismes d'apprentissage du cerveau. L'histoire nous enseigne que la théorie et la méthode ont séparé ces deux disciplines. Cependant, le développement de nouvelles technologies d'imagerie du cerveau a permis l'émergence d'une nouvelle science les combinant : la neuroscience cognitive. Les neuroscientifiques cognitifs accordent de plus en plus d'attention à l'éducation considérée en tant que champ d'application des connaissances neuroscientifiques et en tant que source de questions importantes pour la recherche.

Dans ce chapitre sont résumées les recherches neuroscientifiques initialement présentées durant les trois forums internationaux dont il a été question plus haut. Bien que nombre de sujets différents y aient été discutés, on rapportera ici ceux dont les applications potentielles ont été jugées d'un grand intérêt et qui ont apporté des informations significatives en matière de définition de programmes, de pratiques de l'enseignement et de styles d'apprentissage. Parmi eux figurent : la littératie et la numératie, le rôle de l'émotionnel dans l'apprentissage et l'apprentissage tout au long de la vie. Mais avant de nous intéresser à la substance proprement dite, il semble nécessaire de présenter brièvement quelques principes de base sur l'architecture du cerveau, ainsi que les instruments de recherche (la technologie) et la méthodologie utilisés aujourd'hui par la neuroscience cognitive. A la fin de ce chapitre, on étudiera les « neuromythologies » fondées sur les erreurs de conception et/ou l'incompréhension populaires vis-à-vis de la science.

4.1. Principes de l'organisation du cerveau et du traitement neural de l'information

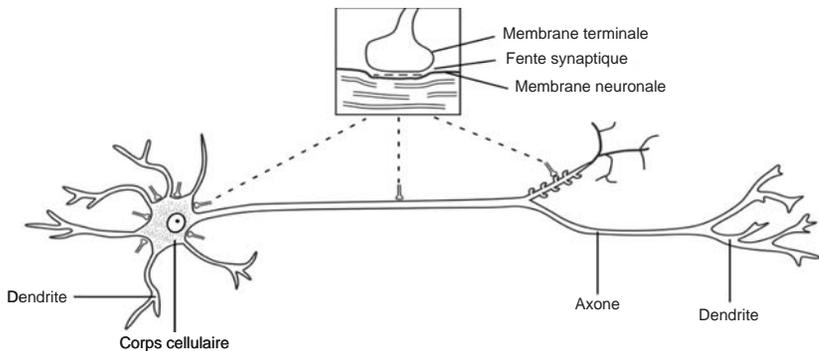
4.1.1. Neurones, états mentaux, connaissance et apprentissage

Le composant fondamental du traitement de l'information dans le cerveau est le neurone, une cellule capable d'accumuler et de transmettre l'activité

électrique. Un cerveau humain contient environ 100 milliards de neurones, dont chacun peut être connecté avec des milliers de ses semblables, ce qui permet aux signaux d'information de circuler massivement et dans plusieurs directions à la fois.

A tout instant, un très grand nombre de neurones sont simultanément actifs, et chacune de ces « structures d'activité » correspond à un état mental déterminé. A mesure que l'électricité circule à travers les connexions entre neurones (ces connexions sont appelées synapses), un autre ensemble de neurones est activé et le cerveau passe à un autre état mental. Contrairement à ce qui se passe avec les bits informatiques, qui ne connaissent que les états *on* et *off* (1 et 0), le niveau d'activation d'un neurone est une variable continue, ce qui permet des variations et des nuances incroyablement subtiles des états mentaux (graphique 1).

Graphique 1. Schéma des différents types de synapse sur un neurone



Note : La synapse comprend la membrane neuronale, la membrane terminale et la fente synaptique entre ces deux structures.

Source : Jean-Pierre Souteyrand pour l'OCDE.

Si les états mentaux sont produits par des structures d'activité neurale, alors la « connaissance », définie comme ce qui entraîne le flux cognitif d'un état mental à un autre, doit être encodée dans les connexions neurales. Cela signifie que l'apprentissage est le fait du développement de nouvelles synapses ou du renforcement ou de l'affaiblissement de synapses existantes. En fait, on a de bonnes raisons de penser que les deux mécanismes coexistent, le premier étant prédominant dans les cerveaux les plus jeunes et le second dans les cerveaux les plus mûrs. Il importe aussi de remarquer que, de ces deux faits, l'acquisition de nouvelles connaissances sur le long terme implique pour le cerveau une modification de son anatomie.

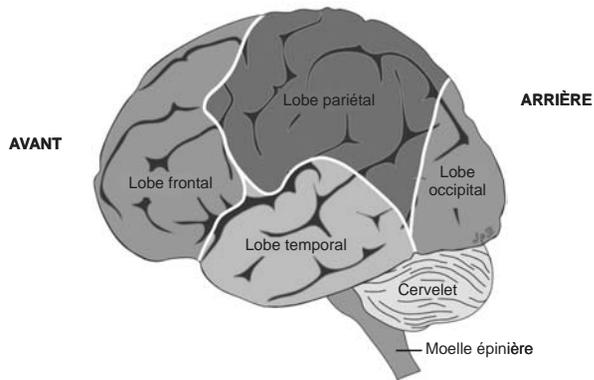
4.1.2. Organisation fonctionnelle

En matière de traitement de l'information, différentes parties du cerveau accomplissent différentes tâches. Ce principe de localisation fonctionnelle se vérifie à presque tous les niveaux de l'organisation cérébrale. Le cerveau est un ensemble de structures situé au sommet de la moelle épinière. Les structures inférieures sont affectées à la coordination de fonctions corporelles basiques (la respiration, la digestion, les mouvements volontaires, etc.), à l'expression des pulsions basiques (la faim, l'excitation sexuelle, etc.) et au traitement des émotions primaires (la peur, etc.). Les structures supérieures, qui ont évolué plus tard et par-dessus les structures inférieures, sont plus développées chez l'être humain que chez tout autre animal. La plus récente d'entre elles en termes d'évolution, le néocortex, est une mince couche de neurones recouvrant la surface des circonvolutions cérébrales. C'est le siège de la pensée, et c'est là que se trouvent les trois quarts des neurones du cerveau humain.

Le néocortex se divise en deux hémisphères, le gauche et le droit. Entre les deux, un ruban de fibres neurales baptisé « corps calleux » sert de passerelle, permettant l'échange d'information entre les deux hémisphères. Chacun de ceux-ci est divisé en lobes, lesquels sont spécialisés et accomplissent des tâches différentes. Le lobe frontal (situé devant) se charge de l'action et de la planification. Le lobe temporal (sur le côté) se charge de l'audition, de la mémoire et de la reconnaissance des objets. Le lobe pariétal (en haut du crâne) se charge des sensations et du traitement de l'espace. Le lobe occipital (à l'arrière) se charge de la vision. Cette description est bien entendu fort grossière, chaque lobe étant subdivisé en réseaux de neurones imbriqués les uns dans les autres et affectés au traitement d'informations précises. Toute compétence complexe, comme l'addition ou la reconnaissance des mots, dépend de l'action coordonnée de plusieurs réseaux neuraux spécialisés localisés dans différentes parties du cerveau. Tout dégât infligé à l'un de ces réseaux ou aux connexions entre eux sera préjudiciable à la compétence qu'ils déterminent, et à chaque anomalie possible correspond un déficit bien précis (graphique 2).

Finalement, il convient de remarquer que deux cerveaux ne sont jamais parfaitement identiques. On rencontre des différences individuelles significatives en ce qui concerne la taille globale, mais aussi, ce qui est bien plus important, en ce qui concerne le nombre de neurones affectés à l'exécution de fonctions particulières, et même pour ce qui est de l'organisation et la localisation de modules fonctionnels. Comme la plupart des neurones sont interchangeable sur le plan fonctionnel, un même neurone peut être affecté à une tâche donnée, puis par la suite à une autre, ce qui signifie que la nature, la culture et l'apprentissage font inévitablement de chaque cerveau un cerveau unique, un chantier qui se prolonge durant toute la vie.

Graphique 2. Principales régions du cortex cérébral



Source : Jean-Pierre Souteyrand pour l'OCDE.

4.2. Outils de recherche, méthodologies et implications éducatives : l'impact de l'imagerie cérébrale

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

La TEP et l'IRMf fournissant une résolution spatiale au millimètre près mais une résolution temporelle d'une précision de plusieurs secondes seulement, ces techniques sont utiles à la mesure des changements de l'activité cérébrale durant des phases d'activité cognitive relativement prolongées. Une autre technique, la

stimulation magnétique transcrânienne (SMT), est utilisée pour créer une disruption temporaire (quelques secondes) des fonctions cérébrales afin d'aider à localiser l'activité cérébrale dans une région circonscrite du cerveau. Néanmoins, des processus tels que celui du calcul mathématique ou de la lecture impliquent plusieurs autres processus se produisant en l'espace de quelques centaines de millisecondes. Pour cette raison, la TEP et l'IRMf sont capables de localiser des régions du cerveau impliquées dans la lecture ou l'activité mathématique, mais ne peuvent mettre en lumière les interactions dynamiques entre processus mentaux durant ces activités.

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

Parmi les nouvelles méthodes d'imagerie non invasive des fonctions cérébrales figure la topographie optique (OT pour *Optical Topography*), développée à partir de la spectroscopie en proche infrarouge (NIRS pour *Near-Infrared Spectroscopy*). Contrairement aux méthodologies conventionnelles, elle peut être utilisée pour des études de comportement, les fibres optiques flexibles permettant au sujet de conserver sa liberté de mouvement, de sorte qu'on peut construire un système aussi léger que compact. Cette méthode peut être appliquée à l'enfant comme à l'adulte. L'observation du développement lors du premier âge sur une durée d'un mois fournira des informations sur l'architecture du système des processus neuraux dans le cerveau. La topographie optique est susceptible d'avoir des répercussions très importantes sur l'éducation et l'apprentissage¹.

Pour procéder à des recherches efficaces dans le domaine de la neuroscience cognitive, il est nécessaire de combiner ces techniques afin de fournir des informations sur la localisation spatiale et les changements temporels de l'activité cérébrale associée à l'apprentissage. En opérant la liaison avec les processus de l'apprentissage, il est important pour le neuroscientifique de disposer d'opérations

1. Koizumi, H. *et al.* (1999), « Higher-order brain function analysis by trans-cranial dynamic near-infrared spectroscopy imaging », *Journal Biomed. Opt.*, vol. 4, couv. et pp. 403-413.

et d'analyses cognitives fines afin de tirer au maximum parti des outils d'imagerie cérébrale. Parmi les disciplines associées à l'apprentissage, celles qui fournissent le plus d'analyses fines du type recherché sont les études en science cognitive et en psychologie cognitive et, à ce jour, les études sur les processus visuels, la mémoire, le langage, la lecture, les mathématiques, et la résolution de problèmes.

Parmi les autres options de recherche offertes aux neuroscientifiques, on trouve l'examen du cerveau lors d'une autopsie (pour mesurer la densité synaptique, par exemple) et, dans quelques rares cas, le travail auprès de certaines populations médicales, tels que les épileptiques par exemple (pour identifier les processus cérébraux auprès de personnes victimes de lésions ou de dommages cérébraux dus à une maladie ou à un traumatisme²). Certains neuroscientifiques étudient les enfants souffrant du syndrome d'alcoolisme fœtal ou du syndrome du chromosome X fragile, d'autres la dégénérescence cognitive caractéristique du déclenchement de la maladie d'Alzheimer ou de la dépression sénile. D'autres encore étudient le cerveau des primates ou d'autres animaux, tels que les rats et les souris, afin de mieux comprendre le fonctionnement du cerveau humain. Par le passé, avant l'avènement des techniques d'imagerie cérébrale, il était difficile de collecter des informations d'essence neuroscientifique au sein de la partie saine de la population.

Une autre limitation tient au fait qu'il n'existe pas un seul ensemble bien compris de tâches d'apprentissage ayant jamais été appliqué à des populations

-
2. Luis Fuentes a évoqué durant le Forum de Grenade (voir Rapport de Grenade, site web de l'OCDE, *op. cit.*) le problème de la corrélation entre les théories neurales de l'esprit et les fonctions cognitives du cerveau, ainsi qu'une approche de l'étude de l'apprentissage insistant sur la décomposition des tâches et encourageant l'étude de tâches cognitives toutes simples dont on pense qu'elles impliquent l'orchestration d'opérations élémentaires bien localisées dans le cerveau. Durant les 40 dernières années, on a utilisé ces méthodes pour montrer comment les gens lisent, écrivent, visualisent, reconnaissent les objets, etc. L'étude de patients souffrant de lésions cérébrales tend à confirmer l'idée selon laquelle différentes parties du cerveau effectuent différentes opérations. Par exemple, les patients atteints d'agnosie visuelle ont des difficultés à reconnaître les visages non altérés alors que leurs capacités visuelles sont par ailleurs intactes. Certains patients reconnaissent les exemples d'une catégorie sémantique bien précise sans en reconnaître d'autres. Luis Fuentes est d'avis que cette accumulation de preuves exige que les systèmes cognitifs soient découplés en opérations élémentaires. « Les études effectuées sur les primates, puis sur les patients affectés par des lésions du cortex pariétal, démontrent que la conscience dépend de l'orchestration de trois opérations différentes engagées dans l'altération de l'attention : le désengagement, le mouvement et l'engagement de l'attention, ces trois opérations étant effectuées respectivement par le lobe pariétal postérieur, le colliculus supérieur et le noyau du pulvinar du thalamus. Lorsqu'un patient présente une lésion dans l'une de ces parties du cerveau, il néglige les stimuli apparaissant du côté opposé à celui de la lésion. En d'autres termes, il perd conscience des informations présentées à cette partie de l'espace visuel en dépit [du fait] qu'il n'a aucun autre problème visuel. »

humaines normales sur toute la durée d'une vie. Un travail considérable a été accompli en ce qui concerne l'apprentissage lors de la petite enfance, beaucoup moins pour ce qui est de l'apprentissage pendant l'adolescence et encore moins à l'âge adulte. Sans schéma de référence du développement cognitif normal, il est difficile de comprendre une éventuelle pathologie de l'apprentissage.

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

Les méthodes de recherche actuelles en matière de neuroscience cognitive limitent nécessairement les types de problèmes étudiés. Par exemple, des questions comme : « Comment les individus apprennent-ils à reconnaître les mots écrits ? » sont plus ouvertes au traitement que « Comment les individus reconnaissent-ils les thèmes dans un texte ? », parce que l'objet de la première question mène à des études où les stimuli et les réponses sont plus faciles à contrôler et à contraster avec une autre tâche. En conséquence, le processus devient compréhensible en référence à des modèles cognitifs connus. L'objet de la seconde question implique trop de facteurs impossibles à séparer avec succès durant la phase expérimentale. Pour cette raison, les tâches éducatives valorisées par la société resteront toujours plus complexes que celles qui conviendraient sans doute à la neuroscience cognitive³.

Les chercheurs soulignent aussi la nécessité méthodologique de tests d'apprentissage non seulement aussitôt après une intervention éducative (ce qui est typique des habitudes actuelles), mais aussi après un certain laps de temps, en particulier dans le cas d'une comparaison relative à l'âge⁴. Dans le cadre de telles études diachroniques, les projets de recherche quittent l'enceinte du laboratoire pour s'intéresser au vivant en situation réelle, ce qui induit une incertitude quant aux délais de disponibilité des résultats pour une interprétation dans un but éducatif.

3. Barry McGaw, lors du Forum de Tokyo (voir le Rapport de Tokyo sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*).

4. Raja Parasuraman et Art Kramer lors du Forum de Tokyo (voir le Rapport de Tokyo sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*).

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

- Quelle est l'étude originelle et quel est son but principal ?
- L'étude est-elle isolée ou fait-elle partie d'une série ?
- L'étude est-elle censée avoir des conséquences pour l'éducation ?
- Quelle est la population utilisée⁵ ?

On a récemment souligné⁶ l'importance pour les progrès de la science du développement d'une communauté informée et critique (qui parviendrait, au bout d'un certain temps, à un consensus sur les découvertes scientifiques ou prétendues telles). Le développement d'une telle communauté (composée d'éducateurs, de psychologues cognitifs, de neuroscientifiques cognitifs, de politiques, etc.) autour de la science de l'apprentissage en émergence est d'une importance cruciale. Si l'on souhaite que cette communauté se développe, il est nécessaire de dégager un jugement critique approprié en matière d'affirmations relatives à l'apprentissage et à l'éducation et ayant trait au cerveau. Intégrés à cette communauté, les décideurs politiques en matière éducative définiront avec plus de succès des programmes d'études fondés sur une connaissance des mécanismes cérébraux s'ils reconnaissent les points suivants :

- a) la popularité d'une affirmation neuroscientifique n'implique pas nécessairement sa validité ;
- b) la méthodologie et la technologie de la neuroscience cognitive sont encore en chantier ;
- c) l'apprentissage n'est ni entièrement conscient ni entièrement volontaire ;
- d) le cerveau subit des changements et un développement naturels tout au long de la vie ;
- e) une grande partie des recherches en matière de neuroscience a été consacrée à la compréhension ou à l'exploration des maladies et des pathologies du cerveau ;
- f) pour être satisfaisante, une science de l'apprentissage doit considérer des facteurs émotionnels et sociaux en plus des facteurs cognitifs ;
- g) bien que la science de l'apprentissage et l'éducation fondée sur le cerveau n'en soient qu'à leurs débuts, d'importants progrès sont déjà acquis.

5. Que l'on ait utilisé des primates humains ou non humains, il est de la plus haute importance de questionner le caractère représentatif de l'échantillon et de demander quelle est la population concernée par les résultats.

6. Dans un rapport de l'US *National Research Council* sur « La démarche scientifique dans l'éducation » (www.nap.edu).

Il existe quantité de données de nature psychologique (en majorité extraites d'études bien conçues en psychologie cognitive) à partir desquelles tirer des leçons pour l'apprentissage et l'enseignement⁷. Les données provenant de la neuroscience cognitive peuvent aider à affiner certaines hypothèses, à lever l'ambiguïté de certaines informations et à suggérer des directions pour la recherche⁸. En d'autres termes, l'une des contributions majeures de la neuroscience cognitive à la science émergente de l'apprentissage serait de doter cette discipline nouvelle d'un scepticisme scientifique, qui serait appliqué aux affirmations péremptoires et aux plaidoyers concernant l'amélioration de l'enseignement et de l'apprentissage, plaidoyers dont les fondements ne sont pas toujours vérifiés.

Mais le scepticisme qui reste de mise face à certaines affirmations relatives aux fondements neuroscientifiques de l'apprentissage ne doit pas servir de terreau au cynisme lorsqu'il est question des bénéfiques potentiels que l'éducation peut retirer de la neuroscience cognitive. En fait, les données émergentes sur la plasticité du cerveau sont encourageantes. Toutefois, il est peu probable que les nouvelles connaissances sur l'apprentissage viennent des seules études neuroscientifiques. Les progrès de la technologie de l'imagerie du cerveau et la sophistication accrue des protocoles de l'apprentissage nous permettront sans doute bientôt d'apporter à cette question un nouvel éclairage.

4.3. Littératie et numératie

4.3.1. Apprentissage langagier

Lors du forum de New York, on a englobé dans la notion de littératie à la fois la lecture et l'apprentissage du langage, car il s'agit de deux domaines où la neuro-

7. Comme l'a souligné Bruer durant le Forum de Grenade (voir le Rapport de Grenade sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*).

8. Pio Tudela, en évoquant le débat sur l'existence et la nature de l'apprentissage implicite ou explicite et ses rapports avec l'instruction lors du Forum de Grenade (voir Rapport de Grenade, site web de l'OCDE, *op. cit.*), a illustré la façon dont les recherches en neuroscience cognitive pourraient être utilisées pour clarifier et expliciter le débat entre psychologues cognitifs sur l'existence et les caractéristiques de systèmes d'apprentissage humains dissociables. Lorsqu'une personne apprend quelque chose sur l'environnement sans l'avoir voulu, et l'apprend d'une façon telle que les connaissances acquises sont difficiles à exprimer, ce processus est souvent baptisé « apprentissage implicite ». Par contraste, un apprentissage au cours duquel on prête volontairement attention à l'encodage des connaissances et au cours duquel la récupération de celles-ci est plus consciente est baptisé « apprentissage explicite ». Pio Tudela a montré que les résultats des études neuropsychologiques (recherches sur les patients amnésiques, sur les victimes des maladies de Parkinson et de Huntington) et les expériences pratiquées à partir des techniques d'imagerie indiquaient que les apprentissages implicite et explicite mettaient en œuvre des circuits neuraux différents.

science cognitive peut apporter à la fois un point de vue inédit et des pistes pour la résolution de problèmes tels que la dyslexie et l'apprentissage d'une deuxième langue. Helen Neville a précisé que l'apprentissage d'une deuxième langue impliquait compréhension et production, et que, par conséquent, la maîtrise de différents processus lui était nécessaire. Deux de ces processus⁹, le traitement de la grammaire et le traitement sémantique, s'appuient sur des systèmes neuraux différents du cerveau. Le traitement de la grammaire met en œuvre des régions frontales de l'hémisphère gauche, tandis que le traitement sémantique (qui comprend l'acquisition du vocabulaire) active les régions latérales postérieures des hémisphère droit et gauche. Le langage, en règle générale, n'est pas traité par une seule région du cerveau mais par différents systèmes neuraux localisés dans tout le cerveau. Ce qui est particulièrement intéressant dans le cadre d'une application éducative : l'identification des régions du cerveau utilisées pour le traitement du langage donne une idée de l'impact sur ces divers sous-systèmes d'une exposition retardée à une deuxième langue¹⁰.

Des recherches ont montré que plus on apprend tardivement la grammaire, plus le cerveau devenait actif (un surcroît d'activité cérébrale signifie le plus souvent que le cerveau éprouve des difficultés à exécuter la tâche qu'on lui a confiée : par exemple, un lecteur confirmé présentera une activité cérébrale moins importante qu'un lecteur débutant lors d'une expérience de reconnaissance de mots). Au lieu de traiter l'information grammaticale avec le seul hémisphère gauche, les apprenants tardifs utilisent les deux hémisphères. Ce changement dans l'activation cérébrale montre qu'une exposition retardée au langage conduit le cerveau à utiliser une stratégie différente pour le traitement de la grammaire. Des études conçues pour confirmer ce point ont en outre montré que des sujets présentant cette activation bilatérale du cerveau rencontraient davantage de difficultés dans l'utilisation correcte de la grammaire. En d'autres termes, l'activation bilatérale du cerveau, dans le cas présent, indique probablement une plus grande difficulté d'apprentissage (ce qui est confirmé par l'expérience de tous les jours).

En ce qui concerne l'apprentissage d'une deuxième langue, plus tôt l'enfant est exposé à celle-ci, plus il en maîtrisera la grammaire avec rapidité et facilité. L'apprentissage sémantique, toutefois, peut se poursuivre (et se poursuit de fait) durant toute la vie sans être limité dans le temps. La recherche montre que l'apprentissage de la grammaire est un processus dépendant de l'expérience, qui correspond à une

9. On ne cite ici que deux processus ; le langage, toutefois, en implique bien davantage, ainsi que l'a souligné Neville, parmi lesquels la compréhension du contexte et de l'intention, la prosodie et la phonologie (voir le rapport de New York sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*).

10. Un retard peut également intervenir dans l'apprentissage de la langue maternelle, dans des cas extrêmes où personne ne s'adresse directement à l'enfant, ou lorsque sa production verbale est ignorée.

période « sensible ». Cela dit, pour l'apprenant tardif, il est seulement plus difficile, mais pas impossible d'acquérir maîtrise et efficacité, l'expérience n'ayant pas été reçue au cours d'une période plus favorable, biologiquement définie.

Conséquence évidente de la recherche dans ce domaine pour ce qui est de la politique éducative : il est extrêmement probable que l'apprentissage d'une deuxième langue (dont la grammaire diffère notablement de celle de la langue maternelle du sujet, par exemple l'apprentissage de l'anglais pour un jeune francophone) après l'âge de treize ans résultera en une maîtrise limitée de la grammaire de cette langue. Cette constatation va à l'encontre des pratiques éducatives dans nombre de pays, où l'on débute l'apprentissage d'une deuxième langue autour de l'âge de treize ans. Autre conséquence forte au niveau de la politique éducative : s'il est possible d'identifier le ou les sous-systèmes du cerveau qui sont sujets à des contraintes liées aux périodes sensibles et ceux qui ne le sont pas, le développement et la mise en place de programmes d'éducation et de rééducation pourraient devenir un objectif aux yeux des politiques chargés de l'éducation. C'est une chose que de savoir, globalement, qu'il est plus difficile d'apprendre une langue étrangère quand on a atteint l'âge adulte, mais c'en est une autre que de le déterminer d'une façon telle qu'il devient possible de fixer à partir de là une politique éducative. Toute décision politique concernant l'apprentissage d'une deuxième langue et tout type de remédiation (conçue par exemple pour améliorer les conditions de l'apprentissage d'une deuxième langue par les adultes) devra prendre en compte, si elle veut être efficace, la façon dont le cerveau traite le langage.

Comme cela se produit souvent dans le monde scientifique, les hypothèses sont parfois contestées, et on a récemment constaté ce phénomène dans le cadre de l'apprentissage d'une deuxième langue par des adultes. On sait que les personnes dont la langue maternelle est le japonais rencontrent des difficultés considérables pour distinguer les sons anglais /r/ et /l/ (par exemple dans les mots « load » [chargement] et « road » [route]). Le fait que ces difficultés persistent, même après plusieurs années d'immersion dans un pays de langue anglaise, était l'hypothèse selon laquelle il doit exister une « période sensible » pour l'acquisition des contrastes phonétiques¹¹. Le problème de cette hypothèse, selon Bruce McCandliss, c'est qu'elle pourrait conduire à l'inférence erronée selon laquelle les déficits d'apprentissage deviennent permanents une fois passée la période « sensible ». Pour démontrer que tel n'était pas le cas, et qu'un adulte pouvait apprendre quelque chose de nouveau dans ce domaine également, on a mené des recherches durant lesquelles les sons /r/ et /l/ étaient altérés à tel point

11. Durant le Forum de New York, Helen Neville a également défendu l'existence d'une « période sensible » pour la phonologie (le processus par lequel les sons du langage sont perçus, produits et combinés) : « Quand vous entendez quelqu'un parler votre langue avec un accent étranger, vous pouvez être sûr qu'il [ou elle] l'a apprise après l'âge de 12 ans » (voir le Rapport de New York sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*).

que des locuteurs japonais parvenaient à les percevoir comme différents. À l'issue d'un apprentissage à court terme, les sujets ont réussi à maintenir cette distinction en écoutant un discours non altéré. Des données de neuro-imagerie complémentaires tendent à montrer que des apprentissages de ce type influent sur les mêmes régions corticales que celles qui sont mises en œuvre dans la perception de la langue maternelle.

4.3.2. *Compétences de lecture*

Lorsque les enfants arrivent à l'école entre quatre et sept ans, ils sont déjà experts en matière de reconnaissance visuelle des objets, et de conversion des phonèmes en représentations du langage. Ils disposent pour ces compétences de connexions neurales spécialisées qui sont génétiquement programmées. En outre, ils ont une maîtrise totale de la syntaxe et de la compréhension des phrases, ainsi que des contextes complexes de ces mêmes phrases. Passer de l'apprentissage de l'articulation des mots à la reconnaissance de ces mêmes mots écrits, c'est-à-dire apprendre à lire, déclenche chez eux l'activation de nouveaux mécanismes cérébraux.

C'est une découverte importante pour l'éducation ; elle pourrait avoir des implications importantes pour les interventions visant les personnes, jeunes ou adultes, qui éprouvent des difficultés à reconnaître des mots. En règle générale, lorsque des enfants d'âge scolaire ne maîtrisent pas le processus de la lecture, on les considère comme atteints d'un trouble baptisé dyslexie. Une région du cerveau au moins semble cruciale dans le repérage de la personne dyslexique. Cette région, le gyrus temporal supérieur gauche, est impliquée dans le traitement de la structure sonore des mots au niveau des phonèmes. Les chercheurs ont découvert que des enfants de dix ans affectés de dyslexie n'activaient pas normalement cette région du cerveau lors de la réalisation de tâches associées à la lecture et aux compétences phonologiques. Au lieu de cela, ces lecteurs montraient une quantité d'activité supérieure à la normale dans la région frontale de leur cerveau, ce qui pourrait correspondre à des tentatives de compensation du déficit. Grâce à de nouvelles études sur la dyslexie, les neuroscientifiques comme les éducateurs commencent à comprendre pourquoi des enfants d'une intelligence jugée normale ne savent toujours pas lire, ou du moins éprouvent de grandes difficultés lors de l'apprentissage de la lecture.

Lorsqu'on découvre qu'une difficulté d'apprentissage est due à un « problème cérébral », on est d'abord tenté de la croire irrémédiable par des moyens purement éducatifs. Mais on peut aussi retourner ce raisonnement et considérer que lorsque les outils de la neuroscience cognitive permettent de décomposer une compétence en une série d'étapes de traitement et de modules fonctionnels distincts, il devient possible de concevoir des programmes de remédiation efficaces. C'est précisément ce qu'ont fait Bruce McCandliss et Isabelle

Beck dans le cas de la dyslexie, s'appuyant sur les composants intacts de la capacité de lecture chez les enfants dyslexiques pour développer une nouvelle méthode d'enseignement de la prononciation des mots. Bien entendu, une telle compréhension de la décomposition d'une compétence en processus cognitifs distincts peut également permettre de développer de meilleures méthodes d'enseignement destinées aux enfants ne souffrant pas de dyslexie.

En utilisant leur méthode de « construction des mots », McCandliss et Beck ont montré que les enfants dyslexiques sont capables d'apprendre à lire. Aider des enfants à généraliser à partir de leur expérience de la lecture les rend capables de transférer sur de nouveaux mots ce qu'ils ont déjà appris sur des mots connus. Ces compétences, parmi lesquelles figurent le décodage alphabétique et la construction de mots, permettent à des enfants en difficulté d'apprendre à prononcer un nombre sans cesse croissant de nouveaux mots. Cette méthode leur apprend qu'on peut construire une grande quantité de mots à partir d'un petit ensemble de lettres. Comme nombre d'enfants d'âge scolaire ont des difficultés de lecture, s'atteler à ce problème permet à cette population d'apprenants de participer à la forme d'échange linguistique la plus fondamentale qui soit et diminue le risque de leur marginalisation. D'autres chercheurs, notamment Paula Tallal et Michael Merzenich, ont obtenu des résultats semblables avec une technique différente. Bien que ces résultats soient quelque peu controversés, leur méthode semble bel et bien en mesure d'aider au moins certains enfants. Le plus important, toutefois, n'est pas de déterminer si telle méthode est plus efficace que telle autre, mais de souligner le fait qu'il existe des outils théoriques et méthodologiques permettant de s'attaquer au problème, et que des progrès visibles sont constatés. Beaucoup, à l'image d'Emile Servan-Schreiber, prédisent que l'étude et le traitement de la dyslexie déboucheront dans un avenir relativement proche sur l'une des réussites les plus éclatantes de la neuroscience cognitive.

4.3.3. *Compétences mathématiques*

La pensée mathématique, activité englobant la manipulation des nombres, est presque toujours difficile pour les enfants qui arrivent à l'école. Cependant, selon Stanislas Dehaene, les très jeunes enfants ont un sens inné des nombres, constituant une théorie élémentaire des nombres. La partie du cerveau responsable de cette capacité, le sillon intrapariétal, se spécialise dans la représentation de nombres en tant que quantités et permet aux très jeunes enfants de comprendre la différence entre « beaucoup » et « un peu ». Apprendre les mathématiques à l'école encourage les enfants à dépasser leurs talents innés pour l'approximation, à faire la distinction entre des nombres différents et à effectuer des manipulations et des opérations arithmétiques.

De récentes recherches neuroscientifiques en matière d'apprentissage des mathématiques ont montré que le cerveau mettait en œuvre différentes régions pour

accomplir des tâches mathématiques différentes¹². Le modèle du Triple Code¹³ suppose que pour trois manipulations arithmétiques de base, trois zones différentes du cerveau sont mises en œuvre. Lorsque le sujet voit un nombre, par exemple « 3 », c'est le gyrus fusiforme qui est activé. Lorsqu'il entend ou lit le mot signifiant ce nombre, « trois », c'est la zone périsylvienne qui est active, et lorsqu'il comprend un nombre en tant que quantité, par exemple : « 3 est plus grand que 1 », ce sont les lobes interpariétaux qui interviennent. Grâce à ces recherches, scientifiques et éducateurs ont pu constater que les hémisphères du cerveau travaillaient ensemble plutôt que séparément¹⁴. Cependant, une lésion cérébrale, ou tout traumatisme entraînant une désorganisation des réseaux cérébraux, peut produire un désordre connu sous le nom d'acalculie ou dyscalculie (l'incapacité de calculer), les zones du cerveau citées ci-dessus n'étant pas activées normalement. Plus précisément, les enfants et les adultes souffrant de ce trouble sont incapables de comprendre la quantité signifiée par un nombre. Par exemple, ils ne parviendront pas à effectuer des opérations aussi simples que « 3 moins 1 », ni à déterminer quel est le nombre compris entre 2 et 4. En d'autres termes, ils auront perdu le concept spatial de quantité.

Outre les lésions cérébrales ou les désordres neurologiques, les chercheurs supposent l'existence de deux autres causes différentes aux difficultés mathématiques. Primo, un réseau tel que celui qui est associé à la quantité peut être déficient ou désorganisé, de sorte que le sujet a des difficultés à accéder aux informations sur l'inclusion des nombres. Autre cause possible, sans doute plus courante : l'enfant n'a pas encore appris à connecter la représentation d'une quantité avec des symboles verbaux et visuels. Cette tâche peut lui être difficile, car la pensée ou les transformations symboliques s'acquièrent avec l'expérience, tant éducative que culturelle.

12. Comme l'a rapporté Diego Alonso durant le Forum de Grenade, les études du comportement comme celles de l'imagerie du cerveau suggèrent que le traitement de l'arithmétique sollicite le lobe frontal gauche (une région en général active durant les tâches mémorielles verbales), et que d'un autre côté, les estimations arithmétiques impliquent les lobes pariétaux inférieurs droit et gauche (des zones associées à des tâches visuelles et spatiales). Le cortex préfrontal et le cortex cingulaire antérieur jouent un rôle important lors des calculs complexes en contrôlant les stratégies non automatisées. Il faut cependant noter que, lors d'un traitement mathématique, d'autres zones du cerveau sont impliquées, en plus de celles mentionnées ci-dessus. Sur un plan plus spéculatif, Diego Alonso a signalé les travaux de George Lakoff et Rafael Nuñez, qui suggèrent des voies de recherche possibles pour la neuroscience cognitive : jusqu'à quel point les gens utilisent-ils des *schémas-images* (c'est-à-dire des concepts faisant appel aux relations spatiales telles que l'inclusion, le contact, l'opposition centre/périphérie, etc.) et des *métaphores conceptuelles* (recouvrement d'une intersection préservant des structures inférentes) pour créer et comprendre les concepts mathématiques ? (voir le rapport de Grenade, site web de l'OCDE, *op. cit.*).

13. Le modèle de Dehaene décrit un système de zones du cerveau actives lorsque l'enfant apprend ou effectue des opérations arithmétiques. Pour plus de détails, voir Dehaene, S., Spelke, E., Pinel, P., Stanescu, R., et Tsivlin, S. (1999), « Sources of mathematical thinking : Behavioural and brain imaging evidence », *Science*, vol. 284, n° 5416, pp. 970-974.

14. Voir : « Spécialisation hémisphérique », 4.6.2 infra.

Comme dans le cas de la dyslexie, précédemment mentionné, le modèle neuroscientifique de Stanislas Dehaene fournit pour les compétences mathématiques une décomposition en tâches qui peut être utilisée pour concevoir ou valider des approches pédagogiques. Entre autres, la dissociation entre représentation de la quantité et système verbal va dans le sens de l'hypothèse d'une pensée sans langage, ce qui signifie que le matériel pédagogique employant une métaphore spatiale ou concrète de l'ensemble des nombres (comme la droite des nombres ou le boulier chinois), est sans doute particulièrement adapté à l'enseignement du sens des nombres. Illustration de l'efficacité de l'enseignement des mathématiques par l'accès au système de représentation de la quantité, le programme Right Start¹⁵ enseigne des compétences arithmétiques basiques telles que le comptage, les correspondances entre les nombres et les quantités, et le concept de la droite des nombres. Ce programme fait découvrir aux enfants un analogue spatial de l'ensemble des nombres en utilisant des objets concrets tels que le jeu de l'oie¹⁶. Ce type de formation connaît une telle réussite pour ce qui est de la remédiation qu'après 40 séances de 20 minutes chacune, certains enfants à l'origine en difficulté atteignent un niveau supérieur à celui des élèves du même âge connaissant un développement normal en mathématiques.

4.4. Émotions et apprentissage

4.4.1. Le cerveau émotionnel

Par le passé, lorsqu'il était question des objectifs de l'éducation, la plupart des discussions portaient sur la meilleure façon de parvenir à la maîtrise cognitive grâce à la lecture, à l'écriture et aux capacités mathématiques. L'expérience a toutefois conduit les scientifiques à comprendre ce que les éducateurs avaient déjà constaté dans leurs écoles : l'émotionnel est en partie responsable de la maîtrise cognitive globale présente chez les enfants et chez les adultes, et on se doit de le prendre en compte comme il le mérite. L'éducation et la prise en charge affective des enfants interagissent profondément avec le développement de leur cerveau et celui de leur expertise naturelle. Cela est particulièrement important pour ce qui est des aspects de l'éducation où la compétence et la flexibilité émotionnelles ont un rôle de premier plan. David Servan-Schreiber mentionne également ce point comme étant important dans la maturation d'un adulte responsable. Certains chercheurs se sont demandé si le système éducatif pouvait englober la prise en charge de la compé-

15. « The Right Start Programme » – voir Dehaene, S. (1996), *La bosse des maths*, Éditions Odile Jacob.

16. En anglais, *Snakes and Ladders* (« Serpents et échelles »). Il s'agit à l'origine d'un jeu asiatique du nom de Parcheesi, un jeu de moralité (les échelles conduisant à des niveaux supérieurs du bien et les serpents barrant l'accès à ces niveaux). Ce jeu existe toujours, en Orient comme en Occident, mais le joueur utilise désormais ses compétences mathématiques pour gagner le plus de points possible.

tence émotionnelle. A l'heure actuelle, ni le système scolaire ni les politiques éducatives ne considèrent ces aspects relevant de la personnalité comme des variables éducatives explicites sur lesquelles il importe de se concentrer. En découvrant les soubassements neuraux de ces variables de personnalité, la neuroscience cognitive peut contribuer à les rendre plus explicites et potentiellement compréhensibles, ce qui faciliterait une évolution des systèmes éducatifs vers l'enseignement de la compétence émotionnelle et autorégulatrice. L'un des bénéfices importants qu'en retireraient les politiques éducatives serait une plus grande précision et une meilleure perception sur la façon dont ce type d'autorégulation se développe chez l'enfant et sur la façon dont ce développement est lié à la maturation des systèmes neuraux qui en forment le soubassement¹⁷.

La neuroscience cognitive contemporaine fournit les outils pour réaliser des analyses par composants fins de la manière dont des tâches spécifiques sont traitées. De telles analyses se sont traditionnellement concentrées sur les aspects cognitifs de l'apprentissage. On a négligé d'effectuer de telles analyses sur les zones associées à l'émotionnel et à l'affectivité, dont le rôle dans les fonctions cognitives n'était pas jusque-là reconnu. En conséquence, l'information dans ce domaine est éparse et incomplète. L'absence de mesures et de fondements théoriques limite les progrès des études de la régulation émotionnelle dans le cadre de la pratique éducative.

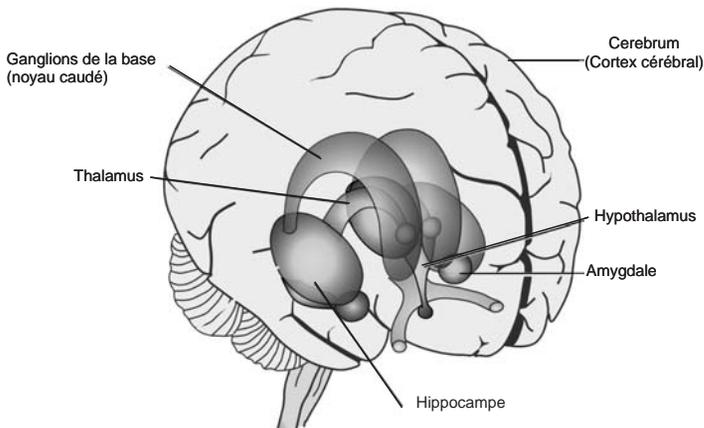
En dépit des lacunes de la recherche neuropsychologique en matière de régulation émotionnelle, les scientifiques ont dégagé les composants biologiques de l'expression émotionnelle. Dans le cerveau humain, il existe un ensemble connu sous le nom de système limbique, dont les principales structures sont l'amygdale et l'hippocampe. Cette région du cerveau, que l'on a pu baptiser « cerveau émotionnel », a des connexions avec le cortex frontal. Lorsque ces connexions sont dégradées, suite au stress ou à la peur¹⁸, le jugement social en

17. Voir le rapport de New York sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*

18. En ce qui concerne ce domaine précis, Joseph LeDoux a présenté durant le Forum de New York des travaux récents portant sur l'amygdale. Cette structure a un rôle critique dans le traitement de la peur. Les recherches de l'équipe de Le Doux ont permis d'identifier des réseaux cérébraux spécifiques dont la peur est le produit. D'autres émotions peuvent être produites par différents réseaux cérébraux, sans doute sans relation avec le système de la peur. La capacité de détecter le danger et d'y réagir immédiatement est attribuable à l'amygdale (du moins en partie, l'amygdale ayant d'autres contributions émotionnelles). L'amygdale interrompt l'action ou la pensée pour déclencher une réaction corporelle rapide, déterminante pour la survie. Même si cet exemple semble bien éloigné du contexte éducatif, la neuroscience de la peur a démontré plusieurs faits qui sont essentiels pour la compréhension du rôle de l'émotionnel dans l'éducation. Dans le contexte scolaire, cette fonction interruptive peut expliquer la tendance à la distraction. Le stress et la peur dans la salle de classe peuvent obérer la capacité d'apprendre en réduisant la capacité à prêter attention à la tâche d'apprentissage en cours, en raison des exigences corporelles et émotionnelles impliquées par le système de la peur.

souffre, ainsi que la performance cognitive, car les aspects émotionnels de l'apprentissage, parmi lesquels figurent les réactions au risque et à la récompense, se trouvent compromis. Un exemple de dysfonctionnement de l'interaction entre les parties émotionnelle et cognitive du cerveau : Antonio Damasio a étudié un comptable de l'Iowa, fort intelligent selon les critères traditionnels (QI de 130) et ayant réussi dans sa partie, sur qui on a dû procéder à l'ablation d'une partie du cerveau suite à une lésion. Toute communication a été coupée entre les parties émotionnelle et cognitive de son cerveau. Après l'opération, il a conservé un QI supérieur à la moyenne pendant plusieurs années, durant lesquelles il est resté sous observation médicale. Cependant, son jugement social s'en est trouvé si affecté qu'il a perdu son emploi, a échoué à en conserver un autre, s'est retrouvé impliqué dans des entreprises à la limite de la légalité, et a fini par divorcer après dix-sept ans de mariage pour épouser en secondes noces une femme riche mais considérablement plus âgée que lui, qu'il décrivait comme une « mondaine vieillissante ». Cet exemple décrit un cas extrême de perte du jugement social. Plus important pour l'aspect éducatif, rappelons que cet individu avait toujours un QI supérieur à la moyenne *après* son opération¹⁹ (graphique 3).

Graphique 3. **Structure interne du cerveau humain avec le système limbique**



Source : Adapté par Jean-Pierre Souteyrand d'après Thompson, R. F. (1993), *The Brain : A Neuroscience Primer*, 2^e édition, W.H. Freeman and Co., New York.

19. Cas rapporté par David Servan-Schreiber (voir le Rapport de New York sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*).

Les enfants doivent acquérir une « compétence émotionnelle » pour fonctionner correctement dans tous les environnements sociaux, en particulier ceux de l'école et du lieu de travail. La compétence émotionnelle comprend, entre autres éléments, l'aptitude à être conscient de soi, le self-control, l'empathie, l'aptitude à résoudre les conflits et à coopérer avec d'autres. Comme l'a fait remarquer Masao Ito, le cerveau émotionnel permet à l'être humain de prendre en compte la valeur de l'information reçue, ce qui distingue l'être humain des autres mammifères²⁰.

On sait que, sur le plan psychologique, le processus émotionnel est rapide et automatique, qu'il ne subit aucun filtrage de la capacité d'attention, et que certains ont pu le qualifier d'impulsif. En fait, ce sont les aspects de ce processus émotionnel qui composent le caractère ou le tempérament d'un individu. Ils échappent d'ordinaire aux instructions cognitives normales mais deviennent importants lorsqu'il s'agit de faire face à une nouvelle situation dans un contexte éducatif. Certains enfants expriment de la peur lorsqu'ils sont placés dans une situation nouvelle, alors que d'autres sont excités de façon positive. Les recherches effectuées sur l'amygdale et le traitement émotionnel permettent aux scientifiques de commencer à comprendre la complexité de la mise en œuvre de la compétence émotionnelle en ce qu'elle se rattache à la communication entre les parties émotionnelle et cognitive du cerveau. Grâce à leurs recherches en cours, les neuroscientifiques seront bientôt en mesure de démontrer que le traitement émotionnel peut aider ou obérer le processus éducatif. Certains aspects au moins de ces processus émotionnels sont peut-être innés, donc difficilement modifiables par l'évolution de l'environnement. L'un des buts de la procédure éducative devrait donc être de découvrir comment travailler efficacement avec des élèves ayant des styles émotionnels différents.

4.4.2. Régulation émotionnelle et images mentales

Des chercheurs tels que Stephen Kosslyn effectuent des expériences montrant que le cerveau émotionnel a également des connexions avec les zones de perception du cerveau. Une partie du cerveau comme le lobe occipital est non seulement impliquée dans la perception, mais aussi dans l'imagerie mentale ou visualisation. La recherche en neuro-imagerie a montré de façon répétée que

20. Selon Ito (voir le Rapport de New York sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*), il existe une fonction des plus importantes du point de vue de l'éducation, celle de la « valence émotionnelle », ou compétence qui permet à l'être humain, dès l'enfance, d'évaluer une situation donnée. Notre cerveau émotionnel fait de nous davantage que « de simples ordinateurs traitant l'information, car il nous permet d'assimiler et de prendre en compte la valeur de cette information, nous rendant ainsi capables d'avoir un sentiment ou une impression du beau ».

l'acte d'imaginer ou de visualiser mentalement activait la plupart des zones du cerveau également activées par la perception.

Les recherches actuelles en imagerie cérébrale, où des sujets visualisent des stimuli négatifs (entre autres exemples : un visage tuméfié et un corps calciné), ont montré que certaines zones du cerveau étaient plus actives que lors de la visualisation de stimuli neutres (entre autres exemples : une lampe et une chaise). On sait que ces zones, parmi lesquelles figure l'insula antérieure (appartenant au système limbique) sont impliquées dans l'enregistrement de changements autonomes dans l'organisme. Comme l'a remarqué Kosslyn, la recherche commence à peine à démontrer que la visualisation d'événements négatifs est non seulement enregistrée dans le cerveau mais affecte en outre le corps.

Ce que suggèrent ces découvertes, c'est que l'apprenant peut altérer son état émotionnel en formant des images mentales bien précises. Parmi les applications possibles de l'imagerie à l'éducation, citons l'utilisation de l'imagerie en tant qu'aide mnémonique, permettant de mieux se rappeler des mots en visualisant des objets qui leur sont associés, et son utilisation en tant qu'aide mentale, pour triompher de l'anxiété avant une épreuve et, plus généralement, des phobies. Kosslyn a également évoqué l'imagerie utilisée en tant que régulateur hormonal. Ceci peut affecter indirectement les capacités cognitives. On sait par exemple que le niveau de testostérone affecte les capacités spatiales. Or, le taux de cette hormone dans le sang augmente lorsque le sujet, par exemple un sportif, remporte une épreuve et diminue lorsqu'il échoue. Par conséquent, il est possible que la seule visualisation mentale de ce type de situation puisse affecter cette hormone, ce qui affecterait en conséquence les capacités spatiales. Le travail dans ce domaine de recherche est déjà en cours²¹.

4.4.3. Le « *contrôle avec effort* » : une variable éducative

Les recherches effectuées sur le cerveau (appuyées sur la psychologie cognitive et sur les recherches ayant trait au développement de l'enfant) ont permis d'identifier une importante région cérébrale dont l'activité et le développement sont en relation directe avec les performances et le développement du self-control. A titre d'exemple, une expérience classique menée pour mesurer le contrôle cognitif est la « tâche de type Stroop »²². Dans cette tâche, on montre au sujet des mots désignant des couleurs, imprimés dans une encre soit identique à la couleur désignée (par exemple, le mot « rouge » imprimé à l'encre rouge), soit dans une encre différente (par exemple, le mot « rouge » imprimé à l'encre bleue). Le sujet doit dire à haute voix quelle est la couleur de l'encre, ce qui est

21. Voir le Rapport de New York sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*

22. Rapporté par Posner durant le Forum de New York (voir le Rapport de New York sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*).

bien plus difficile lorsque le mot désigne une autre couleur que lorsqu'il désigne la même couleur. L'exécution d'une tâche de type Stroop a tendance à activer une région très précise du cerveau située sur la ligne médiane frontale, juste derrière le cortex orbito-frontal et baptisée cingulaire antérieur. Cette zone semble jouer un rôle critique dans les réseaux cérébraux responsables de la détection d'erreurs et de la régulation non seulement des processus cognitifs (comme dans la tâche Stroop décrite ci-dessus) mais aussi des émotions afin de parvenir à ce que l'on peut décrire comme le contrôle intentionnel ou volontaire du comportement²³.

L'autorégulation est l'un des talents émotionnels et comportementaux les plus importants parmi ceux qui sont nécessaires à l'enfant dans ses environnements sociaux. Cette capacité à contrôler ses propres impulsions afin de retarder la gratification est l'un des aspects de la compétence émotionnelle dénommé « contrôle avec effort »²⁴. D'un point de vue éducatif, prêter attention et contrôler volontairement son comportement sont des étapes importantes vers un apprentissage réussi. Le rôle de l'émotionnel dans l'éducation, selon David Servan-Schreiber, contribue à cette « réussite », qui peut être définie comme un ensemble de critères non restrictifs mais significatifs (parmi ces critères figurent entre autres : le contentement, la construction de relations intimes et l'absence de traumatismes graves auto-infligés) conduisant à des relations actives et gratifiantes et à des perspectives d'avenir. En d'autres termes, à devenir un citoyen responsable.

Une étude diachronique²⁵ illustre l'importance pour l'éducation de la gratification retardée. Dans cette étude, des enfants de quatre ans laissés seuls dans une salle avaient pour tâche de se retenir de manger une friandise placée devant eux, sachant que, s'ils y parvenaient, l'expérimentateur les autoriserait à en manger deux à son retour. Il s'avère que le laps de temps durant lequel un enfant donné s'est retenu avec succès était lié de façon significative avec sa réussite scolaire ultérieure, celle-ci dépendant de la capacité de résister au stress et à la frustration, de persévérer dans une tâche et de se concentrer sur elle. En outre, les enfants qui, avant leur scolarité, parvenaient au délai de gratification le plus élevé

23. Pour une revue des diverses théories s'efforçant de comprendre le rôle du cingulaire antérieur dans les activités mentale et émotionnelle, voir Bush, G., Luu, P., Posner, M.I. (2000), « Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex », *Trends in Cognitive Neuroscience*, vol. 4, n° 6[39], pp. 209-249.

24. Lors du Forum de New York, Posner a précisé que ce concept désigne la capacité de l'enfant à autoréguler son comportement à l'école comme à la maison. Le contrôle avec effort peut être évalué en synthétisant les réponses données par les parents à des questions portant sur la tendance de leur enfant à se concentrer sur une activité (capacité d'attention), à faire preuve de retenue (contrôle inhibiteur), à apprécier une stimulation de basse intensité (plaisir de basse intensité) et à montrer sa conscience des changements subtils ayant affecté son environnement (sensibilité perceptuelle) (voir le Rapport de New York sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*).

25. Menée par Walter Mischel *et al.*

obtenaient par la suite des scores SAT²⁶ plus élevés que ceux qui n'étaient parvenus qu'à un délai plus bref. En fait, il y a une corrélation significative entre ce délai et les scores SAT²⁷.

4.5. Le cerveau apprenant tout au long de la vie

Dans cette section, les concepts de plasticité et de vitalité cognitive chez l'adulte âgé seront considérés comme les clés qui permettent d'assurer l'apprentissage tout au long de la vie. Les recherches sur le cerveau adulte se sont concentrées sur les maladies dégénératives et le déclin cognitif global. Cette situation s'explique entre autres raisons par les tentatives d'aider les personnes atteintes notamment de dépression sénile ou de maladie d'Alzheimer, et par la nécessité de poursuivre des recherches dans des domaines où les subventions existent. En outre, les chercheurs ont constaté qu'en se focalisant sur la dégénérescence, on effectue souvent des découvertes de premier plan sur le fonctionnement normal. On traitera dans les paragraphes qui suivent du déclin, de la remédiation, et des stratégies de reconstruction.

Certaines données²⁸ montrent un déclin général des capacités cognitives de vingt ans à quatre-vingts ans²⁹. On remarque un déclin dans des tâches telles que la comparaison de lettres, la comparaison de structures, la rotation de lettres, le calcul, la lecture, la mémorisation avec ou sans indices, ainsi de suite. Par contraste, et conformément à certaines découvertes des études sur le cerveau des adultes plus jeunes, on remarque certaines augmentations notables des capacités cognitives jusqu'à l'âge de soixante-dix ans, avec un certain déclin à quatre-vingts ans³⁰. Durant le Forum de Tokyo, Ito a fait remarquer l'existence de croyances populaires relatives au déclin du cerveau avec l'âge³¹. Un lieu commun veut que notre cerveau perde 100 000 neurones par jour, et que la tabagie et/ou l'alcoolisme accroisse encore ce chiffre. Cependant, les nouvelles technologies ont permis de réexaminer cette croyance. Terry et ses collègues³² ont montré que, si l'on compte le nombre total de neurones dans chaque zone du cortex cérébral, celui-ci ne dépend pas de l'âge. La dépendance vis-à-vis de l'âge est remarquable seulement lorsque l'on compte le nombre de neurones larges dans le cortex cérébral. Ces neurones larges

26. « SAT » pour *Scholastic Aptitude Test*, test d'aptitude scolaire incorporant diverses épreuves de lecture et d'arithmétique, que l'on fait passer aux élèves dans certains pays anglo-saxons afin de déterminer leurs chances de succès dans le système secondaire.

27. Rapporté par David Servan-Schreiber (voir le Rapport de New York sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*).

28. Provenant de l'université du Michigan.

29. Voir aussi agingmind.isr.umich.edu/.

30. Parmi les tâches : vocabulaire Shipley, vocabulaire d'antonymes et vocabulaire de synonymes.

31. Voir le Rapport de Tokyo sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*

32. Voir Terry, R.D., DeTeresa, R., Hansen, L.A. (1987), « Neocortical cell counts in normal human adult ageing », *Annals of Neurology*, vol. 21, n° 6, pp. 530-539.

se rétrécissent, la conséquence étant l'augmentation du nombre de neurones plus petits, de sorte que le nombre global demeure inchangé. Toutefois, on constate une diminution des circuits neuronaux lorsque les neurones rapetissent, et on peut s'attendre à ce que le nombre de synapses soit réduit. En outre, une connectivité réduite signifie peut-être une plasticité réduite, mais elle n'entraîne pas de réduction de la capacité cognitive. Au contraire, les modèles de réseaux neuronaux ont appris aux chercheurs que l'acquisition des compétences résulte de l'élagage de certaines connexions et du renforcement de certaines autres.

Les neuroscientifiques savent depuis un certain temps que le cerveau change de façon significative durant la vie, en partie en réaction à l'expérience de l'apprentissage. Cette plasticité³³ ou flexibilité du cerveau vis-à-vis des demandes de son environnement est encourageante, et elle commence à amener les chercheurs à une meilleure compréhension du rôle de la synaptogenèse (la formation de nouvelles connexions entre les cellules cérébrales) dans le cerveau adulte. En outre, l'apprentissage sur le long terme modifie en fait le cerveau sur le plan physique, car il nécessite le développement de nouvelles connexions parmi les neurones. Par exemple, si le lecteur se rappelle quoi que ce soit de ce livre dans six mois, c'est parce que son cerveau aura été anatomiquement modifié pendant qu'il l'aura lu (et, par la suite, lorsqu'il se souviendra de certains passages).

La neuroscience a appris qu'il faut faire une distinction entre la synaptogenèse qui se produit naturellement au début de la vie et celle qui est associée à l'exposition à des environnements complexes tout au long de la vie. En guise d'illustration : la maîtrise de la grammaire semble meilleure quand on l'apprend jeune, mais on continue d'acquérir du vocabulaire pendant toute la vie. Les chercheurs parlent, dans le premier cas, d'apprentissage attendant de recevoir de l'expérience et, dans le second d'apprentissage dépendant de l'expérience³⁴.

33. Comme l'a dit Posner lors de son discours de clôture durant le Forum de New York : « Je pense que nous avons enterré le mythe du " tout se joue avant trois ans " pour le remplacer par l'idée de l'importance de la plasticité et de la périodicité. En d'autres termes, le cerveau est plastique, mais cependant certaines choses se produisent lors de certaines périodes de notre vie ; c'est important à la fois pour les premières années et, bien entendu, pour l'apprentissage tout au long de la vie » (voir le Rapport de New York sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*).

34. Les processus d'apprentissage dépendant d'une période sensible, tel l'apprentissage de la grammaire, correspondent à des phénomènes *attendant de recevoir de l'expérience* dans le sens où, pour que l'apprentissage se déroule plus facilement, on s'attend à ce qu'une expérience pertinente se produise dans une fenêtre de temps donnée (la période sensible). L'apprentissage attendant de recevoir de l'expérience est censé se dérouler lors des premières années de la vie. Les processus d'apprentissage ne dépendant pas d'une période sensible, tel que l'apprentissage du lexique, sont dits phénomènes *dépendants de l'expérience* dans le sens où la période durant laquelle peut se dérouler l'expérience d'apprentissage ne dépend ni de l'âge ni du temps. Ce type d'apprentissage est censé pouvoir se dérouler dans des conditions optimales toute la vie durant (voir aussi 4.5.3 infra).

De nombreux chercheurs pensent que « l'apprentissage attendant de recevoir de l'expérience » caractérise le développement commun à toute l'espèce humaine ; de plus, « l'apprentissage dépendant de l'expérience » étant l'état naturel d'un cerveau sain, il nous est possible d'apprendre jusqu'à la vieillesse. Ces caractéristiques permettent également, en partie, d'expliquer les différences entre apprenants.

4.5.1. Vieillesse et maladie : la maladie d'Alzheimer et la dépression sénile

Les subventions allouées aux recherches sur le cerveau de l'adulte et du vieillard sont pour une large part centrées sur la maladie. Cela s'explique par le coût important et sans cesse croissant des maladies neurodégénératives pour la société, sans distinction de pays³⁵. Rien qu'aux États-Unis, la maladie d'Alzheimer frappe environ 4 millions d'adultes et coûte à l'économie environ 100 milliards de dollars par an.

L'impact des désordres neurodégénératifs est surtout perceptible dans l'évolution de la fonction cognitive avec l'âge. Non seulement les maladies neurodégénératives peuvent priver l'individu de la conscience de son identité, mais en outre elles privent la société de l'expérience et de la sagesse qu'ont accumulées ceux qui en sont victimes. Vu le vieillissement global de la population, l'ampleur du problème ne peut qu'augmenter.

Raja Parasuraman a expliqué de quelle façon la maladie d'Alzheimer était responsable de dommages cérébraux irréversibles. Les symptômes de cette maladie se manifestent en général à la fin de la période adulte et incluent des déficiences marquées de la fonction cognitive, de la mémoire, de la maîtrise du langage et des capacités de perception. La pathologie cérébrale associée à la maladie d'Alzheimer est la formation de plaques séniles³⁶. Ces changements sont

35. Ainsi que Raja Parasuraman et Jarl Bengtsson l'ont tous deux remarqué durant le Forum de Tokyo (voir le Rapport de Tokyo sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*). Selon Shinobu Kitayama (voir le Rapport de Tokyo sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*), la cognition durant la vieillesse doit être étudiée en tant que fonction des systèmes de croyance culturels et sociétaux entourant la notion de vieillesse et les sujets apparentés, tels que la rationalité et le bien-être. Le projet le plus important de la psychologie culturelle est la remise en question de la validité de l'universalité de plusieurs processus mentaux : montrer l'existence de solutions de rechange et utiliser les analyses appropriées pour élargir le champ des données empiriques des sciences humaines et du comportement. Le vieillissement biologique se produit nécessairement dans un contexte culturel particulier. Il peut avoir des conséquences tout à fait divergentes en fonction de la nature spécifique dudit contexte. Les conséquences du vieillissement sur la cognition doivent être examinées eu égard à une cognition non seulement plus holistique et plus globalisante, centrée sur les relations humaines, mais en outre fondue avec une cognition plus analytique et davantage centrée sur l'objet et l'individu.

36. A savoir : processus cellulaires anormaux entourant des masses de protéines ; nœuds de neurofilaments à l'intérieur des neurones ; détérioration de la dendrite neuronale et perte de neurones.

particulièrement évidents dans l'hippocampe, une partie du « cerveau émotionnel » qui joue de plus un rôle essentiel dans la gestion de la mémoire à court terme et dans l'entrée de nouvelles informations à stocker dans la mémoire à long terme.

Comme il n'existe aucune méthode fiable pour détecter la maladie d'Alzheimer, mieux vaut essayer de diagnostiquer le déclenchement de celle-ci par l'étude du comportement ou les tests génétiques. Sur le plan du comportement, il est difficile de diagnostiquer la maladie lors de son premier stade, car on a encore peu de connaissances sur les altérations cognitives associées au vieillissement normal. Le déclin des fonctions cognitives avec l'âge³⁷ n'est pas sans présenter des similarités avec les symptômes précliniques de la maladie d'Alzheimer. Selon certains chercheurs, il serait sans doute profitable de donner la priorité aux études portant sur les fonctions d'attention³⁸ si l'on veut parvenir à une détection des tout premiers symptômes de la maladie d'Alzheimer, et ceci pour deux raisons. Primo, on constate que les fonctions d'attention sont atteintes même chez les patients très peu affectés par la maladie, ce qui fait peut-être d'elles des signaux d'alarme précieux. Secundo, parmi les zones principalement touchées par la maladie d'Alzheimer figure la fonction mémorielle³⁹, que l'on peut souvent atteindre *via* l'étude des fonctions d'attention.

Les systèmes neuraux servant de médium aux fonctions d'attention⁴⁰ sont relativement bien compris et ont fait l'objet de nombreuses études. Il est important de souligner que deux aspects de l'attention sélective spatiale (la variation d'attention et l'évaluation de l'échelle) sont sensiblement touchés lors des premiers stades de la maladie d'Alzheimer. Par conséquent, des tâches évaluant ces fonctions seront des candidats utiles lors des procédures de diagnostic. Des études utilisant les potentiels évoqués (ERP), la tomographie par émission de positons (TEP) et l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf)⁴¹ indiquent que les tâches d'attention donnent bel et bien des évaluations comportementales sensibles des premiers dysfonctionnements de l'attention.

Une autre approche permettant de détecter tôt la maladie d'Alzheimer consiste à identifier les adultes vieillissant normalement mais courant un risque *génétique* de développer la maladie. Des études récentes impliquent la transmission du gène apolipoprotéine E (APOE) dans le développement de la maladie

37. Voir agingmind.isr.umich.edu/.

38. Parasuraman, lors du Forum de Tokyo (voir le Rapport de Tokyo sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*).

39. En particulier dans les systèmes cholinergiques.

40. Parmi ces fonctions figurent l'attention sélective, la vigilance et le contrôle de l'attention.

41. Pour une description de ces technologies de l'imagerie du cerveau, voir 4.2. *supra* et le glossaire.

d'Alzheimer⁴². Comparés aux personnes dépourvues de l'allèle e4, les porteurs de l'e4 présentent des déficits de l'attention spatiale qui sont qualitativement similaires à ceux que présentent les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer : 1) défaut d'attention accru et 2) capacité à l'attention spatiale fortement réduite. Ces déficits peuvent se manifester chez des adultes par ailleurs sains et asymptomatiques ayant à peine atteint la cinquantaine.

Les indicateurs comportementaux et génétiques peuvent tous deux mener au développement et à l'essai de nouveaux marqueurs destinés à prédire le déclin cognitif aigu chez les personnes âgées. Grâce à des possibilités de diagnostic améliorées, il est possible de développer et d'étendre les stratégies de traitement et d'intervention, tant comportementales que pharmacologiques, conçues pour renforcer les facultés cognitives chez l'adulte. Dans une série d'études récentes⁴³, on a montré que les bénéfiques de l'entretien de l'attention (entraînement à la vivacité et à la vigilance) réduisaient la symptomatologie de la maladie d'Alzheimer en réduisant les déficits d'attention et en renforçant l'apprentissage à la fois chez les adultes sains et chez les victimes de la maladie d'Alzheimer. Des interventions comme celles-ci sont potentiellement utiles, car la structure fine des connexions synaptiques dans le cerveau n'est pas directement contrôlée par la génétique mais modelée et remodelée par l'expérience tout au long de la vie.

La dépression est une maladie associée à une foule de symptômes, dont le manque d'énergie, de concentration et d'intérêt. Parmi les autres symptômes figurent l'insomnie, la perte d'appétit et l'anhédonie (l'incapacité à éprouver du plaisir). Chez les adultes âgés, contrairement à ce qui se passe chez les individus plus jeunes, la dépression présente une étiologie plus compliquée et est donc plus difficile à traiter⁴⁴. A l'instar d'autres affections liées au vieillissement, la dépression sénile a de lourdes conséquences sur la santé publique et, plus généralement, sur la société. Aujourd'hui, cette affection est la deuxième maladie mentale chez les personnes du troisième âge par ordre de fréquence après la démence⁴⁵.

42. Le gène APOE est transmis sous la forme de l'un des trois allèles e2, e3 et e4, l'allèle e4 étant associé à un risque accru de développer la maladie d'Alzheimer. Voir Greenwood, P. M., Sunderland, T., Friz, J., et Parasuraman, R. (2000), « Genetics and visual attention : Selective deficits in healthy adult carriers of the e4 allele of the apolipoprotein E gene », *Proceedings of the National Academy of Sciences, États-Unis*, vol. 97, pp. 11661-11666.

43. Voir les présentations de Parasuraman et Kramer lors du Forum de Tokyo (voir le Rapport de Tokyo sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*).

44. Durant le Forum de Tokyo, Shigenobu Kanba a précisé que les personnes âgées tendaient à présenter des cas de dépression compliqués à cause de manifestations de déclin physique comme les blocages de type cardiovasculaire dans les zones profondes du cerveau, également appelés micro-infarctus du ganglion de la base (voir le Rapport de Tokyo sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*).

45. Kanba, lors du Forum de Tokyo (voir le Rapport de Tokyo sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*).

La dépression peut être causée par une dégénérescence générale du cerveau (maladie d'Alzheimer, maladie de Parkinson, attaque cérébrale). Il y a une différence de taille entre la dépression chez les seniors et la dépression chez les jeunes adultes, en ce sens que la première semble moins liée à des facteurs génétiques. Outre les causes organiques citées plus haut, la dépression chez la personne âgée peut être déclenchée par la perte soudaine du rôle social, la perte d'un proche important pour le sujet et le déclin des capacités économiques, physiques et psychologiques.

Selon Shigenobu Kanba, il importe pour la société qu'elle reconnaisse et réagisse à deux aspects importants de la dépression sénile qui sont susceptibles d'amélioration. Le premier est en grande partie psychologique et associé à une « perte objective ». La société devrait veiller par exemple à ce que les personnes âgées ne soient pas soudainement privées de leur rôle social, de leur emploi ou de leur estime de soi. Une façon d'y parvenir est de trouver des moyens par lesquels les contributions des seniors à la société⁴⁶ peuvent être utilisées et valorisées⁴⁷.

Non contentes de représenter des contributions potentielles des personnes âgées à la société, l'aptitude à résoudre des problèmes pratiques et l'ouverture d'esprit sont connues pour être positivement associées à la créativité et au bien-être. On dispose depuis longtemps d'éléments permettant d'affirmer que la créativité est distincte de l'intelligence (seul un certain « niveau » d'intelligence est nécessaire au développement de la créativité, mais au-dessus de ce niveau, les deux choses sont indépendantes). Par conséquent, un déclin des facultés cognitives hautes lié au vieillissement n'affecte pas nécessairement la créativité. Yoshiko Shimonaka a mené une étude afin d'examiner les effets du vieillissement sur la créativité chez les Japonais adultes âgés de vingt-cinq à quatre-vingt trois ans⁴⁸. On n'a constaté aucune variation due à l'âge pour ce qui est de l'aisance, de l'ori-

46. Parmi ces contributions, entre autres : l'utilisation de leurs connaissances, de leur expertise et de la maturité de leur jugement.

47. A cet égard, les communautés d'apprentissage spontané d'Australie décrites durant le Forum de Tokyo par Denis Ralph fournissent l'exemple d'une méthode par laquelle une communauté attentive peut venir en aide aux seniors. Dans ces communautés, les personnes âgées redécouvrent l'apprentissage avec le soutien des ordinateurs modernes. (Australian National Training Authority, *National Marketing Strategy for Skills and Lifelong Learning*, rapport présenté au comité ministériel en novembre 1999. URL : www.anta.gov.au ; ce rapport traite des attitudes et des valeurs relatives à l'apprentissage à l'intérieur de la communauté australienne, des motivations liées à l'implication dans l'apprentissage et des facteurs susceptibles d'influencer la participation à l'apprentissage.)

48. Tests de créativité développés par J.P. Guilford. Ces tests font appel à la capacité de penser (aisance, flexibilité, originalité et élaboration) et à la capacité créative (productivité, imagination et application).

ginalité de pensée, de la productivité et de l'application d'une capacité créative⁴⁹. Cependant, on a noté des différences en fonction du sexe pour ce qui est de l'aisance et de la productivité, les femmes ayant des scores supérieurs aux hommes. Ces résultats suggèrent que diverses capacités créatives sont maintenues durant l'âge adulte. Encourager les personnes âgées à servir de mentors aux plus jeunes, un processus qui serait bénéfique pour les deux parties, pourrait par conséquent améliorer la dépression d'origine psychologique chez les seniors.

4.5.2. *Forme physique et vitalité cognitive*

L'idée que la santé physique et la santé mentale sont liées est fort ancienne, et le poète latin Juvénal l'a exprimée ainsi : « *mens sana in corpore sano* »⁵⁰. Un examen de la littérature consacrée aux études animales⁵¹ permet de dégager un certain optimisme pour ce qui est de l'amélioration de la fonction cognitive⁵².

Une étude japonaise récente⁵³ rapportée par Itaru Tatsumi a comparé la maîtrise du langage des jeunes adultes japonais à celle des adultes plus âgés (les seniors se plaignent souvent d'avoir des difficultés à se rappeler les noms de leurs connaissances et ceux de personnes célèbres). On a demandé à des sujets jeunes et âgés de prononcer le plus grand nombre de mots dans une catégorie donnée (catégories sémantiques et phonologiques), pendant une durée de 30 secondes. Le nombre de mots que pouvaient prononcer les sujets âgés était à peu près égal à 75 % du nombre de mots prononcés par les sujets jeunes, ce qui montre une moindre aisance verbale des personnes âgées. En outre, ces dernières avaient des difficultés à se rappeler les noms de personnes célèbres (leur performance étant d'environ 55 % de celle des sujets les plus jeunes). Quittant le domaine des études psycho-physiques, Tatsumi a évoqué une étude d'activation TEP portant sur des sujets, jeunes et âgés, observés durant des tâches d'aisance verbale. Chez les sujets les plus jeunes, le lobe temporal

49. Comme l'a rapporté Tudela durant le Forum de Tokyo (voir le Rapport de Tokyo sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*), la littérature sur l'apprentissage des compétences dans le cadre du vieillissement normal recense nombre de tâches où sont directement comparées les performances des jeunes adultes et des adultes plus âgés. Dans le cadre de cet ensemble, il existe des cas où les performances des jeunes adultes sont supérieures à celles des adultes plus âgés et d'autres où elles leur sont équivalentes. Malheureusement, les progrès dans la compréhension de l'acquisition des compétences dans le cadre du vieillissement normal sont obérés par l'absence d'une approche par processus composants de l'analyse de la nature des compétences perceptuelles, motrices et cognitives. On a besoin d'une bonne analyse en termes de processus composants et, si possible, de mécanismes neuraux. En d'autres termes, il est nécessaire d'appliquer activement l'approche analytique de la neuroscience cognitive à la conception des tâches utilisées dans cette forme de recherche.

50. « Un esprit sain dans un corps sain. »

51. Effectué par Kramer.

52. Ces études examinent entre autres la synaptogenèse et la neurogenèse, ainsi que les changements biochimiques positifs associés au facteur neurotrophique BDNF (*brain-derived neurotrophic factor*), à la densité de réception à la dopamine et à la prise de choline.

53. Par Sakuma *et al.* (voir le Rapport de Tokyo, site web de l'OCDE, *op. cit.*).

antérieur gauche et le lobe frontal étaient activés pendant la phase de remémoration des noms propres. Durant la phase de remémoration de noms d'animaux et d'objets, ainsi que durant la phase de maîtrise des syllabes, c'étaient le lobe temporal inféro-postérieur gauche et le lobe frontal inférieur gauche (l'aire de Broca) qui étaient activés. Par contraste, les zones activées chez les sujets âgés étaient en général plus petites que chez les sujets jeunes, quand elles n'étaient pas inactives. En outre, des zones qui restaient inactives chez les sujets jeunes étaient actives chez les sujets âgés. Les conclusions de ces découvertes ne sont pas définitives, car on pourrait interpréter ces dernières activations chez les sujets âgés comme résultant d'un effort pour compenser leurs déficiences en matière de remémoration de mots. Une autre conclusion, qui souligne la vitalité du cerveau vieillissant, est que l'aisance ou l'expérience dans une tâche donnée réduit nécessairement le niveau d'activité. En supposant une plus grande efficacité et une meilleure utilisation des mécanismes cérébraux, le traitement de ces tâches peut être transféré à d'autres zones du cerveau.

Une réanalyse récente⁵⁴ des données diachroniques existantes utilisant des techniques méta-analytiques suggère une association plus positive et plus robuste entre la forme physique et la vitalité cognitive, particulièrement pour ce qui est des processus exécutifs (administration et contrôle des processus mentaux). Certaines données émergentes suggèrent que les régions du cerveau associées aux processus exécutifs (par exemple le cortex frontal et l'hippocampe⁵⁵) présentent des déclinés liés au vieillissement d'une importance disproportionnée. Ces déclinés peuvent être ralentis par une remise en forme physique. En particulier, on a pu démontrer une corrélation positive entre l'accomplissement des tâches et la fonction cardio-vasculaire⁵⁶. Des études plus précises dégagent également des résultats positifs en ce qui concerne l'orientation spatiale, le raisonnement par induction et les activités multitâches complexes telle que la conduite automobile par exemple. Plus généralement, il existe des résultats non définitifs, mais de plus en plus nombreux, qui tendent à

54. Celle-ci a été effectuée pour réduire les limites méthodologiques inhérentes aux trois autres types de méthodes utilisés dans les recherches sur les sujets humains : études par échantillonnage, études épidémiologiques et études diachroniques. Les études par échantillonnage suggèrent des bénéfices cognitifs solides pour les adultes âgés en bonne santé, mais ces études souffrent des limites typiques de leur catégorie (échantillons non représentatifs). Les études épidémiologiques recensent nombre de facteurs associés à la vitalité cognitive, dont l'exercice soutenu. La difficulté de dissocier les contributions respectives de tous ces facteurs s'en trouve accrue. Les résultats obtenus par les études diachroniques sont mitigés, 6 d'entre elles trouvant une corrélation entre la forme physique et la vitalité cognitive, 4 ne voyant aucun lien entre l'une et l'autre et 2 présentant des conclusions ambiguës.

55. Raz, N., Williamson, A., Gunning-Dixon, F., Head, D. et Acher, J.D. (2000), « Neuroanatomical and cognitive correlates of adult age differences in acquisition of a perceptual-motor skill », *Microsc Res Tech*, Oct 1, vol. 51, n° 1, pp. 85-93.

56. Lors du Forum de Tokyo, Kramer a souligné que les adultes ayant participé à cette étude étaient des personnes habituées à l'exercice physique et l'ayant pratiqué régulièrement au fil des ans (voir le Rapport de Tokyo sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*).

démontrer que des interventions comportementales, non pharmacologiques, parmi lesquelles la remise en forme physique et la redécouverte de l'apprentissage (selon la formule « gymnastique du cerveau ») peuvent contribuer à l'amélioration des performances même au cours de la vieillesse. Des recherches plus approfondies devront déterminer le caractère applicable de ces résultats en dehors du laboratoire.

4.5.3. Plasticité et apprentissage tout au long de la vie

La capacité du cerveau à demeurer flexible, vif, réactif et orienté vers la résolution de problèmes s'explique par sa plasticité, capacité qu'il conserve tout au long de la vie. Il fut un temps où les neuroscientifiques pensaient que seul le cerveau de l'enfant était plastique. Cela était dû à l'extraordinaire croissance de nouvelles synapses (la synaptogenèse) se déroulant en parallèle à l'acquisition de nouvelles compétences. Cependant, les données portant sur les primates, humains et non-humains, collectées durant les deux dernières décennies ont confirmé que le cerveau conservait sa plasticité toute sa vie durant⁵⁷. De plus, on

57. Il est possible de progresser dans la connaissance des effets de l'environnement sur l'apprentissage et dans les découvertes concomitantes sur la plasticité du cerveau en se concentrant *plus étroitement* sur certaines régions du cerveau et sur des compétences d'apprentissage bien précises. Par exemple, on sait que l'hippocampe est impliqué dans des processus de mémoire spatiale et de navigation [voir Burgess, N., et O'Keefe, J. (1996), « Neural computation underlying the firing of place cells and their role in navigation », *Hippocampus*, vol. 6, n° 6, pp. 749-762]. Des recherches étonnantes comparant, à Londres, les chauffeurs de taxi aux autres citoyens, suggèrent une relation forte entre la taille relative et l'activation de l'hippocampe d'une part, et une bonne capacité à la navigation d'autre part, relation semblant investie d'une qualité temporelle des plus distinctes [voir i) Maguire, E.A., Frackowiak, R.S. et Frith, C.D. (1996), « Learning to find your way around: A role for the human hippocampal formation », *Proceedings for the Royal Society of London (B): Biological Sciences*, vol. 263, pp. 1745-1750 ; ii) Maguire, E.A., Frackowiak, R.S. et Frith, C.D. (1997), « Recalling routes around London: Activation of the right hippocampus in taxi drivers », *Journal of Neuroscience*, vol. 17, n° 18, pp. 7103-7110 ; iii) Maguire, E.A., Gadian, D.S., Johnsrude, I.S., Good, C.D., Ashburner, J., Frackowiak, R.S. et Frith, C.D. (2000), « Navigation related structural changes in the hippocampi of taxi drivers », *Proceedings of the National Academy of Sciences, États-Unis*, vol. 97, n° 8, pp. 4398-4403]. De façon similaire, il existe une corrélation positive entre l'agrandissement du cortex auditif et le développement du talent musical [voir Pantev, C., Osstendveld, R., Engelien, A., Ross, L.E., Roberts, L.E. et Hoke, M. (1998), « Increased auditory cortical representation in musicians », *Nature*, vol. 392, pp. 811-814], et les zones motrices et les mouvements des doigts, constatée sur une durée relativement brève – cinq jours – chez des adultes [voir Pascual-Leone, A., Nguyet, D., Cohen, L.G., Brasil-Neto, J.P., Cammarota, A. et Hallett, M. (1995), « Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills », *Journal of Neurophysiology*, 74(3), 1037-1045]. D'un autre côté, les victimes de la maladie de Parkinson (qui implique un fonctionnement anormal des ganglions de la base) sont incapables d'acquérir certaines compétences nouvelles [voir Gabrieli, J.D., Brewer, J.B. et Poldrack, R.A. (1998), « Images of medial temporal lobe functions in human learning and memory », *Neurobiology of Learning and Memory*, vol. 20, n° 1-2, pp. 275-283].

a récemment découvert que certaines zones du cerveau, dont le très important hippocampe, génèrent de nouveaux neurones tout au long de la vie.

Les recherches effectuées par McCandliss et d'autres ont montré que les cerveaux plus âgés pouvaient s'adapter afin de surmonter des obstacles dans le traitement du langage et dans la lecture, activités utilisées ici comme exemples. Ces nouvelles découvertes conduisent à :

- Une meilleure compréhension des différentes façons dont le cerveau peut traiter le langage.
- Des idées plus claires sur les façons dont les enfants et les adultes peuvent naturellement surmonter des obstacles dans le traitement du langage (en particulier en ce qui concerne la dyslexie).
- Des idées sur la façon dont les stratégies peuvent mobiliser différents réseaux neuraux et aider les personnes ayant des difficultés à lire et à s'exprimer.
- Des façons d'aider les apprenants (enfants comme adultes) acquérant une deuxième langue à améliorer leur compréhension phonologique de celle-ci.

La plupart des recherches sur le vieillissement sont guidées par des modèles de maladie et de pathologie. Dans ce contexte, il est important de dissocier les responsabilités de l'industrie de la santé de celles de l'éducation, en particulier en ce qui concerne des syndromes tels que la maladie d'Alzheimer et la dépression sénile⁵⁸. Les gains réalisés par ces deux secteurs de la société découleront de programmes de recherche centrés sur la pathologie : à l'heure actuelle, les programmes de recherche sur la vieillesse ne sont pas motivés par des questions relatives à l'apprentissage. Les programmes se concentrant sur l'apprentissage permettront de confirmer dans une certaine mesure que la vieillesse n'empêche ni la plasticité de nombreuses fonctions cérébrales ni la robustesse de certaines fonctions cognitives. Certaines capacités cognitives déclinent avec l'âge, en particulier avec l'apparition de la maladie. Toutefois, grâce à des technologies d'imagerie plus performantes, et à des protocoles de recherche préparés de manière plus délicate, la recherche sur les stratégies de remédiation (incluant des tâches d'apprentissage) et sur les fonctions cognitives étendues accroîtra le bien-être des seniors et leurs contributions potentielles à la société.

4.6. Neuromythologies

4.6.1. Séparer la science de la spéculation

Avec l'avènement d'une technologie de l'imagerie fonctionnelle, la neuroscience cognitive commence à produire des recherches importantes sur les fonde-

ments neuraux de la performance cognitive. Les résultats actuels donnent lieu à quantité de commentaires et de spéculations chez les chercheurs, les spécialistes de l'éducation et les politiques. Étant donné la valeur de ces recherches, nombreux sont ceux qui souhaitent savoir de quelle façon l'application de résultats scientifiques peut améliorer ou enrichir les pratiques éducatives⁵⁹. Conséquence du vif désir d'améliorer les performances scolaires et de l'espoir engendré par la perspective d'une éducation fondée sur les mécanismes cérébraux, quantité de mythes et d'erreurs de conception relatifs au cerveau ont fait leur apparition à l'extérieur de la communauté scientifique. Les enseignants et les spécialistes de l'éducation sont impatients de mettre en pratique ce qu'ils ont lu dans la presse populaire⁶⁰, et les politiques souhaitent mettre en œuvre une politique éducative efficace en utilisant une information fondée sur la recherche. Même le monde de l'entreprise est impatient de concrétiser les « outils éducatifs fondés sur le cerveau », perçus comme ayant un intérêt financier. Vu les espoirs placés dans les éventuelles applications de la recherche sur le cerveau en matière de pratique

59. En outre, au-delà des pratiques éducatives institutionnelles, l'éducation parentale au quotidien pourrait en profiter également ; mais (ou « en conséquence ») les parents sont un « marché très porteur » pour les neuromythologies...

60. « [...] ces informations sur le cerveau relayées par la télévision, les journaux, les magazines : que signifient-elles pour le maître d'école ? » (Mark Fletcher, durant le Forum de Grenade). « [Les enseignants] entendent souvent parler de leurs matières – les mathématiques, la biologie, etc. –, mais ils ont de véritables lacunes en ce qui concerne les théories psychologiques et neuroscientifiques de l'apprentissage. Je pense que nous devrions nous orienter dans cette direction et nous demander ce que les enseignants peuvent apprendre de la neuroscience cognitive » (Heinz Schirp, durant le Forum de Grenade).

Les enseignants ne sont certes pas des neuroscientifiques, mais il est à la fois compréhensible et désirable qu'ils se tournent vers le travail des neuroscientifiques pour les aider à mieux enseigner. Vu que les thuriféraires de l'éducation « fondée sur le cerveau » défendent leur point de vue en face des enseignants généralement sans faire état de la relative rareté des résultats liant la neuroscience cognitive, l'apprentissage et l'enseignement, les enseignants peuvent être tentés d'adopter un peu vite de prétendues « stratégies d'enseignement fondées sur le cerveau » qui ne sont en fait fondées sur rien de concret. La communauté scientifique devrait être plus sensible à ces questions. Un défi se présente donc, celui de renforcer les connaissances et les stratégies pédagogiques en invitant les enseignants à a) partager leurs connaissances entre eux et b) partager ces connaissances avec la communauté neuroscientifique. Celle-ci sera alors en mesure de définir certains des objectifs de ses recherches dans le contexte de l'expérience concrète d'enseignants de valeur. Il est par conséquent nécessaire de mieux informer le public sur les avancées attribuables à la neuroscience cognitive, mais aussi de lui faire comprendre qu'il vaut mieux se concentrer de prime abord sur des questions « simples » portant sur des processus élémentaires. Il y aura bien entendu beaucoup de travail à faire pour intégrer les découvertes sur ces processus élémentaires dans le contexte complexe qu'ont à affronter les éducateurs. En outre, ceux-ci peuvent jouer un rôle clé en aidant à identifier les questions qui pourront être traitées avec profit par les neuroscientifiques (voir le Rapport de Grenade sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*).

éducative, des mythes se sont rapidement développés qui vont des bénéfices de la synaptogenèse à la domination hémisphérique en passant par les périodes critiques d'apprentissage et d'enrichissement intellectuel, pour citer les plus populaires. Lorsque des erreurs de conception comme celles-ci font l'objet de défenses et de critiques dans la presse non spécialisée, les éducateurs comme les politiques se retrouvent difficilement capables de distinguer les faits de la fiction. Bien que certains mythes reposent sur un fond de vérité, une lecture attentive des recherches qui leur ont donné naissance montre que ces recherches ont été mal interprétées (simplifiées) ou qu'elles étaient exclusivement fondées sur des études animales et que leurs conséquences pour l'être humain étaient limitées⁶¹.

Par le passé, de nombreux scientifiques ont affirmé que le cerveau humain possédait à la naissance la totalité des neurones qu'il pourrait jamais compter. Cependant, l'avènement de nouvelles technologies a entraîné une remise en question de cette doctrine. Certains mécanismes, tels ceux qui contrôlent notre instinct de survie, sont en place à la naissance, mais la plupart des circuits mentaux du nouveau-né résultent de l'expérience – le débat reste ouvert sur le pourquoi et le comment de la formation de ces connexions. Certains scientifiques affirmaient que ces circuits atteignaient leur forme achevée à l'âge de trois ans, d'autres croyaient qu'ils se formaient jusqu'à l'adolescence ; plus récemment, un consensus a émergé, selon lequel les connexions synaptiques se forment durant toute la vie. Ce consensus peut avoir de profondes implications sur la façon dont est organisé le système éducatif.

Le but de ce sous-chapitre est d'expliquer l'origine de certains des mythes les plus tenaces chez le profane, de souligner les raisons qui font qu'ils sont nocifs et/ou inefficaces au regard de la pratique éducative, et de discuter de la meilleure façon d'interpréter les données scientifiques.

Aux États-Unis, la décennie 1990-2000 a été proclamée « Décennie du cerveau ». Dans le monde entier, les recherches sur les fonctions cognitives et émotionnelles du cerveau ont été stimulées au cours de la même période⁶². Bien que nombre de ces recherches aient été d'une très grande qualité, certains de leurs résultats ont fait l'objet d'une interprétation abusive au regard de leurs conséquences pour l'apprentissage. Ce sont de tels exemples qui sont présentés ci-dessous.

61. Les études effectuées sur des animaux se sont révélées essentielles et nécessaires à la compréhension de certains aspects du développement humain, mais il faut faire preuve de prudence lorsqu'on applique à l'apprentissage et à la cognition humains les résultats de données expérimentales. Plus généralement, l'histoire montre qu'il peut s'avérer erroné, si ce n'est dangereux, de faire des parallèles entre les comportements humain et animal sans prendre les précautions qui s'imposent.

62. Un exemple parmi d'autres de la façon dont une volonté politique a pu encourager la recherche scientifique et, par la suite, commencer à entraîner des changements en matière éducative, grâce à un financement approprié.

Les résultats neuroscientifiques doivent être considérés comme préliminaires pour plusieurs raisons :

- leur valeur statistique n'est pas forcément très pertinente (méthode de la soustraction et des moyennes⁶³) ;
- les résultats obtenus sur un même sujet peuvent diverger en raison de considérations méthodologiques et théoriques ;
- le contexte d'un laboratoire n'est pas forcément approprié pour tester une aptitude donnée, vu son caractère artificiel et contraignant ;
- une seule étude ne peut justifier l'adoption d'une stratégie en classe ;
- dans la presse populaire, les articles consacrés aux recherches sur le cerveau sont souvent exagérément simplifiés afin de séduire le plus grand nombre ; là est l'origine de presque toutes les erreurs de conception relatives à la science et de l'incompréhension dont celle-ci est victime.

Certaines affirmations actuelles relatives aux fondements neuroscientifiques de l'apprentissage doivent être approchées avec une saine dose de scepticisme. Les technologies actuelles et émergentes produisent des résultats aussi intéressants que prometteurs, mais ceux-ci se révéleront encore plus pertinents et plus utiles à l'éducation si l'on éradique les anciennes erreurs de conception et les croyances erronées ayant trait à la science.

63. Ces méthodes sont considérées comme faibles, car la comparaison entre deux résultats différents mais ayant des éléments communs ne peut clarifier la différence entre ces deux résultats. Dans les données de neuro-imagerie, par exemple, la condition A désigne une tâche et la condition B une tâche différente. Afin de déterminer les différences entre elles, ce qui permet de déterminer quelle condition active une zone donnée du cerveau, on utilise souvent la méthode de la soustraction. On examine sur une image tous les points d'activation consécutifs à la condition A, puis, sur une autre image, tous les points d'activation consécutifs à la condition B. Si les deux conditions sont vraiment différentes, on peut déduire que la soustraction d'une image à l'autre ne montrera que les zones du cerveau pertinentes à une condition particulière. Le problème avec cette méthode, c'est que, d'une condition à l'autre, le cerveau ne stoppe pas nécessairement l'activation consécutive à la première uniquement parce que celle-ci a pris fin (il y a parfois un résidu d'activation), et que les deux conditions activent parfois la même zone du cerveau. En conséquence, il n'est pas toujours possible de déterminer avec exactitude quelles sont les zones du cerveau activées par une condition donnée. En prenant le même exemple d'une condition A et d'une condition B, la méthode des moyennes consiste en la collecte de données auprès de différents sujets à partir de la même condition ; on effectue ensuite la moyenne des résultats. Le problème avec cette méthode, c'est que, même si les résultats individuels sont fortement variables (ce qui est souvent le cas), les effets de ce qui pourrait être des différences significatives sont fortement amoindris, ce qui réduit les résultats potentiellement problématiques et conduit à des conclusions inexactes.

La genèse d'un neuromythe se produit généralement à l'issue d'une erreur de compréhension ou de lecture, et parfois d'une déformation délibérée des faits scientifiquement établis, dans le but de les rendre plus pertinents au regard de l'éducation (ou de tout autre domaine). Il sera question dans ce chapitre de trois mythes populaires : la domination (ou la spécialisation) hémisphérique, le développement synaptique et l'apprentissage, les périodes « critiques » et les environnements « enrichis » (dont le mythe du « tout se joue avant trois ans »).

4.6.2. Domination ou spécialisation hémisphérique

L'opposition « cerveau droit/cerveau gauche » est un bon exemple d'erreur de conception à propos des relations entre science du cerveau et apprentissage. Les affirmations relatives à la spécialisation hémisphérique et à ses relations avec l'apprentissage trahissent une faiblesse fondamentale dans la théorie des tenants de l'apprentissage « fondé sur le cerveau ». Les non-spécialistes prétendent volontiers que l'hémisphère gauche est la partie logique du cerveau, celle qui encode les informations verbales, alors que le droit en est la partie créative et encode les informations visuelles. Au fil du temps, ces idées se sont peu à peu polarisées, et les attributs du cerveau se retrouvent localisés dans tel ou tel hémisphère. Puis ces attributs sont substitués aux traits de caractère, ce qui conduit les gens à affirmer, par exemple, que les artistes ont un « cerveau droit » tandis que les mathématiciens ont un « cerveau gauche ».

Bien que Dehaene ait effectué une analyse⁶⁴ démontrant la responsabilité de l'hémisphère gauche dans le traitement des mots désignant des nombres (par exemple « un » et « deux »), il a également montré que les deux hémisphères étaient actifs lors de l'identification des chiffres arabes (par exemple « 1 » et « 2 »). De même, d'autres données récentes montrent 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 par exemple). 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 neuro-imagerie a montré que, même dans ces deux cas précis, des zones des deux hémisphères étaient activées et que ces zones travaillaient

ensemble. Le cerveau est un système hautement intégré ; il est rare que l'une de ses parties travaille de façon isolée.

Il existe certaines tâches, telle 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. Cet exemple illustre bien la façon dont certains résultats, plutôt limités dans leur nature, peuvent engendrer des neuromythes connus de tous.

Il est nécessaire de poser quelques questions avant de décider si des résultats publiés sont appropriés pour la pratique éducative. Parmi ces questions figurent les suivantes :

- S'agit-il d'un cas isolé ou bien y a-t-il d'autres cas pour appuyer ces affirmations ?
- Ces études décrivent-elles des événements ou bien s'agit-il d'hypothèses de laboratoire ?
- La tâche d'apprentissage utilisée est-elle appropriée pour la population testée ? En d'autres termes, cette tâche conviendrait-elle à l'enseignement d'enfants d'âge scolaire ?

4.6.3. Développement synaptique, environnements « enrichis » et périodes « critiques »

Les cellules cérébrales ou neurones sont les fondations du cerveau humain. Ces cellules communiquent entre elles *via* les synapses, ou jonctions, les impulsions nerveuses voyageant de cellule en cellule et servant de support au développement des compétences, à la capacité d'apprentissage et à la croissance de l'intelligence. A la naissance, le nombre de synapses est faible comparé à celui d'un adulte. Après deux mois de croissance, avec un pic à l'âge de dix mois, la densité synaptique du cerveau augmente de façon exponentielle et dépasse celle d'un adulte. 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 les synapses sont créées en grand nombre pendant les périodes de croissance normales est appelé synaptogenèse. Il varie au cours de la vie, avec des périodes de croissance différenciées pour différentes zones du cerveau, en fonction de l'expérience. Le processus de déclin des synapses est baptisé « élagage », et on sait qu'il s'agit d'un processus normal et nécessaire à la croissance et au développement. En règle générale, au cours d'une vie humaine, la densité synaptique décrit une courbe de Gauss déformée, avec une forte poussée durant la petite enfance, un tassement durant l'âge adulte et un lent déclin à la fin de la vieillesse.

Lors d'expériences de laboratoire effectuées sur des rongeurs, présentées à New York par William Greenough, on a 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, par la suite, ces 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 »⁶⁵. 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.

Ainsi est né un neuromythe. Même si la synaptogenèse et l'élagage synaptique ont probablement des implications importantes pour l'apprentissage des rats, il n'est pas prouvé que c'est également vrai pour les êtres humains. Des non-spécialistes ont détourné des 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. La logique de ce neuromythe est la suivante : plus il y aura de synapses disponibles, plus l'activité et la communication neurales potentielles seront élevées, et plus il sera possible d'apprendre mieux. Une autre croyance y est associée : celle qui veut qu'une intervention éducative durant la petite enfance utilisant des « environnements enrichis » puisse sauver des synapses de l'élagage, voire créer de nouvelles synapses, conduisant par conséquent à une intelligence ou à une capacité d'apprendre plus élevées. On constate ici, une fois encore, une fréquente tendance à citer les faits établis par une étude pertinente, puis à leur attribuer une signification outrepassant les résultats présentés dans l'étude originelle.

Outre les données descriptives sur l'activité (et par conséquent la densité) synaptique décrite ci-dessus, on ne trouve 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. Comme l'a affirmé à maintes reprises John Bruer⁶⁶, les études effectuées sur ce sujet ne permettent pas encore de formuler des principes fondamentaux sur la façon d'améliorer l'éducation. Toutefois, cela ne signifie

65. Diamond, M. *et al.* (1987), « Rat cortical morphology following crowded-enriched living conditions », *Experimental Neurology*, vol. 96, n° 2, pp. 241-247.

66. Bruer, J.T. (1998), « Brain science, brain fiction », *Educational Leadership*, vol. 56, n° 3, pp. 14-18 ; Bruer, J.T. (1999), « Education and the brain: A bridge too far », *Educational Researcher*, vol. 26, n° 8, pp. 4-16 ; Bruer, J.T. (1999), « In search of brain-based education », *Phi Delta Kappan*, vol. 80, n° 9, pp. 648-657.

pas que la plasticité du cerveau en général, et la synaptogenèse en particulier, n'aient aucun rapport avec l'apprentissage ; mais de nouvelles recherches sont nécessaires.

Comme on pouvait le prédire, toute affirmation fondée sur des déductions hâtives et des généralisations à partir d'une conception souvent erronée de la synaptogenèse et de l'élagage synaptique présente certaines faiblesses. Primo, il demeure difficile d'obtenir des preuves formelles liant la densité synaptique à la capacité d'apprentissage. Jusqu'à une date récente, ces données ont été collectées post-mortem sur des sujets humains ou animaux. Secundo, il n'y a encore que peu de données neuroscientifiques, pour l'être humain, sur la relation prédictive entre la densité synaptique chez l'enfant et la densité synaptique chez l'adulte. Tertio, il n'existe aucune preuve neuroscientifique directe, chez l'animal ou chez l'humain, liant la densité synaptique chez l'adulte à une meilleure capacité d'apprentissage⁶⁷. L'objet de cette critique n'est pas de condamner les interventions éducatives durant la petite enfance, mais de contester l'affirmation selon laquelle la valeur de ces interventions est fondée sur un consensus neuroscientifique ou sur un impératif cérébral.

Quand on aborde le mythe populaire du « développement synaptique et de l'apprentissage », il est sage de poser certaines questions concernant l'étude (ou les études) dont on parle : sont-elles soutenues par des recherches scientifiquement valides ? Ont-elles été reproduites afin de parvenir à un consensus ? Impliquent-elles des résultats relevant effectivement de l'apprentissage ou bien les implications ayant trait à l'apprentissage sont-elles de simples spéculations ? Ont-elles mis les hypothèses à l'épreuve des faits ou bien étaient-elles d'un caractère descriptif ? Quel est le degré de vraisemblance de la chaîne de raisonnement causal allant des données neuroscientifiques aux implications pour l'apprentissage ? De quelle population l'échantillon était-il représentatif, et à quelle population s'appliquent les affirmations déduites ?

Si on a conclu que, chez les rats, un environnement complexe causait une densité synaptique accrue, et que des rats pourvus de davantage de synapses⁶⁸

67. Bruer, J.T. (1999), « In search of brain-based education », *op. cit.*

68. Les rats élevés dans l'environnement complexe (plus naturel) avaient de 20 à 25 % de synapses par neurone en plus (on a mesuré le rapport entre densité de synapses et densité de neurones) dans le cortex visuel supérieur que les rats élevés dans un environnement plus pauvre. L'accroissement du nombre de synapses par neurone était accompagné d'une modification du nombre de vaisseaux sanguins (responsables du transfert de fluides nutritifs du sang vers les neurones) et du nombre d'autres cellules baptisées astrocytes (qui ont un rôle dans la sustentation métabolique des neurones et dans la croissance de nouvelles synapses les reliant). En d'autres termes, les tissus neuraux comme non neuraux étaient enrichis par l'expérience.

étaient considérés comme plus malins que leurs congénères ayant vécu dans des environnements plus pauvres (et que l'on présumait équipés de moins de synapses), alors, par analogie, on s'est mis à croire que des élèves placés dans un environnement plus stimulant verraient croître leur connectivité cérébrale et s'améliorer leurs résultats scolaires. C'est ainsi qu'on a recommandé aux enseignants (et aux parents) de créer des environnements colorés, intéressants et sensoriellement signifiants pour obtenir des enfants brillants⁶⁹.

Cela fait plus de trente ans que les neuroscientifiques collectent des données sur les périodes sensibles du développement biologique. Comme on l'a dit

69. Il est injustifié de s'appuyer sur des données obtenues à partir de rats pour affirmer la nécessité d'un « environnement enrichi » (écouter du Mozart, contempler des mobiles colorés, etc.) pour les enfants, en particulier si l'on considère qu'aucune étude neuroscientifique n'a jamais été effectuée sur l'effet d'un environnement complexe ou isolé sur le développement du cerveau humain. D'un autre côté, les études effectuées sur les rats suggèrent qu'il existe un seuil critique de stimulation environnementale en dessous duquel le développement du cerveau est susceptible de souffrir. Des études récentes menées sur des orphelins roumains démontrent les effets néfastes d'un environnement sévèrement restreint, mais, même dans ces cas extrêmes, une réhabilitation est possible [voir O'Connor, T.G., Bredenkamp, D. et Rutter, M. (1999), « Attachment disturbances and disorders in children exposed to early severe deprivation », *Infant Mental Health Journal*, vol. 20, n° 10, pp. 10-29].

Autres problèmes posés par l'utilisation inconsidérée de ces recherches dans des buts éducatifs :

- Dans la nature, les rats vivent naturellement dans des environnements stimulants (docks, canalisations, etc.) et on peut donc supposer qu'ils ont le nombre exact de synapses nécessaire à leur survie. Cela n'a aucun sens de les placer dans un environnement appauvri car il s'agit là d'un contexte artificiel, et par conséquent irréaliste. Si on place des rats dans un environnement artificiellement appauvri, leur cerveau aura exactement la densité synaptique appropriée à cet environnement. En d'autres termes, ils seront aussi « malins » qu'ils ont besoin de l'être pour survivre dans une cage de laboratoire. Si le même raisonnement s'applique aux êtres humains (ce qui est probable, mais reste à prouver), vu que la plupart des êtres humains sont élevés dans des environnements normalement stimulants, leur cerveau est précisément ajusté à leur environnement particulier.
- Il y a beaucoup trop de facteurs à prendre en compte quand il s'agit de définir ce que devrait être un environnement « enrichi » pour la majorité des élèves.
- L'expérience n'a pas montré que la densité synaptique affectait la maîtrise des compétences en matière d'éducation.
- La plupart des enfants grandissent naturellement dans des environnements stimulants. Les recherches ont 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 couronnées par des diplômes.

plus haut, une période sensible⁷⁰ est définie comme un laps de temps durant lequel un événement biologique est susceptible de se produire dans les meilleures conditions. La plupart des recherches sur ce point se sont centrées sur le système visuel, principalement chez les chats et plus tard les singes⁷¹. Par le passé, des recherches ont montré que la cécité frappait les chatons auxquels on avait refusé toute stimulation visuelle durant les trois premiers mois de la vie. Partant d'une interprétation abusive de données scientifiques sur la synaptogenèse, une autre erreur de conception populaire affirme que c'est entre zéro et trois ans que les enfants sont les plus réceptifs à l'enseignement. Conséquence, nombre de non-spécialistes croient que, si un enfant n'a pas été « pleinement et totalement » exposé à divers stimuli, il ne pourra jamais par la suite « récupérer » ces capacités « perdues » durant sa petite enfance. Une telle exposition à des stimuli riches et variés est ce qui constitue un environnement « enrichi » typique. Cependant, si l'on se réfère aux textes d'origine, il convient de remarquer que les données relatives aux périodes sensibles en ce qui concerne la vision chez les chats ne sont ni simples ni toujours cohérentes. Certaines données suggèrent qu'un chat peut recouvrer la vue, en fonction de la durée pendant laquelle il en a été privé et des circonstances ayant suivi cette privation. En d'autres termes, c'est l'équilibre et le minutage relatif de la stimulation qui importent, et une stimulation accrue ou « enrichie » durant une période sensible ne garantit pas une meilleure vision⁷². Cette erreur de conception utilise la croyance populaire, déjà évoquée, sur la synaptogenèse et les prétendues « périodes critiques » pour affirmer que l'on doit exposer très tôt un enfant à une riche diversité pour garantir un apprentissage pleinement réussi ; en fait, cette exposition précoce n'est peut-être pas mauvaise en soi, mais cette conception n'est pas (encore ?) étayée par des découvertes neuroscientifiques.

Il faut faire une distinction entre la synaptogenèse se produisant naturellement au début de la vie et la synaptogenèse associée à une exposition à des

70. Parfois appelée « période critique » ; les deux termes sont souvent considérés comme interchangeable. Cependant, il y a entre eux de subtiles différences. « Période critique » implique que, si l'on laisse passer le laps de temps correspondant à un seuil biologique, l'occasion est perdue. « Période sensible », d'un autre côté, implique que le laps de temps d'un marqueur biologique précis est important sans être nécessaire à l'obtention d'une compétence particulière. La maîtrise peut encore être obtenue, mais avec plus de difficulté. Comme les « périodes critiques » semblent relever des erreurs de conception populaires sur la neuroscience cognitive, on préférera utiliser ici le terme de « période sensible », sauf lorsqu'il sera explicitement fait référence à ladite erreur de conception.

71. Hubel, D.H., Wiesel, T.N. et LeVay, S. (1977), « Plasticity of ocular dominance columns in monkey striate cortex », *Philosophical Transactions of the Royal Society of London (B)*, vol. 278, pp. 307-409.

72. Bruer, J.T. (1998), *op. cit.*, p. 16.

environnements complexes tout au long de la vie. Par exemple, des données suggèrent que 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 que la capacité à enrichir son vocabulaire s'améliore tout au long de la vie. Les processus d'apprentissage dépendant d'une période sensible, tel l'apprentissage de la grammaire, correspondent à des phénomènes attendant de recevoir de l'expérience, en ce sens que, pour que l'apprentissage se fasse sans difficulté, une expérience pertinente est censée se produire durant un laps de temps donné (la période sensible). On estime que l'« apprentissage attendant de recevoir de l'expérience » se produit dans les meilleures conditions lors de certaines périodes de la vie. 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 », en ce sens que 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. Ce type d'apprentissage peut s'améliorer au fil de la vie, et c'est en fait ce qui se produit.

Les périodes sensibles existent bel et bien, et elles pourraient à terme se révéler fort utiles pour l'éducation et la pratique de l'apprentissage, comme le souligne Hideaki Koizumi, qui suggère qu'« une réorganisation du système éducatif en fonction des périodes sensibles du cerveau », une fois celles-ci clairement identifiées, serait souhaitable : « Le but le plus important de l'éducation semble être de développer une capacité d'apprentissage conforme aux besoins de chaque individu en fonction des périodes sensibles relatives à l'acquisition des fonctions cognitives. Un enseignement basique devrait être dispensé pendant que le cerveau possède une forte plasticité ; en d'autres termes, les premières phases de l'éducation sont importantes. On le savait déjà pour ce qui était de l'enseignement de la musique et du langage. Les progrès de la neuroscience cognitive, toutefois, nous conduisent à de nouvelles découvertes. Les fonctions du cerveau humain, fondées sur diverses zones fonctionnelles, consistent en plusieurs modules et cadres⁷³. Chaque module ou cadre fonctionnel aurait une période sensible différente, cela étant dû à la plasticité des réseaux neuronaux. [...] Bien que l'éducation du premier âge soit des plus importantes, cela ne signifie pas que le plus gros de l'éducation d'une personne doive se concentrer sur ses années d'enfance. Une gestion optimale des thèmes éducatifs en fonction des périodes sensibles serait probablement bien plus efficace. On traiterait plus tard les thèmes éducatifs dont les périodes sensibles surviennent plus tard dans la vie. » Ainsi, le neuromythe postulant que les périodes les plus sensibles pour l'apprentissage se situent au tout début de la vie doit être révisé à la lueur des recherches

73. Voir Foder, J.A. (1983), *The Modularity of Mind*, Cambridge, MIT Press ; et aussi Koizumi, H. (1997), « Mind-morphology: An approach with non-invasive higher-order brain function analysis », *Chemistry and Chemical Industry*, vol. 50, n° 11, pp. 1649-1652.

neuroscientifiques récentes (et devra l'être encore à la lueur de découvertes à venir) montrant que certaines formes d'apprentissage s'améliorent avec les années. En résumé, Hideaki Koizumi suggère de « réorganiser le système éducatif dans un avenir proche par l'application des découvertes de la neuroscience cognitive du développement »⁷⁴.

74. Koizumi, H. (1999), « A practical approach to trans-disciplinary studies for the 21st century – The centennial of the discovery of radium by the Curies », *J. Seizon and Life Sci.*, vol. 9, n° B 1999.1, pp. 19-20.

Partie III
CONCLUSIONS

Chapitre 5

Le chemin à suivre

5.1. Vers une nouvelle science de l'apprentissage fondée sur une approche transdisciplinaire ?

*« To make an end is to make a beginning.
The end is where we start from.¹ »*

T.S. Eliot

« In the past, the trans-disciplinarity, bridging, and fusing concepts that brought together widely divergent fields were the exclusive privilege of genius, but in the 21st century these tools must become more widely available. [...] The provision of a trans-disciplinarian education that will enable future trans-disciplinary studies is an urgent need that we must satisfy for the benefit of future generations.² »

H. Koizumi

L'apprentissage fondé sur le cerveau n'est pas une panacée qui résoudra tous les problèmes de l'éducation. Cependant, des recherches ayant pour but la compréhension de l'apprentissage et menées dans cette perspective peuvent indiquer certaines directions aux spécialistes, aux décideurs politiques et aux praticiens de l'éducation qui souhaitent un enseignement et un apprentissage mieux informés. Elles offrent en outre de meilleures options aux apprenants, jeunes et adultes, qui ont des difficultés d'apprentissage.

1. Faire une fin c'est faire un commencement./La fin est là où nous commençons. (N. d. T.)
2. « Par le passé, la transdisciplinarité, la construction de passerelles et la fusion de concepts rassemblant des domaines profondément divergents étaient le privilège exclusif du génie, mais, au XXI^e siècle, de tels outils doivent être mieux partagés. [...] La mise en œuvre d'une éducation transdisciplinaire qui rendra possibles de futures études transdisciplinaires est un besoin urgent que nous devons satisfaire pour le bénéfice des générations futures. » (N.d.T.) Koizumi, H. (1999), « A Practical Approach to Trans-Disciplinary Studies for the 21st Century – The Centennial of the Discovery of Radium by the Curies », *J. Seizon and Life Sci.*, vol. 9, B 1999.1, p.7.

Suite à la réussite du programme du CERI de l'OCDE intitulé « Sciences de l'apprentissage et recherches sur le cerveau » (1999-2001), il a été décidé d'ouvrir une seconde phase de ce projet (on se réfère depuis aux trois forums de 2000-2001 comme étant la « première phase » du travail en cours). La Phase 2, prévue pour se dérouler sur une durée de trois ans (2002-2005), se concentrera sur trois domaines de recherche présentant une pertinence particulière sur le plan politique (au regard de la conception des programmes, des pratiques enseignantes, de l'identification des styles d'apprentissage individuels) et un fort potentiel d'application. Son but est à la fois de corroborer les recherches passées et, plus important encore, de prolonger les résultats des recherches actuelles. On prévoit que les recherches effectuées par des institutions sélectionnées et des scientifiques de haut niveau non seulement conduiront à de nouvelles hypothèses et à de nouvelles expériences, mais en outre élaboreront de nouvelles méthodes pour éduquer les enfants, les adolescents et les adultes. Les trois domaines de recherche identifiés pour la Phase 2 sont « développement du cerveau et littérature », « développement du cerveau et numératie » et « développement du cerveau et apprentissage tout au long de la vie ».

Cette activité est un chantier en cours. Il serait prématuré à ce stade de tirer des conclusions définitives sur la façon exacte dont fonctionne le cerveau, sur la meilleure façon d'apprendre et sur l'offre éducative idéale pour les apprenants. Mais il serait tout aussi erroné de suggérer que des questions d'une telle importance et d'une telle signification ne trouveront pas dans un avenir proche une clarification substantielle, voire une réponse partielle. Il ne fait aucun doute que « l'apprentissage et le cerveau » doit être une question prioritaire pour les pays de l'OCDE aujourd'hui et dans les années à venir³. Cela implique :

3. Le risque existe de voir se développer une sorte de « fracture neurale », comparable à la « fracture numérique » (terme désignant l'accès difficile, voire impossible, des plus défavorisés aux technologies de l'information et de la communication), les privilégiés ayant accès plus rapidement et dans de meilleures conditions aux fruits d'une science de l'apprentissage. Le défi qui se présente est donc de rendre publiques de façon régulière les meilleures recherches éducatives ayant trait à la neuroscience cognitive, non seulement dans les publications spécialisées mais aussi auprès du grand public afin de l'aider à comprendre ce que ces nouveaux travaux impliquent en termes de politique et d'apprentissage. De nouvelles formes de diffusion de l'information (documentaires télévisés, sites web, etc.) devraient être impliquées dans cet effort.

En outre, les découvertes scientifiques, dans presque toutes les disciplines, soulèvent de plus en plus de questions éthiques qu'il convient de traiter dans l'arène publique, à tout le moins dans les démocraties. Comme Alain Michel l'a fait remarquer à Grenade : « [...] nous savons tous que les découvertes scientifiques peuvent être dévoyées ; nous pensons tous au danger de l'eugénisme, par exemple. Si nous devons utiliser les résultats de la recherche neuroscientifique dans le domaine de l'éducation, nous aurons besoin d'un code de conduite éthique afin d'éviter certains excès. Rappelez-vous ce que Rabelais disait dès le XVI^e siècle : « Science sans conscience n'est que ruine de l'âme ». Il est nécessaire d'encourager un vaste débat international sur toutes les questions éthiques abordées dans ce contexte. Comme l'a dit Rodney Cocking (NSF) à Grenade : « Pourquoi l'OCDE ? Parce que je pense que nous avons vraiment besoin d'une dimension internationale. » (voir le Rapport de Grenade sur le site web de l'OCDE, *op. cit.*)

1. de promouvoir les relations transdisciplinaires ;
2. d'investir dans la recherche transdisciplinaire ; et
3. de reconnaître l'émergence d'une nouvelle science de l'apprentissage et le besoin de développer des « institutions de la science de l'apprentissage » pour faciliter 1) et 2).

L'idée de « capacité relationnelle » fournit une image à la fois pour la compréhension croissante que nous avons de la façon dont coopèrent les différentes parties du cerveau et un défi pour ceux qui cherchent à promouvoir et à développer cette compréhension. La science semble progresser en alternant deux démarches stratégiques contradictoires : la distinction et la connexion. D'un côté, l'avancement de l'apprentissage dépend, à tout le moins depuis Aristote, de la différenciation et de la spécialisation de champs d'investigation, de facultés, de disciplines ou de sujets distincts : l'art et la science ; les sciences physiques, biologiques et sociales ; la physique, la chimie, la biologie, la botanique et la zoologie ; et ainsi de suite⁴. De l'autre côté, certaines des avancées les plus remarquables sont dues à la transmission d'idées par-delà les frontières séparant les disciplines, voire au brouillage de ces frontières dans le but de créer une nouvelle discipline.

Dans un article récent abordant cette question, Koizumi⁵ introduit le concept d'études transdisciplinaires pour distinguer la création de nouvelles sciences

4. Depuis les origines de la science occidentale, les disciplines scientifiques fondamentales telles que la physique, la chimie et la biologie ont adopté avec un grand succès une approche méthodologique réductionniste. Celle-ci nous a conduits à la compréhension présente que nous avons du monde qui nous entoure et du fonctionnement de notre propre corps. Une telle approche réductionniste nous aidera-t-elle à comprendre la complexité du cerveau ? Nombre de scientifiques seraient prêts à affirmer que le cerveau est le système le plus complexe de l'univers (voir « Beyond Reductionism », in *Science*, vol. 284, avril 1999). Pour prendre un exemple, s'il est facile de séparer le matériel du logiciel dans un système informatique, une telle analogie, si on l'appliquait au cerveau, nous dirait que les deux sont totalement enchevêtrés et forment un système extrêmement complexe. Comme le font remarquer Christof Koch et Gilles Laurant (voir « Complexity and the Nervous System » in *Science*, vol. 284, avril 1999), ce que l'on peut dire de plus évident sur le cerveau du point de vue « système complexe », c'est qu'en persistant dans le réductionnisme et dans l'atomisation, on ne risque pas de parvenir à une compréhension fondamentale de la complexité du cerveau. Par exemple, quel lien existe-t-il entre la complexité du système nerveux et des phénomènes comme la conscience et l'expérience subjective ? Il est par conséquent probable que la grande tradition scientifique du réductionnisme devra être complétée par d'autres approches scientifiques s'efforçant de comprendre le « système complexe » (parmi lesquelles on pourrait compter jusqu'à des contributions plutôt inattendues, comme certains éléments de la théorie quantique), afin de mieux comprendre le cerveau.
5. Il fonde sa théorie sur la transdisciplinarité qu'il a observée chez Pierre et Marie Curie : « (...) [ils] bénéficiaient de la transdisciplinarité de leur pensée. [...] La transdisciplinarité émerge suite à une fusion, à une jonction des disciplines, pas seulement au rassemblement de multiples disciplines. » (Koizumi, H., *op. cit.*, pp. 9 et 19).

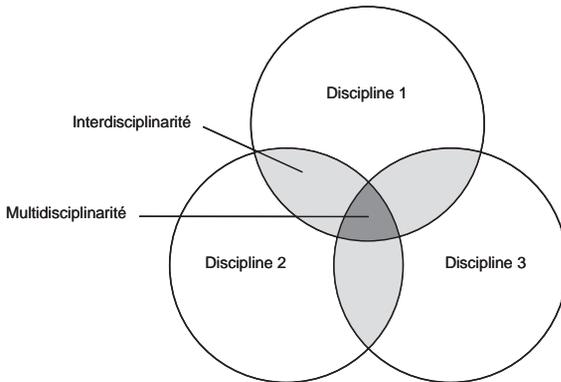
(pourvues de leur propre structure conceptuelle) de l'influence mutuelle qui se produit d'ordinaire lorsque des disciplines bien établies deviennent contiguës ou commencent à se chevaucher :

« Au cours des deux derniers siècles, la culture humaine a été divisée en deux catégories, la science et la technologie d'une part, les arts et les humanités de l'autre. En outre, la science et la technologie ont été minutieusement divisées en disciplines clairement définies. Il est ainsi devenu très difficile de comprendre à un niveau professionnel une discipline qui n'est pas la sienne, du fait de l'existence de murs intellectuels entre les disciplines. Cependant, étant donné la maturité de la science et de la technologie, il est devenu de plus en plus difficile d'obtenir de nouvelles découvertes et de nouvelles percées à l'intérieur d'une seule discipline spécialisée. On ne réussit souvent à faire de nouvelles découvertes et des percées techniques qu'en opérant une jonction entre deux disciplines complètement différentes, et cela est vrai depuis bien des années. La dynamique classique de Newton, par exemple, a été créée en combinant les concepts expliquant le mouvement des objets astronomiques et la chute sur le sol d'un objet, une pomme selon la tradition. La théorie de la sélection naturelle de Darwin était une analogie avec la concurrence dans un système de libre-échange décrite par Adam Smith. [...] Bien que nombre de scientifiques et de lettrés aient reconnu l'importance d'une approche multidisciplinaire, il reste en pratique très difficile de transcender les frontières entre les disciplines. De telles transitions conceptuelles sont généralement l'œuvre de personnes considérées aujourd'hui comme des génies. Les organisations de recherche inter ou multidisciplinaires actuelles ne sont pas assez puissantes pour renverser les murs entre les disciplines, et elles n'ont pas toujours aussi bien fonctionné que l'on s'y attendait car elles ne sont fondées que sur un assemblage de disciplines (plus ou moins proches les unes des autres). [...] Nous avons besoin d'un concept dynamique plutôt que statique pour triompher de cette difficulté. [...] »

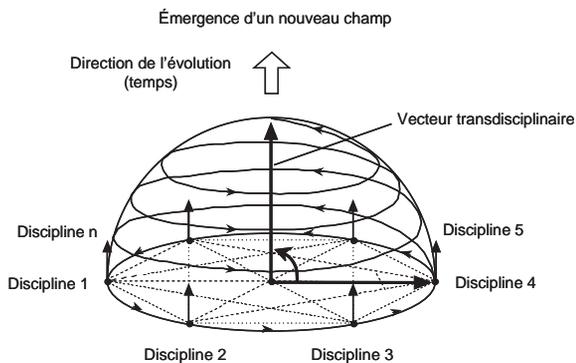
Les graphiques 4a et b montrent la différence entre le concept d'inter et multidisciplinarité et celui de transdisciplinarité.

« Les nouveaux domaines englobants, tels que la science du cerveau et de l'esprit, la science de l'environnement et aussi la science de l'éducation, ne peuvent être considérés comme de simples assemblages ou combinaisons de disciplines apparentées. De tels domaines appliquent l'essence des connaissances et de la philosophie provenant de nombreuses disciplines apparentées pour former leur propre structure conceptuelle, une structure susceptible de transcender les frontières de nombreuses sciences, naturelles ou sociales, et même des humanités. Les concepts d'interdisciplinarité et de multidisciplinarité se situent sur un plan, un espace à deux dimensions, mais le concept de transdisciplinarité occupe un espace à trois dimensions, comme il est montré sur la figure 4b. Le concept de

Graphique 4a. Inter et multidisciplinarité



Graphique 4b. Transdisciplinarité



Source : Hideaki Koizumi (1999), « A practical approach towards trans-disciplinary studies for the 21st century », *J. Seizon and Life Sci.*, vol. 9, pp. 5-24.

transdisciplinarité existe à un niveau hiérarchique supérieur produit par les liaisons entre plusieurs disciplines différentes au niveau hiérarchique inférieur. La transdisciplinarité englobe le concept de jonction ou de fusion entre des disciplines complètement différentes »⁶.

6. Koizumi, H., *op. cit.*, pp. 6-8.

Koizumi démontre que le développement transdisciplinaire ne se produit pas facilement et qu'il ne doit rien au hasard⁷. Le monde a besoin d'un lettré hors du commun, d'un Lucrèce, d'un Darwin, d'un Terada⁸, ou d'un Teilhard de Chardin pour établir la jonction ou la fusion entre des disciplines existantes. Dans les sociétés modernes, il est important d'examiner la structure des universités, l'organisation des recherches, et même les programmes scolaires, afin d'encourager les développements transdisciplinaires appropriés et de procéder à un rééquilibrage pour compenser la nature inévitablement fragmentée des sciences naturelles.

La valeur des relations transdisciplinaires dans le domaine de « l'apprentissage et le cerveau » ne fait aucun doute⁹. Les précédents chapitres de ce livre citent maints exemples de découvertes fructueuses résultant d'expériences transdisciplinaires lors des trois forums¹⁰. La transdisciplinarité n'est ni une question simple ni une option molle. Elle doit être promue et récompensée. La Phase 2 du projet du CERI de l'OCDE propose un modèle reproductible pour la promotion de recherches transdisciplinaires. Mais cette initiative audacieuse n'est elle-même qu'une mesure à court terme. Ce qui est nécessaire, au moins dans les pays membres

7. « Chaque discipline évolue par elle-même dans le contexte d'une méthodologie et d'une organisation des recherches conventionnelles. Cependant, une impulsion est nécessaire pour opérer la jonction ou la fusion des disciplines. [...] Une nouvelle discipline englobante nécessitera de nouvelles méthodologies et de nouvelles organisations de recherche. » (Koizumi, H., *op. cit.*, p. 8). Comme l'a souligné Eric Hamilton, directeur de programme à la NSF, durant le Forum de Tokyo : « [...] [dans] notre programme ROLE, l'intention d'édifier une interdisciplinarité structurée exprime en fait la volonté d'examiner les frontières et les limites [de diverses disciplines], d'examiner des questions qui relèvent peut-être d'un domaine mais dont les réponses tombent dans d'autres domaines. [...] cela n'a rien de contradictoire, bien au contraire, avec la direction suggérée [par Koizumi] : le vecteur transdisciplinaire ».
8. Tarahiko Terada, physicien et essayiste japonais (1878-1935). Comme professeur de physique à l'Université de Tokyo Teikoku, il a publié 300 papiers de physique au cours de sa vie, mais est surtout resté dans les mémoires pour ses essais littéraires. Entre autres choses, il réunit l'esprit de la poésie haikai avec la perspective de la physique.
9. D'autant que « certains des chercheurs qui explorent les frontières de la science du cerveau et de l'esprit commencent à réaliser la valeur d'une approche transdisciplinaire. Ces chercheurs sont en train d'étudier, par exemple, la philosophie, la psychologie, la linguistique, même si leur domaine d'étude initial est la mathématique, la physique, la chimie, la physiologie ou la médecine. Certains d'entre eux sont maintenant presque prêts à employer l'approche transdisciplinaire pour étudier scientifiquement la conscience. » (Koizumi, H., *op. cit.*, p.19.)
10. « Pourquoi l'OCDE ? [...] Pour nous aider à avancer et à rassembler nos différents domaines scientifiques. L'OCDE peut nous aider à transformer la science de l'apprentissage en science fondée sur des faits ; il est vraiment important de mettre en œuvre les approches transdisciplinaires, les perspectives différentes, les méthodologies différentes, les technologies différentes, car [pour] aboutir à une science de l'apprentissage fondée sur les faits, nous devons également examiner les faits convergents de toutes ces sciences. » (Rodney Cocking , lors du Forum de Grenade.)

de l'OCDE, c'est un engagement résolu et de longue durée en faveur des relations transdisciplinaires dans le domaine de « l'apprentissage et le cerveau ».

La publication de ce livre reconnaît et signale l'émergence d'une nouvelle science. Les sciences de l'apprentissage, parmi lesquelles figurent la neurosciences cognitive, les sciences cognitives, la médecine et l'éducation, sont en règle générale sur le point de passer de l'interdisciplinarité à la transdisciplinarité et de se transformer en une nouvelle science de l'apprentissage. Ce processus n'en est encore qu'à ses premières phases. Mais il est déjà clair que cette transformation est aussi souhaitable qu'inévitable. Même à ce stade, il n'est pas trop tôt pour envisager la création de facultés et d'institutions consacrées à la science de l'apprentissage, soit dans le cadre d'universités et de centres de recherche déjà existants, soit de façon libre et indépendante. Le *xxi^e* siècle ne se posera sans doute pas de questions plus importantes que celles-ci : Comment fonctionne le cerveau ? Comment les gens apprennent-ils au mieux ? Quelle est l'offre éducative la mieux à même de les y aider ? La science de l'apprentissage aura pour mission d'apporter à ces questions des réponses fiables et applicables. Il y a de bonnes raisons de penser qu'elle le fera au cours des prochaines années.

5.2. Les étapes suivantes : réseaux de recherche

« *Research is always incomplete.*¹¹ »

Mark Pattison

5.2.1. Types de recherches et méthodologie

Il existe quatre types de recherches, dont trois au moins sont de nature à accomplir les objectifs de la deuxième phase du projet « Recherche sur le cerveau et sciences de l'apprentissage ». Premièrement, les recherches concernant les données existantes, provenant de plusieurs sources différentes – universités, institutions de recherche, etc. – qu'il est nécessaire de collecter et de systématiser. Deuxièmement, les recherches en cours, les programmes et les projets déjà entamés mais non encore conclus. Troisièmement, les recherches en attente d'extension, récemment achevées mais ayant besoin d'un prolongement afin d'affiner et de mettre un peu plus à l'épreuve leurs hypothèses. Quatrièmement, les recherches nouvelles, englobant les projets prévus pour étudier des hypothèses liées au sujet qui nous intéresse, pour proposer de nouvelles théories et de nouvelles expériences. La Phase 2 du projet s'intéressera surtout aux trois premiers types de recherches, mais aussi, dans une certaine mesure, au quatrième si cela s'avère nécessaire.

11. « La recherche est toujours incomplète. » (N.d.T.)

5.2.2. Trois domaines de recherche

Domaine 1 : Développement du cerveau et littératie

Un nombre considérable d'enfants et d'adultes de par le monde éprouvent encore des difficultés à apprendre à lire et à écrire ; certains souffrent de diverses formes de dyslexie. Les recherches effectuées avec l'appui des technologies de l'imagerie du cerveau ont permis de comprendre davantage comment le cerveau développe les compétences de lecture. De plus, la recherche neuroscientifique fait actuellement émerger d'importants résultats, qui montrent comment certaines déficiences affectent le cerveau. Mieux comprendre la nature de ces déficiences peut aider les éducateurs à mieux y faire face.

Parmi les objectifs de recherche :

- compréhension de la manière dont le cerveau traite les processus de lecture, incluant les processus visuels (en prêtant une attention particulière à la manière dont les différentes zones cérébrales coopèrent dans cette tâche) ;
- étude visuelle et attentionnelle de la dyslexie, incluant des stratégies de remédiation ;
- apprentissage du langage et effets de la plasticité cérébrale chez l'enfant et l'adulte, avec insistance sur les interventions liées à l'imagerie cérébrale.

Domaine 2 : Développement du cerveau et numératie

La faiblesse des compétences mathématiques continue de poser des difficultés à nombre d'enfants d'âge scolaire, avec des répercussions (dont la dyscalculie) jusqu'à l'âge adulte. Une partie substantielle des recherches sur le cerveau permet de mieux comprendre la façon dont l'enfant commence à appréhender les nombres dès le premier âge. Ce domaine de recherche devra aussi s'intéresser aux symboles et à l'utilisation des outils informatiques, notamment pour diagnostiquer et remédier aux déficiences en matière d'apprentissage des mathématiques. De nouvelles recherches sur le cerveau ont commencé à montrer que ces compétences, si elles sont abordées tôt dans la vie, peuvent être mieux développées au moyen de changements dans les pratiques éducatives, notamment par l'utilisation de l'outil informatique, y compris pour la mise en place de stratégies de remédiation.

Parmi les objectifs de recherche :

- « trajectoire développementale de la numératie » : modèles mentaux pour l'acquisition précoce des mathématiques, établissement d'un « calendrier » pour l'acquisition des compétences mathématiques en général, études en matière de différenciations sexuelles ;

- établissement d'une taxonomie des dyscalculies, incluant leurs relations avec la dyslexie, leurs origines biologiques et/ou sociales, tests de diagnostic, outils d'apprentissage et stratégies de remédiation ;
- évaluation et développement de stratégies de diagnostic et d'intervention, incluant les stratégies scolaires et l'étude de la formation des adultes ;
- étude des outils informatiques pour l'apprentissage des mathématiques et acquisition de la « littératie informatique ».

Domaine 3 : Développement du cerveau et apprentissage tout au long de la vie

L'un des résultats les plus importants de la Phase I de ce projet est la constatation d'un fort consensus dans la communauté scientifique sur la plasticité du cerveau durant toute la vie. Les recherches montrent que la plasticité – la capacité d'apprendre, de désapprendre et de réapprendre tout au long de la vie – est bien plus grande qu'on ne le pensait jusqu'ici. En même temps, les « périodes sensibles » du cerveau exigent une plus grande attention. Ce domaine de recherche s'intéresse non seulement aux styles d'apprentissage individuels, mais il est en outre d'une importance fondamentale au regard des politiques éducatives pour l'apprentissage tout au long de la vie et pour le suivi du cerveau à l'âge mûr. La recherche explore les moyens par lesquels le déclin lié à l'âge, ainsi que la détérioration liée à la maladie, peuvent être ralentis. Faire sortir ce travail du laboratoire pour le faire entrer dans les activités d'apprentissage (formelles et informelles) des adultes est un problème clé pour les politiques et les pratiques éducatives.

Parmi les objectifs de recherche :

- étude des capacités cérébrales en rapport avec l'âge, notamment en ce qui concerne la cognition et la perception, incluant des stratégies d'intervention ;
- étude des capacités cérébrales au premier âge et durant l'enfance, avec une attention particulière portée aux périodes sensibles, à l'influence du stress maternel et à l'apprentissage des sons du langage chez le nourrisson ;
- étude des mécanismes cognitifs de l'apprentissage durant l'enfance et l'adolescence, avec une attention particulière portée au contrôle cognitif des émotions, au développement des fonctions sensori-motrices, à l'apprentissage des arts et de la musique, et à la formation de l'identité ;
- étude des mécanismes cognitifs de l'apprentissage à l'âge adulte et à l'âge mûr, incluant la réorganisation fonctionnelle du cerveau âgé et lésé, les besoins d'apprentissage dans une société fondée sur l'information, et les méthodes destinées à retarder le déclin dû au vieillissement ;
- étude des mécanismes cognitifs de l'apprentissage incluant les différences individuelles, en fonction de l'âge et du caractère implicite ou explicite de l'apprentissage.

5.2.3. Trois réseaux de recherche : structure et résultats attendus

Chacun des trois domaines définis ci-dessus sera exploré durant une période de trois ans par un réseau international et transdisciplinaire, principalement composé de neuroscientifiques et d'experts en matière d'éducation. Chacun de ces trois réseaux est dirigé par un coordinateur et un conseiller de réseau ; ces six personnes forment le Comité de pilotage du projet, chargé de coordonner les efforts des trois réseaux et d'assurer les fertilisations croisées. Le Réseau LLL (pour « Lifelong Learning »), qui travaillera sur l'apprentissage tout au long de la vie, sera coordonné depuis l'Asie¹². Le Réseau LRS (pour « Literacy and Reading Skills »), qui travaillera sur la littératie, sera coordonné depuis l'Amérique¹³. Le Réseau NMS (pour « Numeracy and Mathematic Skills »), qui travaillera sur la numératie, sera coordonné depuis l'Europe.

En outre, un Conseil scientifique, composé d'experts extérieurs et d'un représentant de chacun des trois réseaux, sera chargé de suivre les travaux des réseaux et de fournir des avis consultatifs sur les orientations substantielles et opérationnelles desdits travaux. Ces deux corps (Comité de pilotage et Conseil scientifique) seront assistés en permanence par le personnel du CERI de l'OCDE.

Outre le fait de passer en revue et de codifier les résultats des recherches existantes, de coordonner et de faciliter les recherches en cours et (là où ce sera approprié) d'encourager et de stimuler les nouvelles recherches pertinentes, les réseaux devront fournir des rapports d'évolution réguliers, contribuer par leurs idées et par des chapitres substantiels à une future publication de l'OCDE (prévue pour 2005) et rédiger des rapports sur « l'état de la science », les découvertes et les conclusions du moment, émettre des recommandations au regard des politiques et des pratiques éducatives, et au regard du programme de recherche pour la phase suivante.

Le besoin de recherches en matière d'apprentissage tout au long de la vie émane de demandes et de pressions à la fois sociétales et biologiques. Les sociétés confrontées au problème du vieillissement de leurs populations se tournent vers les neurosciences pour tenter de comprendre ce qui est adapté à quels groupes d'âge (et quand), d'autant plus que la rapidité du phénomène de globalisation oblige le cerveau humain à s'adapter à des changements de plus en plus importants et à les assimiler. De ce fait, pour la mise en place des objectifs de recherche du Réseau LLL, on commencera par systématiser une base de connaissances spécifique à chacun des objectifs (incluant la définition de concepts clés : par exemple, périodes « sensibles » ou périodes « fiables » pour ce qui est de

12. Coordinateur : Pr Masao Ito (RIKEN Brain Science Institute, Tokyo, Japon). Conseiller de réseau : Dr. Takao Hensch (idem).

13. Coordinateur : Pr. Michael Posner (Sackler Institute, New York City, États-Unis). Conseiller de réseau : Dr. Bruce McCandliss (idem).

l'apprentissage au premier âge), puis on travaillera avec les media pour mieux communiquer ce qu'éducateurs et décideurs politiques ont besoin de savoir, et ce qu'ils veulent savoir (par le biais de « FAQ » – questions fréquentes – sur un site web, par exemple). Les questions transversales de la recherche en matière d'apprentissage tout au long de la vie incluent le fonctionnement cérébral en ce qu'il entretient comme rapports avec la nutrition, le sommeil, la consommation de drogues (au sens large), la gestion du stress, la forme physique, et la régulation émotionnelle. Ce réseau cherche à intégrer, de manière responsable, les recherches fondamentales de la science « dure » à des recommandations politiques et/ou à l'expression d'orientations à l'usage des décideurs politiques, des éducateurs, des responsables de la santé et des parents.

Les objectifs transversaux du Réseau LRS sont essentiellement la diffusion d'information et l'application innovante. Les publics-cibles sont les décideurs politiques en matière éducative et les usagers (c'est-à-dire d'abord les praticiens de l'éducation, les parents et les enfants). Les orientations générales suivies par ce réseau sont les suivantes : la recherche doit être fondée sur les mécanismes cérébraux et l'information publiée doit être utile et accessible. Le contexte international de cette entreprise devra être pris en compte comme élément horizontal dans chaque domaine de recherche. En ce sens, ce réseau propose d'utiliser un site web pour toucher un public international intéressé par les questions relatives à la lecture. Dans ce cadre, il serait possible de communiquer sur des points solidement établis (où un consensus émerge) par la recherche sur le cerveau en matière de littératie, et d'établir des échanges au cours desquels des scientifiques de renom mondial pourraient faire état de découvertes en faveur de (ou au contraire contre) telle ou telle thèse (en particulier pour discuter les « neuromythologies »). Des contenus interactifs sur le web incluraient également des démonstrations pratiques et des clés pour accéder aux outils d'intervention.

Les objectifs transversaux du Réseau NMS, dans ses domaines de recherche comprennent : 1) l'identification de structures cérébrales clés et les interconnexions qu'elles entretiennent ; 2) la détermination de l'interaction entre mathématiques et espace ; 3) la compréhension de l'impact des différences culturelles. Chaque domaine de recherche fournira une synthèse des connaissances scientifiques, une liste des possibles conséquences en matière éducative, et une liste des questions scientifiques et éducatives ouvertes, incluant de nouvelles propositions de recherche. De plus, ce réseau propose de travailler horizontalement avec le Réseau LLL pour mieux comprendre quels liens l'apprentissage des mathématiques entretient avec d'autres apprentissages, et avec le Réseau LRS pour étudier les connexions entre dyslexie et dyscalculie. Ce réseau propose également une forte composante en matière de TIC, en introduisant l'étude de nouveaux logiciels de diagnostic et d'intervention (sous forme de jeux pour adultes et enfants, accessibles gratuitement sur Internet).

Bien que des recherches neuroscientifiques soient engagées dans les domaines de la lecture, de la pensée mathématique et de l'apprentissage sur toute la durée de la vie par plusieurs institutions scientifiques, la plupart sont trop dispersées pour permettre de franchir la distance séparant les laboratoires des systèmes éducatifs. Grâce à la mise sur pied de ces équipes internationales et transdisciplinaires, les recherches dans les domaines concernés seront coordonnées sur la base d'une collaboration entre les parties. L'un des principaux objectifs est de collecter et de publier des recherches utiles susceptibles d'avoir un impact direct sur les pratiques éducatives. Un deuxième objectif est de disséminer ces informations, *via* le support du livre et le multimédia, vers des publics cibles parmi lesquels celui des praticiens de l'éducation et celui des décideurs politiques. Ce concept induit la création de passerelles, voire la fusion, entre différentes disciplines, dont la linguistique, les mathématiques, la psychologie, et, bien entendu, la neuroscience cognitive et la philosophie.

Annexe

AGENDAS DES TROIS FORUMS

Mécanismes cérébraux et apprentissage durant l'enfance

**Premier Forum, 16-17 juin 2000,
Institut Sackler, New York, États-Unis**

Ouverture

Michael Posner, professeur et directeur de l'Institut Sackler, États-Unis
Jarl Bengtsson, Chef du CERI/OCDE

Session 1 : Synthèse de la recherche sur le cerveau et des sciences de l'apprentissage

Michael Posner, Institut Sackler, États-Unis
« Liens entre le développement cérébral et l'éducation »
Andries Sanders, université libre d'Amsterdam, Pays-Bas
« Pertinence potentielle de la recherche sur le cerveau pour les processus d'apprentissage et les programmes éducatifs des enfants d'âge préscolaire »
William Greenough, université d'Illinois, États-Unis
« Mécanismes cérébraux de l'apprentissage et de la mémoire »

Session 2 : Cognition et émotions

Joseph LeDoux, université de New York, États-Unis
« Personnalité et cerveau : réduire le clivage »
Masao Ito, Institut RIKEN de la science du cerveau, Japon
« Mécanismes cérébraux du cognitif et de l'émotionnel »
David Servan-Schreiber, université de Pittsburgh, États-Unis
« Contexte émotionnel de l'apprentissage »
Stephen Kosslyn, université de Harvard, États-Unis
« Utiliser les images mentales pour réguler les émotions »

Session 3 : Numératie, littératie et acquisition langagière

Stanislas Dehaene, INSERM, France
« Mécanismes cérébraux de la numératie »
Helen Neville, université d'Oregon, États-Unis
« Mécanismes cérébraux de l'acquisition de la première et de la seconde langue »
Bruce McCandliss, Institut Sackler, États-Unis
« Circuits corticaux de la lecture de mots »

Session 4 : Cerveau et apprentissage : pertinence des approches interdisciplinaires

Rodney Cocking, Fondation nationale pour la science (NSF), États-Unis
« Nouveaux développements en science de l'apprentissage : utiliser la recherche pour aider les apprenants »

Alison Gopnik, université de Californie – Berkeley, États-Unis
« Développement cognitif et sciences de l'apprentissage : état des lieux »

Session de conclusion

Michael Posner, Institut Sackler, États-Unis
« Réflexions scientifiques sur les résultats du forum »

Eric Hamilton, Fondation nationale pour la science (NSF), États-Unis
« Réflexions politiques sur les résultats du forum »

Sir Christopher Ball, université de Derby, Royaume-Uni
« Conclusions générales du forum »

Mécanismes cérébraux et apprentissage à l'adolescence

Second Forum, 1-3 février 2001, Université de Grenade, Espagne

Ouverture

José Moratalla Molina, maire de Grenade, Espagne

David Aguilar Peña, Recteur de l'Université de Grenade, Espagne

Jarl Bengtsson, Chef du CERI/OCDE

Session 1 : Synthèse du précédent forum et grandes lignes du second forum

Bruno della Chiesa, CERI/OCDE

« Synthèse des principaux résultats du premier forum »

John Bruer, Fondation McDonnell, États-Unis

« Science du cerveau, science de l'esprit, et apprentissage tout au long de la vie »

Pilar Ballarin, région Andalousie, Espagne

« Principales questions politiques au niveau de l'enseignement secondaire »

Session 2 : Liens entre neurosciences et questions génétiques

Luis Fuentes, université d'Almería, Espagne

« Liens entre neurosciences et recherche sur le génome »

Antonio Marín, université de Séville, Espagne

« Génétique et performance intellectuelle »

Stanislas Dehaene, INSERM, France

« L'impact des dommages cérébraux précoces sur l'acquisition des mathématiques durant l'enfance »

(syndrome d'alcoolisme foetal, syndrome de Turner et autres maladies génétiques)

Jim Swanson, université de Californie, Irvine, États-Unis

« Facteurs génétiques associés à l'ADHD »

Rafael Maldonado, université Pompeu Fabra, Barcelone, Espagne

« L'impact de la consommation de drogues sur l'apprentissage »

Alain Michel, ministère de l'Éducation, France

« Questions éthiques liées à la génétique et aux neurosciences : perspectives éducatives »

Session 3 : Contextes d'apprentissage et modes d'apprentissage chez les adolescents

Pio Tudela, université de Grenade, Espagne

« Apprentissage implicite et explicite, du point de vue des neurosciences cognitives »

José Manuel Rodriguez-Ferrer, université de Grenade, Espagne

« Spécificités de la période post-pubertaire : exploiter les hormones ? »

Stephen Kosslyn, université de Harvard, États-Unis

« Le rôle de la simulation mentale dans les processus de pensée »

Heinz Schirp, Institut pour l'école et la formation continue, Allemagne

« L'apprentissage à l'adolescence, du point de vue des politiques éducatives »

Session 4 : Numératie, littératie et créativité

Diego Alonso, université d'Almería, Espagne

« Mécanismes de l'acquisition des compétences mathématiques à l'adolescence »

Bruce McCandliss, Institut Sackler, États-Unis

« Mécanismes des compétences de lecture : du novice à l'expert »

Guy Claxton, université de Bristol, Royaume-Uni

« Comment le cerveau produit la créativité, et comment l'école renforce ou affaiblit la créativité des jeunes »

Mark Fletcher, « English Experience », Royaume-Uni

« Un défi lancé par la classe aux neurosciences (et à l'éducation) : la révolution 'cérébro-conviviale' – réalité ou neuro-délire ? »

Rodney Cocking, Fondation nationale pour la science (NSF), États-Unis

« Réflexions sur la session 4 »

Session de conclusion

Pilar Ballarin, région Andalousie, Espagne

« Réflexions politiques sur les résultats du forum »

Masao Ito, Institut RIKEN de la science du cerveau, Japon

« Réflexions scientifiques sur les résultats du forum et introduction au forum de Tokyo »

Jean-Claude Ruano-Borbalan, « Sciences humaines », France

« Réflexions sur le forum, du point de vue d'un journaliste scientifique »

Sir Christopher Ball, université de Derby, Royaume-Uni

« Conclusions générales du forum »

Clôture

José Moratalla, maire de Grenade, Espagne

Julio Iglesias de Ussell, secrétaire d'État aux Universités, ministère de l'Éducation, Espagne

Candida Martinez, ministre régional de l'Éducation et de la Science, région Andalousie, Espagne

Jarl Bengtsson, chef du CERI/OCDE

Bruno della Chiesa, administrateur, CERI/OCDE

Mécanismes cérébraux et apprentissage à l'âge mûr

Troisième Forum, 26-27 avril 2001,
Institut RIKEN de la science du cerveau, Tokyo, Japon

Ouverture

Teiichi Sato, directeur général – Société japonaise pour la promotion de la science (JSPS), Japon

Masao Ito, professeur et directeur de l'Institut RIKEN de la science du cerveau, Japon

Jarl Bengtsson, chef du CERI/OCDE

Session 1 : Introduction et panorama scientifique

Eamonn Kelly, université George Mason, Fairfax, États-Unis

« Synthèse des principaux résultats des deux premiers forums »

Raja Parasuraman, université catholique d'Amérique, Washington DC, États-Unis

« Attention, vieillissement, démence : extension et amélioration des fonctions cognitives chez l'adulte »

Session 2 : Questions interdisciplinaires liées à l'apprentissage à l'âge mûr

Jarl Bengtsson, CERI/OCDE

« Populations vieillissantes : de nouveaux défis politiques »

Shinobu Kitayama, université de Kyoto, Japon

« Variations culturelles de la cognition : implications pour la recherche sur le vieillissement »

Yasumasa Arai, université Juntendo, Tokyo, Japon

« Questions de genres : le cerveau est-il sexué ? »

Rodney Cocking, Fondation nationale pour la science (NSF), États-Unis

« Franchir les frontières disciplinaires pour comprendre la neuroscience cognitive du vieillissement »

Hideaki Koizumi, Laboratoire de recherche avancée, Hitachi, Japon

« Réflexions sur les sessions 1 et 2 »

Session 3 : Plasticité cérébrale permanente, mémoire et apprentissage tout au long de la vie

Andrea Volfova, université de Harvard, États-Unis

Bruno della Chiesa, CERI/OCDE

« Que signifie la plasticité cérébrale permanente pour l'apprentissage tout au long de la vie ? »

Yasushi Miyashita, université de Tokyo, Japon

« Mémoire : encoder et retrouver des données »

Itaru Tatsumi, Institut métropolitain de gérontologie de Tokyo, Japon

« Une étude TEP : comment jeunes et personnes âgées retrouvent des noms propres et des noms communs »

Lynn Cooper, université de Columbia, États-Unis

« Effets de l'âge sur les propriétés dynamiques des systèmes de mémoire dissociable »

Session 4 : Acquisition de compétences à l'âge mûr

Masao Ito, Institut RIKEN de la science du cerveau, Japon

« Les rôles du cervelet dans l'acquisition des compétences et leur dépendance par rapport à l'âge »

Pio Tudela, université de Grenade, Espagne

« Acquisition de compétences cognitives à l'âge mûr : attention et automaticité »

Wolfgang Schinagl, chambre de commerce de Styrie, Autriche

« Nouvel apprentissage des adultes dans la société de l'information et du savoir »

Bruce McCandliss, Institut Sackler, États-Unis

« Mécanismes cérébraux influençant l'apprentissage des adultes : le cas des difficultés persistantes dans l'apprentissage des sons étrangers par des locuteurs non natifs »

Kenneth Whang, Fondation nationale pour la science (NSF), États-Unis

« Réflexions sur les sessions 3 et 4 »

Session 5 : Maladies, apprentissage et puissance du cerveau vieillissant

Shigenobu Kanba, école de médecine Yamanashi, Japon

« Caractéristiques de la dépression sénile : l'importance de la prévention et du traitement »

Akihiko Takashima, Institut RIKEN de la science du cerveau, Japon

« Comprendre le cerveau vieillissant à partir d'études sur la maladie d'Alzheimer »

Art Kramer, université d'Illinois, États-Unis

« Améliorer la vitalité cognitive au 3^e âge : le rôle de la forme physique et de l'entraînement cognitif »

Yoshiko Shimonaka, université féminine Bunkyo, Japon

« Créativité et vieillissement : la créativité décline-t-elle au cours de l'âge adulte ? »

Session 6 : Apprentissage et éducation : perspectives pour les politiques de recherche

Akito Arima, ex-ministre de l'Éducation et de la Science, Japon

« Éducation et Recherche au Japon »

Denis Ralph, Centre d'Australie du Sud pour l'apprentissage tout au long de la vie et le développement, Australie

« Apprendre tout au long de la vie – liens entre recherche, politiques et pratiques : une perspective australienne »

Eric Hamilton, Fondation nationale pour la science (NSF), États-Unis

« La politique et les programmes de la NSF en matière de recherche sur le cerveau et sciences de l'apprentissage »

Barry McGaw, DEELSA/OCDE

« Réflexions sur les sessions 5 et 6 »

Session de conclusion

Masao Ito, Institut RIKEN de la science du cerveau, Japon

« Réflexions scientifiques sur le travail accompli »

Sir Christopher Ball, université de Derby, Royaume-Uni

« Réflexions politiques sur le travail accompli et conclusions générales des trois forums de la Phase 1 »

Bruno della Chiesa, CERI/OCDE

« Développements à venir : vers la Phase 2 »

Bibliographie

I. Livres

a) Textes d'introduction

- Bruer, J.T. (1999),
Tout est-il joué avant 3 ans ?, Éditions Odile Jacob, Paris.
- Carter R. (2000),
Atlas du cerveau, Éditions Autrement, Paris.
- Dehaene, S. (1996),
La bosse des maths, Éditions Odile Jacob, Paris.
- Goleman, D. (1995),
L'Intelligence émotionnelle, Éditions Robert Laffont, Paris.
- Gopnik, A., Meltzoff, A. et Kuhn, P. (1999),
The Scientist in the Crib, William Morrow and Co., New York.
- Ito, M. (1997),
Brain and Mind, Elsevier Science, Royaume-Uni.
- Kosslyn, S.M. (1996),
Image and Brain, MIT Press, Cambridge, MA.
- National Research Council (1999),
How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School, National Academy Press, Washington DC.
- Parasuraman, R. (1998),
The Attentive Brain, MIT Press, Cambridge, MA.
- Pinker, S. (2000),
L'Instinct du langage, Éditions Odile Jacob, Paris.
- Posner, M.I. et Raichle, M. (1994),
L'Esprit en images, Université De Boeck, Paris, Bruxelles.
- Spitzer, M. (1999),
The Mind Within the Net: Models of Learning, Thinking, and Acting, MIT Press, Cambridge, MA.

b) Pour approfondir

- Ball, C. (1989),
Higher Education into the 1990's: New Dimensions, Open University Press, Royaume-Uni.
- Ball, C. (1991),
Learning Pays, RSA, Londres.

- Byrnes, J.P. (2001),
Minds, Brains and Learning: Understanding the Psychological and Educational Relevance of Neuro-scientific Research, The Guilford Press, New York.
- Claxton, G. (1999),
Wise-Up: The Challenge of Lifelong Learning, Bloomsbury Publishing, Royaume-Uni.
- Damasio, A.R. (1994),
L'Erreur de Descartes, Éditions Odile Jacob, Paris.
- Damasio, A.R. (1999),
The Scientific American Book of Brain, The Lyons Press, New York.
- Foder, J.A. (1983),
The Modularity of Mind, MIT Press, Cambridge.
- Gardner, H. (1983),
Les Formes de l'intelligence, Éditions Odile Jacob, Paris.
- Gazzaniga, M.S. (1996),
Conversations in the Cognitive Neurosciences, MIT Press, Cambridge, MA.
- Hebb, D.O. (1949),
The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory, Wiley Publishing, New York.
- Ito, M. (1967),
The Cerebellum as a Neuronal Machine, Springer-Verlag, Royaume-Uni.
- Ito, M. (1984),
The Cerebellum and Neural Control, Raven Press, Royaume-Uni.
- Kotulak, R. (1997),
Inside the Brain: Revolutionary Discoveries of How the Mind Works, Andrews McMeel Publishing, Kansas City, KS.
- OCDE (2000),
Société du savoir et gestion des connaissances, Paris.
- OCDE (2000),
Learning to Bridge the Digital Divide, Paris (en anglais uniquement).
- OCDE (2001),
Connaissances et compétences : des atouts pour la vie – Premiers résultats de PISA 2000, Paris.
- OCDE (2001),
Les villes et les régions dans la nouvelle économie apprenante, Paris.
- OCDE (2001),
Les nouvelles technologies à l'école : apprendre à changer, Paris.
- OCDE (2001),
Cyberformation – Les enjeux du partenariat, Paris.
- OCDE (2001),
Rapport de New York : www.oecd.org/pdf/M00019000/M00019809.pdf
- OCDE (2001),
Rapport de Grenade : www.oecd.org/pdf/M00017000/M00017849.pdf
- OCDE (2001),
Rapport de Tokyo : www.oecd.org/pdf/M00022000/M00022657.pdf

- OCDE (2001),
Rapport des trois forums : www.oecd.org/oecd/pages/home/displaygeneral/0,3380,EN-document-603-5-no-27-26268-0,FF.html
- Spitzer, M. (2000),
Geist, Gehirn & Nervenheilkunde: Grenzgänge zwischen Neurobiologie, Psychopathologie und Gesellschaft, F.K. Schattauer Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart.
- Spitzer, M. (2001),
Ketchup und das kollektive Unbewusste: Geschichten aus der Nervenheilkunde, F.K. Schattauer Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart.
- Thompson, W.L. et Kosslyn, S.M. (en cours d'impression),
« Neuronal systems activated during visual mental imagery: A review and meta-analyses », in J. Mazziotta et A. Toga (dir. pub.), *Brain Mapping II: The Systems*, Academic Press, New York.
- US National Research Council,
Report on Scientific Inquiry in Education.

II. Articles

a) Mentionnés dans le présent ouvrage et/ou dans les rapports des trois forums

- Albert, M.S., Jones, K., Savage, C.R., Berkman, L., Seeman, T., Blazer, D. et Rowe, J.W. (1995),
« Predictors of cognitive change in older persons: MacArthur studies of successful ageing », *Psychological Ageing*, vol. 10, n° 4, pp. 578-589.
- Alexopoulos, G.S., Meyers, B.S., Young, R.C., Kakuma, T., Silbersweig, D. et Charlson, M. (1997),
« Clinically defined vascular depression », *American Journal of Psychiatry*, vol. 154, pp. 562-565.
- Block, J. (1995),
« On the relation between IQ, impulsivity and delinquency », *Journal of Abnormal Psychology*, vol. 104, pp. 395-398.
- Braak, H. et Braak, E. (1991),
« Neuropathological staging of Alzheimer-related changes », *Acta Neuropathologica*, vol. 82, pp. 239-259.
- Bruer, J.T. (1998),
« Brain science, brain fiction », *Educational Leadership*, vol. 56, n° 3, pp. 14-18.
- Bruer, J.T. (1999),
« Education and the brain: A bridge too far », *Educational Researcher*, vol. 26, n° 8, pp. 4-16.
- Bruer, J.T. (1999),
« In search of brain-based education », *Phi Delta Kappan*, vol. 80, n° 9, pp. 648-657.
- Burgess, N. et O'Keefe, J. (1996),
« Neural computation underlying the firing of place cells and their role in navigation », *Hippocampus*, vol. 6, n° 6, pp. 749-762.
- Bush, G., Luu, P. et Posner, M.I. (2000),
« Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex », *Trends in Cognitive Neuroscience*, vol. 4, n° 6, pp. 215-222.

- Dehaene, S., Spelke, E., Pinel, P., Stanescu, R. et Tsivlin, S. (1999),
« Sources of mathematical thinking: Behavioural and brain imaging evidence », *Science*,
vol. 284, n° 5416, pp. 970-974.
- Diamond, M.C., Greer, E.R., York, A., Lewis, D., Barton, T. et Lin, J. (1987),
« Rat cortical morphology following crowded-enriched living conditions », *Experimental
Neurology*, vol. 96, n° 2, pp. 241-247.
- Dustman, R.E., Shearer, D.E. et Emmerson, R.Y. (1993),
« EEG and event-related potentials in normal ageing », *Progressive Neurobiology*, vol. 41,
n° 3, pp. 369-401.
- Ernst, R.L. et Hays, J.W. (1994),
« The US economic and social costs of Alzheimer's disease revisited », *American Journal of
Public Health*, vol. 84, pp. 1261-1264.
- Eslinger, P.J. et Damasio, A.R. (1985),
« Severe disturbance of higher cognition after bilateral frontal lobe ablation: Patient
EVR », *Neurology*, vol. 35, pp. 1731-1741.
- Felsman, J.K. et Vaillant, G.E. (1987),
« Resilient children as adults: A 40-year study », in E.J. Anderson et B.J. Cohler (dir.
pub.), *The Invulnerable Child*, New York : Guilford Press, New York.
- Gabrieli, J.D., Brewer, J.B. Poldrack, R.A. (1998),
« Images of medial temporal lobe functions in human learning and memory », *Neurobio-
logy of Learning and Memory*, vol. 20, n° 1-2, pp. 275-283.
- Goldsmith, H.H. et Bihun, J.T. (1997),
« Conceptualizing genetic influences on early behavioral development », *Acta Paediatric*,
July, vol. 422, pp. 54-59.
- Greenwood, P.M., Sunderland, T., Friz, J. et Parasuraman, R. (2000),
« Genetics and visual attention: Selective deficits in healthy adult carriers of the
e4 allele of the apolipoprotein E gene », *Proceedings of the National Academy of
Sciences*, vol. 97, pp. 11661-11666, États-Unis.
- Hubel, D.H., Wiesel, T.N. et LeVay, S. (1977),
« Plasticity of ocular dominance columns in monkey striate cortex », *Philosophical Transactions
of the Royal Society of London (B)*, vol. 278, pp. 307-409.
- Koizumi, H. (1997),
« Mind-Morphology: An Approach with Non-invasive Higher-order Brain Function
Analysis », *Chemistry and Chemical Industry*, vol. 50, n° 11, pp. 1649-1652.
- Koizumi, H. (1999),
« A practical approach to trans-disciplinary studies for the 21st century – The centen-
nial of the discovery of radium by the Curies », *J. Seizon and Life Sci.*, vol. 9, n° B 1999.1,
pp. 19-20.
- Koizumi, H. et al. (1999),
« Higher-order brain function analysis by trans-cranial dynamic near-infrared spectro-
scopy imaging », *Journal Biomed. Opt.*, vol. 4, couv. et pp. 403-413.
- Maguire, E.A., Frackowiak, R.S. et Frith, C.D. (1996),
« Learning to find your way around: A role for the human hippocampal formation », *Pro-
ceedings for the Royal Society of London (B)*, *Biological Sciences*, vol. 263, pp. 1745-1750.

- Maguire, E.A., Frackowiak, R.S. et Frith, C.D. (1997),
« Recalling routes around London: Activation of the right hippocampus in taxi drivers », *Journal of Neuroscience*, vol. 17, n° 18, pp. 7103-7110.
- Maguire, E.A., Gadian, D.S., Johnsrude, I.S., Good, C.D., Ashburner, J., Frackowiak, R.S. et Frith, C.D. (2000),
« Navigation related structural changes in the hippocampi of taxi drivers », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 97, n° 8, pp. 4398-4403, États-Unis.
- McCandliss, B.D., Beck, I., Sandak, R. et Perfetti, C. (en cours d'impression),
« Focusing attention in decoding for children with poor reading skills: A study of the Word Building intervention ».
- Meltzoff, A.N. et Moore, M.K. (1977),
« Imitation of facial and manual gestures by human neonates », *Science*, vol. 198, n° 4312, pp. 75-78.
- O'Connor, T.G., Bredenkamp, D. et Rutter, M. (1999),
« Attachment disturbances and disorders in children exposed to early severe deprivation », *Infant Mental Health Journal*, vol. 20, n° 10, pp. 10-29.
- Pantev, C., Osstendveld, R., Engelien, A., Ross, L.E., Roberts, L.E. et Hoke, M. (1998),
« Increased auditory cortical representation in musicians », *Nature*, vol. 392, pp. 811-814.
- Parasuraman, R. et Greenwood, P.M. (1998),
« Selective attention in aging and dementia », in R. Parasuraman (dir. pub.), *The Attentive Brain*, MIT Press, Cambridge, MA, pp. 461-488.
- Parasuraman, R. et Martin, A. (1994),
« Cognition in Alzheimer's disease: Disorders of attention and semantic knowledge », *Current Opinion in Neurobiology*, vol. 4, pp. 237-244.
- Park, D.C. (2001),
The Ageing Mind. See website : www.rcgd.isr.umich.edu/
- Pascual-Leone, A., Nguyet, D., Cohen, L.G., Brasil-Neto, J.P., Cammarota, A. et Hallett, M. (1995),
« Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills », *Journal of Neurophysiology*, vol. 74, n° 3, pp. 1037-1045.
- Raz, N., Williamson, A., Gunning-Dixon, F., Head, D. et Acher, J. D. (2000),
« Neuroanatomical and cognitive correlates of adult age differences in acquisition of a perceptual-motor skill », *Microscience Research Technology*, vol. 51, n° 1, pp. 85-93.
- Rothbart, M.K. et Jones, L.B. (1998),
« Temperament, self-regulation and education », *School Psychology Review*, vol. 27, n° 4, pp. 479-491.
- Schinagl, W. (2001),
« New learning of adults in the information and knowledge society », *Journal of Universal Computer Science*, vol. 7, n° 7, pp. 623-628.
- Shaywitz, S.E., Shaywitz, B.A., Pugh, K.R., Fulbright, R.K., Constable, R.T., Mencl, W.E., Shankweiler, D.P., Liberman, A.M., Skudlarski, P., Fletcher, J.M., Katz, L., Marchione, K.E., Lacadie, C., Gatenby, C. et Gore, J.C. (1998),
« Functional disruption in the organization of the brain for reading in dyslexia », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 95, n° 5, pp. 2636-2641, États-Unis.

- Shoda, Y., Mischel, W. et Peake, P.K. (1990),
« Predicting adolescent cognitive development and self-regulatory competencies from pre-school delay of gratification: Identifying diagnostic conditions », *Developmental Psychology*, vol. 26, pp. 978-986.
- Terry, R.D., DeTeresa, R. et Hansen, L.A. (1987),
« Neocortical cell counts in normal human adult ageing », *Annals of Neurology*, vol. 21, n° 6, pp. 530-539.

b) Pour approfondir

- Hickok, G. et Poeppel, D. (2000),
« Towards a functional neuroanatomy of speech perception », *Trends in Cognitive Science*, vol. 4, n° 4, pp. 131-138.
- Huttenlocker, P.R. et Dabholkar, A.S. (1997),
« Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex », *Journal of Computational Neurology*, vol. 387, n° 2, pp. 167-178.
- Kuhl, P.K. (1998),
« The development of speech and language », in T.J. Carew, R. Menzel et C.J. Shatz (dir. pub.), *Mechanistic Relationships Between Development and Learning*, Wiley, New York, pp. 53-73.
- Posner, M.I. et Abdullaev, Y. (1996),
« What to image? Anatomy, plasticity and circuitry of human brain function », in A.W. Toga et J.C. Mazziotta (dir. pub.), *Brain Mapping: The Methods*, Academic Press, New York, pp. 407-421.
- Posner, M.I., Abdullaev, Y.G., McCandliss, B.D. et Sereno, S.C. (1999),
« Neuroanatomy, circuitry and plasticity of word reading », *Neuroreport*, vol. 10, pp. R12-23.
- Stanescu-Cosson, R., Pinel, P., van De Moortele, P.F., Le Bihan, D., Cohen, L. et Dehaene, S. (2000),
« Understanding dissociation's in dyscalculia: A brain imaging study of the impact of number size on the cerebral networks for exact and approximative calculation », *Brain*, Vol. 123, pt. 11, pp. 2240-2255.
- Temple, E., Poldrack, R.A., Salidis, J., Deutsch, G.K., Tallal, P., Mersénich, M.M. et Gabrieli, J.D. (2001),
« Disrupted neural responses to phonological and orthographic processing in dyslexic children: An fMRI study », *Neuroreport*, vol. 12, n° 2, pp. 299-307.

Glossaire

Acalculie

Voir Dyscalculie.

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.

Alzheimer (Maladie d'~)

Maladie dégénérative progressive du cerveau associée 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, l'apprentissage émotionnel 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.

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 rejoint la recherche et la pratique dans le domaine de l'éducation.

Apprentissage attendant de recevoir de l'expérience

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 opératoire au début de la vie.

Apprentissage dépendant de l'expérience

Propriété d'un système neural fonctionnel dans lequel des variations de l'expérience entraînent des variations dans les fonctions, propriété pouvant perdurer pendant toute la vie.

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.

Cervelet

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

Choline

Substance chimique nécessaire à la synthèse de l'acétylcholine, un neurotransmetteur nécessaire au stockage mémoriel et au contrôle musculaire.

Cholinergiques (Systèmes ~)

Ou systèmes de l'acétylcholine. Systèmes dans lesquels est présente l'acétylcholine, se trouvant aux jonctions neuromusculaires des neurones moteurs et du cerveau. La perte des neurones à acétylcholine est un facteur contribuant à la maladie d'Alzheimer.

Cognition

Opération mentale incluant tous les aspects de la perception, de la pensée, de l'apprentissage et de la mémoire.

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.

Cortex cérébral

Couche externe du cerveau.

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.

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.

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.

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 populations de neurones situés dans une région donnée du cerveau.

Élagage synaptique

Voir Synaptique (Élagage ~).

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.

Gyrus

Circonvolutions du cortex, dont chacune a reçu une appellation distinctive.

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.

Hémisphère (cérébral)

Chacune des deux parties du cerveau. On parle de l'hémisphère droit et de l'hémisphère gauche.

Hippocampe

Structure du système limbique impliquée dans la mémoire et la représentation spatiale. Cette partie du cerveau joue également un rôle important dans le traitement et le stockage de la mémoire à long terme.

Image mentale

Ou visualisation. Les images mentales 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 fonctionnelle

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

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 forgé à l'origine afin d'expliquer plus complètement les méthodes différentes, mais d'importance égale, employées dans le traitement de l'environnement.

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 des 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 contient nombre des structures les plus profondes du cerveau.

Lobe

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

Lobe frontal

Région antérieure du cortex cérébral, supposée être impliquée dans la planification et les formes de pensée supérieures.

Lobe occipital

Région postérieure du cortex cérébral recevant l'information visuelle.

Lobe pariétal

Région médiane supérieure du cortex cérébral impliquée dans plusieurs fonctions telles que le traitement de l'information spatiale, l'image corporelle, le sens de l'orientation, etc.

Lobe temporal

Région latérale du cortex cérébral, recevant des informations auditives.

Maladie d'Alzheimer

Voir Alzheimer (Maladie d'~).

Maladies neurodégénératives

Voir Neurodégénératives (Maladies ~).

MEG

Magnéto-encéphalographie. Technique d'imagerie fonctionnelle non-invasive du cerveau sensible aux changements rapides de l'activité cérébrale. Les enregistreurs (« SQUID » ou *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.

Myélinisation

Processus par lequel les nerfs sont recouverts d'une substance grasseuse protectrice. La gaine (myéline) entourant les fibres nerveuses se comporte comme un conduit 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 ».

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 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 scientifiquement établi (par la recherche sur le cerveau) s'appliquant à l'éducation ou à d'autres contextes.

Neurone

Élément constitutif fondamental du système nerveux ; cellule spécialisée dans l'intégration et la transmission de l'information.

Neuroscience cognitive

Voir Cognitive (Neuroscience ~).

NIRS

Near InfraRed Spectroscopy : voir Spectroscopie en proche infrarouge.

OT

Voir Topographie optique.

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 la lecture, l'acquisition du vocabulaire et la capacité à distinguer les couleurs, dont le développement ne semble pas dépendre de périodes sensibles.

Périsylvienne (Régions ~)

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

Potentiels évoqués

Ou « ERP » (*Event-Related Potentials*). 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.

Plaques séniles

Pathologie du cerveau clairement associée à la maladie d'Alzheimer. Il s'agit d'amas de processus cellulaires anormaux entourant des masses de protéines.

Plasticité

Ou plasticité cérébrale. Phénomène par lequel le cerveau est capable de changer et d'apprendre.

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.

Science de l'apprentissage

Voir Apprentissage (Science de l'~).

Science cognitive

Voir Cognitive (Science ~).

SMT

Stimulation magnétique transcrânienne. 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.

Souvenir explicite

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

Souvenir 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 vous permettant d'accomplir plus vite la deuxième fois que la première une action comme celle de lacer vos 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.)

Synapse

Jonction spécialisée par laquelle un neurone communique avec un autre neurone (appelé « cellule-cible » dans ce cas).

Synaptique (densité)

Désigne le nombre de synapses associées à un neurone.

Synaptique (élagage)

Processus du développement cérébral par lequel les synapses (connexions entre les cellules du cerveau) inutilisées sont éliminées. Durant la phase d'élagage, l'expérience et l'environnement déterminent quelles synapses seront éliminées ou préservées.

Synaptogénèse

Formation d'une synapse.

Syndrome d'alcoolisme foetal

Ensemble des dommages infligés à l'enfant avant sa naissance du fait de la consommation d'alcool par la mère.

Syndrome du chromosome X fragile

Une des formes les plus communes de déficience mentale héréditaire et de maladie neuropsychiatrique chez l'être humain.

Systèmes cholinergiques

Voir Cholinergiques (Systèmes ~).

Système limbique

Voir Limbique (Système ~).

TEP

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.

Topographie optique

Ou OT (*Optical Topography*). Méthode d'imagerie transcrânienne 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.

Transdisciplinaire

Terme employé pour expliquer le concept par lequel des disciplines complètement différentes, mais reliées entre elles par des passerelles, voire fusionnant l'une avec l'autre, donnent 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.

Visualisation

Voir Image mentale.

Vitalité cognitive

Terme désignant la force ou la puissance active de l'esprit lors des différentes époques de la vie.

Index

A

Acher, J.D. 78
Aguilar, D. 111
Allen, W. 31
Alonso, D. 64, 112
Arai, Y. 48, 113
Arima, A. 15, 114
Aristote 97
Ashburner, J. 79

B

Ball, C. 4, 7, 10, 104, 110, 112, 115
Ballarin, P. 111, 112
Beck, I. 63
Bengtsson, J. 4, 73, 111, 112, 113
Bismarck, O. von 35
Brasil-Neto, J. P. 79
Bredenkamp, D. 89
Brewer, J.B. 79
Brookes, C. 4, 7
Bruer, J.T. 7, 10, 13, 59, 86, 87, 90, 111
Burgess, N. 79
Bush, G. 70

C

Cammarota, A. 79
Claxton, G. 112
Cocking, R. 7, 96, 100, 110, 112, 113
Cohen, L.G. 79
Cooper, L. 114

D

Damasio, A.R. 66
Darwin, C. 10, 98, 100
Dehaene, S. 4, 7, 63, 64, 65, 84, 104, 109, 111
DeTeresa, R. 71
Diamond, M. 86
Disraeli, B. 20

E

Eliot, T.S. 95
Engelien, A. 79
Estienne, H. 47

F

Fletcher, M. 82, 112
Foder, J.A. 90
Frackowiak, R.S. 79
Frith, C. D. 79
Friz, J. 75
Fuentes, L.J. 56, 111

G

Gabrieli, J.D. 79
Gadian, D. S. 79
Galbraith, J.K. 35
Gallo, J. 7
Galton, F. 47
Gardner, H. 21
Goleman, D. 21
Good, C. D. 79
Gopnik, A. 43, 110
Greenough, W. 86, 109
Greenwood, P. M. 75
Guilford, J.P. 77
Gunning-Dixon, F. 78

H

Hallett, M. 79
Hamilton, E. 7, 47, 100, 110, 115
Hansen, L.A. 71
Head, D. 78
Hensch, T. 104
Hoke, M. 79
Hubel, D.H. 90

I

Iglesias de Ussell, J. 112
Ito, M. 7, 67, 71, 81, 104, 109, 112, 113, 114, 115

J

Johnsrude, I.S. 79
Juvéнал 77

K

Kanba, S. 75, 76, 114
Kelly, A.E. 4, 7, 113
Kipling, R. 1929
Kitayama, S. 48, 73, 113
Koizumi, H. 4, 7, 25, 44, 46, 55, 90, 91, 95, 97, 99, 100, 113
Kosslyn, S.M. 4, 7, 68, 69, 109, 112
Kramer, A.F. 57, 75, 77, 78, 114

L

Lakoff, G. 64
LeDoux, J. 67, 109
Leibniz, G.W. 34
LeVay, S. 90
Linné, C. von 10
Lucrèce 100
Luu, P. 70

M

Maguire, E. A. 79
Maldonado, R. 111
Marin, A. 47, 111
Martinez, C. 112
McCandliss, B.D. 4, 7, 48, 61, 63, 79, 104, 109, 112, 114
McGaw, B. 57, 115
Merzenich, M. 63

Michel, A. 96, 111
Mill, J.S. 34
Mischel, W. 70
Miyashita, Y. 114
Moratalla, J. 7, 111, 112
Mozart, W.A. 34, 89

N

Neville, H. 60, 61, 109
Newton, I. 98
Nguyet, D. 79
Nuñez, R. 64

O

O'Connor, T. G. 89
O'Keefe, J. 79
Ostendveld, R. 79

P

Pantev, C. 79
Parasuraman, R. 48, 57, 73, 74, 75, 113
Pascual-Leone, A. 79
Pattison, M. 101
Pinel, P. 64
Poldrack, R.A. 79
Posner, M.I. 4, 7, 69, 70, 72, 104, 109, 110

R

Rabelais, F. 96
Ralph, D. 76, 115
Ravens, J. van 41
Raz, N. 78
Robbins 22
Roberts, L.E. 79
Rodriguez-Ferrer, J.M. 45, 112
Ross, L.E. 79
Ruano-Borbalan, J.C. 112
Rutter, M. 89

S

Sakuma 77
Sanders, A. 109
Sato, T. 7, 113
Schinagl, W. 47, 114
Schirp, H. 82, 112
Servan-Schreiber, D. 65, 67, 70, 71, 109

Servan-Schreiber, E. 4, 7, 63
Shakespeare, W. 44
Shimonaka, Y. 76, 114
Smith, A. 98
Spelke, E. 64
Stanescu, R. 64
Sunderland, T. 75
Swanson, J. 45, 111

T

Takashima, A. 48, 114
Tallal, P. 63
Tatsumi, I.F. 77, 78, 114
Teilhard de Chardin, P. 100
Terada, T. 100
Terry, R.D. 71
Tolstoï, L. 42
Tsvilin, S. 64
Tudela, P. 7, 59, 77, 112, 114

V

Volfova, A. 48, 114

W

Whang, K. 7, 47, 114
Wiesel, T.N. 90
Williamson, A. 78

LES ÉDITIONS DE L'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16
IMPRIMÉ EN FRANCE
(91 2002 02 2 P) ISBN 92-64-29734-0 – n° 52534 2002