

Chapitre 15 - Les sciences cognitives et l'éducation

Par Maurice Tardif, Mario Richard, Steve Bissonnette et Arianne Robichaud

[Plan à titre indicatif]

[Titre 1] 15.1 – Définition et évolution des sciences cognitives

[Titre 2] Une définition des sciences cognitives

[Titre 2] L'origine et l'évolution des sciences cognitives

[Titre 3] Des sciences multidisciplinaires en expansion

[Titre 3] Une commune opposition au behaviorisme

[Titre 3] Les sciences cognitives et la philosophie : une vision naturaliste de l'esprit

[Titre 3] Les sciences cognitives et les TIC

[Titre 1] 15.2 – Les neurosciences et l'éducation

[Titre 2] Quel est l'intérêt de la connaissance du cerveau pour l'enseignement ?

[Titre 3] 1) L'organisation du cerveau conditionne et oriente l'apprentissage

[Titre 3] 2) L'apprentissage façonne l'organisation du cerveau

[Titre 3] 3) L'enseignant agit sur l'apprentissage et donc le cerveau

[Titre 2] La neuroéducation : quelques résultats de recherches récentes

[Titre 3] L'apprentissage des langues

[Titre 3] L'apprentissage de la littératie

[Titre 3] La perception des nombres

[Titre 1] 15.3 – La psychologie cognitive et l'éducation

[Titre 2] L'intérêt de la psychologie cognitive pour l'enseignement

[Titre 2] Vers une science de l'apprentissage

[Titre 2] L'architecture cognitive

[Titre 3] La mémoire sensorielle

[Titre 3] La mémoire à long terme

[Titre 3] La mémoire de travail ou mémoire à court terme

[Titre 2] L'approche cognitive de l'apprentissage

[Titre 3] Un modèle du développement des compétences et de l'expertise

[Titre 3] La théorie de la charge cognitive

[Titre 3] La construction de la représentation

[Titre 3] Le développement de la métacognition

Objectifs d'apprentissage

Après la lecture de ce chapitre, vous devriez être capable :

- de définir les sciences cognitives et leur évolution;
- de caractériser les principaux principes pédagogiques qui découlent des neurosciences;
- d'identifier et de définir les trois types de mémoire selon la psychologie cognitive;
- d'expliciter les conséquences éducatives découlant de la psychologie cognitive (rôle de la mémoire, connaissances antérieures, etc.).

Introduction

Les cinquante dernières années ont vu émerger un nouveau continent scientifique : les sciences cognitives. Alors que les psychologies que nous avons étudiées dans les chapitres précédents ont profondément marqué l'éducation et la pédagogie au XX^e siècle, les sciences cognitives sont encore dans leur prime jeunesse et tout laisse penser que c'est elles qui vont influencer durablement le XXI^e siècle autant en ce qui a trait à nos conceptions de l'être humain qu'à son éducation.

Or, ces sciences sont complexes pour deux raisons : d'abord, parce qu'elles sont récentes, elles proposent des connaissances en évolution constante, évolution qu'il n'est pas facile de suivre, même pour un spécialiste; ensuite, elles couvrent un très large et très dense champ de phénomènes, allant de l'étude de l'esprit humain aux théories de l'information et aux systèmes experts, en passant par l'intelligence animale jusqu'à l'intelligence artificielle, sans parler de toutes les nouvelles technologies qu'elles génèrent ou utilisent. Les présenter de manière accessible et concise représente donc un véritable défi! C'est ce défi que nous avons essayé, avec humilité, de relever dans ce chapitre, qui se veut au final qu'une petite fenêtre ouverte sur cet

immense domaine en gestation. Nous espérons que cette ouverture donnera le goût aux lecteurs d'en apprendre davantage, notamment en lisant les références présentées en fin de chapitre. Pour les enseignants de métier et les étudiants en formation à l'enseignement, nous sommes convaincus que ce chapitre et le suivant leur permettront de se familiariser avec des connaissances et des stratégies d'enseignement qui sont appelées à renouveler les bases de la pédagogie actuelle.

Nous avons divisé le chapitre en trois sections. La première s'efforce de définir succinctement les sciences cognitives et de mettre en évidence leur évolution; à la fin, elle présente brièvement deux des principaux paradigmes théoriques qui ont orienté et orientent toujours les recherches en sciences cognitives : le cognitivisme et la neurocognition. La deuxième section fait état de quelques résultats de recherche issus des neurosciences qui semblent pertinents pour l'enseignement. Enfin, la troisième section s'attarde à la psychologie cognitive appliquée à l'éducation. Cette section est étroitement liée au chapitre 16 sur l'enseignement explicite. Elle présente quelques avancées théoriques issues des recherches des dernières décennies en psychologie cognitive, tout en reportant au chapitre 16 l'étude de leurs conséquences pratiques pour l'enseignement.

[Titre 1] 15.1 – Définition et évolution des sciences cognitives

Définir les sciences cognitives aujourd'hui n'est pas une entreprise évidente, car depuis les années 1950, elles sont en développement constant, brouillant du même coup leurs frontières disciplinaires et multipliant leurs objets d'études au risque d'un certain éclatement de leur domaine. Malgré cette situation, efforçons-nous d'en proposer une définition adaptée aux besoins

de ce chapitre et qui s'appuie également sur les courants théoriques dominants en sciences cognitives.

[Titre 2] Une définition des sciences cognitives

Le terme cognition dérive du latin *cognitio*, qui renvoie à l'action de connaître avec tous ses dérivés : percevoir, comprendre, apprendre, réfléchir, juger, etc. La cognition désigne également la fonction qui rend possible chez l'être humain la connaissance : la pensée, l'esprit ou l'intelligence. En ce double sens du terme cognition, on peut définir les sciences cognitives (dorénavant SC) comme des sciences qui étudient le fonctionnement général de la pensée et la manière dont celle-ci gère les connaissances, les sélectionne, les mémorise, les réutilise, etc.

Une des grandes idées à la base des SC actuelles est que l'étude de la cognition ne se limite pas à la seule pensée humaine, mais englobe aussi l'intelligence artificielle ainsi que la cognition dans le monde animal, étudiée notamment par l'éthologie cognitive. Une autre idée importante est que la pensée ne se réduit ni à la conscience ni aux fonctions intellectuelles supérieures (raisonnement, réflexion, jugement, etc.). En fait, les SC montrent justement qu'une très large part du fonctionnement de l'esprit humain échappe à la conscience. Par exemple, lorsque nous reconnaissons le visage d'un ami dans une foule, le processus de reconnaissance des visages qui est ainsi à l'œuvre échappe à notre conscience : nous ne savons pas du tout comment nous faisons pour reconnaître ce visage, nous le reconnaissons, c'est tout. Il en va de même quand nous parlons : les règles linguistiques, les réseaux neurologiques et les mouvements physiologiques et anatomiques qui rendent possible notre parole fonctionnent en quelque sorte en mode de « pilotage automatique », sans que nous en ayons conscience. Or, cette automaticité est justement garante de leur efficacité.

[Titre 2] L'origine et l'évolution des sciences cognitives

Les SC actuelles remontent aux années 1950, elles sont donc très jeunes. Elles naissent aux États-Unis et, dans les années 1970 et surtout 1980, commencent à avoir une audience mondiale. À leur point de départ se trouve un certain nombre de phénomènes et d'idées qui vont marquer durablement leur évolution subséquente. Nous les détaillons sommairement ici.

[Titre 3] *Des sciences multidisciplinaires en expansion*

Dès le départ, les SC ont eu une très forte empreinte multidisciplinaire, ce qui les distingue des autres sciences humaines et sociales. À la fin des années 1950 et au début des années 1960, elles naissent d'échanges et de collaborations entre des chercheurs en psychologie, en informatique et en cybernétique, en linguistique et en théorie de l'information. Ces échanges ne se limitent pas à des emprunts superficiels; au contraire, on assiste au partage d'une même vision théorique basée sur l'idée que l'intelligence est un processus de traitement de l'information visant la résolution de problèmes, que ce processus suit des règles précises et que celles-ci peuvent être incarnées aussi bien dans un cerveau que dans un programme informatique ou dans les comportements d'un automate (Chamak, 2011). Nous reviendrons dans les sections suivantes sur cette vision de l'intelligence, car elle est au cœur de la psychologie cognitive.

Dans les décennies suivantes, ce caractère multidisciplinaire va encore s'accroître avec l'essor des neurosciences, mais aussi avec le développement de nouveaux champs de recherche comme la sociologie cognitive, l'économie cognitive et l'anthropologie cognitive, la philosophie de l'esprit, sans parler de tous les travaux qui tournent aujourd'hui autour des TIC, de la robotique, de l'intelligence artificielle et de la cognition animale. Enfin, les SC étaient à l'origine surtout basées sur l'étude d'activités mentales : mémoire, conscience, langage, perceptions, etc.

Or, au fil des décennies, elles vont élargir sans cesse leur champ d'études pour s'intéresser aux émotions, aux sensations, aux représentations sociales, aux sentiments, aux interactions entre les personnes, à la cognition incarnée dans un corps, à la cognition située dans un environnement social et un contexte culturel, etc. Bref, on le constate, depuis 60 ans, le territoire des SC est devenu immense, véritable continent scientifique couvrant plusieurs disciplines et portant sur une large diversité d'objets. En réaction à cette évolution, on constate une spécialisation des chercheurs, qui ont tendance désormais à se concentrer sur leur propre discipline et sur des sujets plus spécifiques. En même temps, il devient de plus en plus difficile d'échapper, pour les autres sciences sociales et humaines, à l'attraction de la galaxie cognitiviste, principalement aujourd'hui à l'influence des neurosciences comme si tout pouvait ou devait s'expliquer par le cerveau.

[Titre 3] *Une commune opposition au behaviorisme*

Un deuxième phénomène important qui caractérise l'émergence des sciences cognitives est leur commune opposition au behaviorisme. Rappelons qu'en psychologie, les années 1950 sont encore largement dominées aux États-Unis par le behaviorisme. Or, comme on l'a vu dans le chapitre 13, le behaviorisme ne s'intéresse qu'aux comportements : à son point de vue, les processus mentaux, l'intelligence, la pensée, soit échappent à l'investigation scientifique, soit n'existent tout simplement pas. Bref, entre les stimuli, les réponses et les récompenses, l'esprit n'était pour le behaviorisme qu'une boîte noire qu'il se refusait d'ouvrir ou dont il voulait se débarrasser.

Mais à la fin des années 1950, les choses commencent à changer. Les psychologues Jerome Bruner et George Miller montrent qu'on ne peut pas comprendre les comportements sans prendre en compte le fonctionnement de la pensée humaine, notamment les limitations de la mémoire et les stratégies intellectuelles. En 1959, Noam Chomsky, un des plus importants linguistes du XX^e

siècle et l'un des principaux fondateurs des sciences cognitives, va adresser à Burrhus F. Skinner une critique dévastatrice de sa théorie de l'apprentissage du langage exposée dans son ouvrage *Verbal Behavior* de 1957. Contre Skinner, Chomsky défend la thèse que les êtres humains possèdent de manière innée des règles linguistiques universelles. Bref, un peu comme un programme informatique dans un ordinateur, les êtres humains sont capables de parler, non pas parce qu'ils sont conditionnés et récompensés comme le soutient Skinner, mais bien parce qu'ils possèdent dans leur cerveau des compétences linguistiques innées, une sorte de grammaire universelle définie par notre ADN. C'est cette grammaire qui permet aux jeunes enfants d'apprendre sans difficulté n'importe quelle langue maternelle. Par ailleurs, à la même époque, les travaux de Jean Piaget commencent aussi à influencer la psychologie américaine. Or, Piaget s'intéresse justement, non pas aux comportements, mais au développement de l'intelligence chez l'enfant. En ce sens, malgré les critiques et révisions que sa théorie subira par la suite, on peut le considérer comme un précurseur de la psychologie cognitive et un critique du behaviorisme. De plus, ces années sont aussi marquées par le développement de la psychologie sociale aux États-Unis et en Europe. Celle-ci s'intéresse aux représentations mentales des acteurs sociaux, par exemple, aux stéréotypes sexuels ou raciaux qui sous-tendent les comportements sexistes ou racistes : ce sont donc ces représentations qui expliquent ces comportements et non pas des stimuli environnementaux.

En définitive, toutes ces critiques adressées au behaviorisme conduisent à un véritable changement de paradigme en psychologie : la recherche scientifique ne peut plus désormais se limiter à la seule observation des comportements, elle doit prendre en compte ces variables cachées que sont la pensée, l'intelligence, les représentations mentales, la mémoire, les stratégies intellectuelles, etc. Par exemple, dans une perspective cognitiviste, si nous observons deux

joueurs d'échecs engagés dans une partie, nous ne pouvons pas comprendre cette situation en nous limitant à observer leurs comportements, qui consistent tout simplement à déplacer des pièces sur un échiquier. Nous devrions plutôt leur demander de verbaliser ce à quoi ils pensent, leurs raisonnements, leurs décisions au fur et à mesure du déroulement de la partie : nous pénétrons ainsi dans la pensée des joueurs dont les comportements (les coups sur l'échiquier) ne sont que des manifestations. Dans le même sens, si nous voulons comprendre les difficultés d'un élève du primaire face à un problème en arithmétique, observer et renforcer son comportement ne suffit pas : nous devons prendre en compte ses représentations du problème, ses connaissances antérieures, les stratégies mentales inadéquates qu'il met en œuvre, etc.

Bref, les sciences cognitives renversent donc la perspective behavioriste qui dominait la psychologie américaine depuis le début du XX^e siècle, ce qui inaugure un nouveau champ de recherche en psychologie : celle-ci ne peut plus se limiter aux phénomènes comportementaux observables, elle doit aussi tenir compte des processus invisibles qui se déroulent dans l'esprit humain et, éventuellement, dans le cerveau.

[Titre 3] *Les sciences cognitives et la philosophie : une vision naturaliste de l'esprit*

Nous avons vu dans les chapitres précédents que toutes les grandes psychologies (behaviorisme, psychanalyse, constructivisme et socioconstructivisme, humanisme, etc.) qui ont marqué le XX^e siècle se rattachent à des courants philosophiques plus anciens. Il en va de même des pédagogies modernes dont la plupart s'enracinent dans la philosophie de Rousseau. Qu'en est-il des sciences cognitives à cet égard ? Sont-elles aussi filles de la philosophie ?

De fait, en s'intéressant à la pensée et à la connaissance, les sciences cognitives se situent de plain-pied sur le terrain de la philosophie classique, laquelle, depuis Socrate, a toujours eu

pour centre d'intérêt principal l'esprit, la connaissance, etc. En ce sens, il existe des filiations historiques entre la philosophie et les sciences cognitives. Trois grands philosophes sont d'ailleurs fréquemment cités comme des précurseurs des sciences cognitives.

Le premier est René Descartes (1596-1650) qui a défendu la thèse que l'homme possède des idées innées. Cette thèse a été reprise par Noam Chomsky dans ce qu'il a appelé la linguistique cartésienne et par le philosophe Jerry Fodor, l'un des principaux théoriciens du cognitivisme, qui a soutenu qu'il existait un langage inné de la pensée. Le second philosophe est Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) qui est, avec le célèbre physicien Isaac Newton (1643-1727), le créateur du calcul différentiel et intégral. Leibniz a tenté de concevoir, en se basant sur la logique et la mathématique, un langage formel universel de la pensée. Leibniz identifiait ainsi le processus de la pensée à un calcul logique. Or, ces deux idées (le langage formel et la pensée comme calcul) sont justement à la base de l'informatique et de l'intelligence artificielle, deux disciplines qui vont jouer un rôle majeur dans la définition de l'intelligence dans les sciences cognitives. Enfin, le troisième philosophe est Emmanuel Kant (1724-1804) dont les idées sont à l'origine de la plupart des philosophies modernes et de nos conceptions de la science. Kant soutenait que l'esprit humain n'est ni vide ni passif. Au contraire, l'esprit selon Kant possède une organisation interne très complexe à partir de laquelle il met en forme les expériences empiriques. Par exemple, si pour nous tous les phénomènes qui existent semblent se dérouler dans le temps et l'espace, et obéir à des causes, c'est que, pensait Kant, le temps, l'espace et la causalité appartiennent à la structure de notre esprit. Bien plus tard, Piaget reprendra cette idée kantienne en montrant comment l'enfant construit l'espace à partir des opérations de son esprit.

Quoi qu'il en soit, les sciences cognitives se basent elles aussi sur l'idée que l'esprit humain possède une organisation interne et qu'il traite activement les informations issues des

phénomènes empiriques. En fait, même nos sensations les plus élémentaires (couleur, odeur, forme des objets, etc.) reposent sur un traitement cognitif complexe. Par exemple, si en marchant dans un champ, nous voyons un arbre se détacher sur un fond de ciel bleu, nous voyons une totalité « arbre » et non des taches vertes, brunes et bleues que nous devons additionner une à une! La forme « arbre » que nous percevons n'est pas passivement tirée des éléments observés, mais dépend de l'organisation de notre propre perception et de l'activité mentale et neurologique très complexe que nous exerçons en observant. Bref, nous ne pouvons saisir et comprendre la réalité, même la plus simple, qu'à travers l'organisation de notre esprit qui la filtre et la met en forme.

Cela dit, si on peut toujours trouver des ancêtres philosophes aux SC, il convient aussi d'insister sur la rupture introduite par ces dernières par rapport aux conceptions philosophiques traditionnelles de l'esprit. En effet, en SC, cette notion ne doit pas du tout être prise dans un sens spiritualiste (comme l'âme chez les chrétiens) ou comme une entité immatérielle, qui, dans une perspective dualiste et idéaliste, s'opposerait au corps. En fait, ce dualisme corps/esprit (ou matière/esprit) caractérise une très large part de la tradition philosophique occidentale et se retrouve d'ailleurs chez Descartes, Leibniz et Kant. Il en va de même de l'idée que l'esprit (ou la pensée) constitue une réalité immatérielle ou idéelle séparable du corps, idée que l'on retrouve déjà formulée chez Platon et qui connaîtra une très longue postérité avec la pensée chrétienne et la tradition métaphysique.

Or, pour les SC, l'esprit se définit comme un phénomène naturel ayant un ancrage physique, par exemple, dans le cerveau ou dans les composantes physiques d'un ordinateur. C'est ce qu'on appelle la naturalisation de l'esprit. À l'heure actuelle, l'une des tendances fortes qui orientent les SC, à travers l'essor des neurosciences, est justement d'envisager la cognition

humaine comme une production du cerveau. Selon cette perspective, l'esprit humain serait donc une réalité naturelle, mais qu'on peut étudier à plusieurs niveaux : biologique, neurologique, symbolique, etc. De ce point de vue, qu'on peut qualifier de naturaliste, voire de matérialiste, l'esprit, tout comme le corps dont il émane, serait issu de l'évolution biologique de notre lignée humaine qui s'étend sur plus de huit millions d'années. Sa fonction principale serait de décoder et d'interpréter le monde environnant pour mieux permettre à l'être humain de s'y adapter.

Au final, même si elles ont pu s'inspirer de certains philosophes, les SC ne sont pas du tout des philosophies¹ : elles se veulent depuis le début des sciences empiriques utilisant des méthodes propres aux sciences sociales et humaines, mais aussi et de plus en plus aux sciences naturelles. Elles s'opposent aussi aux procédés traditionnels utilisés par les philosophes pour étudier l'esprit : l'introspection, la réflexion sur soi, l'intuition, le sentiment, la contemplation, la foi, etc. Au contraire, elles se veulent des sciences d'observation et d'expérimentation. De ce point de vue, elles se démarquent aussi de diverses psychologies comme la psychanalyse (Freud) et la psychologie humaniste (Rogers) qui n'utilisent aucune méthode reconnue par la communauté scientifique. Précisons également que de nombreuses expérimentations en psychologie cognitive sur la pensée des enfants et des nourrissons ont permis de réfuter certaines thèses centrales de Piaget. Nous savons aujourd'hui que le développement de la pensée chez l'enfant ne suit pas du tout la suite de stades décrite par Piaget; dans le même sens, il a été établi en laboratoire que les enfants possèdent dès les premiers mois de leur vie des compétences cognitives beaucoup plus étendues et complexes que ce qu'annonçait l'ancienne théorie piagétienne (Houdé, 2013).

¹ Notons toutefois que plusieurs philosophes contemporains comme Gilbert Ryle, John Searle, Daniel Dennett, etc. s'intéressent aux sciences cognitives et cherchent à cerner et clarifier leurs implications philosophiques concernant la nature de la pensée, sa relation au corps, au langage, à autrui, etc. Il s'agit même d'un secteur florissant de la philosophie actuelle, qu'on appelle la « philosophie de l'esprit ».

Malheureusement, ces travaux semblent toujours mal connus ou mal compris en sciences de l'éducation où on enseigne sans changement depuis 50 ans les idées de Piaget comme si elles étaient encore d'actualité, tandis que les programmes scolaires se basent largement sur le constructivisme (sans parler du socioconstructivisme encore plus ancien) dont les fondements théoriques ne correspondent pourtant plus aux avancées scientifiques les plus récentes dans le domaine de l'apprentissage.

[Titre 3] *Les sciences cognitives et les TIC*

Un autre phénomène va marquer profondément la naissance des SC et toute leur évolution ultérieure jusqu'à nos jours : il s'agit des technologies de l'information et de la communication (TIC). Rappelons que les TIC sont issues principalement des recherches fondamentales et appliquées en SC, et que leur contribution à l'existence des sociétés actuelles – qu'on appelle justement des sociétés de connaissance - s'avère évidemment fondamentale. Or, le fait que les SC aient produit dès le départ des technologies propres à elles les distingue radicalement de toutes les autres sciences sociales et humaines (histoire, sociologie, anthropologie, économie, linguistique, etc.). Ces sciences utilisent en effet des méthodes et des techniques, mais elles n'ont jamais engendré d'artefacts et de systèmes technologiques comme c'est le cas avec les TIC. Quelle relation unit donc les SC et les TIC ?

Cette relation se met en place dès les années 1950 et elle est très profonde, car elle repose sur une conception de l'intelligence qui peut s'appliquer, comme nous le disions précédemment, aussi bien à la pensée humaine qu'à l'intelligence artificielle, aux ordinateurs, aux automates et, largement, à tout système de traitement de l'information. Les TIC ne sont pas en effet des outils ou des machines comme les autres, car les premiers travaux en SC leur attribuent déjà la capacité de simuler et de reproduire, voire même de dépasser l'intelligence humaine. Avant les TIC, toutes

les technologies inventées par l'être humain ont été en quelque sorte des amplificateurs de nos capacités physiques et sensorielles : nous avons inventé des machines et des outils pour voir plus loin et avec plus de précision, pour aller plus vite et plus loin, pour agir avec davantage de puissance, etc. Les TIC sont différentes, car elles ne concernent pas nos capacités physiques ou sensorielles, mais bien mentales. Elles sont des technologies de l'esprit et de la connaissance.

Initiée dès les années 1950, cette vision de l'intelligence artificielle va conduire dans les décennies suivantes, on le sait, à la production de machines intelligentes et par la suite à la création de vastes réseaux de communication régis par des algorithmes de gestion de données dont Internet est aujourd'hui le symbole éclatant. On peut donc soutenir que les SC sont en bonne partie à l'origine de la quatrième révolution industrielle. La première révolution se base au XVIII^e siècle sur l'utilisation des machines à vapeur, la deuxième révolution sur l'utilisation de l'électricité à la fin du XIX^e siècle, la troisième révolution se caractérise au XX^e siècle par l'automatisation de la production de masse en série (le fordisme) fondée sur l'exploitation à très grande échelle des ressources énergétiques comme le pétrole et le charbon. Avec les TIC, nous entrons dans l'ère de la société cognitive avec son économie numérique basée sur la production de biens immatériels (information, connaissance, communication, échange, contrôle, etc.) et ses réseaux mondiaux avec ces nouveaux géants économiques que sont Google, Apple, Microsoft, Facebook, Twitter, Amazon, etc.

Même si nous ne pouvons pas aborder cette question dans le cadre de ce chapitre, il doit être évident pour tous que les TIC vont bouleverser dans les prochaines décennies l'école telle qu'on la connaît depuis le XVII^e siècle ([voir chapitre 4](#)). En ce sens, au-delà des théories issues des SC qui peuvent aujourd'hui s'appliquer à l'enseignement et à l'apprentissage en milieu scolaire, il apparaît que les changements les plus profonds viendront sans doute des technologies

intelligentes qu'elles engendrent : il ne s'agit pas seulement ici d'enseignement à distance, mais plutôt d'une mise à distance des formes traditionnelles d'enseignement basées sur la présence d'un enseignant qui détient les savoirs à enseigner et qui s'adresse à un petit collectif d'élèves dans une classe fermée, élèves qui sont supposés apprendre les savoirs transmis par leur enseignant. D'ores et déjà on peut concevoir des classes en réseau virtuel sans aucun enseignant. De plus, on peut faire l'hypothèse que des pratiques cinq fois millénaires comme l'apprentissage de la lecture et de l'écriture risquent de changer profondément avec la numérisation de l'univers textuel.

Enfin, pour clore ce développement sur les SC et les TIC, il importe de souligner que ces sciences utilisent également diverses technologies pour mieux comprendre le fonctionnement de la pensée humaine, notamment ses relations complexes avec le cerveau. Ces relations sont étudiées par les neurosciences. Les liens entre la pensée et le cerveau intriguent bien sûr les philosophes et les scientifiques depuis très longtemps. Cependant, leur étude était jadis basée sur des spéculations, faute de pouvoir examiner le fonctionnement du cerveau lors de la réalisation d'activités mentales. Par exemple, lorsque vous lisez ce texte, que se passe-t-il dans votre cerveau ? Depuis à peu près les années 1980, les neurosciences disposent de technologies (l'électroencéphalographie, la magnétoencéphalographie, l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle, la tomographie par émission de positons, etc.) qui permettent, en partie, de répondre à cette question et à bien d'autres du même genre. Ces technologies sont également très utilisées dans le domaine de la santé. Elles s'appuient sur des théories en neurobiologie, en neurochimie, en neuro-informatique, etc. Elles ne se limitent pas à produire une image générale du cerveau, mais permettent d'identifier des groupes de neurones et des réseaux de neurones qui se constituent ou s'activent suite à certaines opérations mentales. Précisons toutefois qu'il s'agit

de technologies souvent lourdes et très coûteuses qui sont bien sûr inapplicables en salle de classe et qui produisent des résultats dont les interprétations sont délicates et exigent souvent des traitements informatiques complexes.

Les développements théoriques et technologiques qui caractérisent les neurosciences depuis une trentaine d'années ont fait en sorte que celles-ci sont devenues le paradigme dominant des SC : à l'ancien postulat qui affirmait que l'esprit humain fonctionne comme un ordinateur, les neurosciences s'efforcent de substituer un modèle bioneuronal de la pensée, tout en conservant l'idée de base que le cerveau traite aussi des informations pour résoudre des problèmes. À la différence des autres sciences sociales et humaines, les neurosciences suscitent un engouement social et économique extraordinaire. Les gouvernements, les industries et les universités les financent à coup de milliards comme le montre bien le *Human Brain Project*, financé depuis 2013 par la Communauté européenne à plus d'un milliard et demi d'euros et qui cherche à l'aide d'un superordinateur à simuler le fonctionnement du cerveau. On retrouve en Chine et aux États-Unis des projets équivalents et aussi coûteux. Notons que les grandes compagnies multinationales comme Google, Apple, Microsoft, etc. investissent aussi massivement dans ce genre de recherche.

*

Résumons les éléments importants de cette première section. Son objectif était de présenter une définition des SC, tout en dessinant à larges traits leur évolution depuis les années 1950. Sciences de la cognition (humaine, artificielle, animale), les SC se définissent au point de départ comme des sciences multidisciplinaires s'opposant au behaviorisme et proposant de définir l'esprit comme une sorte d'ordinateur (et inversement), c'est-à-dire un système intelligent capable de traiter des informations, d'opérer des calculs et de résoudre des problèmes. Bien

qu'elles s'inspirent de certains philosophes importants, les SC sont également en rupture avec les visions traditionnelles de l'esprit (idéaliste, spiritualiste, dualiste, humaniste, religieuse, etc.), qu'elles conçoivent comme un phénomène naturel devant être étudié par les moyens habituels de la méthode scientifique. De plus, les SC se sont dotées de technologies intelligentes qui ont conduit au fil des dernières décennies à l'émergence d'une société de l'information. Par effet de retour, ces mêmes technologies ont permis aux SC d'explorer de manière de plus en plus précise les bases neurologiques de la pensée humaine.

Finalement, bien que divers courants intellectuels et diverses théories ont traversé et marqué l'évolution des SC depuis les années 1950 jusqu'à nos jours, au bout du compte, on l'a vu, deux grandes conceptions du fonctionnement de l'esprit se sont vraiment imposées : l'esprit comme ordinateur et l'esprit comme produit du cerveau. La première conception, qu'on appelle généralement le cognitivisme, est directement à l'origine des SC, qu'elle a dominées jusqu'aux années 1980; à partir de là, on assiste au développement de théories basées sur l'idée que le fonctionnement de réseaux neuronaux pourrait rendre compte des comportements intelligents. Par la suite, surtout depuis les années 2000, les neurosciences et leur conception bioneurologique de la pensée tendent à s'imposer.

Nous allons donc dans les deux sections suivantes de ce chapitre examiner certaines conséquences et applications éducatives de ces deux conceptions, ainsi que les visions qu'elles proposent quant à la nature de l'enseignement et de l'apprentissage. Dans la section 15.2, nous présentons certains résultats des recherches en neurosciences qui peuvent s'appliquer en éducation, voire même en salle de classe. La section 15.3 présente, elle, le cognitivisme, en se centrant plus particulièrement sur la psychologie cognitive et certaines de ses retombées en éducation. Compte tenu de son importance pour l'éducation, la section 15.3 en présente un aperçu

général, tandis que certaines de ses conséquences éducatives pratiques font l'objet du chapitre 16, qui forme donc, rappelons-le, un tout avec ce chapitre 15.

[Titre 2] 15.2 Les neurosciences et l'éducation

Les neurosciences s'efforcent d'établir des liens causaux entre le cerveau et la cognition.

Historiquement, elles ont commencé par étudier différentes pathologies neurologiques résultant d'accidents, de maladies, du vieillissement, etc., pour embrasser par la suite l'ensemble des fonctions cognitives comme la perception, la conscience, les émotions, mais aussi bien sûr l'apprentissage. C'est ce développement qui a conduit depuis le début des années 2000 certains chercheurs en neurosciences à s'intéresser de plus près à l'enseignement et à l'apprentissage, et à développer un nouveau champ de recherches et de pratiques qu'on appelle la neuroéducation ou encore, la neuropédagogie. La neuroéducation poursuit deux objectifs : 1) transférer et appliquer certains résultats de recherche issus des neurosciences à l'enseignement et à l'apprentissage, ce qui implique à terme de fournir aux enseignants un minimum de connaissances sur le fonctionnement du cerveau; 2) évaluer si certaines pratiques pédagogiques établies (par exemple, telle méthode d'apprentissage de la lecture, l'utilité de la mémorisation, etc.) correspondent ou non à l'état actuel des connaissances sur le cerveau.

Cela dit, il faut préciser que les neurosciences sont très récentes et leur influence sur l'éducation et l'école est donc encore très réduite : dans leur cas, on parle plutôt de promesses d'avenir. De plus, les travaux neuroscientifiques sont très spécialisés et donc hermétiques pour le commun des mortels, et il n'est pas du tout facile de voir comment leurs résultats pourraient être transposés à l'enseignement sans l'aide de spécialistes qui viendraient soutenir les enseignants. Par ailleurs, les neurosciences restent encore assez éclatées et il n'est pas rare de voir circuler

parmi les scientifiques les plus réputés des interprétations contradictoires au sujet du cerveau, de l'intelligence, etc. Soulignons que ces interprétations contradictoires sont normales, car toutes les sciences progressent à travers des controverses, des tensions entre des thèses adverses, etc. Enfin, tout ce qui concerne le cerveau semble fasciner le grand public et les médias. Cette fascination a entraîné une véritable surenchère médiatique de pseudo-découvertes faussement attribuées aux neurosciences. Ces pseudo-découvertes donnent lieu à une marchandisation et sont présentées comme des panacées pour à peu près tout. Par exemple : muscler le cerveau de votre enfant grâce à la *Brain gym*; entraînez votre volonté; *boostez* votre mémoire en jouant au Sudoku; apprenez tout sans effort pendant que vous dormez; découvrez comment exploiter 100% de votre cerveau et non pas 10% comme c'est le cas; gauchers, sachez utiliser le potentiel de votre cerveau droit : tels sont quelques-uns des slogans publicitaires à la mode qui surgissent presque chaque semaine dans les journaux et sur Internet. C'est ce qu'on appelle des neuromythes, c'est-à-dire de fausses découvertes ou de fausses théories présentées comme vraies au sujet du cerveau. Or, pour de non-spécialistes, il n'est pas toujours évident de discriminer entre les neuromythes et les véritables découvertes des neurosciences.

Tout cela montre que la neuroéducation reste, pour le moment, un champ miné pour les enseignants qui voudraient s'y aventurer : ils doivent avancer avec précaution, se tenir informés des travaux neuroscientifiques les mieux établis et ne conserver, pour la classe et les élèves, que les résultats qui ne soulèvent plus de doutes quant à leur validité scientifique, mais aussi quant à leur pertinence pratique. Nous allons nous-mêmes adopter cette démarche prudente dans cette section, en nous référant à des travaux solidement établis.

[Titre 2] Quel est l'intérêt de la connaissance du cerveau pour l'enseignement ?

Le postulat à la base de la neuroéducation est que la connaissance scientifique du cerveau développée par les neurosciences devrait contribuer à l'amélioration de l'éducation et, plus concrètement, de l'enseignement et de l'apprentissage à l'école. Mais de quoi parle-t-on en parlant du cerveau ?

Rappelons que le cerveau humain constitue l'une des réalités les plus complexes qui soit avec ses 100 milliards de neurones qui sont interconnectés par des milliers de dendrites, de synapses et d'axones, lesquels permettent la circulation de cent millions de milliards de signaux électriques et chimiques par seconde. Le cerveau n'est pas « dans le corps » (plus précisément la boîte crânienne) comme un poisson dans un bocal : il est le corps vivant, sentant, pensant, bougeant, agissant, car il se prolonge dans la moelle épinière et dans l'ensemble du système nerveux. Le cerveau fait corps avec le corps. Par exemple, les nerfs de notre visage sont directement connectés à notre cerveau, tandis que ceux d'autres parties du corps sont liés à la moelle épinière. L'unité de base de tout le système nerveux est le neurone, lui-même une structure fort complexe et différenciée, car il en existe plus de 200 types dont les fonctions dépendent également de leur position dans le cerveau et de leurs connexions avec leurs autres neurones.

Étant donné cette complexité, quel est dès lors l'intérêt de la connaissance du cerveau pour l'éducation et surtout pour les enseignants ? En nous inspirant de [Masson \(2016\)](#), nous pouvons dire que cet intérêt est triple, car : 1) l'organisation du cerveau conditionne et oriente l'apprentissage; 2) l'apprentissage façonne l'organisation du cerveau; 3) l'enseignant agit sur l'apprentissage et donc le cerveau. Voyons cela de plus près.

[Titre 3] 1) *L'organisation du cerveau conditionne et oriente l'apprentissage*

L'organisation du cerveau, ce qu'on appelle son architecture neurologique, conditionne nos apprentissages. En effet, notre cerveau est le fruit d'une longue évolution biologique (et par la suite culturelle) qui s'étend sur des millions d'années. Cette évolution, régie au point de départ par les lois de la sélection naturelle, a fait en sorte que le cerveau humain est devenu un organe hautement structuré, spécialisé et extrêmement performant, qui a assuré la survie et la formidable expansion de notre espèce. Comme le souligne Stanislas Dehaene (*Vers une science de la vie mentale*, 2006, p. 5), reconnu comme le meilleur spécialiste francophone des neurosciences : « L'ancrage de la pensée dans la biologie du cerveau implique que les principes d'organisation du vivant contraignent notre vie mentale, [...] le cerveau de l'homme est une formidable machine chimique où l'on retrouve les mêmes mécanismes moléculaires à l'œuvre chez la mouche drosophile ou le poisson torpille ». Ainsi, dès sa naissance, l'enfant dispose d'un équipement neurobiologique qui servira de base à tous les apprentissages ultérieurs. En effet, le nourrisson possède à sa naissance déjà tout un répertoire de compétences précoces sensorielles, numériques, langagières, spatiales, géométriques, émotionnelles, motrices, etc. Ces compétences ne sont pas rigides, leur expression et consolidation dépendront des apprentissages ultérieurs, notamment des stimuli fournis par l'environnement, les parents, etc.

Outre ces compétences, notre cerveau met en œuvre ce que Dehaene (2006, p. 5) appelle des « algorithmes universels d'apprentissage », qui sont des processus inconscients, automatiques et efficaces de résolution de problèmes, « dont quelques composantes essentielles sont l'attention, l'engagement actif, la récompense, la détection d'erreur, l'automatisation et le sommeil ». Finalement, toujours selon Dehaene (2006, p. 7), « au cours de son évolution, mais aussi de son développement, notre système nerveux apprend à comprendre son environnement, c'est-à-dire à

le prendre en lui, à l'internaliser sous forme de représentations mentales qui reproduisent, par isomorphisme psychophysique, certaines de ses lois. Nous portons en nous un univers d'objets mentaux dont les lois imitent celles de la physique et de la géométrie ». Ces représentations internes permettent à notre cerveau d'anticiper et de prédire les phénomènes externes, et non pas simplement d'y réagir passivement.

Or, en dépit de leurs différences individuelles, tous les êtres humains possèdent une architecture cérébrale similaire. Une telle architecture signifie, sur le plan éducatif, que les êtres humains en général et les enfants en particulier ne peuvent pas apprendre n'importe quoi, n'importe comment et dans n'importe quel ordre! Nous donnerons un peu plus loin quelques exemples de résultats de recherche illustrant l'importance de respecter, pour les enseignants, l'organisation du cerveau de leurs élèves.

[Titre 3] 2) *L'apprentissage façonne l'organisation du cerveau*

Nous disions plus haut que le cerveau est devenu, sur le plan de son évolution, un organe hautement structuré, spécialisé et extrêmement performant. Cependant, ce qui est remarquable, c'est que le développement du cerveau et son organisation ne sont pas déterminés de manière rigide et définitive par le code génétique à la naissance. Le cerveau humain s'avère extrêmement performant justement parce qu'il peut apprendre et, en apprenant, modifier son organisation et ses réseaux neurologiques. Bref, apprendre modifie le cerveau!

Cette idée est nouvelle, elle remonte à une vingtaine d'années à peine. En effet, pendant longtemps, la génétique a imposé le principe que notre cerveau et donc notre esprit étaient déterminés par un programme génétique, notre ADN, un peu comme un ordinateur qui ne peut réaliser que les tâches pour lesquelles il a été programmé. Par exemple, on pensait que

l'intelligence, telle que mesurée par les tests de QI, était définie une fois pour toutes par la génétique. On croyait également que l'organisation du cerveau correspondait à des zones et des aires rigides, des modules ou cartes neurologiques prédéfinis une fois pour toutes avant la naissance, des localisations fonctionnelles qui assuraient de manière hautement spécialisée le traitement séparé de l'information pour le langage, la vision, la mémoire, etc. Au fond, l'image qui était proposée du cerveau était celle d'un cerveau-machine avec ses pièces et ses fonctions mécaniques qui, une fois en place, ne bougent plus. Or, à cette image mécanique s'oppose aujourd'hui l'image biologique d'un cerveau vivant, un cerveau qui se développe, se transforme et s'adapte aussi bien tout au long de l'évolution de notre espèce qu'à celle de la vie individuelle de chaque être humain.

En effet, la recherche en neurocognition met en évidence aujourd'hui la plasticité du cerveau, c'est-à-dire sa capacité à se transformer en fonction des expériences et de l'environnement. Avant même de naître, l'enfant dispose, dans les dernières semaines de la grossesse, de la totalité des cellules nerveuses, soit des 100 milliards de neurones qui forment le cerveau humain. Par la suite, la production des neurones va à peu près cesser, sauf pour certaines zones du cerveau comme le cervelet ou certaines parties spécialisées du cortex. Cependant, si la production de nouveaux neurones ralentit considérablement, ce qui s'accélère, c'est la création de connexions entre les neurones durant les trois premières années de la vie de l'enfant. Chaque cellule nerveuse se lie à d'autres à travers des branches et dendrites où se forment les synapses; ces connexions nerveuses sont proliférantes chez le jeune enfant, car des centaines de millions de synapses se mettent en place chaque jour. Cette prolifération diminue peu à peu par la suite jusqu'à l'âge d'environ 20 ans. La plasticité cérébrale correspond donc pour l'essentiel à cette

création de réseaux entre les neurones et à la modification incessante des connexions qui les unissent.

Ces réseaux et ces connexions sont en partie codés génétiquement : on dit qu'ils sont précâblés ou prédéterminés. Cependant, la majorité découle, tout au long de la vie et notamment durant l'enfance et l'adolescence, des apprentissages et des environnements expérimentés par l'être humain. Comme le précise [Masson \(2016\)](#)² : « Les connexions entre les neurones sont modifiées par l'apprentissage : de nouvelles connexions peuvent être créées et des connexions existantes peuvent se défaire, se renforcer ou s'affaiblir. Le cerveau est donc un organe non pas fixe, mais dynamique, qui modifie son architecture cérébrale à chaque instant pour s'adapter à son environnement ».

Bref, apprendre est la principale activité du cerveau : au moment où vous lisez ces lignes, votre cerveau modifie sa structure, ses réseaux neurologiques pour décoder, assimiler et maîtriser des connaissances nouvelles. C'est donc la plasticité de notre cerveau qui rend possibles nos apprentissages et le développement de nos compétences. Par exemple, si une personne de 25 ans apprend à jouer de la guitare, de nouvelles connexions neurologiques se formeront pour assurer les nouveaux mouvements de ses doigts requis pour maîtriser cet instrument. Autre exemple : si vous décidez d'aller vivre à Paris pendant la prochaine année, la zone de votre cerveau dédiée à la gestion des informations spatiales se développera au fur et à mesure de votre apprentissage de la cartographie de cette ville. À l'inverse, beaucoup de réseaux neurologiques s'étiolent, disparaissent ou sont remplacés par d'autres s'ils ne sont pas sollicités par des apprentissages ou des expériences. De plus, avec le vieillissement, la plasticité ralentit ou elle peut être affectée par de terribles maladies comme l'Alzheimer.

² <http://www.cea-ace.ca/education-canada/article/cerveau-apprentissage-et-enseignement>

Au final, cette idée de plasticité signifie que tous les apprentissages que nous faisons tout au long de notre vie modifient, non seulement nos comportements comme le croyait le behaviorisme, non seulement nos représentations et opérations mentales comme le soutenait le constructivisme, mais aussi, à un niveau plus profond, notre cerveau, son organisation et son fonctionnement.

[Titre 3] 3) *L'enseignant agit sur l'apprentissage et donc le cerveau*

Si, comme nous l'avons établi dans les paragraphes précédents, le cerveau évolue et se transforme en fonction des apprentissages, alors il devient évident que l'enseignant, en exerçant un effet direct sur les apprentissages de ses élèves, agit en retour sur leurs cerveaux : « Parce que l'apprentissage modifie le cerveau, nous pouvons identifier à l'aide de l'imagerie cérébrale les effets des apprentissages scolaires sur le cerveau et ainsi établir un premier pont entre le cerveau et l'éducation » (Masson, 2016).

Mais comment, dans une perspective neurocognitive, l'enseignant doit-il enseigner pour contribuer à la qualité des apprentissages de ses élèves et, par conséquent, à l'organisation de leur cerveau ? Dans une conférence présentée en 2012 au Collège de France³ et dont le contenu a été publié en 2013⁴, Stanislas Dehaene propose une synthèse des connaissances récentes issues des neurosciences qui peuvent aujourd'hui guider les enseignants. Nous présentons ici un bref résumé des principes avancés par.

Dehaene identifie quatre facteurs principaux, qu'il appelle les « quatre piliers de l'apprentissage », qui contribuent de manière importante aux apprentissages scolaires et dont les enseignants doivent absolument tenir compte dans leurs stratégies pédagogiques. Nous les

³ <http://www.college-de-france.fr/site/stanislas-dehaene/symposium-2012-11-20-10h00.htm>

⁴ Pour en savoir davantage à ce sujet, voir <http://www.paristechreview.com/2013/11/07/apprentissage-neurosciences/>

résumons dans le tableau 15.1, en donnant des indications sur les responsabilités pédagogiques qui en découlent pour l'enseignant :

Tableau 15.1 Les quatre piliers de l'apprentissage selon Dehaene (2013)

Les 4 piliers de l'apprentissage	Ce qu'ils signifient	Les responsabilités pédagogiques de l'enseignant
L'attention	<p>Apprendre consiste à filtrer et à sélectionner les informations pertinentes qui doivent être apprises.</p> <p>L'attention implique donc de se concentrer sur une tâche précise afin de moduler les informations importantes, car on ne peut pas apprendre plusieurs choses en même temps.</p> <p>L'attention comporte trois systèmes : l'alerte, l'orientation et le contrôle exécutif.</p>	<p>L'enseignant doit capter de manière explicite l'attention de ses élèves, en les alertant et les orientant sur les informations pertinentes qu'ils doivent apprendre.</p> <p>Il doit du même coup apprendre aux élèves à inhiber les autres facteurs qui perturbent leur attention : c'est le contrôle exécutif.</p> <p>Son enseignement doit donc être direct et structuré.</p>
L'engagement actif	<p>Seul l'élève engagé activement dans une tâche peut réellement apprendre.</p> <p>Ce principe est à la base de toute la</p>	<p>L'enseignant doit favoriser l'engagement de ses élèves dans les tâches d'apprentissage.</p>

	<p>pédagogie depuis Rousseau :</p> <p>l'apprentissage ne peut se faire sans l'activité de l'élève, sans son engagement actif.</p>	<p>Il doit évaluer systématiquement les connaissances apprises par ses élèves afin de les mobiliser dans leurs apprentissages.</p> <p>L'enseignant doit rendre les conditions d'apprentissage progressivement plus difficiles afin d'accroître leur engagement et obtenir leur attention : leur apprendre ce qu'ils maîtrisent déjà ne sert pas à grand-chose et n'est pas motivant.</p>
<p>Le retour d'information</p>	<p>Les erreurs sont au cœur du processus d'apprentissage : elles sont normales et positives, car elles permettent de déclencher un processus de correction par retour d'information.</p> <p>Le cerveau fonctionne en boucles selon quatre étapes successives : prédiction, retour d'information, correction, nouvelle prédiction. Les erreurs permettent donc de corriger et d'ajuster les prédictions.</p>	<p>L'enseignant doit constamment donner des rétroactions aux élèves, il doit attirer leur attention sur leurs erreurs, les rendre conscients de celles-ci, pour qu'ils les corrigent et progressent... en faisant d'autres erreurs.</p> <p>L'apprentissage est optimal lorsque l'enseignant alterne de manière répétée les phases d'apprentissage et les phases d'évaluation.</p>

	<p>Apprendre sans erreur, de manière entièrement prévisible, ce n'est rien apprendre.</p>	<p>L'enseignant ne doit pas punir les élèves pour leurs erreurs : le stress et les renforcements négatifs inhibent l'apprentissage.</p> <p>Il doit au contraire les soutenir, les motiver à identifier leurs erreurs, et les récompenser pour leurs succès par une approbation, une validation, un encouragement.</p>
<p>La consolidation</p>	<p>Les apprentissages nouveaux impliquent des efforts conscients, afin de repérer et corriger les erreurs. Mais avec les répétitions et l'entraînement, l'apprentissage se consolide en s'automatisant : il est transféré vers des réseaux neurologiques non conscients, plus rapides, plus efficaces.</p> <p>L'enjeu final de l'apprentissage est donc d'accomplir le transfert de l'explicite vers l'implicite, afin de libérer la conscience pour d'autres</p>	<p>L'enseignant doit consolider les apprentissages de ses élèves par des exercices répétés, par l'entraînement et la pratique, afin qu'ils les maîtrisent parfaitement, de manière automatique et fluide.</p> <p>L'automatisation de l'apprentissage libère la pensée consciente pour de nouveaux apprentissages.</p> <p>Ce que nous savons aujourd'hui du fonctionnement du cerveau indique que l'enseignant doit offrir à ses élèves un enseignement structuré,</p>

	<p>apprentissages.</p> <p>Les neurosciences montrent que le sommeil contribue à la consolidation des apprentissages : il améliore la mémoire, la généralisation, la découverte de régularités.</p>	<p>explicite et exigeant, mais aussi motivant.</p>
--	--	--

À leur lecture et pris dans leur généralité, il est évident que les quatre piliers identifiés par Dehaene recoupent de nombreuses théories pédagogiques et psychologiques que nous avons présentées dans les chapitres précédents. Ils confirment aussi les résultats de nombreuses enquêtes sur les enseignants efficaces et l'enseignement explicite (*voir le chapitre 16*). Cependant, ce qu'il y a de nouveau et d'intéressant ici, c'est que ces piliers résultent de recherches empiriques récentes sur le cerveau, qui leur donne un niveau de validité et de généralité scientifique sans précédent.

Nous voudrions clore cette section en présentant d'autres travaux un peu plus « pointus » en neuroéducation qui peuvent aussi contribuer à améliorer l'enseignement et l'apprentissage. Ces travaux doivent être pris pour ce qu'ils sont : des pistes de recherche pour l'avenir.

[Titre 2] La neuroéducation : quelques résultats de recherches récentes

L'apprentissage des langues, l'apprentissage de la littératie et la perception des nombres représentent les domaines éducatifs au sein desquels les recherches neuroscientifiques sont les plus abouties (Gausse et Reverdy, 2013). Nous nous attardons donc plus spécifiquement à ces trois activités précises.

[Titre 3] *L'apprentissage des langues*

Une des plus importantes contributions de la neuroéducation à la question de l'apprentissage des langues est représentée par la confirmation d'études plus anciennes portant sur l'acquisition du langage. En effet, certaines recherches ont non seulement confirmé, par l'usage de méthodes de neuro-imagerie, l'existence de régions du cerveau spécifiquement responsables des processus langagiers (l'aire de Broca et l'aire de Wernicke) (Kail, 2012), mais ont également permis la découverte d'une troisième région (l'aire de Geschwind) impliquée dans les processus de reconnaissance et de compréhension des mots (Gausssel et Reverdy, 2013). Grâce aux recherches neuroéducatives, nous savons aussi que l'hémisphère droit du cerveau jouerait un rôle important dans la compréhension du langage chez les jeunes enfants, alors qu'il était autrefois admis que l'hémisphère gauche était dominant, voire entièrement responsable dans l'apprentissage du langage chez l'être humain (Rapp et Lipka, 2011). D'autre part, les résultats de différentes recherches corroborent également le constat suivant : de 0 à 10 mois, de nombreuses connexions sont fabriquées au sein du cerveau du jeune enfant lui permettant de distinguer une multitude de sons différents, puis une élimination sélective, sous l'influence de l'expérience, lui permet au cours des années suivantes de se concentrer sur les sons et syllabes de sa langue maternelle (Gausssel et Reverdy, 2013). De façon sommaire, l'ensemble de ces résultats tend ainsi à montrer que si le cerveau de l'enfant possède, à la naissance, des structures cérébrales bien organisées avant même d'apprendre à lire et à compter (Dehaene, 2012), l'expérience vécue par l'enfant n'en est pas moins fondamentale pour l'explication du fonctionnement neurologique de ces structures. Ainsi, les liens entre ces différentes recherches et l'enseignement sont multiples : par exemple, à un jeune âge, l'expérience de jeux de langage et de jeux phonologiques qui stimulent la parole (chant de comptines, jeux de rimes, reconnaissance de sons, etc.) aurait pour effet de

mieux préparer les enfants à l'apprentissage de la lecture et de l'écriture, voire prévenir des problèmes de dyslexie et d'apprentissage dans ces domaines (Dehaene, 2012). Qu'en est-il, dès lors, des liens entre les recherches neuroéducatives et la littératie ?

[Titre 3] *L'apprentissage de la littératie*

Les recherches neuroscientifiques portant sur la littératie (soit les processus d'apprentissage de la lecture et de l'écriture), quoique plus limitées pour l'instant, ont pour leur part mis en lumière une théorie susceptible d'expliquer le fonctionnement de la reconnaissance et du traitement de mots simples par le cerveau. Il s'agit de la « théorie des deux voies » : cette théorie stipule qu'après avoir reconnu visuellement un mot écrit, l'apprenant pourrait le traiter par assemblage ou par adressage (Gaussel et Reverdy, 2013). Alors que l'assemblage consiste à convertir le mot reconnu en éléments grapho-phonologiques, l'adressage permet le passage direct à la compréhension sémantique : en termes simples, l'assemblage concerne la lecture de nouveaux mots par correspondance entre les phonèmes et les graphèmes (le son produit et la façon dont il s'écrit), alors que l'adressage concerne la lecture plus ou moins automatisée de mots familiers. En termes d'enseignement, ce type de recherches pourrait en effet guider certaines pratiques pédagogiques.

Par ailleurs, l'imagerie cérébrale comparée de personnes alphabétisées et non alphabétisées a permis de dessiner une carte complète des changements qui ont lieu dans le cerveau grâce à l'alphabétisation. Le circuit principal est celui qui passe de la vision à la phonologie : si on essaye d'apprendre à quelqu'un une reconnaissance « globale » du mot, au lieu de lui apprendre les correspondances entre les syllabes et les sons comme dans la méthode « syllabique », le sujet n'apprend pas bien à lire ; l'imagerie cérébrale montre qu'un circuit de l'hémisphère droit est sollicité à la place de l'hémisphère gauche. Sur la base de ces observations réalisées avec

l'imagerie cérébrale, des modèles d'apprentissage peuvent être élaborés, pour ensuite avoir des conséquences sur l'éducation (Dehaene, 2012, p.241).

Ce type de conclusion tend ainsi à trancher le débat qui existe depuis plusieurs années, en didactique de l'écrit, entre les méthodes de décodage et les méthodes globales pour favoriser l'apprentissage de la lecture. : l'apprentissage des correspondances graphème-phonème est la manière la plus efficace de maîtriser la lecture et la compréhension.

[Titre 3] *La perception des nombres*

Finalement, les recherches neuroéducatives traitant des processus aux fondements de la perception des nombres représentent ce troisième champ d'études particulièrement dynamique en neurosciences de l'éducation. Elles mettent surtout en évidence l'idée selon laquelle l'apprentissage des nombres ne dépend pas seulement de régions du cerveau spécifiquement dédiées au traitement d'informations numériques et purement mathématiques, mais dépend plutôt de plusieurs circuits neuronaux qui ne sont pas uniquement dédiés au traitement des nombres (Gaussel et Reverdy, 2013). Ainsi, différents réseaux neuronaux sont mobilisés dans la résolution d'une tâche mathématique et, plus particulièrement, dans la reconnaissance des nombres : comme le prévoit le modèle de Dehaene (2003), l'apprentissage numérique fonctionnerait ainsi par représentation analogique (active dans les deux hémisphères du cerveau et qui permet des calculs approximatifs et des comparaisons), représentation verbale (active dans l'hémisphère gauche et associée aux formes verbales, auditives et écrites des nombres) et représentation numérique (active dans les deux hémisphères et associée à la résolution d'opérations complexes) (Gaussel et Reverdy, 2013). Les aspects de l'enseignement touchés par ces résultats permettent de voir la complémentarité des apprentissages scolaires : par exemple, les gains cognitifs d'une activité de lecture semblent être généralisables aux compétences mathématiques (Dehaene, 2012).

Au final, toutes les recherches que nous avons présentées dans cette section ouvrent la voie à des possibilités de transfert de connaissances entre les neurosciences et l'enseignement. Il est clair que des résultats nouveaux et précieux pour les enseignants apparaîtront de plus en plus nombreux dans les prochaines années. Abordons maintenant dans la dernière section de ce chapitre la psychologie cognitive, ce qui permettra de compléter notre présentation des sciences cognitives et leurs liens avec l'éducation.

[Titre 1] 15.3 La psychologie cognitive et l'éducation

La psychologie cognitive remonte aux années 1950, elle est donc plus ancienne que les neurosciences. Elle s'intéresse depuis cette époque au phénomène de l'apprentissage, notamment en milieu scolaire. C'est elle qui est enseignée aujourd'hui dans les meilleures universités et départements de psychologie de la planète où elle a à peu près complètement délogé les psychologies plus anciennes comme la psychanalyse, le behaviorisme et le constructivisme. Chaque année, des dizaines de milliers d'articles et d'ouvrages sont produits en psychologie cognitive. Il est évidemment impossible de résumer cette masse sans cesse grandissante de connaissances. Nous allons nous centrer ici sur le modèle théorique le plus solidement établi et le mieux articulé aux pratiques pédagogiques.

[Titre 2] L'intérêt de la psychologie cognitive pour l'enseignement

Mais pourquoi les enseignants devraient-ils s'intéresser à la psychologie cognitive? Afin d'intervenir efficacement, les enseignants ont besoin d'un modèle auquel se référer. Ainsi, comme les médecins s'appuient sur la connaissance du fonctionnement du corps humain pour diagnostiquer et traiter leurs patients, les enseignants ne peuvent que bénéficier d'une meilleure

compréhension du fonctionnement de la cognition, qui englobe le processus d'apprentissage, pour planifier et ajuster leurs interventions pédagogiques. Lorsqu'elles sont appliquées et validées en salle de classe, les découvertes de la psychologie cognitive peuvent guider l'intervention éducative, comme le fait la biologie avec la pratique médicale, par exemple. Sans prétendre réduire l'enseignement au cognitivisme, les recherches des six dernières décennies fournissent des données inestimables sur le traitement de l'information, ainsi que sur ses incidences sur le fonctionnement de la mémoire et de l'apprentissage. En nous permettant de mieux comprendre comment la pensée humaine se structure, les sciences cognitives peuvent grandement contribuer à améliorer l'acte d'enseigner et, par conséquent, l'apprentissage des élèves.

Fondamentalement, la psychologie cognitive s'intéresse aux procédés, aux stratégies et aux règles suivis par les enseignants et les élèves dans certaines situations : résolution de problèmes, apprentissage de la lecture, rétention d'éléments d'information, etc. Dans cette optique, ce qui importe, c'est donc de comprendre les processus cognitifs et les stratégies intellectuelles qui permettent aux élèves de bien apprendre et aux enseignants de bien enseigner. En ce sens, on ne peut pas se limiter à l'observation des comportements, comme le suggérait le behaviorisme : il faut essayer de comprendre les représentations des élèves et des enseignants, les cheminements intellectuels qu'ils suivent et les procédés cognitifs qu'ils utilisent pour enseigner et pour apprendre. Or, qu'est-ce qui se passe dans la tête d'un élève en train d'apprendre ? Comment assimile-t-il une nouvelle information, par exemple, en lisant un texte particulier ? Comment la retient-il ? Comment est-elle intégrée aux anciennes ? Comment la réutilise-t-il ? Il en va de même du côté de l'enseignant. Comment planifie-t-il son enseignement ? Quelles règles suit-il lorsqu'il intervient en classe, lorsqu'il donne un exemple, lorsqu'il expose un problème ? Voilà le

genre de questions que se posent les chercheurs en cognition intéressés par l'enseignement et par l'apprentissage. Partant des réponses qu'ils obtiennent, ils tentent ensuite de les appliquer en classe afin de constituer une véritable base de connaissances scientifiques au profit des enseignants (*voir le chapitre 16 sur ce thème*).

Mais comment étudier la pensée qui est par définition invisible ? Pour aborder cette question, la psychologie cognitive considère, comme nous l'avons déjà dit, que l'intelligence humaine fonctionne comme un ordinateur et inversement. Elle soutient en effet que l'homme et l'ordinateur peuvent être considérés comme des systèmes ouverts qui ont la possibilité de communiquer avec l'environnement. L'un et l'autre traitent l'information venant de l'extérieur et se régulent en fonction d'elle. Tous deux manipulent des symboles en leur appliquant des algorithmes de calcul. En effet, traiter de l'information, c'est manipuler des symboles. Le cerveau et l'ordinateur sont composés de modules qui assurent l'encodage (soit la transformation des inputs en symboles : par exemple, les informations sensorielles en images de la réalité) et le stockage de l'information dans la mémoire à long terme, avant de produire une réponse. Pour le cognitivisme, tout système intelligent (humain ou artificiel) possède des représentations symboliques de l'état du monde, qui constituent les significations sur la base desquelles s'opère le traitement, c'est-à-dire la pensée. Ces représentations symboliques peuvent être des concepts, des mots, des images, des signes graphiques, des souvenirs, des schémas, etc. Elles sont des modèles internalisés de la réalité qui permettent de l'organiser et d'agir sur elle

[Titre 2] Vers une science de l'apprentissage

La psychologie cognitive étudie donc comment l'être humain recueille, encode, interprète, modifie et emmagasine l'information provenant de l'environnement, et de quelle façon il en tient

compte pour prendre des décisions. Elle définit la pensée comme un système de traitement de l'information et accorde un statut central aux informations que les êtres humains se représentent, aux processus qu'ils utilisent pour traiter ces informations et aux limites du système cognitif qui contraignent la quantité d'informations qu'ils peuvent représenter et traiter en réalisant une tâche donnée. Elle définit l'apprentissage comme un ensemble des processus permettant d'acquérir de nouvelles connaissances ou de transformer les connaissances existantes.

Plus concrètement, la psychologie cognitive s'intéresse au détail des activités mentales d'un individu qui lui permettent d'organiser ses pensées et ses actions. Pour ce faire, elle utilise des méthodes empiriques diversifiées qui permettent d'inférer les activités mentales à partir des comportements et des verbalisations réalisés par des sujets engagés dans des tâches diverses. La résolution de problèmes a constitué le terrain privilégié pour étudier les stratégies cognitives. Un problème peut être défini en termes d'écart existant entre un état initial et un état désiré, et pour lequel il n'existe pas de solution connue ni de procédure immédiatement applicable. Les travaux de **Newell et Simon (1972)** sur les stratégies de résolution de problèmes dans plusieurs domaines, comme les échecs, les mathématiques, le tic-tac-toe, etc. ont permis de mettre en évidence plusieurs types de stratégies largement utilisées par des individus novices, dont celle dite de « l'analyse moyens-fins ». Ces travaux les ont amenés à proposer de concevoir la pensée humaine comme un « système général de résolution de problèmes ».

De là, les cognitivistes se sont mis à étudier des problèmes et des tâches de plus en plus complexes. Même si jouer aux échecs ou résoudre des puzzles nécessite la maîtrise de certaines règles, ces tâches font uniquement appel à une quantité restreinte de connaissances, qui demeurent très spécifiques. Plus les cognitivistes raffinaient leurs méthodes, plus ils s'attaquaient à l'étude de domaines de recherche riches en contenu. Ils se sont ensuite lancés dans l'analyse des

situations de résolution de problèmes rencontrées par les physiciens, les mathématiciens, ou les médecins dans l'établissement d'un diagnostic, par exemple. Ils ont commencé à étudier la lecture et l'écriture, ainsi que le rôle de ces processus dans l'acquisition des connaissances générales. Le prolongement des recherches dans ces domaines leur a alors permis de comparer les performances d'experts et de novices à l'intérieur des matières scolaires.

La recherche est ensuite passée de protocoles établissant de simples comparaisons entre novices et experts à l'analyse du processus par lequel les novices deviennent des experts. Ces études visaient à comprendre comment, avec le temps et la pratique, se développe l'expertise dans un domaine donné. Elles ont donné lieu à la constitution de modèles permettant d'établir les étapes de progression de la novicité vers l'expertise. Si on considère l'acte d'apprendre comme la voie par laquelle les novices deviennent des experts, ces modèles venaient ainsi tracer la route du processus d'apprentissage dans différents domaines.

En identifiant, au départ, les processus qu'un individu utilise en situation de résolution de problèmes dans un domaine donné, et en les comparant avec les processus que ce même individu arrivera à construire en s'exerçant à résoudre de nouveaux problèmes, il devient dès lors possible de mesurer et de décrire l'apprentissage qui a été réalisé. De même, l'apprentissage peut ainsi être étudié en retraçant les changements effectués dans les processus mentaux des élèves au fur et à mesure qu'ils progressent dans le développement de leurs compétences. Grâce à une connaissance détaillée de ces processus, on peut parvenir à mieux saisir comment l'acte d'apprendre s'effectue.

Cela dit, il existe plusieurs théories cognitives relatives à l'apprentissage. Cependant, toutes ces théories partagent une vision commune des caractéristiques structurales du système de traitement de l'information, c'est-à-dire de ce qu'on nomme « l'architecture cognitive » dans

laquelle la mémoire joue un rôle clé. Pour le cognitivisme, l'apprentissage est en effet intrinsèquement lié à la fonction mémorielle au sens large, responsable de la construction, de l'organisation, de l'encodage et de la récupération des connaissances.

[Titre 2] L'architecture cognitive

L'existence de trois types de mémoire est aujourd'hui largement admise. Il s'agit de la mémoire sensorielle, de la mémoire à court terme, appelée maintenant mémoire de travail et de la mémoire à long terme. Ces mémoires permettent de préserver l'information pour une réutilisation ultérieure et ils interviennent dans l'apprentissage de manière différenciée.

[Titre 3] *La mémoire sensorielle*

L'être humain possède la capacité particulière de retenir brièvement une part relativement importante des informations qu'il perçoit. Les résultats de l'expérience réalisée par George Sperling en 1960, largement confirmés depuis, ont démontré que les informations présentées de façon visuelle sont enregistrées pendant un vingtième de seconde sous forme d'une copie littérale du stimulus original, mais que cette « icône » s'estompe en un tiers de seconde, puis disparaît après une seconde. Outre la mémoire sensorielle iconique, traitant les informations visuelles, d'autres mémoires sensorielles ont été distinguées selon le type de l'information sensorielle. La mémoire échoïque, par exemple, enregistre et maintient les stimuli auditifs pendant une durée de 2 à 4 secondes. Les mémoires sensorielles prolongent en quelque sorte le stimulus initial afin de rendre possible son traitement ultérieur dans la mémoire de travail.

[Titre 3] *La mémoire à long terme*

La mémoire à long terme est un réservoir illimité de savoirs se divisant en deux structures distinctes, mais complémentaires, soit la mémoire épisodique et la mémoire sémantique. La mémoire épisodique contient des connaissances spécifiques à chaque individu, des souvenirs des expériences qu'il a vécues : c'est donc une mémoire autobiographique. Parce qu'elle renferme des informations reliées aux situations, aux événements et aux épisodes de vie de l'individu, elle est fortement contextualisée. Elle retient l'endroit où s'effectue un apprentissage, le moment où il se déroule et les personnes ou les circonstances l'entourant. Notre mémoire épisodique possède une capacité de rétention illimitée, est mise à jour régulièrement et ne demande aucun entraînement, car elle est directement reliée à notre vécu.

Pour sa part, la mémoire sémantique est une mémoire conceptuelle. Elle comprend des connaissances d'ordre général comme des concepts, des principes et des règles, ainsi que des images mentales et des plans d'action, qui ont tous une portée générale. La mémoire sémantique gère l'information présentée sous forme de mots. Elle constitue notre mémoire linguistique et effectue la rétention de tous les concepts, les faits et les connaissances générales que nous possédons. La majorité des apprentissages scolaires sollicite cette mémoire. La mémoire sémantique possède une capacité de rétention illimitée, mais l'intégration des connaissances déclaratives s'effectue difficilement car, comme elle se nourrit de mots, cette voie mémorielle est tributaire des associations, des comparaisons et des similitudes qui doivent être établies avec les acquis antérieurs.

La mémoire sémantique contient des connaissances qui sont de deux types, soit déclaratif et procédural :

1) Les connaissances déclaratives se rapportent aux choses, aux faits, aux concepts, aux images mentales et nous servent pour décrire le monde qui nous entoure : Paris est la capitale de la France, Albert Einstein était un physicien, les plantes sont des êtres vivants, le chien de mon voisin s'appelle Fido, etc. Elles sont considérées comme des connaissances inertes parce qu'elles doivent être associées aux connaissances procédurales pour être utilisées lorsque nous agissons.

2) De leur côté, les connaissances procédurales sont liées à l'action ou aux séquences d'actions. Ces connaissances concernent les comment, quand, où et pourquoi faire quelque chose. Lorsqu'un apprentissage nécessite une série d'actions ou de gestes consécutifs à poser (par exemple : apprendre à rouler à vélo, apprendre à jouer au tennis, apprendre à nouer ses lacets, apprendre à se comporter devant des inconnus, apprendre les manières de table, etc.), une séquence de procédures se crée. Les connaissances procédurales se traduisent donc concrètement en actions et en comportements. Leur acquisition exige habituellement un entraînement plus ou moins long à travers lequel elles acquièrent un haut degré d'automatisme. Une fois acquises, les connaissances procédurales sont très stables et peuvent être parfois conservées, dans des conditions normales, tout au long de la vie : une fois appris correctement, comment rouler en vélo ne s'oublie pas!

Les deux types de connaissances sont emmagasinés dans la mémoire à long terme selon deux modes d'organisation : le réseau sémantique et le schéma (Noiseux, 1997). Notons que ces deux types de connaissances opèrent sans intervention de la conscience. Le réseau sémantique représente les liens, associations et relations qui peuvent exister entre les significations des mots ou des concepts. Ainsi, la simple évocation du mot bateau peut faire surgir de la mémoire à long terme une série de concepts qui lui sont associés comme : bâbord, tribord, proue, poupe, bateau à voile, à moteur, etc. Ces différents concepts sont interreliés les uns aux autres à la manière des

mailles d'un filet de pêche. Dans la mémoire à long terme, tout nouveau savoir vient ainsi se lier par maillage en association avec les connaissances antérieures. Il en découle que nous n'apprenons pas des connaissances isolées, mais bien des connaissances qui peuvent se lier, d'une manière ou d'une autre, à nos connaissances antérieures. Apprendre des choses nouvelles, c'est donc tisser différents liens entre elles et ce que nous savons déjà. Ces liens consolident et enrichissent nos connaissances antérieures.

Le schéma constitue le second mode d'organisation d'une multitude de données dans la mémoire à long terme. Un schéma est une structure cognitive ou un concept qui contribue à mettre en forme et à interpréter les nombreuses informations issues de l'environnement. Les schémas nous aident donc à organiser le monde et agir en son sein. Il s'agit de représentations génériques de personnes, d'objets, d'évènements, de situations et de comportements. Le rappel du mot McDonald's, par exemple, signifie : restauration rapide, aucun service aux tables, payer immédiatement à la caisse, sièges peu confortables, etc. Le schéma « prendre le bus » renvoie à une séquence typique d'actions : attendre le bus en ligne, entrer dans le bus, payer son passage, chercher une place pour s'asseoir, etc. Un schéma peut être considéré comme une structure opératoire qui regroupe des connaissances particulières pour percevoir, comprendre, mémoriser, effectuer certaines activités intellectuelles et entreprendre des actions. Le schéma est donc une structure générale et abstraite qui regroupe des sous-schémas qui nous aident à organiser nos connaissances par rapport à une situation donnée, à des phénomènes, des évènements, des objets et même des personnes. Fait important, les schémas constituent des blocs de connaissances récupérés en mémoire comme des totalités autonomes par rapport aux autres connaissances. Par exemple, le schéma « rouler en vélo » ne se décompose pas en « mettre les pieds sur les pédales », « tenir le guidon », « lever la tête », etc., et forme au contraire une totalité.

Les différentes connaissances déclaratives et procédurales sont ainsi organisées dans la mémoire à long terme par processus associatifs et le rappel d'un élément quelconque active les autres éléments qui lui sont rattachés. Pour cette raison, un fait mémorisé peut réactiver une foule d'autres éléments et des pans complets de la mémoire peuvent alors resurgir dans le champ de la conscience : par exemple, une simple odeur de café peut rappeler un souvenir d'enfance, duquel surgissent d'autres souvenirs, par exemple, de ses parents, des vacances d'été avec eux, etc. L'apprentissage de connaissances nouvelles entraîne l'interconnexion avec les connaissances antérieures, afin qu'elles soient emmagasinées pour éventuellement faire l'objet d'un rappel de la mémoire à long terme.

Au final, on peut donc dire que les mémoires sémantiques et épisodiques sont directement impliquées dans l'obtention de la qualité de la compréhension, qui constitue un ingrédient clé pour qu'un apprentissage soit intégré dans la mémoire à long terme. Cependant, ces mémoires sémantique et épisodique nécessitent un travail obligatoire de concert avec la mémoire à court terme, aussi appelée mémoire de travail, pour le rappel d'un apprentissage qu'elles ont stocké.

[Titre 3] *La mémoire de travail ou mémoire à court terme*

L'étiquette « court terme » fait référence à la durée pendant laquelle nous pouvons retenir des informations dans notre tête, habituellement de 5 à 20 secondes, avant de les oublier ou de les transférer dans notre mémoire à long terme. Pour sa part, le terme mémoire de travail se rapporte au nombre d'unités d'information avec lequel nous pouvons travailler simultanément, qui est de sept pour l'adulte moyen, avec un écart variant de plus ou moins deux. Passer cette durée et ce nombre d'éléments, les informations tendent à se perdre si elles ne sont pas transférées dans la mémoire à long terme, un peu à l'image d'un logiciel de traitement de texte à l'ordinateur lorsqu'on oublie de sauvegarder notre travail dans le disque dur.

La mémoire à court terme ou mémoire de travail comporte ainsi deux limites importantes : d'une part, la durée de disponibilité de l'information et, d'autre part, le nombre d'unités d'information qu'elle peut contenir. Cependant, une unité d'information peut représenter une syllabe, un mot, un paragraphe, un concept ou encore un réseau de concepts. Cela dépend de la structuration des connaissances, c'est-à-dire de la façon dont elles sont organisées en mémoire, ce que les cognitivistes appellent des « *chunks* » (des blocs, des paquets). Ainsi, nous pouvons retenir un numéro de téléphone de 7 chiffres : 835-0386 ; mais nous pouvons également mémoriser 7 nombres : 24-32-46-58-60-72-84, donc 14 chiffres, soit un numéro de téléphone international en Europe. L'information ainsi organisée représente 7 unités ou « *chunks* » d'information. On peut dès lors constater l'utilité de disposer d'une bonne organisation des connaissances.

La mémoire de travail constitue l'interface avec laquelle nous pouvons donner du sens aux stimuli nous provenant de l'environnement, à partir du bagage de connaissances accumulées dans notre mémoire à long terme. Ceci a amené les chercheurs en psychologie cognitive à affirmer que l'on apprend en faisant des liens avec ce que nous connaissons déjà. Bref, ce qu'on appelle les connaissances antérieures sont donc un élément central de tout apprentissage.

[Titre 2] L'approche cognitive de l'apprentissage

Dans la perspective cognitive contemporaine, le système cognitif humain est conçu comme un système adaptatif : c'est un système spécialisé qui a évolué afin de permettre à l'espèce humaine une meilleure adaptation à son environnement, et qui, en même temps, a contribué à transformer cet environnement naturel en environnement culturel. Cette faculté d'adaptation passe en très grande partie par la capacité d'apprendre de nouvelles connaissances, dès la naissance (ou même

avant) jusqu'à la vieillesse. Deux aptitudes semblent spécifiques à l'homme, le distinguant de ses cousins primates : la première est la propension à enseigner et la seconde est la capacité à apprendre à partir de ces enseignements (Tomasello et al., 2005). En effet, dans toutes les cultures, les adultes enseignent aux jeunes les traditions et les découvertes qu'eux et leurs ancêtres ont faites dans le passé. Cet enseignement permet à la nouvelle génération de ne pas avoir à « tout recommencer » et assure le caractère cumulatif des apprentissages réalisés par les générations successives. Cette capacité d'apprentissage social très sophistiquée est également cruciale pour permettre à l'être humain de faire face à des changements culturels parfois rapides, puisqu'une transmission rapide des connaissances peut être faite au sein d'un groupe donné.

En éducation, deux théories cognitivistes sont aujourd'hui particulièrement influentes car elles permettent de proposer un cadre explicatif et prédictif en ce qui concerne l'apprentissage et le développement des compétences. Il s'agit de la théorie de l'expertise et de la théorie de la charge cognitive, que nous allons présenter brièvement dans les deux parties suivantes.

[Titre 3] *Un modèle du développement des compétences et de l'expertise*

Les recherches qui ont permis de développer les théories sur l'expertise se sont concentrées à décrire principalement les caractéristiques de l'état final d'un processus d'apprentissage particulièrement long. En effet, le développement de l'expertise est continu et cumulatif, et, en ce sens, il dépend fortement de la pratique dans un domaine. Les résultats de nombreuses études convergent pour indiquer qu'il faut en moyenne dix ans de pratique pour devenir expert dans un domaine (Ericsson et coll., 1993). Fruit d'une accumulation d'expériences, l'expertise constitue donc une caractéristique de l'âge adulte, même si on peut également rencontrer des enfants experts dans des domaines circonscrits, comme le jeu d'échecs ou la musique. Ces enfants

démontrent les mêmes caractéristiques des compétences expertes que celles décrites chez les adultes.

Les travaux réalisés en psychologie cognitive, plus précisément ceux de **John Anderson (1983, 1993, 1995, 1997)**, ont décrit et simulé les principes sous-tendant l'apprentissage afin de montrer comment un novice dans un domaine devient un jour un expert dans ce même domaine. Ces travaux ont montré qu'une compétence se développe à travers trois phases distinctes : la phase cognitive, la phase associative et la phase autonome. Au départ, une compétence se développe par l'acquisition, la compréhension et la maîtrise d'un ensemble de connaissances reliées à un domaine précis. C'est la phase cognitive. Ensuite, au cours de la phase associative, ces connaissances sont utilisées et pratiquées dans un ou plusieurs contextes d'action. Finalement, la phase autonome est atteinte lorsqu'il y a une automatisation des savoirs de base reliés audit domaine. L'automatisation des savoirs de base permet à l'individu de libérer sa mémoire de travail, afin qu'il puisse se consacrer aux aspects plus complexes de la tâche.

Par conséquent, apprendre revient à intégrer des connaissances nouvelles en mémoire, plus précisément dans la mémoire à long terme, connaissances qui serviront à la résolution de nouveaux problèmes. Ainsi, l'apprentissage s'effectue lorsqu'il y a un changement de comportement persistant chez l'individu, c'est-à-dire quand ce qui a été appris s'est intégré aux schèmes mémoriels de ce dernier. Les structures mémorielles à court terme et à long terme sont donc fortement sollicitées dans la phase d'acquisition ou phase cognitive de l'apprentissage. Cette phase constitue une quête de sens ou une recherche de compréhension. Elle implique la construction d'une représentation adéquate de la tâche à accomplir, suivie d'une série de traitements effectués sur cette représentation en vue de réaliser ladite tâche. Puisque cette phase représente le point de départ de tout le processus d'apprentissage, nous présentons ci-après la

théorie de la charge cognitive de John Sweller, ce qui nous permettra de mettre en évidence les implications pédagogiques des limites de la mémoire de travail sur la construction de la représentation.

[Titre 3] *La théorie de la charge cognitive*

La théorie de la charge cognitive (TCC) constitue un des développements théoriques récents les plus marquants dans le domaine des théories de l'apprentissage (Chanquoy, Tricot et Sweller, 2007; Kirschner, Kester et Corbalan, 2011). Le point de départ de cette théorie a été la recherche de Sweller (1988) qui montrait que certaines formes de résolution de problèmes peuvent interférer avec le processus de construction des schémas, au point d'empêcher l'apprentissage. Les travaux de Sweller ont montré que les activités habituelles de résolution de problèmes peuvent conduire à la solution du problème, mais pas à l'acquisition des schémas. C'est donc dire que bien que l'apprenant ait résolu le problème qui lui a été soumis, il n'a pas retenu la solution qui lui a permis d'y arriver. Considérant les capacités limitées de la mémoire de travail, Sweller et coll. proposent d'interpréter ce résultat en termes du dépassement des ressources disponibles, autrement dit, en termes de surcharge cognitive. En effet, la complexité des traitements qui est nécessaire pour analyser et réaliser une tâche dans un domaine nouveau fait en sorte qu'il ne reste plus d'espace disponible en mémoire pour retenir les connaissances qui ont été utilisées dans ce domaine.

Les recherches de Sweller entraînent deux implications pédagogiques immédiates. Premièrement, proposer à une personne d'apprendre de nouvelles connaissances au moyen de la résolution d'un problème pour lequel elle ne dispose d'aucune connaissance préalable pertinente constitue une méthode d'enseignement inefficace. Deuxièmement, si la résolution de problèmes ne constitue pas une situation permettant d'acquérir des connaissances sous forme de schémas,

alors quel type de situation le permet-il ? La question est importante, puisqu'elle remet en cause la conception dominante selon laquelle « les schémas s'acquièrent par l'action : plus le débutant va rencontrer et tenter de résoudre un grand nombre de problèmes, plus il va apprendre et plus il pourra élaborer des schémas en mémoire » (Chanquoy et coll. 2000, p. 132).

La théorie de la charge cognitive a été élaborée afin d'apporter des réponses à cette question dont l'importance pour l'enseignement est fondamentale. Comme nous venons de le mentionner, la TCC s'appuie largement sur les résultats des recherches sur le développement de l'expertise, puisqu'elle postule que l'organisation des connaissances en mémoire à long terme sous forme de schémas constitue une caractéristique fondamentale distinguant les experts des novices. Mais, de façon quelque peu différente de la théorie de l'expertise, elle s'intéresse principalement au rôle de la mémoire de travail dans l'acquisition et l'utilisation des schémas. Par exemple, elle propose de répondre à la question « à quoi servent les schémas ? ». L'hypothèse principale de la TCC est que les schémas servent, d'une part, à organiser la très grande quantité des connaissances en mémoire à long terme et, d'autre part, à rendre possible la réalisation de tâches complexes, et ce, malgré les limitations de la mémoire de travail.

La TCC propose que plus grandes sont la quantité et la complexité des informations organisées qui peuvent être transférées de la mémoire à long terme à la mémoire de travail, plus importante est la complexité des situations qu'il est possible de traiter. Ainsi, sans avoir la possibilité d'activer des schémas pertinents en mémoire de travail pour répondre aux exigences de la tâche, un expert n'est plus un expert, et doit recourir aux stratégies générales de résolution de problèmes, de la même façon qu'un novice (Clark, Nguyen et Sweller, 2006). Le rôle principal des schémas est donc de permettre à un individu de dépasser les limites de sa mémoire de travail. L'efficacité des schémas à remplir ce rôle va dépendre de leur degré d'automatisation, puisque,

comme nous l'avons vu précédemment avec le modèle du développement des compétences de John Anderson, chaque schéma automatisé permet de libérer des ressources cognitives pour l'acquisition de nouveaux schémas.

Ainsi, la théorie de la charge cognitive postule qu'il existe deux processus qui ont pour fonction principale de permettre à la mémoire de travail aux capacités limitées de traiter de grands ensembles d'informations et de favoriser l'apprentissage (Chanquoy et coll., 2007). Il s'agit, premièrement, de l'acquisition des schémas et, deuxièmement, de l'automatisation de ces schémas. En effet, de façon similaire au modèle du développement des compétences de John Anderson, la TCC souligne l'importance de l'automatisation, qui permet progressivement à l'individu de réaliser des tâches de plus en plus complexes sans dépasser la capacité de sa mémoire de travail, puisque les schémas qu'il acquiert permettent de traiter un très grand nombre d'informations comme s'il s'agissait d'une seule unité significative, soit un « chunk » (Paas, Renkl et Sweller, 2003; Clark, Nguyen et Sweller, 2006).

Étant donné que les novices n'ont pas encore développé les schémas qui permettent aux experts de résoudre des problèmes complexes, ils ont besoin de l'enseignant pour structurer les apprentissages de la simplicité vers la complexité, de façon à leur fournir un substitut aux schémas qui leur manquent (Clark, Nguyen et Sweller, 2006). Comme le présente le modèle d'Anderson, ceci permet alors de libérer de l'espace dans leur mémoire de travail pour rendre l'apprentissage possible. À défaut de le faire, les novices se construiront une représentation inadéquate des apprentissages à réaliser, ce qui les conduira à intégrer des connaissances erronées dans leur mémoire à long terme. Compte tenu de son importance déterminante dans le processus d'apprentissage, nous nous attarderons particulièrement, dans la section suivante, à la construction de la représentation qui s'opère dans la mémoire à court terme.

[Titre 3] *La construction de la représentation*

La majeure partie de ce que l'humain sait a nécessairement été apprise. Tout résultat de quelque apprentissage que ce soit est consigné dans la mémoire à long terme, selon des degrés divers de disponibilité et d'accessibilité. C'est ce que les cognitivistes nomment les connaissances antérieures. C'est en fonction de nos connaissances antérieures, consignées en mémoire à long terme, que nous appréhendons les données fournies par l'environnement, que nous en fabriquons le sens. Les stimuli provenant de l'environnement ne pouvant être placés directement dans notre tête, nous devons nous les approprier symboliquement en les interprétant à partir de nos connaissances antérieures pour les comprendre. Cette construction symbolique générée dans la mémoire de travail se nomme représentation. Les représentations peuvent être conceptuelles, par exemple le sens des mots ou les relations entre les concepts ; elles peuvent aussi être imagées et correspondre à un objet ou à une scène, ou être liées à l'action : exécution de procédures, d'activités motrices, de règles de jeux. Nos représentations constituent l'interface entre l'environnement et nos connaissances antérieures.

Nous appréhendons ainsi la vie, chaque événement, chaque situation, chaque tâche à réaliser par l'entremise de nos connaissances antérieures, en fonction du sens que nous leur attribuons. Ces connaissances consignées en mémoire constituent la structure à partir de laquelle nous nous engageons dans toute activité d'apprentissage. Par conséquent, ceci nous permet d'affirmer que l'élève ne travaille jamais sur les tâches qu'on lui soumet en salle de classe, mais plutôt sur le sens qu'il lui donne, sur ce qu'il en comprend, à partir de quoi il a élaboré sa représentation.

[Insérer figure 16.1, p. 244, édition courante] Figure 15.1 La construction de la représentation

Il faut reprendre la figure originale de l'ancien chapitre 16 ou la demander à Mario Richard

La figure 15.1 permet d'illustrer le processus de construction de la représentation.

Lorsqu'on présente à l'élève une tâche à réaliser par le biais de consignes pédagogiques (stimulus), les informations transmises à ce dernier sont captées par ses canaux sensoriels (les sens) qui ont pour mission d'acheminer les différents stimuli à son système cognitif afin d'y être perçus, identifiés et reconnus. Au moment où ces informations parviennent à son système cognitif, celui-ci va puiser dans sa mémoire où sont stockés des savoirs, savoir-faire et savoir-être, à partir desquels il pourra effectuer le décodage afin de leur donner un sens. Une fois le sens attribué aux informations reçues, l'élève se construit une représentation de la tâche à effectuer. Dès lors, il ne travaille plus sur ce qui lui a été demandé, mais uniquement sur la représentation de la tâche qu'il s'est construite en fonction de ses connaissances antérieures.

Ainsi, comprendre les représentations de l'élève permet de saisir l'origine de plusieurs problèmes d'apprentissage vécus en salle de classe. En effet, il faut garder en tête que les élèves nous arrivent de la maison avec des connaissances constituées en majeure partie sous un mode d'imprégnation fondé sur la sollicitation sensorielle, l'émotion, la sensibilité et le caractère fluide des informations présentées par les médias. Or, l'école avec son mode d'apprentissage s'appuyant sur l'approfondissement, la mise en ordre et la rigueur, viendra confronter l'élève et le mettre en déséquilibre en créant une rupture avec ses acquis antérieurs. Ce qui peut l'amener, pour se rééquilibrer, à se construire une représentation inadéquate menant à l'élaboration de connaissances erronées qui vont nuire aux apprentissages ultérieurs.

De fait, les recherches en psychologie cognitive nous révèlent que les représentations ont un tel pouvoir explicatif spontané qu'elles deviennent durables et résistent très fortement au changement. Elles peuvent même constituer des obstacles majeurs à la compréhension d'une

situation d'apprentissage. Il faut donc aborder la représentation comme un système explicatif à comprendre, soit pour détecter l'erreur à éliminer ou l'obstacle à franchir, ou pour prendre appui sur cette base afin de favoriser la compréhension et l'apprentissage chez les élèves. Apprendre, c'est modifier ses représentations jusqu'à ce que l'on comprenne et retienne l'objet d'apprentissage. Dès lors, prendre en compte les représentations de ses élèves et évaluer dans quelle mesure elles peuvent constituer des obstacles à l'apprentissage constituent deux grands principes qui doivent guider les enseignants.

[Titre 3] *Le développement de la métacognition*

Nous allons clore ce chapitre en disant quelques mots d'une notion importante : la métacognition. En comparant la performance des novices et des experts lors de différentes situations de résolution de problèmes, les études en psychologie cognitive ont mis en lumière la capacité particulière de ces derniers à exercer un contrôle efficace sur leur processus de réalisation des tâches, ce que l'on nomme la métacognition (Bruer, 1993). La métacognition représente l'habileté à réfléchir sur sa propre pensée, à conscientiser, contrôler et superviser les différents processus mentaux utilisés dans le traitement de l'information, afin d'en assurer un fonctionnement optimal. Une telle démarche permet à l'individu de prendre conscience de ce qu'il fait, de la façon dont il le fait, et des raisons pour lesquelles il fait ce qu'il fait. Le développement d'une conscience métacognitive résulte d'un entraînement à l'auto-observation de son propre fonctionnement cognitif et affectif face à des problèmes divers ; il devient alors possible d'adopter une conduite réflexive favorisant la régulation des différents processus impliqués dans le traitement de l'information.

Ainsi, la métacognition est au processus d'apprentissage ce qu'un maestro est à un orchestre symphonique. La métacognition se veut le poste de pilotage de tout le processus du

traitement de l'information. De la phase d'acquisition, qui vise la compréhension de l'objet d'apprentissage, à la phase de rétention qui assure l'encodage, le stockage et le rappel de l'information en mémoire à long terme, jusqu'à la phase du transfert, qui poursuit l'objectif ultime de réutiliser ultérieurement ce qui a été appris originalement, la conscience métacognitive agit comme le gestionnaire du traitement de l'information.

De fait, on peut aider les élèves à gérer efficacement leur processus d'apprentissage en favorisant le développement de leur métacognition. Il s'agit d'une démarche qui consiste à amener l'apprenant à superviser consciemment ce qu'il est en train de faire, en comparant les différents procédés accessibles avec ceux qu'il utilise, et les attitudes qu'il adopte avec celles qui peuvent être déployées. Un tel regard réflexif sur les savoir-faire et les savoir-être utilisés en situation d'apprentissage permet d'évaluer les actions effectuées, d'identifier la pertinence de poser certains gestes et conduites afin de tirer profit de l'apprentissage réalisé.

Résumé

Ce chapitre, a d'abord mis en lumière une définition générale des sciences cognitives, leur évolution depuis les années 1950 et les deux principaux paradigmes théoriques composant ce vaste champ de recherches, soit le cognitivisme et la neurocognition. Cette première section nous a permis de voir comment les SC se définissent initialement comme des sciences multidisciplinaires s'opposant au behaviorisme, s'inscrivant en rupture avec les visions traditionnelles de l'esprit et dotées de technologies intelligentes qui ont conduit au fil des dernières décennies à l'émergence des TIC et, plus largement, d'une société de l'information. La deuxième section, traitant pour sa part des rapports entre les neurosciences et l'éducation, a exposé certaines des principales idées aux fondements de la neuroéducation (l'organisation du

cerveau qui conditionne et oriente l'apprentissage, l'apprentissage qui influence à son tour l'organisation cérébrale puis les impacts possibles de l'enseignant sur les apprentissages et le cerveau des élèves) et mis en lumière quelques-unes des plus récentes conclusions de recherches neuroscientifiques ayant trait à l'apprentissage de la langue, de la littérature et des nombres. Enfin, la troisième section, étroitement liée au chapitre 16 portant sur l'enseignement explicite, s'est attardée à la psychologie cognitive appliquée à l'enseignement : elle nous a permis de présenter les plus pertinents concepts issus de ce courant au regard de la question de l'apprentissage (l'architecture cognitive, les trois types de mémoire, les théories de l'expertise et de la charge cognitive, les notions de schéma et de réseau sémantique, les concepts de connaissance déclarative et procédurale, de représentation et de métacognition), tout en reportant au chapitre suivant l'étude de leurs conséquences pratiques pour l'enseignement.

Questions

1. Caractérissez ce qui distingue, à partir des années 1950, les sciences cognitives du béhaviorisme.
2. Indiquez en quoi les principales idées communes aux sciences cognitives sont à la fois inspirées de certaines théories philosophiques, mais ne représentent pas elles-mêmes des philosophies.
3. Distinguez les fondements propres au cognitivisme et à la neurocognition, en évoquant les modèles respectifs auxquels ils se réfèrent.
4. Expliquez, dans vos propres mots, le concept de plasticité cérébrale en référence aux principaux fondements de la neuroéducation.
5. Définissez les mémoires sémantique et épisodique.

6. Quels sont les points communs entre le modèle du développement des compétences de John Anderson et la théorie de la charge cognitive de John Sweller?
7. Quelles sont les implications pédagogiques de la théorie de la charge cognitive de John Sweller?
8. Expliquez le concept de représentation et son rôle dans le processus d'apprentissage.

Activité d'apprentissage

BIBLIOGRAPHIE

Anderson, J. R. (1983). *The Architecture of Cognition*. Cambridge (MA) : Harvard University Press.

Anderson, J. R. (1993). *Rules of the mind*. Hillsdale, NJ : Erlbaum.

Anderson, J. R. (1995). *Learning and memory : An integrated approach*. New York : John Wiley & Sons.

Anderson, J. R., Simon, H. A., & Reder, L. M. (1996). «Situated Learning and Education». *Educational Researcher*, 25, 5-11.

Anderson, J. R., Simon, H. A., & Reder, L. M. (1997). «Rejoinder : Situative versus Cognitive Perspectives: Form versus Substance». *Educational Researcher*, 26, 18-21.

Anderson, J. R., Reder, L. M. & Simon, H. (1998). *Radical Constructivism and Cognitive Psychology*. In D. Ravitch (Ed.) *Brookings papers on education policy 1998*. Washington, DC: Brookings Institute Press.

Anderson, J. R., Greeno, J. G., Reder, L. M., & Simon, H. A. (2000). «Perspectives on Learning, Thinking, and Activity». *Educational Researcher*, 29, 11-13.

- Bissonnette, Steve & Richard, Mario. (2001). Comment construire des compétences en classe. Des outils pour la réforme, Chenelière McGraw-Hill.
- Bissonnette, S., Richard, M. et C. Gauthier (2005). Échec scolaire et réformes éducatives. Quand les solutions deviennent la source du problème. Québec : Presses de l'Université Laval.
- Bissonnette, S., Richard, M., Gauthier, C. et C. Bouchard (2010). « Quelles sont les stratégies d'enseignement efficaces favorisant les apprentissages fondamentaux auprès des élèves en difficulté de niveau élémentaire? Résultats d'une méga-analyse ». Revue de recherche appliquée sur l'apprentissage, vol. 3, article 1, 1-35
- Brien, R. (1991). Science cognitive et formation. Presses de l'Université du Québec, Sillery, Québec.
- Bruer, J. T. (1993) Schools for Thought. Bradford Book, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England.
- Bruner, J.S., Goodnov, J.J. et Austin, G.A. A. (1956). Study of Thinking. New York : John Wiley and Sons.
- Chanquoy, L., Tricot, A. Sweller, J. (2007). La charge cognitive. Théorie et applications. Paris : Armand Colin (coll U).
- Clark, R., Nguyen, F., Sweller, J. (2006). Efficiency in learning. Evidence-based guidelines to manage cognitive load : San Francisco, Pfeiffer.
- Crahay, M. (1999). Psychologie de l'éducation. Paris, Presses Universitaires de France.
- Crahay, M. (2000). L'école peut-elle être juste et efficace ? De l'égalité des chances à l'égalité des acquis. Belgique, De Boeck Université.

- Dehaene, S. (2012). Que nous apprennent les neurosciences sur les meilleures pratiques pédagogiques?, *Regards croisés sur l'économie*, 2(12), 231-244.
- Dempster, F. N. (1991). «Synthesis of Research on Reviews and Tests». *Educational leadership*, 71-76.
- Dweck, Carol S. (2000) *Self-Theories. Their role in Motivation, Personality, and Development*. Lillington, Essays in Social Psychology, Psychology Press.
- Engelmann, S. (1999). «Student-program Alignment and Teaching to Mastery». Paper presented at the 25th National Direct Instruction Conference. Eugene, OR: Association for Direct Instruction.
- Ericsson, K. A., Krampe, R. Th., & Tesch-Roemer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, 100, 363-406.
- Gagné, R.M. (1976). *Les principes fondamentaux de l'apprentissage. Application à l'enseignement*. Les Éditions HRW Ltée, Montréal.
- Gaussel, M. et Reverdy, C. (2013). *Neurosciences et éducation : la bataille des cerveaux*, Institut français de l'éducation – Dossier d'actualité, veille et analyses, 86, 1-40.
- Gauthier, Clermont et al. (1999). *Mots de passe pour mieux enseigner*. Sainte-Foy, Les Presses de l'Université Laval.
- Gauthier, Clermont et al. (1997). *Pour une théorie de la pédagogie*, Sainte-Foy, Presses de l'Université Laval.
- How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School: Expanded Edition (2000) Commission on Behavioral and Social Sciences and Education

- Kail, M. (2012). *L'acquisition du langage*, Paris: PUF.
- Krischner, F., Kester, L. et Corbalan, G. (2011). Cognitive load theory and multimedia learning, task characteristics and learning engagement: The current state of the art. *Computers in Human Behavior*, 27(1), 1-4.
- Noiseux, Gilles (1997). *Traité de formation à l'enseignement par médiation : Tome 1. Les compétences du médiateur pour réactualiser sa pratique professionnelle*. Sainte-Foy, MST Éditeur.
- Noiseux, Gilles (1998). *Traité de formation à l'enseignement par médiation : Tome 2. Les compétences du médiateur comme expert de la cognition*. Sainte-Foy, MST Éditeur.
- Newell A., Simon H. (1972) *Human problem solving*, Prentice-Hall, NJ : Englewood Cliffs.
- Pressley, M. et al. (1995). *Cognitive Strategy Instruction*, 2nd ed. Cambridge, MA.: Brookline Books
- Rapp, B. et Lipka, K. (2011). The literate brain : the relationship between spelling and reading, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(5), 1180-1197.
- Rosenshine, B.V. (1986). « Synthesis of Research on Explicit Teaching », *Educational Leadership*, 43 (7), p. 60-69.
- Rosenshine, B.V. (1997). «Advances in Research on Instruction » in Chapter 10 in J.W. Lloyd, E.J. Kameanui, and D. Chard (Eds.) *Issues in Educating Students with Disabilities*. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum: Pp. 197-221.
- Rosenshine, B.V. (1997). « The Case for Explicit, Teacher-led, Cognitive Strategy Instruction», Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, Chicago, IL., March 24-28.

Rosenshine, B. V. (2002). «Converging Findings on Classroom Instruction» in School Reform Proposals: The Research Evidence. January 22, by Alex Molnar, Education Policy Studies Laboratory at Arizona State University.

Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations. Psychological Monographs: General and Applied. 74 (11, Whole No.498), 1-29.

Sweller, J., Cognitive load during problem solving: Effects on learning, Cognitive Science, 12, 257-285 (1988).

Tardif, Jacques & Annie Presseau (1998). «Quelques contributions de la recherche pour favoriser le transfert des apprentissages», Vie pédagogique, numéro 108, septembre-octobre 98, 39-44.

Tomasello, M., Carpenter, M., Call, J., Behne, T, & Moll, H. (2005). « Understanding and sharing intentions : The origins of cultural cognition ». Behavioral and Brain Sciences. 28, 675-735.

H. Gardner, Histoire de la révolution cognitive, Payot, 1993.

Brigitte Chamak, « Dynamique d'un mouvement scientifique et intellectuel aux contours flous : les sciences cognitives (États-Unis, France) », Revue d'Histoire des Sciences Humaines 2011/2 (n° 25), p. 13-33.

Noam Chomsky, « Verbal Behavior. By B. F. Skinner. », Language., vol. 35, no 1, 1959, p. 26-58

Olivier Houdé La Psychologie de l'enfant (6e éd., Puf, coll. « Que sais-je ? », 2013)