

Apprentissages scolaires difficiles, recyclage neuronal et pratiques d'enseignement : le cas de l'identification des mots écrits

L.-M. BRAULT FOISY*, J. MYRE-BISAILLON**, M. RIOPEL***, S. MASSON****

* Doctorante en éducation, Laboratoire de recherche en neuroéducation, Département de didactique, Université du Québec à Montréal, Canada. C.P. 8888, Succursale Centre-ville, Montréal (Québec), Canada H3C 3P8.

Téléphone : 1 514 755-3507. Télécopieur : 1 514 987-4608. Email : loriemarlene.braultfoisy@gmail.com

** Professeure, Collectif de recherche sur la continuité des apprentissages en lecture et en écriture, Département des études en adaptation scolaire et sociale, Université de Sherbrooke, Canada.

*** Professeur, Département de didactique, Université du Québec à Montréal, Canada.

**** Professeur, Laboratoire de recherche en neuroéducation, Département de didactique, Université du Québec à Montréal, Canada.

RÉSUMÉ : *Apprentissages scolaires difficiles, recyclage neuronal et pratiques d'enseignement : le cas de l'identification des mots écrits*

Selon la théorie du recyclage neuronal, le développement de la capacité à lire nécessite que la fonction initiale d'une région précise du cerveau soit reconvertie afin qu'elle devienne capable d'identifier les mots écrits. À ce jour, peu de recherches ont analysé l'impact de l'enseignement sur le mécanisme de recyclage neuronal. Cet article propose d'examiner la littérature scientifique s'y rattachant et de discuter des retombées possibles des recherches existantes pour le domaine de l'éducation.

Mots clés : *Neuroéducation – Recyclage neuronal – Identification des mots écrits – Pratiques d'enseignement – Lecture.*

SUMMARY: *Difficult academic learning, neuronal recycling and teaching practices: about identification of written words*

According to the theory of neuronal recycling, learning to read requires the initial function of a specific brain region to be partially transformed, allowing it to identify written words. To date, little is still known about the impact of teaching on the neuronal recycling mechanism. This article proposes a review of the scientific literature on this subject and discusses the potential benefits of previous studies to the field of education.

Key words: *Neuroeducation – Neuronal recycling – Identification of written words – Educational interventions – Reading.*

RESUMEN: *Escolares difíciles, reciclaje neuronal y prácticas de enseñanza: el caso de la identificación de palabras escritas*

Según la teoría del reciclaje neuronal, el desarrollo de la capacidad para leer requiere que la función inicial de una región concreta del cerebro se reconvierta de manera que sea capaz de identificar las palabras escritas. Hasta la fecha, muy pocos estudios han analizado el impacto de la enseñanza sobre el mecanismo del reciclaje neuronal. En este artículo se propone revisar la literatura científica y discutir las posibles consecuencias de las investigaciones que existen en el campo de la educación.

Palabras clave: *Neuroeducación – Reciclaje neuronal – Identificación de palabras escritas – Prácticas de enseñanza – Lectura.*

INTRODUCTION

La relation entre les neurosciences cognitives et l'éducation s'articule notamment autour de deux éléments centraux. Le premier élément concerne la plasticité cérébrale, c'est-à-dire la capacité du cerveau à s'adapter en modifiant son activité et ses connexions neuronales lors de l'apprentissage. Il est aujourd'hui bien démontré que les apprentissages scolaires modifient le fonctionnement et la structure du cerveau des apprenants (Dehaene *et al.*, 2010 ; Kwok *et al.*, 2011). Durant l'apprentissage, certaines connexions qui ne sont pas utiles peuvent ainsi être éliminées, de nouvelles connexions peuvent être créées et l'efficacité de certaines connexions déjà existantes peut être modulée à la hausse ou à la baisse (Geake & Cooper, 2003 ; OCDE, 2007). La structure et le fonctionnement du cerveau ne sont donc pas fixes, mais plutôt flexibles et cette caractéristique justifie en grande partie la pertinence de s'intéresser à la relation entre le cerveau et l'éducation. En effet, il devient alors pertinent d'identifier les effets de différents apprentissages scolaires sur le cerveau. Cependant, bien que la plasticité cérébrale constitue une condition sine qua non pour établir un pont entre les domaines de l'éducation et des neurosciences (Masson & Brault Foisy, 2014), la pertinence de mener des recherches en neuroéducation demeurerait limitée si le cerveau était flexible au point de pouvoir se modifier et apprendre avec autant de facilité, quel que soit le type d'intervention pédagogique mise en place (Dehaene, 2008). Le concept de plasticité cérébrale n'apparaît donc pas suffisant à lui seul pour établir un pont entre le niveau cérébral et les pratiques mêmes d'enseignement.

Or, un deuxième élément permet de mieux comprendre les retombées éducatives des recherches sur le cerveau. En effet, des chercheurs ont mis en évidence que la plasticité cérébrale ne serait pas infinie et présenterait certaines limites (Dehaene, 2008 ; Houdé, 2014 ; Masson, 2014 ; Masson & Brault Foisy, 2014). Elle serait influencée par différentes contraintes, en particulier par la structure et l'organisation initiale du cerveau, c'est-à-dire son architecture cérébrale préalable (Dehaene, 2008). La façon dont le cerveau est structuré et organisé avant l'apprentissage aurait donc un impact sur la façon dont certains apprentissages pourraient se réaliser sur le plan cérébral. Par exemple, des régions précises du cerveau seraient possiblement mieux disposées que d'autres à accomplir certaines fonctions cognitives, c'est-à-dire à accueillir certains apprentissages comme ceux liés à la lecture et au calcul, en raison de leur localisation dans le cerveau, de leurs connexions déjà établies avec d'autres régions cérébrales ou encore parce qu'elles accomplissent déjà une fonction similaire (Goswami, 2008). Ce postulat est souvent désigné par le terme recyclage neuronal (Dehaene, 2005 ; Dehaene & Cohen, 2007). Ces deux éléments concernant le fonctionnement du cerveau mettent donc en lumière la pertinence, pour le domaine de l'éducation, de vouloir intégrer les connaissances neuroscientifiques à l'étude de certaines problématiques éducatives, d'abord parce que l'apprentissage modifie la façon dont le cerveau fonctionne et, de surcroît, parce que l'architecture initiale du cerveau peut imposer des contraintes à la façon dont

certaines apprentissages peuvent se réaliser. Cette idée de contraintes associées à l'architecture préalable du cerveau a d'ailleurs mené des chercheurs à formuler l'hypothèse selon laquelle certains apprentissages scolaires seraient plus difficiles, c'est-à-dire exigeraient un effort supplémentaire, en raison des contraintes cérébrales qui leur sont associées (Dehaene, 2008 ; Masson & Brault Foisy, 2014).

L'apprentissage de la lecture semble être un de ces cas où l'architecture cérébrale impose des contraintes rendant l'apprentissage plus difficile. En effet, une abondante littérature de recherche indique que l'apprentissage de la lecture est difficile (voir par exemple OCDE, 2005, 2011) et que, sur le plan cognitif, ces difficultés proviendraient majoritairement de l'identification des mots écrits (Sprenger-Charolles, 1997). Afin de mieux comprendre les processus de recyclage neuronal et surtout de quelle façon l'architecture cérébrale peut influencer certains apprentissages scolaires et les rendre plus difficiles, cet article tentera, dans un premier temps, de mettre en lumière les mécanismes cérébraux liés à l'apprentissage de l'identification des mots écrits. Dans un deuxième temps, la possible influence des pratiques d'enseignement sur le fonctionnement et, ultimement, sur les processus de recyclage neuronal, un sujet encore peu abordé dans la littérature de recherche, sera discutée. Des pistes de retombées pédagogiques seront envisagées.

MÉCANISMES CÉRÉBRAUX LIÉS À L'IDENTIFICATION DES MOTS ÉCRITS

Une région du cerveau spécialisée pour identifier les mots écrits

La première observation ayant permis d'établir un lien entre la structure cérébrale et la lecture a été faite par le neurologue Déjerine (1892). Celui-ci a rapporté que l'un de ses patients, atteint d'une lésion dans la partie postérieure de l'hémisphère gauche, n'était plus du tout capable de lire des lettres ou des mots. Plus récemment, d'autres chercheurs (Cohen *et al.*, 2003) ont utilisé l'imagerie cérébrale pour comparer l'anatomie du cerveau de patients devenus alexiques (c'est-à-dire incapables de lire) à la suite d'un accident vasculaire cérébral, avec l'anatomie cérébrale de patients sans alexie. Ceux-ci ont également découvert que les patients qui ne parvenaient pas à lire présentaient tous une lésion dans la même région que celle identifiée quelque cent ans plus tôt par Déjerine. Ils ont identifié cette région comme étant la région occipito-temporale ventrale gauche.

D'autres recherches ont également permis de déterminer que cette région était liée à la capacité de reconnaître spécifiquement les symboles du langage écrit. À titre d'exemple, des chercheurs ont constaté que cette région était mobilisée de façon beaucoup plus importante lorsqu'on présentait à un sujet des mots écrits, comparativement à des mots prononcés oralement (Dehaene *et al.*, 2002). Elle s'activait également davantage lorsqu'on présentait des mots écrits en comparaison à d'autres stimuli visuels tels que des visages ou différents objets (Tarkiainen, Cornelissen

& Salmelin, 2002). Ces recherches ont donc mené à la conclusion que la région occipito-temporale gauche était vraisemblablement liée à la reconnaissance visuelle des mots écrits et cette région est maintenant couramment désignée par l'appellation « région de la forme visuelle des mots » ou en anglais « *visual word form area* » (Cohen *et al.*, 2000, 2002 ; Dehaene *et al.*, 2002 ; Gaillard *et al.*, 2006). Des chercheurs ont également découvert que cette région était mobilisée de façon moins importante chez les non-lecteurs lorsque l'on présentait des mots écrits (Dehaene *et al.*, 2010), ce qui laisse entendre que la spécialisation de cette région pour la reconnaissance visuelle des symboles écrits ne se développerait qu'avec l'apprentissage de la lecture.

Il semblerait aussi qu'en plus d'être spécifiquement responsable de la reconnaissance visuelle des mots, cette région soit également liée au fait d'être un lecteur compétent (Cohen & Dehaene, 2004). Une recherche impliquant plus d'une centaine de participants enfants (Shaywitz *et al.*, 2002) a en effet permis de constater qu'au fur et à mesure que la compétence en lecture s'améliore, l'activation de la région de la forme visuelle des mots augmente et cette augmentation de l'activation serait davantage liée au niveau de lecture de l'enfant qu'à son âge (Sandak *et al.*, 2004). D'autres recherches confirment également ce résultat (Maurer *et al.*, 2005, 2010 ; Schlaggar & McCandliss, 2007). Il a aussi été démontré que l'activation de la région de la forme visuelle des mots est corrélée avec le niveau de performance à différents tests de lecture (Turkelbaud *et al.*, 2003). Les résultats d'une méta-analyse (Richlan *et al.*, 2011) et de plusieurs autres études (Helenius *et al.*, 1999 ; Maurer *et al.*, 2007) montrent également que les enfants et adultes dyslexiques présentent souvent une sous-activation de la région de la forme visuelle des mots. En plus de l'augmentation de l'activité cérébrale associée à cette région du cerveau, une diminution de l'activité cérébrale dans certaines régions de l'hémisphère droit du cerveau serait observée au fur et à mesure de l'amélioration en lecture (Schlaggar & McCandliss, 2007 ; Yoncheva, Blau, Maurer & McCandliss, 2010). L'expertise en lecture serait donc caractérisée à la fois par une utilisation accrue et plus efficace d'une région qui semble optimale pour la lecture, la région occipito-temporale gauche, et par une diminution de l'utilisation de régions cérébrales qui semblent moins appropriées. Progressivement, au contact du langage écrit, l'activité cérébrale observée évolue donc d'une activité bilatérale et étendue, vers une activité cérébrale focalisée dans l'hémisphère gauche du cerveau (Schlaggar *et al.*, 2002 ; Shaywitz *et al.*, 2002).

Ainsi, au cours de l'apprentissage de la lecture, la région de la forme visuelle des mots se spécialise de manière progressive pour reconnaître les mots écrits (Cohen & Dehaene, 2004), mais cette région doit en plus établir graduellement des connexions avec d'autres régions cérébrales, notamment celles liées à la compréhension du langage oral situées dans le lobe temporal tel quel le cortex temporo-pariétal associé à la reconnaissance des phonèmes du langage (Temple *et al.*, 2003). Cela permet au lecteur de donner un sens à ce qu'il décode sur le plan

visuel (Dehaene, 2007, 2011). En apprenant à lire, l'enfant apprendrait donc à identifier une nouvelle catégorie de stimuli (les mots écrits) et à établir des connexions entre la région occipito-temporale gauche et les régions du cerveau responsables du langage et de la compréhension (Marinkovic *et al.*, 2003 ; Monzalvo *et al.*, 2012). Il existerait ainsi un réseau cérébral spécifique permettant d'intégrer et de combiner l'information orthographique et phonologique qui se développerait durant l'apprentissage de la lecture (Hashimoto & Sakai, 2004). Il semblerait, de plus, que la variabilité de ce réseau cérébral lié à la lecture soit très faible d'une personne à l'autre et, qu'à quelques millimètres près, la région de la forme visuelle des mots soit systématiquement mobilisée lors de la lecture (Cohen *et al.*, 2000 ; Dehaene *et al.*, 2002) et ce, même chez les lecteurs d'écritures différentes comme le chinois ou le japonais (Bolger, Perfetti & Schneider, 2005 ; Nakamura *et al.*, 2005). Les seules différences se remarquent dans l'intensité et la surface de l'activation qui diffèrent légèrement selon les caractéristiques de chaque écriture (Bolger *et al.*, 2005).

La théorie du recyclage neuronal

Comment expliquer que ce soit cette région précise du cerveau qui accomplisse cette fonction, et ce, peu importe le système d'écriture utilisé ? Selon la théorie du recyclage neuronal (Dehaene, 2005), l'organisation préalable du cerveau aurait un impact sur la façon dont l'apprentissage se réalise sur le plan cérébral. Le recyclage neuronal représente « *l'invasion partielle ou totale, par un objet culturel nouveau [comme la lecture], de territoires corticaux initialement dévolus à une fonction différente* » (Dehaene, 2007, p. 200). En d'autres mots, le recyclage neuronal constituerait une reconversion des circuits neuronaux qui étaient autrefois associés à une fonction « *qui avait son utilité dans notre passé évolutif* » (Dehaene, 2007, p. 200) à une nouvelle fonction qui présente une plus grande utilité dans le contexte culturel présent. L'idée que la structure du cerveau puisse être modifiée par l'apprentissage existe depuis de nombreuses années (OCDE, 2007 ; Pascual-Leone, Amedi, Fregni & Merabet, 2005), bien avant l'introduction du concept de recyclage neuronal. En effet, tel que discuté en introduction, le concept de plasticité cérébrale, introduit par William James en 1890 (Pascual-Leone *et al.*, 2005), renvoie à l'idée que les connexions neuronales du cerveau peuvent être modifiées durant l'apprentissage : « *[...] des connexions neuronales sont créées ou renforcées, d'autres sont affaiblies ou éliminées, selon les besoins [...]* » (OCDE, 2007, p. 13). Le concept de recyclage neuronal s'apparente donc au concept de plasticité cérébrale puisqu'il implique une transformation sur le plan cérébral. Cependant, il s'en différencie également, car à cette idée de transformation s'ajoute l'idée de contraintes imposées par les propriétés initiales du cerveau (qui mène donc à l'idée d'une reconversion). En effet, selon le modèle du recyclage neuronal, les capacités d'adaptation des neurones ne seraient pas infinies et demeureraient liées aux contraintes biologiques (Dehaene, 2007). Le choix du mot « recyclage » dans le terme de recyclage neuronal met d'ailleurs l'accent sur le fait qu'un

nouvel apprentissage ne peut jamais renverser totalement les caractéristiques initiales du cerveau, mais peut parvenir à les détourner en vue d'un autre usage (Dehaene, 2008). L'hypothèse du recyclage neuronal met ainsi en évidence deux éléments qui semblent particulièrement intéressants pour le domaine de l'éducation.

Le premier élément est que le développement de certaines habiletés cognitives, telles que la capacité à identifier les mots écrits, n'est possible que par l'éducation. Plusieurs capacités cognitives découlent d'activités culturelles qui ont été créées de toutes pièces par l'humain et qui sont apparues trop récemment pour que l'évolution seule ait pu générer des réseaux neuronaux qui leur sont propres. L'un des postulats sur lesquels s'appuie le recyclage neuronal est donc que certaines capacités cognitives ne peuvent se développer que par l'éducation. L'apprentissage de la lecture et du calcul en sont de bons exemples. Dans le cas de la lecture, celle-ci s'appuie sur l'invention culturelle des systèmes d'écriture datant d'environ 5 400 ans (les systèmes d'écriture alphabétique n'étant apparus qu'il y a 3 800 ans) (Wolf, 2008). Il apparaît donc logiquement impossible que la capacité à lire soit un produit de l'évolution et que le cerveau ait eu le temps de se modifier pour développer des circuits neuronaux propres à cette capacité cognitive (Brem *et al.*, 2010 ; Wolf, 2008). Selon la théorie du recyclage neuronal, le langage écrit trouverait plutôt sa place dans le cerveau de l'élève en s'ancrant au sein de circuits déjà fonctionnels, mais « *dont la fonction demande à être minimalement reconvertie* » (Dehaene, 2007, p. 61). Dans cette optique, apprendre à lire serait possible uniquement parce que le cerveau de l'enfant contiendrait dès le début des structures neuronales ayant la capacité d'être modifiées et de se spécialiser progressivement pour apprendre à lire. Dans le cas spécifique de la lecture, une région précise du cerveau, à l'origine dédiée à la reconnaissance plus large des objets, deviendrait spécialisée durant l'apprentissage pour traiter la langue écrite (Cohen *et al.*, 2003 ; Dehaene, 2007, 2011 ; Dehaene *et al.*, 2002), ce qui explique pourquoi la même région du cerveau, qui occupait une fonction similaire, prend en charge la reconnaissance des symboles écrits, peu importe la culture et le système d'écriture employé.

Dans le contexte de la théorie du recyclage neuronal, l'apprentissage de la lecture n'est donc pas un apprentissage facile parce qu'il nécessite une transformation relativement importante de l'architecture initiale du cerveau de l'élève. Les neurones de la région occipito-temporale gauche doivent notamment reconfigurer considérablement leurs connexions afin d'accueillir la capacité à reconnaître les mots écrits (Dehaene, 2007). La capacité initiale du cortex occipito-temporal gauche à reconnaître d'autres objets (comme les maisons et les visages) doit même, jusqu'à un certain point, être relocalisée dans les régions adjacentes du cerveau à la suite de ce recyclage neuronal (Dehaene *et al.*, 2010). De plus, tel que mentionné précédemment, en plus d'impliquer le recyclage de la région occipito-temporale gauche, le cerveau de l'élève doit également établir des connexions entre cette région et celles liées au langage qui contiennent déjà le dictionnaire

sémantique permettant de donner un sens aux mots qui sont lus (Marinkovic *et al.*, 2003). L'apprentissage de l'identification des mots écrits et, plus largement, de la lecture en tant que telle semble ainsi nécessiter un effort important en raison des contraintes associées à la structure préalable du cerveau.

Le deuxième élément mis en évidence par la théorie du recyclage neuronal et qui apparaît utile pour l'éducation est que certaines pratiques d'enseignement seraient potentiellement plus compatibles que d'autres avec l'architecture initiale du cerveau. En effet, selon cette théorie, l'apprentissage serait contraint par les caractéristiques initiales du cerveau et il ne serait pas possible de tout apprendre de n'importe quelle façon. L'architecture du cerveau définirait ainsi un éventail de possibilités à partir desquelles pourrait se réaliser un nouvel apprentissage. Sur le plan éducatif, le concept de recyclage neuronal laisse donc entendre que l'apprentissage et l'enseignement ne peuvent pas faire fi de la structure initiale du cerveau et qu'il serait essentiel d'en tenir compte dans la planification de l'enseignement (Dehaene, 2008). Le concept de recyclage neuronal remet donc en question l'idée selon laquelle l'approche pédagogique utilisée devrait toujours être adaptée et différenciée en fonction du style d'apprentissage ou des caractéristiques de chaque élève : le cerveau aurait hérité de son évolution des contraintes physiologiques qui feraient en sorte que certaines approches seraient potentiellement plus optimales que d'autres pour favoriser l'apprentissage de la capacité à identifier les mots écrits.

Or, bien que l'acquisition de la lecture sur le plan cérébral ait fait l'objet de nombreuses recherches dans les dernières années (Schlaggar & McCandliss, 2007), il reste encore beaucoup à découvrir sur la façon dont cette spécialisation cérébrale émerge et se développe. De plus, peu de recherches ont à ce jour tenté de comprendre l'impact de l'enseignement sur le développement de la compétence à lire en l'étudiant au niveau du cerveau. Pour mieux comprendre le lien entre l'enseignement et le recyclage neuronal, il importe donc d'aborder les premiers résultats de recherches ayant permis d'observer l'effet de certaines interventions pédagogiques en lecture sur le fonctionnement cérébral. La section suivante propose un aperçu de l'état actuel des connaissances à ce sujet.

INTERVENTIONS PÉDAGOGIQUES VISANT L'IDENTIFICATION DES MOTS ÉCRITS ET RECYCLAGE NEURONAL

Les études présentées dans la section précédente ont permis de mieux comprendre les modifications qui s'opèrent au niveau cérébral durant l'acquisition progressive de la capacité à lire, en examinant les changements qui surviennent au niveau de la structure et de l'activité du cerveau durant l'émergence de la lecture. Afin d'observer l'impact d'une intervention pédagogique sur le fonctionnement cérébral, il est également possible d'avoir recours à la neuro-imagerie, en comparant l'activité cérébrale de participants avant et après la mise en place d'une intervention

pédagogique. Cette comparaison avant/après permet ainsi d'étudier l'effet de l'intervention et d'identifier les changements fonctionnels (augmentation ou diminution de l'activité de certaines régions du cerveau) qui lui sont associés.

Une recherche (Brem *et al.*, 2010) s'est intéressée à l'émergence de la spécialisation (ou du recyclage) de la région de la forme visuelle des mots et a cherché à déterminer à quel moment se produit cette spécialisation. Pour ce faire, des élèves de langue allemande de niveau préscolaire qui ne savaient pas encore lire ont réalisé un entraînement réparti sur 8 semaines (total d'environ 4 heures) durant lequel on les faisait participer à un jeu systématique d'association entre graphèmes et phonèmes. À la suite de cet entraînement, les élèves réalisaient une tâche de lecture de mots et des mesures de leur activité cérébrale étaient prises à la fois à l'aide de l'électroencéphalographie et de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle. En guise de mesure contrôle, ces mêmes élèves réalisaient ensuite un entraînement qualifié de non-linguistique lié à la connaissance des nombres. Des mesures de l'activité cérébrale des participants étaient également prises à la suite de ce 2^e entraînement. Les résultats de cette recherche montrent qu'une intervention pédagogique mettant l'accent, de façon intensive, sur l'établissement de correspondances entre les signes écrits et les sons permet de faire émerger une spécialisation de la région de la forme visuelle des mots chez des enfants de niveau préscolaire. Cependant, bien qu'ils mettent en lumière l'impact d'une telle intervention sur le fonctionnement cérébral, ces résultats ne renseignent pas sur l'importance qui doit être accordée en classe à ce type d'intervention puisque l'entraînement graphophonétique était comparé, dans le cadre de cette recherche, à un entraînement qui ne concernait pas la lecture de mots. Il semble donc intéressant de chercher à comparer différentes interventions pédagogiques dont l'objectif est l'apprentissage de l'identification des mots écrits.

Dans la pratique, les enseignants savent qu'il existe différentes façons d'enseigner aux élèves à identifier les mots écrits et celles-ci diffèrent notamment au niveau de l'unité d'analyse du mot sur laquelle l'attention des élèves est dirigée (lettres isolées, relations entre graphèmes et phonèmes, ensemble de lettres, rimes, image globale du mot, etc.) (Yoncheva *et al.*, 2010). Des recherches ont donc comparé l'impact de différentes pratiques d'enseignement sur le fonctionnement cérébral de lecteurs adultes (Bitan, Manor, Morocz & Karni, 2005 ; Xue, Chen, Jin & Dong, 2006; Yoncheva *et al.*, 2010) et ont permis de démontrer que des interventions pédagogiques de nature différente provoquaient une activité cérébrale différente. Dans ces recherches, les participants apprenaient à lire un nouvel alphabet créé par les chercheurs, ce qui les plaçait dans une situation d'apprentissage similaire à celle d'apprentis lecteurs. Les interventions pédagogiques différaient quant au niveau d'analyse sur lequel l'attention des participants était dirigée. Par exemple, dans le cadre de la recherche de Yoncheva et ses collaborateurs (2010), l'effet d'une intervention phonique (« phonics ») mettant l'accent de manière explicite sur les correspondances entre les signes

écrits et les sons (en anglais), était comparée à l'effet d'une intervention dite globale (« *whole-word* »), visant davantage la reconnaissance des mots entiers en tant qu'entités indivisibles. Le système d'écriture créé par les chercheurs consistait en plusieurs caractères (mots) formés de trois lettres (graphèmes), dont chacune était associée à un son (phonème). Les participants devaient apprendre à associer un caractère présenté visuellement à un mot prononcé oralement s'apparentant à l'anglais. Au tout début des interventions, une phrase d'instruction prescrivait l'une ou l'autre des deux stratégies (phonique ou globale) en dirigeant l'attention des participants sur des unités lexicales différentes. Les résultats obtenus par ces chercheurs montrent que le fait d'insister sur l'établissement explicite de correspondances entre les graphèmes et les phonèmes engendre une activité cérébrale près de celle liée à l'expertise en lecture, c'est-à-dire latéralisée dans l'hémisphère gauche. Un entraînement à reconnaître un mot dans sa forme globale était plutôt associé à une activité cérébrale prononcée dans l'hémisphère droit et mobilisait donc un circuit neuronal inapproprié, dont l'implication est généralement reconnue pour diminuer lors de l'apprentissage de la lecture (Turkelbaud *et al.*, 2003) et que l'on associe même parfois aux difficultés en lecture (Monzalvo *et al.*, 2012 ; Richlan *et al.*, 2011 ; Temple *et al.*, 2003). Des résultats similaires ont été obtenus par Xue et ses collaborateurs (2006) : des participants chinois à qui l'on avait montré à décoder les symboles visuels de façon phonologique ont montré une activité cérébrale plus importante dans la région occipito-temporale de l'hémisphère gauche, comparativement aux participants qui avaient porté une attention plus importante à l'apparence visuelle du mot entier. Toutefois, malgré leur pertinence pour le milieu de l'éducation, ces recherches présentent une limite importante liée à l'âge des participants. Comme elles ont été menées auprès de participants adultes qui détenaient vraisemblablement déjà des connexions neuronales associées à la lecture avant même de vivre l'intervention pédagogique proposée, il n'est pas certain que les mêmes résultats seraient obtenus avec des enfants n'ayant pas encore appris à lire (Brem *et al.*, 2010). La conduite de recherches futures comparant l'effet de différentes pratiques d'enseignement de la lecture sur l'activité cérébrale de participants n'ayant pas encore débuté leur apprentissage de la lecture de façon formelle serait donc à considérer.

RETOMBÉES POSSIBLES POUR LE DOMAINE DE L'ÉDUCATION

Deux principaux constats semblent émerger des résultats des recherches précédentes. Le premier constat est que l'enseignant, par les interventions pédagogiques qu'il met en place, peut avoir un impact considérable sur l'activité de différentes régions du cerveau durant l'apprentissage. Il est donc nécessaire de mieux comprendre les effets cérébraux des différentes interventions pédagogiques en lecture qui sont actuellement utilisées en salle de classe. Cette découverte est en soi particulièrement intéressante, car bien que l'on sache déjà que l'apprentissage modifie l'architecture du cerveau et, inversement, que l'architecture cérébrale

influence l'apprentissage, ces informations seraient de peu d'utilité au plan de l'enseignement si les enseignants et les autres intervenants du milieu scolaire ne pouvaient pas, par les choix pédagogiques qu'ils font, avoir un effet sur la plasticité cérébrale et le recyclage neuronal de leurs élèves (Masson & Brault Foisy, 2014).

Les résultats obtenus permettent également de dresser un second constat. En effet, ils mettent en lumière l'idée selon laquelle, conformément à la théorie du recyclage neuronal, il existerait des invariants dans l'apprentissage qui découleraient vraisemblablement de l'architecture initiale du cerveau. En plus d'identifier qu'une région précise du cerveau est impliquée dans le développement de la compétence à lire, que des interventions pédagogiques différentes ont des impacts distincts sur l'activité de cette région cérébrale, les recherches précédentes indiquent aussi que l'effet précis de chacune des interventions serait très similaire, même lorsqu'il s'agit de cultures ou de systèmes d'écriture différents. De toute évidence, une intervention associant graphèmes et phonèmes semble avoir un effet comparable sur le fonctionnement cérébral, qu'il s'agisse de lire des mots associés à une phonologie anglaise ou coréenne. Cela renforce l'idée selon laquelle le cerveau aurait hérité de son évolution une architecture particulière faisant en sorte que certaines régions sont mieux disposées que d'autres à prendre en charge certains apprentissages. Bien qu'il soit essentiel de tenir compte de la personnalité et de la complexité de chaque apprenant et qu'il demeure souvent nécessaire de différencier l'enseignement en fonction notamment de leurs forces ou de leurs faiblesses respectives, il apparaît primordial de réfléchir et planifier l'enseignement afin qu'il soit adapté le mieux possible au fonctionnement et à l'architecture du cerveau des élèves, qui présentent, somme toute, des similarités non négligeables.

Il importe néanmoins de demeurer prudent quant aux retombées pédagogiques pouvant découler de ces recherches puisque jusqu'à maintenant la comparaison des effets de ces interventions n'a été réalisée que pour des participants adultes, à l'aide de systèmes d'écriture créés artificiellement par les chercheurs. Toutefois, jumelée à des mesures comportementales, l'utilisation de l'imagerie cérébrale présente l'avantage considérable de permettre une meilleure compréhension des processus cérébraux et cognitifs impliqués dans l'identification des mots écrits, d'observer plus directement l'impact de l'enseignement sur ces processus, mais aussi et surtout de comprendre pourquoi, sur le plan cérébral, certaines pratiques pédagogiques semblent plus efficaces que d'autres.

CONCLUSION

Certaines problématiques éducatives peuvent bénéficier de l'éclairage supplémentaire qu'apportent les neurosciences cognitives à la recherche en éducation. Des recherches récentes utilisant l'imagerie cérébrale indiquent que la structure et l'organisation du cerveau avant l'apprentissage ont un impact sur la façon dont certains apprentissages

peuvent se réaliser. Cela laisse entendre que certains apprentissages scolaires seraient possiblement plus difficiles, c'est-à-dire exigeraient un effort supplémentaire, en raison des contraintes cérébrales qui leur sont associées. Selon la théorie du recyclage neuronal, le développement de la capacité à identifier les mots écrits nécessite entre autres que la fonction initiale d'une région cérébrale précise, la région occipito-temporale gauche, soit reconvertie, c'est-à-dire partiellement transformée, durant l'apprentissage. Cette région du cerveau se spécialiserait durant l'apprentissage de la lecture pour reconnaître les symboles écrits du langage et son niveau d'activation serait positivement corrélé avec le niveau de performance en lecture. La théorie du recyclage neuronal laisse aussi entendre que certaines interventions pédagogiques seraient potentiellement plus compatibles que d'autres avec le fonctionnement du cerveau. Or, bien que l'acquisition de la lecture sur le plan cérébral ait fait l'objet de nombreuses recherches dans les dernières années, peu de recherches ont à ce jour tenté de comprendre l'impact de l'enseignement sur le développement de la compétence à lire en l'étudiant au niveau du cerveau. Les premiers résultats de ces recherches indiquent qu'une intervention pédagogique mettant l'accent sur l'établissement de correspondances entre les graphèmes et les phonèmes aurait pour effet de faciliter le recyclage neuronal de la région occipito-temporale gauche. Il apparaît donc important de conduire d'autres recherches afin d'identifier plus clairement les effets, sur le plan cérébral, de différentes interventions pédagogiques en lecture auprès de lecteurs débutants.

RÉFÉRENCES

- BEAULIEU, C., PLEWES, C., PAULSON, L. A., ROY, D., SNOOK, L., CONCHA, L. & PHILLIPS, L. (2005). Imaging brain connectivity in children with diverse reading ability. *NeuroImage*, 25 (4), 1266-1271.
- BITAN, T., MANOR, D., MOROCZ, I. A. & KARNI, A. (2005). Effects of alphabeticality, practice and type of instruction on reading an artificial script: An fMRI study. *Cognitive Brain Research*, 25 (1), 90-106.
- BOLGER, D. J., PERFETTI, C. A. & SCHNEIDER, W. (2005). Cross-cultural effect on the brain revisited: Universal structures plus writing system variation. *Human brain mapping*, 25 (1), 92-104.
- BREM, S., BACH, S., KUCIAN, K., GUTTORM, T. K., MARTIN, E., LYYTINEN, H. & RICHARDSON, U. (2010). Brain sensitivity to print emerges when children learn letter-speech sound correspondences. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107 (17), 7939-7944.
- BRODEUR, M., DEAUDELIN, C., BOURNOT-TRITES, M., SIEGEL, L.S. & DUBÉ, C. (2003). Croyances et pratiques d'enseignants de la maternelle au sujet des habiletés métaphonologiques et de la connaissance des lettres. *Revue des sciences de l'éducation*, XXIX (1), 171-194.
- COHEN, L. & DEHAENE, S. (2004). Specialization within the ventral stream: the case for the visual word form area. *Neuroimage*, 22 (1), 466-476.
- COHEN, L., DEHAENE, S., NACCACHE, L., LEHÉRICY, S., DEHAENE-LAMBERTZ, G., HÉNAFF, M. A. & MICHEL, F. (2000). The visual word form area: Spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients. *Brain*, 123 (2), 291-307.
- COHEN, L., LEHÉRICY, S., CHOCHON, F., LEMER, C., RIVAUD, S. & DEHAENE, S. (2002). Language-specific tuning of visual cortex?

- Functional properties of the Visual Word Form Area. *Brain*, 125 (5), 1054-1069.
- COHEN, L., MARTINAUD, O., LEMER, C., LEHERICY, S., SAMSON, Y., OBADIA, M., DEHAENE, S. (2003). Visual word recognition in the left and right hemispheres: Anatomical and functional correlates of peripheral alexias. *Cerebral Cortex*, 13 (12), 1313-1333.
- CUNNINGHAM, P. M., ALLINGTON, R. L. (2007). *Classrooms that work: They can all read and write*. Boston: Allyn and Bacon.
- DEHAENE, S. (2005). Evolution of human cortical circuits for reading and arithmetic: The "neuronal recycling" hypothesis. In S. Dehaene, J. R. Duhamel, M. Hauser & G. Rizzolatti (Eds.), *From monkey brain to human brain* (pp. 133-157). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- DEHAENE, S. (2007). *Les Neurones de la lecture*. Paris : Odile Jacob.
- DEHAENE, S. (2008). Cerebral constraints in reading and arithmetic: Education as a "neuronal recycling" process. In A. M. Battro, K. W. Fischer & P. J. Léna (Eds.), *The educated brain: Essays in neuroeducation* (pp. 232-247). Cambridge: Cambridge University Press.
- DEHAENE, S. (2010). The massive impact of literacy on the brain and its consequences for education. In A. M. Battro, S. Dehaene & W. J. Singer (Eds.), *Human Neuroplasticity and Education* (pp. 19- 32). Vatican City: Pontifical Academy of Sciences.
- DEHAENE, S. (2011). *Apprendre à lire : des sciences cognitives à la salle de classe*. Paris : Odile Jacob.
- DEHAENE, S. & COHEN, L. (2007). Cultural recycling of cortical maps. *Neuron*, 56 (2), 384-398.
- DEHAENE, S., LE CLECH, G., POLINE, J.-B., LE BIHAN, D. & COHEN, L. (2002). The visual word form area: A prelexical representation of visual words in the fusiform gyrus. *NeuroReport*, 13 (3), 321-325.
- DEHAENE, S., PEGADO, F., BRAGA, L.W., VENTURA, P., FILHO, G.N., JOBERT, A., DEHAENE-LAMBERTZ, G., KOLINSKY, R., MORAIS, J. & COHEN, L., (2010). How learning to read changes the cortical networks for vision and language. *Science*, 330, 1359-1364.
- FISCHER, K. W. (2009). Mind, Brain, and Education: Building a Scientific Groundwork for Learning and Teaching I. *Mind, Brain, and Education*, 3 (1), 3-16.
- FISCHER, K. W., GOSWAMI, U. & GEAKE, J. (2010). The future of educational neuroscience. *Mind, Brain, and Education*, 4 (2), 68-80.
- GAILLARD, R., NACCACHE, L., PINEL, P., CLÉMENCEAU, S., VOLLE, E., HASBOUN, D. & COHEN, L. (2006). Direct intracranial, fMRI, and lesion evidence for the causal role of left inferotemporal cortex in reading. *Neuron*, 50 (2), 191-204.
- GEAKE, J. & COOPER, P. (2003). Cognitive neuroscience: Implications for education. *Westminster Studies in Education*, 26 (1), 7-20.
- GOSWAMI, U. (2006). Neuroscience and education: from research to practice? *Nature reviews neuroscience*, 7 (5), 406-413.
- GOSWAMI, U. (2008). Principles of learning, implications for teaching: A cognitive neuroscience perspective. *Journal of Philosophy of Education*, 42 (3-4), 381-399.
- HASHIMOTO, R., SAKAI, K.L. (2004). Learning letters in adulthood: direct visualization of cortical plasticity for forming a new link between orthography and phonology. *Neuron*, 42, 311-22
- HELENIUS, P., TARKIAINEN, A., CORNELISSEN, P., HANSEN, P. C. & SALMELIN, R. (1999). Dissociation of normal feature analysis and deficient processing of letter-strings in dyslexic adults. *Cerebral Cortex*, 9 (5), 476-483.
- HOUDÉ, O. (2014). *Apprendre à résister*. Paris : Le Pommier.
- HOWARD-JONES, P. A. (2014). Neuroscience and education: myths and messages. *Nature Reviews Neuroscience*, Advance online publication.
- HUETTEL, S. A., SONG, A. W. & MCCARTHY, G. (2009). *Functional magnetic resonance imaging*. Sunderland, USA: Sinauer Associates Inc.
- JANOSZ, M., PASCAL, S., BELLEAU, L., ARCHAMBAULT, I., PARENT, S. & PAGANI, L. (2013). *Les Élèves du primaire à risque de décrocher au secondaire : caractéristiques à 12 ans et prédicteurs à 7 ans*. Institut de la statistique, Québec.
- KIRBY, J. R. (2006). Reading comprehension: Its nature and development. *Encyclopedia of Language and Literacy Development*. London: Canadian Language and Literacy Research Network.
- KWOK, V., NIU, Z., KAY, P., ZHOU, K., MO, L., JIN, Z. & TAN, L. H. (2011). Learning new color names produces rapid increase in gray matter in the intact adult human cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108 (16), 6686-6688.
- LAFONTAINE, D. (1996). *Performance en lecture et contexte éducatif. Enquête internationale menée auprès d'élèves de 9 ans et de 14 ans*. Bruxelles : De Boeck.
- MARINKOVIC, K., DHOND, R. P., DALE, A. M., GLESSNER, M., CARR, V. & HALGREN, E. (2003). Spatiotemporal dynamics of modality-specific and supramodal word processing. *Neuron*, 38 (3), 487-497.
- MASSON, S. (2012). Neuroeducation: Understanding the brain to improve teaching. *Neuroeducation*, 1 (1), 1-2.
- MASSON, S. (2014). The brain, learning, and teaching: Can a better understanding of the brain help us teach better? *Education Canada*, 54 (4), 48-51.
- MASSON, S. & BRAULT FOISY, L.-M. (2014). Fundamental concepts bridging education and the brain. *McGill Journal of Education*, 49 (2), 501-512.
- MAURER, U., BLAU, V.C., YONCHEVA, Y.N., MCCANDLISS, B.D., (2010). Development of visual expertise for reading: rapid emergence of visual familiarity for an artificial script. *Dev. Neuropsychol.* 35, 404-422.
- MAURER, U., BRANDEIS, D., MCCANDLISS, B.D., (2005). Fast, visual specialization for reading in English revealed by the topography of the N170 ERP response. *Behav. Brain Funct.*, 1, 13.
- MAURER, U., BREM, S., BUCHER, K., KRANZ, F., BENZ, R., STEINHAUSEN, H. C. & BRANDEIS, D. (2007). Impaired tuning of a fast occipito-temporal response for print in dyslexic children learning to read. *Brain*, 130 (12), 3200-3210.
- MONZALVO, K., FLUSS, J., BILLARD, C., DEHAENE, S. & DEHAENE-LAMBERTZ, G. (2012). Cortical networks for vision and language in dyslexic and normal children of variable socio-economic status. *Neuroimage*, 61 (1), 258-274.
- NAKAMURA, K., DEHAENE, S., JOBERT, A., LE BIHAN, D. & KOUIDER, S. (2005). Subliminal convergence of Kanji and Kana words: further evidence for functional parcellation of the posterior temporal cortex in visual word perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17 (6), 954-968.
- OCDE. (2007). *Comprendre le cerveau : naissance d'une nouvelle science de l'apprentissage*. Paris : Éditions de l'OCDE.
- OCDE, Statistique Canada. (2005). *Apprentissage et réussite : premiers résultats de l'enquête sur la littératie et les compétences des adultes*. Paris et Ottawa.
- OCDE, Statistique Canada (2011). *La littératie, un atout pour la vie : nouveaux résultats de l'enquête sur la littératie et les compétences des adultes*. Éditions de l'OCDE.
- PASCUAL-LEONE, A., AMEDI, A., FREGNI, F. & MERABET, L. B. (2005). The plastic human brain cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 28, 377-401.
- PASQUINELLI, E. (2011). Knowledge and Evidence-Based Education: Reasons, Trends, and Contents. *Mind, Brain and Education*, 5 (4), 186-195.
- PASQUINELLI, E. (2015). Améliorer le dialogue entre les sciences cognitives et l'éducation en s'inspirant des relations entre la recherche fondamentale et la médecine clinique. *Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, 134.
- PIAGET, J. (1975). *L'Équilibration des structures cognitives : problème central du développement*. Paris : Presses universitaires de France.
- PIERRE, R. (2003). Introduction : l'enseignement de la lecture au Québec

- de 1980 à 2000 : fondements historiques, épistémologiques et scientifiques. *Revue des sciences de l'éducation*, 29 (1), 3-35.
- POLDRACK, R. A., MUMFORD, J. A. & NICHOLS, T. E. (2011). *Handbook of functional MRI data analysis*. Cambridge University Press.
- RICHLAN, F., KRONBICHLER, M. & WIMMER, H. (2011). Meta-analyzing brain dysfunctions in dyslexic children and adults. *Neuroimage*, 56 (3), 1735-1742.
- SANDAK, R., MENCL, W., FROST, S.J. & PUGH, K. (2004). The neurobiological basis of skilled and impaired reading: recent findings and new directions. *Sci. Stud. Read.*, 8, 273-92
- SCHLAGGAR, B. L., BROWN, T. T., LUGAR, H. M., VISSCHER, K. M., MIEZIN, F. M. & PETERSEN, S. E. (2002). Functional neuroanatomical differences between adults and school-age children in the processing of single words. *Science*, 296 (5572), 1476-1479.
- SCHLAGGAR, B. L. & MCCANDLISS, B. D. (2007). Development of neural systems for reading. *Annu. Rev. Neurosci.*, 30, 475-503.
- SHAYWITZ, B. A., SHAYWITZ, S. E., PUGH, K. R., MENCL, W. E., FULBRIGHT, R. K. & SKUDLARSKI, P. *et al.* (2002). Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biological Psychiatry*, 52 (2), 101-110.
- SPITZER, M. (2012). Education and neuroscience. *Trends in Neuroscience and Education*, 1 (1), 1-2.
- SPRENGER-CHAROLLES, L. (1997). Acquisition de la lecture (et de l'écriture) dans les systèmes d'écriture alphabétique. *Rééducation orthophonique*, 35 (192), 51-70.
- SWANSON, H. L. (1999). Reading Research for Students with LD: A Meta-Analysis of Intervention Outcomes. *Journal of learning disabilities*, 32 (6), 504-532.
- TABOADA, A., TONKS, S.M., WIGFIELD, A., GUTHRIE, J.T. (2008). Effects of motivational and cognitive variables on reading comprehension. *Reading and Writing*, 22, 85-106.
- TARKIAINEN, A., CORNELISSEN, P. L. & SALMELIN, R. (2002). Dynamics of visual feature analysis and object - level processing in face versus letter - string perception. *Brain*, 125 (5), 1125-1136.
- TEMPLE, E., DEUTSCH, G. K., POLDRACK, R. A., MILLER, S. L., TALLAL, P., MERZENICH, M. M. & GABRIELI, J. D. E. (2003). Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: Evidence from functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100 (5), 2860-2865.
- THE ROYAL SOCIETY. (2011). *Neuroscience: Implications for education and lifelong learning*. London: The Royal Society.
- TORGESSEN, J. K. (2000). Individual differences in response to early interventions in reading: The lingering problem of treatment resisters. *Learning Disabilities Research & Practice*, 15 (1), 55-64.
- TURKELTAUB, P. E., GAREAU, L., FLOWERS, D. L., ZEFFIRO, T. A. & EDEN, G. F. (2003). Development of neural mechanisms for reading. *Nature Neuroscience*, 6 (7), 767-773.
- WOLF, M. (2008). A triptych of the reading brain: Evolution, development, pathology, and its intervention. In A. M. Battro, K. W. Fischer & P. J. Léna (Eds.). *The educated brain: Essays in neuroeducation* (pp. 183-197). Cambridge: Cambridge University Press.
- XUE, G., CHEN, C., JIN, Z. & DONG, Q. (2006). Language experience shapes fusiform activation when processing a logographic artificial language: an fMRI training study. *Neuroimage*, 31 (3), 1315-1326.
- YONCHEVA, Y. N., BLAU, V., MAURER, U., MCCANDLISS, B. D. (2010). Attentional focus during learning impacts: N170 ERP Responses to an Artificial Script. *Developmental Neuropsychology*, 35 (4), 423-445.