

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

REMÉDIATION COGNITIVE DE LA MÉMOIRE DE TRAVAIL AUPRÈS
D'ÉLÈVES QUI ONT UNE DYSLEXIE OU QUI SONT À RISQUE DE
PRÉSENTER CE TROUBLE ET ÉVALUATION DES IMPACTS SUR LA
MÉMOIRE DE TRAVAIL ET LES COMPÉTENCES EN LECTURE ET EN
ÉCRITURE

THÈSE
PRÉSENTÉE
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DU DOCTORAT EN PSYCHOLOGIE (PH.D./PSY.D.)

PAR
HÉLOÏSE THERRIEN

JANVIER 2021

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.10-2015). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

DÉDICACE

À mes quatre merveilleux cousins,
Karolane, Joël, Myriam et Raphaël.
Je vous souhaite de découvrir vos forces,
d'être audacieux et de réaliser vos rêves.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	x
RÉSUMÉ	xi
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I CONTEXTE THÉORIQUE.....	4
1.1 Problématique à l'étude	5
1.2 Apprentissage de la lecture et de l'écriture.....	6
1.2.1 Relations entre le langage écrit et oral	6
1.2.2 Émergence de l'écrit et enseignement formel.....	7
1.2.3 Système graphophonétique de la langue française.....	9
1.2.4 Traitement cognitif des mots.....	12
1.2.5 Relations entre la lecture et l'écriture	16
1.3 Difficultés d'apprentissage en langage écrit.....	19
1.3.1 Élèves présentant des difficultés en lecture et en écriture.....	19
1.3.2 Difficultés d'apprentissage et trouble d'apprentissage	20
1.3.3 Dyslexie.....	22
1.4 Mémoire de travail.....	32
1.4.1 Présentation du construit	32
1.4.2 Construits associés	33
1.4.3 Modèle à composantes multiples de Baddeley et Hitch.....	35
1.4.4 Relation de la mémoire de travail avec la lecture et l'écriture.....	40
1.4.5 Remédiation cognitive de la mémoire de travail.....	49
1.4.6 Entraînements de la mémoire de travail en lien avec la lecture-écriture	50

CHAPITRE II INTERVENTIONS DE LA MÉMOIRE DE TRAVAIL	67
2.1 Types d'entraînement	68
2.1.1 Entraînements par stratégies	68
2.1.2 Entraînements centralisés.....	69
2.2 Composantes des entraînements spécifiques de la MDT	71
2.2.1 Format et contenu.....	71
2.2.2 Niveaux de difficulté.....	75
2.2.3 Lieux d'entraînement et supervision.....	76
2.2.4 Modalités des entraînements	76
2.3 Programme d'intervention de cette thèse	77
2.3.1 Contenu	79
2.3.2 Exposition aux tâches et aux niveaux de difficulté.....	81
2.3.3. Déroulement des entraînements	84
CHAPITRE III ÉTUDE 1	86
3.1 Objectifs et hypothèses	87
3.2 Méthode	87
3.2.1 Participants.....	87
3.2.2 Devis de recherche	88
3.2.3 Instruments de mesure.....	88
3.2.4 Procédures pour les évaluations	89
3.2.5 Procédures pour les interventions	89
3.3 Analyses.....	91
3.3.1 Analyses préliminaires	91
3.3.2 Analyses principales.....	91
3.4 Résultats.....	93
3.4.1 Mémoire de travail verbale	93
3.4.2 Mémoire de travail visuospatiale	96
3.5 Discussion.....	99
CHAPITRE IV ÉTUDE 2.....	108
4.1 Objectifs et hypothèses de recherche.....	108
4.2 Méthode	110

4.2.1	Participants.....	110
4.2.2	Devis de recherche	111
4.2.3	Instruments de mesure.....	111
4.2.4	Procédures pour les évaluations	115
4.2.5	Procédures pour les interventions	115
4.3	Analyses.....	116
4.4	Résultats.....	119
4.4.1	Efficacité du programme d'entraînement.....	119
4.4.2	Maintien des acquis	124
4.4.3	Efficacité de l'intervention pour le groupe de comparaison	125
4.5	Discussion.....	130
CHAPITRE V DISCUSSION GÉNÉRALE.....		145
5.1.	Résumé du projet de recherche.....	145
5.1.1	Concepts à l'étude	145
5.1.2	Objectifs poursuivis	146
5.1.3	Méthode et envergure du travail	147
5.2	Synthèse des résultats	148
5.3	Limites	150
5.4	Conclusion	153
5.4.1	Efficacité des entraînements de mémoire de travail	153
5.4.2	Retour sur les questions de recherche	156
5.5	Recommandations.....	158
5.5.1	Rôle des chercheurs dans l'industrie des entraînements cognitifs	164
5.5.2	Évaluation critique des études d'intervention	168
CONCLUSION.....		180
ANNEXE A DEMANDE D'ACCÈS À L'INFORMATION RÉALISÉE AUPRÈS DU MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION ET DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR CONCERNANT LE NOMBRE D'ÉLÈVES DIAGNOSTIQUÉS AVEC UNE DYSLEXIE AU QUÉBEC		182
RÉFÉRENCES.....		183

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
1.1 Modèle de la mémoire de travail à composantes multiples.....	39
2.1 Types d'entraînement de la mémoire de travail retrouvés dans les études et dans cette thèse	72
2.2 Page d'accueil du programme d'entraînement de la mémoire de travail	79
2.3 Exemple de tâche du programme d'entraînement avec stimuli verbaux.....	82
2.4 Exemple de tâche du programme d'entraînement avec stimuli visuospatiaux	83
3.1 Résultats standardisés de l'indice de mémoire de travail verbale selon les groupes et les temps de mesure	95
3.2 Résultats standardisés pour la capacité d'empan de la mémoire de travail verbale selon les groupes et les temps de mesure.....	95
3.3 Résultats standardisés pour la capacité de manipulation de la mémoire de travail verbale selon les groupes et les temps de mesure.....	96
3.4 Résultats standardisés de l'indice de mémoire de travail visuospatiale selon les groupes et les temps de mesure.....	98
3.5 Résultats standardisés pour la capacité d'empan de la mémoire de travail visuospatiale selon les groupes et les temps de mesure.....	98

3.6	Résultats standardisés pour la capacité de manipulation de la mémoire de travail visuospatiale selon les groupes et les temps de mesure	99
4.1	Distribution des participants au cours de l'étude.....	112
4.2	Résultats standardisés de l'indice de mémoire de travail verbale selon les groupes et les temps de mesure (impact du programme)	120
4.3	Résultats standardisés pour la capacité d'empan de la mémoire de travail visuospatiale selon les groupes et les temps de mesure (impact du programme).....	122
4.4	Résultats standardisés pour la fluidité verbale écrite selon les groupes et les temps de mesure (impact du programme)	124
4.5	Résultats standardisés de l'indice de mémoire de travail verbale selon les groupes et les temps de mesure (évolution du groupe de comparaison)	126
4.6	Résultats standardisés de l'indice de mémoire de travail visuospatiale selon les groupes et les temps de mesure (évolution du groupe de comparaison).....	126
4.7	Résultats standardisés de la performance en dictée (erreurs grammaticales) selon les groupes et les temps de mesure (évolution du groupe de comparaison).....	128

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
1.1 Caractéristiques des études d'entraînement de la mémoire de travail en lien avec la lecture et l'écriture chez les enfants	53
1.2 Résultats des études d'entraînement de la mémoire de travail en lien avec la lecture et l'écriture chez les enfants.....	61
2.1 Tâches de mémoire de travail souvent retrouvées dans les études	74
2.2 Consignes des tâches du programme d'entraînement.....	78
3.1 Objectifs du programme d'entraînement de l'étude 1 par semaine.....	90
3.2 Résultats standardisés pour les mesures de mémoire de travail et tailles d'effets selon les groupes pour le Temps 1 et le Temps 2.....	92
4.1 Objectifs du programme d'entraînement de l'étude 2 par semaine.....	116
4.2 Résultats pour les mesures de mémoire de travail et tailles d'effets selon les groupes pour le Temps 1 et le Temps 2	121
4.3 Résultats pour les mesures de transfert et tailles d'effets selon les groupes pour le Temps 1 et le Temps 2	123
4.4 Résultats pour les mesures de mémoire de travail et tailles d'effets selon les groupes pour le Temps 1 et le Temps 3	127
4.5 Résultats pour les mesures de transfert et tailles d'effets selon les groupes pour le Temps 1 et le Temps 3	129

RÉSUMÉ

Cette thèse a pour objectif d'évaluer l'efficacité d'une intervention de remédiation cognitive de la mémoire de travail (MDT) auprès d'élèves dyslexiques ou à risque de présenter ce trouble. Basé sur le concept de plasticité cérébrale, ce type d'intervention vise l'amélioration des capacités de MDT par la répétition d'exercices informatisés. La MDT facilite la réalisation de plusieurs activités cognitives, notamment en lecture et en écriture. Par exemple, la boucle phonologique de la MDT contribue au décodage en permettant le maintien actif des phonèmes pendant la lecture. De plus, elle permet de mémoriser les informations verbales et de créer des liens, un procédé essentiel à la compréhension écrite. Par ailleurs, la MDT coordonne et supervise l'ensemble des processus d'écriture. Pendant la rédaction, elle permet de récupérer les représentations de mots et les règles grammaticales conservées en mémoire à long terme. Ce faisant, la MDT joue un rôle important dans la capacité d'orthographier des mots et de réviser les productions écrites. Il est possible que les faiblesses en MDT, retrouvées chez les dyslexiques, nuisent aux apprentissages en lecture et en écriture. Il est donc proposé d'entraîner la MDT verbale et visuospatiale chez cette population et d'observer son potentiel de généralisation sur les apprentissages scolaires.

Cette thèse est composée de deux études. La première a pour objectif d'évaluer les effets d'un entraînement cognitif ciblant la MDT auprès d'élèves dyslexiques scolarisés en français. Pour ce faire, des élèves avec un diagnostic de dyslexie de 9 à 12 ans ($n = 24$) sont assignés aléatoirement en deux groupes : le premier reçoit une intervention de MDT de six semaines et le second sert de groupe de comparaison. La comparaison des résultats des groupes obtenus en mesures prétest et posttest indique que les capacités de MDT s'améliorent de façon significative et ce, uniquement chez les élèves ayant reçu le programme. Plus précisément, des améliorations sont constatées sur une mesure générale de MDT verbale ainsi que sur les capacités d'empan verbal et visuospatial.

La seconde étude a pour but de vérifier la pertinence clinique de l'intervention utilisée dans l'étude précédente en mesurant son impact sur des habiletés de lecture et d'écriture et en évaluant le maintien des acquis dans le temps. Pour ce faire, des élèves de 7 à 12 ans ayant un diagnostic de dyslexie ou étant à risque de présenter ce trouble sont recrutés ($n = 92$). Les participants sont répartis en deux groupes de façon non

aléatoire : un reçoit immédiatement l'intervention de MDT de six semaines alors que l'autre la reçoit plus tard dans l'année scolaire. Au terme de l'entraînement, une seule amélioration significative est constatée pour la capacité d'empan visuospatial et aucun autre gain n'est observé sur les autres mesures de MDT ou de lecture et d'écriture.

Il est suggéré que l'entraînement mène à un apprentissage spécifique qui se généralise uniquement sur les épreuves avec des caractéristiques similaires aux tâches entraînées. Les capacités de MDT apparaissent donc inchangées à la suite de l'intervention et aucun transfert de gains n'est observé dans le domaine du langage écrit. Ces résultats sont cohérents avec les écrits scientifiques et ne permettent pas de recommander la remédiation cognitive de la MDT comme outil de rééducation pour les élèves dyslexiques ou étant à risque de présenter ce trouble. Des recommandations sont présentées dans le but d'améliorer la qualité méthodologique des futures études d'intervention et la présentation de leurs résultats. Enfin, une réflexion est proposée sur l'industrie des entraînements cognitifs qui connaît un succès populaire malgré le manque actuel d'appuis scientifiques pour valider l'approche et son efficacité.

Mots clés : mémoire de travail, remédiation cognitive, entraînement cognitif, dyslexie, difficultés d'apprentissage, compétences en lecture, compétences en écriture

ABSTRACT

This thesis aims to evaluate the effectiveness of a working memory (WM) focused cognitive remediation therapy with dyslexic students or those at risk of developing the disorder. Based on the concept of cerebral plasticity, this type of therapy aims to improve WM abilities by repeated computerized exercises. WM facilitates several cognitive activities, such as reading and writing. The verbal component of WM, the phonological loop, contributes to decoding ability by active maintenance of phonemic information while reading. WM helps to memorize verbal information and to create links which are essential parts of reading comprehension. Besides, the WM coordinates and supervises all writing processes. In writing, the WM retrieves words and grammatical rules stored in long-term memory. Therefore, the WM plays an important role in the ability to spell words and revise written productions. It is possible that poor WM, found in dyslexia, interferes in acquiring reading and writing skills. It is proposed to train verbal and visuospatial WM in this population and to observe its generalization to learning skills at school.

This thesis is composed of two studies. The first study aims to evaluate the effects of a cognitive training targeting WM abilities with French dyslexic students. Students aged between 9 to 12 years with a diagnosis of dyslexia ($n = 24$) are randomly assigned to two groups, of which only one receives a six-week WM intervention. The comparison of the results obtained between groups in pretest and posttest measures indicates that WM capacities improve significantly among students who received the intervention. Improvements are found on a general measure of verbal WM as well as verbal and visuospatial span capacities.

The second study aims to verify the clinical validity of the therapy used in the previous study by measuring its impact on reading and writing skills. In addition, the study aims to assess WM improvements over time. Students aged between 7 to 12 years and diagnosed with dyslexia or who are at risk of developing this disorder were recruited ($n = 92$). The subjects are divided into two groups in a non-random way: one received the WM therapy of six weeks while the other received it later in the school year. At the end of the training, only one significant improvement is noted for the visuospatial span capacity and no other gains are found, both in terms of WM capacity and reading-writing skills.

To summarize, training leads to specific learning and is generalized only on measures that share similar characteristics to the training tasks. Results from this thesis

show that WM capabilities were unchanged and that no transfer of gains was observed in the field of reading and writing. These results are consistent with the literature and suggest that WM cognitive remediation as a rehabilitation tool is ineffective for students with dyslexia or who at risk of developing this disorder. Recommendations to improve both the methodology and result presentation of future intervention studies are proposed. Finally, a reflection is made on the "brain training" industry which enjoys commercial success despite a current lack of scientific evidence for its effectiveness.

Keywords: working memory; cognitive remediation; brain training; dyslexia; learning disabilities; reading skills; writing skills

INTRODUCTION

Savoir lire et écrire constitue un facteur clé de la réussite scolaire et professionnelle. Ces compétences sont essentielles dans la vie de tous les jours et contribuent à l'épanouissement et à l'autonomie de l'individu (Billard et Delteil-Pinton, 2010; Parhiala et al., 2018). Pour les enfants dyslexiques, l'apprentissage de la lecture et de l'écriture peut sembler insurmontable. Ce trouble neurodéveloppemental, qui affecte de 3 à 5% des élèves, perturbe les mécanismes d'apprentissage liés à l'acquisition du langage écrit (Inserm, 2007). Ces enfants éprouvent des difficultés sévères et persistantes avec la langue écrite, difficultés qui perdurent souvent en dépit de mesures de soutien ou de services de rééducation (Swanson et Hsieh, 2009). Par conséquent, il s'avère essentiel de développer des interventions novatrices pour soutenir la persévérance et la réussite scolaire de ces jeunes. À ce sujet, les interventions de remédiation cognitive connaissent une popularité croissante, tant en recherche qu'auprès de la population. Basée sur le concept de plasticité cérébrale, la remédiation cognitive vise l'amélioration d'une fonction donnée (p. ex. attention, langage, mémoire) par la répétition d'exercices ciblant cette fonction (Owen et al., 2010).

Depuis une dizaine d'années, les travaux de recherche se sont multipliés concernant une rééducation particulière, celle de la mémoire de travail (MDT). La MDT est définie comme un système à capacité limitée permettant le maintien temporaire des informations en mémoire à court terme et leur manipulation lors de l'exécution de tâches cognitives (Baddeley, 2007). En lecture et en écriture, la MDT jouerait un rôle important dans la réalisation de plusieurs tâches (p. ex. décoder et orthographier des mots, comprendre et réviser un texte ; Brooks, Berninger et Abbott, 2011; Demont et

Botzung, 2003; McCutchen, 1996; Seigneuric et Ehrlich, 2005). En outre, des faiblesses en MDT sont souvent retrouvées chez les dyslexiques et chez les individus de tout âge qui présentent des difficultés en lecture (Menghini, Finzi, Carlesimo et Vicari, 2011; Smith-Spark et Fisk, 2007; Wolf et al., 2010). Pour ces raisons, la MDT représente une variable d'intérêt pour soutenir les apprentissages scolaires et améliorer les compétences en lecture et en écriture. À ce jour, différentes études indiquent une amélioration des capacités de MDT à la suite d'un entraînement spécifique ciblant cette fonction (p. ex. Jaeggi, Buschkuhl, Jonides et Perrig, 2008; Klingberg et al., 2005; Klingberg, Forssberg et Westerberg, 2002; Lundqvist, Grundstrom, Samuelsson et Ronnberg, 2010). Cependant, peu d'entre elles ont porté sur les difficultés d'apprentissage en lecture-écriture ou même sur le rendement scolaire. À notre connaissance, aucune étude n'a porté sur la rééducation de la MDT auprès d'enfants dyslexiques scolarisés en français. En fait, deux études portant sur la remédiation cognitive de la MDT dans un contexte de dyslexie ont pu être recensées, mais les participants étaient scolarisés en mandarin, une écriture logographique très différente du système alphabétique utilisé en français (Luo, Wang, Wu, Zhu et Zhang, 2013; Yang, Peng, Zhang, Zheng et Mo, 2017).

Cette thèse vise à répondre aux questions de recherche suivantes : Des interventions de remédiation cognitive de la MDT peuvent-elles mener à l'amélioration des capacités de MDT auprès d'élèves dyslexiques scolarisés en français ? ; Advenant que la remédiation cognitive mène effectivement à des progrès en MDT, ces gains peuvent-ils se généraliser et améliorer les compétences en lecture et en écriture des élèves entraînés ? ; Les gains réalisés sur le plan de la MDT et des compétences en lecture et écriture peuvent-ils se maintenir dans le temps ? Tout compte fait, la remédiation cognitive de la MDT représente-t-elle une option de traitement valable pour alléger les difficultés d'apprentissage vécues par les élèves dyslexiques québécois ?

Pour y répondre, deux études utilisant des devis expérimentaux et quasi-expérimentaux ont été menées selon une approche de recherche quantitative. Cette thèse comporte cinq chapitres. Le premier chapitre est le contexte théorique et vise à présenter les construits pertinents de cette thèse. Le deuxième chapitre porte plus spécifiquement sur les programmes d'intervention de la remédiation cognitive de la MDT : la première partie donne un aperçu des programmes déjà existants alors que la seconde partie est consacrée à la présentation du logiciel d'entraînement utilisé dans le cadre de cette thèse. Les troisième et quatrième chapitres portent sur les deux expérimentations de la thèse. Chaque chapitre présente une étude, soit les objectifs et hypothèses de recherche, la méthode, les analyses, les résultats et la discussion. Enfin, le cinquième chapitre consiste en une discussion finale et inclut une synthèse des résultats obtenus, les implications pratiques ainsi que des idées et des pistes de réflexion pour le domaine de recherche.

CHAPITRE I

CONTEXTE THÉORIQUE

Ce chapitre, qui vise à introduire les concepts théoriques pertinents à cette thèse, se divise en quatre sections. La première section donne un bref aperçu de la problématique à l'étude, la dyslexie, en abordant ses principales caractéristiques ainsi que les conséquences et les comorbidités associées. La deuxième partie porte sur les notions de lecture et d'écriture dans un contexte normal d'apprentissage. Cette section traite des liens entre le langage écrit et oral, du développement des compétences de lecture-écriture et de la spécificité des langues alphabétiques d'un point de vue linguistique et cognitif. La troisième section vise à situer la dyslexie parmi l'ensemble des conditions liées aux difficultés d'apprentissage en langage écrit. Les différents termes utilisés pour désigner la dyslexie sont présentés, de même que la prévalence du trouble, son portrait clinique et les déficits qui lui sont souvent associés. La quatrième et dernière section porte sur un de ces déficits en particulier, la mémoire de travail (MDT). Les caractéristiques principales de la MDT et les liens qu'elle partage avec d'autres fonctions cognitives sont abordés. Le modèle de la MDT à composantes multiples (Baddeley, 2000; Baddeley et Hitch, 1974) qui représente un cadre conceptuel important pour cette thèse, est présenté. La fin de ce chapitre porte sur un type d'intervention particulier, la remédiation cognitive de la MDT et sur la pertinence de l'établir dans un contexte de dyslexie. Pour ce faire, les liens entre la MDT et la lecture-écriture sont présentés suivis d'un résumé des études de remédiation cognitive de la MDT menées jusqu'à ce jour en lien avec le langage écrit et les apprentissages scolaires.

1.1 Problématique à l'étude

La dyslexie est le trouble des apprentissages le plus commun avec une prévalence d'environ 3 à 5% (Inserm, 2007). Ce trouble d'origine neurodéveloppementale est dit spécifique, car il affecte un domaine d'apprentissage en particulier, soit l'acquisition du langage écrit (American Psychiatric Association, 2013). Considérables et persistantes, les difficultés de lecture-écriture ne sont pas attribuables à de faibles capacités intellectuelles, à une scolarisation insuffisante ou à un trouble de l'acuité visuelle (Organisation mondiale de la santé, 2012). La dyslexie constitue une problématique sérieuse, car les difficultés qui y sont liées compromettent directement la réussite scolaire. À mesure que l'élève chemine dans son parcours, la transmission des connaissances se réalise de plus en plus par le biais de la lecture, et ce, pour l'ensemble des matières enseignées. De façon générale, les évaluations académiques requièrent des compétences en lecture pour comprendre les questions posées, mais aussi des aptitudes rédactionnelles pour y répondre. Avec les années, les retards dans les apprentissages s'accroissent, ce qui peut mener à une perte de motivation, des échecs et même, au décrochage scolaire (Daniel et al., 2006; McArthur, Castles, Kohnen et Banales, 2016; Parhiala et al., 2018).

Sur le plan socioaffectif, les dyslexiques présentent un risque accru de développer des troubles de comportement ainsi que des troubles anxieux et dépressifs (Arnold et al., 2005; Morgan, Farkas, Tufis et Sperling, 2008). Ces troubles peuvent s'expliquer par des difficultés à s'ajuster aux exigences, particulièrement à l'école et dans les milieux professionnels où la maîtrise de la lecture et de l'écriture est requise (Mugnaini, Lassi, La Malfa et Albertini, 2009). Les impacts de la dyslexie peuvent se faire ressentir dans les activités quotidiennes, et ce, à tout âge puisque le trouble tend à persister dans le temps (Swanson et Hsieh, 2009). Il peut s'avérer difficile ou même impossible de

réaliser des tâches courantes, telles que lire un contrat, rédiger une lettre ou comprendre un manuel d'instructions. L'employabilité et l'autonomie de la personne s'en trouvent alors compromises, ce qui engendre des coûts importants pour la société (Billard et Delteil-Pinton, 2010; Hankivsky, 2008).

Les recherches cliniques démontrent que la dyslexie survient rarement seule comme problématique, les comorbidités étant fréquentes au sein du trouble (Landerl et Moll, 2010; Pauc, 2005; Thambirajah, 2010). Le trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH) et les difficultés d'apprentissage en mathématique constituent les conditions les plus souvent associées, celles-ci affectant de 15 à 40% des dyslexiques (Germanò, Gagliano et Curatolo, 2010; Willcutt et Pennington, 2000). Les troubles moteurs sont également fréquents, comme en témoigne l'importante association du trouble avec la dyspraxie ou trouble développemental de la coordination (American Psychiatric Association, 2013; Jover et al., 2014). Les études longitudinales révèlent pour leur part que la dyslexie est souvent précédée d'un retard de langage oral ou de difficultés lors de l'acquisition des habiletés langagières (Catts, Fey, Tomblin et Zhang, 2002; Smith, Pennington, Boada et Shriberg, 2005).

1.2 Apprentissage de la lecture et de l'écriture

1.2.1 Relations entre le langage écrit et oral

Parvenir à lire et à écrire, ou maîtriser une langue à l'écrit, représente un objectif majeur de la scolarisation d'un enfant. Ce long processus d'apprentissage s'amorce dès la naissance avec le développement du langage oral. Le but ultime de la lecture consiste à extraire le sens d'un texte et pour ce faire, le lecteur doit s'appuyer sur ses habiletés

et ses connaissances de la langue sur le plan réceptif (Poncelet, 2009). Avec le temps, l'enfant améliore ses habiletés de décodage et sa capacité de compréhension écrite devient progressivement comparable à sa capacité de compréhension orale (Torgesen, 2002). Même si elles présentent des similarités, la lecture et l'écriture se distinguent néanmoins du langage. Le langage est une habileté innée qui est inscrite dans le patrimoine génétique humain depuis des dizaines, voire des centaines de milliers d'années (Klein, 2017). La discrimination des sons de la parole chez le nourrisson témoigne de façon remarquable de cette prédisposition pour les langues (Werker, Gilbert, Humphrey et Tees, 1981; Werner, 2002). L'acquisition du langage est également robuste aux variations de l'environnement : de façon générale, les enfants qui ne présentent pas de trouble langagier apprennent à parler facilement (Fisher et Gleitman, 2002; Kuhl, 1994). En revanche, la lecture et l'écriture sont des activités plus récentes sur le plan de l'évolution, n'étant maîtrisées que depuis quelques milliers d'années (Johnson, 2014). Savoir lire et écrire n'est pas naturel : ces habiletés demandent plusieurs années pour être maîtrisées et nécessitent un enseignement régulier, soutenu et explicite (Hawken, 2009; Norton, Beach et Gabrieli, 2015; Torgesen, 2002).

1.2.2 Émergence de l'écrit et enseignement formel

L'enseignement formel de la lecture et de l'écriture débute souvent avec l'entrée à l'école. Cependant, des connaissances au sujet de la langue écrite peuvent être acquises dès la période préscolaire. Le concept d'émergence de l'écrit (*emergent literacy*) décrit cet ensemble d'expériences qui permettent aux jeunes enfants de se familiariser avec les activités de lecture et d'écriture (Otto, 1991; Teale et Sulzby, 1989). Cette initiation précoce à la littératie est possible grâce à un environnement stimulant, qui propose à l'enfant une vision positive de la lecture et qui lui offre des occasions de s'y intéresser

(Roberts, Jurgens et Burchinal, 2005; Schatschneider, Fletcher, Francis, Carlson et Foorman, 2004).

L'émergence de l'écrit constitue un facteur de protection pour la réussite académique, et ce, tout au long du parcours scolaire (Duncan et al., 2007; Lonigan, Schatschneider et Westberg, 2008). Une étude longitudinale conduite auprès de plus de 2000 familles québécoises démontre bien les avantages de la lecture en bas âge. Les enfants de 18 mois à qui les parents faisaient la lecture quotidiennement ont mieux performé à l'épreuve uniforme de français de 6^e année primaire réalisée dix ans plus tard (en comparaison à leurs pairs qui étaient peu exposés à la lecture). De plus, ces résultats demeurent significatifs même après qu'un contrôle statistique ait été effectué sur des facteurs reconnus pour leur impact sur la réussite scolaire, tels que le sexe et le milieu socioéconomique (Desrosiers et Tétreault, 2012).

Dans cet ordre d'idées, l'émergence de l'écrit contribue au développement de connaissances et d'habiletés précoces qui facilitent les apprentissages en classe (Duncan et al., 2007; Whitehurst et Lonigan, 2001). Les expériences avec la lecture mènent au développement d'une conscience de l'écrit, ce qui permet au jeune enfant de saisir les buts de la lecture-écriture (p. ex. décoder et transmettre un message) de même que ses conventions (p. ex. un texte se lit de gauche à droite et de haut en bas). Différentes aptitudes sont aussi retrouvées chez les débutants, telles que la connaissance des graphèmes (lettres de l'alphabet), la production d'une écriture novice (p. ex. savoir écrire son nom) et la conscience phonologique (p. ex. savoir que le mot bateau commence par le son /b/ ; Sénéchal, LeFevre, Smith-Chant et Colton, 2001; Storch et Whitehurst, 2002; Whitehurst et Lonigan, 1998).

Enfin, l'apprentissage du langage écrit est un processus holistique qui découle d'un ensemble d'habiletés et de connaissances interreliées et dépendantes les unes des autres (Van Grunderbeeck, 1994). Néanmoins, certains acquis demeurent fondamentaux en raison de leur rôle central et spécifique dans la maîtrise de la lecture et de l'écriture. À ce sujet, les notions portant sur les graphèmes et les phonèmes comptent parmi les connaissances de base devant être enseignées dès le début de la scolarisation. D'une part, l'élève apprend que les mots sont constitués de lettres (graphèmes) et que ces lettres représentent des sons qu'il est possible de traduire oralement. D'autre part, il comprend que l'écriture se réalise par une mécanique inverse : les phonèmes (sons liés au langage oral) sont transcrits sur papier et donc, transformés en graphèmes (Coltheart, 2005; Marshall et Newcombe, 1973). Ce mécanisme de conversion réfère au concept de correspondances graphophonémiques qui sera maintenant vu plus en détail.

1.2.3 Système graphophonétique de la langue française

Comme il a été mentionné, le processus de décodage-recodage entre les graphèmes et les phonèmes permet à la lecture et à l'écriture de se réaliser, du moins pour les langues utilisant un système d'écriture alphabétique comme le français (Écalle et Magnan, 2002). Le phonème constitue la plus petite unité de son ayant une valeur distinctive dans la langue parlée. Concrètement, les phonèmes permettent de discriminer les mots entre eux et de leur donner un sens différent (p. ex. /s/ permet de distinguer le mot *sac* des mots *bac* et *lac*). La plus petite entité de l'écriture constitue le graphème qui est formé d'une ou de plusieurs lettres. Le graphème correspond à l'unité orale qu'est le phonème, mais plusieurs graphèmes peuvent servir à représenter un même phonème (p. ex. *o*, *au* et *eau* sont les graphèmes les plus courants pour représenter à l'écrit le phonème /o/ ; Giasson, 2003; Inserm, 2007). À titre indicatif, la langue française

moderne compterait 36 phonèmes pour 130 graphèmes (Catach, Gruaz et Duprez, 1995), mais cette analyse peut varier légèrement selon les linguistes.

1.2.3.1 Transparence orthographique

Bien qu'elles possèdent une structure similaire, les langues utilisant une écriture alphabétique présentent différents niveaux de complexité. La difficulté à maîtriser une langue écrite dépend principalement de son degré de transparence orthographique (Katz et Frost, 1992). Une langue est dite régulière ou transparente lorsque les correspondances entre les graphèmes et les phonèmes sont constantes. Dans les faits, une langue parfaitement transparente pourrait s'écrire aux « sons » puisque chaque phonème correspondrait exactement à un seul graphème, et réciproquement (Pérez, 2014). Par exemple, le finnois, l'espagnol et l'italien sont considérés comme étant des systèmes simples, car ils sont composés d'une majorité de correspondances graphophonémiques régulières. En d'autres mots, convertir les unités orales et écrites d'une langue transparente est plus facile, car sa régularité la rend prévisible. À l'opposé de ce continuum se trouvent les langues irrégulières ou opaques qui présentent des correspondances graphophonémiques très variables (p. ex. l'anglais ; Seymour, Aro et Erskine, 2003).

Par ailleurs, la transparence d'une langue s'évalue dans deux directions, c'est-à-dire des graphèmes vers les phonèmes pour la lecture et des phonèmes vers les graphèmes pour l'écriture (Colé et al., 2012). Selon ces critères, la langue française occupe une position intermédiaire, étant généralement transparente à la lecture, mais opaque à l'écriture. Ainsi, la prononciation de plusieurs mots s'effectue selon des règles constantes (p. ex. dans la majorité des cas, *b* se prononce /b/ ; *ch* se prononce /ʃ/). Par conséquent, la connaissance des règles de conversion les plus fréquentes permet de lire

correctement la plupart des mots de la langue (Inserm, 2007). En revanche, le français est plus complexe à l'écrit, principalement parce que plusieurs graphèmes sont associés à un même phonème (phénomène de multigraphémie ; Daigle et Montésinos-Gelet, 2013). En raison des nombreux choix possibles, il s'avère donc difficile de sélectionner la graphie correcte pour représenter un son (p. ex. *c, ç, s, sc, ss, t* et *x* peuvent tous traduire le phonème /s/) ou encore un mot ayant des homophones (p. ex. *ver, vers, vert, verre, vair ; ces, ses, c'est, s'est, sais, sait*). La complexité de l'orthographe française s'explique, du moins en partie, par des changements importants de la prononciation de la langue à travers l'Histoire. Ces particularités sont donc le résultat d'efforts, plus ou moins harmonieux, pour adapter la graphie à l'évolution de la langue orale (Paret, 2010). Enfin, de nombreuses exceptions et spécificités sont également retrouvées comme les signes diacritiques (p. ex. les accents), les lettres muettes, les consonnes doubles et les marques d'accord qui ne s'entendent pas oralement (Pérez, 2014).

Tout compte fait, les écritures alphabétiques comme le français constituent des systèmes sophistiqués, à la fois économiques et flexibles. Ainsi, quelques dizaines de phonèmes suffisent à traduire les dizaines de milliers de mots d'une langue (Huey, 1908). De plus, lorsque de nouveaux mots s'y ajoutent, ceux-ci peuvent être composés à l'aide des symboles déjà existants (Houghton et Zorzi, 2003). Cependant, même si les écritures alphabétiques utilisent un mécanisme commun, un code unique régit chacune d'entre elles. La prise en compte de cette singularité est importante dans les études portant sur la lecture et l'écriture. Apprendre à lire nécessiterait jusqu'à deux fois plus de temps lorsque la langue d'enseignement est opaque ou complexe sur le plan syllabique (Seymour et al., 2003). Chez les dyslexiques, le profil d'erreurs peut différer selon la langue et il est envisagé que les erreurs soient plus prononcées dans un contexte d'opacité que de transparence orthographique (Sprenger-Charolles, Colé, Kipffer-Piquard, Pinton et Billard, 2009). En outre, la langue de scolarisation a un

impact durable sur les individus, car elle façonne leurs représentations et leurs stratégies de lecture tout au long de leur vie (Marinelli, Romani, Burani, McGowan et Zoccolotti, 2016; Ziegler et Goswami, 2005). Enfin, il est à noter que la majorité des études sur le langage écrit ont été réalisées auprès de participants anglophones. Par conséquent, des auteurs s'interrogent sur l'influence de ce courant anglocentrique et notamment sur la généralisation des modèles théoriques (dits universels) à d'autres langues, comme le français (Barbiero et al., 2012; Duncan et al., 2013; Paulesu et al., 2000; Share, 2008).

1.2.4 Traitement cognitif des mots

À l'instar des linguistes, les psychologues cognitifs se sont également intéressés aux systèmes d'écriture. Plus précisément, ces derniers ont examiné les processus cognitifs impliqués dans le traitement du langage écrit. Selon l'approche cognitive, les informations concernant les mots sont analysées, mémorisées puis conservées mentalement sous forme de représentations. Ces connaissances sont de trois types : phonologiques, orthographiques et sémantiques. La phonologie réfère à la façon dont un mot se prononce, le code orthographique réfère à la façon dont il s'écrit et enfin, la sémantique réfère à sa signification (Baron, 1977; Coltheart, 2006). Grâce à la lecture, l'élève accumule des connaissances sur les mots et construit son lexique orthographique. Ce lexique regroupe donc tous les mots connus du lecteur et une fois qu'il est suffisamment constitué, la lecture peut devenir fonctionnelle (Ehri, 1991).

Comme il a été mentionné, le but ultime de l'apprentissage de la lecture est d'amener les capacités de compréhension écrite au même niveau que les capacités de compréhension orale. Autrement dit, il est attendu que l'élève comprenne ce qu'il lit

aussi bien qu'il comprend ce qu'il entend (Cervetti et Peraldi, 2013). Pour ce faire, l'identification des mots doit devenir rapide et précise, voire automatique. Cette situation se produit chez le lecteur expert qui, en une fraction de seconde, accède aux informations phonologiques, orthographiques et sémantiques de la plupart des mots qu'il lit. En outre, maîtriser la lecture rend celle-ci irrépressible : le normo-lecteur ne peut s'empêcher de lire les mots qui se trouvent dans son champ de vision (Poncellet, 2009; Sprenger-Charolles et Colé, 2013).

Cette description peut laisser croire qu'il est nécessaire d'avoir mémorisé la structure globale de chacun des mots pour être en mesure de bien les lire. Si cette affirmation est vraie pour les écritures logographiques, dans lesquelles l'écriture est représentée par des symboles, les écritures alphabétiques offrent quant à elles une autre possibilité (Harm et Seidenberg, 2004). Comme il a été expliqué précédemment, l'écriture d'un mot peut être transformée phonologiquement grâce au mécanisme de conversion graphophonémique. Un individu pourrait donc parvenir à lire un mot qu'il n'a jamais vu sous forme écrite auparavant, en reconstituant sa forme sonore et en l'associant au mot correspondant qu'il connaît oralement (Share, 1995). Ces deux façons d'identifier les mots se retrouvent au sein du modèle explicatif à double voie, un modèle reconnu dans le domaine de la lecture et de l'écriture.

1.2.4.1 Modèle explicatif à double voie

Popularisé par Coltheart (1978, 2005), le modèle de lecture à double voie a été largement étudié depuis les années 1970 (p. ex. Baron et Strawson, 1976; Coltheart, Curtis, Atkins et Haller, 1993; Coltheart, Rastle, Perry, Langdon et Ziegler, 2001; McCusker, Hillinger et Bias, 1981; Paap et Noel, 1991; Share, 1995; Wagner et Torgesen, 1987; Zorzi, 2010). Ce modèle suggère que la lecture se réalise grâce à deux

mécanismes principaux qui permettent un accès plus ou moins direct à la représentation des mots écrits : la voie sublexicale et la voie lexicale.

La voie sublexicale (aussi appelée *voie indirecte*, *voie d'assemblage* ou *voie phonologique*) est utilisée lorsque les connaissances du lecteur sont insuffisantes pour reconnaître un mot à prime abord. Suivant ce mécanisme, les mots sont analysés en trois étapes (orthographique → phonologique → sémantique ; Coltheart, 2006). Tout d'abord, le mot est découpé en syllabes (analyse orthographique). Ensuite, les graphèmes sont transformés en phonèmes à l'aide de la stratégie de conversion graphophonémique, ce qui permet de reconstituer le mot oralement (analyse phonologique). Finalement, si ce mot existe dans le vocabulaire du lecteur, ce dernier le reconnaît et active par le fait même sa signification (accès sémantique). Comme la voie sublexicale nécessite une analyse exhaustive des sous-unités composant les mots, elle produit une lecture par décodage, lente et saccadée (Mazeau et Pouhet, 2014). Cette voie permet de lire les mots qui respectent les règles graphophonétiques conventionnelles, des propriétés qui sont retrouvées dans les mots réguliers (p. ex., *canal*, *école*, *poisson*) et les pseudo-mots (p. ex., *bantir*, *ditanol*, *machouti*). Principalement utilisée par les apprenti-lecteurs, la voie sublexicale permet l'auto-apprentissage puisque l'élève découvre par lui-même l'écriture des mots à mesure qu'il les lit (Share, 1995). Cette forme d'analyse segmentée est cependant coûteuse sur le plan de l'attention et de l'ensemble des fonctions exécutives, dont la MDT (de Carvalho, Kida Ade, Capellini et de Avila, 2014; Ehri, 2005b). Avec la pratique, la lecture devient de plus en plus automatisée et mène à une identification des mots plus rapide. Progressivement, la lecture « se lexicalise » puisque les constituants orthographiques sont davantage reconnus de façon globale et analysés comme des mots à part entière.

À ce sujet, la voie lexicale (aussi appelée *voie directe* ou *voie d'adressage*) permet au lecteur de lire rapidement les mots qu'il connaît bien. À la différence de la voie sublexicale, l'accès au sens se réalise directement à partir du mot écrit, sans médiation phonologique (orthographe → sémantique). Le mot à lire est associé par appariement direct avec la représentation mnésique qui lui correspond, retrouvée dans le lexique orthographique (Pourcin et Colé, 2018). Autrement dit, ce mot est reconnu de façon globale, comme s'il s'agissait d'une image. Néanmoins, la lecture par voie lexicale ne consiste pas en une simple reconnaissance visuelle : elle sous-tend plutôt l'association du contenu d'un mot sur le plan visuel, mais aussi phonologique et sémantique (Brun-Henin, Velay, Beecham et Cariou, 2012). Cette voie permet de lire correctement les mots familiers, que ceux-ci soient réguliers ou irréguliers. Pour lire un mot irrégulier comme *monsieur*, le lecteur doit maîtriser à la fois la représentation phonologique d'un mot (« messieu » ou [mɛsjø]) et la représentation orthographique qui lui correspond (« monsieur »). Cette reconnaissance quasi-instantanée des mots rend compte de l'automatisation réussie des mécanismes d'apprentissage de la lecture (Lussier, Chevrier et Gascon, 2017). Sans les contraintes cognitives liées au décodage, le lecteur peut accéder à la prononciation et au sens des mots de façon rapide, précise et sans effort. Les ressources auparavant utilisées pour identifier les mots de façon sublexicale peuvent désormais être consacrées à d'autres fins, comme la compréhension de phrases et de textes (Ehri, 2005a).

Bien que le modèle à double voie ait davantage été étudié pour les tâches de lecture de mots, il a aussi été validé en contexte d'écriture où cette même dualité dans le traitement des mots est retrouvée (Grainger et Ziegler, 2011; Houghton et Zorzi, 2003; Rapcsak, Henry, Teague, Carnahan et Beeson, 2007). L'identification des mots écrits, concept central du modèle à double voie, constitue une composante spécifique essentielle, autant pour la lecture que l'écriture. En fait, ces compétences dépendent

toutes deux de la connaissance des codes de la langue et de la représentation mnésique des mots (Lussier et al., 2017; Sprenger-Charolles, Siegel, Bechenec et Serniclaes, 2003). Comme en lecture, différents niveaux de connaissances sur les mots mèneront donc à l'activation préférentielle de l'une ou l'autre des voies pendant les tâches d'écriture.

En somme, la fréquence d'utilisation des voies est déterminée par le niveau d'expertise de l'individu, mais aussi par la nature des mots rencontrés. Sélectionnées en fonction du contexte, ces deux procédures s'avèrent essentielles et même complémentaires pour lire et orthographier les mots. Avec le temps, l'expert emprunte principalement la voie lexicale, mais la voie sublexicale demeure essentielle pour lire et écrire les mots inconnus, comme les mots rares et les pseudo-mots (Billard et Delteil-Pinton, 2010; Glasspool, Houghton et Shallice, 1995; Mazeau et Pouhet, 2014).

1.2.5 Relations entre la lecture et l'écriture

Dans le domaine du langage écrit, les travaux sur la lecture sont plus abondants que ceux ciblant spécifiquement l'écriture (Shankweiler et Lundquist, 1993; Vaessen et Blomert, 2013). Néanmoins, l'étude des relations entre les deux construits constitue un important courant de recherche (Ahmed, Wagner et Lopez, 2014; Burt et Tate, 2002; Döhla et Heim, 2016; Rapcsak et al., 2007). Dans cet ordre d'idées, plusieurs chercheurs ont étudié la spécificité des représentations orthographiques en contexte de lecture et d'écriture. Si cette question suscite la controverse depuis 30 ans (Shankweiler et Lundquist, 1993; Waters, Bruck et Seidenberg, 1985), les travaux des dernières années semblent favoriser l'hypothèse d'un seul lexique orthographique pour les deux activités. Les représentations mentales utilisées seraient donc toujours les mêmes,

indépendamment du fait qu'un mot doive être lu ou orthographié (Angelelli, Marinelli et Zoccolotti, 2010; Holmes et Davis, 2002; Vaessen et Blomert, 2013). Récemment, des chercheurs sont parvenus à isoler les groupes de neurones responsables d'activer les représentations orthographiques, et ce, autant pendant les tâches de lecture que d'écriture de mots. Les aires cérébrales communes seraient situées dans l'hémisphère gauche, soit dans la partie dorsale du gyrus frontal inférieur et dans la partie ventrale du gyrus fusiforme (aussi appelée « aire de la forme visuelle des mots » ou *visual word form area* ; Purcell, Jiang et Eden, 2017).

Si l'individu se réfère à son lexique orthographique pour toutes les tâches de lecture et d'écriture, la qualité des représentations mentales demeure toutefois plus importante en contexte d'écriture. Pour parvenir à bien orthographier un mot, il faut se remémorer la séquence complète des lettres formant ce mot (p. ex. *éléphant*). En revanche, ce même mot peut souvent être reconnu à partir d'une représentation partielle en lecture, surtout si l'individu possède des indices contextuels (p. ex. *élé?an?* dans un texte sur la jungle ; Giasson, 2003; Holmes et Carruthers, 1998; Martin-Chang, Ouellette et Madden, 2014). Par conséquent, les individus sont en mesure de lire correctement plus de mots qu'ils ne pourraient en écrire sans erreur (Holmes et Davis, 2002; Shankweiler et Lundquist, 1993). La récupération des informations en mémoire à long terme s'effectue donc différemment dans les tâches de lecture et d'écriture. Avec le temps, le processus de reconnaissance devient suffisant pour lire la majorité des mots. Par contre, un processus plus coûteux sur le plan attentionnel est utilisé dans les tâches d'orthographe, soit le rappel en mémoire (Poncellet, 2009). Écrire un mot requiert de générer la seule graphie possible correspondant à l'orthographe conventionnelle. Comme il a été vu précédemment, il s'avère particulièrement difficile de maîtriser l'écriture du français en raison de son opacité (multigraphémie) et de ses nombreuses exceptions et spécificités (p. ex. lettres muettes, consonnes doubles ; Daigle et

Montésinos-Gelet, 2013; Pérez, 2014). Même en connaissant les correspondances phonographémiques les plus courantes, le risque de faire des erreurs phonologiquement plausibles demeure élevé (p. ex. *éléfant*, *éléphand*, *héléphan*, *éléphent*, *ellephan*, etc.).

Même si elles sont fortement liées, la lecture et l'écriture ne constituent pas de simples processus inversés ou encore deux facettes d'une même habileté. De façon générale, elles sont reconnues comme des compétences distinctes, mais qui présentent plusieurs chevauchements sur le plan des connaissances et des ressources qu'elles utilisent (Ahmed et al., 2014; Manolitsis et Georgiou, 2015; Shankweiler et Lundquist, 1993). Alors que la lecture exige relativement peu d'efforts de la part du normo-lecteur, les activités liées à l'écriture telles que la rédaction représentent des activités cognitives de haut niveau, même pour les experts (Döhla et Heim, 2016; McCutchen, 2011). Néanmoins, la lecture comme l'écriture nécessitent souvent des années d'enseignement avant d'être maîtrisées. Dans leurs apprentissages, les enfants développent peu à peu des habiletés de bas niveau en lien avec le langage écrit (p. ex. décodage phonologique, épellation, processus de transcription). C'est grâce à l'automatisation de ces habiletés que les ressources attentionnelles peuvent être dégagées pour les tâches de haut niveau (p. ex. auto-monitorage dans la révision d'un texte). Enfin, les habiletés liées à l'écriture ne deviennent jamais complètement automatisées, mais elles s'opèrent progressivement sous le contrôle de stratégies (p. ex. stockage et récupération des connaissances antérieures ; Alamargot et al., 2015; Kendeou, Van Den Broek, Helder et Karlsson, 2014).

1.3 Difficultés d'apprentissage en langage écrit

1.3.1 Élèves présentant des difficultés en lecture et en écriture

Un nombre important d'enfants scolarisés présente des difficultés en lecture, et ce, même dans les pays développés comme le Canada. Au Québec, il est estimé qu'un élève sur dix n'est pas fonctionnel en lecture à la fin de son secondaire. Autrement dit, ces derniers ne possèderaient pas les compétences minimales requises pour occuper la majorité des emplois (Statistique Canada, 2010). Tout au long du parcours scolaire, les compétences en lecture-écriture représentent un facteur de réussite primordial. Les difficultés sévères dans ce domaine constituent d'ailleurs le motif le plus courant pour justifier un redoublement, et ce, tant au primaire qu'au secondaire (Pelletier, 2005). L'importance de la lecture s'explique par son effet facilitateur dans la réussite de l'ensemble des matières scolaires. L'élève doit non seulement décoder l'écrit, mais il doit parvenir à le faire de façon fluide pour accéder au sens du texte. Dans le contexte scolaire, la maîtrise de la lecture n'est pas une finalité en soi, mais plutôt un moyen privilégié pour acquérir de nouvelles connaissances. La relation à la lecture se transforme au cours du cheminement scolaire et peut se résumer ainsi : l'élève qui apprend à lire doit ensuite lire pour apprendre (Cartier et Tardif, 2000).

L'expérience réduite en lecture peut créer un cercle vicieux qui empêche l'enrichissement du vocabulaire et des connaissances générales dans leur ensemble (Hart et Risley, 2003; Wasik, Hindman et Snell, 2016). À ce sujet, les études longitudinales révèlent que les difficultés en lecture tendent à persister dans le temps. Par exemple, un élève considéré comme étant mauvais lecteur au début de son primaire aurait 90% de chance de le demeurer trois ans plus tard (Juel, 1988). Chez des participants québécois, de faibles performances en lecture à 7 ans ont prédit de façon

fiable la présence de difficultés scolaires à 12 ans. Ces élèves ont également été identifiés comme étant à risque d'abandonner l'école au secondaire lors de cette seconde évaluation (Janosz et al., 2013). Afin de prévenir le cumul des retards scolaires, les spécialistes s'entendent sur la nécessité d'identifier et d'intervenir précocement auprès des élèves en difficultés de lecture-écriture, que ces derniers présentent un trouble d'apprentissage ou qu'ils soient considérés à risque d'en développer un (Menzies, Mahdavi et Lewis, 2008; Ordre des psychologues du Québec, 2014; Torgesen, 2002).

Les causes des difficultés en lecture-écriture sont complexes et résultent généralement de l'interaction de plusieurs facteurs intrinsèques et extrinsèques. Les facteurs intrinsèques peuvent inclure la vulnérabilité génétique, les particularités cognitives, le style d'apprentissage, de même que la motivation et l'intérêt de l'élève pour la lecture (St-Pierre, Dalpé, Lefebvre et Giroux, 2011; Van Grunderbeeck, 1994). Les facteurs extrinsèques liés à la famille comprennent par exemple le niveau socioéconomique, la réalisation d'activités d'émergence de l'écrit en bas âge et la valorisation de l'éducation par le milieu familial (Inserm, 2007; Roberts et al., 2005; Teale et Sulzby, 1989). À l'école, des facteurs environnementaux peuvent être déterminants comme les méthodes d'enseignement de même que la qualité du soutien offert et l'accessibilité à des services spécialisés en cas de difficultés (Ordre des psychologues du Québec, 2014; St-Pierre et al., 2011).

1.3.2 Difficultés d'apprentissage et trouble d'apprentissage

Une distinction s'impose concernant les termes « difficultés d'apprentissage » et « trouble d'apprentissage », ces notions étant souvent confondues. En lecture-écriture,

le terme *difficultés d'apprentissage* réfère simplement aux difficultés scolaires que l'élève éprouve dans ce domaine, quelle qu'en soit la cause. Comme il a été abordé précédemment, de nombreuses raisons peuvent expliquer pourquoi un élève ne parvient pas à apprendre à lire, tant sur le plan organique (p. ex. troubles visuel ou auditif non corrigés, déficience intellectuelle), qu'environnemental (p. ex. difficultés personnelles qui affectent la disponibilité en classe, milieu scolaire ou familial défavorable aux apprentissages ; Ramus, 2005). Il est estimé que 10 à 15% des élèves présentent des difficultés d'apprentissage en lecture, mais cette prévalence varierait selon le degré de transparence orthographique de la langue à l'étude (Cecilia, Vittorini, Cofini et di Orio, 2014; Fluss et al., 2008; Statistique Canada, 2010). En outre, la proportion d'élèves en difficultés de lecture serait plus importante dans les milieux socioéconomiques défavorisés, celles-ci pouvant affecter jusqu'à un élève sur quatre (Billard et al., 2009).

Par ailleurs, certains élèves éprouvent des difficultés dites « inattendues », c'est-à-dire qui ne peuvent être expliquées par des causes évidentes, telles qu'une incapacité physique ou un manque d'opportunités d'apprentissage. Touchant spécifiquement le langage écrit, les difficultés donnent une impression de dysharmonie avec le reste du potentiel intellectuel et cognitif de l'individu. Ces élèves présentent un *trouble d'apprentissage*, plus précisément un trouble d'apprentissage spécifique à la lecture-écriture, aussi appelé dyslexie (American Psychiatric Association, 2013). Si jusqu'à 15% des élèves éprouvent des difficultés de lecture, moins de la moitié d'entre eux seraient réellement dyslexiques (Ramus, 2005). Dans les faits, la distinction entre difficultés et trouble d'apprentissage peut être ardue, car la symptomatologie rencontrée est souvent semblable. Une des différences principales se situerait au niveau des mécanismes d'apprentissage du langage écrit qui présenteraient des atypies dans le cas d'un trouble seulement (Guay, 2019). Des erreurs caractéristiques à la dyslexie peuvent d'ailleurs être identifiées dès le début de l'apprentissage de la lecture (voir la

section 1.3.3.3 sur le portrait clinique du trouble). La persistance des déficits malgré la mise en place d'interventions serait un autre élément recherché pour départager les deux conditions (Mazeau et Pouhet, 2014; Protopapas et Parrila, 2018). De façon générale, les enfants n'ayant pas de trouble peuvent facilement rattraper leur retard grâce à la mise en place de mesures ciblant leurs difficultés. En revanche, les déficits dans un trouble s'avèrent plus « résistants » aux interventions et nécessitent une prise en charge soutenue et spécialisée (p. ex. rééducation orthopédagogique de la voie phonologique, enseignement des régularités orthographiques pour compenser les déficits de la voie lexicale, mesures de compensation en classe). Pour ces raisons, il est suggéré que le diagnostic de dyslexie soit posé uniquement lorsque les difficultés s'inscrivent à l'intérieur d'un profil clinique correspondant au trouble (erreurs atypiques dans le langage écrit ne pouvant être expliquées par un handicap intellectuel) et que celles-ci persistent depuis au moins 6 mois en dépit d'interventions ciblées (American Psychiatric Association, 2013; Ordre des psychologues du Québec, 2014). Enfin, soulignons qu'il est possible que des enfants ayant un trouble d'apprentissage présentent en plus divers facteurs de vulnérabilité (p. ex. contexte socioéconomique fragile, troubles associés), ce qui complexifie l'évaluation de la condition et généralement, en assombrit le pronostic (Fluss et al., 2008; Huc-Chabrolle, Barthez, Tripi, Barthélémy et Bonnet-Brilhault, 2010; Mazeau et Pouhet, 2014).

1.3.3 Dyslexie

La dyslexie est un trouble neurodéveloppemental affectant la capacité normale et attendue d'acquérir la lecture et l'écriture. Les déficits observés ne peuvent s'expliquer par un faible niveau intellectuel, un manque d'opportunités d'apprentissage, un trouble sensoriel (auditif ou visuel) ou une lésion cérébrale acquise (Organisation mondiale de la santé, 2012; Protopapas et Parrila, 2018). D'origine génétique, la dyslexie résulterait

du développement atypique des mécanismes cérébraux impliqués dans l'apprentissage de la lecture (Pennington et Olson, 2005). À ce sujet, des différences ont été relevées entre les individus dyslexiques et normolecteurs concernant les patrons d'activité cérébrale dans les régions associées au traitement du langage. Des problèmes de connexions entre les aires cérébrales impliquées dans la lecture pourraient être en cause, par exemple au niveau frontal inférieur ainsi que dans les jonctions occipito-temporale et temporo-pariétale de l'hémisphère gauche (Richlan, 2012). Il est à noter que de nombreuses dysfonctions ou anomalies cérébrales ont été rapportées chez les individus dyslexiques au cours des 40 dernières années (pour une revue, voir Habib, 2000; Kershner, 2019; Norton et al., 2015). Néanmoins, plusieurs de ces résultats n'ont pu être répliqués ou s'avèrent incomplets : des études futures seront donc nécessaires pour valider ces hypothèses et développer un modèle neurobiologique intégré de la dyslexie (Ramus, Altarelli, Jednoróg, Zhao et Scotto di Covella, 2018).

1.3.3.1 Terminologie

Plusieurs termes sont utilisés pour désigner la dyslexie, ce qui peut mener à une certaine confusion. Tout d'abord, l'étymologie du mot souligne la notion de difficultés avec le préfixe *dys-* (dysfonctionnement) suivi de *-lexie* (élocution, mot). Cette référence au langage plutôt qu'à la lecture en tant que telle proviendrait de la confusion du mot latin *legere* (lire) avec le mot grec *legein* qui possède deux sens : parler et sélectionner (Dyslexia, s. d.). De nos jours, le terme *dyslexie développementale* est utilisé pour distinguer le trouble d'autres conditions d'origine traumatique ou vasculaire comme l'alexie (aussi appelée dyslexie acquise). La dyslexie se présente chez des personnes prédisposées sur le plan génétique qui évoluent dans un contexte normal d'apprentissage. Pour sa part, l'alexie se présente comme une incapacité à décoder et à

comprendre l'écrit à la suite d'une atteinte cérébrale, et ce, auprès d'individus qui lisaient pourtant normalement avant cet incident (Schoenberg et Scott, 2011).

Le terme dyslexie n'est pas utilisé comme diagnostic officiel par les deux systèmes de classification internationale (le DSM-5 de l'American Psychiatric Association et la CIM-10 de l'Organisation mondiale de la santé). Dans le DSM, la dyslexie correspond au *trouble spécifique des apprentissages avec déficit de la lecture*. En fait, à la catégorie diagnostique du « trouble spécifique des apprentissages » viennent s'ajouter les domaines d'atteinte (lecture, expression écrite, calcul) et le niveau de sévérité (léger, moyen, grave). Du côté de la CIM, il est précisé que la dyslexie développementale est comprise au sein du *trouble spécifique de la lecture*, ce trouble faisant partie des « troubles spécifiques du développement des acquisitions scolaires ». En plus des problèmes de décodage caractéristiques du trouble, les difficultés d'écriture s'avèrent souvent importantes. Dans le DSM, il est précisé que la dyslexie est caractérisée par des difficultés en orthographe (American Psychiatric Association, 2013) alors que dans la CIM, il est mentionné que ces difficultés accompagnent fréquemment le trouble (Organisation mondiale de la santé, 2012).

La formulation *dyslexie-dysorthographe*, couramment utilisée au Québec et dans les pays francophones (France, Suisse, Belgique), reflète bien ce double déficit retrouvé dans la dyslexie. La lecture et l'écriture partagent des liens étroits au cours de l'apprentissage et conséquemment, de fortes corrélations sont retrouvées entre les deux construits ($r = 0,71$ selon une méta-analyse de Swanson, Trainin, Necochea et Hammill, 2003). Néanmoins, une question persiste à savoir si la dysorthographe peut survenir seule, c'est-à-dire si un individu peut présenter des déficits marqués en écriture, mais sans difficultés en lecture. Bien que peu d'études aient porté spécifiquement sur la dysorthographe, sa fréquence d'apparition avec la dyslexie

suggère l'existence d'une dysfonction cognitive commune entre les deux conditions (Inserm, 2007). Néanmoins, quelques études cliniques ont permis d'établir différents profils chez les enfants présentant des difficultés de langage écrit. Il en ressort que 3 à 7% des élèves présenteraient des déficits isolés en lecture ou en écriture et les erreurs commises par ces jeunes seraient différentes des atypies retrouvées au sein des profils mixtes (Moll et Landerl, 2009; Wimmer et Mayringer, 2002).

En fait, les élèves ayant des déficits isolés en lecture (sans problèmes en orthographe) possèderaient de bonnes représentations orthographiques, mais des difficultés d'accès lexical. Ce traitement plus lent des mots causerait un ralentissement important en lecture et parfois même des problèmes d'exactitude. En revanche, comme l'écriture est une activité qui se réalise plus lentement que la lecture, ces élèves présenteraient peu de difficultés dans les tâches d'orthographe de mots (Mehlhase, Bakos, Landerl, Schulte-Körne et Moll, 2018; Moll et Landerl, 2009). À l'inverse, les élèves ayant des difficultés isolées en écriture (sans problèmes en lecture) présenteraient d'importantes difficultés en orthographe causées par la mauvaise qualité de leurs représentations lexicales. Ces derniers utiliseraient principalement des stratégies sublexicales (décodage lettre par lettre ou son par son). Dans ce contexte, la survenue ou non de difficultés en lecture (lenteur et manque de précision) dépendrait principalement du degré de transparence de la langue de scolarisation. Comme ces lecteurs utilisent systématiquement des stratégies de décodage, ils seraient moins désavantagés lorsque la langue est consistante et qu'elle comprend un nombre élevé de mots réguliers (Manolitsis et Georgiou, 2015).

Par ailleurs, quelques études de neuroimagerie ont porté sur les patrons d'activation cérébrale des élèves présentant des déficits isolés en orthographe. Les résultats révèlent notamment une suractivation de régions postérieures de l'hémisphère droit, ce qui

correspondrait à l'utilisation accrue de stratégies de décodage pendant la lecture (Borkowska, Francuz, Soluch et Wolak, 2013). Les connaissances sont toutefois insuffisantes pour déterminer si les différences fonctionnelles ont toujours été présentes chez les élèves dysorthographiques ou si leur cerveau s'est réorganisé pour compenser des difficultés en lecture initialement présentes. Ce dernier scénario remettrait en question l'idée d'une dissociation pure de la dysorthographie au profit de l'hypothèse d'un double déficit dans la dyslexie (Gebauer et al., 2012).

1.3.3.2 Prévalence

La dyslexie est retrouvée partout dans le monde et sa prévalence est estimée à environ 4% chez l'enfant et l'adulte (American Psychiatric Association, 2013; Inserm, 2007). Les taux de prévalence peuvent cependant varier selon les études en raison des différentes méthodes utilisées et des critères choisis pour conclure à la présence du trouble (Barbiero et al., 2012). La dyslexie serait le trouble des apprentissages le plus fréquent, bien qu'il soit difficile d'en évaluer précisément la proportion. Des taux élevés de 80 à 90% sont fréquemment rapportés dans les écrits et deux études classiques sont souvent citées à ce propos (Kavale et Reese, 1992; Lerner, 1989). Cependant, ces statistiques ne sont pas interprétées correctement. En fait, ces auteurs ont rapporté que la grande majorité des élèves ayant des difficultés scolaires présentaient également des difficultés sévères en lecture, mais sans spécifier si ces derniers étaient dyslexiques. Cette situation rappelle la problématique abordée précédemment concernant la confusion des notions de *difficultés* et de *trouble* d'apprentissage en lecture qui se répercute dans les données de recherche sur la dyslexie.

L'influence du sexe dans la prévalence de la dyslexie est un sujet controversé. Historiquement, la dyslexie était décrite comme une condition affectant davantage les garçons que les filles. Pour expliquer cet écart, Shaywitz, Shaywitz, Fletcher et Escobar (1990) ont proposé l'hypothèse du biais de recrutement qui est encore largement répandue aujourd'hui. Celle-ci postule que les garçons ayant des difficultés de lecture seraient davantage référés par les enseignants en raison de leurs problèmes de comportement souvent associés qui perturbent le fonctionnement en classe. Selon cette hypothèse, la proportion réelle de garçons et de filles dyslexiques serait égale : les garçons dyslexiques ne seraient pas plus nombreux, ce sont les filles qui seraient sous-diagnostiquées. Cependant, de nouvelles études permettant une réanalyse des données épidémiologiques et un meilleur contrôle du biais de recrutement dressent un portrait différent. Les résultats suggèrent que les problèmes de lecture affectent plus les garçons (Liederman, Kantrowitz et Flannery, 2005; Moll, Kunze, Neuhoff, Bruder et Schulte-Körne, 2014; Quinn et Wagner, 2015; Rutter et al., 2004), et ce, dans une proportion jusqu'à trois fois supérieure aux filles (Inserm, 2007). Il est à noter que les chercheurs en neurosciences s'intéressent de plus en plus aux différences cérébrales entre les hommes et les femmes et que ce champ d'études se transpose à l'étiologie de la dyslexie. Dans cet ordre d'idées, des différences identifiées sur les plans anatomique, neurobiologique et génétique constituent des hypothèses présentement étudiées pour expliquer les écarts de prévalence retrouvés selon le sexe (Krafnick et Evans, 2019).

Le degré de transparence orthographique d'une langue aurait aussi un impact dans le développement de la dyslexie. Les langues opaques sont d'ailleurs associées à une prévalence plus élevée du trouble que les langues transparentes (Wydell, 2012). Seymour et al. (2003) ont démontré que la majorité des élèves scolarisés dans une langue transparente (p. ex. l'italien ou l'espagnol) parvenait à lire un grand nombre de mots avec exactitude dès leur première année d'apprentissage. En revanche, les élèves

scolarisés dans une langue opaque (p. ex. l'anglais ou le néerlandais) atteignaient un niveau similaire seulement en 2^e ou en 3^e année. Un « effet plafond » serait même retrouvé chez les élèves scolarisés dans les langues transparentes, car ces derniers font généralement peu d'erreurs dans le décodage des mots. Par conséquent, les difficultés de lecture chez ces populations sont davantage évaluées sur le plan de la vitesse plutôt que de la précision (Bakos, Landerl, Bartling, Schulte-Körne et Moll, 2018). La langue étudiée a donc un impact direct sur les critères d'évaluation de la dyslexie et sur le seuil choisi pour conclure à une déviation de la normalité en lecture.

Au Québec, la prévalence de la dyslexie est inconnue. Lorsqu'un spécialiste évalue et pose un diagnostic de trouble d'apprentissage, les élèves québécois peuvent recevoir des services spécialisés selon les ressources disponibles dans leur milieu scolaire. Les écoles et les commissions scolaires qui les encadrent possèdent donc des informations précises concernant le diagnostic de leurs élèves. Cependant, le Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur (MEES) ne collige pas ces données en retour. En fait, les élèves dyslexiques, font partie d'une catégorie générale intitulée *autres difficultés (plan d'intervention sans code)* qui regroupe un ensemble d'élèves ayant un plan d'intervention en raison de leurs difficultés scolaires ou d'adaptation. La réalité de ces élèves est multiple : certains peuvent présenter un ou plusieurs diagnostics de troubles d'apprentissage ou d'adaptation tandis que d'autres n'ont pas de diagnostic formel, mais sont considérés à risque de présenter un trouble. Les données fournies par le MEES permettent de constater une hausse significative des élèves handicapés et en difficulté d'adaptation ou d'apprentissage (EHDAA), mais la proportion qui revient à la dyslexie ne peut être établie (Gouvernement du Québec, 2007, 2016). Une demande d'accès à l'information réalisée par l'auteure de cette thèse confirme que le MEES ne possède pas de données relativement à la prévalence de la dyslexie au Québec (voir Annexe A).

1.3.3.3 Portrait clinique

Les difficultés présentes dans la dyslexie se caractérisent principalement par un manque de vitesse ou de précision pendant la lecture. Concrètement, l'élève dyslexique peut avoir de la difficulté à reconnaître certaines lettres, syllabes ou mots, ce qui entraîne une lecture lente, saccadée et peu fluide. En outre, les problèmes d'exactitude et le manque d'automatisation pendant la lecture peuvent mener à des problèmes importants de compréhension (Shaywitz et Shaywitz, 2005). Bien que la dyslexie ne puisse s'expliquer par un manque de motivation, plusieurs élèves dyslexiques développent des problèmes d'estime de soi, se désintéressent de la lecture et dans certains cas, en développent une aversion (Daniel et al., 2006; McArthur et al., 2016). Déjà en retard sur leurs pairs, ces enfants lisent généralement moins, ce qui a pour conséquence de limiter les occasions de s'améliorer en lecture, mais aussi d'apprendre par le biais de ce médium (Sprenger-Charolles et Colé, 2013).

Sur le plan qualitatif, les productions indiquent une atteinte isolée ou combinée des voies de la lecture (voir la section 1.2.4.1 sur le modèle explicatif à double voie). Un nombre élevé d'erreurs phonologiques (*pomme* lu *bomme*) peut signifier une atteinte de la voie d'assemblage de la lecture tandis que les erreurs lexicales (*monsieur* lu *monssieur*) suggèrent plutôt une dysfonction de la voie d'adressage (Coltheart, 2006). Souvent associées, les difficultés en orthographe présentent aussi des atypies, les productions pouvant donner lieu à des mots écrits aux sons (*attention* → *attenssion*), qui ne respectent pas les règles d'usage (*haricot* → *arricau*) ou encore les conventions phonographémiques (*gamin* → *camin*). Par ailleurs, certaines productions écrites sont si éloignées de l'orthographe correcte qu'elles ne peuvent être reconnues par un tiers (*ciel* → *drnl*). Ces manifestations peuvent varier selon l'âge, le type et la sévérité de la

dyslexie, mais aussi par la qualité des interventions offertes à l'élève pour remédier à ses difficultés (Mazeau et Pouhet, 2014; Ordre des psychologues du Québec, 2014).

1.3.3.4 Déficits associés

Des déficits dans plusieurs domaines (phonologique, moteur, visuel, auditif) ont été répertoriés dans les recherches auprès de participants dyslexiques. Jusqu'aux années 2000, quatre modèles explicatifs de la dyslexie ont principalement retenu l'attention, chacun s'articulant autour d'un déficit particulier, soit : un déficit phonologique (Snowling, 1998; Wagner et Torgesen, 1987), un déficit auditif du traitement temporel (Tallal, Miller et Fitch, 1993), un dysfonctionnement des voies magnocellulaires du système visuel (Stein et Walsh, 1997) et des perturbations du contrôle moteur du cervelet (Nicolson et Fawcett, 1990). De nouvelles hypothèses ont aussi été proposées depuis, notamment un problème d'orientation de l'attention visuelle (Hari, Renvall et Tanskanen, 2001), une difficulté perceptuelle à inhiber les bruits non pertinents (Sperling, Lu, Manis et Seidenberg, 2005), un déficit de l'empan visuo-attentionnel (Bosse, Tainturier et Valdois, 2007), une perception altérée des différences phonétiques (théorie allophonique : Noordenbos et Serniclaes, 2015) ainsi qu'un manque de dominance oculaire causé par un problème anatomique au niveau de la fovéa (Le Floch et Ropars, 2017). Ces hypothèses diversifiées rendent compte de l'hétérogénéité des atteintes retrouvées dans la dyslexie, mais aussi de l'incapacité d'établir un profil strict de ses forces et faiblesses (pour une recension, voir Ramus et Ahissar, 2012). En somme, il est possible que plus d'une théorie puisse être valide : certains modèles pourraient représenter différents sous-types (moins bien compris ou inconnus) au sein du trouble.

Malgré tout, la théorie phonologique est considérée comme la théorie « classique » de la dyslexie et constitue à ce jour l'hypothèse dominante pour expliquer le trouble (Boada et Pennington, 2006; de Carvalho et al., 2014; Morris et al., 1998; Ramus et al., 2003; Snowling, 2001; White et al., 2006). Les difficultés sur le plan phonologique seraient typiquement retrouvées chez les jeunes enfants à risque de développer une dyslexie et ce, avant même l'apprentissage du langage écrit (Boscardin, Muthén, Francis et Baker, 2008; Felton, 1992; Scarborough, 1998; Thiede et al., 2019). Selon ce modèle, le problème fondamental de la dyslexie résiderait dans la représentation mentale des sons de la parole et leur traitement (identification et recodage phonologique). Pour mesurer ces difficultés, plusieurs tâches peuvent être utilisées, les plus courantes étant les épreuves de conscience phonologique, de mémoire verbale à court terme et de dénomination verbale rapide (Vellutino, Fletcher, Snowling et Scanlon, 2004). Ces capacités sont considérées cruciales pour l'acquisition de la lecture en permettant la maîtrise des conversions entre les graphèmes et les phonèmes mais aussi la reconnaissance rapide et précise des mots (Share, 1995).

Au-delà de la phonologie, la lecture constitue une activité intégrant plusieurs processus et parmi ceux-ci, la mémoire de travail (MDT) jouerait un rôle clé. Capacité distincte, mais fortement liée à la mémoire verbale à court terme, la MDT est impliquée dans les processus de lecture et d'écriture, tels que le décodage, la compréhension de texte, l'orthographe et la rédaction (Kellogg, 2001). En outre, les individus dyslexiques présentent souvent des faiblesses en MDT (Menghini et al., 2011; Smith-Spark et Fisk, 2007; Wolf et al., 2010), rendant d'autant plus nécessaire de bien saisir l'apport de cette fonction cognitive dans l'apprentissage de la lecture et de l'écriture. Avant d'élaborer sur les relations entre ces capacités, le concept de la MDT sera d'abord introduit.

1.4 Mémoire de travail

1.4.1 Présentation du construit

La mémoire de travail (MDT) est un concept issu de la psychologie cognitive dont les travaux se sont multipliés au cours des dernières années. De façon générale, la MDT est définie comme un système à capacité limitée permettant le maintien temporaire d'informations en mémoire et leur manipulation (Baddeley, 2003). Les paradigmes des épreuves de MDT sont variés, mais ils impliquent généralement le traitement mental de plusieurs éléments présentés successivement, de façon rapide et continue. Ces éléments sont susceptibles de créer de l'interférence entre eux, ce qui entraîne une charge cognitive importante pour l'individu et particulièrement lorsque d'autres opérations doivent être réalisées en parallèle (Conway, Cowan, Bunting, Theriault et Minkoff, 2002; Miyake et Shah, 1999). Des mécanismes de contrôle attentionnel et exécutif viennent pour leur part aider l'individu à sélectionner et traiter activement l'information pertinente, lui permettant de demeurer suffisamment concentré pour compléter la tâche (Conway, Kane et Engle, 2003).

Les capacités de MDT sont fortement sollicitées pendant les activités cognitives de haut niveau telles que la résolution de problèmes, la prise de décision, la compréhension du langage, la rédaction et les mathématiques (Alamargot, Lambert et Chanquoy, 2005; Conway et al., 2003; Gathercole, Alloway, Willis et Adams, 2006; Kellogg, 2001). À ce sujet, les opérations de calcul mental représentent de bons exemples pour illustrer le fonctionnement de la MDT. Par exemple, pour réaliser la multiplication 29 par 7, il faut : 1) multiplier 7 par 9 (= 63), 2) conserver le 3 en mémoire, 3) conserver en mémoire le 6 des dizaines et l'ajouter à la multiplication 2 par 7 ($14 + 6 = 20$), 4) restituer le chiffre unitaire 3 et l'ajouter à la suite du résultat

déjà obtenu (= 203). L'individu qui vient de compléter une tâche de MDT peut facilement évoquer le résultat final, mais en revanche, il ne possédera qu'une trace vague de chaque étape de sa démarche. Comme les éléments ne sont pas consolidés, ils doivent être constamment réactivés afin de demeurer accessibles. Ceci rend compte du caractère à la fois temporaire et limitatif de la MDT : pour libérer et optimiser l'espace mental, les informations non rafraichies sont effacées ou remplacées (Baddeley, 2007). Sur le plan neuroanatomique, la réalisation d'une tâche de MDT sollicite une grande partie du cerveau, résultant principalement d'échanges entre les régions fronto-pariétales, qui sont associées au contrôle attentionnel et exécutif (*top-down*, traduit en français par *approches descendantes*) et de régions plus postérieures et même sous-corticales. Les régions souvent rapportées incluent les régions fronto-pariétales (préfrontal dorsolatéral, pariétal, cingulaire) de même que le mésencéphale et le cervelet (Barbey, Koenigs et Grafman, 2013; Beneventi, Tonnessen, Erslund et Hugdahl, 2010; Chai, Abd Hamid et Abdullah, 2018).

1.4.2 Construits associés

L'apport spécifique de la MDT au sein de la cognition peut être difficile à saisir étant donné qu'elle chevauche plusieurs construits. Tout d'abord, la MDT fait partie des fonctions exécutives, des capacités de haut niveau essentielles pour s'adapter à notre environnement. Ces processus mentaux contrôlés sont particulièrement sollicités dans des situations nouvelles ou changeantes où les réponses automatiques s'avèrent inappropriées ou non-disponibles (Conway et al., 2003; Miller et Cohen, 2001). Les fonctions exécutives préviennent ainsi les comportements surappris grâce à des mécanismes de métacognition et de régulation. Outre la MDT, l'inhibition et la flexibilité cognitive sont considérées comme les principales fonctions exécutives. À partir de ces trois capacités seraient ensuite créées les fonctions exécutives dites

supérieures comme le raisonnement, la résolution de problèmes et la planification (Diamond, 2013). En réalité, ces fonctions sont souvent impliquées simultanément et de fortes corrélations sont retrouvées entre les capacités de MDT et le fonctionnement exécutif plus général (p. ex. $r = 0,97$; McCabe, Roediger, McDaniel, Balota et Hambrick, 2010). La MDT serait de plus considérée comme l'un des meilleurs prédicteurs de l'intelligence ou du raisonnement fluide (Buehner, Krumm et Pick, 2005; Conway et al., 2003; McCabe et al., 2010).

L'attention est aussi liée à la MDT. Lorsqu'une personne se concentre pour garder en tête des informations (prérequis des tâches de MDT), son attention est nécessairement dirigée vers ce contenu mental. Les capacités attentionnelles et de MDT se développeraient de façon parallèle chez l'enfant et le jeune adulte (Amso et Scerif, 2015) et cette dynamique serait même présente dès la première année de vie (Reynolds et Romano, 2016). Cependant, les caractéristiques communes et distinctives de l'attention et de la MDT demeurent méconnues, ce champ d'études étant complexifié par l'hétérogénéité des modèles théoriques existants. Il est envisagé que les deux systèmes se combinent pour faciliter la cognition complexe et comme la MDT est hautement vulnérable à la distraction, le rôle de l'attention serait essentiel (Baddeley et Hitch, 2019). Comme il a été mentionné, il est envisagé qu'une composante importante au sein de la MDT soit une forme d'attention contrôlée, aussi appelée attention exécutive (*executive attention*). Ce mécanisme de traitement par approches descendantes serait d'ailleurs une caractéristique commune de la MDT et du raisonnement de haut niveau (Conway et al., 2003).

Le rôle de la MDT au sein des différentes composantes de la mémoire représente aussi une question d'intérêt. La MDT se distingue tout d'abord de la mémoire à long terme, un système robuste permettant de retenir sur une longue période des informations

emmagasiniées (p. ex. des souvenirs, des connaissances). Au contraire, la MDT est un système fragile qui traite des informations immédiates dans un but prospectif (se rappeler d'une information et l'utiliser). Alors que le rappel des éléments consolidés en mémoire à long terme est généralement facile et automatique, celui des éléments en MDT exige un état de volition constant (Cowan, 2008; Miller, Lundqvist et Bastos, 2018). Le nom qui lui a été donné (« *working* » memory, traduit en français par mémoire de « *travail* ») rappelle d'ailleurs cet aspect de volonté et d'effort qui caractérise l'ensemble des fonctions exécutives (Diamond, 2013). Enfin, la mémoire à court terme et la MDT présentent certaines similitudes. De façon générale, la mémoire à court terme est vue comme un espace permettant de garder en tête une information jusqu'à un certain seuil ou niveau de complexité. La MDT implique aussi cette capacité de retenir l'information, mais avec un aspect supplémentaire de contrôle et de traitement (Aben, Stapert et Blokland, 2012). Si la mémoire à court terme peut être suffisante dans un contexte où l'individu n'est pas en surcharge cognitive, la MDT s'avère cruciale dans les tâches de plus haute demande attentionnelle ou exécutive (Swanson, 2015). Contrairement à la MDT, la mémoire à court terme ne serait plus liée à l'intelligence fluide vers l'âge de 11 ans (Kuhn, 2016). De plus, seule la MDT dépendrait directement du cortex préfrontal dorsolatéral, une région cérébrale associée aux processus cognitifs complexes (Barbey et al., 2013; Chai et al., 2018).

1.4.3 Modèle à composantes multiples de Baddeley et Hitch

Compte tenu des nombreux construits associés à la MDT, il n'est pas étonnant de constater que plusieurs modèles théoriques se retrouvent dans les écrits scientifiques (pour une recension, voir Baddeley, 2012; Eriksson, Vogel, Lansner, Bergström et Nyberg, 2015; Miyake et Shah, 1999). Cette diversité s'explique notamment par le rôle que les auteurs attribuent aux construits venant d'être mentionnés (fonctions exécutives,

attention, mémoire à long terme et mémoire à court terme) et par la façon que les relations entre ces fonctions sont conceptualisées. Par exemple, les liens entre l'attention et la mémoire sont mis à l'avant-plan dans le modèle des processus intégrés (Cowan, 1999) et celui de l'attention contrôlée (Engle, Kane et Tuholski, 1999; Unsworth et Engle, 2007), la mémoire à long terme et la mémoire à court terme représentant des construits centraux du premier et du second modèle, respectivement. Dans ce contexte, le système de Baddeley et Hitch (1974) sera élaboré davantage parce qu'il constitue le cadre conceptuel des études de cette thèse, qu'il s'applique bien aux processus de lecture et d'écriture et enfin, parce qu'il représente à ce jour le modèle le plus étudié dans les travaux portant sur la MDT (Chai et al., 2018; D'Esposito et Postle, 2015; Gathercole et al., 2006; Luo et al., 2013; Miyake et Shah, 1999; Müller et Knight, 2006; Paulesu, Frith et Frackowiak, 1993; Smith et Jonides, 1997). Initialement, le modèle à composantes multiples comprenait trois composantes : l'administrateur central, la boucle phonologique et le calepin visuospatial. Une quatrième structure, le tampon épisodique, est venue s'ajouter au modèle classique par la suite (Baddeley, 2000). Ce modèle est illustré à la figure 1.1.

L'administrateur central est la composante principale de ce modèle. Il supervise les processus en cours et coordonne les trois sous-systèmes. Par un mécanisme de contrôle attentionnel et exécutif, l'administrateur central peut maintenir l'attention du sujet, sélectionner les informations pertinentes et alterner entre les tâches et les stratégies (Allen, Baddeley et Hitch, 2017; Baddeley, 2012). À la manière d'un chef d'équipe, l'administrateur central chapeaute l'ensemble des activités en cours : il analyse la situation en temps réel et dirige les opérations (Baddeley, 1986). Le monitoring doit être constant puisqu'une tâche de MDT est une activité mentale continue et ce faisant, les informations à traiter et les objectifs à atteindre évoluent constamment. Enfin,

l'administrateur central peut, au besoin, récupérer et réactiver des informations situées dans la mémoire à long terme via le tampon épisodique (Baddeley, 2000).

La boucle phonologique est responsable du maintien temporaire en mémoire à court terme des informations verbales et auditives. Cette structure est donc fortement sollicitée dans le langage et dans toutes situations impliquant du matériel auditif ou phonologique (p. ex. des phonèmes, des lettres, des mots, des chiffres, des sons). La boucle phonologique s'avère essentielle dans la réalisation de tâches courantes, telles que suivre une conversation, se souvenir d'une consigne, étudier des concepts en vue d'un examen, rédiger ou encore, comprendre ce que l'on lit (Baddeley, 2007; Buchsbaum, 2016). La boucle phonologique se divise en deux composantes qui travaillent en complémentarité : l'empan phonologique et la boucle de récapitulation articulatoire. L'empan phonologique est un espace de stockage passif qui peut conserver de nouveaux éléments en mémoire, mais seulement pour une brève durée (quelques secondes). La boucle de récapitulation articulatoire permet toutefois de prolonger cette période par une réactivation continue des éléments à rappeler. Ce processus est possible grâce à la stratégie de répétition subvocale qui réfère à la capacité du sujet de se répéter intérieurement des informations, autrement dit, le fait de pouvoir « se parler dans sa tête » (Baddeley et Hitch, 2019).

Le calepin visuospatial occupe la même fonction que la boucle phonologique, mais en ce qui concerne les informations de nature visuelle et spatiale. Ce système auxiliaire participe donc au maintien en mémoire de contenus visuels (p. ex. des points, des lignes, des formes, des blocs, des matrices, des couleurs) ainsi qu'à leur disposition et leur mobilité dans l'espace (p. ex. leurs localisations, orientations ou déplacements). Le calepin visuospatial participe à la réalisation de plusieurs tâches, telles que conduire un véhicule, donner des directives concernant un trajet, décrire un lieu sans y être présent,

s'orienter chez soi en noirceur ou encore, visualiser des objets et faire des rotations mentales (Baddeley, 2007). Il est proposé que les mécanismes employés soient similaires à ceux utilisés par la boucle phonologique. Ainsi, du nouveau contenu visuo-spatial pourrait être conservé brièvement sous forme d'empan passif dans une structure appelée la cache visuelle (*visual cache*). Il serait toutefois possible de prolonger la trace de ces éléments en mémoire grâce à un système de récapitulation, appelé le transcritteur interne (*inner scribe* ; Logie, 1995; Logie, 2011). Parmi les stratégies de récapitulation à l'étude, il est envisagé que l'individu procède à la visualisation mentale de l'élément à rappeler en s'appuyant sur ses représentations situées en mémoire à long terme (Baddeley et Andrade, 2000).

Enfin, le tampon épisodique favorise l'intégration des informations provenant de la boucle phonologique et du calepin visuo-spatial. Son code multimodal permettrait d'augmenter la capacité de MDT, car les éléments transformés et regroupés utilisent moins d'espace mental (Baddeley, 2012). Par ailleurs, le tampon épisodique participe aussi à la création de liens en associant les informations à traiter avec les connaissances situées en mémoire à long terme (Baddeley, 2000). Ceci permet d'expliquer certains phénomènes, comme le fait que des phrases puissent être plus facilement rappelées que des phonèmes sans signification ou alors qu'un stimulus visuel soit perçu comme un tout cohérent pour l'individu et non comme un amalgame de caractéristiques isolées (Baddeley, 2007; Baddeley et Hitch, 2019). Le tampon épisodique combine donc les éléments provenant de différentes dimensions, alliant l'expérience perçue dans le présent avec les connaissances et souvenirs de l'individu.

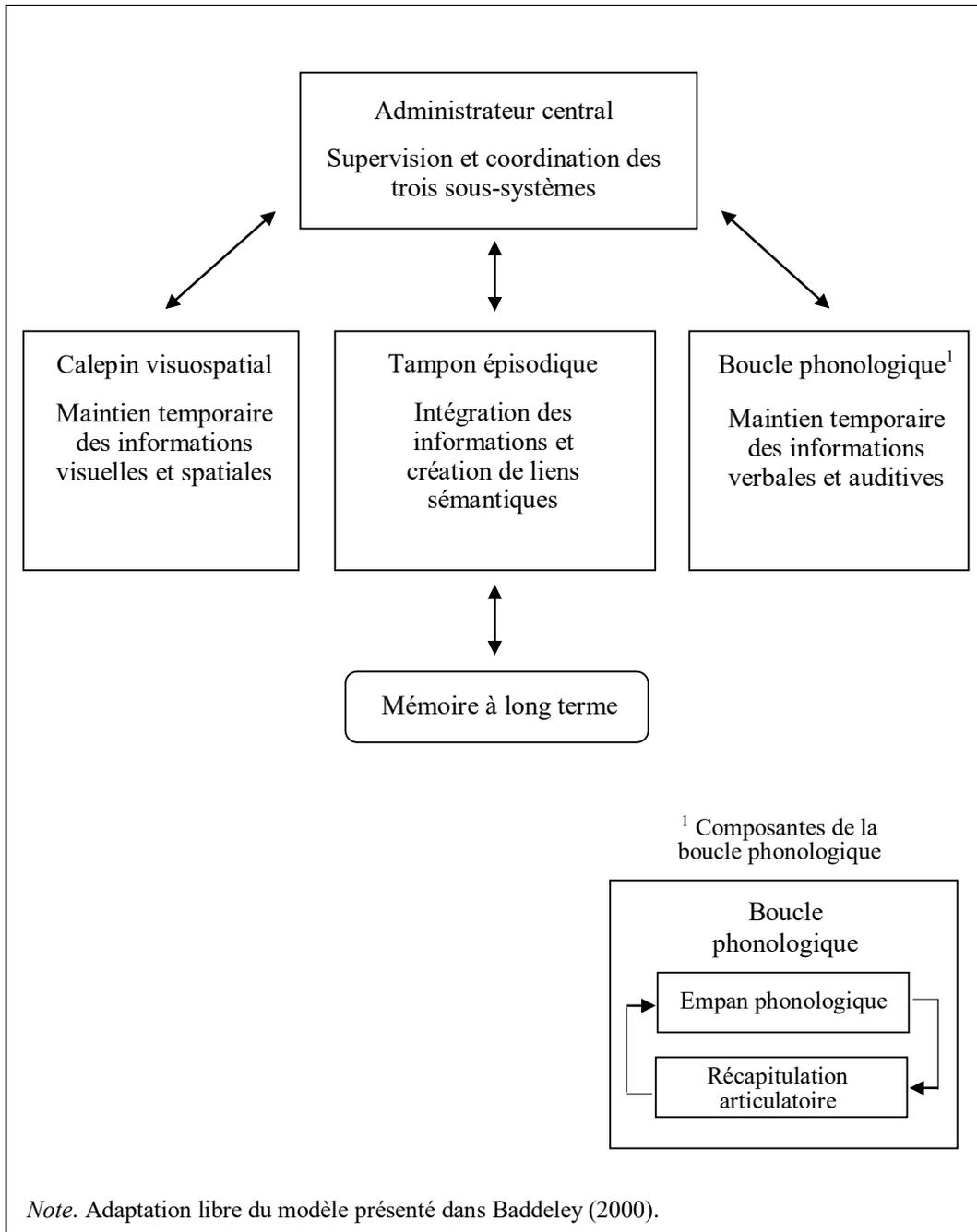


Figure 1.1. Modèle de la mémoire de travail à composantes multiples.

1.4.4 Relation de la mémoire de travail avec la lecture et l'écriture

La cooccurrence des difficultés d'apprentissage et des faiblesses en MDT est bien établie dans les écrits scientifiques. La présence de déficits en MDT serait d'ailleurs fréquente chez les enfants présentant des difficultés scolaires en lecture, en écriture et en mathématique (Gathercole et al., 2016; Siegel et Ryan, 1989; Swanson, 2015). En outre, les capacités de MDT en bas âge permettraient de prédire les performances scolaires ultérieures, et ce, jusqu'à six ans plus tard (Alloway et Alloway, 2010; Alloway et al., 2005; Bull, Espy et Wiebe, 2008). L'intérêt d'étudier la MDT en lien avec la dyslexie provient du fait que des difficultés importantes dans ce domaine sont souvent rapportées chez les individus dyslexiques. Ces faiblesses en MDT seraient antérieures aux problèmes d'apprentissage, persisteraient à l'âge adulte et ne pourraient s'expliquer par un faible rendement intellectuel (Smith-Spark, Henry, Messer, Edvardsdottir et Zięcik, 2016; Swanson, Xinhua et Jerman, 2009).

1.4.4.1 Mémoire de travail et lecture

Comme il a été mentionné, le déficit phonologique demeure l'hypothèse la plus étudiée pour expliquer la dyslexie. Les capacités phonologiques affectées incluent notamment la conscience phonologique, la mémoire verbale à court terme et la dénomination verbale rapide (Swanson, 2015). Ces problèmes de traitement phonologique nuisent à l'apprentissage de la lecture de deux façons : 1) ils affectent la capacité de décoder les mots et d'accéder à leur signification ; 2) en retour, cette identification lente ou inexacte des mots peut entraîner d'importants problèmes de compréhension. Or, il est envisagé que les faibles capacités phonologiques soient associées aux faiblesses en MDT et que l'ensemble contribue aux difficultés présentes dans l'acquisition de la lecture (Vellutino et al., 2004).

Lors de l'apprentissage de la lecture, l'enfant doit parvenir à associer les unités de la parole à celles de la langue écrite. Pour cette raison, la capacité de conscience phonologique est considérée comme un prérequis important dans le décodage, car elle permet d'identifier et de manipuler les composantes phonologiques du langage (Castles et Coltheart, 2004). Pour lire un mot, le lecteur doit ainsi procéder à la conversion de graphèmes en phonèmes de façon active et continue, car les premiers éléments convertis doivent être gardés en mémoire pendant que les graphèmes subséquents sont traités (Inserm, 2007). La MDT soutiendrait la capacité de conscience phonologique en conservant les informations verbales en mémoire et en permettant leur traitement mental. Le rôle de la MDT est considéré plus important dans les phases précoces d'apprentissage, lorsque l'enfant déchiffre essentiellement les mots à l'aide de la voie d'assemblage (voir à ce sujet la section 1.2.4.1). Comme l'apprenti-lecteur procède par analyse séquentielle, les graphèmes du mot à lire doivent être conservés en MDT le temps de procéder à l'assemblage et de l'apparier au mot correspondant et à sa signification (Mazeau et Pouhet, 2014).

La mémoire à court terme réfère précisément au matériel que la boucle phonologique maintient activé de façon temporaire. Des déficits au sein de la mémoire à court terme verbale sont abondamment rapportés chez les individus qui présentent des difficultés en lecture, tant chez les enfants que les adultes (Chamberlain, Brunswick, Siev et McManus, 2018; Smith-Spark et Fisk, 2007; Swanson, 2015; Wang et Gathercole, 2013). De faibles performances obtenues à des tâches verbales d'empan ou de répétition de non-mots peuvent indiquer des problèmes sur le plan de la récapitulation articulatoire de la boucle phonologique (Majerus et Poncelet, 2009). La mémoire verbale à court terme influence directement la qualité du décodage graphophonémique, un processus qui s'avère essentiel lorsque la lecture n'est pas encore automatisée. Une capacité d'empan adéquate permettra le maintien en tête des éléments phonologiques

activés afin de les manipuler et de recréer la forme sonore du mot (Demont et Botzung, 2003). La boucle phonologique serait davantage sollicitée chez les lecteurs novices, car les unités à analyser au sein de chaque mot sont plus petites et plus nombreuses (Mazeau et Pouhet, 2014).

Par ailleurs, des faiblesses en dénomination rapide automatisée sont souvent rapportées chez les individus dyslexiques. Cette capacité est mesurée par la vitesse de dénomination (ou vitesse d'accès lexical) à l'aide de tâches dans lesquelles des items hautement familiers (lettres, chiffres, couleurs) doivent être nommés le plus rapidement possible (Wolf, Bowers et Biddle, 2000). Une lenteur significative à ce type d'épreuves chez de jeunes enfants prédit des problèmes ultérieurs en lecture (Araújo et al., 2011; Duncan et al., 2013). Ce ralentissement de vitesse chez les dyslexiques serait lié à un problème de récupération des informations stockées en mémoire à long terme. Des difficultés à emmagasiner et accéder aux représentations phonologiques pourraient refléter un fonctionnement déficitaire de la MDT dans son ensemble (Poncellet, 2009).

Si la MDT joue un rôle incontournable dans la capacité à identifier les mots chez l'apprenti-lecteur, cette contribution s'amenuise avec l'automatisation de la lecture. En revanche, la MDT demeure en tout temps essentielle pour comprendre l'écrit et ce, indépendamment du niveau de lecture. Afin d'accéder au sens du texte, le lecteur doit emmagasiner l'information qui vient d'être lue en même temps qu'il procède au traitement de celle qu'il s'apprête à lire. Les différentes phrases doivent être reliées les unes aux autres et de nouveaux liens sémantiques sont créés par le lecteur à partir de son propre bagage de connaissances (Demont et Botzung, 2003). Le tampon épisodique de la MDT participerait au développement de modèles mentaux lors de la lecture et, avec l'aide de l'administrateur central, favoriserait l'intégration des informations lues avec les connaissances situées en mémoire à long terme (Woolley, 2011). Enfin,

comme la MDT est en soi une ressource limitée, une lecture non fluide aura pour effet d'accaparer le lecteur dans l'activité de décodage et de compromettre sa capacité de compréhension (Ehri, 2005a). Lorsque la plupart des mots sont reconnus globalement à l'aide de la voie lexicale, la boucle phonologique peut emmagasiner des unités plus grandes (des mots entiers au lieu de graphèmes isolés). Les énergies déployées à identifier les mots peuvent désormais être consacrées aux processus de haut niveau : la MDT contribue dès lors à bâtir une représentation mentale cohérente et unifiée du texte à lire (Kendeou et al., 2014; Mazeau et Pouhet, 2014).

1.4.4.2 Mémoire de travail et écriture

Si la lecture peut se réaliser sans effort lorsque les mécanismes d'identification des mots sont suffisamment automatisés, bien écrire demeure une activité cognitive exigeante. Alors que plusieurs adultes dyslexiques développent un bon niveau de lecture grâce à l'utilisation de stratégies de compensation, leurs capacités à orthographier correctement les mots resteront déficitaires pour la plupart d'entre eux (Berninger, Nielsen, Abbott, Wijsman et Raskind, 2008; Sterling, Farmer, Riddick, Morgan et Matthews, 1998). Comme pour la lecture, les recherches disponibles suggèrent que la MDT est fortement impliquée dans les processus d'écriture, notamment dans les tâches d'orthographe et de dictées de mots (Berninger, 2009; Torrance et Jeffery, 1999). Pour écrire un mot inconnu (p. ex. *écouvillon*), la forme sonore du mot doit être activée et conservée à l'aide de la boucle phonologique de la MDT (*l'individu se répète [ekuvijõ]*). Le mot doit ensuite être segmenté (*é-cou-vi-llon*) pour retrouver la combinaison de phonèmes et de lettres qui correspond à sa forme écrite. Pour écrire un mot connu (p. ex. *orchestre*), la forme orthographique doit plutôt être remémorée, maintenue temporairement en mémoire, transcrite et enfin, le produit écrit est comparé avec la représentation cognitive du mot en question (Inserm, 2007;

Vanderberg et Swanson, 2007). La MDT est donc impliquée dans le maintien et le traitement mental des éléments verbaux, mais aussi dans la récupération en mémoire à long terme des connaissances pertinentes (Kellogg, Olive et Piolat, 2007).

La qualité du lexique orthographique est cruciale pour écrire dans une langue opaque comme le français, qui comprend un nombre élevé d'irrégularités. Le choix de la graphie doit en plus tenir compte du contexte de la phrase et des règles de grammaire applicables (Pacton, Fayol et Perruchet, 1999). La MDT soutiendrait l'orthographe en exerçant un contrôle attentionnel et en supervisant les processus en cours. Par exemple, pour écrire des mots homophones ou des morphèmes qui ne se prononcent pas oralement (p. ex. *davantage/d'avantage, il chante/ils chantent*), l'administrateur central pourrait constater l'absence d'indice phonologique et par conséquent privilégier une stratégie sémantique (Negro et Chanquoy, 1999). À ce sujet, les enfants dyslexiques seraient moins efficaces dans leurs processus de révision et le nombre et type d'erreurs commises seraient en lien avec leurs faiblesses en MDT verbale (Morken et Helland, 2013). Les problèmes dans le traitement des tâches impliquant l'administrateur central pourraient s'expliquer par le déficit généralisé en MDT retrouvé chez plusieurs enfants et adultes dyslexiques (Carretti, Borella, Cornoldi et De Beni, 2009; Smith-Spark et al., 2016; Wang et Gathercole, 2013). En résumé, la sévérité des déficits en orthographe dans la dyslexie ne peut s'expliquer exclusivement par les retards cumulés en lien avec le domaine d'apprentissage. Une MDT appauvrie contribuerait notamment à la survenue d'erreurs de nature attentionnelle et exécutive dans les processus d'écriture (p. ex. détection des erreurs, gestion des tâches, choix des stratégies, récupération des règles en mémoire).

Les études sur la MDT distinguent la production écrite sous dictée (orthographe des mots ou phrases) de la rédaction de textes à proprement dit. Avec la pratique et

l'enseignement nécessaire, plusieurs individus développent de bonnes habiletés d'orthographe : certaines stratégies d'automatisation sont mises en place et la MDT n'est plus constamment sollicitée (Bonin et Delattre, 2010). En fait, différentes habiletés peuvent faciliter l'exécution et la révision du travail d'écriture (p. ex. graphomotricité, intégration des règles grammaticales et d'orthographe, vitesse en relecture, etc.). En comparaison, la composition écrite est considérée comme une tâche plus difficile que l'orthographe et à ce sujet, compterait même parmi les activités cognitives les plus exigeantes chez l'humain (Ransdall et Levy, 1999). Le rôle de la MDT est considéré essentiel dans les tâches de rédaction et cet apport pourrait être encore plus important chez les experts qui s'engagent dans des processus mentaux de plus haut niveau (Torrance et Jeffery, 1999). Dans cet ordre d'idées, les études auprès d'individus ayant d'excellentes aptitudes rédactionnelles indiquent que ces derniers présentent aussi de bonnes habiletés en MDT (Alamargot, Caporossi, Chesnet et Ros, 2011). Ces résultats peuvent s'expliquer par la complexité que représente la rédaction de textes, une tâche composée de buts multiples qui implique la gestion mentale d'informations et de processus en interaction (McCutchen, 2011).

Le modèle à composantes multiples de Baddeley et Hitch (1974, 2000) a été adapté par Kellogg (1996) afin d'illustrer le rôle de la MDT et de ses composantes dans les processus d'écriture. La rédaction est conceptualisée en trois grandes étapes : 1) *la formulation* qui consiste à élaborer un plan ainsi qu'à générer, organiser et traduire des idées en phrases ; 2) *l'exécution* qui traite des étapes liées à la production du travail sous sa forme physique (transcrire le texte à la main ou à l'ordinateur) et 3) *le monitoring* qui inclut les étapes de relecture et de révision menant au produit final. La rédaction étant une activité dynamique, les processus interagissent entre eux et peuvent à certains moments se produire simultanément (Kellogg, Whiteford, Turner, Cahill et Mertens, 2013). Il est envisagé que la MDT soit l'espace mental où se

déroulent ces processus de rédaction. Par exemple, la planification requiert de conserver et de traiter un grand nombre d'informations, souvent accessibles temporairement (idées qui surgissent) et de réfléchir à ces informations pendant que d'autres processus peuvent interférer et interrompre le cours de la réflexion (Olive, 2012). L'exécution grapho-motrice serait l'étape la moins énergivore, mais seulement lorsque le geste d'écrire est automatisé : chez les jeunes enfants en apprentissage, cette phase serait très coûteuse sur le plan cognitif (McCutchen, 1996). Enfin, la MDT est fortement sollicitée pendant le monitoring : en plus de réviser le texte pour qu'il soit conforme aux exigences de la langue (corriger les erreurs, vérifier la syntaxe et le vocabulaire choisi, etc.), le scripteur doit faire preuve d'analyse (évaluer si le produit correspond aux attentes) et de flexibilité mentale (considérer le point de vue de l'auditoire ; Alamargot et al., 2011; Kellogg et al., 2013; Ransdall et Levy, 1999).

Comme la tâche de rédaction est complexe, le scripteur peut facilement se retrouver en surcharge cognitive (Torrance et Jeffery, 1999). Pour cette raison, le rôle de l'administrateur central de la MDT serait essentiel pour partager les ressources attentionnelles, superviser les processus en cours et distribuer les tâches entre ses sous-systèmes (boucle phonologique, calepin visuospatial et tampon épisodique). Si l'administrateur central est toujours impliqué dans la rédaction, sa charge sera temporairement réduite lorsque l'individu peut utiliser des stratégies et s'appuyer sur son expertise ou ses connaissances. Pour sa part, la boucle phonologique participerait activement à l'étape de formulation pour traduire les idées en éléments verbaux concrets (mots et phrases) et pendant la révision lorsque le scripteur doit lire son texte (Kellogg, 1999; Kellogg et al., 2013). Enfin, le tampon épisodique aiderait à intégrer les connaissances à long terme en s'assurant que des indices de récupération soient portés à l'attention du scripteur pendant la rédaction. Le tampon épisodique permettrait aussi de créer une représentation intégrée du texte en combinant ses différentes

dimensions entre elles (p. ex. aspects détaillés et généraux, contenu verbal et sémantique, organisation visuospatiale des paragraphes ; Olive, 2012).

1.4.4.3 Rôle du calepin visuospatial dans la lecture et l'écriture

Si la présence de déficits phonologiques est bien établie dans la dyslexie, les résultats concernant les difficultés visuospatiales sont plus mitigés (Chamberlain et al., 2018; Lipowska, Czaplewska et Wysocka, 2011). Néanmoins, des faiblesses en MDT visuospatiale sont souvent rapportées chez les personnes dyslexiques et plusieurs études indiquent que celles-ci surviendraient lors des tâches de MDT plus complexes ou exigeantes cognitivement (Bacon et Handley, 2014; Smith-Spark, Fisk, Fawcett et Nicolson, 2003; Smith-Spark et Fisk, 2007). En fait, il est envisagé que les problèmes de mémoire visuospatiaux dans la dyslexie soient causés par un désordre exécutif (p. ex. choix des stratégies, flexibilité dans la tâche) en lien avec une surcharge plus fréquente de l'administrateur central de la MDT (Bacon, Parmentier et Barr, 2013). Par conséquent, les effets se feraient ressentir sur l'ensemble des composantes de la MDT, dont le calepin visuospatial. À ce sujet, plusieurs auteurs soulignent le caractère généralisé des problèmes de MDT chez les enfants et les adultes dyslexiques, car les difficultés se présentent aussi sur le plan visuel lorsque la demande exécutive est accrue (Bacon et al., 2013; Carretti et al., 2009; Smith-Spark et al., 2016).

Même si la relation entre la MDT visuospatiale et le langage écrit a fait l'objet de moins d'études que la MDT verbale, il est suggéré que le calepin visuospatial soit aussi impliqué dans certains processus de lecture et d'écriture (Giofrè, Donolato et Mammarella, 2018). Par exemple, lors de l'apprentissage de la lecture, les enfants doivent intégrer visuellement les lettres et leurs constantes (forme, orientation). Le

calepin visuospatial aiderait à reconnaître visuellement les lettres lors de l'apprentissage de l'alphabet ainsi qu'à associer chaque lettre à son symbole correspondant pendant le décodage (Pham et Hasson, 2014). Lorsque la lecture devient fluide, l'enfant s'appuierait sur les caractéristiques visuelles des lettres en reconnaissant la « forme » du mot comme un tout (Giovagnoli, Vicari, Tomassetti et Menghini, 2016). Chez les experts, le calepin visuospatial pourrait aider à parcourir visuellement un texte afin de se représenter sa structure (organisation des paragraphes). Survoler rapidement un texte permettrait aussi de capturer l'essentiel des informations factuelles, ce qui faciliterait la compréhension de lecture (Pham et Hasson, 2014).

Pendant la rédaction, le calepin visuospatial serait essentiellement sollicité dans la planification : les composantes visuelles serviraient à générer des idées et les composantes spatiales à structurer le texte. La MDT visuelle permettrait de visualiser des idées et de les maintenir en mémoire pour mieux les élaborer (Olive, 2012). La récupération des connaissances concernant les mots concrets (p. ex. arbre) dépendrait de la disponibilité de la MDT visuelle, possiblement en raison de l'importance de la visualisation mentale pour accéder aux informations liées à ces concepts (Kellogg, 1999). La MDT spatiale servirait à élaborer des graphiques, des plans ainsi qu'à organiser les idées de façon hiérarchique. Le calepin visuospatial permettrait donc de créer ces outils visuels et de les réviser mentalement au besoin afin de les optimiser (Kellogg et al., 2013). Enfin, avoir un accès constant à l'organisation et à la disposition générale du texte pourrait faciliter les étapes de révision (Olive, 2012).

1.4.5 Remédiation cognitive de la mémoire de travail

Les interventions de remédiation cognitive (entraînements cognitifs ou *brain training*) connaissent un engouement ces dernières années, tant dans le milieu scientifique qu'auprès de la population (Rabipour et Raz, 2012). Les programmes de remédiation cognitive représentent des interventions intensives qui portent directement sur les fonctions cognitives atteintes et les réseaux neuronaux concernés (Parent et Guay, 2010). L'efficacité de ces interventions serait fondée sur le phénomène de plasticité cérébrale, soit la capacité du cerveau à se restructurer avec la répétition d'expériences significatives et à s'adapter favorablement dans des situations similaires (Kleim et Jones, 2008). Plusieurs chercheurs se sont penchés plus précisément sur la possibilité d'améliorer la MDT, une capacité qui a longtemps été envisagée comme un trait stable chez les individus (Miller, 1955). Le rationnel sous-jacent de ce domaine de recherche pourrait se résumer ainsi : comme la MDT est une habileté fondamentale impliquée dans la réalisation de plusieurs tâches de haut niveau (p. ex. raisonnement, mathématique, compréhension de lecture, rédaction), il est envisagé que même une petite amélioration puisse avoir des répercussions importantes dans la vie des participants entraînés (Morrison et Chein, 2011).

À la fin de la remédiation cognitive, deux types de gains sont attendus : 1) une amélioration de la fonction entraînée (p. ex. la MDT) et 2) des améliorations sur des fonctions différentes (p. ex. attention, fonctions exécutives, raisonnement) qui s'expliqueraient par un processus de transfert ou de généralisation des acquis. Les premiers travaux sur le sujet ont été réalisés auprès d'enfants présentant un trouble du déficit de l'attention (TDAH), une condition dont l'une des caractéristiques principales est la présence d'un déficit des fonctions exécutives, dont la MDT fait partie. Après cinq semaines d'entraînement, les résultats suggèrent que la MDT serait entraînable et

que les acquis faits en lien avec cette fonction peuvent se généraliser et améliorer des fonctions cognitives différentes comme l'inhibition et le raisonnement (Klingberg et al., 2005; Klingberg et al., 2002). Cette généralisation s'expliquerait par le partage des réseaux neuronaux de la MDT avec d'autres fonctions exécutives ainsi que du haut niveau de plasticité de ces réseaux (Klingberg, 2010).

Depuis la publication de ces travaux, les études de remédiation cognitive de la MDT se sont multipliées auprès d'individus de tous âges et issus de la population normale comme clinique (Shipstead, Redick et Engle, 2012). Des gains post-entraînement variés ont été rapportés, concernant entre autres l'intelligence fluide (Jaeggi et al., 2008), l'attention (Groppe, Gotlieb, Kronitz et Tannock, 2014), le fonctionnement cognitif dans la vie de tous les jours (Brehmer, Westerberg et Bäckman, 2012) et la réduction des symptômes à la suite d'un traumatisme crânien (Johansson et Tornmalm, 2012). Cette pratique demeure toutefois controversée : si des experts font la promotion de l'efficacité des entraînements de la MDT (p. ex. Jaeggi et al., 2008; Klingberg et al., 2005; Klingberg et al., 2002; Schmiedek, Lövdén et Lindenberger, 2010; von Bastian et Oberauer, 2013), un nombre équivalent remet en doute la portée des gains obtenus en affirmant que les véritables effets de généralisation seraient limités, voire inexistants (p. ex. Melby-Lervåg, Redick et Hulme, 2016; Owen et al., 2010; Shipstead, Redick, et al., 2012). Étant donné les liens étroits que la MDT entretient avec les habiletés de lecture et d'écriture, il est indiqué d'examiner plus en détail les études de remédiation cognitive ayant été développées dans ce contexte.

1.4.6 Entraînements de la mémoire de travail en lien avec la lecture-écriture

Les études portant sur l'évaluation d'un programme d'entraînement de la MDT auprès d'enfants dans un contexte de lecture-écriture ont été examinées. Les critères

d'inclusion sont les suivants : 1) le programme examiné comporte majoritairement des exercices de MDT (p. ex. tâches d'empan simple et complexe ou de *n-back*). Par conséquent, les programmes avec une composante autre que la MDT ne sont pas considérés (p. ex. un entraînement combiné de MDT et de mathématique) ; 2) l'étude compte au moins une variable dépendante de lecture ou d'écriture ; 3) les participants sont des enfants (0-17 ans) ; 4) l'étude inclut au moins un groupe de comparaison (passif ou actif) et 5) l'article est rédigé en français ou en anglais. Suivant ces critères, 24 études ont été retenues issues d'articles publiés sur une période de dix ans (2009 à 2018). Il est à noter que le présent chapitre se termine avec deux tableaux-synthèses portant sur ces études : le tableau 1.1 (pp. 52-55) porte sur les caractéristiques principales avec des détails sur les domaines d'apprentissage étudiés, la population, la méthode et les interventions de l'étude alors que le tableau 1.2 (pp. 60-65) inclut les principaux résultats portant sur les variables d'intérêt de cette thèse, soit les capacités de MDT et les habiletés de lecture et d'écriture. À la lumière des résultats obtenus, il est spécifié si les auteurs recommandent l'entraînement de la MDT comme outil d'intervention (*oui, non*) ou s'ils considèrent ne pas avoir assez d'informations pour se positionner (*peut-être*). Enfin, les faiblesses méthodologiques de chaque étude sont rapportées dans la dernière colonne, le cas échéant.

1.4.6.1 Caractéristiques principales des études (tableau 1.1)

Tout d'abord, il est constaté que la lecture a davantage été étudiée que l'écriture : une mesure de lecture est incluse dans presque toutes les études alors que moins de la moitié d'entre elles comporte une tâche d'écriture. En lecture, les épreuves les plus retrouvées sont les tâches de lecture de mots et de compréhension ; en écriture, il s'agit généralement de tâches d'orthographe (dictée de mots). Concernant les participants, les populations étudiées sont hétérogènes avec des critères d'inclusion variables (p. ex.

faiblesses en MDT, difficultés attentionnelles ou scolaires, déficience intellectuelle, faible niveau socio-économique, enfants tout-venant). Seulement trois études ont été menées auprès de participants dyslexiques et ceux-ci étaient des élèves chinois scolarisés en mandarin (Luo et al., 2013; Yang et al., 2017 : *études 1 et 2*). Bien qu'une grande étendue d'âge soit retrouvée (4 à 17 ans), la plupart des élèves sont de niveau primaire avec une moyenne d'âge d'environ 9 ans. Les langues étudiées sont alphabétiques à l'exception des trois études menées auprès des élèves chinois. Dans la plupart des études, l'anglais est la langue de scolarisation des participants et il à noter qu'aucune étude n'a été menée auprès d'élèves francophones.

Concernant la méthode choisie, les participants ont été assignés aléatoirement (devis expérimental) dans un peu plus de la moitié des études. Une évaluation du maintien des acquis est aussi retrouvée environ une fois sur deux, mais cette durée demeure variable (10 semaines à 2 ans). Concernant les interventions, le programme d'entraînement le plus administré est *Cogmed* (RoboMemo®, Cogmed Cognitive Medical Systems AB, Stockholm, Suède). Divers paramètres d'entraînement sont retrouvés, mais ceux-ci sont généralement semblables à ce qui est retrouvé dans le cadre du programme *Cogmed* (c.-à-d. des séances d'environ 40 minutes, 4 à 5 fois par semaine pendant 5 à 7 semaines). Quelques études ont porté sur l'entraînement d'un très petit nombre de tâches (1 ou 2) ou alors ne comportaient des exercices que d'une seule modalité de MDT (verbale ou visuospatiale). Seulement une intervention portait sur l'enseignement explicite de stratégies de MDT (St Clair-Thompson, Stevens, Hunt et Bolder, 2010). Enfin, l'administration des interventions se réalise le plus souvent dans le milieu scolaire sous la supervision d'assistants de recherche. Des informations supplémentaires concernant les entraînements de la MDT (p. ex. différents types, contenus et modalités) peuvent être consultées dans le chapitre II.

Tableau 1.1. Caractéristiques des études d'entraînement de la mémoire de travail en lien avec la lecture et l'écriture chez les enfants

Auteurs	Domaines	Population			Méthode			Intervention		
		Caractéristiques	Âge	Langue	Devis	Conditions ¹	Temps	Programme	Intensité	Lieu ³
Alloway (2012)	Écriture	Diff. scolaires	11-14	Anglais	Exp	Exp (n = 8) C-Alt (n = 7)	Pré Post	Jungle Memory	30 min 3x/sem 8 sem	École (A)
Alloway et al. (2013)	Écriture	Diff. scolaires	\bar{x} = 10-11	Anglais	ns	Exp (n = 23) C-Actif (n = 32) C-Passif (n = 39)	Pré Post M-8 mois	Jungle Memory	30 min 4x/sem 8 sem	École Maison (E + P)
Anderson et al. (2018)	Lecture Écriture	Très grands prématurés ou très faible poids à la naissance	7	Anglais	Exp	Exp (n = 45) C-Actif (n = 46)	Pré Post M-12 et 24 mois	CWMT-RM	35-40 min 4-5x/sem 5-7 sem	Maison (P)
Bigorra et al. (2016)	Lecture	TDAH	7-12	Espagnol	Exp	Exp (n = 35) C-Actif (n = 30)	Pré Post M-6 mois	CWMT-RM	30-45 min 5x/sem 5 sem	Maison (P)
Chacko et al. (2014)	Lecture Écriture	TDAH	7-11	Anglais	Exp	Exp (n = 44) C-Actif (n = 41)	Pré Post	CWMT-RM	30-45 min 5x/sem 5 sem	Maison (P)
Dahlin (2011)	Lecture Écriture	Diff. scolaires et attentionnelles	9-12	Suédois	Quasi	Exp (n = 42) C-Passif (n = 15) C-Actif (n = 25)	Pré Post M-6 mois	CWMT-RM	30-40 min 4-5x/sem 5 sem	École (A)
Dunning et al. (2013)	Lecture Écriture	Diff. en MDT	7-9	Anglais	Quasi	Exp (n = 34) C-Actif (n = 30) C-Passif (n = 30)	Pré Post M-12 mois	CWMT-RM	30-45 min 3-4x/sem 6 sem	École (A)

Tableau 1.1. (*suite*)

Auteurs	Domaines	Population			Méthode			Intervention		
		Caractéristiques	Âge	Langue	Devis	Conditions ¹	Temps	Programme	Intensité	Lieu ³
Egeland et al. (2013)	Lecture	TDAH	10-12	Norvégien	Exp	Exp (n = 34) C-Passif (n = 33)	Pré Post M-8 mois	CWMT-RM	30-45 min 3-4x/sem 5-7 sem	École (A + E)
Foy et Mann (2014)	Lecture	Faible niveau socio-économique	4-6	Anglais	Exp	Exp (n = 23) C-Passif (n = 28)	Pré Post	CWMT-JM	30-40 min 4-5x/sem 5 sem	École (A)
Gray et al. (2012)	Lecture Écriture	Trouble d'apprentissage + diff. attention	12-17	Anglais	Exp	Exp (n = 36) C-Alt (n = 24)	Pré Post	CWMT-RM; (C-Alt : prog. math)	45 min 4-5x/sem 5 sem	École (C)
Henry et al. (2014)	Lecture Écriture	Développement typique	5-8	Anglais	Exp	Exp (n = 18) C-Actif (n = 18)	Pré Post M-6 et 12 mois	Tâches complexes : Odd-one-out et Listening Recall	10 min 3x/sem 6 sem	École (E)
Hitchcock et Westwell (2017)	Lecture	Tout-venant	10-13	Anglais	Exp	Exp (n = 54) C-Actif (n = 45) C-Passif (n = 49)	Pré Post M-3 mois	CWMT-RM	45 min 5x/sem 5 sem	École (E)
Holmes et al. (2009)	Lecture	Faiblesses en MDT	8-11	Anglais	Quasi	Exp (n = 22) C-Actif (n = 20)	Pré Post M-6 mois	CWMT-RM	35 min 3-4x/sem 5-7 sem	École (A)
Holmes et Gathercole (2014)	Lecture	Diff. scolaires	9-11	Anglais	Quasi	Exp (n = 50) ² C-Passif (n = 50)	Pré Post	CWMT-RM	35 min 3-4x/sem 5-7 sem	École (E)

Étude 2

Tableau 1.1. (*suite*)

Auteurs	Domaines	Population			Méthode			Intervention		
		Caractéristiques	Âge	Langue	Devis	Conditions ¹	Temps	Programme	Intensité	Lieu ³
Karbach et al. (2014)	Lecture	Tout-venant	7-9	Allemand	Quasi	Exp (n = 14) C-Actif (n = 14)	Pré Post M-3 mois	BrainTwister (tâche de <i>n-back</i> vsp)	40 min 2-3x/sem 5-7 sem	Labo (A)
Loosli et al. (2012)	Lecture	Tout-venant	9-11	Suisse- allemand	Quasi	Exp (n = 20) C-Passif (n = 20)	Pré Post	Une tâche d'empan complexe vsp	12 min 5x/sem 2 sem	École (A)
Luo et al. (2013)	Lecture	Dyslexie	8-11	Mandarin	Exp	Exp (n = 15) C-Actif (n = 15)	Pré Post	Prog. maison (tâches v et vsp de MCT et MDT)	40 min 5 sem (fréq. ns)	École (A)
Roberts et al. (2016)	Lecture Écriture	Faiblesses en MDT	6-7	Anglais	Exp	Exp (n = 226) C-Passif (n = 226)	Pré M-6, 12 et 24 mois	CWMT-RM	35-60 min 4-5x/sem 5-7 sem	École (A)
Söderqvist et Bergman Nutley (2015)	Lecture	Tout-venant	9-10	Suédois	Quasi	Exp (n = 20) C-Passif (n = 22)	Pré 1 Pré 2 M-24 mois	CWMT-RM version adaptée (moins d'exercices)	20 min 4-5x/sem 5 sem	École (E)
St Clair- Thompson et al. (2010)	Lecture	Tout-venant	5-8	Anglais	Quasi	Exp (n = 117) C-Passif (n = 137)	Pré Post M-5 mois	Memory Booster (stratégies de MDT)	30 min 2x/sem 6-8 sem	École (E)
van der Donk et al. (2015)	Lecture Écriture	TDAH	8-12	Néerlandais	Exp	Exp (n = 50) C-Alt (n = 50)	Pré Post M-6 mois	CWMT-RM; (C-Alt : prog. stratégies MDT)	45 min 5x/sem 5 sem	École (A)

Tableau 1.1. (*suite*)

Auteurs	Domaines	Population			Méthode			Intervention		
		Caractéristiques	Âge	Langue	Devis	Conditions ¹	Temps	Programme	Intensité	Lieu ³
Van der Molen et al. (2010)	Lecture	DI légère ou intelligence limite	13-16	Néerlandais	Exp	Exp (n = 41) C-Actif 1 (n = 27) C-Actif 2 (n = 27)	Pré Post M-10 sem	Prog. maison (tâche d'empan complexe)	6 min 3x/sem 5 sem	École (E)
Yang et al. (2017) <i>Étude 1</i>	Lecture	Dyslexie	$\bar{x} = 9$	Mandarin	Exp	Exp (n = 12) C-Alt (n = 11)	Pré Post	Entraînement de MDT v de <i>n-back</i> (C-Alt = jeu vidéo)	15 min 5x/sem 3 sem	École (A)
Yang et al. (2017) <i>Étude 2</i>	Lecture	Dyslexie	$\bar{x} = 9$	Mandarin	Exp	Exp (n = 11) C-Alt (n = 11)	Pré Post	Entraînement de MDT vsp (C-Alt = jeu vidéo)	15 min 5x/sem 3 sem	École (A)

Note : ns = non spécifié, Diff. = difficultés, DI = déficience intellectuelle, MCT = mémoire à court terme, MDT = mémoire de travail, Exp = expérimental, Quasi = quasi-expérimental, C = contrôle, Alt = alternatif, Pré = pré-intervention, Post = post-intervention, M = maintien des acquis, fréq. = fréquence, min = minutes, sem = semaines, prog. = programme, v = verbale, vsp = visuospatiale, math = mathématique CWMT = Cogmed Working Memory Training, Labo = laboratoire.

¹ Le *groupe expérimental* reçoit le traitement ; le *groupe contrôle actif* reçoit une intervention semblable à celle du groupe expérimental mais variant sur un ou plusieurs aspects (p. ex. non-adaptée à la performance du participant, les niveaux de difficultés présentés sont plus faciles ou l'intensité est moindre) ; le *groupe contrôle alternatif* reçoit un programme d'entraînement différent de celui administré au groupe expérimental (p. ex. programme d'entraînement ciblant les habiletés en mathématique) ; le *groupe contrôle passif* ne reçoit aucun traitement.

² Étude de Holmes et Gathercole (2014) : dans les deux conditions, les participants sont divisés en deux cohortes de 25 (5^e et 6^e année primaire).

³ Les responsables de la supervision des entraînements sont spécifiés sous le lieu de l'intervention : (A) = Assistants de recherche, (C) = conseillers pédagogiques, (E) = enseignants, (P) = parents.

1.4.6.2 Résultats principaux de mémoire de travail, lecture et écriture (tableau 1.2)

D'emblée, il est difficile de faire un bilan des travaux examinés puisque les résultats obtenus varient grandement selon les études. Néanmoins, les différents entraînements mènent généralement à l'amélioration de la fonction entraînée, soit la MDT. Ainsi, la majorité des auteurs rapportent des améliorations significatives en MDT chez les groupes entraînés : pour la plupart, ces progressions se maintiennent en plus dans le temps (p. ex. Bigorra et al., 2016; Egeland et al., 2013; Henry et al., 2014; Holmes et al., 2009; van der Donk et al., 2015). Concernant la généralisation des acquis aux mesures de lecture ou d'écriture, les résultats sont toutefois plus divergents. En fait, des améliorations significatives sont rapportées dans environ la moitié des études ayant inclus de telles mesures.

En résumé, des améliorations sur le plan de la lecture ont été rapportées à la suite d'un entraînement de MDT chez des élèves tout-venant (Karbach et al., 2014; Loosli et al., 2012) et présentant un trouble du déficit de l'attention avec hyperactivité (TDAH ; Egeland et al., 2013). Un portrait similaire est retrouvé en compréhension de lecture, alors que l'entraînement bénéficie à des enfants au développement typique (Henry et al., 2014; Söderqvist et Bergman Nutley, 2015), mais aussi à ceux présentant des difficultés combinées sur le plan scolaire et attentionnel (Dahlin, 2011). Par ailleurs, Holmes et Gathercole (2014) obtiennent des résultats mixtes : à une mesure combinée de lecture-écriture, des progrès liés à l'entraînement de MDT sont constatés chez des élèves présentant des difficultés scolaires, mais seulement pour une de leurs deux cohortes (en 6^e année mais non en 5^e année). Alloway, Bibile et Lau (2013) sont pour leur part les seules à relever des améliorations post-entraînement sur le plan de l'orthographe et ce, auprès de participants présentant aussi des difficultés scolaires. Il

est à noter que plusieurs des études recensées décrivent leurs participants comme ayant des *difficultés scolaires* sans préciser davantage la nature et sévérité de leurs difficultés. Cette appellation est peu informative, car elle peut s'appliquer à un grand nombre d'enfants présentant des conditions et problématiques variées. Ce faisant, il n'est pas possible de connaître la proportion des élèves entraînés qui présentaient des difficultés en lecture-écriture ou de savoir si certains d'entre eux étaient dyslexiques.

Une question récente du domaine d'études porte sur les différences individuelles, soit de comprendre qui bénéficie le plus des entraînements de la MDT et pour quelles raisons. Il est notamment envisagé que les élèves plus faibles ou ayant des déficits plus ciblés puissent s'améliorer davantage à la suite de l'intervention en comparaison aux enfants tout-venant (Diamond, 2013; Egeland et al., 2013; Jaeggi, Buschkuhl, Jonides et Shah, 2012; Titz et Karbach, 2014; van der Donk et al., 2015; von Bastian et Oberauer, 2014). Dans ce contexte, les études d'entraînement de la MDT auprès d'élèves dyslexiques sont particulièrement intéressantes pour mesurer les impacts spécifiques de l'intervention sur le langage écrit. Or, seulement deux groupes de chercheurs ont évalué des entraînements de la MDT auprès de participants dyslexiques (élèves chinois scolarisés en mandarin). Luo et al. (2013) ont observé des améliorations significatives sur le plan de la conscience phonologique et en lecture à la suite d'un entraînement maison de la MDT combinant des exercices verbaux et visuospatiaux. Yang et al. (2017) ont pour leur part réalisé deux études avec des entraînements cognitifs distincts (tâche de *n-back* verbale ou visuospatiale). Les résultats indiquent que les participants entraînés sur le plan verbal se sont améliorés significativement sur des mesures de conscience phonologique et de fluidité en lecture. À la suite de l'entraînement visuospatial, les améliorations sont plutôt constatées sur la capacité de décision lexicale (identification de caractères visuels correspondant à des mots chinois).

Au contraire, d'autres chercheurs ne rapportent aucun gain significatif en lecture ou en écriture à la suite d'un entraînement de la MDT auprès d'élèves présentant des difficultés en MDT (Dunning et al., 2013; Roberts et al., 2016) ou un TDAH (Bigorra et al., 2016; Chacko et al., 2014; van der Donk et al., 2015). Parmi les hypothèses à l'étude, il est envisagé que le transfert des gains liés aux apprentissages scolaires nécessite une plus grande période de temps pour se réaliser. Plusieurs devis ne permettraient donc pas d'examiner adéquatement ce phénomène en raison d'une évaluation du maintien des acquis inexistante ou trop rapprochée dans le temps. Dans cet ordre d'idées, des chercheurs ont identifié des gains post-entraînement plusieurs mois après l'intervention, ce qui suggère que les participants continuent de s'améliorer au-delà de la durée du traitement (Henry et al., 2014; Holmes et Gathercole, 2014; Holmes et al., 2009; Söderqvist et Bergman Nutley, 2015). Néanmoins, d'autres chercheurs ayant aussi évalué les participants à plus long terme n'ont pas constaté de telles améliorations (p. ex. Anderson et al., 2018; Hitchcock et Westwell, 2017; Roberts et al., 2016; van der Donk et al., 2015).

En conclusion, la comparaison des travaux sur les entraînements de la MDT dans un contexte de lecture-écriture est complexifiée par les caractéristiques distinctives de chaque étude (population étudiée, choix des mesures et de l'intervention). Plusieurs faiblesses méthodologiques ont également été identifiées dans l'ensemble des études. Les problèmes potentiels concernent notamment la faible adhésion au traitement (Anderson et al., 2018; Hitchcock et Westwell, 2017), l'absence d'évaluation à court terme de l'intervention (Holmes et Gathercole, 2014; Söderqvist et Bergman Nutley, 2015), l'absence de mesures de MDT standardisées (Egeland et al., 2013; Loosli et al., 2012; Yang et al., 2017) mais aussi le manque d'informations par rapport à l'équivalence initiale des groupes (Roberts et al., 2016; Van der Molen et al., 2010). De plus, les données des mesures principales et les tailles d'effet ne sont pas toujours

disponibles, rendant difficile d'évaluer l'ampleur du changement et la valeur clinique des gains rapportés. Concernant plus précisément l'utilité des interventions de MDT dans un contexte de dyslexie au Québec, les données de recherche s'avèrent présentement incomplètes puisqu'aucune étude n'a été menée auprès d'élèves francophones présentant une dyslexie ou étant à risque de développer ce trouble.

Tableau 1.2. Résultats des études d'entraînement de la mémoire de travail réalisés auprès d'enfants pour les mesures de mémoire de travail et de lecture-écriture

Programme d'entraînement			Résultats significatifs			Commentaires
Auteurs	Type	L'intervention est-elle recommandée par les auteurs ?	Variables d'intérêt	Immédiats	Long terme	Faiblesses méthodologiques
Anderson et al. (2018)	CWMT	Non	MDT verbale MDT vsp Lecture Compréhension Orthographe	Non Non Non Non Non	Non Non Non Non	Certaines données non disponibles (pré-évaluation) Faible adhésion au traitement
Bigorra et al. (2016)	CWMT	Oui	MDT combinée Compréhension	Oui Non	Oui Non	
Chacko et al. (2014)	CWMT	Non	MDT verbale MDT vsp Lecture Compréhension Orthographe	Non Non Non Non Non	—	Pas d'évaluation du maintien des acquis
Dahlin (2011)	CWMT	Oui	MDT verbale MDT vsp Lecture Compréhension Orthographe	Oui Oui Non Oui Non	Oui Oui Non Oui Non	Assignment non-aléatoire Tailles d'effet non disponibles pour les gains post-entraînement Certains résultats du groupe de comparaison proviennent d'une base de données issue d'une autre étude

Tableau 1.2. (suite)

Programme d'entraînement			Résultats significatifs			Commentaires
Auteurs	Type	L'intervention est-elle recommandée par les auteurs ?	Mesures	Immédiats	Long terme	Faiblesses méthodologiques
Dunning et al. (2013)	CWMT	Peut-être	MDT verbale MDT vsp Lecture Compréhension Expression écrite	Oui Oui Non Non Non	Oui Non Non Non Non	Assignment non-aléatoire Non-équivalence des groupes en pré-évaluation (mesures de MDT) Tailles d'effet non disponibles pour les gains post-entraînement
Egeland et al. (2013)	CWMT	Peut-être	MDT vsp Lecture	Oui Oui	Oui Oui	Problème de validité de construit (mesure de MDT est en fait une tâche de perception et de mémoire visuelle) Tailles d'effet non disponibles pour les gains post-entraînement et pas de groupe de comparaison actif
Foy et Mann (2014)	CWMT	Oui	MDT verbale MDT vsp Pré-lecture Conscience phono	Oui Oui Non Non	—	Pas d'évaluation du maintien des acquis Pas de groupe de comparaison actif
Gray et al. (2012)	CWMT	Peut-être	MDT verbale MDT vsp Lecture Compréhension Orthographe	Oui Oui Non Non Non	—	Non-équivalence des groupes en pré-évaluation (MDT vsp) Pas d'évaluation du maintien des acquis
Hitchcock et Westwell (2017)	CWMT	Non	MDT verbale Compréhension	Non Non	Non Non	Données principales non disponibles (MDT) Faible adhésion au traitement

Tableau 1.2. (suite)

Programme d'entraînement			Résultats significatifs			Commentaires
Auteurs	Type	L'intervention est-elle recommandée par les auteurs ?	Mesures	Immédiats	Long terme	Faiblesses méthodologiques
Holmes et al. (2009)	CWMT	Oui	MDT verbale MDT vsp Lecture	Oui Oui Non	Oui Oui Non	Assignment non-aléatoire
Holmes et Gathercole (2014) <i>Étude 2</i>	CWMT	Oui	Lecture + Écriture (mesures de rendement national du Royaume-Uni)	—	Oui	Assignment non-aléatoire Pas de mesure de MDT Données principales non disponibles (mesures de rendement) ainsi que les tailles d'effet pour les gains post-entraînement Pas de groupe de comparaison actif
Roberts et al. (2016)	CWMT	Non	MDT verbale MDT vsp Lecture Compréhension Orthographe	— — — — —	Oui Oui Non Non Non	Équivalence des groupes en pré-évaluation n'est pas spécifiée Pas d'évaluation à court terme de l'intervention ; à long terme, les tailles d'effet ne sont pas disponibles pour les gains post-entraînement Pas de groupe de comparaison actif
Söderqvist et Bergman Nutley (2015)	CWMT (version abrégée)	Oui	MDT combinée Lecture + Écriture (mesure de rendement national de la Suède)	— —	Oui Oui	Assignment non-aléatoire Équivalence des groupes en pré-évaluation n'est pas spécifiée (mesure de MDT) Données principales non disponibles (MDT et lecture + écriture) ainsi que les tailles d'effet pour les gains post-entraînement Pas de groupe de comparaison actif Pas d'évaluation à court terme de l'intervention

Tableau 1.2. (suite)

Programme d'entraînement			Résultats significatifs			Commentaires
Auteurs	Type	L'intervention est-elle recommandée par les auteurs ?	Mesures	Immédiats	Long terme	Faiblesses méthodologiques
van der Donk et al. (2015)	CWMT	Peut-être	MDT verbale MDT vsp Lecture Dictée	? Oui Non Non	? Oui Non Non	Les résultats obtenus en MDT verbale (<i>Digit span</i>) ne sont pas expliqués dans l'article alors que ceux-ci semblent significatifs dans le tableau de résultats. Tailles d'effet non disponibles pour les gains post-entraînement
Alloway (2012)	Jungle Memory	Oui	MDT verbale Orthographe	Oui Non	—	Tailles d'effet non disponibles pour les gains post-entraînement Pas d'information sur le niveau d'adhésion au traitement Pas d'évaluation du maintien des acquis
Alloway et al. (2013)	Jungle Memory	Oui	MDT verbale MDT vsp Orthographe	Oui Oui Oui	Oui Oui Oui	Manque d'information concernant le caractère aléatoire de l'assignation, le niveau d'adhésion au traitement des participants et les tailles d'effet Les gains réalisés en <i>orthographe</i> sont discutables : les groupe expérimental est significativement plus faible au début de l'étude et l'effet principal d'interaction n'est pas significatif.
Luo et al. (2013)	Programme maison (tâches de MCT et de MDT verbales et vsp)	Oui	MDT verbale MDT vsp Conscience phono Lecture	Oui Oui Oui Oui	—	Problème de validité de construit pour la mesure de MDT vsp (pas de composante de manipulation) La fréquence des séances d'entraînement n'est pas spécifiée Pas d'évaluation du maintien des acquis

Tableau 1.2. (suite)

Programme d'entraînement			Résultats significatifs			Commentaires
Auteurs	Type	L'intervention est-elle recommandée par les auteurs ?	Mesures	Immédiats	Long terme	Faiblesses méthodologiques
Henry et al. (2014)	2 tâches de mémoire complexe	Oui	MDT verbale MDT vsp Lecture Compréhension Orthographe	Oui Oui Non — —	Oui Oui Non Oui Non	Pour les résultats de compréhension et orthographe, il n'y a qu'une seule mesure (post-intervention 2). Des tests-t ont été utilisés pour comparer les résultats entre les groupes.
Loosli et al. (2012)	Une tâche d'empan complexe	Oui	Décodage Lecture	Non Oui	—	Assignment non-aléatoire Pas de mesure de MDT Manque d'information concernant le niveau d'adhésion au traitement des participants Pas de groupe de comparaison actif Pas d'évaluation du maintien des acquis
Van der Molen et al. (2010)	Une tâche d'empan complexe	Oui	MDT verbale MDT vsp Lecture	Non Non Non	Non Oui Non	Manque d'information concernant l'équivalence initiale des groupes et le niveau d'adhésion au traitement Pour la MDT vsp à long terme : le groupe ayant reçu une intervention moins intensive (groupe de comparaison actif) s'améliore significativement mais non le groupe expérimental ayant reçu le plein traitement. Tailles d'effet non disponibles pour les gains post-entraînement

Tableau 1.2. (*suite*)

Programme d'entraînement			Résultats significatifs			Commentaires
Auteurs	Type	L'intervention est-elle recommandée par les auteurs ?	Mesures	Immédiats	Long terme	Faiblesses méthodologiques
Karbach et al. (2014)	BrainTwister (tâche de <i>n-back</i> vsp)	Oui	MDT vsp Lecture combinée (décodage et compréhension)	Oui Oui	Oui Non	Assignation non-aléatoire Manque d'information concernant le niveau d'adhésion au traitement
Yang et al. (2017) <i>Étude 1</i>	Entraînement de <i>n-back</i> de MDT verbale	Oui	MDT verbale Conscience phono Lecture Décision lexicale	Oui Oui Oui Non	—	Manque d'information concernant l'équivalence initiale des groupes Pas de mesure de MDT objective (extérieure au programme d'entraînement) Pas d'évaluation du maintien des acquis
Yang et al. (2017) <i>Étude 2</i>	Entraînement de MDT vsp	Oui	MDT vsp Conscience phono Lecture Décision lexicale	Oui Non Non Oui	—	Manque d'information concernant l'équivalence initiale des groupes Pas de mesure de MDT objective (extérieure au programme d'entraînement) Pas d'évaluation du maintien des acquis
St Clair-Thompson et al. (2010)	Memory Booster (stratégies de MDT)	Peut-être	MDT verbale MDT vsp Compréhension	Oui Non Non	— — Non	Assignation non-aléatoire et pas de groupe de comparaison actif Manque d'informations concernant le niveau d'adhésion au traitement et les tailles d'effet (MDT verbale)

Note : MDT = mémoire de travail, MCT = mémoire à court terme, vsp = visuospatiale, MDT combinée = mesure de mémoire de travail qui comprend des composantes verbales et visuospatiales, CWMT = Cogmed Working Memory Training, conscience phono = conscience phonologique, compréhension = compréhension de lecture.

CHAPITRE II

INTERVENTIONS DE LA MÉMOIRE DE TRAVAIL

Comme il a été vu au chapitre précédent, l'idée d'améliorer la cognition par le biais de la mémoire de travail (MDT) suscite un grand intérêt, tant chez les chercheurs que chez les cliniciens œuvrant dans le milieu de la santé et de l'éducation. Par conséquent, les études portant sur l'entraînement de la MDT se sont multipliées au cours des dernières années. Ces études ont été menées auprès d'individus de tous âges, issus de la population normale ou présentant diverses problématiques. Si l'amélioration de la MDT demeure un objectif constant chez les auteurs, les méthodes d'intervention utilisées pour y parvenir varient grandement à travers les laboratoires de recherche. Ce chapitre vise à donner un aperçu des différentes interventions de la MDT et de leurs composantes.

Ce chapitre se divise en trois parties. La première partie traite des interventions de la MDT de façon générale : les types d'entraînement sont présentés, de même que quelques programmes souvent cités dans les études. La deuxième partie aborde les composantes retrouvées dans un type d'intervention en particulier, soit les entraînements centralisés ciblant spécifiquement la MDT. Les sujets présentés sont le format et le contenu des entraînements, les niveaux de difficulté, les lieux où ils sont réalisés ainsi que la supervision et enfin, les modalités des entraînements. En dernier lieu, la troisième partie décrit plus spécifiquement le programme d'intervention

administré dans le cadre de cette thèse, soit dans les deux expérimentations présentées aux chapitres III et IV.

2.1 Types d'entraînement

Les entraînements de la MDT peuvent être séparés en deux catégories : les entraînements par stratégies (*strategy training*) et les entraînements centralisés (*core training* ; Morrison et Chein, 2011).

2.1.1 Entraînements par stratégies

Les entraînements par stratégies consistent en l'enseignement de stratégies dans le but de faciliter l'encodage, le maintien et la récupération des informations en MDT (Morrison et Chein, 2011). Ces interventions ont été développées à partir d'études ayant démontré que les personnes avec d'excellentes capacités de MDT utilisent des stratégies efficaces (Ericsson, 2003). Ces stratégies peuvent se présenter sous diverses formes comme la répétition, l'imagerie mentale visuelle, la création d'histoires à partir d'informations isolées ou le regroupement d'items en catégories sémantiques (St Clair-Thompson et al., 2010). À ce sujet, un enseignement explicite de stratégies permettrait effectivement d'améliorer les performances en MDT auprès d'individus de différents âges (Carretti, Borella et De Beni, 2007; Howse, Best et Stone, 2003; McNamara et Scott, 2001). Ce type d'interventions est toutefois critiqué par certains auteurs qui affirment que les gains obtenus seraient peu généralisables, c'est-à-dire que les performances en MDT s'amélioreraient seulement lorsque les mesures sont similaires aux tâches d'entraînement (Dunning et Holmes, 2014; Ericsson et Chase, 1982; St Clair-Thompson et al., 2010). Ainsi, l'utilisation de meilleures stratégies permettrait le

développement d'une certaine expertise, sans toutefois améliorer la capacité sous-jacente de MDT (Shipstead, Redick, et al., 2012).

2.1.2 Entraînements centralisés

Les entraînements centralisés consistent en un regroupement de tâches qui sollicitent la MDT. Le participant doit rapidement encoder une nouvelle information, la traiter activement, puis la récupérer en mémoire. Les exercices peuvent être nombreux et se répéter au cours des séances (Morrison et Chein, 2011). Contrairement aux entraînements présentés à la section précédente, les entraînements centralisés limitent l'utilisation de stratégies pendant les interventions. De plus, les tâches sont multimodales et variées afin de prévenir les effets spécifiques au matériel d'entraînement (von Bastian et Oberauer, 2014). Le but visé par ce type d'intervention est d'améliorer la MDT de façon globale en agissant sur les processus généraux ou mécanismes qui régissent cette habileté. Les défenseurs de cette approche considèrent que les entraînements par stratégies ne font qu'améliorer l'efficacité de la MDT à l'intérieur de ses limites préexistantes. En revanche, les entraînements centralisés permettraient un élargissement de ces limites, représentant ainsi un véritable progrès de la capacité entraînée (Shipstead, Redick, et al., 2012).

Étant donné que les entraînements centralisés sont employés dans la majorité des études d'intervention de la MDT, les sections subséquentes de ce chapitre portent exclusivement sur ce type d'intervention. L'engouement pour ces entraînements en particulier s'explique par leur potentiel de généralisation, soit la capacité d'améliorer des fonctions autres que la MDT et qui n'ont pas été entraînées (Gathercole, Dunning et Holmes, 2012). Il est à noter que le programme d'intervention étudié dans le cadre

de cette thèse fait également partie de cette catégorie d'entraînement (voir la section 2.3).

2.1.2.1 Programmes d'entraînement centralisés utilisés dans les études

Plusieurs programmes d'entraînement centralisés de la MDT sont utilisés dans les études. Tout d'abord, certains programmes ciblent plusieurs fonctions cognitives à la fois. En plus de la MDT, d'autres capacités sont entraînées comme la mémoire épisodique, la perception visuelle, l'attention ou le raisonnement (p. ex. COGITO : Schmiedek, Lövdén et Lindenberger, 2010; CogniFit : Cognifit, 2008). Il est attendu que la pratique de différents domaines cognitifs augmente la probabilité d'obtenir des effets sur les mesures de transfert. Toutefois, il peut être difficile d'isoler les ingrédients actifs de l'intervention, car de multiples combinaisons de tâches peuvent expliquer les résultats obtenus (Morrison et Chein, 2011).

Une seconde catégorie d'entraînements centralisés regroupe les programmes spécifiques de la MDT, soit les entraînements qui interviennent exclusivement sur cette fonction. Deux programmes commerciaux ont été recensés : *Cogmed* (RoboMemo®, Cogmed Cognitive Medical Systems AB, Stockholm, Suède) et *Jungle Memory* (Alloway, 2012). À ce jour, *Cogmed* demeure le logiciel d'entraînement le plus étudié (Aksayli, Sala et Gobet, 2019). Il se décline en trois systèmes spécialisés selon l'âge : *Cogmed JM* (4 à 6 ans), *Cogmed RM* (7 à 18 ans) et *Cogmed QM* (adultes ; Roche et Johnson, 2014; Shipstead, Hicks, et al., 2012). Moins connu, le programme *Jungle Memory* s'adresse quant à lui aux jeunes de 7 à 16 ans (Alloway et al., 2013). Par ailleurs, d'autres chercheurs choisissent d'utiliser des entraînements « maison », c'est-à-dire des programmes non-validés, développés spécialement pour une étude donnée (p. ex. Luo et al., 2013; Nevo et Breznitz, 2014). Il existe aussi des entraînements

restreints qui ne sont pas des programmes en tant que tels, car ils ne comprennent qu'une ou deux tâches de MDT (p. ex. Henry et al., 2014; Loosli et al., 2012; Van der Molen et al., 2010; Yang et al., 2017). Lorsqu'il s'agit d'interventions inédites, des informations supplémentaires sont incluses dans les articles concernant le contenu des tâches et les modalités des entraînements. En somme, cet aperçu rend compte de l'hétérogénéité des méthodes d'intervention à travers les études. Un résumé des types d'entraînement qui ont été décrits est présenté à la figure 2.1. Étant donné que les entraînements centralisés ciblant la MDT demeurent les plus pertinents pour cette thèse, leurs différentes composantes seront maintenant abordées.

2.2 Composantes des entraînements spécifiques de la MDT

2.2.1 Format et contenu

Les programmes d'entraînement spécifiques se réalisent généralement à partir d'exercices informatisés sollicitant la MDT (Melby-Lervåg et Hulme, 2013). Des tâches de mémoire à court terme (MCT) peuvent aussi être incluses afin de cibler plus précisément la capacité d'empan de la MDT (p. ex. les systèmes *Cogmed* ; Roording-Ragetlie, Klip, Buitelaar et Slaats-Willems, 2016). Les exercices se présentent sous deux modalités : verbale ou visuospatiale. Les exercices verbaux nécessitent le rappel et la manipulation d'informations verbales comme des chiffres, des phonèmes, des lettres ou des mots. Ces stimuli peuvent être présentés visuellement ou auditivement (p. ex. Alloway et al., 2013; Banales, Kohnen et McArthur, 2015; Carretti, Caldarola, Tencati et Cornoldi, 2014).

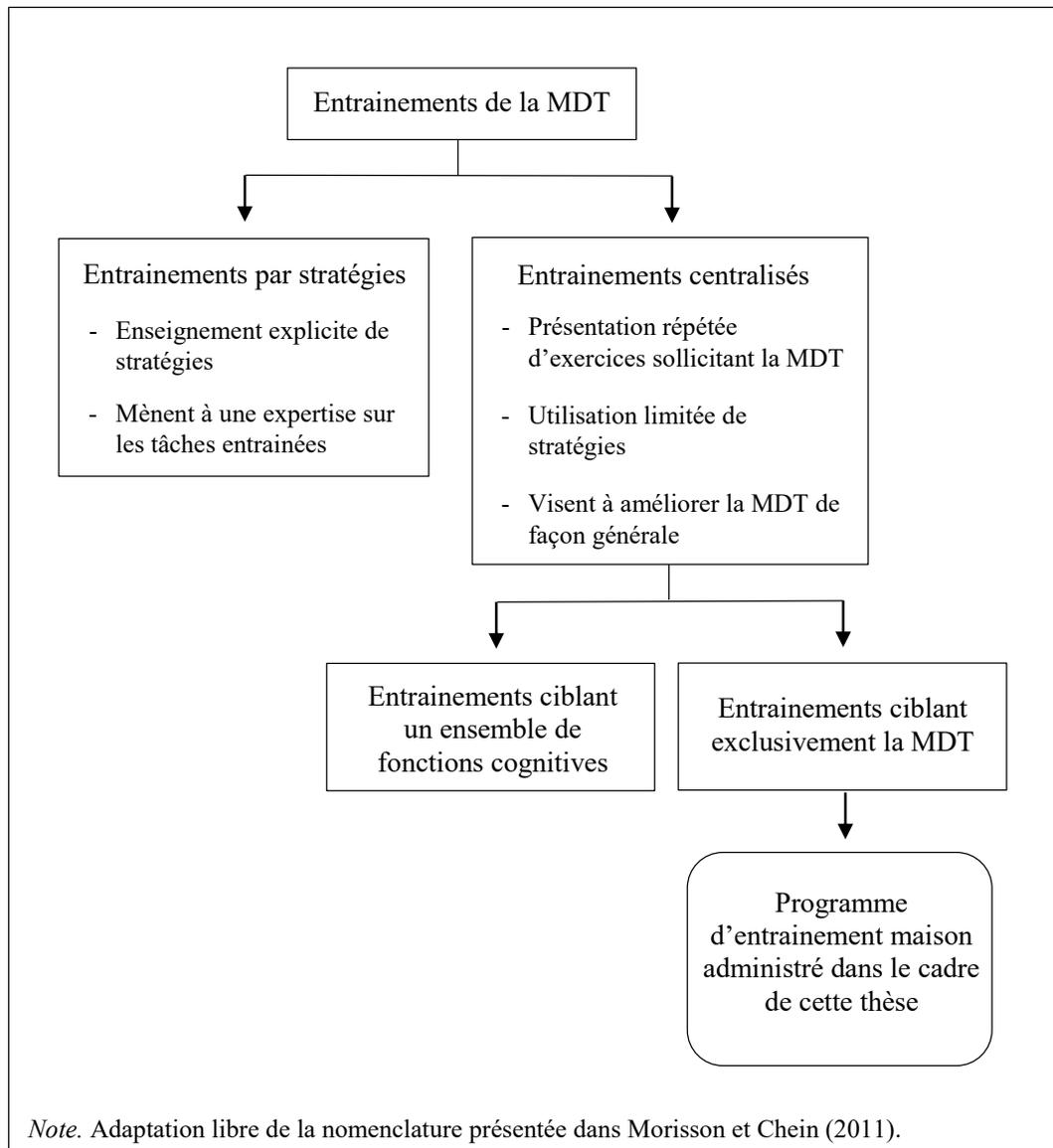


Figure 2.1. Types d'entraînement de la mémoire de travail retrouvés dans les études et dans cette thèse.

Les exercices visuospatiaux sont composés d'images ou d'objets présentés visuellement. Un exercice typique consiste à observer une grille dans laquelle certaines parties sont activées successivement. Il est ensuite demandé d'identifier les endroits qui étaient marqués, dans l'ordre direct ou inverse de présentation selon la consigne (p. ex. Nevo et Breznitz, 2014; Richey, Phillips, Schunn et Schneider, 2014; Shiran et Breznitz, 2011). Les stimuli à traiter peuvent être statiques ou dynamiques et être présentés en deux ou trois dimensions (Deveau, Jaeggi, Zordan, Phung et Seitz, 2014). Pour les plus jeunes, les entraînements peuvent intégrer des éléments ludiques comme des personnages colorés représentant des fruits ou des animaux (Loosli et al., 2012; Thorell, Lindqvist, Bergman Nutley, Bohlin et Klingberg, 2009). Enfin, certains exercices de MDT présentent une combinaison d'éléments verbaux et visuospatiaux, tels que ceux retrouvés dans les programmes *Cogmed* (p. ex. Mawjee et al., 2014).

Les exercices de MDT peuvent aussi être définis par catégories de tâches, les plus connues étant les tâches d'empan (simples et complexes) et les tâches de « mise à jour » (*updating*) qui comprennent notamment les épreuves de *n-back* et de *running span* (Bunting, Cowan et Sauls, 2006; Kane et Conway, 2016; Mathy, Chekaf et Cowan, 2018). Certains principes généraux s'appliquent à la majorité des tâches : les stimuli sont présentés de façon continue à intervalles réguliers ; les participants doivent conserver et traiter mentalement les informations présentées et enfin, les épreuves comptent plusieurs essais avec des niveaux de difficulté croissants. Des exemples associés à ces types de tâches sont présentés dans le tableau 2.1. Les exemples présentés sont des épreuves auditivo-verbales, mais des adaptations en modalité visuospatiale sont aussi possibles et même fréquemment retrouvées dans les études. En fait, les multiples déclinaisons possibles permettent la création d'épreuves variées et adaptées aux buts de chaque étude (pour une revue plus complète, voir Conway et al., 2005 ou Schmiedek, Hilderbrandt, Lovden, Wilhelm et Lindenberger, 2009).

Tableau 2.1. Tâches de mémoire de travail souvent retrouvées dans les études.

Tâche	Description	Procédure
<i>Empan</i>		
Simple	Rappeler une série de stimuli (à l'endroit ¹ ou à l'envers). La longueur de l'empan n'est pas connue à l'avance par le participant et augmente au cours de la tâche.	Rappeler à l'envers la séquence suivante : 9, 5, 1, 7 <i>Réponse</i> : 7-1-5-9
Complexe	En plus de la tâche d'empan simple, une tâche additionnelle est réalisée en parallèle (p. ex. juger de l'exactitude de problèmes mathématiques). Le participant doit garder en tête la réponse de la première tâche le temps de réaliser la seconde.	1) Se souvenir de 9, 5, 1, 7 à l'envers 2) Juger si $2 + 3 = 6$ 3) Rappeler la séquence du point 1 <i>Réponse</i> : non, 7-1-5-9
<i>Mise à jour (updating)</i>		
<i>N-Back</i>	Identifier les stimuli selon une règle de positionnement connue à l'avance par le participant. La tâche est continue : le participant répond tout en continuant de traiter les stimuli suivants.	Tâche de <i>3-Back</i> : Identifier une lettre lorsque celle-ci a été présentée 3 lettres auparavant : T, C, T, Q, <u>C</u> , L, <u>Q</u> , C, W, T, <u>C</u> ... <i>Réponse</i> : lettres soulignées
<i>Running span</i>	Identifier les derniers éléments d'une série dont la longueur totale n'est pas connue à l'avance par le participant.	Identifier les 5 derniers chiffres de la séquence suivante : 8, 2, 1, 4, 6, 7, 3, <u>2</u> , <u>1</u> , <u>5</u> , <u>2</u> , <u>4</u> <i>Réponse</i> : lettres soulignées

Note. Dans les tâches d'empan, la condition de rappel à l'endroit est généralement utilisée comme mesure de mémoire à court terme (empan).

2.2.2 Niveaux de difficulté

De façon générale, les niveaux de difficulté des entraînements de la MDT ne sont pas déterminés *a priori*. La majorité des logiciels contiennent un algorithme qui ajuste la difficulté des exercices selon les performances récentes du participant (von Bastian et Oberauer, 2014). Cette procédure vise à susciter la motivation et à optimiser l'entraînement : la tâche doit être stimulante tout en demeurant réalisable pour la personne entraînée (Jaeggi et al., 2012). L'exposition répétée à des exercices de niveau légèrement supérieur à la capacité de l'individu favoriserait l'apprentissage et le processus de plasticité cérébrale qui le sous-tend (Bergman-Nutley et Klingberg, 2014; Brehmer et al., 2012; Klingberg, 2010).

L'analyse des résultats se réalise de façon continue pendant les entraînements. Selon la performance, le niveau de difficulté pour les exercices similaires suivants sera diminué, augmenté ou restera inchangé. Les critères à atteindre pour effectuer une modification varient selon les études et les programmes utilisés (p. ex. Loosli et al., 2012; Luo et al., 2013; Nevo et Breznitz, 2014). Les niveaux de difficulté correspondent souvent au nombre d'items à traiter et donc, à la taille de l'empan en MDT (Shipstead, Redick, et al., 2012). Concrètement, ces différents niveaux pourraient se traduire par le nombre de pastilles à traiter dans une tâche visuospatiale ou le nombre de mots à retenir dans une tâche verbale (p. ex. de 2 à 9). Par ailleurs, une rétroaction est offerte après chaque essai afin de permettre aux participants de s'ajuster aux demandes de la tâche (Vaughan, Gabrys et Dubey, 2016). La réussite d'une tâche permet généralement d'accumuler des points qui s'affichent à l'écran (Loosli et al., 2012). Enfin, les points gagnés peuvent parfois être échangés pour obtenir un renforcement comme jouer à un jeu spécial à la fin de l'entraînement (Roording-Ragetlie et al., 2016).

2.2.3 Lieux d'entraînement et supervision

Les entraînements de la MDT peuvent se réaliser à divers endroits comme les laboratoires de recherche, les milieux cliniques, les écoles et même, au domicile de la personne entraînée (Bergman-Nutley et Klingberg, 2014; Luo et al., 2013; Schwarb, Nail et Schumacher, 2015; von Bastian et Oberauer, 2013). Afin de minimiser toutes formes de distractions, les participants sont installés dans une salle de travail calme et des écouteurs leur sont fournis au besoin. Lorsque les entraînements se réalisent à partir d'un site web, les participants doivent avoir accès à un réseau Internet sur les appareils utilisés (Brehmer et al., 2012; Roche et Johnson, 2014). Quant à la supervision, elle peut s'effectuer directement pendant l'entraînement ou à distance entre les séances. Avec les enfants, l'intervention est généralement administrée à l'école, de façon individuelle ou en petits groupes de quelques élèves à la fois. Ces derniers sont alors supervisés par un adulte préalablement formé par l'équipe de recherche (p. ex. Dahlin, 2011; Holmes et al., 2009; Loosli et al., 2012; Nevo et Breznitz, 2014; Passolunghi et Costa, 2014; Thorell et al., 2009). De plus, pour les programmes *Cogmed*, une supervision supplémentaire est prodiguée par un « coach personnel certifié », qui offre un suivi hebdomadaire téléphonique. Pendant une trentaine de minutes, le coach donne au participant une rétroaction sur ses dernières performances, l'encourage à s'entraîner et émet des recommandations pour les séances à venir (Mawjee et al., 2014; Roche et Johnson, 2014).

2.2.4 Modalités des entraînements

Les modalités des entraînements concernent la durée des séances, leur fréquence hebdomadaire et le nombre total de semaines d'entraînement. De façon générale, les séances d'entraînement sont d'une durée de 30 à 45 minutes et ont lieu de trois à cinq

fois par semaine. En tout, les participants prennent part à environ 25 séances d'entraînement qu'ils réalisent sur une période de cinq à huit semaines (Alloway et al., 2013; Banales et al., 2015; Luo et al., 2013; Roche et Johnson, 2014). Néanmoins, des entraînements plus brefs ou moins intensifs ont aussi été identifiés (voir le tableau 1.1 pour un aperçu des différentes modalités d'entraînement retrouvées dans les études). Outre la durée, les objectifs d'une séance peuvent aussi être exprimés en nombre d'essais que le participant doit effectuer. La durée d'un même entraînement peut alors varier selon les individus puisqu'une séance prend fin lorsqu'un certain nombre d'essais, réussis ou non, est complété. À titre indicatif, de un à trois essais sont habituellement planifiés par minute d'intervention (p. ex. Alloway, 2012; Dahlin, 2011; Holmes et al., 2009).

2.3 Programme d'intervention de cette thèse

Le programme utilisé dans le cadre de cette thèse consiste en un logiciel maison inspiré des programmes *Cogmed* (RoboMemo®, Cogmed Cognitive Medical Systems AB, Stockholm, Suède). Cet entraînement centralisé propose des exercices qui sollicitent les capacités d'empan et de manipulation de la MDT. En tout, le programme comprend 16 tâches verbales et visuospatiales. Les tâches verbales contiennent des lettres et des chiffres et les tâches visuospatiales contiennent des pastilles de couleur. Les stimuli sont présentés visuellement à l'exception des chiffres qui sont présentés de façon auditive. La vitesse de présentation est de 1400 ms par stimulus. Certaines tâches sont exclusivement verbales ou visuospatiales alors que d'autres combinent ces deux modalités. La page d'accueil, qui est la même pour tous les exercices du programme, est représentée à la figure 2.2. Enfin, les consignes des tâches sont présentées par modalité et par mode de présentation dans le tableau 2.2. Ces catégories sont ensuite reprises une à une dans les sections suivantes portant sur la description des tâches.

Tableau 2.2. Consignes des tâches du programme d'entraînement.

Tâches verbales— présentation visuelle et auditive	
1	Cliquer en premier sur A , puis sur les chiffres dans l'ordre de présentation.
2	Cliquer en premier sur A , puis sur les chiffres dans l'ordre inverse de présentation.
3	Cliquer en premier sur A, B , puis sur les chiffres dans l'ordre de présentation.
4	Cliquer en premier sur A, B , puis sur les chiffres dans l'ordre inverse de présentation.
5	Cliquer en premier sur A, B et C , puis sur les chiffres dans l'ordre de présentation.
6	Cliquer en premier sur A, B et C , puis sur les chiffres dans l'ordre inverse de présentation.
Tâches verbales— présentation visuelle	
7	Cliquer sur les lettres dans l'ordre de présentation.
8	Cliquer sur les lettres dans l'ordre inverse de présentation.
Tâches visuospatiales— présentation visuelle	
9	Cliquer sur les positions des pastilles avec leurs couleurs dans l'ordre de présentation.
10	Cliquer sur les positions des pastilles avec leurs couleurs dans l'ordre inverse de présentation.
Tâches verbales et visuospatiales— présentation visuelle	
11	Cliquer en premier sur la lettre présentée, puis aux positions des pastilles dans l'ordre de présentation.
12	Cliquer en premier sur la lettre présentée, puis aux positions des pastilles dans l'ordre inverse de présentation.
13	Cliquer en premier sur les deux lettres présentées, en ordre , puis aux positions des pastilles dans l'ordre de présentation.
14	Cliquer en premier sur les deux lettres présentées, en ordre inverse , puis aux positions des pastilles dans l'ordre de présentation.
15	Cliquer en premier sur les deux lettres présentées, en ordre , puis aux positions des pastilles dans l'ordre inverse de présentation.
16	Cliquer en premier sur les deux lettres présentées, en ordre inverse , puis aux positions des pastilles dans l'ordre inverse de présentation.

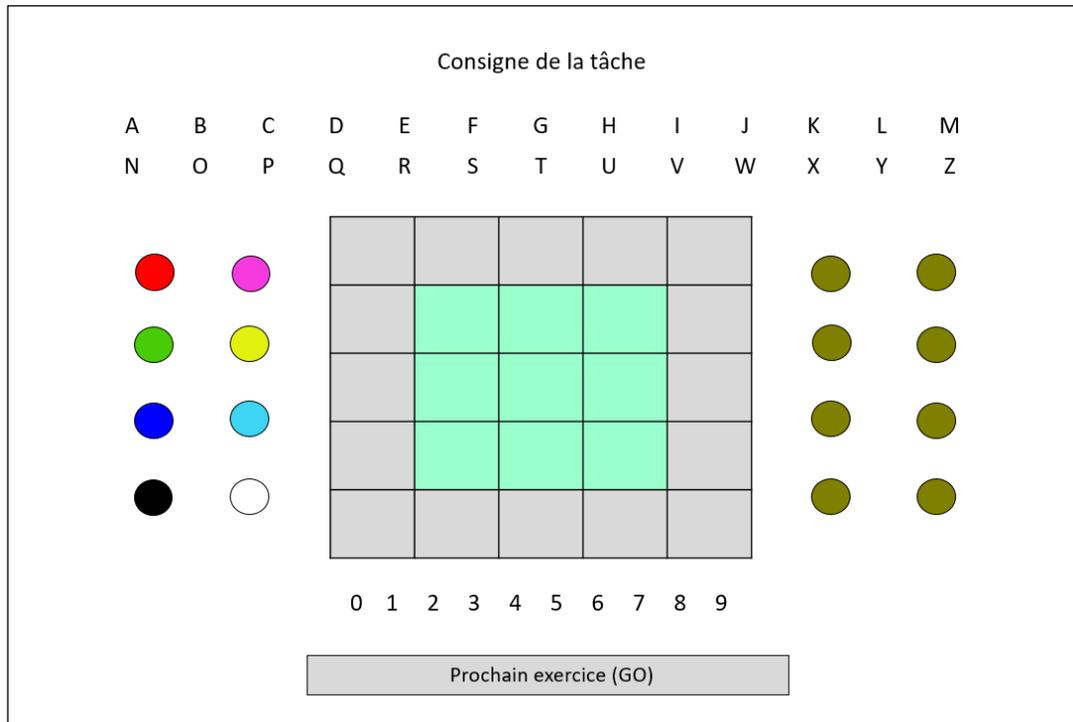


Figure 2.2. Page d'accueil du programme d'entraînement de la mémoire de travail.

2.3.1 Contenu

2.3.1.1 Tâches verbales avec présentation visuelle et auditive (1 à 6)

Pour cette catégorie de tâches, le participant entend une série de chiffres. Une fois l'enregistrement terminé, il doit sélectionner avec la souris de l'ordinateur une ou plusieurs lettres (A, A-B ou A-B-C, selon la consigne). Ensuite, il doit cliquer correctement sur les chiffres entendus suivant l'ordre demandé. L'identification des lettres introduit un délai, ce qui crée un effet de surcharge et empêche l'autorépétition des chiffres. De plus, afin de prévenir l'automatisation de la tâche, les lettres et les

chiffres se mélangent aléatoirement après l'écoute des chiffres. Un exemple de ce type d'exercices est illustré à la figure 2.3.

2.3.1.1 Tâches verbales avec présentation visuelle (7 et 8)

Pour ces deux tâches, des lettres apparaissent dans la grille, une à la fois. Une fois l'animation complétée, le participant doit cliquer au-dessus de la grille sur les lettres correspondantes, selon l'ordre demandé. Après chaque présentation, les lettres se mélangent aléatoirement. Le participant doit donc mémoriser les lettres présentées, mais non l'endroit où celles-ci sont apparues dans la grille.

2.3.1.2 Tâches visuospatiales avec présentation visuelle (9 et 10)

Les stimuli utilisés dans ces tâches sont les pastilles de différentes couleurs, situées à gauche de l'écran. Elles apparaissent une à la fois dans la grille. Une fois l'animation terminée, le participant doit reproduire la séquence présentée en respectant le bon choix de couleurs et l'ordre demandé. Pour ce faire, le participant doit cliquer sur chaque pastille, puis sur l'emplacement choisi.

2.3.1.3 Tâches verbales et visuospatiales avec présentation visuelle (11 à 16)

Les exercices de cette catégorie incluent les pastilles de couleur kaki qui se trouvent à droite de l'écran. Les pastilles apparaissent successivement dans la grille, suivies d'une ou deux lettres. Tout d'abord, le participant doit cliquer sur les lettres correspondantes en haut de l'écran, selon l'ordre demandé. Encore une fois, les lettres sont réparties de

façon aléatoire et leur endroit d'apparition dans la grille n'est pas à retenir. Ensuite, le participant doit reproduire la séquence des pastilles en respectant l'ordre demandé. Pour ce faire, ce dernier clique dans la grille aux endroits correspondants. Un exemple de ce type d'exercices est illustré à la figure 2.4.

2.3.2 Exposition aux tâches et aux niveaux de difficulté

L'administration des tâches est planifiée de sorte que les exercices verbaux et visuospatiaux sont présentés en alternance. Chaque tâche comprend sept niveaux de difficulté qui correspondent au nombre de stimuli à traiter (de 2 à 8 items). Le programme débute avec les niveaux les plus faibles et se complexifie à mesure que le participant progresse dans son entraînement. Une séance d'entraînement peut être composée d'exercices de plusieurs niveaux, car l'atteinte des objectifs se réalise de façon indépendante entre les tâches. Un niveau est considéré comme étant maîtrisé lorsque quatre exercices sur six de la même tâche sont réussis. Pour cette tâche donnée, un stimulus est alors ajouté aux problèmes suivants jusqu'à la maîtrise de ce nouveau niveau. Par ailleurs, les performances sont enregistrées et chaque nouvel entraînement reprend les tâches là où le participant s'était rendu. Afin que ce dernier soit exposé de façon équivalente à l'ensemble des activités, seulement trois essais d'une même tâche lui sont présentés. Si le participant atteint le critère de changement de niveau pendant cette séquence, trois nouveaux exercices du niveau supérieur lui sont présentés : autrement, ce sont les exercices de la prochaine tâche prévue qui débutent. Enfin, le contenu des exercices diffère à chaque essai étant donné que les stimuli qui s'y retrouvent sont sélectionnés aléatoirement.

Présentation de l'exercice

Cliquer d'abord sur A, puis sur les chiffres dans l'ordre inverse de présentation.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	«6, 4, 2»
N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Solution

Cliquer d'abord sur A, puis sur les chiffres dans l'ordre inverse de présentation.

R	E	Z	N	G	J	B	L	F	Q	T	W	D
K	U	H	A	M	Y	S	C	X	P	I	O	V

2 8 5 9 7 1 3 0 6 4

Figure 2.3. Exemple de tâche du programme d'entraînement avec stimuli verbaux.

Note. Dans le second encadré, les indicateurs rouges indiquent la réponse correcte, soit les endroits où le participant doit cliquer et l'ordre dans lequel il doit le faire.

Présentation de l'exercice

Cliquer d'abord sur les **deux lettres** présentées, **en ordre inverse**, puis aux **positions des pastilles** dans l'**ordre** de présentation.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z

Solution

Cliquer d'abord sur les **deux lettres** présentées, **en ordre inverse**, puis aux **positions des pastilles** dans l'**ordre** de présentation.

S	A	Y	U	G	B	R	W	O	Z	X	C	I
F	L	V	Q	E	M	H	K	D	T	J	N	P

Figure 2.4. Exemple de tâche du programme d'entraînement avec stimuli visuospatiaux.

Note. Dans le premier encadré, les chiffres représentent l'ordre dans lequel les stimuli apparaissent un à la fois pendant la démonstration. Dans le deuxième encadré, les chiffres et leurs indicateurs rouges indiquent la réponse correcte, c'est-à-dire les endroits où le participant doit cliquer et l'ordre dans lequel il doit le faire.

2.3.3. Déroulement des entraînements

Tout d'abord, le logiciel est présenté aux participants comme un programme d'entraînement de la mémoire. La remédiation cognitive est décrite comme un entraînement du cerveau au même titre qu'un entraînement visant à améliorer la condition physique. Les élèves sont informés qu'ils devront fournir des efforts et que des intervenants seront présents pour les accompagner. Ces derniers les aident au besoin, notamment pour comprendre les consignes ou en cas de problème informatique. Ils encouragent également les participants à conserver une bonne attitude et les félicitent régulièrement pour leurs efforts. Au début de chaque séance, chaque participant prend place à un poste de travail qui lui est assigné. Les entraînements se réalisent en petits groupes de quelques élèves à la fois, mais chacun travaille de façon individuelle à l'ordinateur. Des écouteurs sont fournis afin que chacun puisse réaliser les tâches auditives sans déconcentrer le reste du groupe. À la fin de chaque séance, les données d'entraînement des participants sont transférées sur un serveur informatique.

Chaque période d'entraînement est composée de deux phases, A et B. La phase A réfère à l'entraînement cognitif en tant que tel où le participant complète des exercices adaptés à ses performances. Après chaque exercice complété, le participant reçoit une rétroaction, lui indiquant s'il a réussi ou échoué l'exercice. Le cumul du nombre de réussites s'affiche à l'écran de même qu'un avertissement lorsqu'un niveau est maîtrisé. Lorsqu'un certain nombre d'exercices est réussi, le participant accède à la phase B et peut alors choisir le type d'exercices à effectuer et le niveau de difficulté. De plus, des points sont remportés pour les essais réussis et ces derniers s'enregistrent à chaque séance. L'accumulation des points vise à motiver les participants à faire un effort mental soutenu pendant la phase A. Ainsi, réussir n essais rapidement pendant la phase A est motivant pour l'élève qui a ensuite plus de temps pour réaliser les exercices

« payants » de la phase B. Les points agissent à titre de renforcement en soi et ne sont pas échangeables contre un renforcement externe. Il est demandé à chacun de ne pas divulguer ses gains afin d'éviter de décourager les élèves qui en auraient moins. Au cours des deux chapitres suivants, les modalités des entraînements, comme la durée et le nombre d'essais à réussir par séance, seront spécifiées pour chaque étude dans les sections portant sur les interventions.

CHAPITRE III

ÉTUDE 1

Comme il a été vu au chapitre précédent, les interventions de remédiation cognitive de la mémoire de travail (MDT) sont prometteuses puisqu'elles permettent d'améliorer une capacité centrale à de nombreuses activités cognitives. L'efficacité de ces interventions a été rapportée auprès de clientèles variées présentant diverses problématiques telles que les adultes cérébrolésés (Johansson et Tornmalm, 2012) et les enfants présentant un trouble du déficit de l'attention avec hyperactivité (Ackermann, Halfon, Fornari, Urben et Bader, 2018). Même si les enfants dyslexiques présentent souvent des faiblesses en MDT, aucune étude n'a porté sur la remédiation de cette fonction cognitive auprès de cette clientèle dans un contexte francophone. À notre connaissance, deux études d'entraînement de la MDT ont été menées auprès d'élèves dyslexiques, mais ces derniers étaient scolarisés en mandarin, une écriture logographique très différente du système alphabétique utilisé en français (Luo et al., 2013; Yang et al., 2017). Ce chapitre se divise en quatre parties. Tout d'abord, la première section porte sur les objectifs et les hypothèses. Ensuite, la deuxième section fournit des informations sur la méthode de l'étude, soit la description des participants, du devis de recherche, des instruments de mesure et des interventions. Ensuite, la troisième section présente les analyses statistiques effectuées et les résultats obtenus. Enfin, une discussion générale est proposée en dernière partie.

3.1 Objectifs et hypothèses

Cette étude vise à évaluer l'efficacité d'un programme d'intervention intensif de la MDT auprès d'élèves dyslexiques. Il est attendu que le programme d'entraînement permettra d'améliorer directement la fonction entraînée, soit la MDT. Deux hypothèses sont examinées, soit que cet entraînement cognitif puisse améliorer : 1) la MDT verbale et 2) la MDT visuospatiale. Pour chacune de ces modalités, l'impact du programme sera vérifié de façon plus spécifique sur deux composantes de la MDT, soit la capacité d'empan et la capacité de manipulation. Il est attendu que l'amélioration de l'une ou l'autre de ces composantes permettra d'améliorer plus globalement la capacité de MDT des participants.

3.2 Méthode

3.2.1 Participants

Le recrutement est effectué auprès de 24 élèves avec un diagnostic de dyslexie (11 filles, 13 garçons, $M_{age} = 10,4$ ans, $ÉT = 1,06$, étendue de l'âge : 9–12 ans). Les participants sont scolarisés en français et de niveau scolaire allant de la 3^e à la 6^e année primaire. Ils fréquentent une école de la région de Montréal et suivent un programme spécialisé pour élèves présentant un trouble d'apprentissage spécifique en lecture et écriture. Ces élèves sont intégrés partiellement ou complètement en classe régulière et bénéficient d'un accompagnement et d'un soutien orthopédagogique. Pour être admis dans ce programme, l'enfant doit présenter un trouble sévère d'apprentissage et il doit avoir été démontré que les mesures de soutien prodiguées en classe régulière ne suffisent plus à sa réussite scolaire. Le projet a reçu l'approbation du Comité

institutionnel d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'Université du Québec à Montréal (UQAM). Cette étude est réalisée de janvier à février 2010.

3.2.2 Devis de recherche

Cette étude utilise un protocole expérimental de type prétest post-test avec un groupe de comparaison sans intervention. La moitié des participants ($n = 12$) reçoit le programme d'intervention alors que l'autre moitié ne prend part à aucune intervention ($n = 12$). L'assignation à l'une ou l'autre des conditions est réalisée de façon aléatoire. Tous les participants sont évalués à deux reprises, soit avant et après la durée du programme d'intervention (Temps 1 et Temps 2).

3.2.3 Instruments de mesure

Deux instruments de mesure sont utilisés. Le premier est l'épreuve *Séquences de chiffres*, issue de l'Échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants, qui permet d'évaluer les capacités de MDT auditivo-verbale (WISC-IV : Wechsler, 2005a). Dans la première partie de cette tâche, le participant doit répéter une série de chiffres dans le même ordre qu'il les a entendus. Dans la seconde partie de cette tâche, le participant doit aussi répéter des chiffres, mais cette fois-ci, dans l'ordre inverse de présentation. Dans les deux parties, le nombre d'items à répéter débute à deux chiffres et augmente progressivement avec les essais. Ces deux conditions (ordre direct et ordre indirect) permettent d'évaluer deux composantes de la MDT verbale, soit la capacité d'empan pur (ci-après appelée *empan*) et la capacité d'empan avec manipulation (ci-après appelée *manipulation*). L'indice de MDT verbale représente la somme des résultats obtenus aux deux conditions. Le coefficient de fidélité test-retest est de $r = 0,83$ et le

coefficient de cohérence interne (par bissection) est de $r = 0,87$. Le deuxième instrument de mesure est l'épreuve *Mémoire spatiale*, issue de l'Échelle non verbale d'aptitude de Wechsler qui mesure les capacités de MDT visuospatiale (WNV : Wechsler, 2006). On dispose une planche devant le participant sur laquelle se trouvent neuf blocs placés de façon asymétrique. Après avoir observé une séquence exécutée par l'évaluateur, le participant doit la reproduire dans l'ordre présenté ou dans l'ordre inversé, selon la consigne. Comme pour l'instrument de mesure de la MDT verbale, cette épreuve permet d'obtenir des résultats pour les capacités d'empan (ordre direct) et de manipulation mentale (ordre indirect), mais cette fois-ci sur le plan visuospatial. L'indice de MDT visuospatiale est obtenu en additionnant les résultats obtenus aux deux conditions. Pour l'ensemble des sous-tests de la batterie WNV, les coefficients de fidélité test-retest (r) se situent entre 0,70 et 0,80 et ceux de cohérence interne (par bissection) se situent entre 0,73 et 0,90.

3.2.4 Procédures pour les évaluations

Une psychologue de l'école rencontre à son bureau pendant une vingtaine de minutes, tous les participants afin de leur administrer les deux tâches de MDT.

3.2.5 Procédures pour les interventions

Le programme d'intervention, présenté au chapitre précédent, comprend différentes tâches informatisées visant à solliciter la MDT verbale et visuospatiale. Les périodes d'intervention sont composées de deux phases. Au cours de la phase A, le participant doit compléter des exercices dont le contenu et le niveau de difficulté varient en fonction de sa performance. Lorsqu'un certain nombre d'essais réussis est atteint, la

phase B du programme débute. Lors de cette phase, le participant choisit lui-même les paramètres des exercices et gagne des points lorsqu'il réussit ces exercices. Seules les données recueillies lors de la phase A sont considérées pour cette étude. L'atteinte de la phase B vise à motiver les participants à faire un effort mental soutenu pendant la présentation des exercices de la phase A. Des paramètres d'intervention propres à cette étude sont planifiés. Tout d'abord, la durée de chaque entraînement est de 40 minutes par jour à une fréquence de quatre fois par semaine. Ces entraînements ont lieu pendant six semaines consécutives. Lors d'un entraînement, le participant doit réussir 35 essais pour compléter la phase A du programme et ainsi accéder à la phase B. Les participants reçoivent l'intervention en groupes de quatre à cinq élèves dans une salle de travail calme de leur école. Un poste d'ordinateur est attribué à chaque élève qui réalise les tâches de façon individuelle. Les interventions ont lieu pendant les heures de classe et sont supervisées par une des trois assistantes de recherche. Parmi ces assistantes, on retrouve une étudiante au doctorat en psychologie et deux psychologues scolaires préalablement formées. En plus de superviser les séances d'intervention, une de ces psychologues a aussi réalisé l'ensemble des évaluations cognitives. Une durée d'intervention minimale de 850 minutes d'intervention est visée, ce qui correspond à environ 725 essais réussis. Le tableau 3.1 illustre les objectifs du programme d'entraînement de MDT en termes de minutes d'intervention et d'essais réussis (par semaine et par séance).

Tableau 3.1. Objectifs du programme d'entraînement de l'étude 1 par semaine.

Semaines	Séances	Minutes d'intervention	Essais réussis
1	1-2-3-4	160	140
2	5-6-7-8	320	280
3	9-10-11-12	480	420
4	13-14-15-16	640	560
5	17-18-19-20	800	700
6	21-22-23-24	960	840

3.3 Analyses

3.3.1 Analyses préliminaires

Les mesures cognitives ont été standardisées selon les normes fournies dans les tests utilisés (Wechsler, 2005, 2006). La normalité des groupes a été vérifiée aux deux temps de mesure et aucune donnée ne nécessite de transformation. L'équivalence initiale a aussi été vérifiée : les deux groupes peuvent être considérés comme étant équivalents sur le plan statistique pour toutes les mesures cognitives à l'exception de l'indice de MDT visuospatiale ($t(22) = 2,51; p = 0,02; \eta^2 = 22\%$). Ainsi, les participants du groupe expérimental obtiennent à cette mesure une performance supérieure ($M = 10,58$; $ÉT = 1,77$) à celle du groupe de comparaison ($M = 8,60$; $ÉT = 2,08$). Enfin, les deux groupes peuvent être considérés équivalents sur le plan statistique concernant l'âge des participants et le sexe (c.-à-d. la répartition de garçons et de filles dans chaque groupe).

3.3.2 Analyses principales

Afin de comparer les performances obtenues par les participants des deux groupes au début et à la fin du programme d'entraînement, des analyses de variance à mesures répétées 2×2 (groupes \times temps) sont réalisées pour chacune des variables dépendantes (résultats standardisés des différentes épreuves). Pour les deux modalités (verbale et visuospatiale), les indices de MDT (résultats combinés) sont tout d'abord analysés. Ensuite, d'autres analyses de variance sont effectuées afin d'identifier la progression respective de deux composantes au sein de la MDT, soit la capacité d'empan et la capacité de manipulation. Seuls les résultats significatifs sont présentés. Les barres d'erreurs des graphiques représentent les intervalles de confiance à 95%. Les moyennes

et écarts-types des variables ainsi que les tailles d'effet associées aux gains post-intervention peuvent être consultés dans le tableau 3.2.

Tableau 3.2. Résultats standardisés pour les mesures de mémoire de travail et tailles d'effets selon les groupes pour le Temps 1 et le Temps 2.

Variables	Groupes	Temps 1		Temps 2		Différence (T2 - T1)	η^2
		<i>M</i>	<i>ÉT</i>	<i>M</i>	<i>ÉT</i>		
Verbal							
Indice de MDT							
	MDT	7,08	2,39	9,25	1,82	2,17	54%
	Comparaison	6,58	1,56	6,75	1,71	0,17	1%
Empan							
	MDT	6,83	2,25	8,25	1,54	1,42	41%
	Comparaison	6,83	2,04	6,83	1,80	0,00	0%
Manipulation							
	MDT	8,75	2,30	10,75	2,01	2,00	30%
	Comparaison	7,50	1,78	8,08	2,43	0,58	10%
Visuospatial							
Indice de MDT							
	MDT	10,58	1,77	12,58	2,26	2,00	38%
	Comparaison	8,60	2,08	8,78	2,22	0,18	1%
Empan							
	MDT	9,75	1,38	12,30	1,74	2,55	86%
	Comparaison	8,10	2,51	7,98	1,92	-0,12	0%
Manipulation							
	MDT	11,25	2,54	12,15	2,50	0,90	5%
	Comparaison	9,23	2,48	9,73	2,83	0,49	4%

Note. T1 = Temps 1 ; T2 = Temps 2.

3.4 Résultats

3.4.1 Mémoire de travail verbale

3.4.1.1 Indice de mémoire de travail

Une analyse de variance à mesures répétées 2×2 (groupes \times temps) est effectuée sur la variable de l'indice de MDT verbale. L'analyse met en évidence un effet principal temps ($F(1, 22) = 9,54; p = 0,005; \eta^2 = 30\%$), ce qui signifie que tous groupes confondus, les participants améliorent leur capacité de MDT verbale avec le passage du temps. De plus, l'analyse révèle un effet principal groupe ($F(1, 22) = 4,92; p = 0,037; \eta^2 = 18\%$) ainsi qu'un effet d'interaction entre les groupes et les temps de mesure ($F(1, 22) = 7,01; p = 0,015; \eta^2 = 24\%$). Cette interaction signifie que les participants des deux groupes sont différents sur le plan statistique et qu'ils évoluent d'une façon qui leur est propre. Plus précisément, seuls les participants ayant bénéficié de l'entraînement cognitif présentent une amélioration significative de leur capacité de MDT verbale (voir la figure 3.1).

3.4.1.2 Capacité d'empan

Une analyse de variance à mesures répétées 2×2 (groupes \times temps) est effectuée sur une composante de l'indice de MDT, soit la capacité d'empan verbal. L'analyse met en évidence un effet principal temps ($F(1, 22) = 4,65; p = 0,042; \eta^2 = 17\%$), ce qui signifie que dans l'ensemble, les participants de l'étude améliorent de façon significative leur capacité d'empan verbal avec le passage du temps. Il n'y a toutefois pas d'effet groupe, ce qui indique que les performances des deux groupes ne sont pas

différentes sur le plan statistique lorsque l'on considère les résultats aux deux temps de mesure. Cependant, l'analyse révèle un effet d'interaction entre les groupes et les temps de mesure ($F(1, 22) = 4,65; p = 0,042; \eta^2 = 17\%$). Cette interaction signifie que les participants progressent différemment selon les groupes. En fait, seuls les participants du groupe expérimental améliorent leur capacité d'empan d'une manière significative (voir la figure 3.2).

3.4.1.3 Capacité de manipulation

Une analyse de variance à mesures répétées 2×2 (groupes \times temps) est effectuée sur la composante de l'indice de MDT verbale en lien avec la capacité de manipulation mentale. L'analyse met en évidence un effet principal temps ($F(1, 22) = 5,92; p = 0,024; \eta^2 = 21\%$), ce qui indique que tous groupes confondus, les participants s'améliorent de façon significative avec le temps. Les résultats indiquent également un effet principal groupe ($F(1, 22) = 7,91; p = 0,010; \eta^2 = 26\%$), mais ne montrent pas d'effet d'interaction groupes \times temps. Ceci suggère que les deux groupes sont différents tous temps de mesure confondus, mais qu'ils évoluent d'une façon similaire (voir la figure 3.3). L'absence d'effet d'interaction indique que le programme d'intervention n'a pas permis aux participants entraînés d'améliorer significativement leurs habiletés de manipulation. Ce profil de résultats suggère également que les groupes étaient déjà différents au premier temps de mesure, mais que cet effet n'a pu être détecté lors des analyses préliminaires en raison d'un manque de puissance.

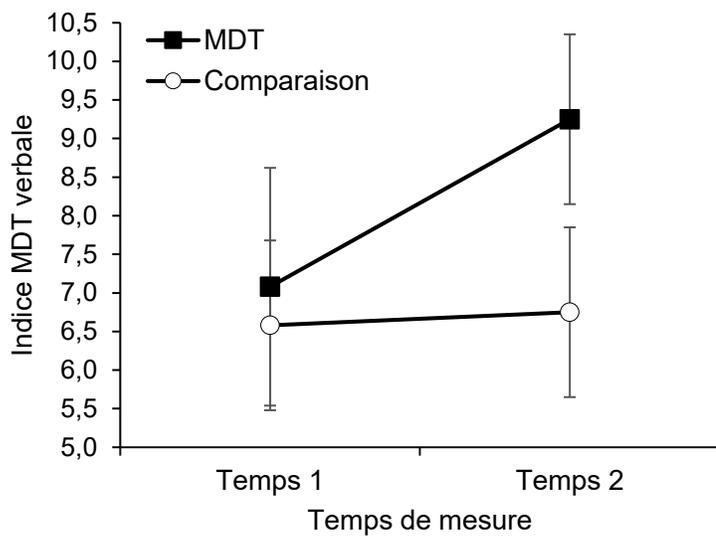


Figure 3.1. Résultats standardisés de l'indice de mémoire de travail verbale selon les groupes et les temps de mesure.

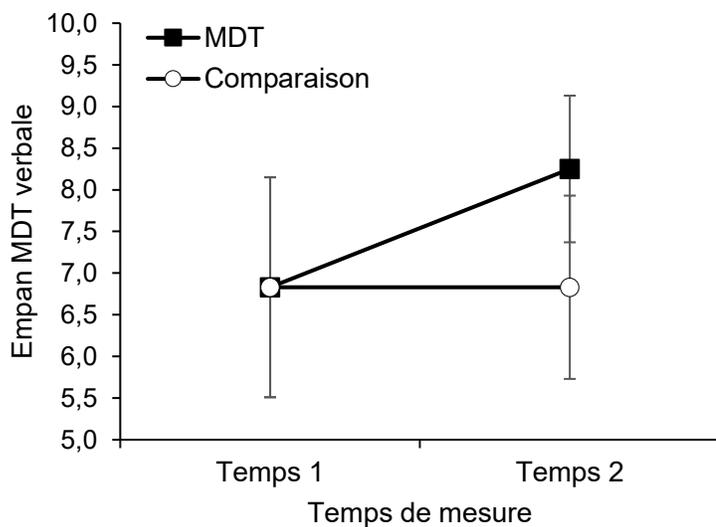


Figure 3.2. Résultats standardisés pour la capacité d'empan de la mémoire de travail verbale selon les groupes et les temps de mesure.

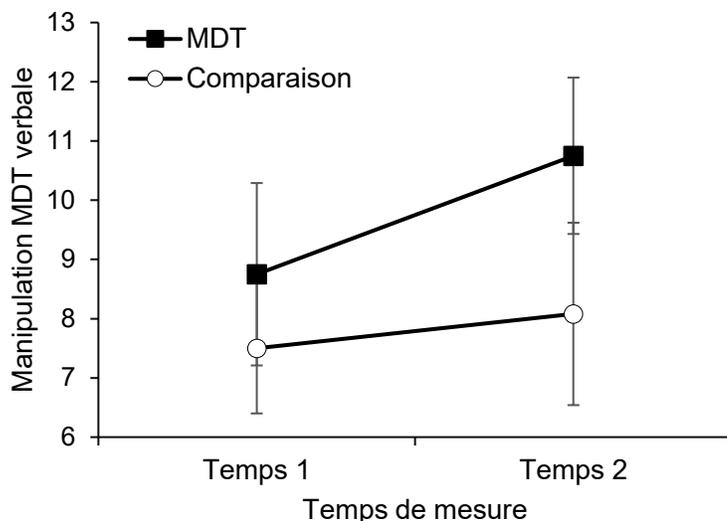


Figure 3.3. Résultats standardisés pour la capacité de manipulation de la mémoire de travail verbale selon les groupes et les temps de mesure.

3.4.2 Mémoire de travail visuospatiale

3.4.2.1 Indice de mémoire de travail

Une analyse de variance à mesures répétées 2×2 (groupes \times temps) est effectuée sur la variable de l'indice de MDT visuospatiale. L'analyse met en évidence un effet principal temps ($F(1, 22) = 5,74; p = 0,026; \eta^2 = 21\%$) ainsi qu'un effet principal groupe ($F(1, 22) = 15,85; p = 0,001; \eta^2 = 42\%$). Pour sa part, l'effet d'interaction se trouve à la limite du seuil de signification ($F(1, 22) = 4,04; p = 0,057; \eta^2 = 15\%$). Bien que dans l'ensemble, les participants de l'étude progressent dans le temps, la différence entre les deux groupes n'est pas significative sur le plan statistique à la fin de l'entraînement (voir la figure 3.4).

3.4.2.2 Capacité d'empan

Une analyse de variance à mesures répétées 2×2 (groupes \times temps) est effectuée sur une composante de l'indice de MDT, soit la capacité d'empan visuospatial. L'analyse met en évidence un effet principal temps ($F(1, 22) = 10,01; p = 0,005; \eta^2 = 31\%$), ce qui signifie que tous groupes confondus, les participants améliorent leur capacité d'empan d'une façon significative avec le temps. De plus, l'analyse révèle un effet groupe ($F(1, 22) = 18,78; p < 0,001; \eta^2 = 46\%$) ainsi qu'un effet d'interaction entre les groupes et les temps de mesure ($F(1, 22) = 12,18; p = 0,002; \eta^2 = 36\%$). L'ensemble de ces résultats indique que les groupes peuvent être considérés comme étant différents sur le plan statistique et qu'ils progressent d'une façon distincte. Plus précisément, seuls les participants du groupe expérimental améliorent leur capacité d'empan visuospatial de façon significative à la suite de l'entraînement cognitif (voir la figure 3.5).

3.4.2.3 Capacité de manipulation

Une analyse de variance à mesures répétées 2×2 (groupes \times temps) est effectuée sur la composante de l'indice de MDT visuospatiale en lien avec la capacité de manipulation mentale. L'analyse met seulement en évidence un effet principal groupe ($F(1, 22) = 7,64; p = 0,011; \eta^2 = 26\%$). Les effets temps et interaction groupes \times temps ne sont pas significatifs. Tout temps de mesure confondus, ces résultats signifient que les participants des deux groupes sont différents sur le plan statistique, mais qu'aucun groupe n'améliore de façon significative sa capacité de manipulation visuospatiale pendant l'étude (voir la figure 3.6).

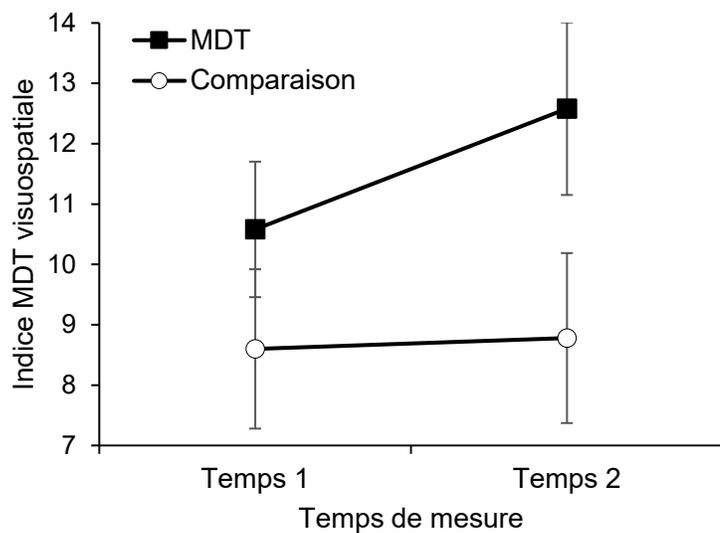


Figure 3.4. Résultats standardisés de l'indice de mémoire de travail visuospatiale selon les groupes et les temps de mesure.

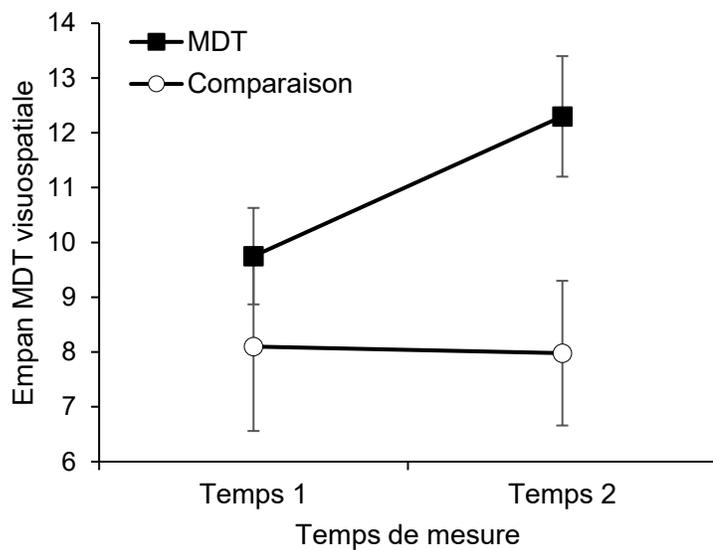


Figure 3.5. Résultats standardisés pour la capacité d'empan de la mémoire de travail visuospatiale selon les groupes et les temps de mesure.

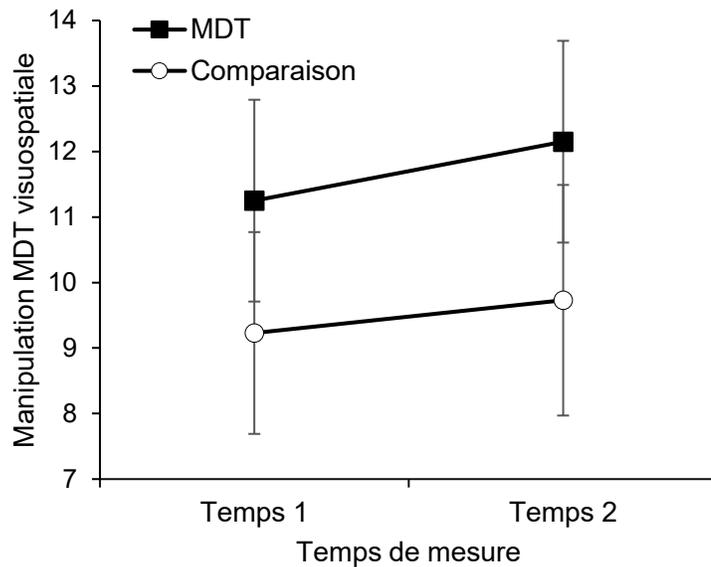


Figure 3.6. Résultats standardisés pour la capacité de manipulation de la mémoire de travail visuospatiale selon les groupes et les temps de mesure.

3.5 Discussion

Le but de cette étude est d'évaluer l'efficacité d'un programme d'intervention intensif de la MDT auprès d'élèves du primaire présentant une dyslexie. Plus spécifiquement, les impacts du programme sont évalués sur la capacité de MDT verbale et visuospatiale des participants. Les activités proposées ciblent la boucle phonologique et le calepin visuospatial décrits dans le modèle de Baddeley et Hitch (1974, 2000) . Comme il a été mentionné au chapitre précédent, le programme utilisé consiste en un logiciel maison inspiré des travaux de Klingberg (RoboMemo®, Cogmed Cognitive Medical Systems AB, Stockholm, Suède). À l'instar d'autres programmes d'entraînement de la

MDT recensés dans les écrits scientifiques, il propose des interventions informatisées qui s'adaptent individuellement aux performances des participants.

Cette étude représente une des premières tentatives d'entraînement de la MDT auprès d'enfants dyslexiques. Au terme de la remédiation cognitive, des gains sur les mesures verbales et visuospatiales sont constatés. Sur le plan verbal, les résultats vont dans le sens des hypothèses de recherche, démontrant qu'à la suite d'interventions répétées, il est possible d'améliorer la MDT de jeunes dyslexiques. Après six semaines d'intervention, les participants du groupe expérimental démontrent une amélioration significative à l'indice de MDT verbale en comparaison au groupe témoin. Plus précisément, la capacité d'empan verbal des participants entraînés progresse de façon significative. L'effet du traitement s'avère important pour les mesures verbales avec des tailles d'effet de 41% et 54% (η^2 au tableau 3.2). Sur le plan visuospatial, les participants du groupe expérimental ne s'améliorent que pour une seule mesure, soit la composante d'empan de la MDT. La taille d'effet associée à cette différence est importante ($\eta^2 = 86\%$). Enfin, les participants ne se sont pas améliorés aux tâches impliquant de la manipulation et ce, pour les deux modalités.

Les analyses présentées dans cette étude ont été réalisées à partir du résultat global des participants pour chaque condition (séquences d'items à rappeler à l'endroit ou à l'envers). Il est important de spécifier que cette tâche est discontinuée lorsque deux items consécutifs comportant le même nombre d'éléments sont échoués. Pour cette raison, il est intéressant de considérer une autre variable, soit le nombre d'éléments maximal que les participants peuvent conserver en mémoire ou manipuler. Les résultats à cette mesure peuvent légèrement différer chez des individus ayant par ailleurs obtenu le même résultat global. Par exemple, un premier participant pourrait conserver cinq éléments en mémoire, mais perdre des points au passage en raison d'une performance

variable (réussit un item sur deux). À l'inverse, un second participant pourrait obtenir le même résultat tout en traitant un élément de moins, car il demeure plus constant pendant la tâche (ne fait pas d'erreur). À ce sujet, les données démontrent que les élèves ayant reçu l'intervention s'améliorent sur le plan clinique concernant la quantité d'éléments qu'ils peuvent conserver en mémoire (conditions sans manipulation). À la fin de l'étude, les performances de ce groupe progressent de la moyenne faible à la moyenne sur le plan verbal (10^e au 27^e rang centile) et de la moyenne à la moyenne élevée (59^e au 84^e rang centile) sur le plan visuospatial. Cette amélioration de près d'un écart-type signifie qu'en moyenne, les élèves entraînés se souviennent d'un élément de plus : la performance passe de 4 à 5 items sur le plan verbal et de 5 à 6 items sur le plan visuospatial.

Dans l'ensemble, ces résultats sont encourageants. Comme il a été mentionné précédemment, les déficits verbaux touchant la mémoire à court terme (MCT) et la MDT sont bien établis dans la dyslexie. La boucle phonologique, composante verbale de la MDT, contribue aux performances associées au langage et à la mémoire. En fait, toute nouvelle information verbale passe nécessairement par la boucle phonologique : elle y est encodée, répétée puis enfin, consolidée en mémoire à long terme. Son bon fonctionnement est donc crucial puisqu'en récapitulant l'information, la boucle phonologique offre chaque fois des opportunités d'apprentissage. Dans la dyslexie, les difficultés d'automatisation dans la lecture mettent une pression accrue sur la boucle phonologique. La difficulté d'accéder aux représentations lexicales empêche un décodage efficient, car les éléments lus doivent être fragmentés puis recodés phonologiquement. Dans la présente étude, les participants entraînés progressent sur le plan verbal, soit à une mesure d'empan ainsi qu'à une mesure générale de MDT. Dans la lecture et l'écriture, les capacités à retenir et à traiter du matériel verbal sont essentielles (Gathercole et al., 2006; McCutchen, 2011). Par conséquent, il est

concevable que l'intervention proposée puisse alléger les difficultés d'apprentissage retrouvées chez les élèves dyslexiques.

Si l'existence de déficits de nature verbale dans la dyslexie fait consensus chez les experts, la présence de difficultés visuospatiales demeure controversée. Lors de la pré-évaluation, les participants de la présente étude ont performé différemment aux mesures verbales et visuospatiales. À l'indice de MDT verbale, la moitié des participants du groupe expérimental obtiennent un résultat faible (<25^e percentile). En revanche, à l'indice de MDT visuospatiale, tous les participants de ce groupe obtiennent un résultat normal ou supérieur à la moyenne, suggérant une absence préalable de difficultés. La majorité des élèves dans le groupe de comparaison obtiennent eux aussi une performance visuospatiale dans la moyenne pour leur âge au début de l'étude. Dans les écrits scientifiques, il est proposé que les difficultés visuospatiales rapportées chez les personnes dyslexiques soient causées par un déficit exécutif généralisé (Smith-Spark et al., 2016). Selon ce modèle, les difficultés visuospatiales surviendraient seulement lors d'activités complexes et exigeantes cognitivement, en raison des difficultés de nature exécutive (Bacon et Handley, 2014). Dans la présente étude, l'instrument de mesure visuospatial consiste en une tâche simple d'empan, ce qui a pu surestimer les capacités de MDT des participants (Bacon et al., 2013; Egeland, 2015; Hill et al., 2010; Leffard et al., 2006; Rowe, Titterington, Holmes, Henry et Taggart, 2019). Ainsi, l'utilisation d'outils sollicitant davantage l'administrateur central de la MDT aurait peut-être permis d'identifier des difficultés visuospatiales plus subtiles chez les participants.

En modalité visuospatiale, des améliorations post-entraînement sont observées sur la capacité d'empan, mais non sur la capacité de MDT proprement dite. Toutefois, les analyses de l'indice de MDT visuospatiale révèlent des effets simples (temps et groupe)

associés à un effet d'interaction à la limite du seuil de signification ($F(1, 22) = 4,04$; $p = 0,057$; $\eta^2 = 15\%$). De plus, le groupe expérimental obtient un gain post-entraînement intéressant, c'est-à-dire associé à une grande taille d'effet ($\eta^2 = 38\%$). La réplication de cette étude à une plus grande échelle permettrait de vérifier si une meilleure puissance statistique entraîne des résultats plus concluants. Par ailleurs, des difficultés préexistantes au sein des groupes ont pu interagir avec le traitement. En effet, malgré l'assignation aléatoire, les groupes n'étaient pas comparables statistiquement au début de l'étude concernant l'indice de MDT visuospatiale. Un plus grand échantillon favoriserait une meilleure équivalence entre les conditions expérimentales, permettant ainsi d'augmenter la validité interne de l'étude (Kazdin, 2003).

Le fait que l'entraînement n'ait pas permis d'améliorer la capacité de manipulation de la MDT et ce, dans les deux modalités, doit être souligné. Lorsque des tâches d'empans simples sont utilisées pour évaluer la MDT, il est essentiel de considérer les conditions où les items doivent être rappelés dans l'ordre inverse de présentation plutôt qu'à l'endroit (Bacon et al., 2013; Shipstead, Redick, et al., 2012). Les conditions d'ordre inverse représenteraient une mesure valide de la MDT chez l'enfant, en comparaison au rappel d'éléments à l'endroit qui n'implique pas ou peu de traitement de l'information (St Clair-Thompson, 2010). Dans cette étude, des indices de MDT combinant les deux types de tâches décrites ont été utilisés pour évaluer l'efficacité du traitement. Bien que l'amélioration générale de la MDT passe nécessairement par celle de ses composantes, l'absence de progression aux tâches de manipulation est à souligner et à investiguer dans les prochaines études, car il pourrait s'agir d'une limite du programme d'entraînement. Dans le même ordre d'idées, les indices de MDT sont couramment utilisés pour évaluer l'efficacité des programmes d'intervention (p. ex. Dahlin, 2011; Klingberg et al., 2005; Thorell et al., 2009). Il serait pertinent que les chercheurs rapportent les résultats décomposés de l'indice de MDT, ce qui permettrait

d'apprécier la progression relative de chaque composante. Si, de façon répétée, la capacité d'empan s'améliore davantage que celle de manipulation, ceci pourrait indiquer une plus grande sensibilité de cette composante de la MDT aux entraînements prodigués. Documenter les résultats de façon plus précise permettrait ainsi de mieux identifier les limites des transferts obtenus après les entraînements de la MDT.

Somme toute, les résultats de cette étude sont encourageants à plusieurs égards. Tout d'abord, des effets post-intervention significatifs sont obtenus à partir d'une petite taille d'échantillon ($n = 24$). Des résultats significatifs obtenus en dépit d'une faible puissance statistique peuvent être un indicateur de robustesse. De ce fait, les tailles d'effet associées aux différences de moyennes pour le groupe expérimental sont considérables. Ensuite, les gains de l'entraînement sont démontrés à l'aide d'instruments validés de la MDT qui sont utilisés à travers le monde, tant dans les milieux de la recherche que de la clinique (Strauss, Sherman et Spreen, 2006). Il est à noter que la passation répétée des tests cognitifs peut aussi occasionner un effet de pratique, mais que cet aspect est contrôlé, du moins partiellement, grâce à l'utilisation d'un groupe de comparaison.

Enfin, cette étude rend compte de la faisabilité d'implantation du programme d'intervention. De façon générale, ce projet a nécessité peu de ressources : les douze participants ont reçu les interventions par groupe de quatre dans un local de leur école comprenant autant d'ordinateurs et de paires d'écouteurs. En conservant ces dispositions, il serait possible d'intervenir auprès de cinquante, voire soixante élèves d'une même école au cours d'une année scolaire. De telles interventions alternatives sont à considérer, particulièrement au Québec où les ressources spécialisées sont insuffisantes pour venir en aide rapidement aux élèves en difficulté (Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur, 2016a, 2016b). À ce sujet, les

entraînements de la MDT doivent être étudiés davantage auprès des jeunes dyslexiques afin d'en mesurer les impacts sur les apprentissages scolaires, particulièrement en lecture et écriture.

Cette étude comporte des limites. Tout d'abord, l'évaluatrice du projet de recherche connaissait l'assignation des participants, ayant elle-même participé à l'administration du programme d'intervention. Ce double rôle constitue une menace à la validité interne, car des participants peuvent avoir été évalués différemment en fonction des attentes de l'expérimentateur (Kazdin, 2003). Ensuite, le maintien des acquis n'a pas été évalué, la dernière prise de mesure ayant eu lieu seulement quelques jours après la fin des entraînements. Même si plusieurs études d'entraînement de la MDT indiquent des améliorations de la fonction entraînée, il s'agit surtout de résultats à court terme (Melby-Lervåg et Hulme, 2013). Or, évaluer si les gains se maintiennent dans le temps est essentiel pour déterminer la valeur clinique de l'intervention.

Par ailleurs, le transfert direct de l'entraînement sur la capacité de MDT ne peut être établi avec certitude dans le cadre de cette étude. Tout d'abord, des améliorations significatives ne sont constatées que sur la moitié des mesures principales, possiblement en raison d'un manque de puissance statistique. Ensuite, le protocole de l'étude n'inclut aucune analyse permettant de documenter les mécanismes de transfert à partir des données d'entraînement. Si l'intervention est efficace, il est attendu que des correspondances fortes soient retrouvées entre les gains obtenus aux mesures dépendantes et ceux réalisés à l'intérieur même du programme. Cependant, la majorité des résultats d'entraînements de cette étude ont été perdus à la suite d'un problème informatique, rendant ce type d'analyses impossible. Dans les études futures, il serait pertinent de vérifier la contribution relative de chaque activité d'entraînement en regard des performances obtenues dans les différents domaines de la MDT. Au besoin, des

améliorations au programme d'entraînement pourraient être apportées, ce qui permettrait de prioriser certaines cibles d'intervention.

En conclusion, la MDT a longtemps été considérée comme une capacité fixe chez l'individu (Miller, 1955), mais la multiplication d'études sur la remédiation cognitive a remis cette idée en question. Actuellement, il est admis que la MDT peut être développée, mais la communauté scientifique demeure divisée quant aux retombées des entraînements cognitifs. Alors que certains qualifient les effets comme étant éphémères et spécifiques (Melby-Lervåg et Hulme, 2013; Shipstead, Hicks, et al., 2012), d'autres affirment que l'amélioration de la MDT entraîne des changements durables pouvant se généraliser dans plusieurs domaines (Morrison et Chein, 2011; Shinaver, Entwistle et Söderqvist, 2014).

Dans le cas de la dyslexie, le transfert des gains en MDT pourrait être vérifié sur les habiletés déficitaires en lecture et en écriture, caractéristiques de ce trouble. En lecture, la généralisation des acquis de la MDT pourrait se vérifier sur diverses composantes comme la conscience phonologique, la dénomination rapide automatisée, la précision et vitesse de décodage, mais aussi sur la compréhension de texte. En écriture, plusieurs compétences pourraient être mesurées comme la fluidité orale, la capacité à orthographier des mots ainsi qu'à appliquer des règles de grammaire dans un texte. Par ailleurs, le déficit attribué aux dyslexiques sur le plan exécutif pourrait être étudié en mesurant certaines fonctions, telles que la planification, la flexibilité ou le raisonnement fluide. Il est possible qu'une amélioration du contrôle exécutif obtenue à la suite d'un entraînement de MDT facilite l'écriture, une activité complexe mettant en place plusieurs processus simultanément (Alamargot et al., 2005; McCutchen, 2011).

Enfin, il s'agit à notre connaissance de la seule étude visant à mesurer l'impact d'un entraînement de la MDT auprès d'élèves dyslexiques scolarisés en français. Des progrès notables sont obtenus à un indice de MDT verbale et sur les capacités d'empan sur les plans verbal et visuospatial. Afin de vérifier la pertinence clinique de l'intervention auprès de cette population, les recherches futures devront porter sur le maintien et la généralisation des acquis de la MDT aux habiletés de lecture et d'écriture. Au-delà de la simple amélioration de la MDT, il doit être démontré que les interventions peuvent alléger concrètement les difficultés scolaires vécues par les élèves dyslexiques. Les études à venir permettront de mieux comprendre les mécanismes qui s'opèrent pendant les interventions de MDT, mais aussi de mieux identifier les limites des transferts qui y sont obtenus.

CHAPITRE IV

ÉTUDE 2

Tout comme l'étude présentée au chapitre précédent, celle-ci porte sur l'entraînement de la mémoire de travail (MDT) auprès d'élèves présentant des difficultés scolaires. Plus précisément, cette seconde étude vise à étudier la relation existant entre la MDT et les habiletés de lecture et d'écriture. Ainsi, il sera vérifié si l'amélioration de la MDT à la suite d'un entraînement cognitif peut, de surcroît, se répercuter sur les compétences en lecture et en écriture des participants entraînés.

Ce chapitre se divise en quatre parties. Tout d'abord, la première section porte sur les objectifs et les hypothèses. La deuxième section fournit des informations sur la méthode de l'étude, soit la description des participants, du devis de recherche, des instruments de mesure et des interventions. La troisième section présente les analyses statistiques effectuées, suivies des résultats obtenus. Enfin, une discussion générale est proposée en dernière partie.

4.1 Objectifs et hypothèses de recherche

Cette étude vise à vérifier si un programme d'entraînement de la MDT administré auprès d'élèves présentant des difficultés en langage écrit peut améliorer certaines habiletés de lecture et d'écriture. Pour y parvenir, trois objectifs sont formulés. Tout

d'abord, un premier objectif vise à vérifier l'impact du programme sur la MDT. Il est attendu que l'intervention de MDT améliore directement la fonction qu'elle vise à entraîner. En référence à ce principe, les variables liées à la MDT dans ce chapitre sont appelées des *mesures directes*. Ensuite, un deuxième objectif vise à vérifier si de meilleures capacités de MDT obtenues grâce à l'intervention peuvent entraîner une amélioration des habiletés de lecture et d'écriture. De tels résultats, obtenus sur des mesures différentes du domaine d'entraînement, rendraient compte d'un processus de généralisation des acquis de la MDT. Comme la MDT joue un rôle important dans la réalisation des activités de lecture et d'écriture, il apparaît plausible que l'amélioration de cette fonction ait pour effet de faciliter leur apprentissage. Dans ce chapitre, toutes les variables autres que la MDT (liées à la lecture-écriture) sont appelées des *mesures de transfert*. Enfin, un troisième objectif vise à mesurer le maintien des acquis dans le temps, autant pour les mesures directes que de transfert. Pour répondre aux objectifs de recherche, quatre hypothèses sont examinées :

- 1) L'entraînement proposé permettra d'améliorer la MDT verbale et visuospatiale des participants. Pour chacune de ces modalités, l'impact du programme sera vérifié de façon plus spécifique sur deux composantes de la MDT, soit la capacité d'empan et la capacité de manipulation. Il est entendu que l'amélioration de l'une ou l'autre de ces composantes permettra d'améliorer plus globalement les capacités de MDT des participants ;

- 2) L'amélioration des capacités de MDT permettra d'améliorer les habiletés de lecture suivantes : la conscience phonologique, la vitesse de lecture, la précision de lecture de même que la compréhension de lecture ;

3) L'amélioration des capacités de MDT permettra d'améliorer les habiletés d'écriture suivantes : la fluidité verbale à l'écrit, la capacité à orthographier les mots et la capacité à appliquer les règles de grammaire en écriture ;

4) Les gains réalisés à la suite de l'entraînement se maintiendront dans le temps pour une durée minimale de deux mois après l'intervention.

4.2 Méthode

4.2.1 Participants

Le recrutement se réalise auprès de 92 élèves présentant des difficultés d'apprentissage en lecture et en écriture (32 filles, 60 garçons, $M_{age} = 10,6$ ans, $ÉT = 1,25$, étendue de l'âge : 7–12 ans). Les participants, scolarisés en français, sont de niveau scolaire allant de la 2^e à la 6^e année primaire et fréquentent une école de la région métropolitaine de Montréal. Pour pouvoir participer à l'étude, un élève doit remplir un des deux critères suivants : (1) avoir eu un diagnostic de dyslexie à la suite d'une évaluation par un spécialiste (orthophoniste ou psychologue) ; (2) être un élève à risque de présenter une dyslexie et être en attente de confirmation ou non du diagnostic. Ce projet de recherche a reçu l'approbation du Comité institutionnel d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'Université du Québec à Montréal (UQAM). L'étude a débuté au mois d'avril 2011 et a pris fin en novembre 2012.

4.2.2 Devis de recherche

Cette étude utilise un protocole quasi expérimental de type prétest post-test avec groupe attente. Deux groupes sont formés de façon non aléatoire : un groupe quasi expérimental et un groupe de comparaison. Dans le groupe quasi expérimental ($n = 49$), les participants prennent part immédiatement aux entraînements de la MDT pour une durée de six semaines. Dans le groupe de comparaison ($n = 43$), les participants reçoivent la même intervention, mais plus tard dans l'année scolaire, soit lorsque l'administration du programme auprès du groupe quasi expérimental est terminée. Trois prises de mesure sont prévues pendant le projet, soit une pré-évaluation, qui a lieu avant toute intervention (Temps 1) et deux post-évaluations : la première a lieu après la fin de l'intervention administrée au groupe quasi expérimental (Temps 2) alors que la seconde est réalisée après celle administrée au groupe en attente (Temps 3). Dans la majorité des cas, les post-évaluations ont lieu rapidement, c'est-à-dire dans les jours suivants la fin de l'intervention des participants. Toutefois, quelques participants sont évalués après les vacances estivales pour leur dernière post-évaluation ($n = 10$), soit au retour en classe de l'année scolaire suivante. La figure 4.1 représente de façon schématisée le devis de recherche choisi et rend compte de la composition de l'échantillon au cours de l'étude.

4.2.3 Instruments de mesure

Les instruments de mesure sont présentés par domaine d'habiletés, soit la MDT, la lecture et l'écriture. Les coefficients de cohérence interne et de fidélité test-retest sont présentés lorsque ces valeurs psychométriques sont disponibles.

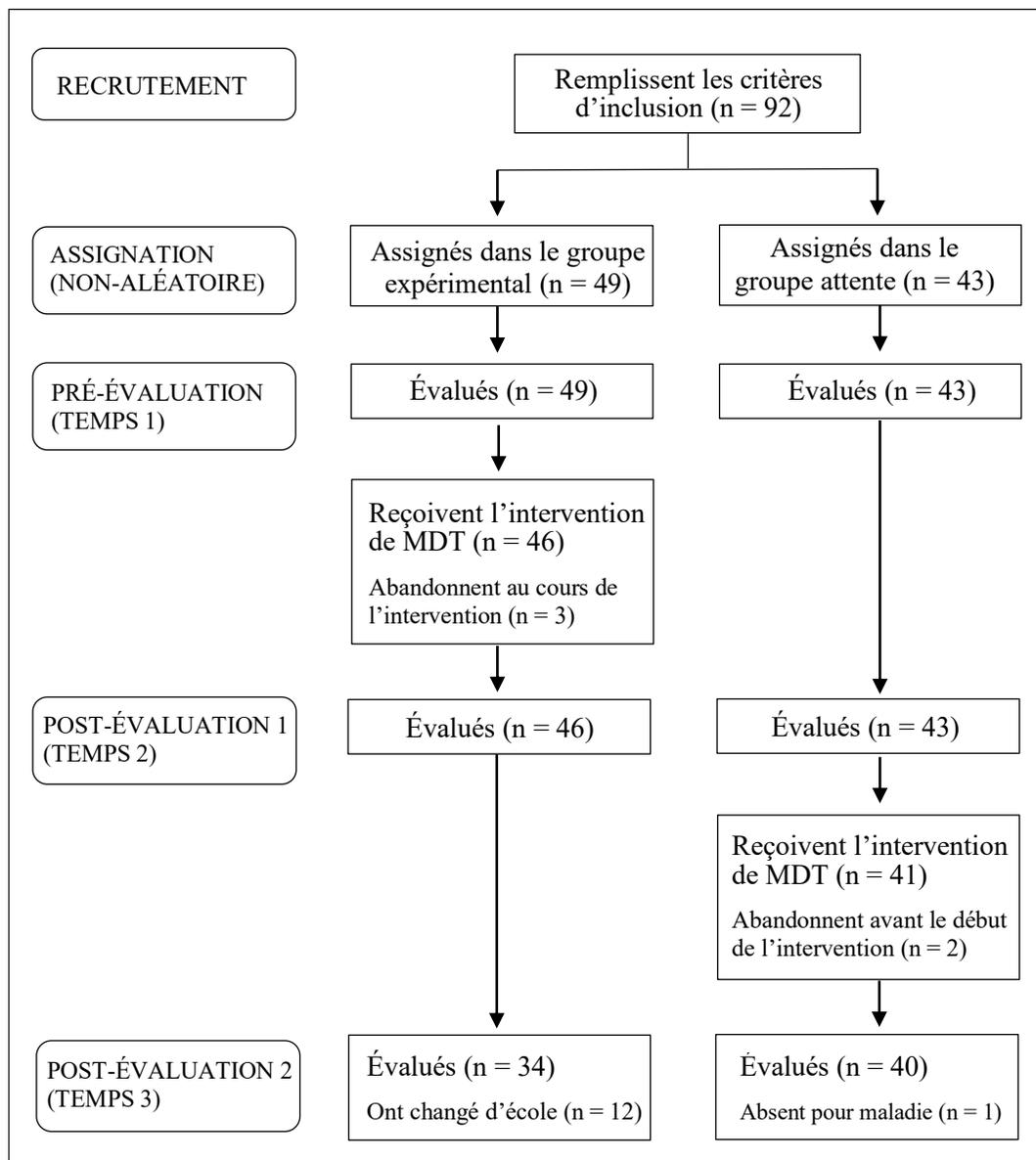


Figure 4.1. Distribution des participants au cours de l'étude.

4.2.3.1 Mémoire de travail

Les mêmes instruments de mesure ayant été utilisés lors de la première étude sont administrés, soit l'épreuve *Séquences de chiffres*, issue de l'Échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants (WISC-IV ; Wechsler, 2005a) et l'épreuve *Mémoire spatiale*, issue de l'Échelle non verbale d'aptitude de Wechsler (Wechsler, 2006). Ces épreuves visent à mesurer les capacités de MDT sur le plan verbal et visuospatial, respectivement. Le lecteur est prié de se référer au chapitre précédent pour obtenir des informations plus complètes de ces outils (section 3.2.3). Comme pour l'étude précédente, trois mesures sont analysées, soit un indice général de MDT et ses composantes plus spécifiques d'empan et de manipulation. Pour les deux épreuves, des versions informatisées non validées sont utilisées afin d'uniformiser les conditions de passation et de diminuer les erreurs de mesure.

4.2.3.2 Compétences en lecture

Tout d'abord, le *Test d'Analyse Auditive en Français* (T.A.A.F.) est utilisé pour mesurer les habiletés de conscience phonologique (Cormier, MacDonald, Grandmaison et Ouellette-Lebel, 1995; adapté de Rosner et Simon, 1971). Cette épreuve contient 42 tâches d'élimination auditive réalisées à partir de mots courants. Par exemple, il est demandé au participant de dire le mot « ordinateur » sans le son « na » qu'il contient. La cohérence interne, évaluée à partir du coefficient alpha de Cronbach, est de $\alpha = 0,96$. Ensuite, l'épreuve *L'Alouette-R* est utilisée (Lefavrais, 2005). Ce court texte à lire permet d'obtenir une estimation du niveau de lecture de l'enfant, pour la vitesse et l'exactitude. Comme le texte est dénué de sens, le lecteur ne peut s'aider avec le contexte de l'histoire pour décoder les mots. Enfin, le test *Lecture Flash* de la batterie L2MA-2 est administré. Dans cette épreuve de lecture silencieuse, le participant choisit

parmi cinq mots celui qui lui semble le plus approprié pour compléter une phrase (Chevrie-Muller, Maillart, Simon et Fournier, 2010). Ce test permet d'obtenir une estimation du niveau de compréhension en lecture.

4.2.3.3 Compétences en écriture

Tout d'abord, l'épreuve *Orthographe* du Test de rendement individuel de Wechsler est administrée à l'ensemble des participants (WIAT-II ; Wechsler, 2005b). Sous forme de dictée, ce test mesure les compétences de l'élève à orthographier correctement les mots. Pour ce faire, le participant doit se référer à ses connaissances lexicales en utilisant les indices contextuels qui lui sont présentés (p. ex. écrire le mot « mer » dans la phrase « j'aime nager à la mer »). Ensuite, dans le but d'évaluer plus en détail les processus d'écriture, deux épreuves supplémentaires ont été administrées auprès d'une partie de notre échantillon, soit 54 participants. Une de ces épreuves est *Fluidité verbale à l'écrit*, également issue de la WIAT-II (Wechsler, 2005b). Il est demandé à l'élève d'écrire en une minute le plus de noms d'objets correspondant à une catégorie donnée (« choses » ayant une forme ronde). Outre la fluidité mentale ou la capacité à générer des idées, la réussite de ce test nécessite le maintien d'une consigne en MDT, un accès lexical efficient ainsi que de bonnes capacités d'organisation et de planification. Conformément à la procédure standard d'administration, les erreurs d'orthographe ne sont pas pénalisées. Les coefficients de fidélité test-retest des sous-tests de la WIAT-II varient entre $r = 0,93$ et $r = 0,97$ (Wechsler, 2005b). Enfin, la dictée de phrases *Le Corbeau* de la batterie L2MA-2 est administrée (Chevrie-Muller et al., 2010). Cette épreuve permet de mesurer les compétences de l'élève à appliquer les règles de grammaire, soit la capacité à bien accorder les mots sous les formes nominale, adjectivale et verbale. Cette épreuve permet également d'identifier la présence d'erreurs phonologiques.

4.2.4 Procédures pour les évaluations

Les évaluations sont réalisées par cinq étudiantes en psychologie qui ne connaissent pas l'assignation des participants. Ces derniers sont rencontrés individuellement dans un local calme de leur école pour une durée de 75 à 90 minutes. Les épreuves sont administrées selon un ordre préétabli. Une partie des évaluations (15%) est réalisée par deux assistantes à la fois qui procèdent la journée même à un accord inter-juges pour la correction. Lors de la pré-évaluation, une mesure de rendement intellectuel est dérivée à partir des résultats obtenus à deux épreuves : une tâche de vocabulaire et une tâche de raisonnement, issues de la batterie *Wechsler Abbreviated Scale of Intelligence* (Wechsler, 1999). Cette mesure permet de vérifier l'équivalence des participants des deux groupes sur le plan intellectuel.

4.2.5 Procédures pour les interventions

Le programme d'intervention est le même que celui utilisé lors de l'étude précédente. Il comporte des tâches informatisées de MDT dans les modalités verbale et visuospatiale. Chaque séance d'intervention est composée de deux phases. Pendant la phase A, le participant complète des exercices dont le contenu et le niveau de difficulté varient selon ses performances. Lorsqu'il réussit un nombre déterminé d'exercices, la phase B du programme débute. À partir de ce moment, le participant choisit lui-même le type d'exercices à effectuer ainsi que le niveau de complexité. De plus, des points lui sont octroyés pour chaque activité réussie pendant cette phase. Pour les analyses statistiques, seules les données d'entraînement de la phase initiale sont considérées. La phase B du protocole d'intervention vise à motiver les participants à bien participer aux entraînements cognitifs. Des renseignements plus détaillés concernant le programme d'intervention peuvent être consultés au chapitre II.

Des paramètres d'intervention spécifiques à cette étude sont planifiés. Les séances d'entraînement sont d'une durée de 25 minutes chacune et ont lieu trois fois par semaine pendant six semaines consécutives. Lors d'un entraînement, le participant doit réussir 20 essais pour compléter la phase A du programme et accéder à la phase B. Les participants reçoivent l'intervention dans un local calme de leur école pendant les heures de classe. De quatre à dix élèves suivent le programme à la fois, chacun étant assigné à un ordinateur. Cinq étudiantes en psychologie assurent la supervision des différents entraînements : pour les groupes de plus de cinq élèves, deux assistantes sont présentes. Ces dernières ont reçu une formation pour administrer le programme et reçoivent une supervision continue pendant l'étude. Une durée d'intervention minimale de 400 minutes d'intervention est visée, ce qui correspond à environ 315 essais réussis. Le tableau 4.1 illustre les objectifs du programme d'entraînement de MDT en termes de minutes d'intervention et d'essais réussis (par semaine et par séance).

Tableau 4.1. Objectifs du programme d'entraînement de l'étude 2 par semaine.

Semaines	Séances	Minutes d'intervention	Essais réussis
1	1-2-3	75	60
2	4-5-6	150	120
3	7-8-9	225	180
4	10-11-12	300	240
5	13-14-15	375	300
6	16-17-18	450	360

4.3 Analyses

Les mesures cognitives sont standardisées selon les normes fournies dans les tests utilisés. Toutefois, pour la mesure de fluidité verbale écrite, les données brutes sont

conservées en raison du manque de variabilité des données standardisées disponibles (des quartiles). Tous les protocoles sont révisés par deux étudiants en psychologie. Ces derniers parviennent à un accord inter-juges dans 95% des cas et les désaccords sont résolus après discussion. La normalité de l'échantillon est vérifiée pour tous les temps de mesure et des transformations sur les données sont effectuées lorsque nécessaire.

Les analyses statistiques sont effectuées en deux parties :

- 1) Les premières analyses visent à vérifier l'efficacité du programme d'entraînement. Pour ce faire, des analyses de variance à mesures répétées sont effectuées pour comparer les performances des groupes au Temps 1 et au Temps 2. Il est attendu que les participants du groupe quasi expérimental progressent davantage au Temps 2 que les participants du groupe de comparaison pour chacune des variables dépendantes. Si les résultats s'avèrent significatifs, des comparaisons intra et inter-sujets seront effectuées afin de vérifier si le gain réalisé à la suite de l'entraînement diffère entre les deux groupes (c.-à-d. du Temps 1 au Temps 2 pour le groupe quasi expérimental et du Temps 2 au Temps 3 pour le groupe en attente) ;
- 2) Les secondes analyses visent à vérifier si les acquis obtenus à la suite de l'intervention se maintiennent dans le temps. Pour ce faire, des analyses de variance à mesures répétées du Temps 1 au Temps 3 sont réalisées. Une différence non-significative entre les groupes serait alors nécessaire pour conclure que la performance du groupe quasi expérimental s'est maintenue avec le passage du temps.

Il a été décidé de procéder aux analyses de variance à mesures répétées en deux parties (plutôt qu'en une seule incluant les trois temps de mesures) en raison d'une perte échantillonnale importante vers la fin de l'étude. En fait, la dernière évaluation est planifiée au retour des vacances estivales pour plusieurs participants ($n = 22$) : la moitié d'entre eux ont changé d'école et n'ont pu être réévalués ($n = 12$). Réaliser les analyses en deux parties permet ainsi d'inclure plus de participants dans les premières analyses visant à vérifier l'efficacité du traitement et donc, maximise la puissance statistique de l'étude.

Étant donné que la composition de l'échantillon est différente pour les deux types d'analyses, l'équivalence initiale des groupes est vérifiée chaque fois. Pour les premières analyses (Temps 1 avec Temps 2), les comparaisons intergroupes révèlent que les performances des deux groupes sont statistiquement équivalentes pour toutes les mesures au Temps 1. De plus, il n'y a pas de différence significative entre les groupes concernant l'âge des participants, le fonctionnement intellectuel (QI) et la répartition de garçons et de filles. Pour les secondes analyses (Temps 1 avec Temps 3), les groupes sont statistiquement équivalents pour toutes les mesures dépendantes au Temps 1. Il n'y a pas non plus de différence sur le plan statistique pour l'âge, le sexe et le QI mis à part pour deux mesures d'écriture, soit *Fluidité verbale à l'écrit* et la dictée de phrases *Le Corbeau* ($t(45) = 2,25$; $p = 0,029$; $\eta^2 = 10\%$). Plus précisément, les participants du groupe de comparaison sont plus âgés à ces tâches ($M = 11,1$ ans ; $ÉT = 1,13$) que les participants du groupe quasi expérimental ($M = 10,4$ ans ; $ÉT = 1,37$). Il est à rappeler qu'une partie seulement de l'échantillon ($n = 54$) a été soumis à ces deux épreuves. Enfin, la durée totale de l'étude est semblable pour les participants ayant complété les trois temps de mesure.

Pour chacune des variables dépendantes, des analyses de variance à mesures répétées 2×2 (groupes \times temps) sont réalisées. Lorsque nécessaires, des tests-t (intra ou inter) compléteront les analyses. Seuls les résultats significatifs sont présentés et les barres d'erreurs des graphiques représentent les intervalles de confiance à 95%. Des participants sont exclus des analyses dans le groupe quasi expérimental ($n = 1$) et dans le groupe de comparaison ($n = 3$). Les raisons consistent en l'absence à plus de trois séances d'intervention ($n = 1$) et l'obtention de résultats invalides dus à une mauvaise collaboration lors des évaluations ($n = 3$). Par ailleurs, le nombre de participants peut varier légèrement selon les tâches en raison de données manquantes. Pour les mesures d'écriture de dictée et de fluidité verbale écrite, le nombre de participants est inférieur puisque les tâches correspondantes ont été administrées à moins de participants.

4.4 Résultats

4.4.1 Efficacité du programme d'entraînement

4.4.1.1 Mesures directes

Les indices de MDT dans les deux modalités (verbale et visuospatiale) sont tout d'abord analysés, suivis de leurs sous-composantes (capacités d'empan et de manipulation). Concernant l'indice de MDT verbale, l'analyse met en évidence un effet principal temps ($F(1, 81) = 26,45$; $p = 0,001$; $\eta^2 = 25\%$). Les effets groupe et interaction groupes \times temps ne sont pas significatifs. Ces résultats signifient que dans l'ensemble, les participants de l'étude améliorent de façon significative leur MDT verbale avec le passage du temps, mais qu'aucun groupe ne se distingue significativement (voir la figure 4.2). Des effets principaux temps sont aussi retrouvés pour les sous-composantes de l'indice de MDT verbale, soit pour la capacité d'empan

($F(1, 81) = 16,09$; $p = 0,001$; $\eta^2 = 17\%$) et de manipulation mentale ($F(1, 81) = 12,99$; $p = 0,001$; $\eta^2 = 14\%$). Pour la MDT visuospatiale, aucun effet n'est retrouvé pour l'indice de MDT, ni pour la composante de manipulation mentale. Cependant, un effet d'interaction groupes \times temps est retrouvé pour la capacité d'empan visuospatial ($F(1, 80) = 4,77$; $p = 0,032$; $\eta^2 = 6\%$), indiquant que les groupes progressent différemment. En fait, la capacité d'empan du groupe quasi expérimental augmente alors que celle du groupe de comparaison diminue légèrement (voir la figure 4.3). Après l'intervention, les groupes sont statistiquement différents ($t(80) = 2,44$; $p = 0,017$; $\eta^2 = 7\%$), mais seule la progression du groupe quasi expérimental est significative ($t(41) = -2,22$; $p = 0,030$; $\eta^2 = 11\%$). Somme toute, à l'exception de l'empan visuospatial, l'intervention n'a pas permis d'améliorer la MDT des participants. Les moyennes et écarts-types des variables ainsi que les tailles d'effet associées aux gains post-intervention se trouvent dans le tableau 4.2.

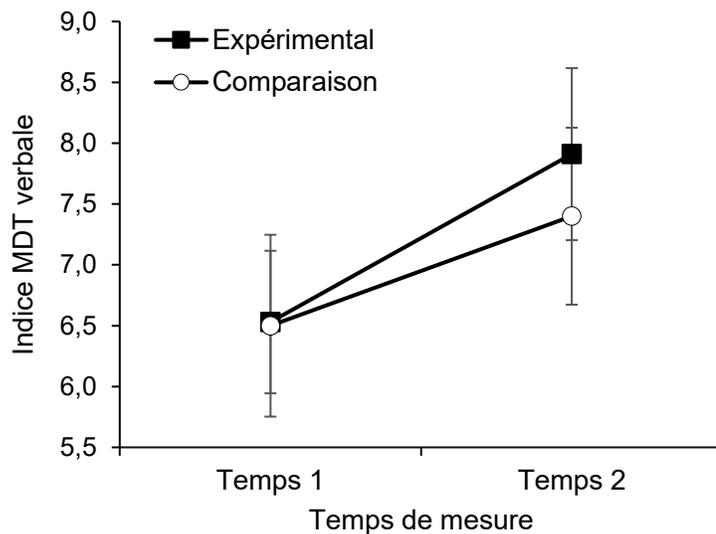


Figure 4.2. Résultats standardisés de l'indice de mémoire de travail verbale selon les groupes et les temps de mesure (impact du programme).

Tableau 4.2. Résultats pour les mesures de mémoire de travail et tailles d'effets selon les groupes pour le Temps 1 et le Temps 2.

Variables	Groupes	N	Temps 1		Temps 2		Différence (T2 - T1)	η^2
			M	ÉT	M	ÉT		
Verbal								
Indice de MDT								
	EXP	43	6,53	1,93	7,91	2,28	1,38	32%
	COMP	40	6,50	2,33	7,40	2,27	0,90	18%
Empan								
	EXP	43	6,93	1,56	7,98	2,42	1,05	21%
	COMP	40	6,78	2,27	7,48	2,30	0,70	12%
Manipulation								
	EXP	43	7,44	2,15	8,79	2,24	1,35	22%
	COMP	40	7,58	2,25	8,30	2,52	0,72	7%
Visuospatial								
Indice de MDT								
	EXP	42	9,14	2,19	9,77	2,55	0,63	8%
	COMP	40	8,82	2,93	8,75	2,64	-0,07	0%
Empan								
	EXP	42	9,03	2,96	10,14	3,00	1,11	8%
	COMP	40	9,05	2,65	8,59	2,75	-0,46	3%
Manipulation								
	EXP	42	9,41	2,02	9,45	2,72	0,04	0%
	COMP	40	8,89	3,32	9,21	2,95	0,32	1%

Note. T1 = Temps 1 ; T2 = Temps 2 ; EXP = groupe quasi expérimental ; COMP = groupe de comparaison.

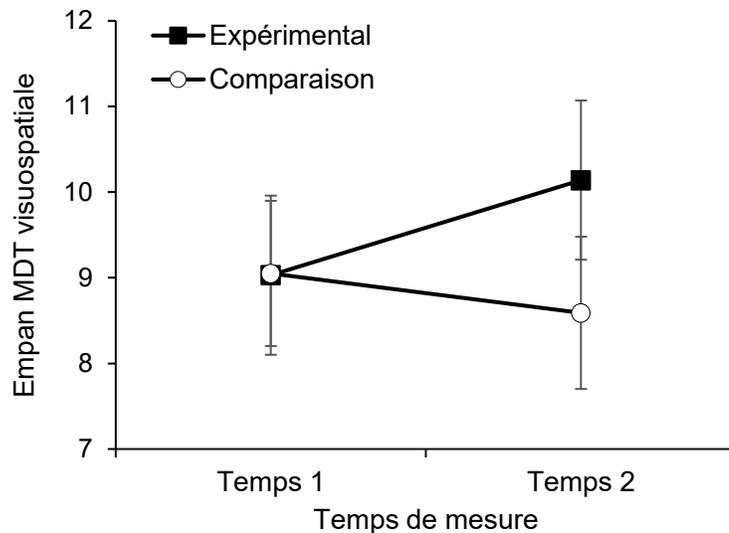


Figure 4.3. Résultats standardisés de la capacité d'empan de la mémoire de travail visuospatiale selon les groupes et les temps de mesure (impact du programme).

4.4.1.2 Mesures de transfert

Concernant la lecture, les analyses révèlent des effets principaux de temps pour la conscience phonologique ($F(1, 83) = 68,12; p = 0,001; \eta^2 = 45\%$), la vitesse de lecture ($F(1, 82) = 52,58; p = 0,001; \eta^2 = 39\%$) ainsi que la compréhension de lecture ($F(1, 82) = 12,29; p = 0,001; \eta^2 = 13\%$). Les autres effets principaux ne sont pas significatifs. Aucun effet principal n'est retrouvé pour l'exactitude en lecture. Concernant l'écriture, les analyses ne révèlent aucun effet principal pour les mesures d'orthographe ainsi que les performances en dictée (erreurs phonologiques ou grammaticales). Seules les analyses portant sur la fluidité verbale écrite indiquent des effets principaux temps ($F(1, 53) = 4,28; p = 0,044; \eta^2 = 7\%$) et d'interaction groupes \times temps ($F(1, 53) = 8,41; p = 0,005; \eta^2 = 14\%$). Ces résultats signifient que les participants des deux groupes évoluent différemment dans le temps. Plus précisément, les performances du groupe quasi expérimental demeurent stables ($t(25) = -0,53; p = ns$) alors que celles du groupe de comparaison augmentent de façon significative

($t(26) = 3,97; p < 0,001; \eta^2 = 38\%$), ce qui va à l'encontre des hypothèses de recherche (voir la figure 4.4). Les moyennes et écarts-types des variables ainsi que les tailles d'effet associées aux gains post-intervention peuvent être consultés dans le tableau 4.3.

Tableau 4.3. Résultats pour les mesures de transfert et tailles d'effets selon les groupes pour le Temps 1 et le Temps 2.

Variables	Groupes	N	Temps 1		Temps 2		Différence (T2 - T1)	η^2
			M	ÉT	M	ÉT		
Conscience phonologique								
	EXP	45	-0,69	0,82	-0,07	0,74	0,62	41%
	COMP	40	-0,81	1,08	-0,16	0,88	0,65	51%
Exactitude en lecture								
	EXP	44	-1,71	1,71	-1,45	1,75	0,26	7%
	COMP	40	-1,19	1,64	-1,41	2,26	-0,22	2%
Vitesse de lecture								
	EXP	44	-1,07	0,84	-0,78	0,97	0,29	29%
	COMP	40	-0,98	0,73	-0,60	0,87	0,38	50%
Compréhension de lecture								
	EXP	44	-1,30	1,41	-0,61	0,83	0,69	27%
	COMP	40	-1,34	1,41	-1,07	1,29	0,27	4%
Orthographe								
	EXP	44	75,27	10,29	76,61	10,18	1,34	6%
	COMP	40	78,25	10,63	78,45	10,32	0,20	0%
Dictée phonologique								
	EXP	27	-3,34	3,22	-2,66	2,91	0,68	8%
	COMP	27	-2,20	2,44	-1,82	2,46	0,38	5%
Dictée grammair								
	EXP	27	-1,61	0,73	-1,50	0,92	0,11	2%
	COMP	27	-1,67	1,03	-1,38	0,98	0,29	12%
Fluidité verbale écrite								
	EXP	27	4,96	1,89	4,78	1,60	-0,18	1%
	COMP	28	4,39	1,71	5,50	1,67	1,11	37%

Note. T1 = Temps 1 ; T2 = Temps 2 ; EXP = groupe quasi expérimental ; COMP = groupe de comparaison.

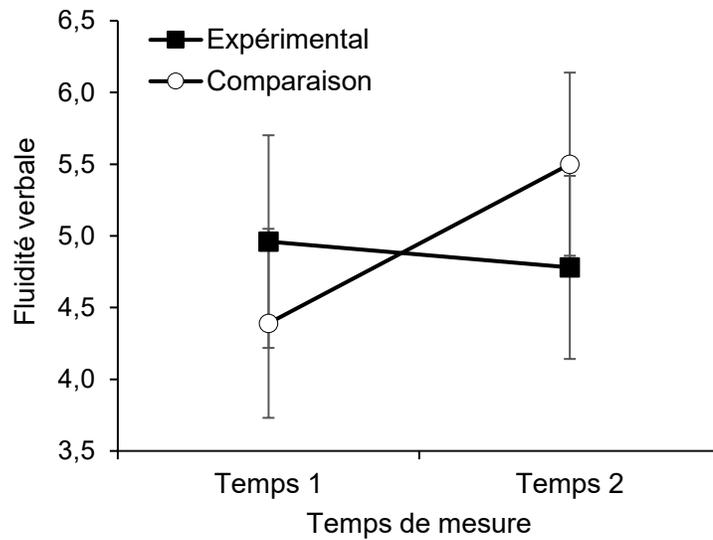


Figure 4.4. Résultats standardisés pour la fluidité verbale écrite selon les groupes et les temps de mesure (impact du programme).

4.4.2 Maintien des acquis

Initialement, les secondes analyses visaient à évaluer le maintien des acquis de la MDT, c'est-à-dire vérifier si les améliorations réalisées à la suite de l'entraînement persistent dans le temps. Toutefois, les premières analyses révèlent une absence de progrès pour le premier groupe entraîné immédiatement après l'intervention. Dans ce contexte, les analyses prévues sont réalisées dans un autre but, soit de mesurer à nouveau l'impact de l'intervention, mais cette fois-ci auprès du groupe de comparaison.

4.4.3 Efficacité de l'intervention pour le groupe de comparaison

4.4.3.1 Mesures directes

Concernant l'indice de MDT verbale, l'analyse met en évidence un effet principal temps ($F(1, 69) = 45,45; p = 0,001; \eta^2 = 40\%$). Les effets groupe et interaction groupes \times temps ne sont pas significatifs. Des effets principaux temps sont aussi retrouvés pour les capacités verbales liées à l'empan ($F(1, 69) = 36,55; p = 0,001; \eta^2 = 35\%$) et à la manipulation mentale ($F(1, 69) = 45,12; p = 0,001; \eta^2 = 40\%$). Ces résultats signifient que dans l'ensemble, les participants des deux groupes améliorent de façon semblable leur MDT verbale au cours de l'année scolaire (voir la figure 4.5). Sur le plan visuospatial, les résultats sont similaires avec des effets temps retrouvés pour l'indice de MDT ($F(1, 69) = 15,97; p = 0,001; \eta^2 = 19\%$), l'empan ($F(1, 69) = 6,81; p = 0,011; \eta^2 = 9\%$) et la manipulation mentale ($F(1, 69) = 9,45; p = 0,003; \eta^2 = 12\%$). En somme, tant sur le plan verbal que visuospatial (voir la figure 4.6), les participants du groupe de comparaison évoluent dans le temps d'une façon semblable aux participants du groupe quasi expérimental. L'intervention n'a donc pas entraîné de gains significatifs de la MDT, et ce, pour chacun des groupes. Les moyennes, écarts-types et tailles d'effet se trouvent dans le tableau 4.4.

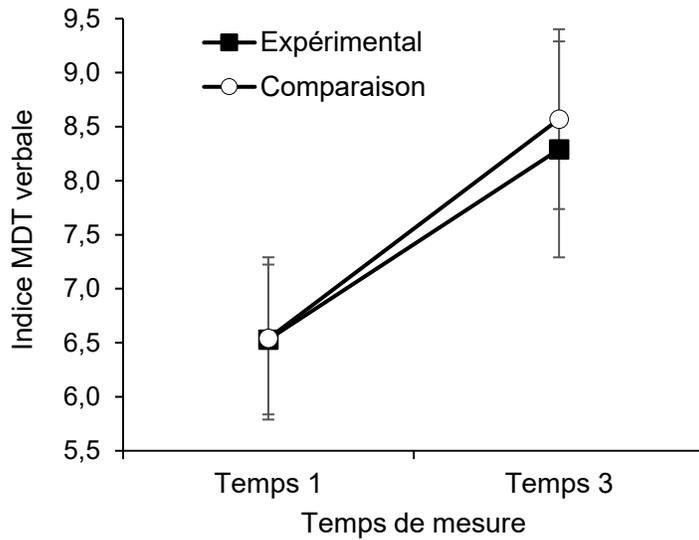


Figure 4.5. Résultats standardisés pour l'indice de mémoire de travail verbale selon les groupes et les temps de mesure (évolution du groupe de comparaison).

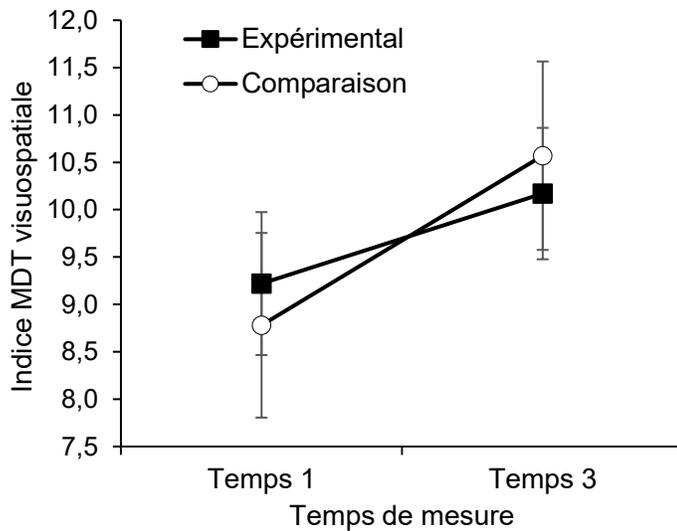


Figure 4.6. Résultats standardisés pour l'indice de mémoire de travail visuospatiale selon les groupes et les temps de mesure (évolution du groupe de comparaison).

Tableau 4.4. Résultats pour les mesures de mémoire de travail et tailles d'effets selon les groupes pour le Temps 1 et le Temps 3.

Variables	Groupes	N	Temps 1		Temps 3		Différence (T3 - T1)	η^2
			M	ÉT	M	ÉT		
Verbal								
Indice de MDT								
	EXP	34	6,53	1,97	8,29	2,88	1,76	30%
	COMP	37	6,54	2,27	8,57	2,49	2,03	51%
Empan								
	EXP	34	6,82	1,60	7,94	2,56	1,12	22%
	COMP	37	6,89	2,17	8,54	2,51	1,65	49%
Manipulation								
	EXP	34	7,50	2,14	9,47	2,22	1,97	37%
	COMP	37	7,54	2,26	9,59	2,47	2,05	43%
Visuospatial								
Indice de MDT								
	EXP	34	9,22	2,16	10,17	1,96	0,95	18%
	COMP	37	8,78	2,92	10,57	3,01	1,79	21%
Empan								
	EXP	34	9,21	3,16	9,74	2,43	0,53	2%
	COMP	37	9,15	2,51	10,62	3,16	1,47	19%
Manipulation								
	EXP	34	9,36	1,80	10,38	2,35	1,02	12%
	COMP	37	8,74	3,38	10,37	2,98	1,63	13%

Note. T1 = Temps 1 ; T3 = Temps 3 ; EXP = groupe quasi expérimental ; COMP = groupe de comparaison.

4.4.3.2 Mesures de transfert

Les résultats aux mesures de transfert révèlent plusieurs effets principaux temps, soit pour la conscience phonologique ($F(1, 69) = 65,72; p = 0,001; \eta^2 = 49\%$), la vitesse de lecture ($F(1, 69) = 32,72; p = 0,001; \eta^2 = 32\%$), la compréhension de lecture ($F(1, 67) = 15,79; p = 0,001; \eta^2 = 19\%$), l'orthographe ($F(1, 69) = 4,17; p = 0,045; \eta^2 = 6\%$) et la fluidité verbale écrite ($F(1, 46) = 13,82; p = 0,001; \eta^2 = 23\%$). Dans l'ensemble, les participants des deux groupes s'améliorent dans le temps, mais ne se distinguent pas entre eux. En écriture, un effet d'interaction groupes \times temps est retrouvé pour les erreurs grammaticales en dictée de phrases ($F(1, 45) = 4,89; p = 0,032; \eta^2 = 10\%$). Plus précisément, les performances du groupe de comparaison augmentent alors que celles du groupe quasi expérimental diminuent. Toutefois, à la fin de l'étude, la différence de gains du groupe quasi expérimental par rapport au groupe de comparaison n'est pas significative (voir la figure 4.7). Les moyennes et écarts-types des variables ainsi que les tailles d'effet associées aux gains post-intervention peuvent être consultés dans le tableau 4.5.

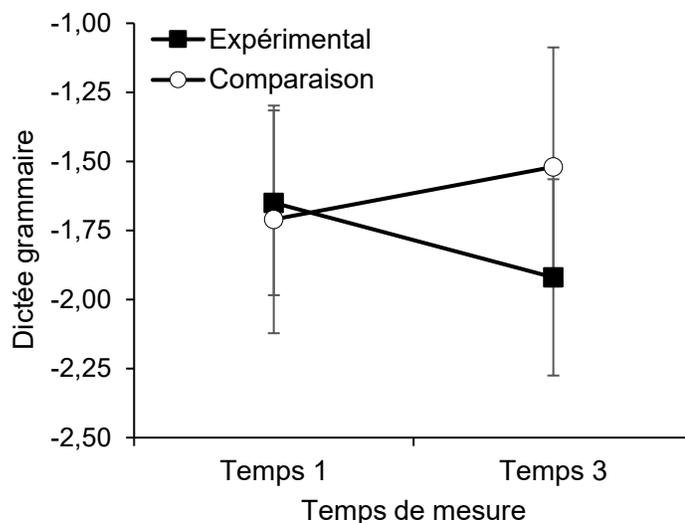


Figure 4.7. Résultats standardisés de la performance en dictée (erreurs grammaticales) selon les groupes et les temps de mesure (évolution du groupe de comparaison).

Tableau 4.5. Résultats aux mesures de transfert et tailles d'effets selon les groupes pour le Temps 1 et le Temps 3.

Variables	Groupes	N	Temps 1		Temps 3		Différence (T3 - T1)	η^2
			M	ÉT	M	ÉT		
Conscience phonologique								
	EXP	34	-0,75	0,84	0,02	0,82	0,77	42%
	COMP	37	-0,81	1,11	0,05	0,79	0,86	57%
Exactitude en lecture								
	EXP	34	-1,96	1,84	-2,49	4,87	-0,53	2%
	COMP	37	-1,23	1,67	-1,08	1,52	0,15	1%
Vitesse de lecture								
	EXP	34	-1,01	0,89	-0,69	1,15	0,32	17%
	COMP	37	-0,95	0,74	-0,44	0,94	0,51	54%
Compréhension de lecture								
	EXP	32	-1,24	1,15	-0,72	0,86	0,52	17%
	COMP	37	-1,34	1,45	-0,80	1,16	0,54	21%
Orthographe								
	EXP	34	76,12	10,97	76,71	11,07	0,59	1%
	COMP	37	78,49	10,95	81,32	12,48	2,83	15%
Dictée phonologique								
	EXP	21	-3,27	3,40	-2,92	3,32	0,35	3%
	COMP	26	-2,20	2,48	-1,88	2,08	0,32	2%
Dictée grammair								
	EXP	21	-1,65	0,75	-1,92	0,79	-0,27	12%
	COMP	26	-1,71	1,04	-1,52	1,06	0,19	8%
Fluidité verbale écrite								
	EXP	21	4,90	1,64	5,57	1,69	0,67	14%
	COMP	27	4,41	1,74	5,67	1,69	1,26	32%

Note. T1 = Temps 1 ; T3 = Temps 3 ; EXP = groupe quasi expérimental ; COMP = groupe de comparaison.

4.5 Discussion

Cette étude porte sur l'évaluation de l'efficacité d'un programme d'intervention de la MDT auprès d'élèves du primaire présentant des difficultés d'apprentissage en lecture et écriture. Pendant six semaines, les participants complètent des exercices informatisés qui sollicitent leurs capacités de MDT verbale et visuospatiale. Dans un premier temps, cette étude vise à vérifier si l'intervention permet d'améliorer directement la fonction entraînée, c'est-à-dire la MDT. Dans un deuxième temps, il est vérifié si l'entraînement permet d'améliorer diverses compétences en lecture et en écriture. En raison des liens existants entre la MDT et ces construits, il est attendu que des améliorations sur le plan de la MDT puissent se généraliser par des gains à ces fonctions non-entraînées.

Tout d'abord, les résultats obtenus ne permettent pas de confirmer les hypothèses de recherche. Le premier groupe entraîné ne s'améliore significativement qu'à une seule mesure de MDT, soit la capacité d'empan visuospatial. Ce résultat n'est pas surprenant considérant que plusieurs des tâches d'entraînement comportent des stimuli visuels susceptibles d'entraîner la mémoire à court terme visuospatiale. Toutefois, aucun autre changement significatif n'est obtenu sur les plans verbal et visuospatial pour les indices de MDT, d'empan et de manipulation. En somme, ces résultats signifient que l'entraînement proposé n'a pas réussi à améliorer la fonction entraînée, soit la MDT. Concernant les mesures de transfert, une seule différence significative entre les groupes est retrouvée pour la variable de fluidité verbale écrite. Cependant, la performance supérieure se retrouve dans le groupe non-entraîné, ce qui va à l'encontre des hypothèses de recherche. Comme il a été mentionné, les analyses pour la fluidité verbale écrite ont été réalisées à partir de données brutes qui ne tiennent pas compte de l'âge, contrairement aux données standardisées. Puisque l'échantillon comporte une grande étendue d'âge (7–12 ans), il est envisagé que les élèves plus âgés aient pu

évoluer différemment au cours de l'année scolaire et être avantagés au dernier temps de mesure (p. ex. ont appris plus de mots de vocabulaire, sont plus rapides à écrire). Une nouvelle analyse est donc réalisée *a posteriori*, cette fois-ci avec le facteur *âge* mis en covariable. Les résultats indiquent qu'il existe effectivement un effet significatif lié à l'âge ($F(1, 52) = 9,99; p = 0,003; \eta^2 = 16\%$). Cependant, l'effet d'interaction entre les groupes et les temps de mesure demeure significatif même après que cette influence ait été contrôlée dans les analyses ($F(1, 52) = 8,45; p = 0,005; \eta^2 = 14\%$). En somme, bien que l'âge semble avoir un impact, d'autres variables (qui nous sont inconnues) contribuent probablement aussi à expliquer ce patron de résultats.

Hormis ces deux résultats, seuls des effets statistiques liés au temps sont retrouvés et ce, pour la moitié des mesures directes et de transfert. Ce patron de résultats indique que l'ensemble des participants s'améliore pendant l'étude, mais que leur progression ne peut être attribuable à l'intervention. Autrement dit, ces améliorations reflètent des apprentissages qui se sont réalisés pendant la durée de l'étude, mais qui sont sans lien avec l'intervention proposée, soit un programme maison d'entraînement de la MDT inspiré de *Cogmed*. Il est donc possible que les participants se soient améliorés par un processus de maturation ou parce que la matière enseignée en classe recoupe des variables de l'étude. Enfin, ces résultats pourraient également s'expliquer par un effet test-retest ou d'apprentissage lié au matériel d'évaluation. Ainsi, il arrive que les participants d'une étude apprennent et s'améliorent en étant exposés plusieurs fois aux mêmes tests, surtout lorsque cette administration répétée est rapprochée dans le temps (Kazdin, 2003).

Par ailleurs, un dernier objectif devait initialement porter sur le maintien des acquis. Il consistait à vérifier si les gains réalisés par le premier groupe entraîné pouvaient se maintenir dans le temps plusieurs mois plus tard. Cependant, cet objectif ne peut être

vérifié, car les participants du groupe quasi expérimental ne se sont pas distingués après leur entraînement. Par conséquent, cette deuxième série d'analyses est réalisée dans un autre but, soit de documenter les améliorations obtenues à la suite de l'intervention, mais cette fois-ci pour les participants du groupe de comparaison. Dans l'ensemble, seuls des effets liés au temps sont retrouvés, indiquant que les deux groupes progressent de façon semblable. Après le premier entraînement, de tels effets sont présents pour la moitié des mesures dépendantes : à la fin de l'étude, cette proportion passe à 80%. Le délai plus long entre la première et la troisième évaluation explique probablement cette augmentation. Encore une fois, l'amélioration aux différentes mesures ne semble pas attribuable à l'entraînement de la MDT, mais plutôt à d'autres facteurs comme la maturation, les apprentissages réalisés à l'extérieur de l'étude ou l'effet test-retest.

Ces résultats diffèrent de ceux obtenus à l'étude précédente : à la suite de l'intervention, les participants entraînés avaient progressé significativement à des mesures de MDT verbale et visuospatiale. Dans les deux expérimentations, un entraînement de la MDT est prodigué à des élèves du primaire présentant des difficultés scolaires en lecture et en écriture. Dans la première étude, un diagnostic de dyslexie est confirmé pour l'ensemble de l'échantillon. Dans cette étude, les participants n'ont pas tous reçu un diagnostic de ce trouble : pour certains, seule une hypothèse a été émise par un spécialiste. Néanmoins, l'évaluation initiale indique que tous ces élèves présentent des retards importants en lecture et en écriture. En lecture, tous les participants obtiennent une performance sous la moyenne (<25^e rang centile) ; en écriture, le rendement est encore plus faible (généralement, <1^{er} rang centile).

Une autre différence entre les deux études est à souligner sur le plan de l'intensité de l'intervention. Dans les études de remédiation cognitive, l'intensité est objectivée par la durée et la fréquence des séances d'entraînement combinées à leur distribution dans

le temps. Dans les deux expérimentations de la thèse, les participants se sont entraînés à partir du même logiciel d'entraînement pendant une période de six semaines. Toutefois, la durée et la fréquence des interventions de MDT étaient supérieures dans la première étude en comparaison à la seconde (24 séances de 40 minutes vs. 18 séances de 25 minutes). Les participants de la présente étude se sont donc entraînés deux fois moins que leurs prédécesseurs sur une même période de temps (400 minutes d'intervention au lieu de 850). Ces derniers ont aussi complété moins d'exercices d'entraînement, ce qui se traduit par un nombre d'essais significativement moins élevé (360 essais réussis au lieu de 840). Ainsi, la réduction du temps d'entraînement représente une explication plausible pour expliquer l'absence de gains obtenus dans cette étude.

Considérée comme un principe de base de la neuroplasticité, l'intensité représente une variable d'intérêt dans le domaine de la remédiation cognitive. Pour induire un changement neuronal significatif, la rééducation proposée se doit d'être suffisamment répétitive et intensive (Diamond, 2013; Kleim et Jones, 2008). Néanmoins, ce sujet a été peu exploré dans les études d'entraînement de la MDT où une certaine homogénéité est constatée. En fait, le programme *Cogmed* est le plus utilisé en recherche et lorsque d'autres interventions sont administrées, les paramètres d'entraînement sont généralement similaires à ce dernier (c.-à-d. des séances d'environ 40 minutes, 4 à 5 fois par semaine pendant 5 à 7 semaines). Cependant, quelques interventions moins intensives ayant démontré une certaine efficacité sont à noter (p. ex. Henry et al., 2014; Loosli et al., 2012; Söderqvist et Bergman Nutley, 2015; Van der Molen et al., 2010; Yang et al., 2017). De ce groupe, seuls Söderqvist et Bergman Nutley (2015) ont utilisé le programme *Cogmed*, mais en réduisant le temps d'entraînement de moitié en comparaison à l'administration standard.

Peu d'études ont porté spécifiquement sur la comparaison de différents niveaux d'intensité au sein des interventions de MDT. À la suite d'un entraînement de *n-back* auprès d'adultes, Jaeggi et al. (2008) rapportent des gains à une mesure d'intelligence fluide qui sont proportionnels à la quantité de traitement reçu (8, 12, 17 ou 19 séances sur une période de 4 semaines). Par le fait même, ils initient le concept de « gains dépendants au dosage » dans les entraînements de MDT qui réfère à l'idée que les gains post-intervention sont directement liés à la quantité d'entraînement reçue (*dosage-dependent*). Autrement dit, si une partie de l'échantillon reçoit la même intervention que le groupe expérimental, mais à une plus basse fréquence, il est attendu que l'entraînement soutenu mène à de plus grandes améliorations. Ce patron de résultats a été observé par Alloway et al. (2013) avec des performances supérieures à des tâches de MDT et de vocabulaire pour le groupe d'enfants s'étant entraîné plus intensivement (30 minutes, 4 fois par semaine pendant 8 semaines vs. mêmes paramètres mais à une fréquence d'une fois par semaine). À l'inverse, Penner et al. (2012) rapportent de meilleurs résultats sur un ensemble de tâches cognitives pour les adultes ayant reçu un entraînement distribué de la MDT (45 minutes, 2 fois/semaine pendant 8 semaines) plutôt qu'à haute intensité (45 minutes, 4 fois/semaine pendant 4 semaines). Selon les auteurs, le fait d'étaler l'intervention dans le temps préviendrait les problèmes de motivation et de fatigue et favoriserait un meilleur rendement chez les participants. Toujours chez les adultes, Mawjee et al. (2014) ont testé une version réduite du programme *Cogmed* (séances de 15 minutes, 5 fois par semaine pendant 5 semaines) avec la version standard (mêmes paramètres mais avec des séances de 45 minutes) : les deux groupes de traitement affichent une progression semblable dans leurs activités d'entraînement et deux fois moins d'abandons sont notés pour le groupe ayant reçu l'intervention moins intensive. En somme, les données actuelles concernant l'intensité des entraînements de la MDT sont incomplètes et parfois divergentes. Les critères

optimaux qui permettraient de maximiser l'efficacité de ces interventions sont méconnus et devront être étudiés davantage.

Dans cette expérimentation, il a été décidé de modifier les paramètres de l'entraînement afin de faciliter l'utilisation du programme dans le milieu scolaire. À la fin de la première étude, les enseignants concernés avaient soulevé les difficultés rencontrées afin de pallier les absences en classe des élèves ayant reçu l'intervention. En fait, de nombreuses périodes de récupération avaient dû être réalisées sur leur temps personnel, résultant en une charge de travail substantielle. Cet aspect fut considéré puisqu'un outil d'intervention, aussi efficace soit-il, risque d'être peu utilisé par les milieux s'il est jugé comme étant trop contraignant (Menzies et al., 2008). Cette situation rend compte de difficultés pouvant survenir lorsque des programmes, basés sur la recherche et conçus pour être administrés en laboratoire, sont par la suite implantés dans les milieux de vie de l'enfant, comme l'école ou la maison (Ang, Lee, Cheam, Poon et Koh, 2015; Langley, Nadeem, Kataoka, Stein et Jaycox, 2010; Nelwan, Vissers et Kroesbergen, 2018; Novins, Green, Legha et Aarons, 2013; Parent, 2010; Sánchez-Pérez et al., 2017). Dans cet ordre d'idées, il est à souligner que 12 participants, soit près de 25% du groupe quasi expérimental, n'étaient plus disponibles pour se soumettre aux dernières évaluations de l'étude. Ces élèves ont changé d'école pendant l'étude, passant du niveau primaire au secondaire pour la majorité d'entre eux. Cette perte échantillonnale rappelle les difficultés associées à la recherche en milieu scolaire, notamment pour les études longitudinales visant à évaluer le maintien des gains dans le temps.

Dans un autre ordre d'idées, le tableau 2.2 du chapitre II permet de constater que le programme comporte un grand nombre de tâches et que plusieurs d'entre elles sont semblables. Or, même si un niveau de difficultés est atteint pour une tâche donnée, le

programme ne considère pas que ce niveau est maîtrisé pour une tâche similaire. Il s'agit d'un aspect préoccupant dans le contexte actuel étant donné que le temps d'entraînement a été réduit de moitié en comparaison à l'étude précédente. Il est donc possible que les participants n'aient pu s'exercer suffisamment aux problèmes susceptibles d'entraîner un réel changement de leurs capacités de MDT. Une modification du programme *a priori* aurait peut-être permis de préserver la qualité de l'intervention malgré les contraintes temporelles (p. ex. réduire le nombre d'exercices proposés qui sont similaires ou repenser les critères de réussite). Dans les faits, cette piste d'explication demeure cependant impossible à vérifier en raison de l'inaccessibilité des données d'entraînement. Comme ce fut le cas pour la première étude, les journaux recensant la progression des participants ont été en grande partie perdus en raison d'un problème de serveur informatique.

Cette étude comporte plusieurs forces. Rappelons d'emblée que les deux études présentées dans cette thèse portent sur un sujet de recherche inédit, soit l'évaluation de l'efficacité d'un entraînement de la MDT auprès d'élèves francophones présentant des difficultés scolaires en lecture et en écriture. Somme toute, des améliorations ont été apportées par rapport à l'étude précédente. Tout d'abord, la plus grande taille d'échantillon ($n = 92$) a contribué à une meilleure équivalence initiale entre les groupes, ces derniers étant comparables pour toutes les variables dépendantes. Ensuite, la menace associée aux attentes de l'expérimentateur est mieux contrôlée, car les assistantes procédant aux évaluations ne connaissaient pas l'assignation des participants aux différentes conditions. Cette étude propose également un plan d'évaluation plus complet : en plus des variables de MDT verbale et visuospatiale déjà utilisées dans la première étude, des mesures de lecture et d'écriture sont ajoutées. Il s'agit d'un apport conceptuel puisque les mesures de transfert sont essentielles pour évaluer le processus de généralisation des acquis, tout comme la pertinence clinique de

l'intervention. Plus particulièrement, ce projet se distingue par l'inclusion de mesures d'écriture puisqu'il s'agit d'une variable souvent négligée dans les recherches portant sur les difficultés d'apprentissage. En outre, peu d'études de remédiation cognitive ont porté sur les liens entre MDT et écriture. Cependant, les construits d'écriture étudiés se limitent à la fluidité verbale écrite, à l'orthographe et à la capacité d'accorder des mots. Ce faisant, les mesures choisies ne couvrent pas l'ensemble des habiletés d'écriture, par exemple les processus cognitifs complexes qui sous-tendent la rédaction et la révision de textes.

D'autres limites sont à souligner. Tout d'abord, les participants ont été assignés dans les deux conditions de façon non-aléatoire. Ce type de sélection rend l'étude vulnérable aux menaces associées à la validité interne puisque des différences préexistantes entre les participants ont pu être réparties inégalement. Comme ces différences peuvent influencer les résultats, elles demeurent des explications alternatives aux hypothèses de recherche. Dans cette étude, un devis quasi expérimental a été utilisé en raison des ressources limitées dont disposait l'équipe de recherche (nombre restreint d'ordinateurs portables et d'assistants pour administrer le programme). Par conséquent, tous les participants fréquentant une même école ont reçu l'intervention en même temps. Les différentes écoles ont été assignées dans l'une ou l'autre des conditions de façon arbitraire selon la disponibilité des milieux. Malgré ces contraintes, les groupes demeurent statistiquement comparables pour toutes les mesures principales en pré-évaluation. De plus, l'échantillon est plus grand que ce qui est généralement retrouvé dans les études semblables (>40 participants/groupe), ce qui contribuerait à augmenter le niveau de confiance en l'équivalence des groupes (Kazdin, 2003).

Même si l'équivalence initiale a été démontrée sur les mesures ciblées, il est possible que les groupes se distinguent sur des variables n'ayant pas été évaluées. À ce sujet,

les informations concernant les diagnostics des participants ne sont pas connues. Comme il a été mentionné, tous ces élèves présentent des difficultés considérables en lecture et en écriture qui ont été confirmées à l'aide de tests objectifs au début de l'étude. Néanmoins, seul un spécialiste peut confirmer l'existence d'un trouble, soit de préciser la nature et la sévérité des difficultés observées. Alors que certains élèves présentent réellement une dyslexie, d'autres peuvent aussi manifester des difficultés en langage écrit, mais qui sont secondaires à une autre problématique (p. ex. trouble du déficit de l'attention, trouble de langage, manque de stimulation, apprentissage du français dans un contexte de bilinguisme, etc.). Avec des critères d'inclusion favorisant l'hétérogénéité, il peut être ardu pour les chercheurs et cliniciens de généraliser les résultats de la présente étude à leur population d'intérêt. Dans les études futures de remédiation cognitive, il serait intéressant de documenter davantage les difficultés d'apprentissage des participants (diagnostics et troubles associés) ainsi que les interventions visant à les compenser (p. ex. médication, rééducation). Dégager différents profils au sein des participants permettrait de déterminer si certaines caractéristiques facilitent ou, à l'inverse, limitent les gains post-entraînement.

Par ailleurs, cette étude ne permet pas de formuler des recommandations pour améliorer le contenu du programme d'intervention. Tout d'abord, l'inaccessibilité des données d'entraînement empêche d'analyser les tâches individuellement. Par conséquent, il est impossible de classifier les types d'exercices selon leur efficacité à améliorer les performances aux tâches de MDT. Bien que dans l'ensemble l'intervention n'ait pas été concluante, des analyses plus fines auraient peut-être permis d'identifier les éléments plus et moins profitables. D'autre part, isoler les ingrédients actifs est ardu compte tenu de la composition même du programme. En fait, les entraînements centralisés sont surnommés des programmes « lavabo » parce qu'ils sont composés d'un grand nombre de tâches qui combinent des stimuli variés et mettent en jeu

plusieurs processus cognitifs (Morrison et Chein, 2011). En comparaison aux paradigmes plus simples (p. ex. une seule tâche d'entraînement), les approches centralisées seraient supérieures sur le plan clinique. Ces avantages impliquent notamment une meilleure flexibilité pour résoudre les tâches proposées ainsi que des gains substantiels propices à la généralisation (Jaeggi et al., 2012). Ces interventions complexes, en contrepartie, représentent des défis sur le plan de la recherche. Ainsi, il s'avère difficile d'analyser les composantes du programme, c'est-à-dire de mesurer l'impact de chaque tâche sur les capacités de MDT. Par ailleurs, une faille a été identifiée dans le logiciel d'entraînement. À la fin de l'étude, des élèves ont révélé être parvenus à éviter des exercices auxquels ils ne voulaient pas répondre. Pour ce faire, il suffit de cliquer à l'extérieur de la grille du jeu une fois le problème présenté. Le programme identifie alors la réponse comme une erreur et après trois problèmes consécutifs, un exercice différent est présenté. L'intégrité du traitement s'en trouve affectée puisqu'il est possible que des participants n'aient pas été exposés adéquatement à toutes les composantes de l'entraînement. Il est à noter qu'un problème similaire a été répertorié avec l'utilisation des programmes *Cogmed*, les participants pouvant se soustraire aisément à certains exercices sans être pénalisés (Roche et Johnson, 2014).

Somme toute, l'efficacité de l'intervention de MDT n'a pu être démontrée dans cette étude. En fait, les participants entraînés ne se distinguent ni sur la fonction entraînée, ni aux mesures de transfert (tâches de lecture-écriture). Soulignons que même en présence de résultats significatifs, ceux-ci n'auraient pu être expliqués par l'hypothèse principale, soit l'amélioration accrue de la MDT. Des problèmes potentiels de validité interne ne peuvent être écartés pour expliquer l'absence d'amélioration sur les mesures de MDT. En particulier, il est envisagé que l'exposition aux exercices d'entraînement ait été insuffisante pour induire des changements. Cependant, une autre possibilité à

considérer est que les résultats obtenus soient fiables. Cela signifierait que la remédiation cognitive de la MDT est une intervention inefficace auprès de la population étudiée. Dans les dernières années, des chercheurs ont remis en question l'apport réel de ces entraînements sur la cognition de même que leur validité écologique (Anderson et al., 2018; Ang et al., 2015; Dunning et al., 2013; Henry et al., 2014; Owen et al., 2010; Sala et Gobet, 2017). De façon générale, ces derniers contestent le fait que l'intervention puisse se généraliser à différents domaines de transfert, comme l'attention, le raisonnement ou les apprentissages scolaires. Enfin, certains critiquent l'approche de façon plus fondamentale en mettant en doute l'amélioration même de la MDT (Maehler, Joerns et Schuchardt, 2019; Melby-Lervåg et Hulme, 2016; Morrison et Chein, 2012; Redick, 2015).

Comme il a été vu au chapitre I, des gains en MDT ont été rapportés dans plusieurs études de remédiation cognitive. Cependant, des auteurs affirment que ces gains sont superficiels et qu'ils ne représentent pas une réelle progression de la capacité entraînée. Ils constatent que les performances en MDT s'améliorent lorsque les tâches d'évaluation sont similaires aux activités d'entraînement. À l'inverse, lorsque les mesures diffèrent du traitement (type de matériel, paradigme), peu d'améliorations sont rapportées (Ang et al., 2015; Chacko et al., 2014; Hitchcock et Westwell, 2017; Maehler et al., 2019; Redick, Shipstead, Wiemers, Melby-Lervåg et Hulme, 2015; Soveri, Antfolk, Karlsson, Salo et Laine, 2017; Sprenger et al., 2013). Dans cette étude, les mesures de MDT sont semblables aux exercices de l'intervention (tâches d'empan informatisées, stimuli similaires). Or, pour conclure à un changement substantiel de la MDT, il est essentiel de sélectionner des tâches qui se distinguent de l'entraînement. Autrement, des résultats significatifs pourraient s'expliquer par des habiletés sans rapport à la MDT comme la familiarité avec un certain matériel ou l'habitude d'être testé à l'ordinateur (Melby-Lervåg et Hulme, 2013; Morrison et Chein, 2012; Soveri et

al., 2017). Précisons que cette limite est pertinente à la majorité des travaux de remédiation cognitive et qu'elle s'applique notamment à la première étude de cette thèse.

Il était attendu que l'intervention de cette étude mène à des gains en MDT et que ceux-ci se répercutent ensuite sur les habiletés en lecture et en écriture. Cependant, aucun gain n'est obtenu à la suite de l'entraînement. Cela dit, même pour les études similaires dans lesquelles la MDT est entraînée avec succès, le transfert de ces gains à d'autres domaines demeure controversé. Dans les faits, peu d'études d'interventions de la MDT rapportent des progrès en lien avec les apprentissages scolaires. Il est à noter que des problèmes de généralisation et de transfert à la suite des entraînements de MDT ont été répertoriés dans plusieurs contextes et auprès de différentes populations. Des objectifs centraux au domaine d'études n'auraient d'ailleurs pas été atteints selon plusieurs, à savoir l'amélioration du raisonnement fluide (Hilbert et al., 2017; Owen et al., 2010; Pugin et al., 2015; Redick, 2015; Richey et al., 2014; Soveri et al., 2017; Thompson et al., 2013) et la diminution des déficits présents dans le trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH ; Aksayli et al., 2019; Dentz, Parent, Gauthier, Guay et Romo, 2016; Gibson et al., 2011; Rapport, Orban, Kofler et Friedman, 2013; Shipstead, Hicks, et al., 2012).

Ces problèmes de généralisation pourraient s'expliquer par la relation entre la MDT et la lecture, qui serait moins directe que ce qui a été initialement suggéré. Bien que la MDT puisse faciliter les apprentissages scolaires, la maîtrise de la lecture, de l'écriture et des mathématiques repose avant tout sur un ensemble de compétences et de connaissances enseignées sur plusieurs années. Le rôle de la MDT, même s'il est important, ne peut être surestimé aux dépens de la maîtrise d'habiletés de base en lecture (p. ex. décodage de mots) ou encore de l'enrichissement des habiletés de

langage oral (p. ex. le vocabulaire). À ce sujet, Bergman Nutley et Söderqvist (2017) soutiennent que la majorité des travaux sur les entraînements de la MDT ne permettent pas de bien étudier les phénomènes de transfert. Selon ces dernières, deux mécanismes pourraient expliquer la généralisation des gains de la MDT aux domaines d'apprentissage : la voie de la performance et la voie de l'apprentissage. Selon le premier mécanisme (*performance route*), l'entraînement de la MDT influencerait les performances académiques par une implication directe dans les tâches scolaires. Ce faisant, les effets de l'entraînement pourraient être observés dès la fin de l'intervention en autant que les tâches choisies sollicitent la MDT et ses limites. Selon le deuxième mécanisme (*learning route*), l'entraînement de la MDT influencerait les performances académiques en améliorant la capacité d'apprentissage générale (p. ex. via de meilleures capacités attentionnelles ou pour intégrer l'information). Dans ce cas-ci, les effets post-entraînement seraient davantage visibles à long terme et sur des mesures de rendement qui correspondent aux apprentissages du cursus scolaire.

Bergman Nutley et Söderqvist (2017), qui préconisent la seconde hypothèse (*learning route*) comme mécanisme de transfert, observent que peu de chercheurs se sont intéressés au rendement scolaire à long terme ou au niveau actuel de compétences pour mesurer les progrès des participants. Or, identifier dans une matière donnée ce qui a été enseigné et ce qui est maîtrisé par l'élève est essentiel pour pouvoir mesurer l'ampleur d'un changement post-intervention et sa valeur écologique. Suivant ce raisonnement, il serait prématuré de rejeter complètement les interventions de MDT comme option pour aider les élèves présentant des difficultés d'apprentissage. Cependant, les attentes envers de tels entraînements doivent être réalistes : il ne s'agit pas de panacées ou de traitements express pouvant corriger instantanément des années de difficultés et de déficits. La MDT ne peut pas non plus compenser pour l'apprentissage de notions spécifiques (p. ex. enseignement du théorème de Pythagore

en mathématique). Même si une meilleure MDT obtenue à la suite d'un entraînement pourrait faciliter les apprentissages scolaires, il est essentiel de : 1) s'assurer que l'élève reçoive l'enseignement sur les notions qui lui sont déficitaires, 2) lui donner la chance d'intégrer ses nouveaux apprentissages en suivant son évolution sur une plus longue période. Dans une étude précédente, Söderqvist et Bergman Nutley (2015) ont d'ailleurs observé de telles améliorations à long terme en lecture et en mathématique à la suite d'un entraînement *Cogmed*. De plus, les gains ont été mesurés dans des épreuves nationales recueillies par les établissements scolaires, ce qui leur confère une certaine validité écologique (au Québec, ces mesures pourraient correspondre aux épreuves ministérielles).

Tout compte fait, des résultats plus probants seront nécessaires pour statuer que la remédiation cognitive de la MDT est une intervention de choix pour traiter les difficultés d'apprentissage en langage écrit. Présentement, ces entraînements font l'objet de nombreuses critiques en ce qui a trait à leur valeur clinique, au transfert des gains et de façon plus préoccupante, à l'amélioration même de la fonction entraînée. Il va sans dire que l'efficacité d'une intervention alternative doit être convaincante, surtout lorsqu'elle se substitue à du temps passé en classe auprès d'élèves à risque d'échec scolaire. Roberts et al. (2016) ont d'ailleurs démontré que les coûts associés aux entraînements de la MDT étaient considérables, soit de 1000\$ par participant pour un programme de type *Cogmed*. De plus, dans le cas où l'administration se réalise en milieu scolaire, chaque élève sera privé d'environ 20 heures d'enseignement.

Sur le plan théorique, des questions doivent être éclaircies concernant la nature et le fonctionnement des mécanismes de transfert de la MDT ainsi que ses liens avec les autres fonctions exécutives comme la flexibilité cognitive et l'inhibition. À ce sujet, il est suggéré que les tâches de MDT qui sollicitent davantage l'administrateur central

(*executive-loaded working memory tasks*) soient priorisées, car elles représenteraient les éléments communs des entraînements cognitifs efficaces (Henry et al., 2014; Rabipour et Raz, 2012; Rowe et al., 2019; Titz et Karbach, 2014). Présentement, la variabilité des interventions et des procédures méthodologiques limite les comparaisons possibles entre les études et fait en sorte qu'il n'existe pas de ligne directrice pour les travaux futurs. Pour prouver sa valeur clinique et assurer sa viabilité, l'approche de la remédiation cognitive de la MDT devra parvenir à convaincre avec des contrôles méthodologiques plus rigoureux, des rationnels théoriques mieux construits et explicites et enfin, en démontrant que les gains obtenus sont palpables et suffisamment importants pour en justifier les coûts investis.

CHAPITRE V

DISCUSSION GÉNÉRALE

Le dernier chapitre de cette thèse se divise en cinq parties. Tout d'abord, un résumé du travail est présenté avec une revue de ses principales caractéristiques, soit les sujets traités, les objectifs, la démarche adoptée et l'envergure du travail. En deuxième partie, les résultats les plus saillants des deux expérimentations sont présentés. Les troisième et quatrième parties portent respectivement sur les limites et conclusions de la thèse. Enfin, la dernière partie est consacrée aux recommandations et pistes de réflexion pour les travaux futurs.

5.1. Résumé du projet de recherche

5.1.1 Concepts à l'étude

Cette thèse s'inscrit dans un courant de recherche influent portant sur les interventions de remédiation cognitive. Ces interventions non médicamenteuses visent à améliorer ou rétablir des fonctions cognitives affectées par le biais d'un entraînement qui implique la répétition d'exercices sollicitant ces fonctions. Un type de remédiation cognitive est visé dans cette thèse, soit l'entraînement de la mémoire de travail (MDT). Impliquée dans plusieurs tâches de haut niveau et de la vie courante, la MDT représente une capacité importante de la cognition humaine. Elle est entre autres associée à la

réussite scolaire, notamment pour les apprentissages fondamentaux du français et des mathématiques. La MDT serait d'ailleurs impliquée dans plusieurs processus du langage écrit liés au traitement des sons, des mots et des textes. Dans cette thèse, un programme de remédiation cognitive de la MDT a été évalué auprès d'élèves scolarisés en français qui présentaient des difficultés importantes en lecture et en écriture. Certains participants présentaient une dyslexie-dysorthographe alors que d'autres étaient considérés à risque de présenter ce trouble. Cette population a été privilégiée en raison des déficits de la MDT qui sont bien établis chez les individus dyslexiques et de façon générale, chez l'ensemble des enfants qui présentent des difficultés scolaires. De plus, la MDT est considérée essentielle dans l'ensemble des habiletés de lecture et d'écriture, telles que la conscience phonologique, la compréhension de lecture, de même que les capacités à orthographier et à rédiger des textes. Enfin, les participants sont scolarisés en français, une langue peu représentée au sein des études de remédiation cognitive. Il est reconnu que les particularités du français, comme ses nombreuses exceptions et son opacité à l'écrit, viennent complexifier l'apprentissage de la lecture et de l'écriture. En améliorant la MDT, il est envisagé que ces élèves à risque d'échec scolaire soient mieux prédisposés pour apprendre et qu'ils puissent bénéficier davantage des services de rééducation qui leur sont offerts.

5.1.2 Objectifs poursuivis

Cette thèse avait pour objectif de contribuer aux connaissances sur l'efficacité des interventions de remédiation cognitive de la MDT en contexte de dyslexie. Quatre grands objectifs ont été fixés. Premièrement, cette thèse visait à vérifier si la remédiation cognitive de la MDT peut mener à l'amélioration des capacités de MDT auprès d'élèves dyslexiques scolarisés en français. Les gains en MDT ont été examinés sur les plans verbal et visuospatial. Cet objectif a été reconduit dans la deuxième étude

à la différence que l'entraînement a été mené auprès d'élèves qui ne présentaient pas de diagnostic de dyslexie. En fait, les participants étaient des élèves présentant des difficultés importantes en lecture-écriture et qui, sans avoir reçu d'évaluation formelle, étaient considérés à risque de présenter un trouble d'apprentissage. Dans le cadre de cette seconde étude, le deuxième objectif examiné a porté sur la généralisation des acquis : plus précisément, il a été examiné si les gains en MDT obtenus à la suite de l'entraînement peuvent mener à des progrès similaires sur les habiletés de lecture et d'écriture. Le troisième objectif visait à vérifier si les gains obtenus à toutes les mesures peuvent se maintenir dans le temps. Enfin, le quatrième objectif était plus général et visait à statuer sur la pertinence clinique de la remédiation cognitive comme offre de traitement auprès d'élèves dyslexiques ou à risque de présenter ce trouble.

5.1.3 Méthode et envergure du travail

Cette thèse est composée de deux études. Une première étude expérimentale a été menée auprès de 24 élèves scolarisés en français présentant un diagnostic de dyslexie-dysorthographe. Les participants ont été assignés aléatoirement en deux groupes, dont un seul a reçu un entraînement cognitif de la MDT. Ensuite, une deuxième étude a été menée auprès d'un plus grand nombre de participants, soit 92 élèves dyslexiques ou à risque de présenter ce trouble. En raison de contraintes pratiques, les participants ont cette fois-ci été assignés d'une façon non-aléatoire. Un des groupes a pris part à l'entraînement de MDT immédiatement et le second a reçu la même intervention plus tard dans l'année scolaire. Enfin, l'envergure de cette thèse se reflète d'abord par sa durée, les deux expérimentations s'étant déroulées sur quatre années consécutives. De façon générale, les études d'intervention nécessitent un travail considérable, s'étant traduit ici par plus de 500 heures de contact direct auprès des participants réparties en 650 rencontres.

5.2 Synthèse des résultats

Dans la première étude, quelques résultats significatifs sont observés à la suite de l'intervention. Sur le plan verbal, les participants entraînés progressent à une mesure générale de MDT. L'analyse détaillée de cette mesure permet de constater que la capacité d'empan s'améliore significativement, mais seulement lorsqu'il n'y a pas de composante de manipulation mentale. Sur le plan visuospatial, le portrait est similaire avec une seule amélioration significative pour une tâche d'empan sans traitement mental. Concrètement, les élèves améliorent leur capacité d'empan verbal et visuospatial en étant en mesure de conserver un élément de plus en mémoire et cette progression semble redevable à l'entraînement. Néanmoins, le fait que les résultats ne soient pas significatifs pour les mesures d'empan avec manipulation représente une limite importante. Dès lors, la possibilité que l'intervention ait amélioré uniquement la mémoire à court terme et non la MDT ne peut être exclue. Il est à souligner que les effets post-entraînement ont été obtenus malgré une faible puissance statistique, ce qui peut être un indicateur de robustesse. Dans cet ordre d'idées, les tailles d'effet associées à ces gains demeurent considérables (η^2 entre 41% et 86%). La réplication de cette étude à une plus grande échelle apparaît nécessaire pour vérifier si une meilleure puissance statistique peut mener à des résultats plus concluants, notamment sur les mesures de MDT avec une composante de manipulation mentale.

La deuxième étude est planifiée dans ce contexte. Des mesures académiques en lecture et en écriture sont de plus ajoutées pour vérifier la pertinence clinique de l'intervention dans un contexte de dyslexie. Enfin, une prise de mesure supplémentaire est planifiée afin de vérifier le maintien des acquis dans le temps. D'emblée, les résultats obtenus dans le cadre de cette seconde étude s'avèrent peu concluants. En fait, les analyses ne révèlent qu'un résultat significatif en faveur des hypothèses de recherche. Concernant

les mesures de MDT, seule la capacité d'empan visuospatial affiche une progression significative pour les participants entraînés avec une taille d'effet modeste ($\eta^2 = 8\%$). Cette progression s'expliquerait par la nature du programme d'intervention qui se compose majoritairement de stimuli visuels susceptibles d'améliorer la mémoire à court terme visuospatiale. Concernant les mesures de transfert, un seul effet significatif est retrouvé pour la fluidité verbale écrite, mais la progression se retrouve chez les participants du groupe de comparaison qui n'ont pas encore reçu l'intervention. La différence d'âge entre les participants des deux groupes pourrait être en cause, mais d'autres variables qui n'ont pu être identifiées contribueraient aussi à expliquer ce patron de résultats. Par ailleurs, les analyses indiquent de nombreux effets statistiques liés au temps. Ceci indique que l'ensemble des participants s'améliore au cours de l'étude, mais que cette progression ne peut s'attribuer aux interventions de MDT reçues. Des raisons extérieures au projet de recherche pourraient donc expliquer ces résultats, par exemple un effet test-retest lié au matériel d'évaluation, un processus de maturation ou encore, des apprentissages faits en classe pendant la durée de l'étude.

L'objectif du maintien des acquis n'a pu être vérifié étant donné que le premier groupe entraîné ne s'est pas distingué après son entraînement. Le devis de recherche choisi était de type prétest post-test avec groupe attente : le premier groupe reçoit l'intervention immédiatement alors que le deuxième groupe reçoit le même traitement, mais plus tard dans l'année scolaire. Trois prises de mesures étaient prévues, soit au début de l'étude avant toute intervention (1) et lorsque les participants du premier et du deuxième groupe ont complété leur entraînement, respectivement (2 et 3). Initialement, la comparaison des résultats obtenus aux deux dernières prises de mesure visait à évaluer le maintien des gains dans le temps. Cependant, devant l'absence de progrès du groupe expérimental, les analyses prévues sont réalisées dans un autre but, soit de mesurer l'impact de l'intervention chez le groupe attente. Comme ce fut le cas pour les

premières analyses, de nombreux effets liés au temps sont retrouvés. Encore une fois, les participants des deux groupes évoluent d'une façon semblable et leur progression semble attribuable à des facteurs autres que l'entraînement de MDT.

Pour tenter de mieux comprendre ces résultats, les différences principales entre les deux études ont été mises de l'avant. Premièrement, la composition de l'échantillon n'est pas la même : alors que la première étude est composée uniquement d'élèves présentant une dyslexie, la seconde est plus hétérogène, avec des élèves présentant des difficultés d'apprentissage en lecture-écriture sans avoir été évalués formellement par un professionnel. Il est possible que les élèves de la seconde étude diffèrent de ceux de la première étude et qu'ils aient répondu différemment à l'intervention proposée. Ensuite, l'intensité de l'entraînement a été grandement diminuée de la première à la seconde étude. Ce changement a été réalisé afin de faciliter l'utilisation du programme dans le milieu scolaire. Dans les écrits scientifiques, les données concernant l'intensité des entraînements de remédiation cognitive de la MDT sont incomplètes et parfois divergentes. Néanmoins, la différence d'intensité des interventions entre les deux études est non négligeable et demeure une explication plausible pour expliquer l'absence de résultats obtenus à la seconde étude.

5.3 Limites

Tout d'abord, cette thèse aurait gagné à être mieux circonscrite. Afin de tenter de représenter plusieurs déficits présents dans la dyslexie, un grand nombre de mesures ont été choisies dans les domaines de la lecture et de l'écriture. Une thèse vise à approfondir et enrichir les connaissances sur un sujet précis et inédit et par conséquent, l'insertion d'un grand nombre de variables peut nuire à cet objectif. Le choix d'étudier un seul domaine d'apprentissage (lecture ou écriture) ou même une seule variable issue

de ce domaine (p. ex. la compréhension de lecture) aurait mené à l'élaboration d'objectifs plus précis et à une analyse plus en détail des relations entre ces concepts. Ensuite, le fait que les participants soient scolarisés en français a été peu exploité alors qu'il s'agissait de la seule étude du genre menée auprès de francophones. Plus précisément, la relation de la langue scolaire sur les capacités de MDT aurait pu être davantage explorée, de même que son impact spécifique à la suite d'un entraînement cognitif. Sur le plan méthodologique, l'étude aurait pu inclure des groupes d'enfants scolarisés dans des langues différentes (p. ex. le français et l'anglais au Québec) ou encore, une collaboration aurait pu être envisagée avec d'autres laboratoires de recherche dans le monde.

Dans un contexte d'intervention auprès d'enfants dyslexiques, il peut sembler plus important de miser les efforts sur l'amélioration des capacités de MDT verbale. Or, les tâches d'entraînement proposées dans cette thèse comportent majoritairement des éléments visuospatiaux. Il ne s'agit pas forcément d'une faiblesse, car les enfants dyslexiques pourraient s'appuyer sur certaines forces sur le plan visuel et peut-être même bénéficier davantage de l'entraînement de cette façon. La question des déficits visuospatiaux chez les personnes dyslexiques est souvent expliquée en termes de problèmes exécutifs attribuables à un défaut de l'administrateur central. Il s'agit d'ailleurs de l'hypothèse retenue dans les écrits scientifiques pour expliquer comment un programme de remédiation cognitive de MDT essentiellement verbal peut améliorer la sphère visuospatiale ou vice versa. Néanmoins, cette thèse ne possède pas les éléments méthodologiques permettant d'apprécier ce phénomène : d'une part, des tâches d'entraînement de MDT plus complexes auraient dû être intégrées dans le programme ; d'autre part, des instruments de mesure sollicitant davantage l'administrateur central auraient aussi dû être sélectionnés en parallèle.

L'inclusion d'éléments se rapportant à l'administrateur central aurait permis une meilleure application du modèle de la MDT à composantes multiples (Baddeley, 2000; Baddeley et Hitch, 1974), qui représente le construit théorique principal de cette thèse. La thèse dans son format actuel (articulation théorique, instruments de mesure, intervention choisie) accorde une importance limitée à la composante exécutive de la MDT et le rôle de l'administrateur central est somme toute, peu explicite. Comme il en a été discuté au chapitre précédent, les tâches de MDT avec une forte composante exécutive (*executive-loaded working memory tasks*) sont recommandées, car il est envisagé que ce type de tâches soit l'ingrédient actif des entraînements cognitifs efficaces. De plus, l'insertion de ces éléments aurait bonifié le contexte théorique de cette thèse en proposant une explication plausible pour décrire les mécanismes de transfert. Bien qu'il existe quelques hypothèses à ce sujet, aucune n'a été davantage explorée ou mise de l'avant dans le cadre de cette thèse.

Par ailleurs, l'intervention utilisée dans cette thèse avait été initialement développée pour des enfants présentant un trouble du déficit de l'attention avec hyperactivité (TDAH ; Parent, 2010). Dans le contexte actuel, il aurait été judicieux de modifier l'entraînement afin de l'adapter aux besoins des élèves présentant des difficultés de lecture. Au début de chaque exercice, une consigne s'affichait à l'écran et devait être lue par les participants. En raison de leurs problèmes de décodage, les élèves devaient fournir des efforts considérables pour bien comprendre ce qui était demandé. Les plus jeunes ou ceux qui présentaient des difficultés plus sévères sollicitaient souvent l'aide de l'adulte et finissaient par se démotiver. Comme les participants utilisaient déjà une paire d'écouteurs pour les exercices auditivo-verbaux, il aurait été simple de présenter les consignes oralement plutôt qu'à l'écrit ou encore, de les traduire sous forme de dessins. Préserver les efforts des élèves se serait traduit ici par plus de temps et d'énergies pour s'exercer dans des composantes plus fondamentales de l'entraînement.

Enfin, la majorité des élèves ont mentionné trouver le programme ennuyant et ce, dès les premières séances d'intervention. La motivation constitue un aspect fondamental pour apprendre, s'investir et persévérer dans une tâche, particulièrement dans le cadre d'un entraînement soutenu s'étalant sur plusieurs semaines. Dans sa forme actuelle, le programme présenterait donc peu d'intérêt pour la population à l'étude. Les commentaires portaient sur l'interface visuelle considéré peu attrayant, la redondance des activités, le faible niveau de stimulation des tâches, mais aussi la difficulté à saisir l'utilité et les gains potentiels à en retirer dans la vie de tous les jours.

5.4 Conclusion

5.4.1 Efficacité des entraînements de mémoire de travail

Bien que les interventions de remédiation cognitive de la MDT aient largement été étudiées depuis le début des années 2000, il n'existe pas de consensus dans la communauté scientifique quant à l'efficacité de ces outils d'intervention. D'emblée, les entraînements de MDT ne se limitent pas à un seul type d'intervention et il existe plusieurs façons de concevoir et d'évaluer cette fonction cognitive. La population étudiée est aussi diversifiée concernant l'âge, la présence ou non de difficultés et le cas échéant, par le type de difficultés présentées. Sans surprise étant donné l'ensemble de ces particularités, les études de remédiation cognitive ont donné lieu à des résultats hétérogènes, ayant pour effet de diviser les chercheurs quant aux retombées possibles de ces entraînements. D'autres ont tenté d'étudier le problème de façon globale, en analysant l'ensemble des études sur le sujet par le biais de recensions des écrits et de méta-analyses (Au et al., 2015; Melby-Lervåg et Hulme, 2013; Morrison et Chein,

2011; Redick et al., 2015; Shipstead, Redick, et al., 2012). Pour ajouter à la confusion, le travail de ces réviseurs a aussi donné lieu à des recommandations divergentes.

Tout d'abord, il est constaté que les mesures de MDT utilisées ressemblent souvent aux tâches de l'intervention, ce qui remet en doute l'idée d'une amélioration réelle de la capacité entraînée. Les gains obtenus dans les études seraient d'ailleurs proportionnels au degré de chevauchement des tâches d'évaluation et d'entraînement (Waris, Soveri et Laine, 2015). Ces améliorations pourraient ainsi refléter des influences extérieures à la MDT, comme la mise en place de nouvelles stratégies ou un effet de pratique qui s'installe avec un certain matériel ou type de tâches. L'utilisation d'une seule mesure de MDT, comme c'est le cas dans la majorité des études, représente une limite supplémentaire puisqu'aucun test ne reflète entièrement un construit à lui-seul. L'administration de plusieurs mesures de MDT permettrait d'isoler les aspects secondaires des aspects plus fondamentaux du construit d'intérêt. Comme l'expliquent Shipstead, Redick et al. (2012), si les effets d'entraînement sont suffisamment robustes, ceux-ci devraient se manifester dans tous les types de tâches de MDT (p. ex. épreuves d'empan, mémoire complexe, *running span*, *n-back*).

Ensuite, la généralisation des acquis en lecture-écriture à la suite d'un entraînement de MDT apparaît limitée. Sur le plan de l'écriture, la seule étude où des gains sont rapportés est celle d'Alloway (2013) dans laquelle les participants entraînés progressent davantage dans les tâches d'orthographe comparativement aux groupes de comparaison. Cependant, le groupe expérimental est significativement plus faible pendant toute la durée de l'étude et les analyses de variance révèlent un effet d'interaction non-significatif. Par conséquent, il n'est pas possible de conclure que l'intervention soit la variable déterminante de ce changement. Par ailleurs, il est constaté que les tests utilisés en lecture sont souvent des mesures combinées. Par

exemple, Holmes et Gathercole (2014 : *étude 2*) ainsi que Söderqvist et Bergman Nutley (2015) ont administré des mesures de rendement national évaluant un ensemble d'habiletés de lecture et d'écriture. Pour leur part, Egeland et al. (2013) et Karbach et al. (2014) ont sélectionné des mesures de lecture évaluant à la fois le décodage et la compréhension de lecture. Lorsque les chercheurs choisissent d'utiliser des performances globales dans leurs analyses, il s'avère impossible d'identifier la ou les habiletés ayant le plus bénéficié de l'intervention.

La recherche d'indices cliniques concernant la lecture et l'écriture a aussi donné à des résultats limités. Des chercheuses ont mis cette priorité à l'avant-plan en utilisant des mesures de rendement national du Royaume-Uni (Holmes et Gathercole, 2014 : *étude 2*) et de la Suède (Söderqvist et Bergman Nutley, 2015). Ces épreuves comptent parmi les plus écologiques parce qu'elles sont déjà utilisées comme outil de référence par le système scolaire des participants. Les gains ont de plus été constatés jusqu'à deux ans après l'intervention, suggérant que les bénéfices de l'intervention sont durables et justifiés par rapport aux coûts investis. Cependant, ces chercheuses n'ont pas fourni suffisamment d'informations pour nous permettre de juger de la pertinence clinique des changements observés. Holmes et Gathercole (2014) rapportent qu'à la fin de l'étude, 84% des élèves entraînés performant selon le niveau académique attendu en comparaison à 72% chez le groupe de comparaison, mais sans spécifier les statistiques initiales. Pour leur part, Söderqvist et Bergman Nutley (2015) rapportent des progrès significatifs chez le groupe entraîné, mais dans un contexte où l'ensemble des participants atteignaient déjà les standards nationaux en lecture-écriture au début de l'étude. Comme la performance scolaire des élèves apparaît adéquate *a priori* (moyenne à moyenne élevée) et qu'aucune comparaison n'est fournie par la suite, il est difficile d'apprécier la valeur de ce changement. De tels repères cliniques sont par ailleurs absents dans la majorité des études de remédiation cognitive de MDT.

5.4.2 Retour sur les questions de recherche

En conclusion, les expérimentations de cette thèse et les études similaires qui ont été menées offrent certains éléments de réponses aux quatre questions de recherche qui ont été posées dans l'introduction. La première question portait sur l'efficacité des interventions de MDT pour améliorer la capacité entraînée. De façon générale, plusieurs études indiquent des gains post-entraînement significatifs de la MDT, tant sur les plans verbal que visuospatial. Cependant, il n'est pas possible de confirmer que ces meilleures performances soient attribuables à l'amélioration réelle des capacités entraînées et non à des apprentissages non spécifiques.

La deuxième question portait sur la généralisation des acquis. Plus précisément, il était question de savoir si les progrès réalisés en MDT avaient le potentiel de se généraliser et d'améliorer diverses compétences en lecture et en écriture. D'emblée, le fait de contester l'amélioration de la MDT, soit la fonction entraînée, ébranle directement cette hypothèse. En incluant la deuxième étude de cette thèse, une douzaine d'expérimentations menées dans différents pays indiquent une absence de progrès sur des mesures de lecture et d'écriture à la suite d'un entraînement de MDT. En revanche, un nombre équivalent de travaux indique des améliorations significatives sur ces mesures de transfert. Divers problèmes méthodologiques identifiés mettent toutefois en doute la validité des résultats obtenus. Enfin, la valeur clinique des gains n'a pu être démontrée, principalement en raison d'outils d'évaluation inadéquats ou de la divulgation limitée des informations s'y rapportant.

La troisième question portait sur le maintien des acquis dans le temps. Plus précisément, il était question de savoir si les gains post-entraînement pouvaient être considérés durables, et ce tant au niveau de la fonction entraînée (la MDT) que des

mesures de transfert (lecture et écriture). Dans le cadre de cette thèse, le maintien des acquis n'a pu être vérifié, car les résultats étaient non significatifs à tous les temps de mesure. Dans les autres études d'entraînement de la MDT en lien avec la lecture et l'écriture chez l'enfant, la plupart des résultats suggèrent que les gains à long terme sont limités dans le temps. Ces compétences s'avèrent toutefois difficiles à mesurer car elles sont dépendantes des acquis scolaires réalisés pendant la période de l'étude.

Enfin, la dernière question posée portait sur la valeur clinique de l'intervention. Le but ultime de cette thèse consistait à vérifier si la remédiation cognitive de la MDT pouvait être considérée comme une offre de traitement valable pour alléger les difficultés d'apprentissage des élèves dyslexiques québécois. Présentement, l'ensemble des données disponibles ne permet pas de recommander les entraînements cognitifs de la MDT à des fins d'interventions dans les milieux scolaires et cliniques. Malgré la quantité importante d'études ayant porté sur le sujet, les résultats favorables à ce type d'interventions demeurent limités. Divers problèmes conceptuels et méthodologiques viennent en plus ébranler la valeur et la portée des gains obtenus. L'hétérogénéité des études représente un défi particulier pour comparer les études entre elles et émettre des conclusions générales. Cependant, cette diversité est éloquent en soi, car sous un large éventail de conditions, les études produisent des résultats suffisamment semblables pour faire l'objet des mêmes critiques. Parmi celles-ci, la difficulté à prouver l'amélioration réelle de la fonction entraînée demeure l'aspect le plus préoccupant du domaine de recherche. Enfin, l'incapacité de démontrer de façon convaincante un transfert de gains qui soit durable et significatif sur le plan clinique empêche de considérer ces entraînements comme des interventions utiles et rentables.

5.5 Recommandations

Plusieurs facteurs sont à considérer avant de recommander une intervention, particulièrement auprès d'une population à risque d'échec scolaire comme les élèves dyslexiques. Une diffusion à grande échelle implique des coûts financiers importants et lorsque l'intervention se réalise à l'école, ce temps est souvent retranché des heures d'enseignement régulier. Un élève qui présente des retards académiques a besoin de maximiser ses opportunités d'apprentissage et c'est pourquoi la sélection des services doit découler d'une démarche réfléchie et qui s'appuie sur les données probantes. Bien que la remédiation cognitive ne puisse être recommandée, les problèmes de MDT sont réels et affectent les apprentissages scolaires des enfants dyslexiques. Dans ce contexte, développer et étudier de nouvelles formes d'interventions pour compenser ces difficultés demeure essentiel.

Sur le plan théorique, il a été vu dans le chapitre II que les entraînements de la MDT peuvent être conceptualisés de deux façons : les entraînements par stratégies et les entraînements centralisés. À l'instar de la majorité des interventions de MDT retrouvées dans les études, le programme utilisé dans cette thèse fait partie des entraînements centralisés. Ceux-ci ont initialement été considérés supérieurs, car il a été envisagé qu'ils puissent améliorer la capacité de MDT d'un individu (élargissement des limites physiques) en comparaison aux entraînements par stratégies ne permettant qu'une meilleure expertise ou efficacité de la capacité existante (amélioration à l'intérieur des limites préexistantes). Or, le développement d'une expertise qui peine à se généraliser représente une critique souvent formulée envers les entraînements centralisés. Avec les connaissances actuelles, il semble davantage plausible que les entraînements de MDT, s'ils présentent une quelconque efficacité, favorisent le deuxième scénario. La possibilité d'appliquer des stratégies apprises pendant

l'entraînement semble d'ailleurs un déterminant majeur pour mieux performer par la suite dans des tâches liées à la MDT.

Si les entraînements par stratégies ont initialement été critiqués, leur capacité de généralisation semble moins limitée que ce qui était envisagé. Par ailleurs, il a été démontré que les experts dans les concours de mémoire utilisent des stratégies sophistiquées. Une technique d'association, qui implique de créer des liens frappants ou absurdes entre les idées à partir d'un système personnel de classification, permet notamment de mémoriser rapidement et efficacement une grande quantité d'informations. Par exemple, le système de classification peut référer à une liste apprise de concepts associés à des nombres de 1 à 100 : lorsque ces liens sont bien intégrés, l'individu peut créer des nouvelles associations à partir de ceux-ci, ce qui lui procure à la fois une stratégie d'encodage et d'amorçage pour le rappel (Rabipour et Raz, 2012). Dans cet ordre d'idées, tous les étudiants peuvent se souvenir avec précision d'une règle apprise ou d'un concept enseigné il y a des années en raison d'un professeur qui avait donné un exemple marquant ou enseigné un acronyme accrocheur. Ce faisant, ce type de stratégies n'est pas sans valeur dans le contexte scolaire. En fait, tout enseignement visant à automatiser certaines ressources est louable, car les fonctions de plus haut niveau peuvent être dégagées pour les processus plus complexes de la tâche. Au Québec, de nouvelles interventions à étudier pourraient être développées avec l'aide d'orthopédagogues, qui sont à la fois des spécialistes de la pédagogie et de la rééducation des difficultés d'apprentissage. Ces programmes d'intervention pourraient inclure des activités de rééducation des fonctions exécutives et de métacognition ainsi que des stratégies destinées aux enseignants afin de soutenir les capacités de MDT de leurs élèves (p. ex. réduire le nombre de consignes, offrir des aide-mémoires visuels, donner des trucs mnémotechniques). Il serait intéressant de concevoir ces interventions de telle sorte qu'elles puissent être administrées par l'enseignant lui-même à

l'ensemble de sa classe dans le cadre de son enseignement régulier. Une diffusion universelle est encouragée, car il est envisagé que plusieurs stratégies enseignées par les orthopédagogues aux enfants ayant des troubles d'apprentissage soient pertinentes pour l'ensemble des élèves. L'application de stratégies au sein du cursus scolaire aurait l'avantage de bénéficier directement à l'enfant dans ses apprentissages. De plus, l'intégration et la généralisation de ces stratégies dans le futur apparaît plus probable que ce qui a été observé dans le cadre des entraînements cognitifs de MDT. En fait, il est envisagé par plusieurs auteurs que le caractère hautement artificiel des tâches de laboratoire ait nuit aux processus de généralisation (Dunning et al., 2013; Gathercole et al., 2012; Roberts et al., 2016). Dans tous les cas, une des priorités pour les futures études d'intervention en milieu scolaire sera de réussir à bien outiller les élèves en s'assurant que les nouvelles habiletés se transfèrent plus naturellement dans les activités d'apprentissage.

Le travail réalisé dans cette thèse ne permet pas de se positionner sur l'efficacité d'entraînements ciblant de façon plus générale les fonctions exécutives. Une recension des écrits portant sur un large éventail d'interventions cognitives auprès d'enfants de 4 à 11 ans suggère que l'efficacité des activités d'entraînement repose sur ses exigences sur le plan attentionnel et exécutif (*executive-loaded working memory tasks* ; Walda, van Weerdenburg, Wijnants et Bosman, 2014). Or, le champ d'études des entraînements des fonctions exécutives est vaste et surtout lorsque sont considérées diverses pratiques liées à la culture et à l'éducation. Rabipour et Raz (2012) incluent dans leur recension différents phénomènes et leur impact sur la cognition, tels que le bilinguisme, l'interaction avec la nature, l'enseignement de la musique, l'exercice physique, les pratiques parentales, les habiletés sociales et la méditation. Souvent négligées, les saines habitudes de vie sont aussi directement liées à la santé cognitive. Lorsqu'un individu vit des moments d'épuisement ou de stress, l'effet se fait ressentir

négalement sur l'ensemble de ses fonctions exécutives, comme le raisonnement, la résolution de problèmes et même l'auto-contrôle (Diamond, 2013). En raison des liens étroits entre la MDT et les fonctions exécutives, il est intéressant de considérer des méthodes alternatives et ciblant plus généralement la cognition pour remédier aux difficultés de MDT. Enfin, une étude de Walda et al. (2014) suggère que la remédiation des fonctions exécutives apparaît à elle seule comme une solution peu susceptible d'améliorer les habiletés de lecture et d'écriture. L'étude, qui a été menée auprès d'élèves néerlandais présentant une dyslexie ($n = 229$), indique que des progrès réalisés en langage écrit ne sont pas associés à une amélioration similaire sur le plan exécutif. Ceci rappelle que malgré les liens théoriques pouvant exister entre deux construits, l'amélioration d'une fonction à la suite d'une intervention ne se traduit pas forcément par un transfert de gains dans le second domaine.

Par ailleurs, la motivation est un élément qui devrait être davantage considérée dans les études d'intervention. Dans les études d'entraînement de la MDT recensées à la fin du chapitre I, il est constaté que seulement 2 études sur 24 ont inclus une mesure de motivation (Van der Molen et al., 2010; Yang et al., 2017). Dans cette thèse, cet aspect n'a pas été évalué formellement, mais plusieurs participants ont émis spontanément des commentaires négatifs sur le programme. Le manque de stimulation, la redondance et le caractère artificiel des tâches d'entraînement semblent avoir affecté la motivation des élèves, qui ne parvenaient pas à saisir l'utilité de l'intervention en lien avec leurs difficultés actuelles. Ce phénomène aurait aussi été rapporté pendant la participation à d'autres entraînements centralisés, comme le programme *Cogmed* (Rowe et al., 2019). Cet aspect est préoccupant, car il est raisonnable de penser qu'un participant non motivé ne déploiera pas suffisamment d'efforts dans son entraînement pour en retirer des bénéfices. Pour les études menées auprès d'élèves présentant des difficultés scolaires, cet aspect devrait être mesuré également pendant la réalisation des tâches

d'évaluation qui sont de nature académique. En fait, il est possible que des participants collaborent moins dans des tâches qui leur apparaissent plus difficiles. Par exemple, un enfant ayant de grandes difficultés de décodage pourrait être rebuté par une épreuve de lecture ou ressentir une gêne à l'idée de s'exécuter devant l'expérimentateur. Les participants peuvent aussi réaliser qu'une épreuve comporte un critère d'arrêt (la tâche est discontinuée après un nombre x d'échecs) et bâcler la tâche en vue de se faire proposer une autre épreuve qui leur apparaît plus facile ou attrayante. Lorsque l'on considère que l'efficacité d'une intervention peut être déterminée par les performances à ces mesures principales, la motivation constitue un facteur pouvant affecter la validité des résultats et à juste titre, doit être évaluée adéquatement.

Enfin, les spécialistes s'entendent sur l'importance d'intervenir précocement auprès des élèves présentant des difficultés de lecture et d'écriture afin de prévenir le rapide cumul de retards sur le plan scolaire qui peut s'ensuivre. Dans ce contexte, il est recommandé d'améliorer le système de recensement et de classification scolaire des troubles d'apprentissage au Québec. La recherche faite dans le cadre de cette thèse a permis de démontrer que le Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement Supérieur (MEES) ne détient pas de données de prévalence concernant la dyslexie (voir Annexe A). Présentement, l'organisation des services éducatifs aux élèves à risque et aux élèves handicapés ou en difficulté d'adaptation ou d'apprentissage (EHDAA) se traduit par des catégories plus ou moins détaillées selon le diagnostic reçu. Par exemple, les déficiences sont des conditions bien détaillées avec un code spécifique pour chaque domaine d'atteinte (p. ex. moteur, langagier, organique, visuel). En revanche, il n'existe pas de code précis pour les élèves présentant des troubles d'apprentissage ou d'adaptation (p. ex. dyslexie, dyscalculie, trouble du déficit de l'attention avec hyperactivité ; TDAH). Les élèves présentant une dyslexie font donc partie d'une catégorie générale intitulée *autres difficultés (plan d'intervention sans code)* qui

regroupe un ensemble d'élèves ayant un plan d'intervention pour diverses raisons (p. ex. ont reçu un diagnostic de trouble d'apprentissage ou n'ont pas de diagnostic formel mais sont considérés à risque). Les données fournies par le MEES permettent de constater une hausse significative des élèves EHDAA, mais la proportion qui revient à la dyslexie ne peut être établie (Gouvernement du Québec, 2007, 2016). Plus précisément, l'effectif scolaire 2013-2014 indique qu'un élève québécois sur cinq est un élève EHDAA. De ce groupe, la catégorie *autres difficultés (plan d'intervention sans code)* représente environ 75% des élèves EHDAA. Il apparaît illogique que cette catégorie qui regroupe la plus grande proportion d'élèves ayant des besoins particuliers soit aussi la moins détaillée quant à la nature des difficultés présentées.

Il peut être argumenté que cette classification est sans importance dans la mesure où les équipes-écoles connaissent les diagnostics des élèves et déploient des interventions en conséquence. Néanmoins, les décideurs publiques se basent sur les données de prévalence pour orienter leurs politiques et dans ce contexte, avoir un portrait clair de la situation constitue une condition *sine qua non* de ce processus de réflexion. Par exemple, la prise de conscience d'une hausse significative de certains diagnostics peut mener à une sensibilisation de ces problématiques et à la mise en place de mesures nationales pour aider les élèves diagnostiqués ou ceux considérés à risque (p. ex. embaucher plus de professionnels dans les écoles, subventionner l'évaluation dans les cabinets privés, etc.). Enfin, parce qu'elles traduisent l'importance d'une problématique sociale, les données de prévalence peuvent aussi influencer l'octroi de subventions de recherche qui sont remises aux chercheurs œuvrant dans ce secteur.

5.5.1 Rôle des chercheurs dans l'industrie des entraînements cognitifs

La remédiation cognitive de la mémoire de travail (MDT) a reçu une attention considérable de la part des scientifiques, ce qui a donné lieu à de nombreux échanges et réflexions sur le sujet. Les gains allégués de ce type d'intervention, l'engouement planétaire pour les entraînements cognitifs et le marché lucratif qui s'est développé en parallèle ont fait de ce sujet d'études un débat animé et parfois houleux. Par conséquent, les travaux des dernières années ont été scrutés par les chercheurs, ces derniers étant à la fois intrigués par ce phénomène et interpellés par leur devoir de responsabilité sociale. À ce jour, d'innombrables applications mobiles et logiciels d'entraînements cognitifs (*brain training*) sont présentés aux consommateurs comme des solutions innovantes pour se garder en forme mentalement. Le marché commercial de ces programmes est d'ailleurs en forte expansion, passant de 475 millions par année en 2012 à 1,9 milliard en 2018 (SharpBrains, 2019). Au sein de nos sociétés centrées sur la performance et la santé et où le recours à la technologie devient la norme, cette évolution était à prévoir. La recherche de bien-être, le dépassement de soi, mais aussi la volonté de prévenir des maladies dans un contexte de vieillissement de la population, ont eu pour effet de motiver les individus à se tourner massivement vers de telles alternatives.

Les compagnies misent sur des stratégies de promotion susceptibles de rendre leur produit crédible aux yeux des consommateurs. Dans le cas des entraînements cognitifs, l'optique choisie est celle de la validation scientifique. L'argument principal est que les gains allégués de l'intervention sont basés sur des résultats obtenus dans le cadre d'études scientifiques. Même si cet énoncé peut être vrai, il a été vu que les limites associées sont souvent considérables. Comme les compagnies mentionnent rarement les critiques formulées par les chercheurs, elles donnent aux consommateurs une fausse

impression de consensus au sein du domaine d'études. Par ailleurs, la plupart des programmes disponibles sur le marché n'ont jamais été étudiés de façon objective. Leurs créateurs peuvent tout de même profiter de l'effervescence du phénomène en soulignant par exemple que le « type d'intervention » a fait l'objet d'études. Comme la remédiation cognitive a été largement étudiée, il ne s'agirait pas d'un mensonge en soi. En revanche, laisser croire implicitement ou explicitement qu'un programme représente une intervention validée pour cette raison constitue un leurre. Enfin, des informations sur la neuroplasticité sont généralement incluses dans le but de prouver les bases théoriques de l'approche et par association, l'efficacité du programme à vendre.

Le cas *Cogmed* représente un bon exemple pour illustrer la zone grise dans laquelle se situent plusieurs promoteurs et consultants sur le plan éthique. Sur la page principale du site web (cogmed.com), il est affirmé dans le titre que l'intervention est efficace (*Cogmed Works!*). Les premiers mots du texte indiquent qu'il s'agit (et de loin) de la méthode scientifique la plus validée scientifiquement pour améliorer la MDT et l'attention (*the single most scientifically validated method*). À cet égard, les internautes sont invités à télécharger un document sur l'efficacité de l'intervention avec un titre annonçant une série de faits et preuves scientifiques (*Download claims and evidence*). En réalité, le rapport inclut plusieurs travaux avec des résultats peu favorables à la méthode *Cogmed* (p. ex. Chacko et al., 2014; Cortese et al., 2015; Dunning et al., 2013; Egeland et al., 2013; Gray et al., 2012; Mawjee, Woltering et Tannock, 2015; Melby-Lervåg et Hulme, 2013; Rapport et al., 2013; Roberts et al., 2016; van der Donk et al., 2015; van Dongen-Boomsma, Vollebregt, Buitelaar et Slaats-Willemsse, 2014). S'il est louable que les consultants aient inclus des études qui présentent des conclusions contraires à leurs attentes, le lecteur est induit en erreur par l'idée que l'ensemble de ces études valide l'approche. Ces travaux ont d'ailleurs été comptabilisés comme un

tout pour en arriver à la statistique la plus accrocheuse de *Cogmed*, soit que *plus de cent études* ont contribué à prouver l'efficacité de l'entraînement. Enfin, le rapport n'est pas exhaustif : des articles récents comportant des critiques sévères ont été omis (Aksayli et al., 2019; Anderson et al., 2018; Hitchcock et Westwell, 2017; Redick, 2015).

Il est important de souligner que l'étude des entraînements de la MDT, malgré les critiques formulées, est un domaine ayant fait preuve de rigueur scientifique à plusieurs égards. Les recherches disponibles sont nombreuses et dans la grande majorité des cas, il s'agit d'études publiées et révisées par un comité de pairs. Ce critère, reconnu dans l'ensemble de la communauté scientifique, atteste de l'atteinte d'un certain niveau de qualité des articles puisque ceux-ci ont été lus et approuvés avant publication par des experts du domaine. En termes de quantité et de qualité, la recherche effectuée sur *Cogmed* et d'autres interventions de la MDT est donc supérieure en comparaison à d'autres entraînements cognitifs plus populaires (p. ex. *Lumosity*, *BrainFit*, *Elevate*, *CogniFit*, *Peak*). Malgré l'existence de nombreuses études publiées sur la remédiation cognitive de la MDT, plusieurs chercheurs sont demeurés perplexes par rapport à son efficacité. Le travail de cette thèse rend compte de la complexité que peut représenter la synthèse et l'analyse d'informations disponibles sur un sujet en pleine effervescence. Cela étant dit, si un tel travail d'analyse donne du fil à retordre aux experts, il apparaît inaccessible pour le néophyte qui ne possède ni le temps ni les ressources pour le faire. Par conséquent, il relève de la responsabilité des chercheurs de bien vulgariser et synthétiser les données de recherche en rendant les informations accessibles, non seulement dans des articles scientifiques, mais aussi sur différentes plateformes consultées par les individus. Les chercheurs doivent aussi faire preuve de modération dans leurs propos en rapportant les résultats honnêtement et sans les présenter d'une façon qui en surestimerait les impacts. Il est fréquent que des compagnies

d'entraînements cognitifs soient critiquées et même sanctionnées pour fausses représentations (Rabipour, 2019). Présentement sur le site de *Cogmed*, il est indiqué en toutes lettres que peu importe l'âge ou la condition présentée, les gains de l'entraînement sont substantiels et se maintiennent à long terme. Cette déclaration n'est pas appuyée par les écrits scientifiques et doit être dénoncée. En fait, même les scientifiques rémunérés par l'entreprise adoptent des propos plus modérés dans leurs articles et surtout, plus représentatifs des résultats obtenus. Enfin, il est constaté que les chercheurs affiliés à *Cogmed* respectent la déclaration de conflits d'intérêt dans les articles, mais cette mention n'élimine pas les risques de biais positifs envers l'entreprise. En fait, cette mention ne fait qu'attester de la présence d'un conflit d'intérêt parmi les auteurs, sans garantir pour autant le caractère impartial de leur travail (Rabipour et Raz, 2012). Le lecteur doit demeurer particulièrement vigilant et critique vis-à-vis de ces travaux, par exemple lorsqu'une méta-analyse sur les entraînements de MDT ne porte que sur les études ayant utilisé *Cogmed* (Spencer-Smith et Klingberg, 2015) ou qu'il est recommandé pour les futures études d'administrer cette intervention payante à l'ensemble des élèves d'une école (Söderqvist et Bergman Nutley, 2015).

Concernant l'innocuité des interventions de remédiation cognitive, le constat est clair : bien que leur efficacité semble moindre ou nulle dans plusieurs cas, elles ne comporteraient aucun risque pour la santé. Néanmoins, si le choix d'une intervention se fait au détriment de mesures plus efficaces et qui sont disponibles, cette décision peut nuire aux individus. Avec le tournant technologique de notre époque, ce type d'interventions informatisées pourrait intéresser les décideurs publics des secteurs de la santé et de l'éducation. Comme il a été vu, l'attrait des entraînements cognitifs s'explique aussi par la façon dont les compagnies les présentent, en donnant l'impression qu'il s'agit d'interventions pratiquement inébranlables sur le plan

scientifique et dont la portée est universelle. Dans ce contexte, il est recommandé que toutes démarches visant à implanter un entraînement cognitif dans le milieu public inclue des consultations avec un comité d'experts indépendants formé de chercheurs et de cliniciens dans le but de documenter les données scientifiques disponibles et de pouvoir en estimer les impacts cliniques. Les critères d'évaluation devraient être suffisamment sévères pour rejeter une proposition dans le cas où les résultats obtenus s'avèrent faibles ou inconsistants à travers les travaux. Étant donné le poids des ressources à déployer pour administrer une intervention universelle, la prudence est de mise et ne devrait en aucun cas s'effectuer au détriment de traitements traditionnels dont l'efficacité a déjà été démontrée ou s'avère supérieure. Enfin, la recommandation de soins pour chaque patient doit s'établir à partir des données probantes et en ce sens, la publication d'articles synthèses destinés spécifiquement aux cliniciens est encouragée (pour un exemple, voir Kletzel et al., 2016).

5.5.2 Évaluation critique des études d'intervention

Il est constaté que les études de remédiation cognitive de la MDT présentent sensiblement les mêmes limites. À ce sujet, Katz, Shah et Meyer (2018) dressent un bilan sévère du champ d'études des entraînements cognitifs en l'associant à l'histoire du célèbre film de 1993 *Groundhog Day* mettant en vedette Bill Murray (*Le jour de la marmotte* au Québec). Le synopsis porte sur la vie d'un météorologue contraint de revivre la même journée encore et encore, jusqu'au moment où il apprend de ses erreurs et agit différemment. L'analogie porte sur le fait que les chercheurs de remédiation cognitive semblent reproduire sans cesse le même genre d'expérimentations et de méta-analyses. Pour cette raison, le domaine de recherche évolue peu, car aucune étude ne se distingue ou n'apporte d'éléments nouveaux à la discussion. Réfléchir aux critiques

dont ont fait l'objet les études de remédiation cognitive apparaît donc nécessaire pour tirer profit des expériences passées et des recommandations seront formulées à ce sujet.

5.5.2.1 Questions de recherche

De façon générale, l'objectif principal des entraînements cognitifs a porté sur l'évaluation de l'efficacité de l'intervention, en d'autres mots, à se demander : « est-ce que l'intervention fonctionne ? ». Bien qu'il soit essentiel de vérifier cet aspect dans une étude d'efficacité, cette préoccupation a eu pour effet d'éclipser une question encore plus essentielle : « *pourquoi* est-ce l'intervention fonctionne ? ». Même dans cette thèse, aucune hypothèse n'a été formulée concernant les mécanismes de transfert. Ce sujet ne s'est ajouté que récemment dans les études d'entraînement de la MDT et encore, la majorité des auteurs se sont contentés d'évoquer les hypothèses de transfert, sans les approfondir ou les vérifier objectivement. Pourtant, rendre explicite les bases théoriques d'une approche permet un meilleur regard sur celle-ci et idéalement, permet d'adapter la méthode choisie pour vérifier ces hypothèses à mesure.

Dans le contexte de la lecture-écriture, les études d'entraînement de la MDT ne font pas exception à la règle. Parmi les 24 études recensées à la fin du premier chapitre, seulement deux groupes de chercheurs ont testé plus directement un mécanisme de transfert, plus précisément celui du contrôle attentionnel. Il s'agit d'une hypothèse abondamment retrouvée dans les discussions d'articles mais rarement vérifiée dans les études elles-mêmes. Il est postulé que les gains observés après un entraînement de MDT s'expliqueraient par de meilleures capacités sur les plans attentionnel et exécutif qui se reflèteraient dans les performances de MDT et sur toutes autres mesures exigeantes cognitivement. Foy et Mann (2014) ont proposé que les changements des

fonctions exécutives se répercuteraient également sur le plan comportemental et ont inclus des mesures d'auto-régulation pour le vérifier. De façon similaire, Hitchcock et Westwell (2017) ont introduit une mesure plus directe du contrôle attentionnel afin de vérifier si les participants entraînés pouvaient améliorer leur capacité de concentration. Le test en question mesurait le nombre de pensées « hors tâche » pendant la réalisation d'épreuves scolaires et si l'élève était capable de recentrer son focus attentionnel en cas d'égarement mental (*mind wandering*). Même si l'hypothèse n'a pu être confirmée dans ce dernier cas, les questionnements sur la mécanique de l'entraînement ont donné lieu à des études mieux construites. Ce type de discussions, au lieu d'être basées sur des suppositions, contribuent à définir des modèles théoriques sur lesquels d'autres chercheurs peuvent bâtir et continuer de développer. Enfin, dans le cas où l'hypothèse du mécanisme n'est pas confirmée, rien n'empêche les chercheurs d'explorer d'autres avenues. Ceux-ci demeurent toutefois plus vigilants à la possibilité qu'une erreur de type I puisse expliquer leurs résultats. Selon ce scénario, un changement est détecté dans l'étude alors qu'il n'existe pas dans la réalité (faux positifs). Les résultats significatifs observés s'expliquent donc par la chance ou par un facteur autre que la manipulation expérimentale (p. ex. attentes des participants, régression vers la moyenne, contrôle méthodologique inadéquat, etc.).

5.5.2.2 Méthodes de comparaison

Dans cet ordre d'idées, des préoccupations ont été soulevées concernant le choix des groupes de comparaison dans les études de remédiation cognitive. Des méthodes de comparaison inadéquates identifiées dans plusieurs études pourraient justement avoir entraîné des cas de *faux positifs*. Les groupes de comparaison passifs, comme ceux utilisés dans cette thèse, ont été critiqués en raison de leur capacité de contrôle se limitant à l'effet test-retest (améliorations résultant de l'exposition répétée aux mêmes

tests). Pour cette raison, les groupes de comparaison actifs sont progressivement devenus la norme, faisant même partie intégrante de certains entraînements, comme les programmes *Cogmed*. Dans un groupe de contrôle actif, le participant reçoit une intervention semblable à celle du groupe entraîné, mais qui varie sur un ou plusieurs aspects. Sur le plan théorique, cette approche serait supérieure pour contrôler les effets non spécifiques à l'intervention puisque les participants des deux groupes pourraient vivre une expérience de recherche comparable. Toutefois, l'application de cette mesure dans les études de remédiation cognitive offrirait un contrôle méthodologique faible et même équivalent aux conditions passives. Plus précisément, les interventions administrées aux groupes de comparaison actifs se distinguent généralement sur deux aspects : l'exposition aux exercices n'est pas adaptée aux performances individuelles et peu ou pas de rétroaction est offerte. Comme le soulignent Shipstead, Hicks et al. (2012), ces adaptations créent au moins deux différences majeures : 1) le défi présenté n'est pas le même, 2) l'absence de rétroaction ne donne pas l'occasion aux participants de croire que leurs habiletés peuvent s'améliorer pendant l'intervention. Par conséquent, le niveau d'engagement, la motivation, mais aussi les attentes quant à l'efficacité du traitement sont susceptibles de différer entre les participants des deux groupes. Pour remédier à ce problème, ces auteurs suggèrent de développer une intervention secondaire qui soit davantage semblable à l'entraînement standard concernant ces aspects. En outre, l'intervention choisie ne doit pas solliciter une fonction en lien avec la MDT : de cette façon, la possibilité que ce traitement améliore les capacités de MDT demeure improbable (p. ex. tests de connaissances générales, tâches de recherche visuelle, discrimination auditive, etc.). Cette recommandation est pertinente pour l'ensemble des études d'intervention, c'est-à-dire que le lien avec la fonction entraînée devrait être réduit au maximum dans les traitements placebo.

Enfin, il demeure difficile de développer des interventions qui soient crédibles et comparables entre elles, tout en isolant la manipulation critique de l'expérimentation. Bigorra et al. (2016) soulignent d'ailleurs la possibilité que le phénomène inverse puisse se produire (*effet nocebo*) dans le cas où l'un des traitements de l'étude susciterait davantage de fatigue ou d'émotions négatives pour un groupe de participants plutôt qu'un autre. Dans le contexte de la remédiation cognitive, une méthode de comparaison a peu à peu été acceptée comme traitement « standard » alors que des interventions supérieures sur le plan méthodologique auraient pu être proposées. La crédibilité d'une intervention repose sur la capacité à prouver que les résultats obtenus s'expliquent par des composantes inhérentes et spécifiques au traitement. En ce sens, la sélection de méthodes de comparaison de qualité apparaît incontournable et devrait faire l'objet d'une constante réflexion de la part des chercheurs.

5.5.2.3 Présentation des mesures

Dans le cas des études de remédiation cognitive, il a été constaté que des informations détaillées sont généralement données sur les traitements administrés et les tests cognitifs (p. ex. mémoire de travail, attention, raisonnement). En revanche, les tâches de lecture et d'écriture sont peu détaillées, plusieurs auteurs se contentant de rapporter uniquement le nom de la mesure et sa fonction ciblée. Comme les articles consultés pour cette thèse provenaient de laboratoires établis partout dans le monde, plusieurs langues étaient représentées (voir le tableau 1.1). Dans cet ordre d'idées, les tests de langage écrit ont souvent une forte composante culturelle, d'où l'importance de considérer le point de vue du lecteur international qui n'a aucune référence de l'outil en question. Sans alourdir le texte, il est nécessaire que le lecteur soit en mesure de saisir la nature des épreuves choisies et de pouvoir juger minimalement de leur pertinence. Si possible, un ouvrage de référence peut être cité (en s'assurant qu'il soit

traduit en anglais) ou encore, du contenu supplémentaire peut être mis disponible en annexe sur le site web du journal (p. ex. exemples d'items, format du test, durée de passation, etc.). La provenance de l'épreuve et ses propriétés psychométriques (ou leur absence, le cas échéant) devraient de plus être mentionnées.

Dans le contexte d'une évaluation de programmes, des interprétations cliniques devraient être fournies sur les résultats. Ces informations sont essentielles, car elles permettent de situer les performances des participants par rapport à la norme attendue. Pour ce faire, il est recommandé de mentionner systématiquement si les données rapportées sont brutes ou standardisées et de préciser l'unité de mesure. Si des normes standardisées sont disponibles, les performances des groupes expérimentaux devraient être situées sur la courbe normale (p. ex. inférieures à la moyenne: 6^e rang centile). Si l'interprétation porte plutôt sur l'atteinte qualitative de compétences, celle-ci devrait être spécifiée et accompagnée de sa signification (p. ex. sur une possibilité de 4 cotes, 90% des participants se situent dans la catégorie la plus faible étant « ne répond pas aux attentes »). Par ailleurs, si un tableau affiche plusieurs données relativement à une même épreuve, il est essentiel de spécifier quelle variable a été utilisée à des fins d'analyses statistiques (p. ex. résultat global, mesure de vitesse ou d'exactitude, etc.). Enfin, des cliniciens spécialisés dans le domaine étudié devraient être consultés pour interpréter l'ampleur du changement observé dans le cas d'une progression. Par exemple, Karbach et al. (2014) ont sélectionné une mesure combinée de lecture et de compréhension de lecture (*Knuspels Leseaufgaben*) : peu de détails sont fournis dans l'article et un livret d'instructions en langue allemande est mis en référence. Les auteurs rapportent que le test comporte 109 items, mais sans indiquer si les données utilisées sont brutes ou standardisées. Les analyses indiquent des résultats significatifs à cette mesure avec un effet principal d'interaction associé à une progression significative pour le groupe entraîné seulement. Plus précisément, la performance du groupe ayant

bénéficié de l'entraînement de MDT passe de 80 à 93 contrairement à 85 à 90 pour le groupe de comparaison actif. Les auteurs ne mentionnent pas dans l'article à quoi peuvent référer sur le plan clinique les performances initiales des participants ni celles obtenues après l'entraînement. Enfin, la population étudiée consistait en des élèves primaires tout-venant âgés entre 7 et 9 ans ($n = 28$). Bien que les résultats semblent fiables sur le plan statistique et qu'ils sont associés à une grande taille d'effet ($d = 1,08$), plusieurs questions demeurent : Où se situe la performance de ces enfants sur la courbe normale ? ; Leur performance peut-elle être considérée normale au début de l'étude ? ; L'évolution du groupe expérimental peut-elle être considérée significative sur le plan clinique ? Somme toute, conclure qu'une intervention est profitable à une population donnée sur la seule base de résultats significatifs n'est pas suffisant dans le domaine de l'éducation : ces données doivent être mises en contexte et l'évolution des performances doit être interprétée qualitativement et cliniquement. Si des gains significatifs obtenus dans le cadre d'une intervention ne sont pas analysés d'un point de vue clinique, leur réelle portée écologique peut s'avérer nulle ou grandement surestimée.

5.5.2.4 Échantillons de petite taille

Plusieurs études de remédiation cognitive ont été menées avec des échantillons de petite taille (pour des exemples, voir le tableau 1.1). Comme les études d'intervention nécessitent généralement des coûts considérables, les ressources sont souvent insuffisantes pour planifier des devis avec un grand nombre de participants. Par ailleurs, un contrôle méthodologique adéquat peut requérir la planification de plusieurs groupes de comparaison, ce qui divise encore plus l'échantillon de base et favorise la création de petits groupes. Néanmoins, il va sans dire qu'aucune taille d'échantillon n'est parfaite pour mener une étude d'intervention. D'un côté, les études avec des petits

groupes de participants peuvent manquer de puissance pour détecter un effet statistique et ce faisant, être vulnérables à l'erreur de type II (ne pas détecter un changement qui est réel). Pour cette raison, il s'avère primordial de planifier des analyses statistiques au préalable afin de s'assurer que la capacité de détecter un effet soit acceptable. De l'autre côté, les études avec de grands échantillons possèdent une meilleure sensibilité statistique, ce qui pose le risque de surestimer les effets d'une intervention. Comme ces études sont capables de détecter une différence plus petite, il s'avère d'autant plus important d'analyser avec soin l'ampleur du changement observé (p. ex. tailles d'effet, validité clinique). Par ailleurs, l'administration standardisée du traitement et son évaluation peut être plus difficile à réaliser dans les grosses études en raison du grand nombre de personnes impliquées.

Les effets d'un entraînement peuvent donc passer inaperçus en présence d'un petit échantillon. À l'inverse, une surestimation des effets réels de l'intervention peut aussi se produire puisque seuls les effets de plus grande taille peuvent être détectés. Pour cette raison, il existe possiblement un biais positif dans le domaine de la remédiation cognitive, car ce dernier est composé en majorité d'études de petite taille. Parmi ces travaux, seules les études détectant un effet de grande taille (mais potentiellement artificiel) ont pu être publiées. Si les risques associés à ces différents scénarios doivent être considérés par les chercheurs, un autre phénomène moins connu mérite tout autant leur attention. Redick (2015) souligne cet élément important : s'il est établi que les effets d'un entraînement peuvent passer inaperçus par manque de puissance, la même menace s'applique aussi pour détecter des différences présentes *avant* le traitement. Pour le démontrer, des études de petites tailles ayant démontré des améliorations significatives à la suite d'une intervention de MDT ont été revues avec les résultats de pré-traitement. Il appert que plusieurs résultats publiés seraient en fait dus à la « chance du chercheur » en ce sens que les groupes étaient légèrement différents au début de

l'étude (différence qui n'a pu être détectée) en combinaison au fait que la trajectoire du groupe expérimental augmente alors que celle du groupe de comparaison diminue. Bien souvent, la contre-performance du groupe de comparaison n'est pas expliquée et les auteurs concluent que le traitement fonctionne sur la base de ces résultats.

À titre indicatif, un résultat de la première étude de cette thèse semble présenter le même genre de limites (voir la figure 3.3). À cette mesure, les résultats révèlent que la capacité de manipulation de la MDT verbale ne s'est pas améliorée chez les participants ayant reçu l'intervention. Les effets principaux groupe et temps sont significatifs, mais non l'effet d'interaction. Les deux groupes de petite taille ($n = 12$) étaient par ailleurs considérés équivalents sur le plan statistique lors de la mesure initiale. Le patron de résultats suggère que les groupes étaient déjà différents au premier temps de mesure, mais que cet effet n'a pu être détecté lors des analyses préliminaires en raison d'un manque de puissance. Pour le vérifier, une nouvelle analyse a été réalisée en « ajoutant » quelques participants par groupe et dans ce cas, le test t ressort effectivement significatif en mesures pré-test au profit du groupe de traitement. Ces exemples illustrent l'importance d'être critiques envers nos résultats de recherche : les chercheurs doivent prendre le temps d'analyser globalement les différentes trajectoires obtenues plutôt que de se concentrer exclusivement sur l'atteinte du seuil de signification. De la même façon, considérer les gains post-entraînement et les tailles d'effet sans les changements *pré-post* de chacun des groupes peut amener les auteurs (et leurs lecteurs) à surestimer l'effet du traitement. Afin d'adopter une démarche plus transparente et de faciliter la réanalyse des données par d'autres chercheurs, Redick (2015) suggère de rapporter systématiquement les moyennes et écarts-types de tous les temps de mesure. Cette pratique offre aussi l'avantage pour les chercheurs de pouvoir comparer leurs propres données avec celles retrouvées dans l'article.

5.5.2.5 Biais de publication

Le phénomène du biais de publication est un sujet d'actualité qui préoccupe l'ensemble de la communauté scientifique. Il réfère au fait que les expérimentations obtenant des résultats significatifs (rejetant l'hypothèse nulle) ont plus de chance d'être publiées dans les revues scientifiques que des études n'ayant pas obtenu de tels résultats favorables. Si les résultats significatifs sont de façon générale sur-représentés, les recherches scientifiques sont à risque de refléter un portrait biaisé de la réalité. Le domaine d'études des entraînements cognitifs est intéressant à considérer dans ce contexte, car il semble avoir été affecté d'une façon particulière par cette menace.

D'une part, ce sujet de recherche apparaît vulnérable au biais de publication. Tout d'abord, il s'agit d'une étude d'intervention qui, comme nous l'avons vu, est souvent analysée de façon dichotomique (est-ce que l'intervention fonctionne ? *oui* ou *non*). Le domaine a aussi été abondamment étudié et les résultats publiés sont divergents. En raison de cet engouement, il est raisonnable de penser que plusieurs études se sont retrouvées « au fond d'un tiroir ». Cette expression (originellement, *file-drawer problem*) est utilisée pour décrire cette situation où des résultats non-significatifs sont obtenus : le chercheur, par manque d'intérêt ou parce qu'il sait que les chances de publication sont réduites, abandonne son travail (Rosenthal, 1979). Par conséquent, ces résultats ne mènent à aucune forme d'ouvrage accessible aux autres scientifiques. Parallèlement, le biais de publication a pu être profitable au domaine d'études. En fait, les études de remédiation cognitive ont tendance à inclure un nombre élevé de mesures et par conséquent, les chercheurs ont plus de chance d'obtenir au moins un résultat significatif. La discussion est ensuite redirigée en fonction des mesures significatives et même dans le cas où ces résultats sont peu nombreux, ils permettent de reconfirmer que l'entraînement est efficace ou du moins, qu'il demeure prometteur. Comme il a été

vu, cet aspect peut être dangereux dans un contexte où les entraînements cognitifs sont commercialisés. Même avec un petit nombre de mesures significatives, des compagnies comme *Cogmed* peuvent assimiler l'étude à ses résultats les plus favorables pour pouvoir, à tort ou à raison, l'ajouter à la pile d'articles ayant validé leur approche. D'autre part, le biais de publication semble en quelque sorte avoir été contré par le grand intérêt suscité par le domaine d'études. En fait, le sujet est devenu si populaire que les résultats non significatifs ont pris autant d'importance que les résultats allant dans le sens des hypothèses de recherche. Progressivement, des méta-analyses, recensions et commentaires défavorables à la pratique ont été autant représentés dans les écrits scientifiques que les études d'entraînement plus classiques.

Notons par ailleurs qu'un phénomène associé (le *p-hacking*) pourrait être mieux contrôlé par le fait d'enregistrer systématiquement les protocoles de recherche. Cette situation réfère au fait de tester un grand nombre de variables, de ne considérer que les associations statistiquement significatives et de restructurer l'étude et les hypothèses de recherche *a posteriori* en fonction des données favorables. L'enregistrement des protocoles améliore la qualité de la recherche en permettant à la communauté scientifique de juger de l'articulation théorique de l'étude et de sa méthodologie originale. Le chercheur est aussi garanti d'obtenir une publication sur cet article, ce qui permet de diffuser des résultats même s'ils sont contraires aux hypothèses de recherche. Au besoin, il demeure possible de procéder à des analyses exploratoires qui n'étaient pas prévues (Dickersin et Rennie, 2003).

Enfin, peu importe l'intervention étudiée, il demeure essentiel de garder en tête le phénomène du biais de publication et particulièrement pour les champs d'études émergents. Comme le soulignent Song, Hooper et Loke (2013), il s'agit d'une époque paradoxale pour les chercheurs : nous nous retrouvons devant une abondance d'articles

scientifiques faisant en sorte qu'il est pratiquement impossible de contenir toute l'information sur un sujet donné ; en même temps, il nous est difficile, voire impossible de prendre connaissance de nombreux travaux tout aussi pertinents, mais qui ne seront jamais publiés. La consultation des mémoires de maîtrise et des thèses de doctorat devrait d'ailleurs devenir la norme car il s'agit d'une source riche d'informations et qui existe souvent à l'extérieur du système de publication traditionnel.

CONCLUSION

Cette thèse portait sur l'évaluation d'un programme de remédiation cognitive de la mémoire de travail (MDT) auprès d'élèves dyslexiques ou étant considérés à risque de présenter ce trouble. Les expérimentations de cette thèse démontrent que l'entraînement ne permet pas d'améliorer la capacité de MDT ni les habiletés de lecture et d'écriture. Dans l'ensemble des travaux de remédiation cognitive, des critiques sont soulevées concernant la portée limitée de ce type d'intervention et le manque de généralisation dans les domaines extérieurs à la fonction entraînée. En somme, les données actuelles ne permettent pas de recommander la remédiation cognitive de la MDT comme outil d'intervention pour aider les élèves présentant des difficultés scolaires en lecture et en écriture.

Les interventions cognitives constituent un sujet d'intérêt pour les chercheurs, mais aussi chez les consommateurs pour qui les produits visant à « entraîner le cerveau » présentent un certain attrait (*brain training*). L'utilisation d'arguments scientifiques pour promouvoir le marché des entraînements cognitifs soulève des questionnements éthiques et rappelle l'importance pour les chercheurs d'agir comme modérateurs et vulgarisateurs auprès de la population. Dans le domaine de la remédiation cognitive de la MDT plus particulièrement, il a été constaté que plusieurs études présentaient des lacunes similaires. Différentes recommandations ont été formulées dans cette thèse afin d'améliorer la qualité des futures études d'intervention sur les plans méthodologique et conceptuel. Parmi celles-ci se retrouvent la nécessité d'appuyer les hypothèses de recherche sur des modèles théoriques rigoureux et de s'intéresser davantage aux mécanismes liés à l'efficacité d'une intervention. Dans le contexte scolaire,

l'évaluation de l'efficacité d'un traitement devrait tenir compte de sa valeur écologique à partir d'interprétations cliniques approuvées par les experts concernés. Soumettre les idées de recherche aux chercheurs et aux membres de la communauté permettrait également d'améliorer la qualité des devis et la pertinence des interventions proposées.

Enfin, l'origine de notre sujet de recherche peut être plus lointaine que le consensus généralement admis. Dans le domaine de la remédiation cognitive, Katz et al. (2018) rectifient les faits historiques en documentant des études d'entraînements cognitifs réalisées il y a plus de cent ans. La curiosité par rapport à la cognition humaine et aux interventions ayant le potentiel de l'améliorer serait encore plus ancienne. Plusieurs indices laissent croire que les questionnements sur les entraînements de l'esprit, leurs fondements et les mécanismes de transferts impliqués, alimentaient déjà la réflexion des philosophes de l'Antiquité. L'excellence en recherche débute par l'intérêt que l'on porte à la culture de notre champ d'études et à ses domaines apparentés. La perspective historique permet en plus d'apprendre des erreurs passées et favorise la création d'hypothèses et d'idées originales. La capacité d'adaptation du domaine des entraînements cognitifs, soit le fait de répondre aux critiques, intégrer le savoir déjà acquis et se renouveler, seront des facteurs déterminants pour la viabilité de ce secteur de recherche.

ANNEXE A

DEMANDE D'ACCÈS À L'INFORMATION RÉALISÉE AUPRÈS DU MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION ET DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR CONCERNANT LE NOMBRE D'ÉLÈVES DIAGNOSTIQUÉS AVEC UNE DYSLEXIE AU QUÉBEC



Québec, le 21 septembre 2018

Madame Héroïse Therrien

Objet : Demande d'accès aux documents administratifs
Notre dossier : 16310/18-134

Madame,

La présente a pour objet le suivi de votre demande d'accès reçue le 31 août 2018, visant à obtenir les documents suivants :

- le nombre d'élèves diagnostiqués avec une dyslexie selon les données du Ministère par commission scolaire pour les années 2007 à 2017 (primaire et secondaire confondus)

En raison de certaines contraintes, nous constatons qu'il nous est impossible de traiter votre demande dans le délai de 20 jours prescrit par la *Loi sur l'accès aux documents des organismes publics et sur la protection des renseignements personnels*, (RLRQ, chapitre A-2.1 ci-après « la Loi »). Nous vous avisons que le délai supplémentaire de 10 jours, prévu à l'article 47 de cette Loi, est nécessaire afin de compléter le traitement de votre demande.

Veuillez agréer, Madame, nos salutations distinguées.

La responsable de l'accès aux documents,



Ingrid Barakatt
IB/JG/jr

RÉFÉRENCES

- Aben, B., Stapert, S., & Blokland, A. (2012). About the distinction between working memory and short-term memory. *Frontiers in Psychology*, 3, 301. doi: 10.3389/fpsyg.2012.00301
- Ackermann, S., Halfon, O., Fornari, E., Urban, S., & Bader, M. (2018). Cognitive Working Memory Training (CWMT) in adolescents suffering from Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD): A controlled trial taking into account concomitant medication effects. *Psychiatry Research*, 269, 79-85. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2018.07.036>
- Ahmed, Y., Wagner, R. K., & Lopez, D. (2014). Developmental relations between reading and writing at the word, sentence and text levels: A latent change score analysis. *Journal of Educational Psychology*, 106(2), 419-434. doi: 10.1037/a0035692
- Aksayli, N. D., Sala, G., & Gobet, F. (2019). The cognitive and academic benefits of Cogmed: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 27, 229-243. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2019.04.003>
- Alamargot, D., Caporossi, G., Chesnet, D., & Ros, C. (2011). What makes a skilled writer? Working memory and audience awareness during text composition. *Learning and Individual Differences*, 21(5), 505-516. doi: 10.1016/j.lindif.2011.06.001
- Alamargot, D., Flouret, L., Larocque, D., Caporossi, G., Pontart, V., Paduraru, C., . . . Fayol, M. (2015). Successful written subject-verb agreement: an online analysis of the procedure used by students in Grades 3, 5 and 12. *Reading and Writing*, 28(3), 291-312. doi: 10.1007/s11145-014-9525-0
- Alamargot, D., Lambert, E., & Chanquoy, L. (2005). La production écrite et ses relations avec la mémoire. *A.N.A.E. Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 17, 41-46.
- Allen, R. J., Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (2017). Executive and perceptual distraction in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology:*

Human Perception and Performance, 43(9), 1677-1693. doi: 10.1037/xhp0000413

- Alloway, T. (2012). Can interactive working memory training improve learning ? *Journal of Interactive Learning Research*, 23(3), 197-207.
- Alloway, T., & Alloway, R. G. (2010). Investigating the predictive roles of working memory and IQ in academic attainment. *Journal of Experimental Child Psychology*, 106(1), 20-29. doi: 10.1016/j.jecp.2009.11.003
- Alloway, T., Bibile, V., & Lau, G. (2013). Computerized working memory training: Can it lead to gains in cognitive skills in students? *Computers in Human Behavior*, 29(3), 632-638. doi: 10.1016/j.chb.2012.10.023
- Alloway, T., Gathercole, S. E., Adams, A.-M., Willis, C., Eaglen, R., & Lamont, E. (2005). Working memory and phonological awareness as predictors of progress towards early learning goals at school entry. *British Journal of Developmental Psychology*, 23(3), 417-426. doi: 10.1348/026151005x26804
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders* (5^e éd.). Arlington, VA: American Psychiatric Association.
- Amso, D., & Scerif, G. (2015). The attentive brain: Insights from developmental cognitive neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*, 16, 606-619. doi: 10.1038/nrn4025
- Anderson, P. J., Lee, K. J., Roberts, G., Spencer-Smith, M. M., Thompson, D. K., Seal, M. L., . . . Pascoe, L. (2018). Long-term academic functioning following Cogmed working memory training for children born extremely preterm: A randomized controlled trial. *Journal of Pediatrics*, 202, 92-97.e94. doi: 10.1016/j.jpeds.2018.07.003
- Ang, S. Y., Lee, K., Cheam, F., Poon, K., & Koh, J. (2015). Updating and working memory training : Immediate improvement, long-term maintenance, and

generalisability to non-trained tasks. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 4, 121-128. doi: 10.1016/j.jarmac.2015.03.001

Angelelli, P., Marinelli, C. V., & Zoccolotti, P. (2010). Single or dual orthographic representations for reading and spelling? A study of Italian dyslexic-dysgraphic and normal children. *Cognitive Neuropsychology*, 27(4), 305-333. doi: 10.1080/02643294.2010.543539

Araújo, S., Inácio, F., Francisco, A., Faisca, L., Petersson, K. M., & Reis, A. (2011). Component processes subserving rapid automatized naming in dyslexic and non-dyslexic readers. *Dyslexia*, 17(3), 242-255. doi: 10.1002/dys.433

Arnold, E. M., Goldston, D. B., Walsh, A. K., Reboussin, B. A., Daniel, S. S., Hickman, E., & Wood, F. B. (2005). Severity of emotional and behavioral problems among poor and typical readers. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 33(2), 205-217. doi: 10.1007/s10802-005-1828-9

Au, J., Sheehan, E., Tsai, N., Duncan, G. J., Buschkuhl, M., & Jaeggi, S. M. (2015). Improving fluid intelligence with training on working memory: a meta-analysis. *Psychonomic Bulletin and Review*, 22(2), 366-377. doi: 10.3758/s13423-014-0699-x

Bacon, A. M., & Handley, S. J. (2014). Reasoning and dyslexia: is visual memory a compensatory resource? *Dyslexia*, 20(4), 330-345. doi: 10.1002/dys.1483

Bacon, A. M., Parmentier, F. B., & Barr, P. (2013). Visuospatial memory in dyslexia: evidence for strategic deficits. *Memory*, 21(2), 189-209. doi: 10.1080/09658211.2012.718789

Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. New York: Oxford University Press.

Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2)

- Baddeley, A. D. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4, 829.
- Baddeley, A. D. (2007). *Working memory, thought, and action*. New York: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (2012). Working memory: Theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, 63, 1-29. doi: 10.1146/annurev-psych-120710-100422
- Baddeley, A. D., & Andrade, J. (2000). Working memory and the vividness of imagery. *Journal of Experimental Psychology : General*, 129(1), 126-145.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. Dans G. A. Bower (dir.), *Recent advances in learning and motivation* (Vol. 8, pp. 47-89). New York: Academic Press.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (2019). The phonological loop as a buffer store: An update. *Cortex*, 112, 91-106. doi: 10.1016/j.cortex.2018.05.015
- Bakos, S., Landerl, K., Bartling, J., Schulte-Körne, G., & Moll, K. (2018). Neurophysiological correlates of word processing deficits in isolated reading and isolated spelling disorders. *Clinical Neurophysiology*, 129(3), 526-540. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2017.12.010>
- Banales, E., Kohnen, S., & McArthur, G. (2015). Can verbal working memory training improve reading? *Cognitive Neuropsychology*, 32(3-4), 104-132. doi: 10.1080/02643294.2015.1014331
- Barbey, A. K., Koenigs, M., & Grafman, J. (2013). Dorsolateral prefrontal contributions to human working memory. *Cortex*, 49(5), 1195-1205. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.05.022>

- Barbiero, C., Lonciari, I., Montico, M., Monasta, L., Penge, R., Vio, C., . . . Ronfani, L. (2012). The submerged dyslexia iceberg: How many school children are not diagnosed? Results from an Italian study. *PLoS One*, 7(10), e48082. doi: 10.1371/journal.pone.0048082
- Baron, J. (1977). Mechanisms for pronouncing printed words: use and acquisition. Dans D. LaBerge & S. J. Samuels (dir.), *Basic processes in reading: Perception and comprehension* (pp. 175-216). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Baron, J., & Strawson, C. (1976). Use of orthographic and word-specific knowledge in reading words aloud. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2(3), 386-393. doi: 10.1037/0096-1523.2.3.386
- Beneventi, H., Tonnessen, F. E., Ersland, L., & Hugdahl, K. (2010). Executive working memory processes in dyslexia: Behavioral and fMRI evidence. *Scandinavian Journal of Psychology*, 51(3), 192-202. doi: 10.1111/j.1467-9450.2010.00808.x
- Bergman-Nutley, S., & Klingberg, T. (2014). Effect of working memory training on working memory, arithmetic and following instructions. *Psychological Research*, 78(6), 869-877. doi: 10.1007/s00426-014-0614-0
- Bergman Nutley, S., & Söderqvist, S. (2017). How Is Working Memory Training Likely to Influence Academic Performance? Current Evidence and Methodological Considerations. *Frontiers in Psychology*, 8, 69. doi: 10.3389/fpsyg.2017.00069
- Berninger, V. W. (2009). Highlights of programmatic, interdisciplinary research on writing. *Learning disabilities research & practice : a publication of the Division for Learning Disabilities, Council for Exceptional Children*, 24(2), 69-80. doi: 10.1111/j.1540-5826.2009.00281.x
- Berninger, V. W., Nielsen, K. H., Abbott, R. D., Wijsman, E., & Raskind, W. (2008). Writing problems in developmental dyslexia: under-recognized and under-treated. *Journal of School Psychology*, 46(1), 1-21. doi: 10.1016/j.jsp.2006.11.008

- Bigorra, A., Garolera, M., Guijarro, S., & Hervas, A. (2016). Long-term far-transfer effects of working memory training in children with ADHD: a randomized controlled trial. *Eur Child Adolesc Psychiatry, 25*(8), 853-867. doi: 10.1007/s00787-015-0804-3
- Billard, C., & Delteil-Pinton, F. (2010). Clinique de la dyslexie. *Archives de pédiatrie, 17*, 1734-1743. doi: 10.1016/j.arcped.2010.09.022
- Billard, C., Fluss, J., Ducot, B., Bricout, L., Richard, G., Ecalle, J., . . . Ziegler, J. (2009). Troubles d'acquisition de la lecture en cours élémentaire : facteurs cognitifs, sociaux et comportementaux dans un échantillon de 1062 enfants. *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique, 57*(3), 191-203. <https://doi.org/10.1016/j.respe.2009.02.205>
- Boada, R., & Pennington, B. F. (2006). Deficient implicit phonological representations in children with dyslexia. *Journal of Experimental Child Psychology, 95*(3), 153-193. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2006.04.003>
- Bonin, P., & Delattre, M. (2010). La procédure de conversion phonie-graphie en production sous dictée. *L'Année psychologique, 110*(4), 495-516. doi: 10.4074/S000350331000401X
- Borkowska, A. R., Francuz, P., Soluch, P., & Wolak, T. (2013). Brain activation in teenagers with isolated spelling disorder during tasks involving spelling assessment and comparison of pseudowords. fMRI study. *Brain & Development. <http://dx.doi.org/10.1016/j.braindev.2013.10.010>*
- Boscardin, C. K., Muthén, B., Francis, D. J., & Baker, E. L. (2008). Early identification of reading difficulties using heterogeneous developmental trajectories. *Journal of Educational Psychology, 100*(1), 192-208. doi: 10.1037/0022-0663.100.1.192
- Bosse, M.-L., Tainturier, M. J., & Valdois, S. (2007). Developmental dyslexia: The visual attention span deficit hypothesis. *Cognition, 104*(2), 198-230. doi: 10.1016/j.cognition.2006.05.009

- Brehmer, Y., Westerberg, H., & Bäckman, L. (2012). Working-memory training in younger and older adults: training gains, transfer, and maintenance. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 63. doi: 10.3389/fnhum.2012.00063
- Brooks, A. D., Berninger, V., & Abbott, R. D. (2011). Letter naming and letter writing reversals in children with dyslexia: Momentary inefficiency in the phonological and orthographic loops of working memory. *Developmental Neuropsychology*, 36(7), 847-868. doi: 10.1080/87565641.2011.606401
- Brun-Henin, F., Velay, J.-L., Beecham, Y., & Cariou, S. (2012). Troubles d'écriture et dyslexie : revue théorique, aspects cliniques et approche expérimentale. *Développements*, 13(4), 4-28. doi: 10.3917/devel.013.0004
- Buchsbaum, B. R. (2016). Working memory and language. Dans H. G & S. S. L (dir.), *Neurobiology of language* (pp. 863-875). USA: Elsevier.
- Buehner, M., Krumm, S., & Pick, M. (2005). Reasoning=working memory≠attention. *Intelligence*, 33(3), 251-272. <http://dx.doi.org/10.1016/j.intell.2005.01.002>
- Bull, R., Espy, K. A., & Wiebe, S. A. (2008). Short-term memory, working memory, and executive functioning in preschoolers: longitudinal predictors of mathematical achievement at age 7 years. *Developmental Neuropsychology*, 33(3), 205-228. doi: 10.1080/87565640801982312
- Bunting, M., Cowan, N., & Saults, J. S. (2006). How does running memory span work? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(10), 1691-1700. doi: 10.1080/17470210600848402
- Burt, J. S., & Tate, H. (2002). Does a reading lexicon provide orthographic representations for spelling? *Journal of Memory and Language*, 46(3), 518-543. <https://doi.org/10.1006/jmla.2001.2818>
- Carretti, B., Borella, E., Cornoldi, C., & De Beni, R. (2009). Role of working memory in explaining the performance of individuals with specific reading

- comprehension difficulties: A meta-analysis. *Learning and Individual Differences*, 19(2), 246-251. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2008.10.002>
- Carretti, B., Borella, E., & De Beni, R. (2007). Does strategic memory training improve the working memory performance of younger and older adults? *Experimental Psychology*, 54(4), 311-320. doi: 10.1027/1618-3169.54.4.311
- Carretti, B., Caldarola, N., Tencati, C., & Cornoldi, C. (2014). Improving reading comprehension in reading and listening settings: the effect of two training programmes focusing on metacognition and working memory. *British Journal of Educational Psychology*, 84(2), 194-210. doi: 10.1111/bjep.12022
- Cartier, S., & Tardif, J. (2000). De la lecture pour comprendre à la lecture pour apprendre : aider les élèves qui ont des difficultés à apprendre par la lecture. *Vie pédagogique*, 115, 44-49.
- Castles, A., & Coltheart, M. (2004). Is there a causal link from phonological awareness to success in learning to read? *Cognition*, 91(1), 77-111. [http://dx.doi.org/10.1016/S0010-0277\(03\)00164-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0010-0277(03)00164-1)
- Catach, N., Gruaz, C., & Duprez, D. (1995). *L'orthographe française : traité théorique et pratique avec des travaux d'application et leurs corrigés* (3^e éd.). Paris, France: Nathan Université.
- Catts, H. W., Fey, M. E., Tomblin, J. B., & Zhang, X. (2002). A longitudinal investigation of reading outcomes in children with language impairments. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 45(6), 1142-1157.
- Cecilia, M. R., Vittorini, P., Cofini, V., & di Orio, F. (2014). The prevalence of reading difficulties among children in scholar age. *Styles of Communication*, 6(1), 18-30.
- Cervetti, N., & Peraldi, L. (2013). *Étude des performances d'identification des mots écrits chez l'enfant normolecteur de CM2*. (Mémoire pour le certificat de capacité d'orthophoniste), Université Paris VI – Pierre et Marie Curie.

- Chacko, A., Bedard, A. C., Marks, D. J., Feirsen, N., Uderman, J. Z., Chimiklis, A., . . . Ramon, M. (2014). A randomized clinical trial of Cogmed Working Memory Training in school-age children with ADHD: a replication in a diverse sample using a control condition. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *55*(3), 247-255. doi: 10.1111/jcpp.12146
- Chai, W. J., Abd Hamid, A. I., & Abdullah, J. M. (2018). Working memory from the psychological and neurosciences perspectives: A review. *Frontiers in Psychology*, *9*(401). doi: 10.3389/fpsyg.2018.00401
- Chamberlain, R., Brunswick, N., Siev, J., & McManus, I. (2018). Meta-analytic findings reveal lower means but higher variances in visuospatial ability in dyslexia. *British Journal of Psychology*, *109*, 897-916. doi: 10.1111/bjop.12321
- Chevrie-Muller, C., Maillart, C., Simon, A. M., & Fournier, S. (2010). *L2MA-2 : Langage oral, langage écrit, mémoire, attention, 2^e édition* Paris: ECPA : Éditions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Colé, P., Casalis, S., Domínguez, A. B., Leybaert, J., Schelstraete, M.-A., & Sprenger-Charolles, L. (2012). *Lecture et pathologies du langage oral*. France: Presses universitaires de Grenoble.
- Coltheart, M. (2005). Modeling reading: the dual-route approach. Dans M. J. Snowling (dir.), *The science of reading: A Handbook*. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
- Coltheart, M. (2006). Dual route and connectionist models of reading: an overview. *London Review of Education*, *4*(1), 5-17. doi: 10.1080/13603110600574322
- Coltheart, M., Curtis, B., Atkins, P., & Haller, M. (1993). Models of reading aloud: dual-route and parallel-distributed-processing approaches. *Psychological Review*, *100*(4), 589-608. doi: 10.1037/0033-295X.100.4.589

- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). DRC: a dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, *108*(1), 204-256. doi: 10.1037//0033-295X.108.1.204
- Conway, A. R. A., Cowan, N., Bunting, M. F., Theriault, D. J., & Minkoff, S. R. B. (2002). A latent variable analysis of working memory capacity, short-term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence*, *30*(2), 163-183. [http://dx.doi.org/10.1016/S0160-2896\(01\)00096-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0160-2896(01)00096-4)
- Conway, A. R. A., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., & Engle, R. W. (2005). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin & Review*, *12*(5), 769-786. doi: 10.3758/BF03196772
- Conway, A. R. A., Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working memory capacity and its relation to general intelligence. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*(12), 547-552. doi: 10.1016/j.tics.2003.10.005
- Cormier, P., MacDonald, G. W., Grandmaison, É., & Ouellette-Lebel, D. (1995). Développement d'un test d'analyse auditive en français : normes et validation de construit. *Revue des sciences de l'éducation*, *21*(2), 223-240.
- Cortese, S., Ferrin, M., Brandeis, D., Buitelaar, J., Daley, D., Dittmann, R. W., . . . Sonuga-Barke, E. J. (2015). Cognitive training for attention-deficit/hyperactivity disorder: meta-analysis of clinical and neuropsychological outcomes from randomized controlled trials. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, *54*(3), 164-174. doi: 10.1016/j.jaac.2014.12.010
- Cowan, N. (1999). An embedded-processes model of working memory *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 62-101). New York, NY, US: Cambridge University Press.

- Cowan, N. (2008). What are the differences between long-term, short-term, and working memory? *Progress in brain research*, 169, 323-338. doi: 10.1016/S0079-6123(07)00020-9
- D'Esposito, M., & Postle, B. R. (2015). The cognitive neuroscience of working memory. *Annual Review of Psychology*, 66, 115-142. doi: 10.1146/annurev-psych-010814-015031
- Dahlin, K. I. E. (2011). Effects of working memory training on reading in children with special needs. *Reading and Writing*, 24(4), 479-491. doi: 10.1007/s11145-010-9238-y
- Daigle, D., & Montésinos-Gelet, I. (2013). Le code orthographique du français : ses caractéristiques et son utilisation. Dans D. Daigle, I. Montésinos-Gelet & A. Plisson (dir.), *Orthographe et populations exceptionnelles: perspectives didactiques*. Québec, Québec: Presses De L'Université Du Québec.
- Daniel, S. S., Walsh, A. K., Goldston, D. B., Arnold, E. M., Reboussin, B. A., & Wood, F. B. (2006). Suicidality, school dropout, and reading problems among adolescents. *Journal of Learning Disabilities*, 39(6), 507-514. doi: 10.1177/00222194060390060301
- de Carvalho, C. A., Kida Ade, S., Capellini, S. A., & de Avila, C. R. (2014). Phonological working memory and reading in students with dyslexia. *Frontiers in Psychology*, 5(746), 1-8. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00746
- Demont, E., & Botzung, A. (2003). Contribution de la conscience phonologique et de la mémoire de travail aux difficultés en lecture : étude auprès d'enfants dyslexiques et apprentis lecteurs. *L'Année Psychologique*, 103(3), 377-409. doi: 10.3406/psy.2003.29642
- Dentz, A., Parent, V., Gauthier, B., Guay, M. C., & Romo, L. (2016). L'entraînement de la mémoire de travail par le programme Cogmed et le TDAH. *Psychologie Française*, 61(2), 139-151. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psfr.2015.06.002>

- Desrosiers, H., & Tétreault, K. (2012). *Les facteurs liés à la réussite aux épreuves obligatoires du français en sixième année du primaire : un tour d'horizon*. Québec, Québec: Institut de la statistique du Québec.
- Deveau, J., Jaeggi, S. M., Zordan, V., Phung, C., & Seitz, A. R. (2014). How to build better memory training games. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 8(243), 1-7. doi: 10.3389/fnsys.2014.00243
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-168. doi: 10.1146/annurev-psych-113011-143750
- Dickersin, K., & Rennie, D. (2003). Registering clinical trials. *JAMA : the journal of the American Medical Association*, 290, 516-523. doi: 10.1001/jama.290.4.516
- Döhla, D., & Heim, S. (2016). Developmental dyslexia and dysgraphia: what can we learn from the one about the other? *Frontiers in Psychology*, 6, 2045. doi: 10.3389/fpsyg.2015.02045
- Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P., . . . Japel, C. (2007). School readiness and later achievement. *Developmental Psychology*, 43(6), 1428-1446. doi: 10.1037/0012-1649.43.6.1428
- Duncan, L. G., Castro, S. L., Defior, S., Seymour, P. H., Baillie, S., Leybaert, J., . . . Serrano, F. (2013). Phonological development in relation to native language and literacy: variations on a theme in six alphabetic orthographies. *Cognition*, 127(3), 398-419. doi: 10.1016/j.cognition.2013.02.009
- Dunning, D. L., & Holmes, J. (2014). Does working memory training promote the use of strategies on untrained working memory tasks? *Memory & Cognition*, 42(6), 854-862. doi: 10.3758/s13421-014-0410-5
- Dunning, D. L., Holmes, J., & Gathercole, S. E. (2013). Does working memory training lead to generalized improvements in children with low working

memory? A randomized controlled trial. *Developmental Science*, 16(6), 915-925. doi: 10.1111/desc.12068

Dyslexia. (s. d.). Dans *Online Etymology Dictionary*. Repéré à <https://www.etymonline.com/search?q=dyslexia>.

Écalle, J., & Magnan, A. (2002). *L'apprentissage de la lecture : Fonctionnement et développement cognitifs*. Paris: Armand Colin.

Egeland, J. (2015). Measuring working memory with Digit Span and the Letter-Number Sequencing subtests from the WAIS-IV: Too low manipulation load and risk for underestimating modality effects. *Applied Neuropsychology: Adult*, 22(6), 445-451. doi: 10.1080/23279095.2014.992069

Egeland, J., Aarlien, A. K., & Saunes, B.-K. (2013). Few effects of far transfer of working memory training in ADHD: A randomized controlled trial. *PLoS One*, 8(10), e75660. doi: 10.1371/journal.pone.0075660

Ehri, L. C. (1991). Development of the ability to read words. Dans R. Barr, M. L. Kamil, P. Mosenthal & E. D. Pearson (dir.), *Handbook of reading research* (Vol. 2, pp. 385-419). New York: Longman.

Ehri, L. C. (2005a). Development of sight word reading: Phases and findings *The Science of Reading: A Handbook* (pp. 135-154): Blackwell Publishing Ltd.

Ehri, L. C. (2005b). Learning to Read Words: Theory, Findings, and Issues. *Scientific Studies of Reading*, 9(2), 167-188. doi: 10.1207/s1532799xssr0902_4

Engle, R., Kane, M., & Tuholski, S. (1999). Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence, and functions of the prefrontal cortex. Dans A. Miyake & P. Shah (dir.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 102-134). New York: Cambridge University Press.

- Ericsson, K. A. (2003). Exceptional memorizers: made, not born. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(6), 233-235. [http://dx.doi.org/10.1016/S1364-6613\(03\)00103-7](http://dx.doi.org/10.1016/S1364-6613(03)00103-7)
- Ericsson, K. A., & Chase, W. G. (1982). Exceptional memory. *American Scientist*, 70(6), 607-615.
- Eriksson, J., Vogel, E. K., Lansner, A., Bergström, F., & Nyberg, L. (2015). Neurocognitive architecture of working memory. *Neuron*, 88(1), 33-46. doi: 10.1016/j.neuron.2015.09.020
- Felton, R. H. (1992). Early Identification of Children at Risk for Reading Disabilities. *Topics in Early Childhood Special Education*, 12(2), 212-229. doi: 10.1177/027112149201200206
- Fisher, C., & Gleitman, L. R. (2002). Language acquisition. Dans H. F. Pashler & C. R. Gallistel (dir.), *Stevens' Handbook of Experimental Psychology* (Vol. 1, pp. 445-496): John Wiley & Sons, Inc.
- Fluss, J., Ziegler, J., Ecalle, J., Magnan, A., Warszawski, J., Ducot, B., . . . Billard, C. (2008). Prévalence des troubles d'apprentissages du langage écrit en début de scolarité : l'impact du milieu socioéconomique dans 3 zones d'éducatons distinctes. *Archives de pédiatrie*, 15(6), 1049-1057. doi: 10.1016/j.arcped.2008.02.012
- Foy, J. G., & Mann, V. A. (2014). Adaptive cognitive training enhances executive control and visuospatial and verbal working memory in beginning readers. *International Education Research*, 2(2), 19-43. <http://dx.doi.org/10.12735/ier.v2i2p19>
- Gathercole, S. E., Alloway, T., Willis, C., & Adams, A.-M. (2006). Working memory in children with reading disabilities. *Journal of Experimental Child Psychology*, 93(3), 265-281. doi: 10.1016/j.jecp.2005.08.003

- Gathercole, S. E., Dunning, D. L., & Holmes, J. (2012). Cogmed training: Let's be realistic about intervention research. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition, 1*(3), 201-203. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jarmac.2012.07.007>
- Gathercole, S. E., Woolgar, F., Kievit, R. A., Astle, D., Manly, T., & Holmes, J. (2016). How common are WM deficits in children with difficulties in reading and mathematics? *Journal of Applied Research in Memory and Cognition, 5*(4), 384-394. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jarmac.2016.07.013>
- Gebauer, D., Enzinger, C., Kronbichler, M., Schurz, M., Reishofer, G., Koschutnig, K., . . . Fink, A. (2012). Distinct patterns of brain function in children with isolated spelling impairment: new insights. *Neuropsychologia, 50*(7), 1353-1361. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2012.02.020
- Germanò, E., Gagliano, A., & Curatolo, P. (2010). Comorbidity of ADHD and Dyslexia. *Developmental Neuropsychology, 35*(5), 475-493. doi: 10.1080/87565641.2010.494748
- Giasson, J. (2003). *La lecture : De la théorie à la pratique* (2^e éd.). Montréal: Chenelière Éducation.
- Gibson, B. S., Gondoli, D. M., Johnson, A. C., Steeger, C. M., Dobrzanski, B. A., & Morrissey, R. A. (2011). Component analysis of verbal versus spatial working memory training in adolescents with ADHD: A randomized, controlled trial. *Child Neuropsychology, 17*(6), 546-563. doi: 10.1080/09297049.2010.551186
- Giofrè, D., Donolato, E., & Mammarella, I. (2018). The differential role of verbal and visuospatial working memory in mathematics and reading. *Trends in Neuroscience and Education, 12*. doi: 10.1016/j.tine.2018.07.001
- Giovagnoli, G., Vicari, S., Tomassetti, S., & Menghini, D. (2016). The role of visual-spatial abilities in dyslexia: age differences in children's reading? *Frontiers in Psychology, 7*, 1997. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01997>

- Glasspool, D. W., Houghton, G., & Shallice, T. (1995). Interactions between knowledge sources in a dual-route connectionist model of spelling. Dans S. L.S. & H. P.J.B. (dir.), *Neural Computation and Psychology : Workshops in Computing*. Londres: Springer.
- Gouvernement du Québec. (2007). *L'organisation des services éducatifs aux élèves à risque et aux élèves handicapés ou en difficulté d'adaptation ou d'apprentissage (EHDAA)*. (2007-07-00523). Repéré à http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/dpse/adaptation_serv_compl/19-7065.pdf.
- Gouvernement du Québec. (2016). *Statistiques de l'éducation - Édition 2015 : Éducation préscolaire, enseignement primaire et secondaire*. (15_00503). Repéré à http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/PSG/statistiques_info_decisionnelle/15-00503_statistiques_2015_edition_v25oct.pdf.
- Grainger, J., & Ziegler, J. C. (2011). A dual-route approach to orthographic processing. *Frontiers in Psychology*, 2(54), 1-13. doi: 10.3389/fpsyg.2011.00054
- Gray, S. A., Chaban, P., Martinussen, R., Goldberg, R., Gotlieb, H., Kronitz, R., . . . Tannock, R. (2012). Effects of a computerized working memory training program on working memory, attention, and academics in adolescents with severe LD and comorbid ADHD: a randomized controlled trial. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 53(12), 1277-1284. doi: 10.1111/j.1469-7610.2012.02592.x
- Gropper, R. J., Gotlieb, H., Kronitz, R., & Tannock, R. (2014). Working memory training in college students with ADHD or LD. *Journal of Attention Disorders*, 18(4), 331-345. doi: 10.1177/1087054713516490
- Guay, M. C. (2019). *Ces enfants qui apprennent autrement*. Montréal, Québec: Les Éditions du Trécarré.

- Habib, M. (2000). The neurological basis of developmental dyslexia: an overview and working hypothesis. *Brain, 123 Pt 12*, 2373-2399.
<https://doi.org/10.1093/brain/123.12.2373>
- Hankivsky, O. (2008). *Cost estimates of dropping out of high school in Canada*. Conseil Canadien sur l'Apprentissage. Repéré à
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.510.4857&rep=rep1&type=pdf>.
- Hari, R., Renvall, H., & Tanskanen, T. (2001). Left minineglect in dyslexic adults. *Brain: A Journal of Neurology, 124(7)*, 1373-1380. doi:
10.1093/brain/124.7.1373
- Harm, M. W., & Seidenberg, M. S. (2004). Computing the meanings of words in reading: cooperative division of labor between visual and phonological processes. *Psychological Review, 111(3)*, 662-720. doi: 10.1037/0033-295x.111.3.662
- Hart, B., & Risley, T. R. (2003). The early catastrophe: The 30 million word gap. *American Educator, 27(1)*, 4-9.
- Hawken, J. (2009). *Pour un enseignement efficace de la lecture et de l'écriture: une trousse d'intervention appuyée par la recherche* (L. Laplante, M. Brodeur, A. Desrochers & G. Jean, Trad.). London, Ontario: Réseau canadien de recherche sur le langage et l'alphabétisation.
- Henry, L. A., Messer, D. J., & Nash, G. (2014). Testing for near and far transfer effects with a short, face-to-face adaptive working memory training intervention in typical children. *Infant and Child Development, 23*, 84-103.
<https://doi.org/10.1002/icd.1816>
- Hilbert, S., Schwaighofer, M., Zech, A., Sarubin, N., Arendasy, M., & Böhner, M. (2017). Working memory tasks train working memory but not reasoning: A material- and operation-specific investigation of transfer from working memory practice. *Intelligence, 61*, 102-114.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.intell.2017.01.010>

- Hill, B., Elliott, E., Shelton, J., Pella, R., O’Jile, J., & Gouvier, W. (2010). Can we improve the clinical assessment of working memory? An evaluation of the WAIS-III using a working memory criterion construct. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *32*(3), 315-323. doi: 10.1080/13803390903032529
- Hitchcock, C., & Westwell, M. S. (2017). A cluster-randomised, controlled trial of the impact of Cogmed Working Memory Training on both academic performance and regulation of social, emotional and behavioural challenges. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *58*(2), 140-150. doi: 10.1111/jcpp.12638
- Holmes, J., & Gathercole, S. E. (2014). Taking working memory training from the laboratory into schools. *Educational Psychology*, *34*(4), 440-450. doi: 10.1080/01443410.2013.797338
- Holmes, J., Gathercole, S. E., & Dunning, D. L. (2009). Adaptive training leads to sustained enhancement of poor working memory in children. *Developmental Science*, *12*(4), F9-15. doi: 10.1111/j.1467-7687.2009.00848.x
- Holmes, V. M., & Carruthers, J. (1998). The relation between reading and spelling in skilled adult readers. *Journal of Memory and Language*, *39*(2), 264-289. <https://doi.org/10.1006/jmla.1998.2583>
- Holmes, V. M., & Davis, C. W. (2002). Orthographic representation and spelling knowledge. *Language and Cognitive Processes*, *17*(4), 345-370. doi: 10.1080/01690960143000263a
- Houghton, G., & Zorzi, M. (2003). Normal and impaired spelling in a connectionist dual-route architecture. *Cognitive Neuropsychology*, *20*(2), 115-162. doi: 10.1080/02643290242000871
- Howse, R. B., Best, D. L., & Stone, E. R. (2003). Children’s decision making: the effects of training, reinforcement, and memory aids. *Cognitive Development*, *18*(2), 247-268. [http://dx.doi.org/10.1016/S0885-2014\(03\)00023-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0885-2014(03)00023-6)

- Huc-Chabrolle, M., Barthez, M. A., Tripi, G., Barthélémy, C., & Bonnet-Brilhault, F. (2010). Les troubles psychiatriques et psychocognitifs associés à la dyslexie de développement: Un enjeu clinique et scientifique. *L'Encéphale*, *36*(2), 172-179. doi: 10.1016/j.encep.2009.02.005
- Huey, E. B. (1908). *The psychology and pedagogy of reading*. New York, NY: The Macmillan Company.
- Inserm. (2007). *Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie : Bilan des données scientifiques* Paris, France: Les éditions Inserm.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *105*(19), 6829-6833. doi: 10.1073/pnas.0801268105
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Shah, P. (2012). Cogmed and working memory training—Current challenges and the search for underlying mechanisms. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, *1*(3), 211-213. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jarmac.2012.07.002>
- 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*. Québec, Québec: Institut de la statistique du Québec.
- Johansson, B., & Tornmalm, M. (2012). Working memory training for patients with acquired brain injury: effects in daily life. *Scandinavian Journal of Occupational Therapy*, *19*(2), 176-183. doi: 10.3109/11038128.2011.603352
- Johnson, J. (2014). Chapter 6 - Reading is Unnatural *Designing with the Mind in Mind (Second Edition)* (pp. 67-85). Boston: Morgan Kaufmann.

- Jover, M., Ducrot, S., Huau, A., Bellocchi, S., Brun-Hénin, F., & Mancini, J. (2014). Les troubles moteurs chez les enfants dyslexiques : revue de travaux et perspectives. *Enfance*, 2013(4), 323-347. doi: 10.4074/S0013754513004023
- Juel, C. (1988). Learning to read and write : A longitudinal study of 54 children in first and second grade. *Journal of Educational Psychology*, 80(4), 437-447. doi: 10.1037/0022-0663.80.4.437
- Kane, M., & Conway, A. (2016). The invention of n-back: An extremely brief history. *The Winnower*, 1-3. doi: 10.15200/winn.146722.26397
- Karbach, J., Strobach, T., & Schubert, T. (2014). Adaptive working-memory training benefits reading, but not mathematics in middle childhood. *Child Neuropsychology*, 21(3), 285-301. doi: 10.1080/09297049.2014.899336
- Katz, B., Shah, P., & Meyer, D. E. (2018). How to play 20 questions with nature and lose: Reflections on 100 years of brain-training research. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(40), 9897-9904. doi: 10.1073/pnas.1617102114
- Katz, L., & Frost, R. (1992). The reading process is different for different orthographies: The Orthographic Depth Hypothesis. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, 111/112, 147-160.
- Kavale, K. A., & Reese, J. H. (1992). The Character of Learning Disabilities: An Iowa Profile. *Learning Disability Quarterly*, 15(2), 74-94. doi: 10.2307/1511010
- Kazdin, A. E. (2003). *Research design in clinical psychology* (4^e éd.). Boston, MA: Allyn & Bacon.
- Kellogg, R. T. (1996). A model of working memory in writing *The science of writing: Theories, methods, individual differences, and applications* (pp. 57-71). Hillsdale, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

- Kellogg, R. T. (1999). Components of working memory in text production. Dans M. Torrance & G. Jeffery (dir.), *The cognitive demands of writing: Processing capacity and working memory effects in text production* (pp. 43-61). Amsterdam, Pays-Bas: Amsterdam University Press.
- Kellogg, R. T. (2001). Competition for working memory among writing processes. *The American Journal of Psychology*, *114*(2), 175-191. doi: 10.2307/1423513
- Kellogg, R. T., Olive, T., & Piolat, A. (2007). Verbal, visual, and spatial working memory in written language production. *Acta Psychologica*, *124*(3), 382-397. doi: 10.1016/j.actpsy.2006.02.005
- Kellogg, R. T., Whiteford, A. P., Turner, C. E., Cahill, M., & Mertens, A. (2013). Working memory in written composition: An evaluation of the 1996 model. *Journal of Writing Research*, *5*(2), 159-190. doi: 10.17239/jowr-2013.05.02.1
- Kendeou, P., Van Den Broek, P., Helder, A., & Karlsson, J. (2014). A cognitive view of reading comprehension : Implications for reading difficulties. *Learning Disabilities Research and Practice*, *29*(1), 10-16. doi: 10.1111/ldrp.12025
- Kershner, J. R. (2019). Neurobiological systems in dyslexia. *Trends in Neuroscience and Education*, *14*, 11-24. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2018.12.001>
- Kleim, J. A., & Jones, T. A. (2008). Principles of experience-dependent neural plasticity: implications for rehabilitation after brain damage. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, *51*(1), S225-239. doi: 10.1044/1092-4388(2008/018)
- Klein, R. G. (2017). Language and human evolution. *Journal of Neurolinguistics*, *43*(Part B), 204-221. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2016.11.004>
- Kletzel, S. L., Cary, M. P., Ciro, C., Berbrayer, D., Dawson, D., Hoffecker, L., . . . Heyn, P. C. (2016). *Brain Gaming: A User's Product Guide for the Clinician*.

Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 97(8), 1399-1400. doi:
<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2016.03.001>

- Klingberg, T. (2010). Training and plasticity of working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(7), 317-324. doi: 10.1016/j.tics.2010.05.002
- Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P. J., Johnson, M., Gustafsson, P., Dahlstrom, K., . . . Westerberg, H. (2005). Computerized training of working memory in children with ADHD--a randomized, controlled trial. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 44(2), 177-186. doi: 10.1097/00004583-200502000-00010
- Klingberg, T., Forssberg, H., & Westerberg, H. (2002). Training of working memory in children with ADHD. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24(6), 781-791. doi: 10.1076/jcen.24.6.781.8395
- Krafnick, A. J., & Evans, T. M. (2019). Neurobiological Sex Differences in Developmental Dyslexia. *Frontiers in Psychology*, 9(2669). doi: 10.3389/fpsyg.2018.02669
- Kuhl, P. K. (1994). Learning and representation in speech and language. *Current Opinion in Neurobiology*, 4(6), 812-822. [https://doi.org/10.1016/0959-4388\(94\)90128-7](https://doi.org/10.1016/0959-4388(94)90128-7)
- Kuhn, J.-T. (2016). Controlled attention and storage: An investigation of the relationship between working memory, short-term memory, scope of attention, and intelligence in children. *Learning and Individual Differences*, 52, 167-177. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lindif.2015.04.009>
- Landerl, K., & Moll, K. (2010). Comorbidity of learning disorders: prevalence and familial transmission. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 51(3), 287-294. doi: 10.1111/j.1469-7610.2009.02164.x
- Langley, A. K., Nadeem, E., Kataoka, S. H., Stein, B. D., & Jaycox, L. H. (2010). Evidence-based mental health programs in schools: Barriers and facilitators of

- successful implementation. *School Mental Health*, 2(3), 105-113. doi: 10.1007/s12310-010-9038-1
- Le Floch, A., & Ropars, G. (2017). Left – Right asymmetry of the Maxwell spot centroids in adults without and with dyslexia. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1865). doi: 10.1098/rspb.2017.1380
- Lefavrais, P. (2005). *Test de l'Alouette-R : Test d'analyse de la lecture et de la dyslexie*. Paris: ECPA : Éditions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Leffard, S. A., Miller, J. A., Bernstein, J., DeMann, J. J., Mangis, H. A., & McCoy, E. L. (2006). Substantive validity of working memory measures in major cognitive functioning test batteries for children. *Applied Neuropsychology*, 13(4), 230-241. doi: 10.1207/s15324826an1304_4
- Lerner, J. W. (1989). Educational interventions in learning disabilities. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 28(3), 326-331. doi: 10.1097/00004583-198905000-00004
- Liederman, J., Kantrowitz, L., & Flannery, K. (2005). Male vulnerability to reading disability is not likely to be a myth: a call for new data. *Journal of Learning Disabilities*, 38(2), 109-129. doi: 10.1177/00222194050380020201
- Lipowska, M., Czaplewska, E., & Wysocka, A. (2011). Visuospatial deficits of dyslexic children. *Medical Science Monitor*, 17, CR216-221. doi: 10.12659/MSM.881718
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Hillsdale, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Logie, R. H. (2011). The functional organization and capacity limits of working memory. *Current Directions in Psychological Science*, 20(4), 240-245. doi: 10.1177/0963721411415340

- Lonigan, C. J., Schatschneider, C., & Westberg, L. (2008). Identification of children's skills and abilities linked to later outcomes in reading, writing, and spelling. Dans N. E. L. Panel (dir.), *Developing early literacy: Report of the National Early Literacy Panel* (pp. 55-106). Washington, DC: National Institute for Literacy.
- Loosli, S. V., Buschkuehl, M., Perrig, W. J., & Jaeggi, S. M. (2012). Working memory training improves reading processes in typically developing children. *Child Neuropsychology*, *18*(1), 62-78. doi: 10.1080/09297049.2011.575772
- Lundqvist, A., Grundstrom, K., Samuelsson, K., & Ronnberg, J. (2010). Computerized training of working memory in a group of patients suffering from acquired brain injury. *Brain Injury*, *24*(10), 1173-1183. doi: 10.3109/02699052.2010.498007
- Luo, Y., Wang, J., Wu, H., Zhu, D., & Zhang, Y. (2013). Working-memory training improves developmental dyslexia in Chinese children. *Neural Regeneration Research*, *8*(5), 452-460. doi: 10.3969/j.issn.1673-5374.2013.05.009
- Lussier, F., Chevrier, E., & Gascon, L. (2017). *Neuropsychologie de l'enfant et de l'adolescent : Troubles développementaux et de l'apprentissage* (3^e éd.). Mlakoff, France: dunod.
- Maehler, C., Joerns, C., & Schuchardt, K. (2019). Training working memory of children with and without dyslexia. *Children (Basel, Switzerland)*, *6*(3), 47. doi: 10.3390/children6030047
- Majerus, S., & Poncelet, M. (2009). Les troubles de la mémoire : Troubles de la rétention à court terme. Dans M. Poncelet, S. Majerus & M. V. d. Linden (dir.), *Traité de Neuropsychologie de l'Enfant* (pp. 221-243). Marseille, France: Solal.
- Manolitsis, G., & Georgiou, G. (2015). The cognitive profiles of poor readers/good spellers and good readers/poor spellers in a consistent orthography: a retrospective analysis. *Preschool and Primary Education*, *3*(2), 103-116. <http://dx.doi.org/10.12681/ppej.178>

- Marinelli, C. V., Romani, C., Burani, C., McGowan, V. A., & Zoccolotti, P. (2016). Costs and benefits of orthographic inconsistency in reading: Evidence from a cross-linguistic comparison. *PLoS One*, *11*(6), e0157457. doi: 10.1371/journal.pone.0157457
- Marshall, J. C., & Newcombe, F. (1973). Patterns of paralexia: a psycholinguistic approach. *Journal of Psycholinguistic Research*, *2*(3), 175-199.
- Martin-Chang, S., Ouellette, G., & Madden, M. (2014). Does poor spelling equate to slow reading? The relationship between reading, spelling, and orthographic quality. *Reading and Writing*, *27*(8), 1485-1505. doi: 10.1007/s11145-014-9502-7
- Mathy, F., Chekaf, M., & Cowan, N. (2018). Simple and complex working memory tasks allow similar benefits of information compression. *Journal of Cognition*(31), 1-12. <https://doi.org/10.5334/joc.31>
- Mawjee, K., Woltering, S., Lai, N., Gotlieb, H., Kronitz, R., & Tannock, R. (2014). Working memory training in ADHD: Controlling for engagement, motivation, and expectancy of improvement (pilot study). *Journal of Attention Disorders*, *21*(11), 956-968. doi: 10.1177/1087054714557356
- Mawjee, K., Woltering, S., & Tannock, R. (2015). Working memory training in post-secondary students with ADHD: A randomized controlled study. *PLoS One*, *10*(9), e0137173. doi: 10.1371/journal.pone.0137173
- Mazeau, M., & Pouhet, A. (2014). *Neuropsychologie et troubles des apprentissages chez l'enfant* (2^e éd.). Paris, France: Elsevier Masson.
- McArthur, G., Castles, A., Kohnen, S., & Banales, E. (2016). Low self-concept in poor readers: prevalence, heterogeneity, and risk. *PeerJ*, *4*, e2669. doi: 10.7717/peerj.2669

- McCabe, D. P., Roediger, H. L., McDaniel, M. A., Balota, D. A., & Hambrick, D. Z. (2010). The relationship between working memory capacity and executive functioning: Evidence for a common executive attention construct. *Neuropsychology, 24*(2), 222-243. doi: 10.1037/a0017619
- McCusker, L. X., Hillinger, M. L., & Bias, R. G. (1981). Phonological recoding and reading. *Psychological Bulletin, 89*(2), 217-245.
<http://dx.doi.org.proxy.bibliotheques.uqam.ca:2048/10.1037/0033-2909.89.2.217>
- McCutchen, D. (1996). A capacity theory of writing: Working memory in composition. *Educational Psychology Review, 8*(3), 299-325. doi: 10.1007/bf01464076
- McCutchen, D. (2011). From novice to expert : Implications of language skills and writing-relevant knowledge for memory during the development of writing skill. *Journal of Writing Research, 3*(1), 51-68.
- McNamara, D. S., & Scott, J. L. (2001). Working memory capacity and strategy use. *Memory & Cognition, 29*(1), 10-17.
- Mehlhase, H., Bakos, S., Landerl, K., Schulte-Körne, G., & Moll, K. (2018). Orthographic learning in children with isolated and combined reading and spelling deficits. *Child Neuropsychology, 1*-24. doi: 10.1080/09297049.2018.1470611
- Melby-Lervåg, M., & Hulme, C. (2013). Is working memory training effective? A meta-analytic review. *Developmental Psychology, 49*(2), 270-291. doi: 10.1037/a0028228
- Melby-Lervåg, M., & Hulme, C. (2016). There is no convincing evidence that working memory training is effective: A reply to Au et al. (2014) and Karbach and Verhaeghen (2014). *Psychonomic Bulletin & Review, 23*(1), 324-330. doi: 10.3758/s13423-015-0862-z

- Melby-Lervåg, M., Redick, T. S., & Hulme, C. (2016). Working memory training does not improve performance on measures of intelligence or other measures of "far transfer": Evidence from a meta-analytic review. *Perspectives on Psychological Science, 11*(4), 512-534. doi: 10.1177/1745691616635612
- Menghini, D., Finzi, A., Carlesimo, G. A., & Vicari, S. (2011). Working memory impairment in children with developmental dyslexia: Is it just a phonological deficit? *Developmental Neuropsychology, 36*(2), 199-213. doi: 10.1080/87565641.2010.549868
- Menzies, H. M., Mahdavi, J. N., & Lewis, J. L. (2008). Early intervention in reading: From research to practice. *Remedial and Special Education, 29*(2), 67-77. doi: 10.1177/0741932508315844
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annu Rev Neurosci, 24*, 167-202. doi: 10.1146/annurev.neuro.24.1.167
- Miller, E. K., Lundqvist, M., & Bastos, A. M. (2018). Working Memory 2.0. *Neuron, 100*(2), 463-475. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2018.09.023>
- Miller, G. A. (1955). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review, 101*(2), 343-352.
- Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur. (2016a). *Dossier Effectif handicapé ou en difficulté d'adaptation ou d'apprentissage (EHDA) de la formation générale des jeunes, selon le handicap ou la difficulté, années scolaires 2005-2006 à 2014-2015 (demande d'accès aux documents adressée au MEES : 16310/16-67)*. Repéré à http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/daai/16-67_Ddecision_diff.pdf.
- Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur. (2016b). *Orthopédagogue, orthophoniste, enseignant en francisation, psychologue, ergothérapeute, technicien en éducation spécialisée, technicien du travail social et*

psychoéducateur par commission scolaire (demande d'accès aux documents adressée au MEES : 16310 15-263). Repéré à http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/daai/15-263_Rep_elague.pdf.

- Miyake, A., & Shah, P. (1999). *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. New York, NY, US: Cambridge University Press.
- Moll, K., Kunze, S., Neuhoff, N., Bruder, J., & Schulte-Körne, G. (2014). Specific learning disorder: Prevalence and gender differences. *PLoS One*, *9*(7), e103537. doi: 10.1371/journal.pone.0103537
- Moll, K., & Landerl, K. (2009). Double dissociation between reading and spelling deficits. *Scientific Studies of Reading*, *13*(5), 359-382. doi: 10.1080/10888430903162878
- Morgan, P. L., Farkas, G., Tufis, P. A., & Sperling, R. A. (2008). Are reading and behavior problems risk factors for each other? *Journal of Learning Disabilities*, *41*(5), 417-436. doi: 10.1177/0022219408321123
- Morken, F., & Helland, T. (2013). Writing in dyslexia: product and process. *Dyslexia*, *19*(3), 131-148. doi: 10.1002/dys.1455
- Morris, R. D., Stuebing, K. K., Fletcher, J. M., Shaywitz, S. E., Lyon, G. R., Shankweiler, D. P., . . . Shaywitz, B. A. (1998). Subtypes of reading disability: Variability around a phonological core. *Journal of Educational Psychology*, *90*(3), 347-373. doi: 10.1037/0022-0663.90.3.347
- Morrison, A. B., & Chein, J. M. (2011). Does working memory training work? The promise and challenges of enhancing cognition by training working memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, *18*(1), 46-60. doi: 10.3758/s13423-010-0034-0

- Morrison, A. B., & Chein, J. M. (2012). The controversy over Cogmed. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition, 1*(3), 208-210. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jarmac.2012.07.005>
- Mugnaini, D., Lassi, S., La Malfa, G., & Albertini, G. (2009). Internalizing correlates of dyslexia. *World Journal of Pediatrics, 5*(4), 255-264. doi: 10.1007/s12519-009-0049-7
- Müller, N. G., & Knight, R. T. (2006). The functional neuroanatomy of working memory: Contributions of human brain lesion studies. *Neuroscience, 139*(1), 51-58. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.09.018>
- Negro, I., & Chanquoy, L. (1999). Subject-verb agreement errors in writing : phonological and semantic control in adults. Dans M. Torrance & G. Jeffery (dir.), *The cognitive demands of writing: Processing capacity and working memory effects in text production* (pp. 83-98). Amsterdam, Pays-Bas: Amsterdam University Press.
- Nelwan, M., Vissers, C., & Kroesbergen, E. H. (2018). Coaching positively influences the effects of working memory training on visual working memory as well as mathematical ability. *Neuropsychologia, 113*, 140-149. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2018.04.002
- Nevo, E., & Breznitz, Z. (2014). Effects of working memory and reading acceleration training on improving working memory abilities and reading skills among third graders. *Child Neuropsychology, 20*(6), 752-765. doi: 10.1080/09297049.2013.863272
- Nicolson, R. I., & Fawcett, A. J. (1990). Automaticity: A new framework for dyslexia research? *Cognition, 35*(2), 159-182.
- Noordenbos, M. W., & Serniclaes, W. (2015). The Categorical Perception Deficit in Dyslexia: A Meta-Analysis. *Scientific Studies of Reading, 19*(5), 340-359. doi: 10.1080/10888438.2015.1052455

- Norton, E. S., Beach, S. D., & Gabrieli, J. D. E. (2015). Neurobiology of dyslexia. *Current Opinion in Neurobiology*, 30, 73-78. doi: 10.1016/j.conb.2014.09.007
- Novins, D. K., Green, A. E., Legha, R. K., & Aarons, G. A. (2013). Dissemination and implementation of evidence-based practices for child and adolescent mental health: A systematic review. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 52(10), 1009-1025.e1018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaac.2013.07.012>
- Olive, T. (2012). Working memory in writing. Dans V. W. Berninger (dir.), *Past, Present, and Future Contributions of Cognitive Writing Research to Cognitive Psychology* (pp. 485-503). New York: Psychology Press.
- Ordre des psychologues du Québec. (2014). *Lignes directrices pour l'évaluation de la dyslexie chez les enfants*. Repéré à <https://www.ordrepsy.qc.ca/centre-de-documentation1>.
- Organisation mondiale de la santé. (2012). *CIM-10-CA : Classification statistique internationale des maladies et des problèmes de santé connexes* (vol. 1, 10^e version). Ottawa, Ontario: Institut canadien d'information sur la santé.
- Otto, B. (1991). Developmentally appropriate literacy goals for preschool and kindergarten classrooms. *Early Child Development and Care*, 70(1), 53-61. doi: 10.1080/0300443910700106
- Owen, A. M., Hampshire, A., Grahn, J. A., Stenton, R., Dajani, S., Burns, A. S., . . . Ballard, C. G. (2010). Putting brain training to the test. *Nature*, 465(7299), 775-778. doi: 10.1038/nature09042
- Paap, K. R., & Noel, R. W. (1991). Dual-route models of print to sound: Still a good horse race *Psychological Research*, 53(1), 13-24. <https://doi-org.proxy.bibliotheques.uqam.ca:2443/10.1007/BF00867328>

- Pacton, S., Fayol, M., & Perruchet, P. (1999). L'apprentissage de l'orthographe lexicale: le cas des régularités. *Langue française, 124*, 23-39. doi: 10.3406/lfr.1999.6304
- Parent, V. (2010). *Utilisation de la remédiation cognitive comme stratégie d'intervention auprès d'enfants présentant des difficultés d'adaptation*. (Thèse de doctorat inédite), Université du Québec à Montréal.
- Parent, V., & Guay, M.-C. (2010). Données actuelles sur l'intervention auprès d'enfants présentant un trouble déficitaire de l'attention/hyperactivité. *Revue québécoise de psychologie, 31*(1), 117-136.
- Paret, M.-C. (2010). Le système de l'orthographe française. *Québec français, 158*, 78-80.
- Parhiala, P., Torppa, M., Vasalampi, K., Eklund, K., Poikkeus, A.-M., & Aro, T. (2018). Profiles of school motivation and emotional well-being among adolescents: Associations with math and reading performance. *Learning and Individual Differences, 61*, 196-204. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2017.12.003>
- Passolunghi, M. C., & Costa, H. M. (2014). Working memory and early numeracy training in preschool children. *Child Neuropsychology, 22*(1), 81-98. doi: 10.1080/09297049.2014.971726
- Pauc, R. (2005). Comorbidity of dyslexia, dyspraxia, attention deficit disorder (ADD), attention deficit hyperactive disorder (ADHD), obsessive compulsive disorder (OCD) and Tourette's syndrome in children: A prospective epidemiological study. *Clinical Chiropractic, 8*(4), 189-198. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clch.2005.09.007>
- Paulesu, E., Frith, C. D., & Frackowiak, R. S. (1993). The neural correlates of the verbal component of working memory. *Nature, 362*(6418), 342-345. doi: 10.1038/362342a0

- Paulesu, E., McCrory, E., Fazio, F., Menoncello, L., Brunswick, N., Cappa, S. F., . . . Frith, U. (2000). A cultural effect on brain function. *Nature Neuroscience*, 3(1), 91-96. doi: 10.1038/71163
- Pelletier, M. (2005). *Apprendre à lire : action concertée pour le soutien à la recherche en lecture*. (04-00806). Québec: Ministère de l'éducation, du loisir et du sport.
- Penner, I. K., Vogt, A., Stocklin, M., Gschwind, L., Opwis, K., & Calabrese, P. (2012). Computerised working memory training in healthy adults: a comparison of two different training schedules. *Neuropsychol Rehabil*, 22(5), 716-733. doi: 10.1080/09602011.2012.686883
- Pennington, B. F., & Olson, R. K. (2005). Genetics of dyslexia. Dans M. J. Snowling & C. Hulme (dir.), *The science of reading: A handbook* (pp. 453-472). Malden, MA: Blackwell Publishing.
- Pérez, M. (2014, 19-23 juillet). *Proposition de hiérarchisation des 45 graphèmes de base de l'orthographe du français*. Communication présentée à la Congrès Mondial de Linguistique Française (CMLF 2014), Berlin, Allemagne.
- Pham, A. V., & Hasson, R. M. (2014). Verbal and visuospatial working memory as predictors of children's reading ability. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 29(5), 467-477. doi: 10.1093/arclin/acu024
- Poncellet, M. (2009). Les troubles du langage écrit : Les troubles spécifiques de l'apprentissage du langage écrit. Dans M. Poncellet, S. Majerus & M. Van der Linden (dir.), *Traité de neuropsychologie de l'enfant* (pp. 159-220). Marseille, France: Solal.
- Pourcin, L., & Colé, P. (2018). L'évaluation cognitive de la lecture au collège : synthèse des principaux outils de dépistage et de diagnostic des troubles spécifiques de la lecture et cognitifs associés. *Psychologie Française*, 63(2), 105-128. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psfr.2016.07.001>

- Protopapas, A., & Parrila, R. (2018). Is dyslexia a brain disorder? *Brain sciences*, 8(4), 61. doi: 10.3390/brainsci8040061
- Pugin, F., Metz, A., Stauffer, M., Wolf, M., Jenni, O., & Huber, R. (2015). Working memory training shows immediate and long-term effects on cognitive performance in children. *F1000Research*, 3(82). doi: 10.12688/f1000research.3665.3
- Purcell, J. J., Jiang, X., & Eden, G. F. (2017). Shared orthographic neuronal representations for spelling and reading. *Neuroimage*, 147, 554-567. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.12.054>
- Quinn, J. M., & Wagner, R. K. (2015). Gender Differences in Reading Impairment and in the Identification of Impaired Readers: Results From a Large-Scale Study of At-Risk Readers. *Journal of Learning Disabilities*, 48(4), 433-445. doi: 10.1177/0022219413508323
- Rabipour, S. (2019). 20 - The (dis)enchantment of brain-training games. Dans A. Raz & R. T. Thibault (dir.), *Casting Light on the Dark Side of Brain Imaging* (pp. 117-121): Academic Press.
- Rabipour, S., & Raz, A. (2012). Training the brain: fact and fad in cognitive and behavioral remediation. *Brain Cogn*, 79(2), 159-179. doi: 10.1016/j.bandc.2012.02.006
- Ramus, F. (2005). De l'origine biologique de la dyslexie. *Psychologie & Education*, 81-96.
- Ramus, F., & Ahissar, M. (2012). Developmental dyslexia: The difficulties of interpreting poor performance, and the importance of normal performance. *Cognitive Neuropsychology*, 29(1-2), 104-122. doi: 10.1080/02643294.2012.677420
- Ramus, F., Altarelli, I., Jednoróg, K., Zhao, J., & Scotto di Covella, L. (2018). Neuroanatomy of developmental dyslexia: Pitfalls and promise. *Neuroscience*

& *Biobehavioral Reviews*, 84, 434-452.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.08.001>

Ramus, F., Rosen, S., Dakin, S. C., Day, B. L., Castellote, J. M., White, S., & Frith, U. (2003). Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain*, 126(4), 841-865. doi: 10.1093/brain/awg076

Ransdall, S., & Levy, M. (1999). Writing, reading, and speaking memory spans and the importance of resource flexibility. Dans M. Torrance & G. Jeffery (dir.), *The cognitive demands of writing: Processing capacity and working memory effects in text production* (pp. 99-113). Amsterdam, Pays-Bas: Amsterdam University Press.

Rapcsak, S. Z., Henry, M. L., Teague, S. L., Carnahan, S. D., & Beeson, P. M. (2007). Do dual-route models accurately predict reading and spelling performance in individuals with acquired alexia and agraphia? *Neuropsychologia*, 45(11), 2519-2524.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.03.019>

Rappport, M. D., Orban, S. A., Kofler, M. J., & Friedman, L. M. (2013). Do programs designed to train working memory, other executive functions, and attention benefit children with ADHD? A meta-analytic review of cognitive, academic, and behavioral outcomes. *Clinical Psychology Review*, 33(8), 1237-1252.
<https://doi.org/10.1016/j.cpr.2013.08.005>

Redick, T. S. (2015). Working memory training and interpreting interactions in intelligence interventions. *Intelligence*, 50, 14-20.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.intell.2015.01.014>

Redick, T. S., Shipstead, Z., Wiemers, E. A., Melby-Lervåg, M., & Hulme, C. (2015). What's working in working memory training? An educational perspective. *Educational Psychology Review*, 27(4), 617-633. doi: 10.1007/s10648-015-9314-6

- Reynolds, G. D., & Romano, A. C. (2016). The development of attention systems and working memory in infancy. *Frontiers in Systems Neuroscience, 10*, 15-15. doi: 10.3389/fnsys.2016.00015
- Richey, J. E., Phillips, J. S., Schunn, C. D., & Schneider, W. (2014). Is the link from working memory to analogy causal? No analogy improvements following working memory training gains. *PLoS One, 9*(9), e106616. doi: 10.1371/journal.pone.0106616
- Richlan, F. (2012). Developmental dyslexia: dysfunction of a left hemisphere reading network. *Frontiers in Human Neuroscience, 6*(120). doi: 10.3389/fnhum.2012.00120
- Roberts, G., Quach, J., Spencer-Smith, M., Anderson, P. J., Gathercole, S. E., Gold, L., . . . Wake, M. (2016). Academic outcomes 2 Years after working memory training for children with low working memory: A randomized clinical trial. *JAMA Pediatrics, 170*(5), e154568. doi: 10.1001/jamapediatrics.2015.4568
- Roberts, J., Jurgens, J., & Burchinal, M. (2005). The role of home literacy practices in preschool children's language and emergent literacy skills. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 48*(2), 345-359. doi: 10.1044/1092-4388(2005/024)
- Roche, J. D., & Johnson, B. D. (2014). Cogmed working memory training product review. *Journal of Attention Disorders, 18*(4), 379-384. doi: 10.1177/1087054714524275
- Roording-Ragetlie, S., Klip, H., Buitelaar, J., & Slaats-Willems, D. (2016). Working memory training in children with neurodevelopmental disorders. *Psychology, 7*, 310-325. doi: 10.4236/psych.2016.73034
- Rosenthal, R. (1979). The "file drawer problem" and tolerance for null results. *Psychological Bulletin, 86*(3), 638-641.

- Rosner, J., & Simon, D. P. (1971). The auditory analysis test: An initial report. *Journal of Learning Disabilities, 4*(7), 384-392. doi: 10.1177/002221947100400706
- Rowe, A., Titterington, J., Holmes, J., Henry, L., & Taggart, L. (2019). Interventions targeting working memory in 4–11 year olds within their everyday contexts: A systematic review. *Developmental Review, 52*, 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2019.02.001>
- Rutter, M., Caspi, A., Fergusson, D., Horwood, L. J., Goodman, R., Maughan, B., . . . Carroll, J. (2004). Sex differences in developmental reading disability: new findings from 4 epidemiological studies. *JAMA, 291*(16), 2007-2012. doi: 10.1001/jama.291.16.2007
- Sala, G., & Gobet, F. (2017). Working memory training in typically developing children: A meta-analysis of the available evidence. *Developmental Psychology, 53*(4), 671-685. doi: 10.1037/dev0000265
- Sánchez-Pérez, N., Castillo, A., Lopez-Lopez, J. A., Pina, V., Puga, J. L., Campoy, G., . . . Fuentes, L. J. (2017). Computer-based training in math and working memory improves cognitive skills and academic achievement in primary school children: behavioral results. *Frontiers in Psychology, 8*, 2327. doi: 10.3389/fpsyg.2017.02327
- Scarborough, H. S. (1998). Early identification of children at risk of reading disabilities. Dans B. K. Shapiro, P. J. Accardo & A. J. Capute (dir.), *Specific reading disability: A view of the spectrum* (pp. 75-119). Timonium, MD: York Press.
- Schatschneider, C., Fletcher, J. M., Francis, D. J., Carlson, C. D., & Foorman, B. R. (2004). Kindergarten prediction of reading skills: A longitudinal comparative analysis. *Journal of Educational Psychology, 96*(2), 265-282. doi: 10.1037/0022-0663.96.2.265
- Schmiedek, F., Hildebrandt, A., Lovden, M., Wilhelm, O., & Lindenberger, U. (2009). Complex span versus updating tasks of working memory: the gap is

not that deep. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 35(4), 1089-1096. doi: 10.1037/a0015730

Schmiedek, F., Lövdén, M., & Lindenberger, U. (2010). Hundred days of cognitive training enhance broad cognitive abilities in adulthood: Findings from the COGITO Study. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 2, 27. doi: 10.3389/fnagi.2010.00027

Schoenberg, M. R., & Scott, J. G. (2011). *The Little Black Book of Neuropsychology: A Syndrome-Based Approach*. New York: Springer.

Schwarb, H., Nail, J., & Schumacher, E. H. (2015). Working memory training improves visual short-term memory capacity. *Psychological Research*, 80(1), 128-148. doi: 10.1007/s00426-015-0648-y

Seigneuric, A., & Ehrlich, M.-F. (2005). Contribution of working memory capacity to children's reading comprehension: A longitudinal investigation. *Reading and Writing*, 18(7-9), 617-656. doi: 10.1007/s11145-005-2038-0

Sénéchal, M., LeFevre, J.-A., Smith-Chant, B. L., & Colton, K. V. (2001). On refining theoretical models of emergent literacy: The role of empirical evidence. *Journal of School Psychology*, 39(5), 439-460. [https://doi.org/10.1016/S0022-4405\(01\)00081-4](https://doi.org/10.1016/S0022-4405(01)00081-4)

Seymour, P. H., Aro, M., & Erskine, J. M. (2003). Foundation literacy acquisition in European orthographies. *British Journal of Psychology*, 94(Pt 2), 143-174. doi: 10.1348/000712603321661859

Shankweiler, D., & Lundquist, E. (1993). On the relations between learning to spell and learning to read. *Advances in Psychology*, 94, 179-192. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62795-8](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62795-8)

Share, D. L. (1995). Phonological recoding and self-teaching: sine qua non of reading acquisition. *Cognition*, 55(2), 151-218. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(94\)00645-2](https://doi.org/10.1016/0010-0277(94)00645-2)

- Share, D. L. (2008). On the anglocentricities of current reading research and practice: The perils of overreliance on an "outlier" orthography. *Psychological Bulletin*, *134*(4), 584-615. doi: 10.1037/0033-2909.134.4.584
- SharpBrains. (2019). Trend: Consumers spend significantly more on digital brain health and neurotechnology apps. Repéré le 23 février 2020, à <https://sharpbrains.com/blog/2019/05/24/trend-consumers-spend-significantly-more-on-digital-brain-health-and-neurotechnology-apps/>
- Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2005). Dyslexia (specific reading disability). *Biological Psychiatry*, *57*(11), 1301-1309. doi: 10.1016/j.biopsych.2005.01.043
- Shaywitz, S. E., Shaywitz, B. A., Fletcher, J. M., & Escobar, M. D. (1990). Prevalence of reading disability in boys and girls. Results of the Connecticut Longitudinal Study. *JAMA*, *264*(8), 998-1002.
- Shinaver, C. S., 3rd, Entwistle, P. C., & Söderqvist, S. (2014). Cogmed WM training: reviewing the reviews. *Applied Neuropsychology: Child*, *3*(3), 163-172. doi: 10.1080/21622965.2013.875314
- Shipstead, Z., Hicks, K. L., & Engle, R. W. (2012). Cogmed working memory training: Does the evidence support the claims? *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, *1*(3), 185-193. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jarmac.2012.06.003>
- Shipstead, Z., Redick, T. S., & Engle, R. W. (2012). Is working memory training effective? *Psychological Bulletin*, *138*(4), 628-654. doi: 10.1037/a0027473
- Shiran, A., & Breznitz, Z. (2011). The effect of cognitive training on recall range and speed of information processing in the working memory of dyslexic and skilled readers. *Journal of Neurolinguistics*, *24*(5), 524-537. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jneuroling.2010.12.001>

- Siegel, L. S., & Ryan, E. B. (1989). The development of working memory in normally achieving and subtypes of learning disabled children. *Child Development, 60*(4), 973-980. doi: 10.1111/j.1467-8624.1989.tb03528.x
- Smith-Spark, J., Fisk, J., Fawcett, A., & Nicolson, R. (2003). Investigating the central executive in adult dyslexics: Evidence from phonological and visuospatial working memory performance. *European Journal of Cognitive Psychology, 15*(4), 567-587. doi: 10.1080/09541440340000024
- Smith-Spark, J. H., & Fisk, J. E. (2007). Working memory functioning in developmental dyslexia. *Memory, 15*(1), 34-56. doi: 10.1080/09658210601043384
- Smith-Spark, J. H., Henry, L. A., Messer, D. J., Edvardsdottir, E., & Zięcik, A. P. (2016). Executive functions in adults with developmental dyslexia. *Research in Developmental Disabilities, 53-54*, 323-341. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ridd.2016.03.001>
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1997). Working memory: a view from neuroimaging. *Cognitive Psychology, 33*(1), 5-42. doi: 10.1006/cogp.1997.0658
- Smith, S. D., Pennington, B. F., Boada, R., & Shriberg, L. D. (2005). Linkage of speech sound disorder to reading disability loci. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 46*(10), 1057-1066. doi: 10.1111/j.1469-7610.2005.01534.x
- Snowling, M. (1998). Dyslexia as a phonological deficit : Evidence and Implications. *Child Psychology & Psychiatry Review, 3*(1), 4-11. <https://doi.org/10.1111/1475-3588.00201>
- Snowling, M. J. (2001). From language to reading and dyslexia. *Dyslexia, 7*(1), 37-46. doi: 10.1002/dys.185
- Söderqvist, S., & Bergman Nutley, S. (2015). Working memory training is associated with long term attainments in math and reading. *Frontiers in Psychology, 6*(1711), 1-9. doi: 10.3389/fpsyg.2015.01711

- Song, F., Hooper, L., & Loke, Y. K. (2013). Publication bias: What is it? How do we measure it? How do we avoid it? *Open Access Journal of Clinical Trials*, 5, 51-81. doi: 10.2147/OAJCT.S34419
- Soveri, A., Antfolk, J., Karlsson, L., Salo, B., & Laine, M. (2017). Working memory training revisited: A multi-level meta-analysis of n-back training studies. *Psychonomic Bulletin & Review*, 24(4), 1077-1096. doi: 10.3758/s13423-016-1217-0
- Spencer-Smith, M., & Klingberg, T. (2015). Benefits of a working memory training program for inattention in daily life: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*, 10(3), e0119522. doi: 10.1371/journal.pone.0119522
- Sperling, A. J., Lu, Z. L., Manis, F. R., & Seidenberg, M. S. (2005). Deficits in perceptual noise exclusion in developmental dyslexia. *Nature Neuroscience*, 8(7), 862-863. doi: 10.1038/nn1474
- Sprenger-Charolles, L., & Colé, P. (2013). *Lecture et dyslexie : Approche cognitive* (2^e éd.). Paris, France: Dunod.
- Sprenger-Charolles, L., Colé, P., Kipffer-Piquard, A., Pinton, F., & Billard, C. (2009). Reliability and prevalence of an atypical development of phonological skills in French-speaking dyslexics. *Reading and Writing*, 22(7), 811-842. doi: 10.1007/s11145-008-9117-y
- Sprenger-Charolles, L., Siegel, L. S., Bechenec, D., & Serniclaes, W. (2003). Development of phonological and orthographic processing in reading aloud, in silent reading, and in spelling: A four-year longitudinal study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 84(3), 194-217. doi: 10.1016/S0022-0965(03)00024-9
- Sprenger, A. M., Atkins, S. M., Bolger, D. J., Harbison, J. I., Novick, J. M., Chrabaszcz, J. S., . . . Dougherty, M. R. (2013). Training working memory: Limits of transfer. *Intelligence*, 41(5), 638-663. <http://dx.doi.org/10.1016/j.intell.2013.07.013>

- St-Pierre, M.-C., Dalpé, V., Lefebvre, P., & Giroux, C. (2011). *Difficultés de lecture et d'écriture: Prévention et évaluation orthophonique auprès des jeunes*. Québec, Québec: Presses de l'Université du Québec.
- St Clair-Thompson, H., Stevens, R., Hunt, A., & Bolder, E. (2010). Improving children's working memory and classroom performance. *Educational Psychology, 30*(2), 203-219. doi: 10.1080/01443410903509259
- St Clair-Thompson, H. L. (2010). Backwards digit recall: A measure of short-term memory or working memory? *European Journal of Cognitive Psychology, 22*(2), 286-296. doi: 10.1080/09541440902771299
- Statistique Canada. (2010). *À la hauteur : Résultats canadiens de l'étude PISA de l'OCDE — La performance des jeunes du Canada en lecture, en mathématiques et en sciences — Premiers résultats de 2009 pour les Canadiens de 15 ans*. Repéré à <http://www.statcan.gc.ca/pub/81-590-x/81-590-x2010001-fra.pdf>.
- Stein, J., & Walsh, V. (1997). To see but not read: the magnocellular theory of dyslexia *Trends in Neurosciences, 20*(4), 147-152.
- Sterling, C., Farmer, M., Riddick, B., Morgan, S., & Matthews, C. (1998). Adult dyslexic writing. *Dyslexia, 4*(1), 1-15. doi: 10.1002/(SICI)1099-0909(199803)4:1<1::AID-DYS87>3.0.CO;2-F
- Storch, S. A., & Whitehurst, G. J. (2002). Oral language and code-related precursors to reading: evidence from a longitudinal structural model. *Developmental Psychology, 38*(6), 934-947.
- Strauss, E., Sherman, E. M. S., & Spreen, O. (2006). *A compendium of neuropsychological tests: administration, norms and commentary* (3^e éd.). New York: Oxford University Press.

- Swanson, H., Trainin, G., Necochea, D., & Hammill, D. D. (2003). Rapid Naming, Phonological Awareness, and Reading: A Meta-Analysis of the Correlation Evidence. *Review of Educational Research, 73*(4), 407-440. doi: 10.3102/00346543073004407
- Swanson, H. L. (2015). Intelligence, working memory, and learning disabilities. Dans R. K. Parrila & J. R. Kirby (dir.), *Cognition, Intelligence, and Achievement* (pp. 175-196). San Diego: Academic Press.
- Swanson, H. L., & Hsieh, C.-J. (2009). Reading disabilities in adults: A selective meta-analysis of the literature. *Review of Educational Research, 79*(4), 1362-1390. doi: 10.3102/0034654309350931
- Swanson, H. L., Xinhua, Z., & Jerman, O. (2009). Working memory, short-term memory, and reading disabilities: a selective meta-analysis of the literature. *Journal of Learning Disabilities, 42*(3), 260-287. doi: 10.1177/0022219409331958
- Tallal, P., Miller, S., & Fitch, R. H. (1993). Neurobiological basis of speech : a case for the preeminence of temporal processing *Annals of the New York Academy of Sciences, 682*, 27-47.
- Teale, W. H., & Sulzby, E. (1989). Emergent literacy: New perspectives. Dans D. S. Strickland & L. M. Morrow (dir.), *Emerging literacy: Young children learn to read and write* (pp. 1-15). Newark, DE: International Reading Association.
- Thambirajah, M. S. (2010). Developmental dyslexia: clinical aspects. *Advances in psychiatric treatment, 16*, 380-387. doi: 10.1192/apt.bp.108.006239
- Thiede, A., Virtala, P., Ala-Kurikka, I., Partanen, E., Huotilainen, M., Mikkola, K., . . . Kujala, T. (2019). An extensive pattern of atypical neural speech-sound discrimination in newborns at risk of dyslexia. *Clinical Neurophysiology, 130*(5), 634-646. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.01.019>

- Thompson, T. W., Waskom, M. L., Garel, K. L., Cardenas-Iniguez, C., Reynolds, G. O., Winter, R., . . . Gabrieli, J. D. (2013). Failure of working memory training to enhance cognition or intelligence. *PLoS One*, *8*(5), e63614. doi: 10.1371/journal.pone.0063614
- Thorell, L. B., Lindqvist, S., Bergman Nutley, S., Bohlin, G., & Klingberg, T. (2009). Training and transfer effects of executive functions in preschool children. *Developmental Science*, *12*(1), 106-113. doi: 10.1111/j.1467-7687.2008.00745.x
- Titz, C., & Karbach, J. (2014). Working memory and executive functions: effects of training on academic achievement. *Psychological Research*, *78*(6), 852-868. doi: 10.1007/s00426-013-0537-1
- Torgesen, J. K. (2002). The prevention of reading difficulties. *Journal of School Psychology*, *40*(1), 7-26. [https://doi.org/10.1016/S0022-4405\(01\)00092-9](https://doi.org/10.1016/S0022-4405(01)00092-9)
- Torrance, M., & Jeffery, G. (1999). Writing processes and cognitive demands. Dans M. Torrance & G. Jeffery (dir.), *The cognitive demands of writing: Processing capacity and working memory effects in text production* (pp. 1-12). Amsterdam, Pays-Bas: Amsterdam University Press.
- Unsworth, N., & Engle, R. W. (2007). The nature of individual differences in working memory capacity: Active maintenance in primary memory and controlled search from secondary memory. *Psychological Review*, *114*(1), 104-132. doi: 10.1037/0033-295X.114.1.104
- Vaessen, A., & Blomert, L. (2013). The cognitive linkage and divergence of spelling and reading development. *Scientific Studies of Reading*, *17*(2), 89-107. doi: 10.1080/10888438.2011.614665
- van der Donk, M., Hiemstra-Beernink, A. C., Tjeenk-Kalff, A., van der Leij, A., & Lindauer, R. (2015). Cognitive training for children with ADHD: a randomized controlled trial of cogmed working memory training and 'paying attention in class'. *Frontiers in Psychology*, *6*(1081), 1-13. doi: 10.3389/fpsyg.2015.01081

- Van der Molen, M. J., Van Luit, J. E., Van der Molen, M. W., Klugkist, I., & Jongmans, M. J. (2010). Effectiveness of a computerised working memory training in adolescents with mild to borderline intellectual disabilities. *Journal of Intellectual Disability Research : JIDRJ*, 54(5), 433-447. doi: 10.1111/j.1365-2788.2010.01285.x
- van Dongen-Boomsma, M., Vollebregt, M. A., Buitelaar, J. K., & Slaats-Willemse, D. (2014). Working memory training in young children with ADHD: a randomized placebo-controlled trial. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 55(8), 886-896. doi: 10.1111/jcpp.12218
- Van Grunderbeeck, N. (1994). *Les difficultés en lecture : Diagnostic et pistes d'intervention*. Boucherville, Québec: Gaëtan Morin.
- Vanderberg, R., & Swanson, H. L. (2007). Which components of working memory are important in the writing process? *Reading and Writing*, 20(7), 721-752. doi: 10.1007/s11145-006-9046-6
- Vaughan, N., Gabrys, B., & Dubey, V. N. (2016). An overview of self-adaptive technologies within virtual reality training. *Computer Science Review*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosrev.2016.09.001>
- Vellutino, F. R., Fletcher, J. M., Snowling, M. J., & Scanlon, D. M. (2004). Specific reading disability (dyslexia): what have we learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45(1), 2-40. doi: 10.1046/j.0021-9630.2003.00305.x
- von Bastian, C. C., & Oberauer, K. (2013). Distinct transfer effects of training different facets of working memory capacity. *Journal of Memory and Language*, 69(1), 36-58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jml.2013.02.002>
- von Bastian, C. C., & Oberauer, K. (2014). Effects and mechanisms of working memory training: a review. *Psychological Research*, 78(6), 803-820. doi: 10.1007/s00426-013-0524-6

- Wagner, R. K., & Torgesen, J. K. (1987). The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills. *Psychological Bulletin*, *101*(2), 192-212. doi: 10.1037//0033-2909.101.2.192
- Walda, S. A., van Weerdenburg, M., Wijnants, M. L., & Bosman, A. M. (2014). Progress in reading and spelling of dyslexic children is not affected by executive functioning. *Research in Developmental Disabilities*, *35*(12), 3431-3454. doi: 10.1016/j.ridd.2014.08.013
- Wang, S., & Gathercole, S. E. (2013). Working memory deficits in children with reading difficulties: memory span and dual task coordination. *Journal of Experimental Child Psychology*, *115*(1), 188-197. doi: 10.1016/j.jecp.2012.11.015
- Waris, O., Soveri, A., & Laine, M. (2015). Transfer after working memory updating training. *PLoS One*, *10*(9), e0138734. doi: 10.1371/journal.pone.0138734
- Wasik, B. A., Hindman, A. H., & Snell, E. K. (2016). Book reading and vocabulary development: A systematic review. *Early Childhood Research Quarterly*, *37*, 39-57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecresq.2016.04.003>
- Waters, G. S., Bruck, M., & Seidenberg, M. (1985). Do children use similar processes to read and spell words? *Journal of Experimental Child Psychology*, *39*(3), 511-530. [https://doi.org/10.1016/0022-0965\(85\)90054-2](https://doi.org/10.1016/0022-0965(85)90054-2)
- Wechsler, D. (1999). *Wechsler Abbreviated Scale of Intelligence* (1^{re} éd.). San Antonio, TX: The Psychological Corporation.
- Wechsler, D. (2005a). *Échelle d'intelligence pour enfants : version pour francophones du Canada* (4^e éd.). Toronto, Ontario, Canada: Harcourt Assessment.

- Wechsler, D. (2005b). *Test de rendement individuel de Wechsler : version pour francophones du Canada* (2^e éd.). Toronto, Ontario, Canada: Harcourt Assessment.
- Wechsler, D. (2006). *Échelle non verbale d'aptitude de Wechsler : version canadienne*. Toronto, Ontario, Canada: Harcourt Assessment.
- Werker, J. F., Gilbert, J. H., Humphrey, K., & Tees, R. C. (1981). Developmental aspects of cross-language speech perception. *Child Development*, 52(1), 349-355.
- Werner, L. A. (2002). Infant auditory capabilities. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery*, 10, 398-402. doi: 10.1097/01.MOO.0000029110.92768.44
- White, S., Milne, E., Rosen, S., Hansen, P., Swettenham, J., Frith, U., & Ramus, F. (2006). The role of sensorimotor impairments in dyslexia: a multiple case study of dyslexic children. *Developmental Science*, 9(3), 237-255. doi: 10.1111/j.1467-7687.2006.00483.x
- Whitehurst, G. J., & Lonigan, C. J. (1998). Child development and emergent literacy. *Child Development*, 69(3), 848-872. doi: 10.1111/j.1467-8624.1998.tb06247.x
- Whitehurst, G. J., & Lonigan, C. J. (2001). Emergent literacy: Development from prereaders to readers. Dans S. B. Neuman & D. K. Dickinson (dir.), *Handbook of early literacy research* (pp. 11-29). New York: Guilford Press.
- Willcutt, E. G., & Pennington, B. F. (2000). Comorbidity of reading disability and attention-deficit/hyperactivity disorder: Differences by gender and subtype. *Journal of Learning Disabilities*, 33(2), 179-191. doi: 10.1177/002221940003300206
- Wimmer, H., & Mayringer, H. (2002). Dysfluent reading in the absence of spelling difficulties: A specific disability in regular orthographies. *Journal of*

Educational Psychology, 94(2), 272-277. <http://dx.doi.org/10.1037/0022-0663.94.2.272>

Wolf, M., Bowers, P. G., & Biddle, K. (2000). Naming-speed processes, timing, and reading: A conceptual review. *Journal of Learning Disabilities*, 33(4), 387-407. doi: 10.1177/002221940003300409

Wolf, R. C., Sambataro, F., Lohr, C., Steinbrink, C., Martin, C., & Vasic, N. (2010). Functional brain network abnormalities during verbal working memory performance in adolescents and young adults with dyslexia. *Neuropsychologia*, 48(1), 309-318. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.09.020>

Woolley, G. (2011). *Reading Comprehension : Assisting children with learning difficulties*. New York: Springer.

Wydell, T. (2012). Cross-cultural/linguistic differences in the prevalence of developmental dyslexia and the hypothesis of granularity and transparency. www.intechopen.com. doi: 10.5772/31499

Yang, J., Peng, J., Zhang, D., Zheng, L., & Mo, L. (2017). Specific effects of working memory training on the reading skills of Chinese children with developmental dyslexia. *PLoS One*, 12(11), e0186114. doi: 10.1371/journal.pone.0186114

Ziegler, J. C., & Goswami, U. (2005). Reading acquisition, developmental dyslexia, and skilled reading across languages: a psycholinguistic grain size theory. *Psychological Bulletin*, 131(1), 3-29. doi: 10.1037/0033-2909.131.1.3

Zorzi, M. (2010). The connectionist dual process (CDP) approach to modelling reading aloud. *European Journal of Cognitive Psychology*, 22(5), 836-860. doi: 10.1080/09541440903435621