

L'apport des neurosciences au champ éducatif

The contribution of neuroscience to the educational field

Date de réception : 18/12/2019 ; Date d'acceptation : 24/02/2020

Résumé

La recherche sur le cerveau s'est développée ces dernières années en raison de l'émergence de technologies et d'appareils d'imagerie modernes permettant aux chercheurs de plonger profondément dans le cerveau. Tâches cognitives, qui ont fait de la recherche sur le cerveau basée sur des preuves scientifiques plutôt que sur des spéculations qui prévalaient avant cela. Le nombre d'éducateurs intéressés à étudier la relation entre le cerveau et les processus éducatifs a augmenté, car ils ont essayé de tirer parti des résultats de ces recherches dans le domaine de l'éducation, en comprenant les mécanismes du travail du cerveau, et à partir de là, les mariages mixtes ont surgi entre les neurosciences cognitives et les sciences de l'éducation, puis le terme Neuro-éducation est devenu une discipline moderne ; Dans le domaine des applications pédagogiques et pédagogiques et adoptées par de nombreux pays du monde développé dans leur système éducatif, et récemment certains spécialistes en psychologie et sciences de l'éducation tentent de clarifier la neurologie cognitive pour lier le lien entre ces disciplines afin d'augmenter l'efficacité du module professeur pour mieux comprendre le cerveau.

Mots clés: Apprendre; cognition; enseignement; neuroéducation; pédagogie.

Ali Aoun *

Madani Benyahia

Faculté des sciences
humaines et sociales
Départements de
Psychologie et sciences
de l'Education et
Orthophonie Université
de Laghouat- Algérie

*Corresponding

Abstract

Brain research has expanded in recent years due to the emergence of modern technologies and devices that allow researchers to dive deep into the brain. These techniques include imaging by functional magnetic resonance imaging (IRMF) and Positron Emission Tomography, which allows imaging active areas of the human brain during any tasks, Which made brain research based on scientific evidence rather than speculation that prevailed before that. The number of educators interested in studying the relationship between the brain and educational processes increased, as they tried to benefit from the results of these researches in the educational field, through an understanding of the mechanisms of the work of the brain, and from here the intermarriage arose between cognitive neuroscience and education sciences, and then the term Neuro-éducation emerged as a modern discipline In the field of educational and pedagogical applications and adopted by many countries of the developed world in their educational system, and recently some specialists in psychology and education sciences are trying to clarify cognitive neurology to link the link between these disciplines to raise the efficiency of the professor component to better understand the brain No.

Keywords: learning ; cognition ; teaching ; neuroeducation ; pedagogy.

ملخص

توسعت أبحاث الدماغ في السنوات الأخيرة بسبب ظهور تقنيات وأجهزة حديثة أتاحت للباحثين الغوص في أعماق الدماغ ومن هذه التقنيات التصوير بواسطة جهاز الرنين المغناطيسي الوظيفي (IRMF) والتصوير الطبقي بالانبعاث البوزيتروني (Positron Emission Tomography) الذي يسمح بتصوير مناطق نشطة في الدماغ البشري أثناء اجراء أي مهام معرفية، مما جعل أبحاث الدماغ تستند الى الدلائل العلمية بدلا من التكهنات التي كانت سائدة قبل ذلك. وأزداد عدد التربويين المهتمين بدراسة العلاقة بين المخ والعمليات التعليمية، حيث حاولوا الاستفادة من نتائج هذه الأبحاث في الحقل التربوي، وذلك من خلال فهم أليات عمل الدماغ ومن هنا نشأ التزاوج بين العلوم العصبية المعرفية وعلوم التربية وثمة ظهر مصطلح النيوروتربية- (Neuro-éducation) كتخصص حديث في مجال التطبيقات التربوية والبيداغوجية وتبنته العديد من دول العالم المتقدم في منظومتها التعليمية، وحديثا يحاول بعض المختصين في علم النفس وعلوم التربية علم الأعصاب المعرفي توضيح العلاقة الارتباطية بين هذه التخصصات للرفع من كفاءة الأستاذ المكون لفهم أفضل لدماغ المتعلم.

الكلمات المفتاحية: التعلم ؛ المعرفة ؛ التدريس ؛ النورو-تربية ؛ البيداغوجيا.

author, e-mail: alilou_2014@yahoo.fr

I- Introduction

© Université des Frères Mentouri Constantine 1, Algérie, 2019.

Le cerveau est considéré comme la partie la plus complexe du corps humain, aussi n'est-il pas surprenant qu'il suscite un fort engouement pour son étude. En effet, cet organe d'environ 1,3 kg, considéré comme étant responsable de notre intelligence, de sa sensibilité à l'interprétation, de l'initiation du mouvement du corps, l'origine et la maîtrise de tous nos comportements. Alors que la majeure partie du traitement de l'information dans le cerveau se produit dans le cortex cérébral, les scientifiques ont identifié des centaines d'aires spécialisées du cerveau qui travaillent ensemble, pour nous aider à fonctionner tout au long de notre vie. La capacité à mieux traiter, prévenir et guérir les troubles du cerveau dépend de notre aptitude à « faire progresser notre compréhension de la façon dont le cerveau fonctionne dans toutes les sphères de l'activité humaine ».

En accélérant le développement et l'application de technologies innovantes, les chercheurs pourront produire une nouvelle image dynamique du cerveau qui, pour la première fois, montrera comment « les cellules individuelles et les circuits neuronaux complexes interagissent à la fois dans le temps et dans l'espace ». Longtemps souhaité par les chercheurs qui examinent de nouvelles façons de traiter, guérir et même de prévenir les troubles du cerveau, cette image comblera des lacunes importantes dans nos connaissances actuelles et offrira des possibilités sans précédent pour explorer exactement comment « le cerveau permet au corps humain d'enregistrer, traiter, utiliser, stocker, et récupérer de vastes quantités d'informations »

Alors, en quoi l'apport des neurosciences éclaire-il la compréhension que nous avons de notre cerveau? Comment les neurosciences influencent-elles l'acquisition de nos connaissances? Peuvent-elles aider les apprenants à mieux réussir leurs études? Peuvent-elles répondre aux besoins des formateurs et des enseignants en améliorant leurs processus d'enseignement? Peuvent-elles nous aider à définir une pédagogie mieux adaptée à l'apprentissage sur les réseaux numériques? Nous allons tenter d'apporter des réponses actualisées. (Koizumi, 2010).

Le rapide développement des neurosciences ces dernières décennies amène des applications possibles et pertinentes dans le monde de l'éducation. En effet, alors que les sciences du cerveau traitent des processus sous-jacents aux apprentissages, l'éducation vise à leur mise en application dans la vie concrète et plus particulièrement, la vie scolaire. Toute fois, bien que des ponts soient évidents entre ces deux disciplines, les neurosciences trainent encore à se décliner dans le monde de l'éducation.

I.1. Apprendre : un acte complexe

La caractérisation qu'il est aujourd'hui possible de fournir de l'acte d'apprendre est complexe. Complexe, dans le sens d'un tissage entre activités intellectuelles différentes et dans celui de savoirs issus de diverses disciplines qui se rencontrent : la psychologie cognitive, les neurosciences éducatives, les sciences de l'éducation. Epistémologiquement, ces contenus se construisent par l'association de plusieurs champs, élaborant leurs savoirs selon des méthodologies différentes, qui trouvent pour intérêt commun une compréhension fine des fonctionnements cognitifs, principalement pour mettre à disposition des professionnels de l'éducation des appuis utiles à leurs activités auprès d'apprenants. Les neurosciences cognitives correspondent à « une discipline scientifique et un domaine de recherche qui ont pour objectif d'identifier et de comprendre le rôle des mécanismes cérébraux impliqués dans les différents domaines de la cognition (perception, langage, mémoire, raisonnement, apprentissages, émotions, fonctions exécutives, motricité ...) » (Berthier et al. 2018)¹. Elles se déclinent par des travaux en neuroéducation qui investiguent les recherches sur le cerveau, relatives aux problématiques éducatives, dans l'optique de mieux comprendre le cerveau pour mieux enseigner. (Masson, 2014). Ils visent « l'échange de points de vue sur l'apprentissage et de meilleures manières d'enseigner » (Bouin, 2018).² Ils facilitent l'identification et la mise à l'écart des mythes en éducation, reconnus comme des fausses croyances, des affirmations sans fondement empirique, reprises massivement, parfois citées dans des articles scientifiques, qui semblent aller de soi. « L'enseignement peut relever d'une certaine rationalité et, à ce titre, subir ou

bénéficier des connaissances scientifiques, pour décider ensuite en conscience de faire ceci ou cela » (Tricot, 2017).³

Complexe également dans le sens où ce tissage s'exprime par l'intermédiaire d'un réseau de près de 100 milliards de neurones, chaque neurone étant potentiellement en liaison synaptique avec 10 000 autres, voisins ou éloignés dans le cerveau (Toscani, 2016)⁴. Il existerait donc des similitudes entre médecine et éducation permettant aux éducateurs de s'inspirer des recherches biomédicales, l'approche scientifique pouvant fournir, dans certaines situations, une sorte de GPS à la pratique (Pasquinelli, 2015)⁵. C'est le sens du propos d'O. Houdé (2016)⁶ quand il défend que la pédagogie est un art devant s'appuyer sur des connaissances scientifiques actualisées.

En effet, la pédagogie se situerait à la croisée de trois pôles : (Meirieu, 2005)

– l'axiologique, les valeurs défendues par les projets et leurs réalisations, confrontant les visées de libertés individuelles à celles de justice sociale, sous forme de convictions ;

– le praxéologique, les mises en œuvre effectives, les actions conduites auprès des enfants, des adolescents, des élèves, qui obligent à ne pas être uniquement dans du discours, à exercer des réflexions pragmatiques ;

– le scientifique, les connaissances psychologiques, sociologiques, linguistiques, épistémologiques, ... et neuroéducatives, qui permettent de fonder son action et de s'écarter des postures idéologiques (Meirieu, 2005).⁷

Les praticiens-chercheurs de l'enseignement sont, du fait de leur activité, intéressés par les travaux en neuroéducation. Mais, devant la multitude de ces contenus scientifiques sur les mécanismes neuronaux, il peut paraître difficile de les relier à leurs pratiques ordinaires avec les élèves. « La recherche ne nous dit pas quoi faire, c'est à nous de savoir ce que nous voulons faire de la recherche » (Caraglio et Claus, 2016)⁸. Il ne suffit pas de lire ou d'entendre des informations sur la cognition pour, *ipso facto*, être en mesure d'adapter la conduite de classe et l'organisation des enseignements. Comment accompagner la rencontre entre neuroéducation et pédagogie ? Parmi les savoirs en neuroéducation, quels sont ceux qui s'avèreraient utiles aux enseignants pour disposer d'une vision correcte des fonctions cognitives du cerveau et accompagner l'acte d'apprendre de leurs élèves ? Quelle modélisation de ces contenus pourrait en faciliter la prise en compte par les enseignants, de manière à faire correspondre au mieux le processus enseigné avec le processus apprendre (Astolfi, 1992) ⁹ ? C'est à la croisée de ces questionnements que se situent l'objet et la problématique de cet article.

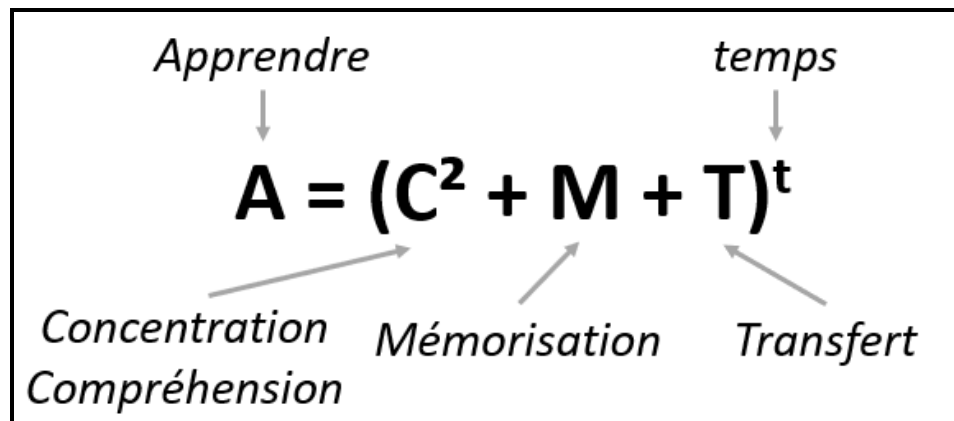


Schéma (1) Schématisation de l'acte d'apprendre

« Apprendre, c'est tout à la fois saisir par l'esprit, acquérir des connaissances, intégrer des données nouvelles à une structure existante, construire par transformation de nouvelles représentations et de nouvelles connaissances, et modifier un comportement » (Hadj, 2012)¹⁰. L'acte d'apprendre s'inscrit dans une démarche constructiviste, dans le sens où « un apprentissage passe par une activité mentale du sujet, une réorganisation de ses schèmes » (Guillaume et Manil, 2016)¹¹. Cette plasticité cérébrale se traduirait par un double processus de désintégration – intégration (Toscani, 2016).¹²

Apprendre viserait donc deux enjeux complémentaires (Cosnefroy, 2011)**13** :

- l'accroissement de ses compétences et de ses connaissances.
- la sauvegarde et le développement de l'estime de soi qui se construirait dans une dynamique d'autovalorisation, orientée vers la satisfaction de ses préoccupations personnelles, et la réalisation de sois possibles.

Pour faciliter l'entrée dans cette complexité et tenter d'éviter de la rendre difficile, nous proposons ici une formule schématisante, anecdotique et métaphorique, qui ne préfigure en rien de la nature des opérations mentales en action pour apprendre (Laroche et Fayol, in Bourgeois E., Chapelle G., 2006). Elle tente toutefois le pari de la fidélité aux travaux de référence, pour espérer un accès par un maximum d'enseignants.

I.2. Attention et concentration

« C² » pour décrire la concentration et l'acte de comprendre. Comprendre, c'est mettre du sens. Créer un pont entre l'objet de l'apprentissage (une connaissance, une technique, un comportement, un lien) et ce que le sujet s'est précédemment construit au travers de son existence et de ses expériences. « L'attention fait du monde dans lequel nous évoluons une réalité qui nous importe, qui compte pour nous, qui acquiert du sens à nos yeux » (Lachaux, 2015)**14**. L'acte de comprendre se jouerait au niveau synaptique, par la circulation d'un signal électrique et la transmission de neuromédiateurs (Stordeur, 2014)**15**. Comprendre serait créé des liaisons synaptiques entre des réseaux neuronaux disjoints. A charge des activités d'entraînement de densifier ces prime-liaisons, pour les rendre plus intenses et durables.

La compréhension s'enclencherait au départ par le mécanisme de filtrage de l'information qu'est l'attention – ou la concentration (Dehaene, 2013, Lachaux, 2016). Une fraction de seconde suffit à perdre la maîtrise de son attention (Lachaux, 2015)**16**. L'apprentissage serait plus profond et plus durable lorsqu'il se fait en fournissant des efforts (Brown et al, 2016)**17**, ce qui se traduit, au moment de l'entrée des informations, par la conservation d'un équilibre attentionnel malgré les distracteurs (Lachaux, 2015)**18**.

Cette attention consiste, pour l'élève, à sélectionner une information et à en moduler le traitement par trois systèmes différents : l'alerte (pour réagir aux événements qui surgissent), l'orientation (pour sélectionner les stimuli les plus pertinents) et le contrôle exécutif (pour réguler l'attention en sélectionnant des processus mentaux) (Lachaux, 2013). En résistant aux distractions (des « Propositions d'Actions Immédiates » – (Lachaux, 2015)**19**, les informations non pertinentes pour la tâche deviennent "invisibles", ce qui permet une focalisation de l'activité intellectuelle au niveau du cortex préfrontal. Parfois, cette sélection nécessite l'inhibition d'automatismes de pensée, causés par l'activation de réseaux synaptiques solidement établis. Alors Les erreurs constatées ne révèlent pas forcément une incompetence, mais une difficulté à exprimer la connaissance ou la compétence en jeu dans le contexte où elle s'exprime. Il s'agirait alors d'apprendre à bloquer ces stratégies parasites, ces automatismes ou ces conceptions naïves qui génèrent de l'inefficacité (Houdé, 2000).

Pour l'enseignant, un travail sur l'attention consiste à aider les élèves à effectuer cette canalisation d'informations et la relégation de sollicitations annexes (en activant ses « neurones-chefs » (Lachaux, 2016). Il semble favorisé par un enseignement formel des mécanismes organisateurs de la concentration (Lachaux, 2015). Capter l'attention des élèves peut être organisé par l'intermédiaire de rituels de classe, visant à renforcer une gymnastique intellectuelle (Bouin, 2018)**20**. De plus, les retours fréquents d'information (l'évaluation par rétroaction) participeraient à cette canalisation en encourageant les stratégies d'essai-erreur : le cortex est orienté dans les prédictions qu'il opère vers des procédures reconnues comme plus performantes que d'autres, par des phénomènes de corrections successives. « Un feedback immédiat à la suite d'une erreur permet d'accompagner l'élève dans sa correction en capitalisant sur la détection implicite de celle-ci et sur le doute cartésien qu'elle engendre » (Berthier et al, 2018)**21**. Cette fonction de l'évaluation favoriserait donc la cognition.

I.3. Erreurs et compréhensions

L'erreur conduirait ainsi au développement de l'expérience. Elle apparait comme « la trace d'une activité intellectuelle authentique, évitant reproduction stéréotypée et

guidage étroit, comme la compagne de toute élaboration mentale vraie. Elle est signe, en même temps que la preuve, que se joue chez l'élève un apprentissage digne de ce nom, qui met en jeu ses représentations préalables et ses compétences actuelles pour s'efforcer de construire du neuf » (Astolfi, 1997)²². Le cerveau fonctionnerait donc selon quatre étapes : prédiction, rétroaction, correction, nouvelle prédiction (Dehaene, 2013). Ce processus serait facilité par la rencontre avec un problème, qui conduit à chercher des modes de résolutions efficaces et, souvent, induit de commettre des erreurs. Lorsque l'on demande à un élève de résoudre un problème avant qu'on ne lui ait donné les méthodes et connaissances pour y parvenir, il retiendrait les informations correctes et sa mémorisation serait mieux ancrée que dans des stratégies d'apprentissage plus passives (Brown et al, 2016)²³. A l'inverse, vouloir faire découvrir une notion à un élève qui ne se pose pas de questions équivaldrait à tenter de remplir un verre retourné.

Les erreurs commises agiraient telles des directions à indiquer aux informations fournies par l'environnement. Elles objectiveraient la transmission de savoirs, en étant considérées comme de véritables leçons et des étapes charnières pour progresser. « Dans une situation où il s'est déjà trompé, le cerveau de l'élève récupère en mémoire le ressenti émotionnel lié à l'erreur, ressenti guidera le choix d'une stratégie de résolution de problème différente de celle qui l'a amené à se tromper auparavant » (Berthier et al., 2018)²⁴ Ces erreurs peuvent être acceptées par un élève lors de la résolution d'un problème qui génère du doute quant à ses acquis actuels, parce qu'ils ne permettent pas d'obtenir, de manière évidente, un résultat satisfaisant. L'élève éprouverait alors un conflit cognitif. Les erreurs peuvent également se manifester au cours d'une confrontation d'idées avec des pairs, lorsqu'un désaccord non résolu se crée avec des camarades en qui, par ailleurs, on a confiance (le conflit n'est pas relationnel). Se produirait ainsi un conflit socio-cognitif. Un processus de régulation épistémique du conflit (Bourgeois, 2006)²⁵ s'engage, principale conséquence de savoirs transmis à cet instant par l'environnement (un enseignant, un pair-expert ou une ressource tierce). En situation de doute, les élèves reçoivent des éléments de réponse aux questions qu'ils sont en train de se poser, ce qui conduirait la création de nouveaux réseaux de synapses concrétisant de la compréhension.

Les psychologues de la forme désignent l'instant de compréhension par l'appellation « *insight* » (Köhler, 2000), à l'image du « Euréka » d'Archimède, comme solution soudaine à un problème. Cet instant s'apparenterait au traitement d'informations nouvelles associées à des prototypes (un exemple représentatif de catégorie) ou à des scripts (un enchaînement de sous-événements) (Kalenine et al. 2012)²⁶. L'expérimentation et l'apprentissage seraient ainsi biologiquement récompensés (par une production de dopamine) et la perspective de cette récompense permettrait de dépasser la frustration et l'investissement personnel nécessaire (Favre, 2015, p. 27)²⁷.

Les situations de compréhension ne sont pas toujours aussi fulgurantes, mais elles sont de l'ordre d'un rapport sensible entre deux entités cognitives jusque-là disjointes. C'est pour cela que le terme de "construction" est utilisé au sujet d'apprentissages, parce que les réceptacles de références (les zones où les nouvelles connexions se produisent) sont à chaque fois dépendants des expériences et donc propres à chacun. L'élève est considéré comme un sujet épistémique, c'est-à-dire dont l'expérience cognitive détermine l'origine de ses apprentissages. C'est pour cela qu'au lieu de demander à un élève « as-tu compris ? » (Question qui appelle une réponse binaire oui/non) ou « qu'est-ce que tu n'as pas compris ? » (Question qui se fige sur ce qui bloque), il vaudrait mieux utiliser la question « qu'as-tu compris ? » (Berthier et al, 2018)²⁸ L'élève peut alors plus facilement raconter ce qu'il a commencé à élaborer et fournir à l'enseignant des éventuels points de blocage précis.

A noter qu'aborder les apprentissages sous l'angle de la construction ne signifie bien évidemment pas que les élèves ont à inventer les savoirs ... A ce titre, Astolfi, distingue les notions d'information, de connaissance et de savoir. Alors qu'une information serait extérieure au sujet, stockable et quantifiable sur des supports rendant possible sa circulation, une connaissance serait relative à l'expérience intériorisée de chacun, serait difficilement transmissible et inintelligible pour autrui. Dans ce cadre, un savoir résulterait d'un effort important d'objectivation par un processus socialisé de construction intellectuelle. Il se rapprocherait du monde 3 décrit par Popper (1998).

« Une connaissance est une trace du passé (action, opération, émotion, sensation) que l'on parvient à mobiliser alors même qu'on peut avoir oublié sa source. [...] Un savoir est une connaissance collective, partagée par un groupe humain, sur le fond comme sur la forme (i.e. elle est instituée) » (Tricot, 2017)²⁹.

I.4. S'entraîner pour mémoriser

« **M** » comme mémorisation. Hormis les situations où l'intensité de l'insight est tellement forte qu'elle bouleverse les procédures d'ancrage mnésique, il ne suffit pas d'avoir compris pour retenir. Pour apprendre quelque chose de compris, il conviendrait également de s'entraîner, de répéter ce qui est en jeu jusqu'à développer des automatismes, afin de basculer d'un traitement explicite des informations vers davantage d'implicite (Dehaene, 2013). A noter qu'il serait possible de mémoriser avant de comprendre, le sens des choses, bien que facilitant, n'étant pas un prérequis nécessaire à la mémoire. Mémoriser serait consolider la mémoire (développer une potentialisation à long terme), sous forme de mémoire procédurale (les habitudes acquises, mises en place sans effort), de mémoire sémantique (celle des concepts, des mots, des connaissances) et de mémoire épisodique ou autobiographique (celle des événements de notre vie) (Toscani, 2016)³⁰. Ce sont les éléments encodés dans la mémoire à long terme qui rejoignent la mémoire de travail (servant la réalisation de tâches complexes) selon les besoins, au niveau du lobe préfrontal, pour la réflexion et la résolution des problèmes. Le processus de mémorisation suivrait trois types d'activités mnésiques (Toscani, 2017) **31** : l'encodage (s'approprier des informations nouvelles – en lien avec la compréhension), le stockage (la conservation des informations) et le rappel ou la récupération (la restitution des éléments stockés). « Chaque information n'est pas stockée dans un neurone mais dans un réseau de neurones, ce qui permet aux informations d'être reliées les unes aux autres » (Berthier et al, 2018)³².

Ainsi, systématiser des opérations mentales, sur du temps et de manières diversifiées et espacées, serait les découvrir plus en profondeur, autrement que par le cheminement qui en aurait permis la compréhension. Le cortex préfrontal redevient progressivement disponible pour d'autres opérations. « Plus nous devenons experts dans un domaine et plus notre cerveau économise son activité consciente. Un novice dans un domaine a davantage besoin de réfléchir et sur un temps plus long que celui qui est devenu expert » (Toscani, 2017)³³. Au-delà de seuls exemples mémorisés, ce sont des structures de savoirs qui s'étendent et qui permettent d'avoir des conceptions plus larges des domaines étudiés.

Alors que la compréhension peut dépendre autant de rencontres naturelles (voire fortuites, par sérendipité) que de guidances pédagogiques, la mémorisation ne peut être qu'un travail propre à chacun. Personne n'est en mesure de mémoriser à la place d'un tiers. Interviennent donc ici la volonté et la motivation qui permettent d'équilibrer la nécessaire coercition de l'effort. Le cerveau humain n'est pas conçu tel une clef USB, à laquelle il suffirait de se connecter pour que les données se déversent tel un flot d'informations circulantes. Il serait plutôt comparable à une forêt, où, à force de passer par le même chemin, des sentiers se forment. « Le passage répété du marcheur crée progressivement un sentier qui est de plus en plus facile à emprunter. Bien vite, ce sentier devient une voie privilégiée pour passer rapidement du point A au point B » (Masson, 2016)³⁴. En outre, plus un chemin neuronal est formé, plus il est emprunté : « plus nous répétons un schéma d'actions, plus nous aurons tendance à le répéter encore dans le même contexte » (Lachaux, 2015)³⁵. Les habitudes tendent donc à se reproduire, surtout lorsque le temps est contraint.

La réactivation des éléments mémorisés à différents moments, espacés les uns des autres, et selon des modalités diverses semble essentielle. Elle prend la forme d'apprentissages multi-épisodiques (Lieury, 2012). Les apprentissages deviennent plus durables et les capacités de transfert sont facilitées (Brown et al, 2016)³⁶.

I.5. Rencontre de l'inédit pour transférer

« **T** » comme transférer. Devenir compétent, c'est être en mesure de réutiliser un acquis à un autre moment ou un autre lieu (Bourgeois, 2006)³⁷. Le transfert est la capacité éprouvée, par la résolution de problème ou la réalisation de tâche, d'ajuster ce

que l'on a compris et mémorisé aux caractéristiques d'un nouvel environnement. Il s'agit de mobiliser les acquis en les recontextualisant dans une situation différente du contexte initial d'apprentissage. (Berthier et al.2018)³⁸ « Pour apprendre, retrouvez ! [...] La consolidation d'un apprentissage implique plusieurs activités cognitives telles que se remémorer un savoir appris ou une pratique acquise en les faisant résonner dans un nouveau contexte » (Brown et al. 2016)³⁹. Au niveau neuronal, le transfert se traduit par un élargissement des liaisons synaptiques relatives au premier apprentissage à des zones différentes de celles mobilisées jusque-là. L'ancrage devient plus fort parce qu'il ne dépend plus que de quelques liens, les accroches devenant multiples. Ces activités de remémoration en contextes nouveaux représenteraient un outil puissant d'apprentissage sur un temps long.

Il se trouve que ces transferts peuvent trouver des réalisations en dehors du champ scolaire, par l'intermédiaire de la vie familiale ou d'activités associatives. A l'école primaire ou dans le secondaire, plusieurs pistes sont à disposition, comme les démarches de projets (Huber, 1999) qui, parce qu'elles ont vocation à produire ou réaliser concrètement une action, tendent à utiliser, en situation, les savoirs associés à la communication et à la nature du projet. Les situations de coopération (Connac, 2017) conduisent des élèves à échanger autour de savoirs scolaires, indépendamment du guidage de l'enseignant. Ce sont des tâches variées d'application qui aide au transfert des apprentissages.

I.6. Accorder du temps et du sommeil

« t » : l'acte d'apprendre se déroule sur du temps pour répondre à l'exigence de durabilité des apprentissages. S'ils ne perdurent pas, c'est-à-dire s'ils ne sont plus accessibles, c'est qu'ils ont été oubliés (au moins en partie) et qu'en cas de besoin de remobilisation, ils nécessitent une nouvelle appropriation. Cette fonction de tri est appelée « élagage synaptique » (Toscani, 2017)⁴⁰. L'oubli se définit comme une « impossibilité d'exprimer un fait ou une connaissance, dans une situation où elle devrait pouvoir naturellement s'exprimer, alors que cette information a correctement été encodée en mémoire sémantique » (Berthier et al, 2018)⁴¹. C'est un processus naturel tant ce que nous apprenons à une période de notre existence peut avoir de l'intérêt, puis le perdre à une autre période. L'oubli serait même nécessaire pour améliorer la performance de la mémoire. C'est une des fonctions du sommeil que de réaliser ce tri entre les informations importantes à consolider et celles à effacer parce que moins pertinentes. (Rauchs et al, 2011, Mazza, 2016) Ainsi, « rabâcher » une information de nombreuses fois en un temps court pour la mémoriser serait inefficace : « il est préférable de l'apprendre en plusieurs fois séparé dans le temps » (Berthier et al, 2018)⁴². Il apparaît donc qu'un apprentissage oublié n'en est plus un, que l'on apprend pour une période, au départ, indéterminée. Pour autant, tout véritable apprentissage ne semble pas disparaître totalement. Apprendre laisserait des traces permanentes mais pas toujours aussi intenses.

I.7. Trois conditions sous-jacentes à l'acte d'apprendre

Nous venons de formaliser l'acte d'apprendre comme un processus de combinaison complexe d'activités cognitives précises. Mais développer des acquis et s'approprier des savoirs sont des activités parfois empêchées. Autrement dit, il semble plus facile d'apprendre dans certaines conditions, plus difficile, voire impossible dans d'autres. C'est à cet effet, qu'en complément de la formalisation des processus de l'acte d'apprendre, nous en formulons une seconde, relative à des familles de conditions facilitant la possibilité de ce processus : évoluer dans un espace ressenti comme sécure, pouvoir compter sur une disponibilité cognitive et être investi dans la tâche.

$$A = \frac{(C^2 + M + T)^t}{S \times D \times I}$$

Sécurités *Disponibilités* *Investissement*

Schéma (2) Familles de conditions facilitant l'acte d'apprendre

I.8. Se percevoir dans un espace sécuritaire

Se sentir en sécurité vaut autant pour sa propre intégrité physique (être convaincu de la préservation de son corps) que pour son intégrité affective et émotionnelle (savoir que l'on ne risque pas d'être mis en position dévalorisante). Un sentiment de sécurité agirait sur l'hippocampe, lié à l'encodage et le stockage des informations. Il favoriserait également la maturation du cortex préfrontal impliqué dans la gestion des émotions, du stress et de la prise de décisions (Toscani, 2017)⁴³. Une crainte de l'échec empoisonnerait une démarche d'apprentissage en créant une appréhension et un rejet de toute forme d'expérimentation ou de prise de risque. Cette peur d'apprendre, produite par la perception d'un danger, se traduirait par la libération d'un "chien de garde" (Favre, 2007), une réponse violente et pulsionnelle inhibant le contrôle de l'impulsivité. Dans une telle configuration cognitive, l'essentiel de la mémoire de travail est occupé à traiter la gestion du stress : comment dois-je faire ? Est-ce que je me trompe en procédant ainsi (Brown et al 2016)⁴⁴ ? Lorsque l'esprit est ainsi occupé par des craintes, la situation perturbe les priorités du moment et peut rendre impossibles les actions scolaires à réaliser (Lachaux, 2015)⁴⁵.

L'introduction de lois de classe ou d'école peut garantir ce minimum de sécurité (Pain, 1994). Elle s'accompagne par une posture d'adultes qui se réfèrent à des démarches de sanction éducative (Prairat, 2003), dans le cadre de la recherche de construction d'une autorité éducative (Robbes, 2016) pour rappeler, sans violence, l'existence et l'importance de ces lois.

Concernant les moqueries, il semble prépondérant que les élèves soient convaincus qu'elles n'ont pas cours dans l'espace scolaire. Sans cette conviction, le risque d'apprendre, notamment en se trompant, ne sera pas forcément pris. Or apprendre implique que puisse s'exercer le processus d'essais-erreurs. Extrêmement intéressant pour progresser, ce processus de déstabilisation cognitive s'accompagne d'une déstabilisation affective (deux circuits neuronaux liés), en mesure d'être amplifié et d'induire un sentiment d'insécurité en cas de moqueries. Ces moqueries, ou leur appréhension, risquent donc d'interdire l'enclenchement des apprentissages, au profit de postures se satisfaisant du statu quo, par peur de la vindicte. C'est en ce sens que D. Favre (2015) invite à décontaminer l'erreur de la faute, pour que chaque élève se sente encouragé à essayer sans que se tromper soit perçu comme un risque relationnel.

I.9. Etre disponible physiologiquement et cognitivement

Des élèves fatigués (ou ressentant la faim ou la soif) risquent d'être moins disponibles pour se concentrer sur leurs activités. En matière de sommeil, pour des enfants entre 10 et 12 ans, une durée moyenne de 10 heures de sommeil nocturne serait nécessaire. Les adolescents auraient un besoin moyen de 8-9 heures de sommeil par jour (Toscani, 2017)⁴⁶

De plus, il arrive qu'un élève se sente en totale sécurité, dispose de toutes les aides pédagogiques et didactiques nécessaires pour apprendre et qu'il n'y parvienne pas pour autant. Attribuer cette difficulté à une carence des supports pédagogiques et didactiques n'est pas toujours une explication pertinente. La diversification des entrées proposées en remédiations aux élèves ne suffit pas toujours. Le danger serait alors, sous prétexte « d'avoir tout tenté », de mettre en cause la volonté de cet élève : « *il ne veut pas apprendre* », « *il ne met pas de bonne volonté* », « *il n'est pas sérieux* », ce qui, répété, peut effectivement le convaincre lui-même de ces insuffisances. Persuadé de son incompétence, un élève peut ainsi sombrer dans un sentiment d'impuissance apprise (Seligman, 1975) et développer des stratégies d'évitement (Favre, 2016) ⁴⁷ pour se protéger de ces traumatismes potentiels.

Les sources de ces difficultés peuvent se trouver ailleurs, en l'occurrence au niveau de la maturation cérébrale. Les apprentissages ne sont pas tous accessibles à tout moment de la vie d'une personne : les connexions synaptiques se multiplient au gré des expériences de vie (Toscani, 2017)⁴⁸. Si la spécificité des gestes intellectuels nécessaires pour développer un apprentissage précis ne coïncide pas avec l'état présent du développement des structures corticales qui y correspondent, les meilleures volontés ne permettront ni la compréhension, ni la mémorisation. L'organisation synaptique ne serait pas alors suffisamment élargie pour permettre l'encodage et/ou le stockage de ces informations. Un recyclage neuronal (Dehaene, 2007) permettrait une reconversion de l'organisation préalable d'un territoire cortical par l'attribution nouvelle d'une fonction se substituant à une fonction différente qui avait auparavant son utilité. La transformation que subit le cerveau n'est pas que le produit d'une seule plasticité puisqu'elle s'exerce à partir des contraintes imposées par ses propriétés initiales (Brault Foisy et al. 2015)⁴⁹. Ainsi donc, seule l'expérience grandissante permettrait progressivement à un élève de se construire une densité cognitive nécessaire pour apprendre, par un recyclage neuronal de circuits caduques. Il s'agirait donc de « *faire confiance à son cerveau et à la vie* » (Favre, 2015)⁵⁰ pour que les apprentissages successifs construisent une nouvelle architecture du cerveau. Cette explication appellerait l'importance des activités de sollicitations intellectuelles proposées à des enfants, dès le plus jeune âge. Elle soulignerait également la nécessité de développer des stratégies d'inhibition, consistant à bloquer l'activation de réponses spontanées, pour mieux engager un processus réflexif (Houdé, 2013). Combinées, ces formes de sollicitations aideraient les élèves à devenir plus disponibles cognitivement aux apprentissages, en particulier ceux relatifs à l'école.

I.10. Etre investi

Cette troisième famille de conditions découle en partie de la précédente parce que se sentir capable de réussir dépend de ses progrès antérieurs et détermine une bonne partie des motivations à venir. Une motivation est définie comme ce qui fournit un élan pour faire face à l'effort d'agir. Sans elle, il serait possible d'apprendre, mais de manière bien plus laborieuse, désagréable et coercitive. « Elle influence l'ensemble de ces fonctions cognitives en modulant l'activité des régions cérébrales impliquées dans la chacune d'elles » (Berthier et al, 2018)⁵¹. Une motivation, sous forme d'intention, aiderait à dissocier, parmi toutes les sollicitations, celles importantes et pertinentes de

celles qui le sont moins, surtout lorsqu'il convient d'effectuer des activités non choisies, voire non appréciées. Elle permet d'avoir une idée précise de la raison pour laquelle on fait ce que l'on est en train de faire. « Nous nous laissons facilement distraire quand cette intention est faible, mal définie ou totalement oubliée » (Lachaux, 2015)⁵². Les circuits nerveux de la motivation permettent la répétition des comportements ainsi que les addictions sans drogue, par une distribution de dopamine dans plusieurs parties du cerveau. Cette distribution se produirait notamment au niveau des lobes frontaux, zones assurant les déstabilisations cognitives, l'abandon du "déjà-là" et donc, les compréhensions.

Il existe plusieurs familles de motivations, pas toutes d'égal intérêt. Les motivations qui se traduisent par du plaisir, de la satisfaction personnelle ou de la frustration (motivations intrinsèques), ainsi que celles qui résultent d'un choix accepté de s'engager dans un travail précis (motivations extrinsèques autodéterminées), se montreraient toutes deux aidantes pour apprendre (Deci et Ryan, 1985). Elles situent les élèves en référence interne par l'intermédiaire d'une motivation d'innovation qui induit de l'exploration et la rencontre avec d'autres, différents de soi. Cette référence interne serait favorisée par les récompenses biologiques que l'élève obtient au moment de ses compréhensions (Favre, 2015). Elles procurent des récompenses biologiques sous forme de dopamine lorsque des problèmes sont résolus (Stark et al. 2004). Etre autodéterminé faciliterait donc grandement l'entrée dans les apprentissages (Galand et Bourgeois, 2006). C'est à ce niveau-là que les émotions agréables interviennent dans le codage des informations : la joie, la surprise, l'espoir, la sympathie, la gratitude, la fierté, le soulagement (CERI, 2007)⁵³. Elles agiraient tels des marqueurs somatiques (Damasio, 2010) et faciliteraient la résolution de problèmes nécessitant une activité complexe et peu automatisée, la production de solutions nouvelles et originales (Cuisinier et al, 2015)⁵⁴. Les émotions signaleraient ainsi la nature de la relation d'un individu à la situation, ce qui la transforme en expérience émotionnelle.

Les motivations qui dépendent d'autres personnes, de pressions extérieures et d'obligations (motivations extrinsèques non-autodéterminées) placent les élèves en références externes. Elles peuvent soit préparer les apprentissages en tant que motivation de sécurisation - elles fonctionnent alors avec le connu, ce qui est maîtrisé - soit les compliquer lorsqu'elles prennent la forme d'une addiction, une motivation de sécurisation parasitée (Favre, 2015). Une motivation d'addiction appliquée à des élèves intrinsèquement motivés aurait pour conséquence l'altération de leur investissement par la centration sur l'obtention de récompenses ou l'évitement de punitions (Bourgeois, 2006)⁵⁵. Toutefois, une motivation extrinsèque de sécurisation pourrait aider des élèves à sortir d'un état de résignation apprise (amotivation), avec la précaution que la récompense puisse progressivement être enlevée pour autoriser de l'autodétermination à prendre place. Sinon, les élèves engagent un effort minimal, d'autant plus lorsque des émotions désagréables (la tristesse, la colère, la peur, le dégoût, le regret, la déception, le désespoir, la honte, la culpabilité, la gêne, la jalousie) viennent entraver les charges cognitives. L'essentiel de leur énergie serait consacré alors à d'autres préoccupations et ces émotions désagréables risquent de ressurgir lorsque l'élève est confronté à des tâches similaires (CERI, 2010)⁵⁶. « Lorsque cette personne s'est retrouvée devant le matériel de mathématiques, nous avons pu la voir de plus en plus mal à l'aise. Par la suite, elle nous a confié qu'elle avait été blessée par les mathématiques lors de sa scolarité. A la vue du matériel, elle avait ressenti exactement les mêmes émotions que lorsqu'elle avait quinze ans : rejet, peur, dégoût. "C'est incroyable, émotionnellement, j'étais retournée à mes quinze ans. Rien ne s'est effacé." » (Guillaume et Manil, 2016)⁵⁷ Ces "interactions perturbatrices" correspondent à des situations où des émotions désagréables liées à du rabaissement ou de l'humiliation sont vécues (Merle, 2005). Elles sont reconnues comme altérant de manière durable l'image que les élèves se font de l'école, ainsi que l'image qu'ils ont de leurs propres compétences.

Le stress ne semble pas toujours problématique : relatif, il permet de réfléchir à la situation et améliore l'action (par la sécrétion d'adrénaline qui accélère le rythme cardiaque). En revanche, lorsqu'il prend un caractère absolu, les capacités de la mémoire sont altérées en raison du cortisol (qui fixe l'attention sur le danger). Les élèves privilégieraient alors des comportements de retrait, de fuite ou d'anesthésie mnésique (Toscani, 2016)**58**.

L'estime de soi (la reconnaissance positive de soi-même) et la confiance en soi (le sentiment de compétence) constitueraient deux sources importantes de développement du sentiment de compétence. Lorsqu'un élève se reconnaît capable de réussir un travail, les chances d'y arriver seraient plus fortes que dans le cas contraire : il disposerait alors de repères intérieurs sous forme de signaux l'accompagnant dans le processus d'incertitudes qu'est l'acte d'apprendre. Dans les phases de doute, où réussir n'est plus assuré tant l'obstacle à dépasser est présent, se sentir capable empêcherait de renoncer. A l'opposé, une représentation dégradée de soi-même induirait une baisse des performances scolaires : les interactions perturbatrices rendraient difficiles voire impossibles les apprentissages. C'est pour cette raison que la motivation autodéterminée représente un relai important pour apprendre.

II. Conclusion

Au terme de la présentation de cette schématisation des contenus en neuroéducation en matière de mécanismes cognitifs, plusieurs chantiers apparaissent. Il reste tout d'abord à étudier comment, à travers les connaissances qu'un enseignant dispose du fonctionnement du cerveau, il améliore ses façons d'accompagner les apprentissages de ses élèves et ainsi, augmente l'impact de ses interventions sur les processus attentionnels, de concentration, de compréhension ou de transfert.

De plus, des élèves qui comprennent comment fonctionne le cerveau, suite à un enseignement pensé à cet effet, y trouveraient une source de motivation et apprendraient mieux (Bouin, 2018)**59**. Mais quel serait le programme d'un tel enseignement ? Il semble que leur expliquer comment se déroule un apprentissage pourrait concerner l'importance des difficultés rencontrées, la fonction des erreurs, les efforts et la ténacité nécessaires, l'importance de l'introspection cognitive, la multiplication de tests de mémorisation, espacés et diversifiés, ...

En outre, les travaux convoqués à travers cette étude ne mobilisent que rarement les liens entre interactions sociales et apprentissages. Le champ des neurosciences sociocognitives semble faiblement investi, ainsi que l'importance des neurones-miroirs (Rizzolatti G, 2009)**60** dans la cognition. L'amplification de ces recherches conduirait à une meilleure compréhension des enjeux des conflits socio-cognitifs et, plus largement, des pratiques de coopération entre élèves.

Enfin, nous soulignons les nécessaires réflexions relatives à la dimension axiologique de l'ensemble ces théories, une préoccupation caractérisant les travaux en pédagogie. En supposant que les recherches en neuroéducation parviennent à décrire finement l'ensemble des processus cognitifs et que ces contenus deviennent largement accessibles, toutes les pratiques de classe ne poursuivent pas le développement des mêmes valeurs. Vers quelles formes de vie sociale souhaite-t-on préparer les enfants présents dans les écoles ? Quelles conceptions éducatives mobilise-t-on ? Quelle construction de la personne humaine vise-t-on ? Ces questions méritent des réponses pensées, pour que les enseignants ne soient dépendants ni des conséquences de choix aléatoires, ni d'influences de modes éducatives ou d'emprises idéologiques.

Bibliographie

- [1] - Jean-Luc Berthier, Grégoire Borst, (2018). Les neurosciences cognitives dans la classe. Paris : ESF Sciences Humaines, P18.
- [2] - Nicole Bouin. (2018), Enseigner : apports des sciences cognitives. Futuroscope : Editions Canopé, P 9
- [3] - André Tricot. (2017), L'innovation pédagogique – Mythes et réalités. Paris : Retz. P 11.
- [4] - Pascale Toscani. (2016), Apprendre avec les neurosciences – Rien ne se joue avant 6 ans. Lyon : Chronique Sociale.P51.
- [5] - Elena Pasquinelli. (2015), Améliorer le dialogue entre les sciences cognitives et l'éducation, Revue de l'A.N.A.E., N° 134, PP23-30.
- [6] - Olivier Houdé. (2016), Pour une pédagogie scientifique : allers-retours du labo à l'école. Revue de l'A.F.A.E, N°(4), PP11-16.
- [7] - Meirieu philippe (2005), À quoi sert la pédagogie ? Paris, éditions ESF, P 3.
- [8] - Caraglio Claus, P. (2016), Quelles conceptions des apprentissages sous-tendent les évolutions de notre système éducatif ? Revue de l'A.F.A.E., N°(4), PP127-130.
- [9] - Jean-Pierre ASTOLFI. (1992), L'école pour apprendre - l'élève face aux savoirs. Issy-les-Moulineaux : ESF éditeur, PP124-125.
- [10] - Charles Hadji. (2012), Comment impliquer l'élève dans ses apprentissages ? Issy-les-Moulineaux : ESF Editeur, PP 66-67
- [11] - Pascale Toscani. (2016), Apprendre avec les neurosciences – Rien ne se joue avant 6 ans. Lyon : Chronique Sociale.
- [12] - Elena Pasquinelli. (2015), Améliorer le dialogue entre les sciences cognitives et l'éducation, Revue de l'A.N.A.E., N°(134), P38.
- [13] - Laurent Cosnefroy. (2011), L'Apprentissage autorégulé : entre cognition et motivation, Maison d'édition : PUG, P 54.
- [14] - Jean-Philippe Lachaux. (2015), Le cerveau funambule – Comprendre et apprivoiser son attention grâce aux neurosciences. Paris : Odile Jacob, P262.
- [15] - Joseph Stordeur. (2014), Comprendre, apprendre, mémoriser. Les neurosciences au service de la pédagogie. Bruxelles : De Boeck, P21.
- [16] - Jean-Philippe Lachaux. (2016), Les petites bulles de l'attention – Se concentrer dans un monde de distractions. Paris : Odile Jacob, P19.
- [17] - Petre C .Brown et al. (2016), Mets-toi ça dans la tête ! Les stratégies d'apprentissage à la lumière des sciences cognitives. Genève : Editions Markus Haller, P23.
- [18] - Jean-Philippe Lachaux. (2015), Le cerveau funambule – Comprendre et apprivoiser son attention grâce aux neurosciences. Paris : Odile Jacob, P62.
- [19] - Jean-Philippe Lachaux. (2015), Le cerveau funambule – Comprendre et apprivoiser son attention grâce aux neurosciences. Paris : Odile Jacob, P62.
- [20] - Nicole Bouin. (2018), Enseigner : apports des sciences cognitives. Futuroscope : Editions Canopé P39.
- [21] - Jean-Luc Berthier, et al, (2018), Les neurosciences cognitives dans la classe. Paris : ESF Sciences Humaines, P132.
- [22] - Jean-Pierre ASTOLFI, (1997), L'erreur, un outil pour enseigner. Issy-les-Moulineaux : ESF Éditeur, P44.

- [23] - Petre C .Brown et al. (2016), Mets-toi ça dans la tête ! Les stratégies d'apprentissage à la lumière des sciences cognitives. Genève : Editions Markus Haller, P117.
- [24] - Jean-Luc Berthier, Grégoire Borst, (2018), Les neurosciences cognitives dans la classe. Paris : ESF Sciences Humaines, P95.
- [25] - Étienne Bourgeois,(2006),Apprendre et faire apprendre. Paris : PUF, P170.
- [26] - Solene KALENINE et al. (2012), Adults and five-year-old children draw rectangles and triangles around a prototype but not in the golden ratio. *British Journal of Psychology*, (104), PP400-412.
- [27] - Daniel Favre. (2015). Cessons de démotiver les élèves. Paris : Dunod, P27.
- [28] - Jean-Luc Berthier, et al, (2018), Les neurosciences cognitives dans la classe. Paris : ESF Sciences Humaines P196.
- [29] - André Tricot. (2017), L'innovation pédagogique – Mythes et réalités. Paris : Retz. P 11.
- [30] - Pascale Toscani. (2016), Apprendre avec les neurosciences – Rien ne se joue avant 6 ans. Lyon : Chronique Sociale, P108.
- [31] - Pascale Toscani. (2017), Les neurosciences de l'éducation – De la théorie à la pratique de classe. Lyon : Chronique Sociale, P72.
- [32] - Jean-Luc Berthier, Grégoire Borst, (2018), Les neurosciences cognitives dans la classe. Paris : ESF Sciences Humaines, P121.
- [33] - Pascale Toscani. (2017), Les neurosciences de l'éducation – De la théorie à la pratique de classe. Lyon : Chronique Sociale, P20.
- [34] - Steve Masson. (2016), Pour que s'activent les neurones. *Cahiers pédagogiques*, N°(527), PP18-19.
- [35] - Jean-Philippe Lachaux. (2015). Le cerveau funambule – Comprendre et apprivoiser son attention grâce aux neurosciences. Paris : Odile Jacob, P170.
- [36] - Petre C .Brown et al. (2016). Mets-toi ça dans la tête ! Les stratégies d'apprentissage à la lumière des sciences cognitives. Genève : Editions Markus Haller, P24.
- [37] - Étienne Bourgeois, (2006), Apprendre et faire apprendre. Paris : PUF, P123.
- [38] - Jean-Luc Berthier, Grégoire Borst, (2018), Les neurosciences cognitives dans la classe. Paris : ESF Sciences Humaines, P. 208.
- [39] - Petre C .Brown et al. (2016), Mets-toi ça dans la tête ! Les stratégies d'apprentissage à la lumière des sciences cognitives. Genève : Editions Markus Haller, P49.
- [40] - Petre C .Brown et al. (2016). Mets-toi ça dans la tête ! Les stratégies d'apprentissage à la lumière des sciences cognitives. Genève : Editions Markus Haller, P124.
- [41] - Jean-Luc Berthier, Grégoire Borst, (2018), Les neurosciences cognitives dans la classe. Paris : ESF Sciences Humaines, P. 46.
- [42] - Jean-Luc Berthier, Grégoire Borst, (2018), Les neurosciences cognitives dans la classe. Paris : ESF Sciences Humaines, P. 46.
- [43] - Pascale Toscani. (2017), Les neurosciences de l'éducation – De la théorie à la pratique de classe. Lyon : Chronique Sociale, P21.
- [44] - Petre C .Brown et al. (2016), Mets-toi ça dans la tête ! Les stratégies d'apprentissage à la lumière des sciences cognitives. Genève : Editions Markus Haller, P118.
- [45] - Jean-Philippe Lachaux. (2015), Le cerveau funambule – Comprendre et apprivoiser son attention grâce aux neurosciences. Paris : Odile Jacob, P79.

- [46] - Pascale Toscani. (2017), Les neurosciences de l'éducation – De la théorie à la pratique de classe. Lyon : Chronique Sociale, P99.
- [47] - Daniel Favre. (2016), Eduquer à l'incertitude – Elèves, enseignants : comment sortir du piège du dogmatisme ? Paris : Dunod, P4.
- [48] - Pascale Toscani. (2017), Les neurosciences de l'éducation – De la théorie à la pratique de classe. Lyon : Chronique Sociale, P45.
- [49] - Brault Foisy, (2015), Apprentissages scolaires difficiles, recyclage neuronal et pratiques d'enseignement : le cas de l'identification des mots écrits. Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant, Revue de l'A.N.A.E N°(134), PP31-38.
- [50] - Daniel Favre. (2015), Cessons de démotiver les élèves. Paris : Dunod, P5.
- [51] - Jean-Luc Berthier, Grégoire Borst, (2018), Les neurosciences cognitives dans la classe. Paris : ESF Sciences Humaines, P98.
- [52] - Jean-Philippe Lachaux. (2015), Le cerveau funambule – Comprendre et apprivoiser son attention grâce aux neurosciences. Paris : Odile Jacob, P66.
- [53] - CERI (2007), Comprendre le cerveau : naissance d'une science de l'apprentissage. Paris : Editions OCDE, P29.
- [54] - Frédérique Cuisinieret al, (2015), Les émotions dans les apprentissages scolaires : un domaine de recherche en émergence. Revue de l'A.N.A.E., N° (139), P531.
- [55] - Étienne Bourgeois,(2006).Apprendre et faire apprendre. Paris : PUF, P135.
- [56] - CERI (2010), Comment apprend-on ? La recherche au service de la pratique. Paris : Editions OCDE, P101.
- [57] - Léonard Guillaume, Jean-François Manil. (2016), 7 facilitateurs à l'apprentissage – Vivre du bonheur pédagogique. Lyon : Chronique Sociale, P20.
- [58] - Pascale Toscani. (2016), Apprendre avec les neurosciences – Rien ne se joue avant 6 ans. Lyon : Chronique Sociale, P31.
- [59] - Nicole Bouin. (2018), Enseigner : apports des sciences cognitives. Futuroscope : Editions Canopé P31.
- [60] - Giacomo Rizzolatti.(2009), Mirror neurons and their clinical relevance. Nature Clinical Practice. Neurology, 5(1), PP24-34.