

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

THÈSE PRÉSENTÉE À
LA FACULTÉ DES LETTRES ET SCIENCES HUMAINES

COMME EXIGENCE PARTIELLE DU
DOCTORAT EN PSYCHOLOGIE (D.Ps.)

PAR
CHRISTINA DION

ENTRAÎNEMENT DE LA MÉMOIRE DE TRAVAIL CHEZ DES ÉLÈVES DU
PREMIER CYCLE DU PRIMAIRE : EFFETS SUR LA MÉMOIRE DE TRAVAIL ET
LES HABILETÉS EN LECTURE

JANVIER 2018

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

DOCTORAT EN PSYCHOLOGIE (D.Ps.)

PROGRAMME OFFERT PAR L'UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

ENTRAÎNEMENT DE LA MÉMOIRE DE TRAVAIL CHEZ DES ÉLÈVES DU
PREMIER CYCLE DU PRIMAIRE : EFFETS SUR LA MÉMOIRE DE TRAVAIL ET
LES HABILITÉS EN LECTURE

PAR
CHRISTINA DION

Véronique Parent, directrice de recherche

Université de Sherbrooke

Valérie Simard, codirectrice de recherche

Université de Sherbrooke

Lise Gagnon, évaluatrice interne

Université de Sherbrooke

Éric Dion, évaluateur externe

Université du Québec à Montréal

Sommaire

Les difficultés d'apprentissage en lecture concernent une forte proportion d'élèves et sont associées à de nombreuses conséquences négatives pour l'enfant (p. ex., échec scolaire et baisse de motivation scolaire) (Habib & Joly-Pottuz, 2008; Ministère de l'Éducation, 2003). La mémoire de travail (MdeT) constitue une des variables d'intérêt dans l'explication des difficultés d'apprentissage en lecture : des études mettent en évidence des relations positives entre les capacités de MdeT et les habiletés en lecture (p. ex., Nevo & Breznitz, 2011; Seigneuric & Ehrlich, 2005). Selon le modèle de Baddeley et Hitch (1974), la MdeT est un système cognitif à capacité limitée permettant la rétention et la manipulation d'informations par le biais de ses composantes (la boucle phonologique, le calepin visuo-spatial et l'administrateur central). Par ailleurs, bon nombre d'études ont démontré que les capacités de MdeT peuvent être améliorées par le biais d'un entraînement de la MdeT qui consiste en une répétition d'exercices ciblant cette fonction (p. ex., Melby-Lervåg & Hulme, 2013). Les études mettent toutefois en évidence des résultats divergents quant aux effets de l'entraînement de la MdeT sur la lecture lesquels peuvent s'expliquer, du moins en partie, par des limites ou des différences méthodologiques (p. ex., absence d'assignation aléatoire et variabilité des populations). De plus, peu d'études se sont intéressées aux élèves tout-venant en début de scolarisation alors qu'il s'agit d'une période capitale pour le développement des apprentissages. Par le biais d'une étude contrôlée et randomisée, cette thèse a comme objectif d'évaluer les effets d'un entraînement de la MdeT auprès des élèves tout-venant en début de scolarisation sur : (1) les composantes de la MdeT

selon le modèle de Baddeley et Hitch (1974), (2) les habiletés en lecture (décodage et compréhension), puis d'évaluer le maintien des gains, le cas échéant, 6 mois après l'arrêt de l'entraînement. Enfin, et dans une perspective exploratoire, les effets de l'entraînement en fonction des capacités initiales de la MdeT sont évalués. Pour ce faire, les performances en MdeT et en lecture de 77 élèves tout-venant du premier cycle du primaire ont été évaluées. Les participants ont été par la suite répartis aléatoirement en deux groupes (expérimental et contrôle de type liste d'attente), puis évalués immédiatement après l'entraînement ainsi que 6 mois plus tard. Les résultats montrent un effet de l'entraînement sur l'administrateur central, qui se maintient 6 mois après l'arrêt de l'entraînement, mais uniquement en modalité verbale. Aucun effet de l'entraînement n'est constaté sur la lecture, mais l'entraînement tend à améliorer la performance en décodage de pseudo-mots pour les élèves présentant de plus faibles capacités de MdeT. En ce sens, cette étude appuie peu l'utilité de l'entraînement de la MdeT comme moyen de prévention universelle des difficultés en lecture chez les élèves tout-venant en début de scolarisation. En revanche, l'entraînement de la MdeT pourrait s'avérer pertinent afin d'améliorer les capacités de l'administrateur central. La mise en évidence de plus grands effets potentiels pour les élèves ayant de plus faibles capacités initiales de la MdeT ouvre la voie à la poursuite de l'exploration des différences individuelles pouvant influencer les effets de l'entraînement de la MdeT.

Mots clés : Entraînement de la mémoire de travail, mémoire de travail, habiletés en lecture, décodage, compréhension de lecture, élèves tout-venant du premier cycle du primaire

Table des matières

Sommaire	iii
Liste des tableaux	viii
Liste des figures	ix
Remerciements	x
Introduction	1
Contexte théorique	6
La mémoire de travail	7
Principaux modèles de la mémoire de travail	7
Développement de la mémoire de travail.....	13
La mémoire de travail et les apprentissages scolaires	15
Mémoire de travail et habiletés en lecture	16
Décodage	17
Compréhension de lecture	20
Interventions visant la mémoire de travail.....	24
Adaptations pédagogiques en classe	24
Enseignement de stratégies de mémorisation.....	24
Entraînement de la mémoire de travail	25
Effets de l'entraînement de la mémoire de travail.....	28
Effets sur la mémoire de travail	29
Effets sur des fonctions cognitives connexes.....	31
Effets sur les habiletés en lecture	32
Objectifs de recherche	41
Méthode.....	42
Participants	43
Procédure	44
Programme d'entraînement de la mémoire de travail	47

Instruments	52
Mémoire de travail	52
Boucle phonologique	52
Calepin visuo-spatial	52
Administrateur central	52
Habilités en lecture	53
Décodage	53
Compréhension de lecture	54
Considérations éthiques	55
Résultats	56
Analyses préliminaires.....	57
Analyses principales	58
Mesures de la mémoire de travail	59
Boucle phonologique	59
Calepin visuo-spatial	59
Administrateur central	59
Mesures des habiletés en lecture	61
Dédocage.	63
Compréhension de lecture	63
Analyse du maintien des gains 6 mois après l'intervention	63
Effet de l'entraînement selon les capacités initiales de mémoire de travail	65
Discussion	72
Effets de l'entraînement sur la mémoire de travail.....	73
Effets de l'entraînement sur les habiletés en lecture	77
Maintien des gains 6 mois après l'arrêt de l'intervention.....	80
Capacités initiales de la mémoire de travail et habiletés en lecture	81
Forces, limites et pistes de recherche futures	82
Implications pratiques.....	87

Conclusion	91
Références	95
Appendice A. Dépliant explicatif du projet de recherche	111
Appendice B. Formulaire d'information et de consentement	114
Appendice C. Certificat d'éthique	122

Liste des tableaux

Tableau

1	Études traitant des effets de l'entraînement de la mémoire de travail sur les habiletés en lecture chez les enfants	33
2	Description des tâches du programme d'entraînement de la mémoire de travail et des composantes de la mémoire de travail associées	50
3	Mesures de la mémoire de travail : données descriptives au pré-test et au post-test 1	60
4	Mesures des habiletés en lecture : données descriptives au pré-test et au post-test 1	62
5	Mesures des habiletés en lecture : données descriptives des participants présentant de plus faibles capacités de mémoire de travail.....	68
6	Mesures des habiletés en lecture : données descriptives des participants présentant de plus fortes capacités de mémoire de travail	70

Liste des figures

Figure

- 1 Modèle de la mémoire de travail, adapté de Baddeley (2000)..... 9
- 2 Procédure et description des participants 46
- 3 Interface du programme d'entraînement de la mémoire de travail. 48

Remerciements

Tout d'abord, je souhaite remercier tout spécialement ma directrice, Véronique Parent, pour son soutien, son dévouement et sa rigueur hors pair. Je vous remercie de m'avoir transmis votre expertise scientifique. Vos précieux conseils m'ont encouragé à me dépasser tant dans le contenu que dans la forme.

Mes collègues et amies du doctorat, je suis reconnaissante de vos réflexions cliniques, votre sensibilité, votre écoute et tous ces moments de complicité qui ont accompagné ce parcours fastidieux, mais enrichissant. Un merci à tous celles et ceux que j'ai côtoyés lors des journées de thèses et dans les laboratoires de recherche pour leur aide de près, ou de loin, dans ce long processus. Et un merci particulier à mes collègues des retraites de thèse « maison ». Qui aurait cru que de mélanger productivité et plaisir aurait été aussi facile? Un tout grand merci à Camille. Quelle chance j'ai eue de partager ce projet avec toi! Merci pour tes réflexions toujours pertinentes, mais surtout pour ton amitié toute naturelle.

Je remercie également ma mère, cette femme d'exception, qui a toujours confiance en moi à chaque étape de ma vie. Je remercie mon père qui m'a encouragé à réaliser mes rêves. Ma grande sœur et mon grand frère, ainsi que vos conjoints respectifs, je vous remercie de m'apporter du bonheur et merci pour votre sens de l'humour. Mes nièces et mon neveu, vous êtes des rayons de soleil, merci d'être vous simplement. Je désire remercier spécialement mon amoureux. Merci de toujours voir le plus grand

potentiel en moi. Mes précieuses amies, je vous remercie d'être dans ma vie. Mes fidèles compagnons félins qui ont égayé mon parcours, merci pour vos ronronnements réconfortants.

Enfin, un merci spécial aux écoles participantes ainsi qu'aux élèves pour leur patience et leur intérêt à la recherche. Merci d'avoir contribué à l'avancement des connaissances. Je tiens également à remercier le Fonds de Recherche en Santé – Société et culture (FRQSC) d'avoir subventionné ce projet et permis sa mise en place.

Introduction

Chez les enfants et les adolescents, les difficultés d'apprentissage sont fréquentes. Au Canada, il est estimé que 3,2 % des jeunes âgés de 5 à 14 ans manifestent des difficultés d'apprentissage et que 69,3 % d'entre eux présentent des troubles d'apprentissages (Statistique Canada, 2007). Parmi les troubles d'apprentissages, les difficultés associées à la lecture sont répandues. À ce titre, l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (2007) a procédé à une revue de la littérature des études épidémiologiques portant sur la prévalence des troubles de la lecture à travers différents pays. Ce dernier conclut qu'au minimum 3 % à 5 % des enfants ont un trouble de la lecture.. En transposant ce taux de prévalence dans le contexte scolaire québécois, les troubles spécifiques d'apprentissage de la lecture toucheraient au minimum un élève par classe de 20 à 30 élèves (Ordre des psychologues du Québec, 2014).

Au Canada, le coût partagé entre la société, les individus et leur famille est estimé à 1,98 million de dollars canadiens pour chaque personne présentant des difficultés d'apprentissage, et ce, de la naissance à la retraite (Crawford, 2007). Les conséquences sur le plan de la santé mentale sont tout aussi préoccupantes; les personnes présentant des difficultés d'apprentissage sont généralement en moins bonne santé mentale et sont plus susceptibles de développer des troubles anxieux, des symptômes dépressifs et des pensées suicidaires (Wilson, Armstrong, Furrie, & Walcot, 2009). Sur le plan scolaire, les difficultés d'apprentissage peuvent mener à des échecs scolaires et une baisse de

motivation (Habib & Joly-Pottuz, 2008; Ministère de l'Éducation, 2003). Plusieurs élèves présentant des difficultés d'apprentissage ne parviennent pas à obtenir un diplôme d'études secondaire. Par exemple, pour l'année scolaire 2011-2012, 12 258 élèves québécois ont quitté l'école avant l'obtention de leur diplôme. Parmi ceux-ci, les élèves handicapés ou en difficulté d'adaptation ou d'apprentissage (EHDA) étaient surreprésentés : ils constituaient près de la moitié des jeunes décrocheurs du 2^e cycle du secondaire (Ministère de l'Éducation, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, 2015). De plus, selon les enseignants, les élèves classés à risque de décrochage scolaire à 12 ans ont des difficultés scolaires importantes, plus spécifiquement en lecture, et ces difficultés sont souvent identifiées dès l'âge de 7 ans (Institut de la statistique du Québec, 2013). En considérant l'ensemble des coûts sociaux, économiques et personnels associés aux difficultés d'apprentissage, il est donc pertinent d'étudier les facteurs pouvant contribuer à expliquer ces difficultés, et ultimement, de développer des interventions adaptées.

Afin de guider les interventions auprès des élèves en difficultés d'apprentissage, un cadre de référence a été élaboré par le ministère de l'Éducation du gouvernement du Québec. Parmi les interventions préconisées, la prévention universelle vise à réduire la probabilité d'apparition des difficultés en ciblant tous les élèves. De plus, le ministère de l'Éducation souligne l'importance de favoriser le développement de stratégies d'apprentissages cognitives et métacognitives efficaces et de miser sur les habiletés en lecture à toutes les étapes de la scolarisation puisque celles-ci ont un impact sur

l'ensemble des apprentissages scolaire (Ministère de l'Éducation, 2003).

Parmi les facteurs explicatifs des difficultés en lecture, la mémoire de travail (MdeT) est de plus en plus considérée. En plus d'être liées aux habiletés en lecture (Demont & Botzung, 2003; Nevo & Breznitz, 2011), les capacités de MdeT constituent un important prédicteur des apprentissages subséquents (Alloway, 2009; Alloway & Alloway, 2010). Par ailleurs, des recherches ont démontré que les capacités de MdeT peuvent être améliorées suivant un entraînement systématique de celle-ci (Melby-Lervåg & Hulme, 2013; Schwaighofer, Fischer, & Bühner, 2015). L'entraînement de la MdeT consiste en une répétition d'exercices ciblés, généralement informatisés et ajustés à la performance de l'individu. Ces recherches mettent toutefois en évidence des résultats divergents quant aux effets de l'entraînement de la MdeT sur la lecture. De plus, peu d'études ont évalué les effets d'un entraînement de la MdeT sur les habiletés en lecture auprès des enfants tout-venant du premier cycle du primaire alors qu'il pourrait s'agir d'une période développementale pertinente pour ce type d'intervention. En effet, davantage de gains à des fonctions cognitives connexes sont observés chez les plus jeunes (Wass, Scerif, & Jonhson, 2012). Ainsi, cette étude a pour objectif d'évaluer les effets d'un entraînement de la MdeT sur celle-ci et sur les habiletés en lecture auprès des élèves du premier cycle du primaire. Par la mise en place de l'entraînement de la MdeT tôt dans le cheminement scolaire, l'objectif est donc de vérifier si ce type d'intervention peut être utilisé dans une perspective de prévention universelle des difficultés en lecture.

La présente thèse est divisée en cinq sections. Dans un premier temps, le contexte théorique sous-jacent à l'étude est présenté, suivi des objectifs de recherche. Plus précisément, les modèles théoriques de la MdeT et le développement des capacités de MdeT sont exposés ainsi que les relations entre la MdeT et les apprentissages, dont les habiletés en lecture. Finalement, le concept d'entraînement de la MdeT et ses effets sur la MdeT et les habiletés en lecture sont explicités. La deuxième section porte sur la méthode de recherche et décrit les caractéristiques de l'échantillon, la procédure, les instruments de mesure utilisés et les caractéristiques du programme d'entraînement de la MdeT utilisé. La troisième section détaille les résultats des analyses statistiques ayant permis de répondre aux objectifs de recherche. Ensuite, dans la quatrième section, les résultats sont discutés selon les objectifs de recherche et les études antérieures publiées sur le sujet. Enfin, une réflexion sur les effets de l'entraînement de la MdeT et les retombées pratiques est proposée en prenant en considération les forces et les limites de la thèse.

Contexte théorique

La mémoire de travail

De façon générale, la MdeT peut être définie comme une fonction cognitive possédant une capacité limitée qui soutient l'exécution de tâches complexes. Elle permet donc de retenir des informations pertinentes à la tâche, tout en permettant simultanément le traitement et la gestion des informations (Miyake & Shah, 1999). Plus précisément, la MdeT soutient l'exécution de tâches cognitives complexes comme la planification, la compréhension, le raisonnement et la résolution de problèmes (Cowan 2014). La MdeT est une variable d'intérêt pour les chercheurs depuis plusieurs décennies et différents modèles conceptuels ont été élaborés. Parmi les principaux modèles, l'on retrouve celui de Cowan (1988) et celui de Engle (Engle, Kane, & Tuholski, 1999). Toutefois, le modèle le plus commun demeure celui de Baddeley et Hitch (1974), notamment dans une perspective développementale, où chaque composante entretient sa trajectoire développementale propre.

Principaux modèles de la mémoire de travail

Le modèle des processus emboîtés de Cowan (1988, 1995, 1999, 2005) définit la MdeT comme une composante de la mémoire à long terme qui permet la rétention des informations qui y sont situées. Plus précisément, les informations actives de la mémoire à long terme sont maintenues en MdeT et y sont présentées sous une forme fragmentée (sensorielle, phonologique, orthographique, spatiale, et sémantique). À l'intérieur de la

MdeT, un sous-système à capacité limitée – nommé focus attentionnel – consolide et intègre les différentes informations fragmentées afin d'en produire une représentation unifiée. Les informations deviennent donc plus facilement accessibles afin d'être traitées, lorsque requises (Cowan, 2014).

La MdeT, comme définie par Engle (Engle et al., 1999; Engle & Kane, 2004; Kane & Engle, 2002; Unsworth & Engle, 2007), est une fonction cognitive à capacité limitée qui permet la rétention à court terme et le maintien des informations de manière active en présence d'interférence externe et interne. La MdeT est donc sollicitée lors de situations nécessitant un contrôle attentionnel. De manière plus précise, en situation d'interférence, la MdeT permet le maintien de l'activation des informations pertinentes à la tâche en cours, tout en permettant l'inhibition des distracteurs. Puisque les informations gardées en MdeT sont limitées, celles-ci doivent être constamment mises à jour. Par le biais de la composante de la mise à jour, les informations actives en MdeT qui ne sont plus pertinentes peuvent être désactivées afin que de nouvelles informations pertinentes soient activées.

Comme mentionné précédemment, le modèle de Baddeley et Hitch (1974) demeure le modèle conceptuel de la MdeT le plus utilisé, notamment dans les études portant sur développement cognitif des enfants (Kroesbergen, van't Noordende, & Kolkman, 2014). Selon ce modèle, la MdeT est l'amalgame de trois principales composantes : la boucle phonologique, le calepin visuo-spatial et l'administrateur central. Le tampon épisodique

constitue une quatrième composante, ajouté a posteriori par les auteurs afin d'expliquer l'interaction entre les différentes composantes de la MdeT et la mémoire à long terme (Baddeley, 2000). Le modèle a une structure hiérarchique où chaque composante a des fonctions spécifiques et déterminées (voir Figure 1).

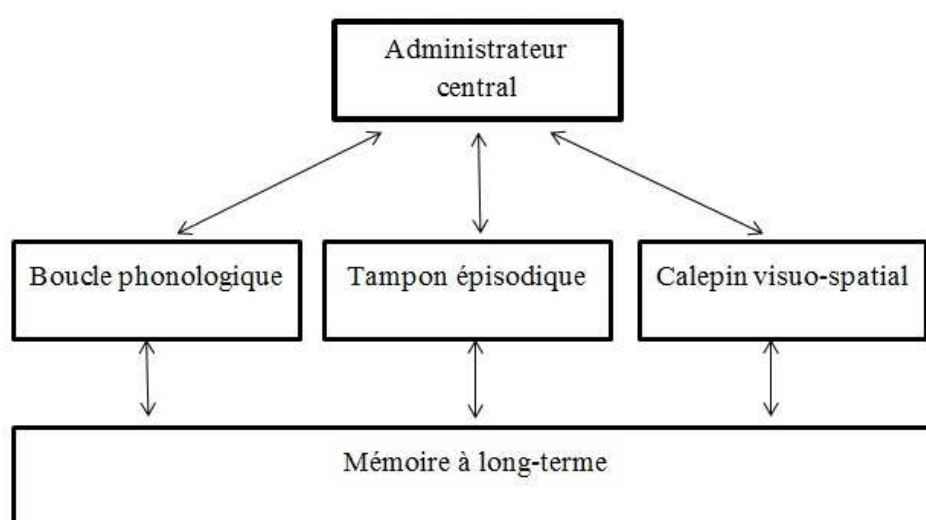


Figure 1. Modèle de la mémoire de travail, adapté de Baddeley (2000).

La boucle phonologique, auparavant nommée boucle articulatoire, est la composante la plus étudiée du modèle (Baddeley, 2012). Cette composante est responsable de la rétention de l'information auditive ou phonologique avec le soutien de deux sous-systèmes : un système de stockage phonologique et un système de répétition articulatoire (Baddeley, 2003b). Le système de stockage phonologique est passif et limité : il conserve l'information verbale en mémoire quelques secondes avant qu'elles soient effacées. Le système de répétition articulatoire permet de réactiver les représentations phonologiques

par répétition subvocale, afin d'être conservées dans le système de stockage phonologique (Baddeley, 1986, 2003b). De façon plus générale, le fonctionnement de la boucle phonologique peut être comparé à un enregistrement continu sur une bande audio d'une durée limitée (Dehn, 2008) : tout stimulus verbal est enregistré automatiquement par la boucle phonologique par le biais du système de stockage phonologique. Ces informations peuvent être effacées par l'ajout de nouvelles informations enregistrées sur la bande audio ou être conservées par une écoute continue soutenue par le système de répétition articulatoire.

Pour sa part, le calepin visuo-spatial permet la rétention d'informations visuelles et spatiales (Baddeley & Hitch, 1974). De la même façon que la boucle phonologique, le calepin visuo-spatial se divise en deux sous-systèmes; un système de rétention passif (mémoire tampon visuelle) et un système de répétition interne (transcripteur interne) (Logie, 1995, 2011). La mémoire tampon visuelle a pour fonction d'intégrer et de garder en mémoire l'information en modalité visuelle (p. ex., couleurs et formes) ainsi que la représentation visuelle d'un stimulus verbal ou tactile (p. ex., au toucher d'un objet). L'information y est conservée pour une durée limitée (une à deux secondes). Pour sa part, le transcripteur interne est l'outil de rétention et de répétition des informations spatiales et dynamiques, comme le mouvement, la direction et les informations kinesthésiques. Il contribue à la répétition active des séquences de localisation et de mouvements ainsi qu'au maintien des informations visuelles en mémoire.

L'administrateur central constitue la composante principale du modèle et se situe à la tête de la hiérarchie (Baddeley & Hitch, 1974). Il est responsable de la coordination et de la supervision de l'information provenant des autres composantes. Il assure principalement la fonction de contrôle attentionnel; l'administrateur central permet ainsi de cibler, diviser et basculer l'attention dans le but de traiter, accéder et d'emmagasiner l'information provenant des autres composantes (Baddeley, 1996). L'administrateur central inhibe aussi l'information non pertinente et gère les stratégies de rappel lors de tâches complexes. Cette composante peut également être subdivisée selon la modalité des informations traitées, qu'elles soient verbales ou visuo-spatiales (Shah & Miyake, 1996).

Finalement, le tampon épisodique permet de consolider et de combiner les informations auditives et visuo-spatiales provenant de la boucle phonologique et du calepin visuo-spatial. Il permet également d'intégrer, dans la MdeT, les connaissances épisodiques et sémantiques emmagasinées en mémoire à long terme (Baddeley, 2000). Cette composante demeure toutefois la moins étudiée à ce jour (Baddeley, Allen, & Hitch, 2010), et ce encore moins selon une perspective développementale (Wang, Allen, Lee, & Hsieh, 2015).

L'existence des composantes distinctes de la MdeT selon le modèle de Baddeley et Hitch (1974) est également appuyée par des études de neuroimagerie. Par exemple, des études menées auprès d'adultes sains indiquent que les régions cérébrales activées diffèrent selon la composante de MdeT sollicitée. En effet, la boucle phonologique active

généralement le gyrus angulaire et le gyrus supramarginal de l'hémisphère gauche (Baddeley, 2003b; Baldo & Dronkers, 2006). Le calepin visuo-spatial active pour sa part typiquement des réseaux neuronaux de l'hémisphère droit, plus précisément le lobe pariétal postérieur, le lobe occipital et certaines régions du lobe préfrontal (Baddeley, 2003b; Smith & Jonides, 1997). Enfin, l'administrateur central de la MdeT active des régions du cortex préfrontal dorsolatéral (Kane & Engle, 2002). De plus, plusieurs études en neuropsychologie cognitive appuient les postulats du modèle de Baddeley et Hitch (Gathercole, 1994). Des études auprès de deux patients atteints de lésions cérébrales soutiennent notamment l'existence de sous-systèmes distincts de stockage (verbal et visuo-spatial). Par exemple, un patient atteint de lésions cérébrales à l'hémisphère gauche présentait une performance très faible au rappel d'informations verbales alors que le rappel d'informations visuo-spatiales demeurait acceptable, suggérant ainsi une atteinte spécifique de la boucle phonologique (Vallar & Baddeley, 1984). Quant à l'autre patient, pour qui le rappel d'informations verbales était préservé en dépit de faibles capacités de rétention d'informations visuos-spatiales, il était atteint de lésions cérébrales de l'hémisphère droit, suggérant donc une atteinte spécifique du calepin visuo-spatial (Hanley, Young & Pearson, 1991).

Communément, la MdeT est aussi fréquemment subdivisée de façon plus globale selon la modalité de l'information à traiter : verbale ou visuo-spatiale (Baddeley, 2003b). Lorsque du contenu verbal est traité et que l'administrateur central opère de façon concomitante à la boucle phonologique, l'on parle de la MdeT verbale. Parallèlement, la

MdeT visuo-spatiale fait appel au traitement du contenu visuo-spatial par la combinaison du calepin visuo-spatial et de l'administrateur central.

Développement de la mémoire de travail

Sur le plan développemental, avant l'âge de 4 ans, l'on suggère que la MdeT se distingue difficilement d'autres fonctions cognitives comme l'inhibition, lesquelles seraient alors davantage représentées comme un concept unitaire (Wiebe et al., 2011). Or, les trois principales composantes du modèle de Baddeley et Hitch (1974) sont présentes dès l'âge de 4 ans (Alloway, Gathercole, & Pickering, 2006) et leur capacité augmente de manière linéaire entre l'âge de 4 et 14 ans (Gathercole, 1999; Gathercole, Pickering, Ambrigde, & Wearing, 2004; Nevo & Breznitz, 2013). Le tampon épisodique se développe également de l'enfance à l'âge adulte (Wang et al., 2015). Plus spécifiquement, l'empan mnésique (c'est-à-dire le nombre de stimuli maximal retenu à court terme) augmente rapidement jusqu'à l'âge 8 ans, puis graduellement jusqu'à 12 ans. À partir de cet âge, l'empan ralentit son développement et correspond de près à celui de l'âge adulte (Gathercole, 1999). Pour leurs parts, les capacités de l'administrateur central, lorsque mesurées à l'aide de tâches d'empan complexe (des tâches qui nécessitent à la fois la rétention et le traitement simultané d'informations), augmentent de manière linéaire jusqu'à l'âge de 16 ans (Siegel, 1994).

Certains auteurs suggèrent que l'empan mnésique augmente avec l'âge en raison de l'amélioration des processus de la MdeT (Case, Kurland, & Goldberg, 1982), alors que

d'autres suggèrent que l'empan mnésique s'accroît grâce à l'augmentation de la vitesse d'articulation qui permet une répétition subvocale plus rapide (Baddeley, 1986). L'amélioration de l'empan peut aussi s'expliquer par l'augmentation des connaissances et l'utilisation de stratégies de mémorisation (Henry & Millar, 1993). La maturation du cortex préfrontal de l'enfance à l'adolescence explique également le développement de la MdeT (Kane & Engle, 2002).

De manière plus précise, avant l'âge de 7 ans, la répétition subvocale liée au système de répétition articulatoire de la boucle phonologique est présente, mais sous une forme primitive et peu exploitée (Gathercole, Adams, & Hitch, 1994; Gathercole & Hitch, 1993; Tam, Jarrold, Baddeley, & Sabastos-DeVito, 2010). Entre 6 et 8 ans, période concomitante au début des apprentissages scolaire, les élèves commencent à utiliser davantage de stratégies verbales, dont la répétition subvocale, afin de transformer les informations visuelles en informations phonologiques (Hitch, Halliday, Schaafstal, & Schraagen, 1988). Les enfants plus jeunes s'appuient donc plus sur des informations visuelles.

Le développement des capacités de la MdeT permet ainsi de retenir et de manipuler davantage d'informations qu'elles soient simples ou plus complexes, augmente la vitesse de traitement de l'information et l'utilisation de processus automatiques, tout en augmentant l'utilisation de stratégies (Dehn, 2008). L'émergence des capacités de MdeT chez l'enfant joue donc un rôle clé dans le développement d'habiletés cognitives

connexes, dont les apprentissages scolaires.

La mémoire de travail et les apprentissages scolaires

La MdeT est liée au fonctionnement scolaire, notamment en favorisant chez l'élève des comportements propices aux apprentissages. En effet, le fonctionnement optimal de la boucle phonologique offre un soutien lors de l'exécution de tâches complexes en permettant la répétition interne des consignes (Baddeley, 2012). Pour sa part, l'administrateur central permet à l'élève de garder en mémoire la séquence des consignes durant la performance (Gathercole, Durling, Evans, Jeffcock, & Stone, 2008). Lorsque la boucle phonologique et l'administrateur central sont fortement sollicités et surchargés, ils ne peuvent alors remplir leur fonction. En conséquence, les élèves ayant de faibles capacités de MdeT ont de la difficulté à se souvenir des consignes et à les mettre en application (Engle, Carullo, & Collins, 1991; Gathercole et al., 2008). De façon plus générale, les élèves présentant de faibles capacités de MdeT sont aussi perçus comme ayant des capacités d'attention limitées, des difficultés à évaluer la qualité de leurs travaux et à générer de nouvelles solutions à un problème (Alloway, Gathercole, Kirkwood, & Elliott, 2009; Gathercole, Alloway, et al., 2008).

Dès le début de la scolarisation, la MdeT joue également un rôle étroit dans les apprentissages en lecture, en écriture et en mathématiques. À l'âge de 5 ans, les capacités de MdeT verbale permettent de prédire 6 ans plus tard les apprentissages subséquents en lecture, en orthographe ainsi qu'en mathématiques (Alloway & Alloway, 2010). La MdeT

verbale est également un meilleur prédicteur que le statut socio-économique et le quotient intellectuel pour prédire la performance scolaire de la maternelle à la 2^e année (Alloway, Alloway, & Wootan, 2014). Spécifiquement chez les élèves en difficultés d'apprentissage, les capacités de MdeT, et non le quotient intellectuel, prédisent les apprentissages subséquents en lecture et en mathématiques (Alloway, 2009). En effet, les déficits en MdeT et les difficultés d'apprentissage sont étroitement liés : 80 % des élèves ayant de faibles capacités de MdeT présentent aussi des difficultés notables en français ou en mathématiques (Gathercole & Alloway, 2008).

Mémoire de travail et habiletés en lecture

Plusieurs études appuient de manière plus précise la relation entre la MdeT et les habiletés en lecture, mettant en évidence des relations positives tant chez les enfants au développement normal (p. ex., Nevo & Breznitz, 2011; Seigneuric & Ehrlich, 2005; Swanson, Howard, & Saez, 2006; Swanson & Howell, 2001) que chez les enfants présentant des difficultés en lecture (p. ex., Gathercole, Alloway, Willis, & Adams, 2006; Nevo & Breznitz, 2011; Siegel & Ryan, 1989; Swanson et al., 2006; Varvara, Varruzza, Sorrentino, Vicari, & Menghini, 2014). À cet égard, la méta-analyse de Swanson, Zheng et Jerman (2009), qui inclut 88 études, conclut que les enfants ayant de faibles habiletés en lecture démontrent des déficits de la boucle phonologique et de l'administrateur central en modalité verbale, en comparaison avec les élèves normaux. De plus, les déficits constatés sont persistants à travers le temps; les élèves faibles lecteurs ont généralement des capacités de MdeT moindres, et ce à tout âge.

De façon plus spécifique, le rôle de la MdeT dans la lecture a également été étudié en fonction des principales habiletés associées à la lecture : le décodage et la compréhension.

Décodage. Le modèle de lecture à deux voies en cascade (Coltheart, Rastle, Perry, Langdon, & Ziegler, 2001) est parmi les modèles explicatifs les plus courants afin d'expliquer les mécanismes cognitifs associés au décodage (identification des mots écrits). Selon ce modèle, deux voies de traitement de l'information sont sollicitées de manière concomitante lors du décodage; (1) la voie d'assemblage – ou phonologique – et (2) la voie d'adressage – ou lexicale. D'une part, la voie d'assemblage permet au lecteur d'appliquer les règles de conversion graphème-phonème. Plus spécifiquement, le mot lu est divisé en segments orthographiques (lettres), lesquels sont par la suite associés aux segments phonémiques (sons), pour finalement être assemblés en un mot. Afin de parvenir à établir les correspondances graphèmes-phonèmes, l'apprenti lecteur doit préalablement développer l'habileté à identifier et manipuler les sons de la langue d'usage, communément appelée la conscience phonologique. Il doit aussi apprendre les différentes correspondances entre les lettres et les sons (de Jong, 2006). D'autre part, la voie d'adressage s'appuie sur un système de reconnaissance visuelle des mots associé à un lexique visuel interne. Ce dernier est un registre mnésique des mots sous leurs formes orthographiques. Lorsque le mot est visuellement reconnu, il est lié à un système sémantique, puis à un système de mémoire tampon phonologique afin de permettre l'articulation des mots. Alors que la voie d'assemblage est principalement sollicitée lors de la lecture de nouveaux mots ou de pseudo-mots, et par conséquent fortement utilisée

lors de l'apprentissage de la lecture, la voie d'adressage est préconisée lors de la lecture de mots familiers ou de mots irréguliers pour lesquels il est impossible de s'appuyer uniquement sur les règles de conversion graphème-phonème (p. ex., « monsieur »).

Il est communément admis que la MdeT détient un rôle lors du décodage (de Jong, 2006). En effet, la MdeT soutient le décodage en transformant les graphèmes, c'est-à-dire les lettres, en phonèmes, c'est-à-dire les sons (Baddeley, 2003a). La MdeT permet également d'emmagasiner temporairement les phonèmes pendant que toutes les lettres du mot sont converties en sons. Par la suite, les phonèmes sont combinés afin de former un mot. Ainsi, lors de la lecture par la voie d'assemblage, des composantes de la MdeT sont mises à contribution : la boucle phonologique permet le maintien en mémoire des informations verbales, c'est-à-dire les phonèmes, alors que l'administrateur central contribue à la gestion et la manipulation des informations lors du décodage (de Jong, 2006).

Sur le plan empirique, plusieurs études démontrent des liens corrélationnels entre la boucle phonologique et le décodage (p. ex., Demont & Botzung, 2003; Leather & Henry, 1994; Pham & Hasson, 2014). Ainsi, la boucle phonologique contribue aux performances en décodage d'enfants et d'adolescents (9 à 14 ans) lorsque le quotient intellectuel verbal et la conscience phonologique sont contrôlés (Kibby, 2009). Le lien entre la boucle phonologique et le décodage est toutefois nuancé par certaines études qui indiquent également une contribution de la conscience phonologique. Par exemple, une étude

auprès d'élèves en début de scolarisation (6 ans) et d'élèves dyslexiques (10 ans) dont le niveau de lecture est apparié, met en lumière que la boucle phonologique ne contribue pas de manière indépendante au décodage lorsque la conscience phonologique est prise en considération (Demont & Botzung, 2003).

Pour sa part, le calepin visuo-spatial permet d'encoder les lettres et les mots dans leur format visuel (Baddeley, 1986), ce qui est davantage associé au traitement par la voie d'adressage. Il aide aussi à la lecture de mots et de phrases en gardant en mémoire une représentation visuelle de la page afin de faciliter le mouvement oculaire nécessaire à une lecture adéquate (Baddeley, 2003a). Sur le plan empirique, le rôle du calepin visuo-spatial dans les habiletés de décodage a fait l'objet d'un moins grand nombre d'études comparativement à la boucle phonologique. Une étude a tout de même montré que le calepin visuo-spatial offre davantage de soutien lors de l'apprentissage de la lecture dans les langues opaques, où la correspondance graphème-phonème est plus complexe (l'anglais et le français), que lors de l'apprentissage de langue transparente (l'italien et l'allemand) (Arina, Gathercole, & Stella, 2015). De plus, le calepin visuo-spatial contribue au décodage chez les enfants plus jeunes. Par exemple, des auteurs constatent que les capacités du calepin visuo-spatial combinées à celles de l'administrateur central en maternelle contribuent aux performances en décodage en 1^{re} année (Nevo & Breznitz, 2011), mais pas en 2^e et 5^e année (Nevo & Bar-Kochva, 2015). D'autres auteurs soulèvent que chez les jeunes de 9 et 14 ans parlant l'anglais, les capacités du calepin visuo-spatial ne contribueraient pas aux habiletés de décodage (Swanson & Howell,

2001).

Enfin, comme mentionné précédemment, l'administrateur central permet la gestion et la manipulation des informations lors du décodage (de Jong, 2006). Les études actuelles indiquent que la contribution de l'administrateur central dans le décodage peut varier selon l'âge. Plus précisément, chez des élèves en début de scolarisation, l'administrateur central combiné à la boucle phonologique ou au calepin visuo-spatial contribue aux habiletés de décodage (Leather & Henry, 1994; Nevo & Breznitz, 2011). Chez les élèves plus vieux, des études montrent que l'administrateur central ne contribue pas directement aux habiletés de décodage (Arrington, Kulesz, Francis, Fletcher, & Barnes, 2014; Hester & Hodson, 2004). En général, l'administrateur central est davantage impliqué dans les processus mentaux complexes qui soutiennent la compréhension (Daneman & Carpenter, 1980; Pham & Hasson, 2014; Swanson & Berninger, 1995).

Compréhension de lecture. La compréhension de lecture a pour objectif d'extraire le sens global d'un texte (Woolley, 2011). Il s'agit d'une habileté complexe nécessitant l'acquisition de connaissances (p. ex., le vocabulaire, la grammaire et la syntaxe), ainsi que la maîtrise de diverses habiletés (p. ex., le décodage). De plus, des habiletés spécifiques à la compréhension de lecture doivent être développées : l'habileté à réfléchir sur la qualité de sa propre compréhension, de même que l'habileté à faire des inférences à partir du texte lu, du contexte et de ses connaissances antérieures (Johnston, Barnes, & Desrochers, 2008). Pour les apprentis lecteurs, la compréhension de lecture et le

décodage sont fortement liés, notamment puisque la compréhension d'un texte dépend de la capacité à identifier correctement les mots. La relation entre ces deux habiletés en lecture devient ensuite plus faible avec la maîtrise de la lecture (de Jong, 2006).

Lors de la lecture d'un texte, la MdeT permet au lecteur de créer un espace mental où les mots lus sont conservés en mémoire pendant qu'il associe ces informations entre elles et aux connaissances déjà emmagasinées en mémoire à long terme (Cain, 2006). En retour, les informations de la mémoire à long terme qui sont en lien avec le contenu du texte sont maintenues en MdeT de manière active pour les intégrer aux propositions du texte (Cook, Halleran, & O'Brien, 1998). Plus spécifiquement, la boucle phonologique contribue à la compréhension de lecture en conservant les informations verbales en mémoire de manière temporaire, tandis que l'administrateur central intègre ces différentes informations dans le but d'obtenir une compréhension unifiée (Cain, 2006).

Différentes données empiriques montrent que la MdeT verbale (boucle phonologique et administrateur central) contribue à la compréhension de lecture tout au long du parcours scolaire. Les capacités de MdeT verbale de la maternelle sont liées aux performances en compréhension de lecture en 1^{re} année (Nevo & Breznitz, 2011). La contribution de la MdeT verbale en compréhension de lecture est également soutenue chez les adolescents (Arrington et al., 2014). De plus, la MdeT verbale est liée à des compétences spécifiques de la compréhension de lecture, c'est-à-dire la capacité à générer des inférences et à analyser sa compréhension même lorsque les connaissances en

vocabulaire sont contrôlées (Chrysochoou, Bablekou, & Tsigilis, 2011). D'autres études suggèrent que la force de la relation entre la MdeT verbale et la compréhension de lecture augmente avec l'âge scolaire. À cet égard, chez les enfants de 8 à 11 ans, la MdeT verbale contribue aux performances en compréhension de lecture, et ce même lorsque les connaissances en vocabulaire et les habiletés de décodage sont contrôlées (Cain, Oakhill, & Bryant, 2004; Seigneuric, Ehrlich, Oakhill, & Yuill, 2000). Pour les élèves de 7 ans, la MdeT verbale n'émerge pas comme prédicteur unique de la compréhension de lecture, lorsque le vocabulaire et le décodage sont pris en considération (Seigneuric & Ehrlich, 2005). Ces auteurs émettent l'hypothèse que c'est lorsque le décodage est automatisé que la MdeT verbale devient plus déterminante pour la compréhension de lecture.

De manière plus spécifique, les capacités de l'administrateur central en modalité verbale prédisent davantage les performances en compréhension de lecture chez les enfants que les capacités de la boucle phonologique seule, tant chez les enfants de 7 ans (Leather & Henry, 1994) que chez les enfants de 9 et 14 ans (Swanson & Howell, 2001). De plus, auprès d'élèves en début de scolarisation et d'élèves dyslexiques dont le niveau de lecture est similaire, la boucle phonologique et l'administrateur central contribuent de manière indépendante aux habiletés en compréhension de lecture, bien que l'administrateur central contribue davantage que la boucle phonologique (Demont & Botzung, 2003).

Des relations sont également observées entre la MdeT visuo-spatiale (administrateur

central en modalité visuo-spatiale et calepin visuo-spatial) et la compréhension de lecture chez des enfants de 9 à 12 ans, mais ces relations demeurent plus faibles que celles observées avec la MdeT verbale (Pham & Hasson, 2014). Certains auteurs observent un changement développemental dans les relations entre la MdeT visuo-spatiale et la compréhension de lecture : les capacités de MdeT visuo-spatiale en maternelle des enfants hébreux sont corrélées aux performances en compréhension de lecture en 1^{re} année, tandis que les capacités de MdeT visuo-spatiale évaluées en 1^{re} année ne le sont pas (Nevo & Breznitz, 2013). De plus, les capacités de la MdeT visuo-spatiale d'enfants hébreux en maternelle contribuent à la compréhension de lecture en 2^e et 5^e année (Nevo & Bar-Kochva, 2015). Il se peut que la contribution de la MdeT visuo-spatiale constatée soit liée aux caractéristiques spécifiques de l'alphabet hébraïque, les lettres étant plus uniformes visuellement que l'alphabet latin utilisé en français et en anglais. En revanche, d'autres recherches ne mettent en évidence aucun lien entre la MdeT visuo-spatiale et la compréhension de lecture (p. ex., Seigneuric et al., 2000).

En somme, bien que les relations présentées sont issues d'études corrélationnelles et qu'elles ne permettent pas, par conséquent, d'inférence causale directe, les diverses composantes de la MdeT jouent un rôle, à différents niveaux, dans la lecture, tant pour le décodage que la compréhension de lecture. De faibles capacités de MdeT peuvent donc entraver l'apprentissage et le déploiement des habiletés en lecture, ce qui ouvre la voie au développement d'interventions visant à soutenir et augmenter les capacités de MdeT.

Interventions visant la mémoire de travail

Trois grandes catégories d'interventions visant l'amélioration des capacités de MdeT ont été développées et étudiées : les adaptations pédagogiques en classe, l'enseignement de stratégies de mémorisation et l'entraînement de la MdeT (Holmes, Gathercole, & Dunning, 2010).

Adaptations pédagogiques en classe

Les adaptations pédagogiques en classe visent des actions dans le quotidien scolaire de l'élève afin d'éviter une surcharge cognitive chez les enfants présentant des difficultés de MdeT (Elliott, Gathercole, Alloway, Holmes, & Kirkwood, 2010; Gathercole & Alloway, 2008). L'enseignant est la cible première de ce type d'intervention. Par le biais de formations, il est sensibilisé aux particularités et aux besoins des élèves ayant de faibles capacités de MdeT afin d'adapter les stratégies pédagogiques (p. ex., utilisation de fiches aide-mémoire ou de pictogrammes, modification de la façon de donner des consignes, etc.). L'enseignant apprend également aux élèves des stratégies de mémorisation par le biais d'activités pédagogiques. En somme, les adaptations pédagogiques en classe visent une transmission des connaissances par les enseignants et un environnement scolaire plus favorable pour les élèves ayant de faibles capacités de MdeT.

Enseignement de stratégies de mémorisation

Les stratégies de mémorisation ont pour objectif d'augmenter la performance de la

mémoire, notamment l'empan mnésique, par le biais d'un effort mental soutenu et dirigé par un but précis (Holmes et al., 2010). Les stratégies de mémorisation consistent à répéter le contenu verbal, se créer des images mentales, créer des histoires afin de lier les informations ensemble et grouper les informations par catégories. Dans ce type d'intervention, les stratégies de mémorisation sont d'abord enseignées puis mises en application par le biais d'activités informatisées : le participant réalise différents exercices afin de mettre en pratique les stratégies de mémorisation et d'encrer ses apprentissages. Par exemple, *Memory booster* (Leedale, Singleton, & Thomas, 2004) est un programme informatisé qui enseigne des stratégies de mémorisation et qui permet la mise en pratique de celles-ci par le biais d'exercices de rappel de stimuli parmi un ensemble de distracteurs. Au niveau le plus simple, un objet est présenté de manière verbale et le participant doit ensuite choisir l'image qui correspond à l'objet parmi deux images. Lorsque le participant progresse, c'est-à-dire qu'il parvient à se souvenir de plus en plus d'objets parmi un nombre plus élevé de distracteurs, de nouvelles stratégies de mémorisation plus complexes lui sont expliquées (p. ex., grouper les informations par catégories). Ce programme peut être utilisé auprès d'une population d'enfants d'âge scolaire, de 5 à 8 ans (St Clair-Thompson, Stevens, Hunt, & Bolder, 2010; St Clair-Thompson & Holmes, 2008).

Entraînement de la mémoire de travail

L'entraînement de la MdeT consiste en une répétition d'exercices, généralement informatisés, ciblant l'amélioration des capacités de la MdeT (Morrison & Chein,

2011). Il est dit implicite puisque l'amélioration de la MdeT se fait sans prise de conscience directe. Afin d'être efficace, l'entraînement de la MdeT doit être intensif (p. ex., 25 séances réparties sur 5 semaines, 5 jours par semaine et de 30 à 40 minutes par jour) et le niveau de difficulté doit être ajusté à la performance de l'individu (Klingberg, 2010).

L'entraînement de la MdeT se décline sous diverses formes et les exercices utilisés varient selon les programmes. En effet, certains programmes d'entraînement de la MdeT favorisent l'utilisation de tâches de type *n-back*, comme le programme informatisé *BrainTwister* (Buschkuhl, Jaeggi, Kobel, & Perrig, 2008) qui cible une population âgée de 7 ans et plus. Dans ce type de tâche, l'on présente des stimuli successifs (p. ex., 3, 6, 8) et le participant doit indiquer quand un stimulus a déjà été présenté (p. ex., 6) *n* positions auparavant (p. ex., 2 essais auparavant). Le stimulus peut être de nature auditive, visuo-spatiale ou bi-modale. Les tâches de *n-back* visent directement la composante de mise à jour de la MdeT, une composante distincte de celles du modèle de Baddeley et Hitch (1974) et qui réfère davantage au modèle de Engle (Engle et al., 1999; Engle & Kane, 2004; Kane & Engle, 2002; Unsworth & Engle, 2007).

D'autres programmes d'entraînement de la MdeT privilégient pour leur part l'utilisation de tâches d'empan complexe, tant en modalité verbale, visuo-spatiale et bi-modale (p. ex., Chein & Morrison, 2010; Loosli, Buschkuhl, Perrig, & Jaeggi, 2012; Van der Molen, Van Luit, Van der Molen, Klugkist, & Jongmans, 2010). Les tâches

d'empan complexe nécessitent le traitement et l'encodage simultanés des informations et sollicitent ainsi principalement l'administrateur central de la MdeT selon le modèle de Baddeley et Hitch (1974), mais aussi les composantes de rétention (la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial). Le programme d'entraînement informatisé *Jungle Memory* demande, par exemple, d'identifier une lettre en rotation sur elle-même et de faire un rappel de l'endroit d'un point dans une grille. Parmi les exercices, les participants doivent aussi effectuer une série de problèmes mathématiques à résoudre et rappeler ces résultats dans l'ordre (Alloway, Bibile, & Lau, 2013). Le programme *Jungle Memory* s'adresse à des jeunes de 7 à 16 ans (Alloway, 2012; Jungle memory, 2011).

Le programme qui demeure toutefois le plus utilisé et le plus étudié est le programme d'entraînement de la MdeT *Cogmed Working Memory Training*® (CWMT) (Pearson education, 2016). Développé par Klingberg et al. (2005), CWMT cible directement les composantes de la MdeT selon le modèle de Baddeley et Hitch (1974) par le biais d'exercices répétés à l'ordinateur en modalité verbale, visuo-spatiale ou bi-modale. Les participants doivent, notamment, rappeler une série de lettres entendues et vues dans l'ordre de présentation. D'autres tâches consistent par exemple à rappeler une série d'astéroïdes en mouvement dans l'ordre de présentation ou à rappeler une série d'ampoules allumées dans une grille après une rotation de 90 degrés. L'entraînement est régulier et intensif tel que suggéré par Klingberg (2010). De plus, un système de récompenses est intégré au programme : à chaque séance, le participant reçoit un

autocollant et à toutes les cinq séances, le participant obtient une récompense de son choix. Le programme se décline sous différentes versions selon le niveau d'abstraction des stimuli, soit une version pour enfants d'âge préscolaire (de 4 à 7 ans), une version pour enfants et adolescents (de 7 à 18 ans) et une version pour adultes (Pearson education, 2011).

Les changements neuronaux observés après la répétition de tâches ciblant la MdeT (notamment par le biais du programme CWMT) indiquent une plasticité des réseaux neuronaux sous-tendant la MdeT (Klingberg, 2010). Par exemple, une augmentation de l'activité corticale dans les régions pariétale et préfrontale (Olesen, Westerberg, & Klingberg, 2004), et plus précisément dans le gyrus frontal moyen et inférieur (Westerberg & Klingberg, 2007), est observée après l'entraînement de la MdeT. De même, des changements de densité des récepteurs corticaux dopaminergiques D1, associés aux capacités de MdeT dans le cortex préfrontal et pariétal, sont notés à la suite d'un entraînement de la MdeT réalisé par des adultes normaux (McNab et al., 2009). Enfin, les résultats d'une étude menée auprès de personnes âgées montrent une diminution de l'activité du néocortex lors de tâches de MdeT, ce qui suggère une plus grande efficacité des réseaux neuronaux puisqu'ils utilisent moins de ressources cognitives (Brehmer et al., 2011).

Effets de l'entraînement de la mémoire de travail

Différents chercheurs se sont intéressés à l'efficacité de l'entraînement de la MdeT, un

domaine d'étude effervescent depuis les 10 dernières années. Ces études évaluent notamment les effets directs de l'intervention sur la fonction entraînée, soit la MdeT, ainsi que le transfert des effets à d'autres fonctions cognitives connexes, dont les habiletés en lecture.

Effets sur la mémoire de travail

Selon la méta-analyse de Schwaighofer et al. (2015), incluant 47 études, l'entraînement de la MdeT permet une amélioration des capacités de la MdeT verbale (administrateur central combiné à la boucle phonologique) et de la MdeT visuo-spatiale (administrateur central combiné au calepin visuo-spatial) avec une taille d'effet moyenne (respectivement $g = 0,58$ et $g = 0,69$). Un maintien de ces gains, de 5 à 8 mois suivant l'entraînement, est également constaté pour chacune de ces variables. Ces résultats proviennent d'études ciblant une variété de population de tout âge au développement normal et atypique. La méta-analyse de Melby-Lervåg et Hulme (2013), regroupant 23 études, présente des résultats similaires : un effet positif de l'entraînement sur la MdeT verbale (incluant la boucle phonologique et l'administrateur central en modalité verbale) est observé immédiatement après l'entraînement, et ce, avec une taille d'effet élevée ($d = 0,79$). Les résultats indiquent d'autre part que l'âge des participants est une variable modératrice des effets sur la MdeT verbale : les participants plus jeunes (moins de 10 ans) présentent des améliorations en MdeT verbale plus importantes comparativement à ceux plus âgés. Des améliorations de la MdeT visuo-spatiale (calepin visuo-spatial et administrateur central en modalité visuo-spatiale) sont aussi

observées immédiatement après l'entraînement avec une taille d'effet modérée ($d = 0,52$). Les auteurs observent également un maintien des gains, mais uniquement en MdeT visuo-spatiale et cinq mois après l'arrêt de l'entraînement.

Deux méta-analyses supplémentaires appuient ces constats en ciblant des populations plus homogènes d'élèves au développement atypique. En effet, l'entraînement de la MdeT améliore les capacités de MdeT verbale et visuo-spatiale immédiatement après l'intervention chez des enfants et des adolescents présentant un trouble déficitaire de l'attention/hyperactivité (TDAH) (15 études) (Cortese et al., 2015), de même que chez des jeunes de 5 à 17 ans présentant des difficultés d'apprentissage et dont la majorité présentait un diagnostic de TDAH en comorbidité (13 études) (Peijnenborgh, Hurks, Aldenkamp, Vles, & Hendriksen, 2016). Alors que Cortese et al. n'ont pas évalué les effets à long terme de l'entraînement en raison d'un manque d'études à ce sujet, la méta-analyse de Peijnenborgh et al. révèle des effets jusqu'à 8 mois après l'entraînement sur la MdeT verbale et visuo-spatiale.

Les résultats de ces méta-analyses permettent toutefois difficilement de distinguer les effets respectifs de l'entraînement sur chacune des principales composantes définies par Baddeley et Hitch (1974). À notre connaissance, seule la recension des écrits de Randall et Tyldesy (2016), portant sur l'entraînement de la MdeT chez les enfants, permet cette distinction, laquelle met toutefois en évidence des résultats différents selon les composantes de la MdeT. À titre d'exemples tirés de cette recension des écrits,

Chacko et al. (2014) montrent une amélioration de la boucle phonologique et du calepin visuo-spatial, sans améliorer les capacités liées à l'administrateur central. En revanche, Dahlin (2011) constate un effet positif de l'intervention sur l'administrateur central (verbal et visuo-spatial) alors que les résultats de Klingberg et al. (2005) indiquent principalement une amélioration de l'administrateur central en modalité visuo-spatiale. Deux études supplémentaires indiquent des améliorations sur l'administrateur central et le calepin visuo-spatial, mais non sur la boucle phonologique (Dunning, Holmes, & Gathercole, 2013; Holmes, Gathercole, & Dunning, 2009). Finalement, les résultats de Holmes et Gathercole (2014) montrent un effet positif de l'entraînement sur chacune des composantes de la MdeT bien que les gains liés à la boucle phonologique soient plus petits. Les différences rapportées entre les diverses études pourraient être expliquées en partie par la variabilité des caractéristiques de l'entraînement de la MdeT utilisé (p. ex., exercices entraînés et durée de l'intervention), des différences méthodologiques (p. ex., absence d'assignation aléatoire et taille de l'échantillon), ainsi que des caractéristiques des participants (p. ex., âge et présence de difficultés identifiées).

Effets sur des fonctions cognitives connexes

Plusieurs études se sont aussi intéressées aux effets de l'entraînement sur des fonctions cognitives connexes à la MdeT. Les méta-analyses de Schwaighofer et al. (2015) et de Melby-Lervåg et Hulme (2013) indiquent, de manière générale, que les effets de l'entraînement de la MdeT ne sont pas constants en ce qui concerne les

fonctions cognitives connexes comme les apprentissages scolaires, l'inhibition, le raisonnement non-verbal, la compréhension et le raisonnement verbal. De manière plus spécifique, les résultats de la recension des écrits de Titz et Karbach (2014) portant sur les effets de l'entraînement de la MdeT chez les enfants indiquent des effets positifs de l'entraînement de la MdeT sur des fonctions cognitives connexes (p. ex., le vocabulaire, la mémoire épisodique, l'intelligence fluide, l'inhibition, l'attention et la flexibilité cognitive). Des divergences sont également observées entre les résultats des études ayant analysé les effets de l'entraînement de la MdeT sur les apprentissages, comme l'écriture (p. ex., Alloway, 2012; Alloway et al., 2013) et les mathématiques (p. ex., Bergman-Nutley & Klingberg, 2014; Dahlin, 2013; Dunning et al., 2013; Egeland, Aarlien, & Saunes, 2013). Des résultats similaires sont aussi observés dans les études s'étant intéressées aux effets de l'entraînement de la MdeT sur les apprentissages spécifiques liés aux habiletés en lecture.

Effets sur les habiletés en lecture

À notre connaissance, 11 études jusqu'à maintenant se sont intéressées aux effets de l'entraînement de la MdeT sur les habiletés en lecture chez des enfants et des adolescents au développement normal et atypique. Les caractéristiques de ces études sont détaillées dans le tableau 1.

Tableau 1

Études traitant des effets de l'entraînement de la mémoire de travail sur les habiletés en lecture chez les enfants

Auteurs	Population	Méthode			Entraînement	Variables d'intérêt (habiletés en lecture et MdeT)	Résultats
		Devis	Groupes	Temps de mesures			
Bigorra, Garolera, Guijarro, & Hervás (2016)	7 à 12 ans TDAH	Expé-ri-mental	Expé-ri-mental ^a (<i>n</i> = 36)	Pré- intervention	CWMT 25 séances (30 à 45 minutes), 5 fois par semaine pendant 5 semaines	Compréhen- sion de lecture	Absence d'amélioration sur la compréhension de lecture
			Contrôle actif ^b (<i>n</i> = 29)	Post- intervention 6 mois après l'interven- tion		MdeT	Amélioration en MdeT et maintien des gains 6 mois après l'intervention
Chacko et al. (2014)	7 à 11 ans TDAH	Expé-ri-mental	Expé-ri-mental ^a (<i>n</i> = 44)	Pré- intervention	CWMT 25 séances (30 à 45 minutes), 5 fois par semaine pendant 5 semaines	Lecture : lecture de mots (décodage) et compréhen- sion de phrase	Absence d'amélioration sur le décodage et la compréhension de phrase
			Contrôle actif ^b (<i>n</i> = 41)	Post- intervention		MdeT	Amélioration de la boucle phonologique et du calepin visuo-spatial uniquement

Tableau 1

Études traitant des effets de l'entraînement de la mémoire de travail sur les habiletés en lecture chez des enfants (suite)

Dahlin (2011)	9 à 12 ans Difficultés d'apprentissage	Quasi-expérimental	Expérimental ^a (<i>n</i> = 42) Contrôle actif ^b qui provient d'une recherche externe (<i>n</i> = 15)	Pré-intervention Post-intervention 6 à 7 mois après l'intervention	CWMT 25 séances (30 à 40 minutes), 5 fois par semaine pendant 5 semaines	Lecture : compréhension, connaissances orthographiques et lecture de pseudo-mots (décodage) MdeT	Amélioration en compréhension de lecture seulement Amélioration des composantes de la MdeT et maintien des gains de la MdeT visuo-spatiale uniquement
Dunning et al. (2013)	7 à 9 ans Faibles capacités de MdeT (\leq 15 ^e rang centile)	Expérimental	Expérimental ^a (<i>n</i> = 15) Contrôle actif ^b (<i>n</i> = 19)	Pré-intervention Post-intervention 12 mois après l'intervention	CWMT 20 à 25 séances (30 à 40 minutes)	Lecture : lecture de mots (décodage), compréhension et vitesse de lecture MdeT	Absence d'amélioration sur les habiletés en lecture Amélioration de l'administrateur central et du calepin visuo-spatial uniquement et maintien des gains 12 mois après de l'administrateur central en modalité verbale uniquement

Tableau 1

Études traitant des effets de l'entraînement de la mémoire de travail sur les habiletés en lecture chez des enfants (suite)

Egeland et al. (2013)	10 à 12 ans TDAH	Expé- ri- mental	Expérimental ^a (<i>n</i> = 38) Contrôle passif ^c (<i>n</i> = 37)	Pré- intervention Post- intervention 8 mois après l'interven- tion	CWMT 25 séances (30 à 45 minutes), 5 fois par semaine, pendant 5 à 7 semaines	Lecture : lecture de mots et pseudo-mots (décodage) Les tâches de la MdeT entraînées	Amélioration sur la lecture de mots et pseudo-mots et maintien des effets 8 mois après l'intervention Amélioration sur les tâches de la MdeT entraînées
Gray et al. (2012)	12 à 17 ans Difficultés d'apprenti- ssage et TDAH	Expé- ri- mental	Expérimental ^a (<i>n</i> = 36) Contrôle actif ^b (<i>n</i> = 24)	Pré- intervention Post- intervention	CWMT 20 à 25 séances (45 minutes), 4 à 5 jours par semaine pendant 5 semaines	Lecture : lecture de mots (décodage) et compréhen- sion de phrase MdeT	Absence d'amélioration sur la lecture Amélioration de l'administrateur central et du calepin visuo- spatial uniquement Absence d'amélioration sur les mesures de MdeT différentes de l'entraînement

Tableau 1

Études traitant des effets de l'entraînement de la mémoire de travail sur les habiletés en lecture chez des enfants (suite)

Holmes et al. (2009)	8 à 11 ans Faibles capacités de MdeT (\leq 15 ^e rang centile)	Quasi-expérimental	Expérimental ^a ($n = 22$) Contrôle actif ^b ($n = 20$)	Pré-intervention Post-intervention 6 mois après l'intervention	CWMT 20 séances (35 minutes), de 5 à 7 semaines	Lecture de mots (décodage) MdeT	Absence d'amélioration sur la lecture de mots Amélioration de l'administrateur central et du calepin visuo-spatial uniquement et maintenus 6 mois après l'intervention
Karbach, Strobach, & Schubert (2015)	7 à 9 ans Développement typique	Quasi-expérimental	Expérimental ^a ($n = 14$) Contrôle actif ^b ($n = 14$)	Pré-intervention Post-intervention 3 mois après l'intervention	Deux tâches d'empan complexe tirées du programme <i>Braintwister</i> 14 séances (40 minutes)	Habiletés en lecture combinées : compréhension orale et écrite, recodage et décodage MdeT (administrateur central en modalité visuo-spatiale)	Amélioration sur les habiletés en lecture combinées Amélioration de l'administrateur central en modalité visuo-spatiale et maintenu 3 mois après l'intervention

Tableau 1

Études traitant des effets de l'entraînement de la mémoire de travail sur les habiletés en lecture chez des enfants (suite)

Loosli et al. (2012)	9 à 12 ans Développement typique	Quasi- expéri- mental	Expérimental ^a (<i>n</i> = 20) Contrôle passif ^c (<i>n</i> = 20)	Pré- intervention Post- intervention	Une tâche d'empan complexe (en modalité visuo-spatiale) 10 séances (12 minutes), 5 fois par semaine, pendant 2 semaines	Lecture : lecture de mots, lecture de pseudo- mots et lecture de court textes (décodage)	Amélioration sur la lecture de courts textes et la lecture de mots, mais absence d'amélioration sur la lecture de pseudo-mots
Roberts et al. (2016)	6 à 7 ans Faibles capacités de MdeT (\leq 15 ^e rang centile)	Expéri- mental	Expérimental ^a (<i>n</i> = 226) Contrôle passif ^c (<i>n</i> = 226)	6 mois après l'interven- tion 1 an après l'interven- tion 2 ans après l'interven- tion	CWMT 20 à 25 séances (45 minutes), pendant 5 à 7 semaines.	Lecture : lecture de mots (décodage) et compréhen- sion de phrase MdeT	Absence d'amélioration sur la lecture Amélioration du calepin visuo-spatial 6 mois et 1 an après l'intervention, mais absence du maintien des gains après 2 ans

Tableau 1

Études traitant des effets de l'entraînement de la mémoire de travail sur les habiletés en lecture chez des enfants (suite)

Van der Molen et al. (2010)	13 à 16 ans Fonctionnement intellectuel limite ou déficience intellectuelle légère (score QI entre 55-85)	Expérimental	Expérimental ^a (n = 41) Contrôle actif ^b (n = 27) Contrôle passif ^c (n = 27)	Pré-intervention Post-intervention 10 semaines après l'intervention	Tâche d'empan complexe (<i>odd-one-out</i>) 15 séances (6 minutes), 2 à 4 fois par semaine pendant 5 semaines	Lecture de mots (décodage) MdeT	Absence d'amélioration sur la lecture de mots Amélioration de la boucle phonologique uniquement et maintien 10 semaines après l'intervention
-----------------------------	--	--------------	---	---	--	--	---

Note. MdeT = mémoire de travail; TDAH = trouble du déficit d'attention avec hyperactivité; CWMT = Cogmed Working Memory Training®; QI = quotient intellectuel.

^aLe groupe qui reçoit le traitement.

^bLe groupe contrôle actif reçoit un programme d'entraînement placebo similaire à l'entraînement du groupe expérimental (p. ex., le niveau de difficulté du programme n'est pas ajusté à la performance du participant).

^cLe groupe contrôle passif ne reçoit pas de traitement.

À la lumière des résultats des études recensées, l'efficacité de l'entraînement de la MdeT sur les habiletés en lecture est mitigée. Plus précisément, uniquement 3 études sur 10 montrent un effet de l'entraînement sur le décodage (Egeland et al., 2013; Karbach et al., 2015; Loosli et al., 2012). En ce qui concerne la compréhension, une étude soulève un bénéfice plus grand sur la compréhension de lecture que sur le décodage, ainsi que le maintien des gains en compréhension de lecture 6 mois plus tard (Dahlin, 2011), mais quatre études n'observent aucun effet de l'entraînement de la MdeT (Chacko et al., 2014; Dunning et al., 2013; Gray et al., 2012; Roberts et al., 2016). Par ailleurs, à notre connaissance, l'étude de Karbach et al. (2015) est la seule étude ayant évalué les effets de l'entraînement sur les habiletés en lecture spécifiquement auprès des élèves en début de scolarisation présentant un développement typique. En plus de montrer la présence d'effets positifs sur les habiletés de lecture combinées (décodage et compréhension) auprès de cette population précise, l'étude de Karbach et al. indique que les enfants ayant des capacités de MdeT initiale plus faibles montrent des gains plus importants en MdeT, ainsi qu'en lecture, après l'entraînement.

Ces divergences peuvent s'expliquer, du moins en partie, par les limites et les différences méthodologiques des études. En effet, près de la moitié de ces études utilisent un devis quasi-expérimental sans assignation aléatoire des participants. De plus, plusieurs études n'ont que deux temps de mesure, c'est-à-dire une mesure avant l'intervention et une immédiatement après, ne pouvant ainsi pas évaluer le maintien des gains après l'arrêt de l'intervention. Par ailleurs, les programmes d'entraînement utilisés

différent : la majorité des études (huit) ont utilisé le programme CWMT alors que les autres ont utilisé des programmes d'entraînement différents (p. ex., *Braintwister* ou exercices ciblant la MdeT). De même, seulement cinq études ont évalué le décodage et la compréhension de lecture de façon distincte. Les caractéristiques des populations ciblées varient également d'une étude à l'autre (p. ex., âge, développement typique ou atypique). Peu de ces études se sont centrées sur une population en bas âge alors que l'âge des participants peut moduler l'ampleur des effets de l'entraînement de la MdeT : les études visant de jeunes participants montrent davantage d'effets de l'entraînement de la MdeT sur les fonctions cognitives connexes (Wass et al., 2012). Ces résultats soutiennent que la plasticité cérébrale serait plus importante en jeune âge, ce qui induirait des gains plus variés. Dans ce contexte, l'entraînement de la MdeT pourrait être utilisé comme stratégie de prévention des difficultés de lecture lorsqu'appliqué tôt dans le développement.

D'autres caractéristiques individuelles, dont les capacités initiales en MdeT peuvent expliquer les résultats divergents. À cet égard, la revue de la littérature de Titz et Karbach (2014) met en évidence que des études tendent à indiquer que les effets de l'entraînement de la MdeT varient selon les capacités initiales : les participants moins performants obtiennent généralement de plus grands gains en MdeT et sur des fonctions cognitives connexes. Cette différence est également constatée en fonction des capacités initiales de la MdeT : les élèves ayant de plus faibles capacités initiales de la MdeT obtiennent des gains plus importants en MdeT, et en lecture, après l'entraînement

(Karbach et al., 2015). Ces résultats tendent à indiquer l'importance de poursuivre l'exploration dans cette direction. Or, les recherches portant sur les différences individuelles, dont les capacités initiales de MdeT, demeurent limitées, et ce plus spécifiquement auprès des enfants au développement typique.

Objectifs de recherche

La présente thèse a pour objectif général d'évaluer les effets d'un entraînement de la MdeT auprès d'une population d'élèves tout-venant du 1^{er} cycle du primaire. Le premier objectif spécifique vise à évaluer les effets directs de l'entraînement de la MdeT sur les principales composantes de la MdeT selon le modèle de Baddeley et Hitch (1974), c'est-à-dire la boucle phonologique, le calepin visuo-spatial et l'administrateur central en modalité verbale ainsi qu'en modalité visuo-spatiale. Le deuxième objectif spécifique vise pour sa part à évaluer les effets de l'entraînement de la MdeT sur les habiletés en lecture, plus spécifiquement les habiletés de décodage et de compréhension. Le troisième objectif cible l'évaluation du maintien des gains 6 mois après l'entraînement pour les mesures pour lesquels des gains immédiatement après l'entraînement auront été constatés. Le quatrième et dernier objectif de la thèse vise à explorer les effets de l'entraînement de la MdeT sur les habiletés en lecture selon les capacités initiales de MdeT.

Méthode

Participants¹

La présente étude comprend 77 enfants de 1^{re} et de 2^e année du primaire, âgés de 6 à 8 ans ($M = 7,34$ ans; $ÉT = 0,63$ an). L'échantillon est constitué de 43 filles et 34 garçons. L'étude cible des élèves tout-venant, scolarisés en français et fréquentant une classe régulière. Les élèves présentant des difficultés spécifiques connues et identifiées par le milieu scolaire ont été exclus (c'est-à-dire, trouble du spectre de l'autisme, déficience intellectuelle, TDAH et trouble d'apprentissage).

Les élèves retenus aux fins de l'étude ont été répartis de manière aléatoire entre deux groupes : (1) un groupe expérimental qui a bénéficié de l'entraînement de la MdeT ($n = 39$), et (2) un groupe contrôle de type liste d'attente ($n = 38$). Les participants ont également été appariés en fonction de leur âge et des capacités en MdeT, en raisonnement fluide (tel que mesuré par les Matrices progressives de Raven; Raven, Court, & Raven, 1998) et en lecture (décodage et compréhension), évaluées avant le début de l'entraînement.

¹ La présente thèse est réalisée dans le cadre d'un projet de plus grande envergure : Parent, V. (2011). Entraînement de la mémoire de travail comme mesure d'intervention visant le développement des capacités d'apprentissage des élèves en début de scolarisation. Projet financé par le Fonds de recherche du Québec – Société et culture (FRQSC)

Quatre élèves, c'est-à-dire deux participants dans le groupe expérimental et deux participants dans le groupe contrôle, n'ont pas complété l'étude en raison d'un manque de motivation. Six mois après l'intervention, six participants supplémentaires du groupe expérimental ont abandonné le projet pour diverses raisons (déménagement, manque de motivation et maladie).

Procédure

Les participants ont été recrutés à la suite de contacts par courriel et de communications téléphoniques auprès des directions d'école de différentes commissions scolaires : commission scolaire de Montréal, des Grandes-Seigneuries, des Sommets et Val-des-Cerfs. Six écoles, provenant de milieux moyennement défavorisés à très défavorisés, ont accepté de participer au projet. L'indice de défavorisation du milieu socio-économique de ces écoles se situait entre 5 et 10 et l'indice de défavorisation du seuil de faible revenu se situait entre 4 et 9 (Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport, 2014). Des lettres d'ententes ont été signées avec les directions de ces écoles. Puis, les classes de 1^{re} et de 2^e année, pour lesquelles les enseignants ont montré de l'intérêt envers le projet, ont été ciblées.

Les parents et les élèves des classes ciblées ont été informés des détails de l'étude par le biais d'un dépliant explicatif (voir Appendice A). Les parents et les élèves qui souhaitaient prendre part à l'étude confirmaient ensuite leur intérêt en signant le formulaire de consentement (voir Appendice B), lequel était transmis aux responsables

de la recherche par l'entremise de l'école. Le consentement de l'enfant était de nouveau validé par les assistants de recherche au moment de la première rencontre d'évaluation.

Les performances des élèves du groupe expérimental ont été mesurées avant l'intervention (pré-test), après l'intervention (post-test 1) et, environ 6 mois après l'arrêt de l'intervention (post-test 2), plus précisément entre 5,37 mois et 7,77 mois ($M = 6,42$ mois, $ÉT = 0,84$). Les performances des élèves du groupe contrôle ont été mesurées uniquement à deux reprises : avant et après l'intervention offerte au groupe expérimental. Pour des raisons éthiques, le programme d'entraînement de la MdeT a été offert au groupe contrôle après la seconde évaluation, soit après que le groupe expérimental ait complété l'intervention. Cette situation explique l'absence de mesure pour le groupe contrôle 6 mois après l'arrêt de l'entraînement. La procédure est illustrée par la figure 2.

Les évaluations ont été réalisées par des assistants de recherche qui ne connaissaient pas la répartition des participants dans les différents groupes (expérimental ou contrôle) afin de permettre une évaluation à l'aveugle. Les assistants de recherche étaient tous doctorants en psychologie et avaient au préalable bénéficiés d'une formation relative aux instruments de mesure utilisés. Les évaluations ont eu lieu directement dans le milieu scolaire, à des moments prédéterminés avec les enseignants pour ne pas nuire au fonctionnement de l'élève en classe. Chaque enfant a été évalué seul dans un lieu calme. Les rencontres étaient d'une durée approximative de 120 minutes. L'ordre de présentation

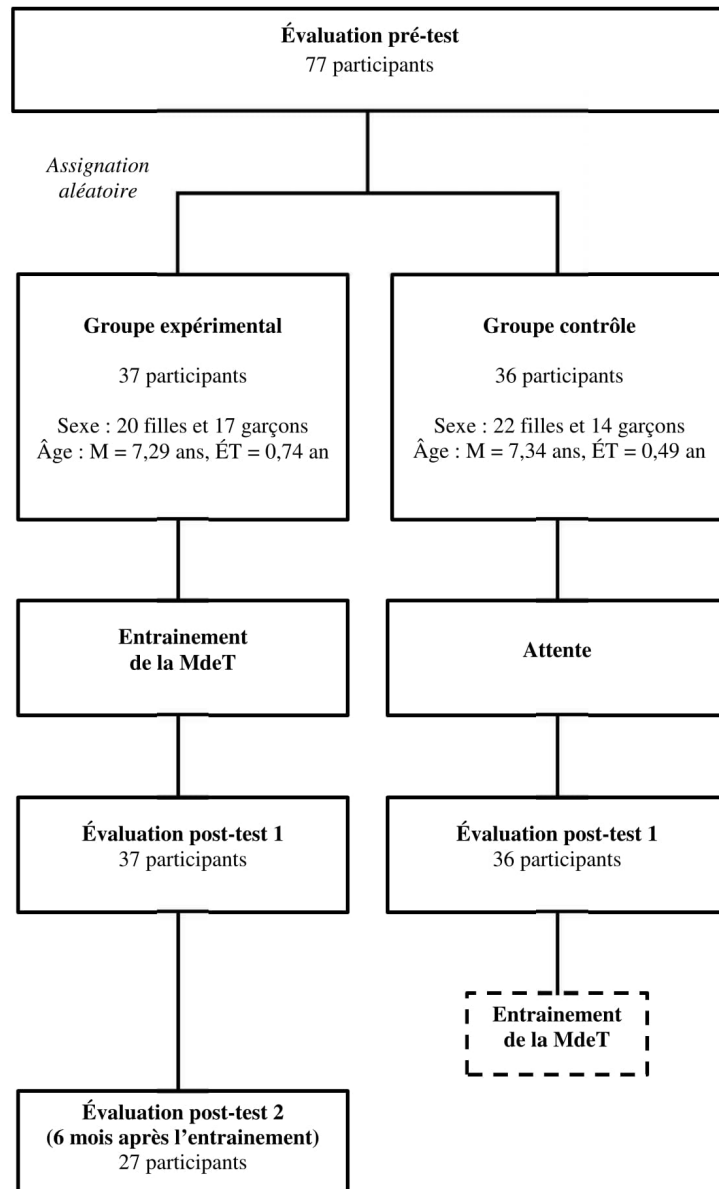


Figure 2. Procédure et description des participants.

des tests était le même pour tous les participants à tous les temps de mesure. Les réponses aux sous-tests de lecture étaient enregistrées pour faciliter la correction des épreuves. L'ensemble des protocoles a été révisé par des évaluateurs externes dans le but de s'assurer de l'exactitude et de l'intégrité des données.

L'entraînement de la MdeT a été aussi été réalisé directement dans le milieu scolaire, en petits groupes de cinq à neuf participants, sous la supervision d'un membre du personnel de l'école préalablement formé. Des visites hebdomadaire ont été effectuées par les chercheurs dans les milieux afin de s'assurer de l'adéquacité de l'implantation et un journal de bord était également complété par l'intervenant. Ce dernier avait comme principale fonction de s'assurer du bon fonctionnement des séances et d'offrir des rétroactions verbales aux élèves afin de soutenir la motivation, ceci considérant le caractère individuel de l'entraînement de la MdeT. L'intervention s'est échelonnée sur une période de 6 à 7 semaines, à une fréquence de quatre séances de 30 minutes par semaine, pour un total de 24 séances.

Programme d'entraînement de la mémoire de travail

Le programme d'entraînement de la MdeT utilisé est un logiciel informatisé développé par V. Parent, A. Achim, et M.-C. Guay. Le programme est inspiré de CWMT. À ce jour, quatre études pilotes ont démontré des effets positifs de ce programme d'entraînement auprès de population variée (Parent, 2010; Parent, Guay,

Lageix, & Achim, 2007; Therrien, Parent, Achim, & Guay, 2011; Therrien, Turcotte, Parent, & Guay, 2013).

Le programme est constitué de deux grilles de carrés superposées ayant des tailles différentes. Des lettres sont affichées au-dessus des grilles alors que des chiffres sont affichés au-dessous des grilles. Des cercles multicolores et unicolores bordent les grilles de chaque côté (voir Figure 3).

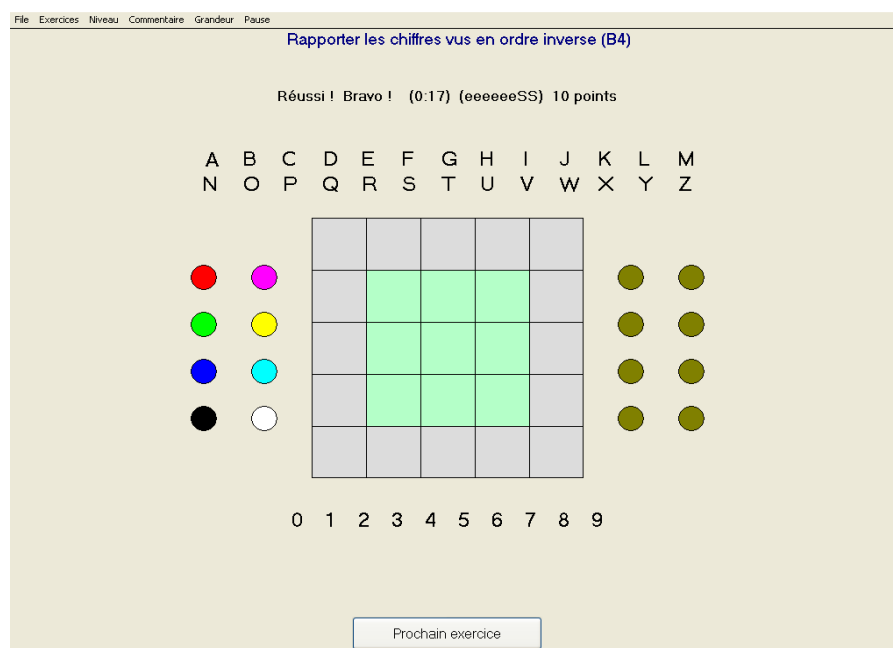


Figure 3. Interface du programme d'entraînement de la mémoire de travail.

Le programme comprend neuf tâches visant l'entraînement des diverses composantes de la MdeT. Deux tâches ciblent plus spécifiquement les composantes de rétention de l'information de la MdeT – le calepin visuo-spatial et la boucle phonologique – et sept

tâches ciblent l'administrateur central en modalité verbale, visuo-spatiale ou bi-modale (voir Tableau 2). Pour chaque exercice, la consigne de la tâche est inscrite dans le haut de l'écran et peut être entendue autant de fois que désiré, en cliquant dessus. Les stimuli auditifs sont présentés à un rythme de 1500 ms et les stimuli visuels à un rythme de 1000 ms.

Les exercices sont présentés en boucle, l'un à la suite de l'autre, et leur niveau de difficulté est opérationnalisé par le nombre d'éléments devant être maintenus et manipulés en MdeT. Afin de passer à l'exercice suivant, le participant doit effectuer un nombre d'essais prédéterminé (huit ou possiblement plus s'il reprend des essais). Le participant a la possibilité de répéter un essai après un échec. Le niveau de difficulté est quant à lui augmenté lorsque l'élève réussit quatre essais d'un même niveau. Le programme informatisé permet aussi des retours en arrière à des niveaux de difficulté plus faibles de sorte à assurer un taux de succès de 70 % pour maintenir la motivation. L'entraînement est ainsi adapté à la performance de chaque enfant.

Toujours afin de soutenir la motivation, le programme offre à l'élève la possibilité de choisir les tâches qu'il préfère et d'accumuler des points, et ce, à partir du moment où il a réussi un nombre prédéterminé d'exercices (généralement 15). Le logiciel offre aussi des rétroactions visuelles et verbales de manière aléatoire puis rend compte du cumul de temps d'entraînement et des performances du participant (c.-à-d. succès, échecs et nombre total d'essais réalisés par séance).

Tableau 2

Description des tâches du programme d'entraînement de la mémoire de travail et des composantes de la mémoire de travail associées

Description de la tâche	Principale composante de la MdeT ciblée
Cliquer sur les lettres vues en ordre de présentation	Boucle phonologique
Rappeler une séquence de cercles multicolores vue en ordre de présentation	Calepin visuo-spatial
Sélectionner la lettre A dans un ensemble de lettres, puis cliquer sur une série de chiffres entendus en ordre de présentation	Administrateur central
Sélectionner la lettre A dans un ensemble de lettres, puis cliquer sur une série de chiffres entendus en ordre inverse de présentation	Administrateur central
Cliquer sur une série de lettres vues selon l'ordre inverse de présentation	Administrateur central
Sélectionner des lettres A puis B dans un ensemble de lettres, puis rappeler des chiffres entendus selon l'ordre de présentation	Administrateur central
Sélectionner la lettre vue à la fin de la séquence de présentation, puis rappeler une séquence de cercles unicolores vue selon l'ordre de présentation	Administrateur central
Sélectionner la lettre vue à la fin de la séquence de présentation, puis rappeler une séquence de cercles unicolores vue selon l'ordre de présentation	Administrateur central
Sélectionner une séquence de cercles multicolores vue en ordre inverse de présentation	Administrateur central

Afin de soutenir l'élève dans la réalisation de son entraînement, différentes stratégies de mémorisation étaient suggérées. Puisque les stratégies de mémorisation ne sont pas le levier principal de l'intervention, elles étaient présentées uniquement à partir de la deuxième semaine de l'entraînement pour permettre une familiarisation avec le logiciel. Quatre principales stratégies ont été proposées, ceci à l'aide d'un tableau « aide-mémoire » : (1) « Je m'arrête »; (2) « J'écoute »; (3) « Je peux répéter les informations dans ma tête »; et (4) « Je fais des photos ou un film dans ma tête ». Au cours des séances, les stratégies étaient rappelées et l'intervenant questionnait les élèves sur leur utilisation. Les élèves étaient également invités à partager leurs propres stratégies, le cas échéant, avec les autres élèves du groupe.

Un journal de bord était également utilisé. L'élève inscrivait dans ce journal les points cumulés après chaque séance d'entraînement et évaluait la qualité de sa participation. Le journal de bord permettait principalement de soutenir le suivi des entraînements et la motivation de l'élève. Enfin, un système de renforcement était proposé par l'intervenant, toujours de sorte à soutenir l'implication de l'élève dans l'entraînement. Au cours des séances, l'élève pouvait ainsi cumuler des jetons et ultimement, avoir accès à des récompenses lorsqu'il s'appliquait dans ses entraînements et qu'il respectait les règles (c.-à-d. : (1) « Je fais toutes mes activités, jusqu'au bout. » et (2) « Je travaille en silence. »).

Instruments²

Mémoire de travail

Boucle phonologique. Cette composante a été mesurée à l'aide de la tâche *Séquences de chiffres en ordre direct* du test d'intelligence de Weschler pour enfants, quatrième édition version pour francophones du Canada (WISC-IV; Weschler, 2005c). Dans cette tâche, l'enfant doit répéter une série de chiffres entendus, dans le même ordre (2 à 9 chiffres).

Calepin visuo-spatial. Les capacités du calepin visuo-spatial ont été mesurées par la tâche *Empan spatial en ordre direct* de l'Échelle non verbale d'aptitude de Weschler (WNV; Weschler, 2006). Au cours de cette tâche, le participant doit reproduire une séquence de blocs dans l'ordre de présentation (2 à 8 blocs).

Administrateur central. L'administrateur en modalité verbale a été mesuré à l'aide de deux tâches du WISC-IV (Weschler, 2005c). La première tâche, *Séquences de chiffres en ordre inverse*, consiste à répéter une série de chiffres dans l'ordre inverse de présentation (2 à 8 chiffres). Pour la seconde tâche, *Séquences lettres-chiffres*, le participant doit rappeler une séquence de chiffres et de lettres (2 à 8 items), en nommant d'abord les chiffres en ordre croissant, puis les lettres en ordre alphabétique. L'administrateur central en modalité visuo-spatiale a été mesuré par la tâche *Empan spatial en ordre inverse*

² Les instruments utilisés dans le cadre de cette étude sont tirés de batteries de tests psychométriques publiées et comprenant des droits d'auteurs. Ils sont donc disponibles auprès de leurs maisons d'édition respectives.

(WNV; Weschler, 2006). Le participant doit y reproduire une séquence de blocs dans l'ordre inverse de présentation (2 à 8 blocs).

Pour l'ensemble des tâches de la MdeT, le nombre d'items augmente graduellement à chaque série et le score brut, c'est-à-dire le nombre de bonnes réponses, a été comptabilisé. Des adaptations informatisées des tâches de la MdeT ont ici été utilisées afin d'assurer l'uniformité de l'administration et le rythme de présentation (un stimulus par seconde).

Les qualités psychométriques des versions originales des instruments de la MdeT sont adéquates. Les coefficients de cohérence interne varient entre 0,67 et 0,95 (Wechsler, 2006, 2007) et la fidélité test-retest entre 0,77 et 0,83 (The Psychological Corporation, 2004; Wechsler, 2006).

Habilités en lecture

Les habiletés en lecture (décodage et compréhension) ont été mesurées par le biais de trois sous-tests distincts tirés du Test de rendement individuel de Weschler, deuxième édition version pour francophones du Canada (WIAT-II; Weschler, 2005a). Pour les trois sous-tests, les scores bruts, c'est-à-dire le nombre de bonnes réponses, ont été considérés.

Décodage. Le premier sous-test, *Lecture de mots*, permet d'évaluer la conscience phonologique (p. ex., générer des mots qui riment ensemble, combiner des sons pour

former un mot, etc.), la reconnaissance de lettres et de mots, puis les capacités de décodage (l'enfant doit lire une série de mots de la langue française dont le niveau de difficulté augmente).

Le second sous-test, *Décodage de pseudo-mots*, évalue spécifiquement le décodage. Pour ce faire, l'enfant doit lire une série de mots qui n'existent pas. Ces mots sont formés d'une combinaison d'une à trois syllabes, qui sont conformes aux règles phonétiques de la langue française, mais qui sont dépourvues de sens. La lecture de ces mots implique une transformation graphème-phonème, donc une lecture par la voie d'assemblage, puisque le participant ne peut pas reconnaître le mot automatiquement.

Compréhension de lecture. Le dernier sous-test, *Compréhension de lecture*, mesure une série d'habiletés liées à la compréhension de lecture. Le participant doit associer un mot écrit ou une phrase à une image. Il doit également répondre à des questions de différents niveaux de difficulté (questions de repérage, de vocabulaire et d'inférence) à la suite de la lecture de phrases ou de textes. Les textes lus sont d'une longueur maximum de 11 phrases. Les mots doivent être lus à haute voix alors que les phrases et les textes peuvent être lus en silence ou à haute voix selon la préférence du participant.

Dans l'ensemble, les qualités psychométriques de ces sous-tests de lecture sont bonnes. Les coefficients de fidélité pour les tranches d'âge incluses dans l'étude sont excellents; ils varient entre 0,88 et 0,99 (6-9 ans; Wechsler, 2008). En ce qui concerne la validité de

contenu, des experts en programmes d'étude ont été consultés lors de l'élaboration des items. Enfin, la validité conceptuelle est satisfaisante; les scores des sous-tests *Lecture de mots*, *Décodage de pseudo-mots* et *Compréhension de lecture* présentent des corrélations variant entre 0,47 et 0,64 avec le quotient intellectuel global tel que mesuré par le WISC-IV (6 à 11 ans; Wechsler, 2005b).

Considérations éthiques

La présente thèse est réalisée dans le cadre d'un projet plus vaste pour lequel la chercheuse responsable a obtenu un certificat d'éthique par le Comité d'éthique de la recherche Lettres et sciences humaines de l'Université de Sherbrooke (voir Appendice C). Ainsi, la thèse et le projet de plus grande envergure respectent les principes généraux liés à la confidentialité, au consentement libre et éclairé et à la participation volontaire. Le consentement du parent pour les enfants de moins de 14 ans a été recueilli par la signature d'un formulaire de consentement (voir Appendice B).

Résultats

Analyses préliminaires

La distribution de chaque variable dépendante a été inspectée selon les critères de Tabachnick et Fidell (2012) afin d'identifier les données aberrantes se situant à plus ou moins trois écarts-types et de s'assurer de la normalité des distributions. Trois données extrêmes ont été identifiées et retirées, soit une donnée pour la mesure de la boucle phonologique, *Séquences de chiffres en ordre direct*, au post-test 1 (groupe contrôle) et deux données pour la mesure du calepin visuo-spatial, *Empan spatial en ordre direct*, au post-test 1 (une donnée pour le groupe expérimental et une donnée pour le groupe contrôle).

Sept données manquantes associées au pré-test ont été identifiées : trois données pour la mesure *Lecture de mots* (un participant du groupe expérimental et deux du groupe contrôle); trois données pour la mesure *Compréhension de lecture* (un participant du groupe expérimental et deux du groupe contrôle); et une donnée pour la mesure *Décodage de pseudo-mots* (un participant du groupe contrôle). Ces données manquantes sont la cause d'erreurs d'administration et n'ont pas été remplacées.

L'ensemble des données se distribuait normalement selon l'examen visuel et les indices d'asymétrie et d'aplatissement. De plus, le postulat d'homogénéité de la variance était respecté pour chacune des variables dépendantes.

Des comparaisons inter-groupes (*Test t*) ont également été réalisées afin de comparer les groupes au pré-test pour les variables suivantes : l'âge, les cinq mesures de la MdeT et les trois mesures d'habiletés en lecture. Les résultats n'ont démontré aucune différence significative entre les deux groupes avant le début de l'intervention, ce qui témoigne de leur équivalence.

Analyses principales

Dans le but de vérifier les effets de l'entraînement de la MdeT, des analyses de covariance (ANCOVA) à plan mixte (2 X 2) comparant les deux groupes (expérimental et contrôle) et deux temps d'évaluation (pré-test et post-test) ont été effectuées pour chacune des mesures à l'étude. Les scores bruts correspondant au nombre total de bonnes réponses ont été utilisés pour chacune des analyses. Les analyses ont été réalisées en contrôlant l'effet de l'âge et du sexe uniquement lorsque ces covariables étaient statistiquement significatives. L'effet de l'âge a donc été contrôlé pour chacune des mesures. L'effet du sexe a été contrôlé pour la mesure *Séquences de chiffres en ordre direct* et *Séquences de chiffres en ordre indirect*. L'ANCOVA à plan mixte permet de considérer l'effet principal intra-sujet (Temps), l'effet principal inter-sujet (Groupes) et l'effet d'interaction (Temps x Groupes). Ce dernier indique les changements entre les groupes et les temps de mesures et constitue l'effet recherché.

Mesures de la mémoire de travail

Le tableau 3 présente les données descriptives des résultats à l'ensemble des mesures de la MdeT (pré-test et post-test 1) pour le groupe expérimental et le groupe contrôle.

Boucle phonologique. Une première ANCOVA a été effectuée sur les scores bruts du sous-test *Séquences de chiffres en ordre direct*. Les données étaient disponibles pour 72 participants. L'effet principal de temps n'est pas statistiquement significatif ($F(1, 68) = 0,28, p = 0,598$) tandis que l'effet principal de groupe est statistiquement significatif ($F(1, 68) = 4,06, p = 0,048, \eta^2 = 0,05$). L'effet d'interaction n'est pas statistiquement significatif ($F(1, 68) = 0,25, p = 0,616$). Ces résultats indiquent qu'il n'y a pas d'effet de l'intervention; seule une différence générale entre les groupes est observée en considérant les deux prises de mesures.

Calepin visuo-spatial. Pour cette mesure, les données ont été recueillies auprès de 71 participants. Les résultats de l'analyse effectuée sur les scores bruts du sous-test *Empan spatial en ordre direct* n'ont relevé aucun résultat statistiquement significatif, tant pour les effets principaux de temps ($F(1, 68) = 0,80, p = 0,374$), de groupe ($F(1, 68) = 0,01, p = 0,943$) que pour l'effet d'interaction ($F(1, 68) = 2,39, p = 0,127$).

Administrateur central. Une première ANCOVA réalisée sur les scores bruts du sous-test *Séquences de chiffres en ordre indirect* montre une absence d'effet statistiquement significatif lié à l'effet principal du temps ($F(1, 69) = 0,01, p = 0,921$).

Tableau 3

Mesures de la mémoire de travail : données descriptives au pré-test et au post-test 1

Mesures	Groupe expérimental				Groupe contrôle			
	Pré-test		Post-test 1		Pré-test		Post-test 1	
	Score brut <i>M (ÉT)</i> [<i>n</i>]	Score pondéré <i>M (ÉT)</i> [<i>n</i>]	Score brut <i>M (ÉT)</i> [<i>n</i>]	Score pondéré <i>M (ÉT)</i> [<i>n</i>]	Score brut <i>M (ÉT)</i> [<i>n</i>]	Score pondéré <i>M (ÉT)</i> [<i>n</i>]	Score brut <i>M (ÉT)</i> [<i>n</i>]	Score pondéré <i>M (ÉT)</i> [<i>n</i>]
Séquences de chiffres en ordre direct	6,19 (1,49) [37]	9,16 (2,84) [37]	7,11 (1,84) [37]	10,68 (2,89) [37]	5,74 (1,58) [35]	8,46 (2,93) [35]	6,51 (1,12) [35]	9,71 (2,23) [35]
Empan spatial en ordre direct	5,22 (2,00) [37]	9,89 (3,53) [37]	6,59 (1,59) [37]	12,14 (2,87) [37]	5,65 (2,09) [34]	10,56 (3,80) [34]	6,29 (1,49) [34]	11,53 (2,86) [34]
Séquences lettres-chiffres	11,11 (4,56) [37]	9,51 (3,12) [37]	12,92 (3,83) [37]	10,57 (2,63) [37]	11,83 (3,88) [36]	9,81 (2,60) [36]	12,39 (4,36) [36]	10,06 (3,01) [36]
Séquences de chiffres en ordre indirect	5,19 (1,65) [37]	9,92 (2,61) [37]	6,14 (1,70) [37]	11,51 (2,81) [37]	5,00 (1,49) [36]	9,67 (2,58) [36]	5,08 (1,61) [36]	9,86 (2,81) [36]
Empan spatial en ordre indirect	4,46 (1,92) [37]	10,78 (2,92) [37]	5,97 (2,20) [37]	12,78 (3,14) [37]	4,97 (2,20) [36]	11,33 (3,44) [36]	5,14 (2,09) [36]	11,39 (3,2) [36]

Note. Le score pondéré rend compte du niveau de performance des participants par rapport à la norme des tests; un score pondéré de 10 correspond à la moyenne (Weschler, 2005c; Weschler, 2006).

Un effet principal du groupe statistiquement significatif est toutefois observé ($F(1, 69) = 6,44, p = 0,013, \eta^2 = 0,07$), en plus d'un effet d'interaction ($F(1, 69) = 4,98, p = 0,029, \eta^2 = 0,07$), ce qui indique un effet de l'entraînement pour cette variable : le groupe expérimental a bénéficié de l'entraînement sur cette mesure lorsqu'il est comparé au groupe contrôle. Une seconde ANCOVA, réalisée à partir des données brutes du sous-test *Séquences lettres-chiffres*, montre une absence d'effet statistiquement significatif lié à l'effet principal de temps ($F(1, 70) = 0,95, p = 0,334$), de groupe ($F(1, 70) = 0,00, p = 0,952$) et d'interaction ($F(1, 70) = 3,27, p = 0,075$).

L'ANCOVA réalisée à partir des résultats bruts du sous-test *Empan spatial en ordre indirect* montre une absence d'effet statistiquement significatif liée à l'effet principal de temps et de groupe (respectivement $F(1, 70) = 0,10, p = 0,757$ et $F(1, 70) = 0,37, p = 0,543$). Un effet d'interaction statistiquement significatif est toutefois observé ($F(1, 70) = 7,21, p = 0,009, \eta^2 = 0,09$). Les résultats montrent que les participants du groupe expérimental présentent des scores plus élevés au post-test 1 sur cette mesure de l'administrateur central en modalité visuo-spatiale, en comparaison avec le groupe contrôle.

Mesures des habiletés en lecture

Le tableau 4 présente les données descriptives liées aux mesures d'habiletés en lecture.

Tableau 4

Mesures des habiletés en lecture : données descriptives au pré-test et au post-test 1

Mesures	Groupe expérimental				Groupe contrôle			
	Pré-test		Post-test 1		Pré-test		Post-test 1	
	Score brut <i>M (ÉT)</i> [<i>n</i>]	Score pondéré <i>M (ÉT)</i> [<i>n</i>]	Score brut <i>M (ÉT)</i> [<i>n</i>]	Score pondéré <i>M (ÉT)</i> [<i>n</i>]	Score brut <i>M (ÉT)</i> [<i>n</i>]	Score pondéré <i>M (ÉT)</i> [<i>n</i>]	Score brut <i>M (ÉT)</i> [<i>n</i>]	Score pondéré <i>M (ÉT)</i> [<i>n</i>]
Lecture de mots	86,28 (27,56) [36]	100,92 (18,60) [36]	94,31 (24,76) [36]	102,67 (18,65) [36]	81,94 (29,42) [34]	96,50 (19,92) [34]	87,97 (26,82) [34]	96,50 (19,97) [34]
Décodage de pseudo-mots	25,41 (16,72) [37]	104,08 (19,38) [37]	30,08 (15,13) [37]	98,36 (18,01) [37]	26,46 (15,78) [35]	104,06 (21,99) [35]	28,31 (15,18) [35]	101,37 (20,16) [35]
Compréhension de lecture	28,94 (11,02) [36]	99,72 (17,90) [36]	32,50 (9,93) [36]	105,11 (20,25) [36]	27,85 (8,74) [34]	98,03 (15,69) [34]	32,15 (8,11) [34]	97,50 (15,04) [34]

Note. Le score pondéré rend compte du niveau de performance des participants par rapport à la norme du test; un score pondéré de 100 correspond à la moyenne (Weschler, 2005a).

Dédocage. Les résultats de l'ANCOVA effectuée sur les scores bruts du sous-test *Lecture de mots* montrent un effet principal de temps statistiquement significatif ($F(1, 67) = 8,35, p = 0,005, \eta^2 = 0,10$). Toutefois, les résultats ne montrent aucun effet statistiquement significatif de groupe ($F(1, 67) = 1,96, p = 0,166$) ou d'interaction ($F(1, 67) = 0,46, p = 0,501$). Les données sont disponibles pour 70 participants. Les résultats de l'ANCOVA réalisée à partir du sous-test *Décodage de pseudo-mots* ne montrent pas d'effet principal de temps ($F(1, 69) = 3,15, p = 0,081$), d'effet principal de groupe ($F(1,69) = 0,14, p = 0,710$) ou d'effet d'interaction ($F(1, 69) = 2,32, p = 0,132$) statistiquement significatif. L'échantillon est de 72 participants.

Compréhension de lecture. Les résultats de l'ANCOVA réalisée à partir du sous-test *Compréhension de lecture* ne relèvent aucun effet (temps, groupe et interaction) statistiquement significatif (respectivement $F(1, 67) = 2,53, p = 0,116, F(1, 67) = 0,39, p = 0,53, F(1, 67) = 0,39, p = 0,533$). Les données sont disponibles pour 70 participants.

Analyse du maintien des gains 6 mois après l'intervention

Des analyses ont été réalisées sur les mesures pour lesquelles un effet statistiquement significatif de l'intervention a été observé, c'est-à-dire pour deux mesures de l'administrateur central, afin de vérifier si les effets se maintenaient 6 mois après l'arrêt de l'intervention. Plus précisément, les analyses ont été réalisées sur une des deux mesures en modalité verbale (*Séquences de chiffres en ordre indirect*) et la mesure en modalité visuo-spatiale (*Empan spatial en ordre indirect*). Pour ce faire, des ANCOVAs

à plan mixte 2 X 2, comparant les résultats du groupe expérimental (pré-test et post-test 2) aux résultats du groupe contrôle (pré-test et post-test 1), ont été effectuées, ceci en raison du fait que, pour des raisons éthiques, le groupe contrôle n'a pas été soumis aux mesures 6 mois après l'arrêt de l'entraînement. Cette façon de faire permet de contrôler, bien qu'en partie seulement, les effets liés à l'utilisation répétée des tests (test-retest) et à la maturation. Les ANCOVAs ont été réalisées en contrôlant l'effet de l'âge et du sexe lorsque ces covariables étaient significatives : l'effet de l'âge a été contrôlé pour les deux mesures et l'effet du sexe a été contrôlé uniquement pour la mesure *Séquences de chiffres en ordre indirect*.

Les postulats de base propre à l'ANCOVA à plan mixte ont été vérifiés pour ces analyses spécifiques : aucune donnée extrême n'a été relevée, l'ensemble des données se distribuait normalement et le postulat d'homogénéité de la variance était respecté. Les données de 63 participants étaient disponibles : le groupe expérimental est composé de 27 participants et le groupe contrôle de 36 participants.

Les résultats de l'ANCOVA réalisée sur la mesure *Séquences de chiffres en ordre indirect* montrent un effet principal de temps non significatif statistiquement ($F(1, 59) = 0,01, p = 0,926$). Toutefois, l'effet principal de groupe ($F(1, 59) = 4,33, p = 0,042, \eta^2 = 0,06$) et l'effet d'interaction sont statistiquement significatifs ($F(1, 59) = 4,18, p = 0,045, \eta^2 = 0,07$). Les résultats indiquent que les participants du groupe expérimental

présentent des résultats supérieurs à cette mesure en comparaison avec le groupe contrôle.

Les résultats de l'ANCOVA réalisée à partir du sous-test *Empan spatial en ordre indirect* ne montrent aucun effet principal de temps ($F(1, 60) = 1,74, p = 0,122$) ou d'interaction ($F(1, 60) = 3,10, p = 0,083$). L'effet principal de groupe est statistiquement significatif ($F(1, 60) = 4,01, p = 0,050, \eta^2 = 0,06$). Ainsi, seule une différence générale entre les deux groupes est relevée.

Effet de l'entraînement selon les capacités initiales de mémoire de travail

Afin d'explorer les effets de l'entraînement de la MdeT sur les habiletés en lecture en fonction des capacités de MdeT des participants, l'échantillon a été séparé en deux groupes. Les groupes ont été créés selon les capacités de MdeT au pré-test : un premier groupe présentant des capacités de MdeT plus faibles et un deuxième groupe avec les participants présentant des capacités plus fortes. Les groupes ont été divisés sur la base de la médiane des scores pondérés (identifiés à partir des normes des tests) aux cinq mesures combinées, soit un score pondéré de 9. Ainsi, les participants ayant une moyenne aux cinq mesures de la MdeT au pré-test égale ou inférieure à 9 ont été regroupés dans le groupe ayant de plus faibles capacités alors que les participants ayant une moyenne supérieure à 9 ont été classés dans le groupe de participants ayant des capacités de MdeT plus fortes. L'échantillon des participants présentant des capacités plus faibles de MdeT est composé de 38 participants (19 dans le groupe expérimental et

19 dans le groupe de comparaison) et celui de participants ayant des capacités plus fortes de MdeT de 35 participants (18 dans le groupe expérimental et 17 dans le groupe contrôle).

Afin d'assurer l'absence d'un effet de régression vers la moyenne, une analyse de variance à plan mixte (Groupe x Temps) a été réalisée en comparant les groupes (plus faibles capacités de MdeT et plus fortes capacités de MdeT), et ce, entre les deux premiers temps de mesure (pré-test et post-test 1) sur les capacités de MdeT (moyenne des cinq mesures). L'effet principal de temps et l'effet principal de groupe sont statistiquement significatifs (respectivement $F(1, 70) = 189,33, p = 0,000, \eta^2 = 0,728$ et $F(1, 70) = 91,09, p = 0,000, \eta^2 = 0,018$), mais l'effet d'interaction n'est pas statistiquement significatif ($F(1, 70) = 0,82, p = 0,370$). L'absence d'effet d'interaction permet d'exclure l'hypothèse d'un effet de régression vers la moyenne et de s'intéresser de manière distincte aux élèves ayant de plus faibles et de plus fortes capacités de MdeT.

Des ANCOVAs à plan mixte (2 X 2) ont été réalisées sur chacune des mesures en lecture pour les participants ayant de plus faibles capacités de MdeT. Les analyses ont été réalisées en contrôlant uniquement l'effet de l'âge puisque cette covariable était statistiquement significative tandis que la covariable du sexe n'était pas significative. Trois données au pré-test pour la mesure *Compréhension de lecture* sont manquantes en raison d'erreurs d'administration (une donnée du groupe expérimentale et deux données

du groupe contrôle). Le tableau 5 présente les données descriptives des participants présentant de plus faibles capacités initiales de MdeT.

Les résultats de l'analyse réalisée sur la mesure de *Lecture de mots* ne montrent aucun effet principal de temps ($F(1, 35) = 1,02, p = 0,320$) ou de groupe ($F(1, 35) = 2,25, p = 0,142$), ni d'effet d'interaction ($F(1, 35) = 0,98, p = 0,329$). Les résultats de l'ANCOVA réalisée à partir de la mesure *Décodage de pseudo-mots* ne montrent aucun effet principal de temps ($F(1, 35) = 1,53, p = 0,224$) et de groupe ($F(1, 35) = 0,70, p = 0,409$). De même, l'effet d'interaction est statistiquement non significatif, bien qu'une tendance statistique soit observée ($F(1, 35) = 3,410, p = 0,073, \eta^2 = 0,084$), les participants du groupe expérimental démontrant une plus grande amélioration que ceux du groupe contrôle. Enfin, l'ANCOVA réalisée à partir du sous-test *Compréhension de lecture* ne montre aucun effet de temps ($F(1, 32) = 1,01, p = 0,323$), de groupe ($F(1, 32) = 0,00, p = 0,957$), ni d'interaction ($F(1, 32) = 0,32, p = 0,573$).

Des ANCOVAs ont aussi été effectuées auprès des participants ayant de plus fortes capacités initiales de MdeT. Les analyses ont également été réalisées en contrôlant l'effet de l'âge puisque cette covariable était statistiquement significative. L'effet du sexe n'était pas contrôlé, n'étant pas significatif. Des données sont aussi manquantes pour les participants présentant de plus fortes capacités de MdeT en raison d'erreur d'administration au pré-test : trois données pour la mesure *Lecture de mots* (une donnée du groupe expérimental et deux données du groupe contrôle) et une donnée pour

Tableau 5

Mesures des habiletés en lecture : données descriptives des participants présentant de plus faibles capacités de mémoire de travail

Mesures	Groupe expérimental				Groupe contrôle			
	Pré-test		Post-test 1		Pré-test		Post-test 1	
	Score brut <i>M (ÉT)</i> [<i>n</i>]	Score pondéré <i>M (ÉT)</i> [<i>n</i>]	Score brut <i>M (ÉT)</i> [<i>n</i>]	Score pondéré <i>M (ÉT)</i> [<i>n</i>]	Score brut <i>M (ÉT)</i> [<i>n</i>]	Score pondéré <i>M (ÉT)</i> [<i>n</i>]	Score brut <i>M (ÉT)</i> [<i>n</i>]	Score pondéré <i>M (ÉT)</i> [<i>n</i>]
Lecture de mots	70,47 (25,24) [19]	89,53 (15,62) [19]	81,74 (24,99) [19]	93,32 (18,22) [19]	69,21 (30,17) [19]	88,26 (18,86) [19]	76,16 (29,41) [19]	88,42 (20,60) [19]
Décodage de pseudo-mots	16,95 (15,22) [19]	94,37 (17,96) [19]	25,05 (15,02) [19]	99,68 (20,81) [19]	19,79 (16,80) [19]	96,68 (22,99) [19]	22,16 (16,18) [19]	95,53 (20,20) [19]
Compréhension de lecture	23,17 (8,54) [18]	90,89 (13,07) [18]	28,16 (8,48) [18]	91,72 (16,04) [18]	25,65 (9,75) [17]	94,47 (14,77) [17]	28,84 (8,19) [17]	93,06 (15,22) [17]

Note. Le score pondéré rend compte du niveau de performance des participants par rapport à la norme du test; un score pondéré de 100 correspond à la moyenne (Weschler, 2005a).

la mesure *Décodage de pseudo-mots* pour le groupe contrôle. Le tableau 6 présente les données descriptives des participants présentant de plus fortes capacités de MdeT.

Les résultats de l'ANCOVA réalisée à partir de la mesure *Lecture de mots* montrent un effet principal de temps statistiquement significatif ($F(1, 29) = 8,29, p = 0,007, \eta^2 = 0,19$), mais pas d'effet de groupe ($F(1, 29) = 0,59, p = 0,448$) ni d'interaction ($F(1, 29) = 0,02, p = 0,879$). L'analyse a été effectuée sur un échantillon de 32 participants. Les résultats de l'ANCOVA réalisée à partir du sous-test *Décodage de pseudo-mots* montrent que les effets de temps ($F(1, 31) = 0,00, p = 0,959$), de groupe ($F(1, 31) = 0,14, p = 0,716$) et d'interaction ($F(1, 31) = 0,015, p = 0,904$) ne sont pas significatifs avec un échantillon de 34 participants. Il en est de même pour les résultats de l'ANCOVA réalisée sur la mesure de *Compréhension de lecture*, les résultats ne montrent aucun effet de temps ($F(1, 32) = 0,17, p = 0,681$), de groupe ($F(1, 32) = 0,61, p = 0,442$) ni d'interaction significatif ($F(1, 32) = 2,80, p = 0,104$).

En résumé, les résultats montrent un effet de l'entraînement statistiquement significatif pour deux mesures de l'administrateur central en modalité verbale et en modalité visuo-spatiale. De plus, l'effet de l'entraînement sur l'administrateur central en modalité verbale se maintient 6 mois après l'arrêt de l'intervention. En revanche, aucune amélioration statistiquement significative n'est relevée pour la mesure de la boucle phonologique, du calepin visuo-spatial et une mesure de l'administrateur central en modalité verbale (*Séquences lettres-chiffres*). De même, aucune amélioration

Tableau 6

Mesures des habiletés en lecture : données descriptives des participants présentant de plus fortes capacités de mémoire de travail

Mesures	Groupe expérimental				Groupe contrôle			
	Pré-test		Post-test 1		Pré-test		Post-test 1	
	Score brut <i>M (ÉT)</i> <i>[n]</i>	Score pondéré <i>M (ÉT)</i> <i>[n]</i>	Score brut <i>M (ÉT)</i> <i>[n]</i>	Score pondéré <i>M (ÉT)</i> <i>[n]</i>	Score brut <i>M (ÉT)</i> <i>[n]</i>	Score pondéré <i>M (ÉT)</i> <i>[n]</i>	Score brut <i>M (ÉT)</i> <i>[n]</i>	Score pondéré <i>M (ÉT)</i> <i>[n]</i>
Lecture de mots	103,94 (17,80) [17]	113,65 (12,49) [17]	106,44 (17,10) [17]	113,13 (12,94) [17]	98,07 (19,28) [15]	106,93 (16,43) [15]	102,18 (11,82) [15]	106,73 (13,91) [15]
Décodage de pseudo-mots	34,33 (15,51) [18]	114,33 (15,41) [18]	35,39 (13,69) [18]	110,83 (18,50) [18]	34,38 (10,13) [16]	112,81 (17,66) [16]	35,06 (10,11) [16]	108,31 (18,34) [16]
Compréhension de lecture	34,72 (10,31) [18]	108,56 (17,99) [18]	36,44 (9,86) [18]	105,00 (17,10) [18]	30,06 (7,23) [17]	101,59 (16,21) [17]	34,59 (7,42) [17]	101,94 (13,87) [17]

Note. Le score pondéré rend compte du niveau de performance des participants par rapport à la norme du test; un score pondéré de 100 correspond à la moyenne (Weschler, 2005a).

statistiquement significative n'est constatée sur les mesures de lecture (*Lecture de mots*, *Décodage de pseudo-mots*, et *Compréhension de lecture*) suivant l'entraînement pour le groupe expérimental en comparaison avec le groupe contrôle. Toutefois, les résultats montrent que tous les participants s'améliorent sur une mesure du décodage (*Lecture de mots*) entre les deux temps de mesures.

Pour les élèves présentant de plus faibles capacités initiales de MdeT, seule une tendance à l'amélioration est observée à la mesure *Décodage de pseudo-mots*. Aucun autre effet de l'entraînement sur la lecture n'est observé. Enfin, chez les élèves présentant de plus fortes capacités initiales de MdeT, aucune amélioration n'est observée sur les mesures de lecture, mais tous les participants ont amélioré de manière statistiquement significative leurs habiletés en *Lecture de mots*.

Discussion

La thèse avait pour objectif général d'évaluer les effets d'un entraînement de la MdeT auprès d'élèves tout-venant du 1^{er} cycle du primaire. Quatre objectifs spécifiques étaient visés. Les deux premiers avaient pour but d'évaluer les effets d'un programme d'entraînement de la MdeT sur (1) les capacités de MdeT et (2) les habiletés en lecture, soit le décodage et la compréhension. Le troisième objectif visait à évaluer le maintien des gains 6 mois après l'arrêt de l'entraînement pour les variables pour lesquelles des gains avaient été initialement observés. Enfin, dans une perspective exploratoire, l'étude cherchait à évaluer les effets de l'entraînement en fonction des capacités initiales de MdeT (fortes ou faibles). Dans cette section, les résultats seront présentés selon les objectifs de recherche. Les résultats seront comparés à ceux des études antérieures et discutés. Les forces et les limites de la thèse seront ensuite présentées puis les implications pratiques, exposées.

Effets de l'entraînement sur la mémoire de travail

En ce qui concerne les effets de l'entraînement sur les composantes de la MdeT, les résultats montrent une amélioration des capacités liées à l'administrateur central après l'entraînement de la MdeT. Ces effets ont été obtenus sur deux tâches, une en modalité visuo-spatiale et l'autre en modalité verbale. Les résultats n'indiquent toutefois aucun effet de l'entraînement sur une troisième mesure de l'administrateur central en modalité

verbale. En outre, les résultats ne montrent aucune amélioration des capacités liées au calepin visuo-spatial et à la boucle phonologique.

Les présents résultats appuient donc ceux des méta-analyses antérieures qui indiquent globalement des améliorations de la MdeT verbale et visuospatiale, ce qui inclut l'administrateur central. Certaines études qui se sont intéressées plus spécifiquement aux effets de l'entraînement sur l'administrateur central montrent également une amélioration de ses capacités après l'entraînement (p. ex., Bigorra et al., 2016; Dahlin, 2011; Dunning et al., 2013; Holmes et al., 2009). Ceci pourrait s'expliquer, du moins en partie, par le fait que le programme d'entraînement utilisé ici visait principalement les capacités de l'administrateur central : sept exercices sur neuf ciblent cette composante. En effet, la multiplicité et la diversité des exercices lors de l'entraînement peuvent contribuer à augmenter la possibilité qu'une, ou plusieurs tâches combinées aient un effet positif (Morrison & Chein, 2011). L'intensité de l'intervention (24 séances sur 6 à 7 semaines) peut également expliquer l'effet positif sur les capacités de l'administrateur central, alors qu'un entraînement de la MdeT avec une intensité similaire à celle de la présente étude (28 séances sur 8 semaines) induit des gains plus élevés en MdeT (incluant l'administrateur central) lorsque comparé à une intervention avec une plus faible intensité, soit 8 séances sur 8 semaines (Alloway et al., 2013). De plus, l'ajustement de la difficulté des exercices à la performance de l'élève pourrait contribuer à l'amélioration des capacités de l'administrateur central puisque la tâche demeure exigeante et est individualisée aux capacités du participant (Randall &

Tyldesly, 2016; von Bastian & Oberauer, 2014). En effet, des études constatent que l'entraînement de la MdeT ajusté à la performance permet davantage d'améliorer l'administrateur central qu'un entraînement dont le niveau de difficulté est faible (Holmes et al., 2009; Dunning et al., 2013).

De façon plus globale, les améliorations liées à l'administrateur central observées à la suite de l'entraînement de la MdeT pourraient être expliquées par le fait que les participants améliorent non seulement leurs capacités de manière directe, mais également par le fait qu'ils développent et perfectionnent des stratégies de rétention et de gestion de l'information de manière implicite grâce à la pratique intensive d'exercices (Randall & Tyldesly, 2016; von Bastian & Oberauer, 2014). Il demeure que dans le cas spécifique de cette thèse, il ne peut être totalement exclu que la présentation de stratégies plus explicites dans le contexte de l'entraînement ait pu contribuer aux effets observés. En effet, certaines études indiquent que l'enseignement explicite de stratégies de mémorisation permet d'augmenter la performance à des tâches visant la MdeT (Carretti, Borella, & De Beni, 2007; St Clair-Thompson et al., 2010).

Tel que mentionné, les améliorations liées à l'administrateur central ne sont observées que pour deux des trois tâches utilisées pour mesurer cette composante : aucun effet n'est observé pour la mesure *Séquences lettres-chiffres*. Bien que cette tâche nécessite des capacités de rétention et de manipulation d'informations, elle exige aussi l'extraction de connaissances en mémoire à long terme, c'est-à-dire l'ordre alphabétique

des lettres et l'ordre croissant des chiffres. Or, aucune tâche de l'entraînement ne fait appel aux connaissances emmagasinées à long terme. À ce titre, certains auteurs suggèrent que les tâches mesurées doivent être similaires à celles de l'entraînement afin que l'on puisse constater un effet positif de l'intervention (Jaeggi, Buschkuhl, Jonides, & Perrig, 2008). Cette question sera traitée ultérieurement.

En ce qui concerne le calepin visuo-spatial et la boucle phonologique, nos résultats sont contraires à certaines études antérieures, alors qu'une amélioration du calepin visuo-spatial et de la boucle phonologique est observée après l'entraînement (p. ex., Chacko et al., 2014; Dahlin, 2011). D'autres études constatent une amélioration uniquement sur une des composantes de rétention, soit le calepin visuo-spatial (p. ex., Dunning et al., 2013; Gray et al., 2012; Holmes et al., 2009; Roberts et al., 2016) et de manière plus exceptionnelle, la boucle phonologique (p. ex., Van der Molen et al., 2010). En ce qui concerne le peu d'amélioration des capacités de la boucle phonologique observé suivant l'entraînement, il est possible que le type de tâches généralement utilisées pour mesurer ces effets (p. ex., des séquences de chiffres à rapporter en ordre de présentation) soit peu sensible aux changements liés à l'entraînement. En effet, Simons et al. (2016) soulèvent que les études montrent des résultats généralement faibles et moins constants, comparativement à ceux obtenus en lien avec les mesures ciblant davantage l'administrateur central en modalité verbale (p. ex., rapporter une séquence de chiffres en ordre inverse de présentation). Ceci pourrait s'expliquer par le niveau de familiarité à ces tâches; généralement les participants

pratiquent déjà des tâches de rappel de chiffres en ordre de présentation au quotidien (p. ex., se souvenir d'un numéro de téléphone). De plus, le programme utilisé dans le cadre de cette étude ne comporte qu'un exercice ciblant uniquement la boucle phonologique, ce qui pourrait donc limiter les effets associés à l'entraînement. En ce qui a trait au calepin visuo-spatial, une méta-analyse indique que le type de programme utilisé constitue une variable modératrice à prendre en considération (Schwaighofer et al., 2015). À cet égard, des tailles d'effet plus importantes sont observées lorsque le programme CWMT est utilisé, comparativement à d'autres programmes qui ne sont pas commercialisés. Le programme CWMT comporte au moins trois tâches ciblant directement le calepin visuo-spatial, alors le programme utilisé dans le cadre de notre étude en comporte uniquement une.

Effets de l'entraînement sur les habiletés en lecture

Les résultats montrent que les élèves ayant reçu l'entraînement de la MdeT n'ont pas davantage amélioré leurs habiletés en lecture que les élèves du groupe contrôle, tant sur le plan du décodage que de la compréhension de lecture.

Ces résultats sont cohérents avec ceux de deux méta-analyses récentes qui indiquent que les performances en décodage ou en compréhension de lecture ne sont pas améliorées suivant un entraînement de la MdeT, ceci auprès de populations variées (Melby-Lervåg & Hulme, 2013; Schwaighofer et al., 2015). Les résultats d'une récente méta-analyse ($n = 25$), ciblant les élèves au développement typique (âgés de 3 à 16 ans) sont similaires et ne

montrent, eux non plus, aucun effet franc de l'entraînement sur des mesures variées en lecture (Sala & Gobet, 2017). Schwaighofer et al. avancent que l'entraînement de la MdeT dans sa forme actuelle, c'est-à-dire un entraînement isolé et ciblé sur une fonction cognitive spécifique, limite l'étendue des effets de l'entraînement à des activités qui ne sont pas similaires à celles de l'entraînement, ce qui expliquerait en partie l'absence d'effet positif de l'intervention en lecture. Par ailleurs, Melby-Lervåg et Hulme suggèrent que l'entraînement de la MdeT serait possiblement de trop courte durée pour qu'un transfert à des fonctions cognitives connexes se développe.

Certaines études mettent tout de même en évidence des améliorations sur des habiletés en lecture après un entraînement de la MdeT (p. ex., Dahlin, 2011; Egeland et al., 2013; Karbach et al., 2015; Loosli et al., 2012). Trois de ces études ont été menées auprès de participants plus âgés (9 ans et plus) (Dahlin, 2011; Egeland et al., 2013; Loosli et al., 2012) et deux de ces études se sont intéressées à des populations au développement atypique (p. ex., TDAH et troubles d'apprentissage), ce qui sous-tend l'hypothèse que certaines caractéristiques individuelles (p. ex., âge et problématiques associées) puissent contribuer à l'absence ou la présence d'effets sur la lecture à la suite d'un entraînement de la MdeT. L'étude de Karbach et al., s'étant intéressée à des élèves au développement typique en début de scolarisation, montre aussi des effets de l'entraînement de la MdeT sur la lecture, mais a utilisé un devis quasi-expérimental, sans assignation aléatoire des participants, ne permettant pas de contrôler la présence de facteurs externes (p. ex., les différences initiales entre les participants). Cette étude ne permet également pas de

distinguer les effets de l'entraînement sur chacune des habiletés en lecture, car elles sont combinées.

Lorsque l'on considère les études s'étant spécifiquement intéressées aux effets sur le décodage, des résultats divergents sont aussi observés pouvant être expliqués par des variabilités liées aux échantillons ciblés, dont particulièrement l'âge des participants. En effet, l'âge pourrait être un facteur explicatif des résultats de la seule étude ayant montré des améliorations de la compréhension de lecture après un entraînement de la MdeT, réalisée chez des élèves plus âgés (Dahlin, 2011). Ceci pourrait s'expliquer, du moins en partie, par le fait que la force de la relation entre la MdeT et la compréhension de lecture augmente avec l'âge (Seigneuric & Ehrlich, 2005), suggérant que la MdeT verbale devient plus déterminante pour la compréhension de lecture lorsque le décodage est davantage automatisé. Il est donc possible que les effets de l'entraînement sur la compréhension puissent être davantage perceptibles à partir de cette étape développementale.

En outre, les résultats montrent que tous les participants ont amélioré leur performance en lecture de mots entre le pré-test et le post-test, alors qu'une telle amélioration n'est pas constatée pour le décodage de pseudo-mots et la compréhension de lecture. Ces résultats peuvent être expliqués par le cursus scolaire habituel des élèves. En effet, la capacité à lire des mots familiers est particulièrement développée au cours des premières années de scolarisation; il est attendu qu'à la fin de la 1^{re} année du primaire, l'élève soit en mesure

de reconnaître visuellement les mots fréquents et une des stratégies employées pour atteindre cet objectif est l'utilisation de mots étiquettes. L'habileté à décoder des mots familiers est également un objectif d'apprentissage durant le 1^{er} cycle du primaire (Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport, 2009).

Maintien des gains 6 mois après l'arrêt de l'intervention

Les résultats montrent que les gains observés liés à la capacité de l'administrateur central en modalité verbale tendent à se maintenir 6 mois après l'arrêt de l'entraînement. Au contraire, les gains observés, pour l'administrateur central, mais en modalité visuo-spatiale, ne se maintiennent pas.

Ainsi, ces résultats appuient en partie ceux des méta-analyses antérieures (Peijnenborgh et al., 2016; Schwaighofer et al., 2015) qui indiquent que les gains sont maintenus pour la MdeT (incluant l'administrateur central) jusqu'à 6 à 8 mois après l'arrêt de l'intervention. De même, certaines études ciblant directement les capacités de l'administrateur central (verbale et visuo-spatiale) constatent un maintien des gains. Plus précisément, Holmes et al. (2009) montrent un maintien des gains de cette composante 6 mois après l'arrêt de l'intervention pour les deux modalités, alors que Klingberg et al. (2005) constatent un maintien des gains 3 mois après, mais uniquement en modalité visuo-spatiale. Nos résultats soulèvent toutefois la présence de distinction en fonction de la modalité sollicitée, en faveur de la modalité verbale. Comme les études antérieures portent sur des populations variées alors que notre étude cible les

élèves tout-venant en début de scolarisation, il est possible que l'âge des participants soit la cause de cette différence. En effet, des résultats similaires sont obtenus par Dunning et al. (2013) : les gains sur les capacités de l'administrateur central en modalité verbale uniquement sont maintenus 12 mois après l'arrêt d'un entraînement auprès d'enfants de 7 à 9 ans ayant de faibles capacités de MdeT. Ceci pourrait s'expliquer par le fait qu'en début de scolarisation, les élèves commencent à utiliser des stratégies verbales comme la répétition subvocale (Tam et al., 2010), soulignant qu'il pourrait s'agir d'une période clé dans le développement de l'enfant pour ce type d'intervention.

Capacités initiales de la mémoire de travail et habiletés en lecture

L'étude avait aussi comme objectif d'explorer les effets de l'entraînement de la MdeT sur les habiletés en lecture selon les capacités initiales de MdeT (faibles et fortes). À ce titre, nos résultats indiquent que les élèves ayant de plus faibles capacités de MdeT et ayant bénéficié de l'intervention tendent à améliorer leurs habiletés de décodage de pseudo-mots. Aucune amélioration n'est constatée en compréhension de lecture, ni en lecture de mots. De leur côté, les élèves du groupe expérimental présentant de plus fortes capacités de MdeT n'ont pas amélioré leurs performances en décodage de pseudo-mots ni en compréhension de lecture suivant l'entraînement, en comparaison au groupe contrôle. Cependant, les élèves présentant de plus fortes capacités de MdeT ont tous amélioré leur performance en lecture de mots, indépendamment du groupe.

Nos résultats sont donc similaires à l'étude exploratoire de Karbach et al. (2015) et suggèrent que les élèves plus faibles en MdeT, étant moins performants, bénéficient de l'entraînement puisqu'ils ont une plus grande possibilité de s'améliorer (Titz & Karbach, 2014). Alors que l'intervention tend à améliorer le décodage de pseudo-mots, il est possible de croire que cette habileté en lecture sollicite davantage les capacités de la MdeT. Puisque le lecteur ne peut s'appuyer que sur la conversion graphème-phonème (lecture par la voie d'assemblage), le décodage de pseudo-mots nécessite les capacités de contrôle attentionnel et de gestion des ressources en MdeT (de Jong, 2006).

De plus, les résultats mettent en évidence que les élèves ayant de plus fortes capacités de MdeT ont amélioré leur performance en lecture de mots, ce qui est également constaté pour l'ensemble de l'échantillon. Comme mentionnée précédemment, l'amélioration de la lecture de mots peut ainsi être attribuée aux apprentissages liés au cursus scolaire du 1^{er} cycle du primaire.

Forces, limites et pistes de recherche futures

Cette étude présente plusieurs forces. Tout d'abord, elle utilise un devis expérimental contrôlé et randomisé et la présence d'un groupe contrôle. Ce devis permet de comparer adéquatement les effets de l'entraînement de la MdeT afin de limiter l'influence de facteurs qui ne sont pas liés à l'intervention. De même, l'appariement et l'assignation aléatoire permettent de contrôler différentes menaces à la validité interne, dont les différences initiales entre les participants. Ensuite, l'étude évalue le maintien des gains 6

mois après l'entraînement de la MdeT, permettant ainsi d'objectiver le maintien des acquis après l'arrêt de l'intervention. De plus, l'ensemble des évaluations a été réalisé à l'aveugle, ce qui permet de conserver l'objectivité des résultats. Enfin, le taux de participation est adéquat; la perte de participants est d'environ 5 % entre le pré-test et le post-test 1, et de 8,2 % entre le post-test 1 et le post-test 2 alors qu'elle est généralement estimée à 10 % pour ce type d'étude (Melby-Lervåg & Hulme 2013).

Néanmoins, des caractéristiques méthodologiques limitent la portée des conclusions. L'entraînement a été offert au groupe contrôle de type liste d'attente immédiatement après les mesures du post-test 1, ce qui limite la comparaison des résultats au post-test 2. Pour pallier ce problème, les résultats du groupe expérimental au post-test 2 ont été comparés à ceux du groupe contrôle au post-test 1. Cependant, cette solution n'est que partielle puisqu'elle ne permet pas totalement de contrôler les effets de maturation des participants et les effets de l'apprentissage aux mesures entre les deux derniers temps de mesure.

Par ailleurs, bien que l'utilisation d'un groupe contrôle de type liste d'attente (passif) permette de contrôler les effets d'apprentissage (effet test-retest), elle ne permet pas de considérer l'effet Hawthorne ou l'effet placebo. Il demeure que dans les études portant sur l'entraînement de la MdeT, les résultats observés avec l'utilisation d'un groupe passif ou actif sont équivalents : aucune différence n'est constatée lorsqu'ils sont comparés entre eux (Au et al., 2015). De même, les études évaluant les effets de

l'entraînement de la MdeT auprès des enfants par le biais d'un groupe contrôle actif montrent des résultats similaires aux nôtres, c'est-à-dire des améliorations en MdeT et aucune en lecture (Bigorra et al., 2016; Chacko et al., 2014; Dunning et al., 2013; Gray et al., 2012; Holmes et al., 2009; Van der Molen et al., 2010). En outre, il est possible qu'une seule mesure avant le début de l'entraînement n'ait pas été suffisante pour contrôler les effets de l'instabilité des performances aux instruments. À cet égard, différentes études documentent une variabilité intra-individuelle des performances en MdeT (p. ex., Brose, Schmiedek, Lövdén, & Lindenberger, 2012; Myatchin, Lemiere, Danckaerts, & Lagae, 2012). L'utilisation de ligne de bases multiples pourrait s'avérer pertinente afin de pallier cette limite.

Bien que les instruments de mesure employés, ou des versions comparables soient fréquemment utilisés pour mesurer les capacités de MdeT (p. ex., Bigorra et al., 2016; Chacko et al., 2014; Dahlin, 2011; Dunning et al., 2013; Gray et al., 2012; Holmes et al., 2009; Van der Molen et al., 2010), ceux-ci sont similaires aux exercices du programme d'entraînement. Certains auteurs s'interrogent ainsi sur la possibilité d'une généralisation des résultats de l'entraînement à des tâches qui sont différentes de celles incluses dans l'intervention (Shipstead, Hicks & Engle, 2012a, 2012b). En ce sens, les futures recherches dans le domaine gagneraient à utiliser des mesures variées de la MdeT, mais surtout des mesures différentes de celles entraînées afin de mieux distinguer les changements de capacités de MdeT.

La généralisation des résultats est aussi limitée par certains facteurs, dont l'échantillon qui est constitué d'élèves francophones tout-venant du 1^{er} cycle du primaire et le programme d'entraînement spécifique à cette étude. De plus, la taille modeste de l'échantillon affecte la puissance statistique et la généralisation, plus précisément en ce qui a trait à l'analyse exploratoire des effets de l'entraînement selon les capacités initiales de MdeT puisque notre échantillon est divisé. Néanmoins, la taille de notre échantillon général demeure plus grande que celles de plusieurs autres études (p. ex., Dunning et al., 2013; Egeland et al., 2013; Holmes et al., 2009; Karbach et al., 2015; Loosli et al., 2012).

Nos résultats et observations nous amènent par ailleurs à nous interroger sur l'intensité de l'intervention (environ 24 séances de 30 minutes sur 6 semaines) : il est possible qu'une activité si exigeante puisse avoir nui au respect de l'intensité de l'intervention. Or, nous n'avons pas objectivement évalué la qualité de l'engagement lors des tâches par des mesures comportementales, ni la motivation liée à l'entraînement, tout comme plusieurs études dans le domaine recensées par Schwaighofer et al. (2015). Davantage de recherches sont donc nécessaires afin de quantifier les impacts de la motivation sur les gains suivant l'entraînement de la MdeT. Le cas échéant, des pistes de solutions pourraient être explorées. Par exemple, Wass et al. (2012) avancent que les programmes d'entraînement pourraient être bonifiés par l'ajout de formes non traditionnelles de l'entraînement de la MdeT comme les jeux vidéos d'action.

L'absence d'effet de l'entraînement de la MdeT sur les habiletés en lecture amène à se questionner sur le sens de la relation entre la MdeT et la lecture. À cet égard, il est possible que la relation causale soit à l'inverse puisque l'apprentissage de la lecture en elle-même améliore les capacités de MdeT verbale chez les adultes analphabètes (Ardila, Ostrosky-Solis, & Mendoza, 2000). Or, il demeure que ce sens de la relation est moins étudié que la relation causale de la MdeT sur les habiletés en lecture (Banales, Kohonen, & McArthur, 2015) et que le lien de causalité entre ces deux facteurs demeure toujours imprécis. Il est donc possible que d'autres facteurs externes puissent contribuer aux habiletés en lecture. Par exemple, la conscience phonologique (Demont & Botzung, 2003; Melby-Lervåg, 2012) et la vitesse de traitement de l'information (Shaul & Nevo, 2015) contribuent aux habiletés en lecture chez les enfants. De futures recherches permettraient de clarifier la relation entre la MdeT et les habiletés en lecture.

Finalement, la mise en évidence de plus grands effets potentiels pour les élèves ayant de plus faibles capacités initiales de MdeT ouvre la voie à l'exploration des différences individuelles pouvant moduler l'efficacité de l'entraînement (p. ex., les capacités initiales, les traits de personnalité, l'âge, etc.). À cet égard, une étude montre que des traits élevés de contrôle volontaire (c'est-à-dire la capacité à réguler ses comportements et cognitions pendant la réalisation d'une tâche) et une plus grande stabilité émotionnelle pourraient aussi contribuer à optimiser les effets d'un entraînement de la MdeT (Studer-Luethi, Bauer, & Perrig, 2016). De plus, une autre étude met en lumière

que les participants ayant un niveau d'intelligence fluide plus faible améliorent davantage celle-ci après l'entraînement (Jaeggi et al., 2008). Il serait alors pertinent de poursuivre l'exploration des différences inter-individuelles pouvant influencer l'efficacité de l'entraînement de la MdeT. Ceci permettrait d'éclaircir les connaissances sur les meilleures prédispositions à ce type d'intervention, le cas échéant, dans le but de développer des programmes efficaces se centrant sur les besoins des participants.

Implications pratiques

Sur le plan pratique, force est de constater que cette étude ne permet pas de promouvoir l'entraînement de la MdeT comme outil de prévention des difficultés de lecture auprès des élèves en début de scolarisation. L'absence d'effets sur les habiletés en lecture à la suite de l'entraînement de la MdeT appuie un nombre grandissant de recherches récentes remettant en question les effets de l'entraînement de la MdeT sur des fonctions cognitives connexes comme les apprentissages scolaires (Schwaighofer et al., 2015; Melby-Lervåg & Hulme, 2013), de même que l'intelligence fluide et cristallisée (Sala & Gobet, 2017). Ces constats sont ainsi en contradiction avec la publicité et les gains vantés par plusieurs compagnies faisant la promotion pour la vente de programmes du genre (Simons et al., 2016). En effet, les résultats de la thèse, par le biais d'une étude contrôlée et randomisée, n'appuient pas le transfert aux habiletés en lecture auprès d'une population d'enfants tout-venant en début de scolarisation. Ces résultats soutiennent donc l'importance de mener de telles études par le biais d'une méthode rigoureuse, de sorte à déterminer les interventions les plus optimales. Dans le

contexte québécois, où les coûts financiers et émotionnels sont élevés pour les familles et le système scolaire lorsque des élèves présentent des difficultés d'apprentissage, il est nécessaire d'identifier les interventions qui seront efficaces afin de soutenir les apprentissages des jeunes québécois.

Nos résultats indiquent tout de même deux points importants en lien avec les effets de l'entraînement de la MdeT : (1) ces effets sont spécifiques à l'administrateur central et (2) pour les élèves présentant de plus faibles capacités de MdeT, l'entraînement pourrait être bénéfique pour le développement des habiletés de décodage par la voie d'assemblage. Ceci sous-tend donc la spécificité de l'entraînement et indique que celui-ci pourrait être utile afin d'améliorer la performance de tâches qui nécessitent le rappel et la manipulation d'informations pour l'ensemble des élèves tout venant en début de scolarisation. L'entraînement pourrait aussi potentiellement améliorer les habiletés de décodage chez les élèves présentant de plus faibles capacités de MdeT. Dans ce contexte, l'entraînement de la MdeT pourrait être intégré dans un ensemble d'interventions multimodales visant plusieurs difficultés, et ce, afin d'améliorer la MdeT chez les élèves en début de scolarisation et améliorer aussi potentiellement le décodage chez les élèves ayant de plus faibles capacités de la MdeT.

En outre, il est possible que l'entraînement de la MdeT ait eu une influence indirecte dans le quotidien des participants, sans avoir été mesurée. En effet, certains auteurs suggèrent que l'amélioration des capacités de la MdeT peut contribuer à faire croître la

capacité des élèves à suivre les consignes en classe et à exécuter des tâches complexes nécessitant l'intégration de différents types d'informations, menant ainsi à des effets positifs indirects sur leurs apprentissages (Karbach et al., 2015). De plus, lorsque certains élèves de 1^{re} année ayant participé au projet de recherche ont été interrogés par leur journal local *Le Guide*, trois élèves ont mentionné avoir tiré des bénéfices de l'entraînement en utilisant les stratégies de mémorisation dans leur quotidien scolaire. Pour sa part, l'enseignante de la classe a perçu une amélioration de l'autonomie et de la concentration en classe (Giguère, 2015).

Bien que l'exploration des relations entre la MdeT et les habiletés en lecture n'étaient pas l'objectif de cette thèse, les résultats permettent de remettre en question le lien possiblement causal entre la MdeT et la lecture. En effet, l'amélioration des capacités de l'administrateur central a été constatée après l'entraînement, mais ces changements n'ont pas eu de répercussion sur les habiletés en lecture mesurées. Il est donc possible que d'autres facteurs externes, comme la conscience phonologique (Demont & Botzung, 2003) et la vitesse de traitement de l'information (Shaul & Nevo, 2013), puissent contribuer aux habiletés en lecture chez les élèves tout-venant en début de scolarisation.

De plus, même si ceci ne constituait pas l'objet premier du travail ici proposé, l'étude réalisée a mis en évidence qu'il est possible d'implanter une intervention d'entraînement à l'école et de permettre aux professionnels scolaires de l'administrer. À cet égard, peu d'études mobilisent les intervenants ressources des milieux scolaires afin

de superviser et de soutenir les élèves lors des séances d'entraînement de la MdeT (Randall & Tydelsy, 2016). De plus, la tenue de telles études permet de répondre à certains besoins identifiés des milieux scolaires. Par exemple, ce projet répondait à deux besoins du plan stratégique de la commission scolaire du Val-des-Cerfs, c'est-à-dire améliorer la réussite et la persévérance scolaire des élèves en difficultés d'apprentissage, ainsi que le développement des compétences à lire et à écrire (Commission scolaire du Val-des-cerfs, 2015).

Finalement, et de manière plus globale, la participation à un projet de recherche est souvent perçue de manière positive chez les jeunes. En effet, lorsque la perception des enfants est recueillie suivant leur participation à une recherche, la majorité des enfants sont satisfaits et prendrait à nouveau part à un projet de recherche (Kafka, Economos, Folta, & Sacheck, 2011). De manière plus large, Nairn et Clarke (2012) ont démontré qu'une majorité d'enfants apprécient se faire poser des questions sur eux par le biais d'un questionnaire, soulignant que les enfants apprécient être pris en considération et être actifs en recherche. Il est donc possible qu'en plus des bénéfices constatés en MdeT, le projet ait été vécu positivement par les élèves.

Conclusion

Cette thèse avait pour objectif d'évaluer les effets d'un entraînement de la MdeT chez les élèves tout-venant en début de scolarisation par le biais d'une étude contrôlée et randomisée. Plus précisément, la thèse s'est intéressé aux effets de l'entraînement de la MdeT sur chacune des composantes de la MdeT selon le modèle de Baddeley et Hitch (1974), c'est-à-dire : la boucle phonologique, le calepin visuo-spatial et l'administrateur central (en modalité verbale et visuo-spatiale) et les habiletés en lecture (le décodage et la compréhension). De plus, le maintien des gains 6 mois après l'arrêt de l'intervention a été évalué sur les mesures pour lesquelles des gains ont été observés immédiatement après l'entraînement. Finalement, les effets de l'entraînement en lecture selon les capacités initiales de MdeT des participants ont été explorés.

Les résultats obtenus montrent une amélioration des capacités de l'administrateur central (en modalité verbale et visuo-spatiale) après l'entraînement de la MdeT et montrent que les gains en modalité verbale tendent à se maintenir jusqu'à six mois après l'arrêt de l'intervention. Cependant, les élèves ayant reçu l'entraînement de la MdeT n'ont pas amélioré davantage leurs capacités de rétention de l'information, c'est-à-dire les composantes de la boucle phonologique et du calepin visuo-spatial. De plus, aucun effet positif de l'entraînement n'a été constaté sur les habiletés en lecture, c'est-à-dire le décodage et la compréhension de lecture. Néanmoins, l'entraînement semble induire des bénéfices différents selon les capacités initiales en MdeT : l'entraînement tend à

améliorer la performance en décodage par la voie d'assemblage pour les élèves présentant de plus faibles capacités de MdeT.

Par conséquent, les résultats appuient peu l'utilité de l'entraînement de la MdeT comme moyen de prévention universelle des difficultés en lecture pour les élèves tout-venant en début de scolarisation. Ces résultats confirment les récentes études, de plus en plus nombreuses et menées à l'aide de méthodes rigoureuses, qui mettent en doute les effets de l'entraînement de la MdeT sur les fonctions cognitives connexes, dont les habiletés en lecture. Ils remettent ainsi en question les gains vantés de la part de diverses compagnies créatrices de programmes d'entraînement de la MdeT par le biais de leurs stratégies publicitaires (Simons et al., 2016).

Alors que des effets sont présents, ils demeurent très spécifiques : des effets positifs sont constatés uniquement sur l'administrateur central de la MdeT et les résultats tendent à indiquer un effet positif sur le décodage par la voie d'adressage, seulement pour les élèves ayant de plus faibles capacités de MdeT. Afin d'améliorer ces capacités précises, il est possible de penser que l'entraînement puisse être intégré dans des interventions multimodales ciblant différentes problématiques chez les élèves en début de scolarisation, tout-venant ou présentant de plus faibles capacités en MdeT.

Les résultats de la thèse mettent également en évidence des gains différents sur les habiletés en lecture en fonctions des capacités initiales de la MdeT. Ceci ouvre donc la

voie à la poursuite de l'exploration des différences individuelles modulant les effets de l'entraînement de la MdeT (p. ex., les capacités initiales en MdeT, le niveau d'intelligence fluide, les traits de personnalité, l'âge, etc.). Afin d'approfondir les connaissances sur le sujet, de futures recherches permettraient de mieux comprendre dans quels contextes l'entraînement de la MdeT pourrait s'avérer optimal afin d'améliorer les habiletés en lecture.

Références

- Alloway, T. (2012). Can interactive working memory training improve learning? *Journal of Interactive Learning Research*, 23(3), 197–207.
- Alloway, T. P. (2009). Working memory, but not IQ, predicts subsequent learning in children with learning difficulties. *European Journal of Psychological Assessment*, 25(2), 92-98. doi:10.1027/1015-5759.25.2.92
- Alloway, T. P., & Alloway, R. G. (2010). Investigating the predictive roles of working memory and IQ in academic attainment. *Journal of Experimental Child Psychology*, 106, 20-29. doi:10.1016/j.jecp.2009.11.003
- Alloway, T. P., Alloway, R. G., & Wootan, S. (2014). Home sweet home: Does where you live matter to working memory and other cognitive skills? *Journal of Experimental Child Psychology*, 124, 124-131. doi:10.1016/j.jecp.2013.11.012
- Alloway, T. P., 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. P., Gathercole, S. E., Kirkwood, H., & Elliott, J. (2009). The cognitive and behavioral characteristics of children with low working memory. *Child Development*, 80(2), 606-621. doi:10.1111/j.1467-8624.2009.01282.x
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., & Pickering, S. (2006). Verbal and visuospatial short-term and working memory in children: are they separable? *Child Development*, 77(6), 1698-1716. doi:10.1111/j.1467-8624.2006.00968.x
- Ardila, A., Ostrosky-Solis, F., & Mendoza, V. U. (2000). Learning to read is much more than learning to read: A neuropsychologically-based learning to read method. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 6(7), 789-801.
- Arina, S., Gathercole, S., & Stella, G. (2015). The role of working memory in the early phases of learning to read. *Applied Psychology Bulletin*, 64(273), 31-52.
- Arrington, C. N., Kulesz, P. A., Francis, D. J., Fletcher, J. M., & Barnes, M. A. (2014). The contribution of attentional control and working memory to reading comprehension and decoding. *Scientific Studies of Reading*, 18(5), 325-346. doi:10.1080/10888438.2014.902461

- 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 & Review*, *22*(2), 366-377. doi:10.3758/s13423-014-0699-x
- Baddeley, A. (1996). Exploring the central executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *49A*(1), 5- 28. doi:10.1080/713755608
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, *4*(11), 417-423.
- Baddeley, A. (2003a). Working memory and language: an overview. *Journal of Communication Disorders*, *36*, 189-208. doi:10.1016/S0021-9924(03)00019-4
- Baddeley, A. (2003b). Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, *4*, 829-839. doi:10.1038/nrn1201
- Baddeley, A. (2012). Working memory: theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, *63*(1), 1-29. doi:10.1146/annurev-psych-120710-100422
- Baddeley, A., Allen, R. J., & Hitch, G. J. (2010). Investigating the episodic buffer. *Psychologica Belgica*, *50*(3-4), 223–243. doi:10.5334/pb-50-3-4-223
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford, England: Clarendon Press.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. Dans G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Vol. 8, pp. 47–89). New York, NY: Academic Press.
- Baldo, J. V., & Dronkers, N. F. (2006). The role of inferior parietal and inferior frontal cortex in working memory. *Neuropsychology*, *20*(5), 529-538. doi:10.1037/0894-4105.20.5.529
- 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
- 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
- Bigorra, A., Garolera, M., Guijarro, S., & Hervás, A. (2016). Long-term far-transfer effects of working memory training in children with ADHD: A randomized controlled trial. *European Child & Adolescent Psychiatry*, *25*(8), 853-867. doi:10.1007/s00787-015-0804-3

- Brehmer, Y., Rieckmann, A., Bellander, M., Westerberg, H., Fischer, H., & Bäckman, L. (2011). Neural correlates of training-related working-memory gains in old age. *Neuroimage*, *58*, 1110-1120. doi:10.1016/j.neuroimage.2011.06.079
- Brose, A., Schmiedek, F., Lövdén, M., Lindenberger, U. (2012). Daily variability in working memory is coupled with negative affect: The role of attention and motivation. *Emotion*, *12*(3), 606-617. doi: 10.1037/a0024436
- Buschkuehl, M., Jaeggi, S. M., Kobel, A., & Perrig, W. J. (2010). *Braintwister: A collection of cognitive training tasks*. Bern, Switzerland: Universität Bern.
- Cain, K. (2006). Children's reading comprehension: The role of working memory in normal and impaired development. Dans S. Pickering (Éd.), *Working memory and education* (pp. 61-91). Burlington, MA: Elsevier.
- Cain, K., Oakhill, J., & Bryant, P. (2004). Children's reading comprehension ability: Concurrent prediction by working memory, verbal ability and component skills. *Journal of Educational Psychology*, *96*(1), 31-42. doi:10.1037/0022-0663.96.1.31
- 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
- Case, R., Kurland, D., & Goldberg, J. (1982). Operational efficiency and the growth of short-term memory span. *Journal of Experimental Child Psychology*, *33*(2), 386-404. doi:10.1016/0022-0965(82)90054-6
- 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. *The Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *55*(3), 247-255. doi:10.1111/jcpp.12146
- Chein, J. M., & Morrison, A. B. (2010). Expanding the mind's workspace: training and transfer effects with a complex working memory span task. *Psychonomic Bulletin & Review*, *17*(2), 193-199. doi:10.3758/PBR.17.2.193
- Chrysochoou, E., Bablekou, Z., & Tsigilis, N. (2011). Working memory contributions to reading comprehension components in middle childhood children. *The American Journal of Psychology*, *124*(3), 275-289.

- Coltheart, M., Raslste, 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
- Commission scolaire du Val-des-cerfs. (2015). *Des élèves participent à une recherche sur la mémoire de travail*. Repéré à <https://csvdc.qc.ca/2015/06/17/les-ecoles-ave-maria-et-saint-joseph-participent-a-une-recherche-sur-la-memoire-de-travail/>
- Cook, A. E., Halleran, J. E., & O'Brien, E. J. (1998). What is readily available during reading? A memory-based view of text processing. *Discourse Processes*, *26*(2-3), 109-129. doi:10.1080/01638539809545041
- Cortese, S., Ferrin, M., Brandeis, D., Buitelaar, J., Daley, D., Dittmann, R. W., ... Sonuga-Barke, E. S. (2015). Cognitive training for attention-deficit/hyperactivity disorder: Meta-analysis of clinical and neuropsychological outcomes from randomized controlled trials. *Journal of American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, *54*(3), 164-174. doi:10.1016/j.jaac.2014.12.010
- Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information-processing system. *Psychological Bulletin*, *104*(2), 163-191.
- Cowan, N. (1995). *Attention and memory: An integrated framework*. New York, NY: Oxford University Press.
- Cowan, N. (1999). An embedded-processes model of working memory. Dans A. Miyake & P. Shah (Éds), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 62-101). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Cowan, N. (2005). *Working memory capacity*. New York, NY: Psychology Press.
- Cowan, N. (2014). Working memory underpins cognitive development, learning, and education. *Educational Psychology Review*, *26*(2), 197-223. doi:10.1007/s10648-013-9246-y
- Crawford, C. (2007). *Learning disabilities in Canada: Economic costs to individuals, families and society*. Repéré à http://pacfold.ca/download/Supplementary/Economic%20Burden%20of%20LD%20-%20Jan%202002%20RJune_2007.pdf
- 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

- Dahlin, K. I. E. (2013). Working memory training and the effect on mathematical achievement in children with attention deficits and special needs. *Journal of Education and Learning*, 2(1), 118-133. doi:10.5539/jel.v2n1p118
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19(4), 450-466.
- de Jong, P. F. (2006). Understanding normal and impaired reading development: A working memory perspective. Dans S. Pickering (Éd.), *Working memory and education* (pp. 33-60). Burlington, MA: Elsevier.
- Dehn, M. J. (2008). *Working memory and academic learning: Assessment and intervention*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- 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
- 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
- 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
- Elliott, J. G., Gathercole, S. E., Alloway, T. P., Holmes, J., & Kirkwood, H. (2010). An evaluation of a classroom-based intervention to help overcome working memory difficulties and long-term academic achievement. *Journal of Cognitive Education and Psychology*, 9(3), 227-250. doi:10.1891/1945-8959.9.3.227
- Engle, R. W., Carullo, J. J., & Collins, K. W. (1991). Individual differences in working memory for comprehension and following directions. *The Journal of Educational Research*, 84(5), 253-262.
- Engle, R. W., & Kane, M. J. (2004). Executive attention, working memory capacity, and a two-factor theory of cognitive control. Dans B. Ross (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 44, pp. 145-199). New York, NY: Elsevier.
- Engle, R. W., Kane, M. J., & Tuholski, S. W. (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 (Éds), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 102-135). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Gathercole, S. E. (1994). Neuropsychology and working memory: a review. *Neuropsychology*, 8(4), 494-505.
- Gathercole, S. E. (1999). Cognitive approaches to the development of short-term memory. *Trends in Cognitive Science*, 3(11), 410-419.
- Gathercole, S. E., Adam, A., & Hitch, G. J. (1994). Do young children rehearse? An individual-differences analysis. *Memory & Cognition*, 22(2), 201-207.
- Gathercole, S. E., & Alloway, T. P. (2008). *Working memory and learning: A practical guide for teachers*. London, UK: Sage.
- Gathercole, S. E., Alloway, T. P., Kirkwood, H. J., Elliott, J. G., Holmes, J., & Hilton, K. A. (2008). Attentional and executive function behaviours in children with poor working memory. *Learning and Individual Differences*, 18(2), 214–223. doi:10.1016/j.lindif.2007.10.003
- Gathercole, S. E., Alloway, T. P., Willis, C., & Adams, A. (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., Durling, E., Evans, M., Jeffcock, S., & Stone, S. (2008). Working memory abilities and children's performance in laboratory analogues of classroom activities. *Applied Cognitive Psychology*, 22(8), 1019-1037. doi:10.1002/acp.1407
- Gathercole, S. E., & Hitch, G. J. (1993). Developmental changes in short-term memory: A revised working memory perspective. Dans A. F. Collins, S. E. Gathercole, M. A. Conway, & P. E. Morris (Eds.), *Theories of memory* (pp. 189–210). Hove, United Kingdom: Erlbaum.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, 40(2), 177-190. doi:10.1037/0012-1649.40.2.177
- Giguère, U. (2015, 17 juin). Entraîner la mémoire pour améliorer l'apprentissage? *Journal le guide*. Repéré à <http://www.journalleguide.com/actualites/2015/6/17/entraîner-la-mémoire-pour-améliorer-l-ap-4185598.html>

- 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
- Hanley, J. R., Young, A. W., & Pearson, N. A. (1991). Impairment of the visuo-spatial sketch pad. *The quarterly journal of experimental psychology A: human experimental psychology*, 43A(1), 101-125. doi:10.1080/14640749108401001
- Habib, M., & Joly-Pottuz, B. (2008). Dyslexie, du diagnostic à la thérapeutique : un état des lieux. *Revue de Neuropsychologie*, 18(4), 247-325.
- Henry, L. A., & Millar, S. (1993). Why does memory span improve with age? A review of the evidence for two current hypotheses. *European Journal of Cognitive Psychology*, 5(3), 241-287. doi:10.1080/09541449308520119
- Hester, E., & Hodson, B. W. (2004). The role of phonological representation in decoding skills of young readers. *Child Language Teaching and Therapy*, 20(2), 115-133. doi:10.1191=0265659004ct266oa
- Hitch, G. J., Halliday, S., Schaafstal, A. M., & Schraagen, J. M. C. (1988). Visual working memory in young children. *Memory and Cognition*, 16(2), 120-132. doi:10.3758/BF03213479
- Holmes, J., & Gathercole, S. E. (2014). Taking working memory from the laboratory into schools. *Educational Psychology: An International Journal of Experiment Educational Psychology*, 34(4), 440-450. doi:10.1111/jcpp.12638
- 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), 9-15. doi:10.1111/j.1467-7687.2009.00848.x
- Holmes, J., Gathercole, S. E., & Dunning, D. L. (2010). Poor working memory: impact and interventions. Dans J. Holmes (Éd.), *Advances in child development and behavior* (Vol. 39, pp. 1-43). Burlington, VT: Academic press.
- Institut de la statistique du Québec. (2013). *Les élèves du primaire à risque de décrocher au secondaire : caractéristiques à 12 ans et prédicteurs à 7 ans*. Repéré à <http://www.stat.gouv.qc.ca/docs-hmi/statistiques/education/frequentation-scolaire/decrochage.pdf>

- Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM). (2007). *Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie. Bilan des données scientifiques*. Paris, France : 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 of the United States of America*, *105*(19), 6829-6833. doi:10.1073/pnas.0801268105
- Johnston, A. M., Barnes, M. A., & Desrochers, A. (2008). Reading comprehension: Developmental processes, individual differences, and interventions. *Canadian Psychology*, *49*(2), 125-132. doi:10.1037/0708-5591.49.2.125
- Jungle Memory. (2011). *Jungle memory: Who it helps?* Repéré à http://junglememory.com/pages/who_can_benefit
- Kafka, T., Economos, C., Folta, S., & Sacheck, J. (2011). Children as subjects in nutrition research: a retrospective look at their perceptions. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, *43*(2), 103-109. doi:10.1016/j.jneb.2010.03.002
- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2002). The role of prefrontal cortex in working-memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence: an individual-differences perspective. *Psychonomic Bulletin & Review*, *9*(4), 637-671. doi:10.3758/BF03196323
- Karbach, J., Strobach, T., & Schubert, T. (2015). Adaptive working-memory training benefits reading, but not mathematics in middle childhood. *Child Neuropsychology*, *21*(3), 285-301. doi:10.1080/09297049.2014.899336
- Kibby, M. Y. (2009). There are multiple contributors to the verbal short-term memory deficit in children with developmental reading disabilities. *Child Neuropsychology*, *15*(5), 485-506. doi:10.1080/09297040902748218
- 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., Dahlström, K., ... Westerberg, H. L. P. (2005). Computerized training of working memory in children with ADHD: A randomized, controlled trial. *Journal of American Academy Child and Adolescent Psychiatry*, *44*(2), 177-186. doi:10.1097/00004583-200502000-00010
- Kroesbergen, E. H., van't Noordende, J. E., & Kolkman, M. E. (2014). Training working memory in kindergarten children: Effects on working memory and early

- numeracy. *Child Neuropsychology*, 20(1), 23–37.
doi:10.1080/09297049.2012.736483
- Leather, C. V., & Henry, L. A. (1994). Working memory span and phonological awareness tasks as predictors of early reading ability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 58(1), 88-111. doi:10.1006/jecp.1994.1027
- Leedale, R., Singleton, C., & Thomas, K. (2004). *Memory booster: Guide for teachers, parents and professionals*. Beverly, UK: Lucid Research.
- Logie, R. H. (1995). Working memory. Dans R. H. Logie (Ed.). *Visuo-spatial working memory* (pp. 64-93). Hove, England : Erlbaum.
- 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
- 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
- McNab, F., Varrone, A., Farde, L., Jucaite, A., Bystritsky, P., Forsberg, H., & Klingberg, T. (2009). Changes in cortical dopamine D1 receptor binding associated with cognitive training. *Science*, 323(5915), 800-802. doi:10.1126/science.1166102
- Melby-Lervåg, M. (2012). The relative predictive contribution and causal role of phoneme awareness, rhyme awareness and verbal short-term memory in reading skills: A review. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 56(4), 363-380. doi:10.1080/00313831.2011.594611
- 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
- Ministère de l'Éducation. (2003). *Les difficultés d'apprentissage à l'école : cadre de référence pour guider l'intervention*. Gouvernement du Québec.
- Ministère de l'Éducation, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. (2015). *Bulletin statistique de l'éducation : les décrocheurs annuels des écoles secondaires du Québec* (Rapport n° 43). Repéré à http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/PSG/statistiques_in_fo_decisionnelle/BulletinStatistique43_f.pdf

- Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport. (2009). *Progression des apprentissages au primaire : français, langue d'enseignement*. Repéré à http://www1.education.gouv.qc.ca/progressionPrimaire/francaisEns/pdf/fraEns_SectionCom.pdf
- Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport. (2014). *Indices de défavorisation par école – 2013-2014*. Repéré à http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/PSG/statistiques_info_decisionnelle/stat_Indices_defavorisation_2013_2014.pdf
- Miyake, A., & Shah, P. (1999). Toward unified theories of working memory: Emerging general consensus, unresolved theoretical issues, and future research directions. Dans A. Miyake & P. Shah (Éds), *Models of working memory : Mecanisms of active maintenance and executive control* (pp. 442-481). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- 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
- Myatchin, I., Lemiere, J., Danckaerts, M., & Lagae, L. (2012). Within-subject variability during spatial working memory in children with ADHD: an event-related potentials study. *European Child & Adolescent Psychiatry*, *21*(4), 199-210. doi:10.1007/s00787-012-0253-1
- Nairn, A., & Clarke, B. (2012). Researching children: Are we getting it right? A discussion of ethics. *International Journal of Market Research*, *54*(2), 177-198. doi:10.2501/IJMR-54-2-177-198
- Nevo, E., & Bar-Kochva, I. (2015). The relations between early working memory abilities and later developing reading skills: A longitudinal study from kindergarden to fifth grade. *Mind, Brain, and Education*, *9*(3), 154-163. doi:10.1111/mbe.12084
- Nevo, E., & Breznitz, Z. (2011). Assessment of working memory component at 6 years of age as predictors of reading achievements a year later. *Journal of Experimental Child Psychology*, *109*(1), 73-90. doi:10.1016/j.jecp.2010.09.010
- Nevo, E., & Breznitz, Z. (2013). The development of working memory from kindergarden to first grade in children with different decoding skills. *Journal of Experimental Child Psychology*, *114*(2), 217-228. doi:10.1016/j.jecp.2012.09.004
- Olesen, P. J., Westerberg, H., & Klingberg, T. (2004). Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory. *Nature Neuroscience*, *7*(1), 75-79. doi:10.1038/nn1165

- Ordre des psychologues du Québec. (2014). *Lignes directrices pour l'évaluation de la dyslexie chez les enfants* [Brochure]. Montréal, QC : Auteur.
- Parent, V. (2010). *Utilisation de la remédiation cognitive comme stratégies d'intervention auprès d'enfants présentant des difficultés d'adaptation*. Thèse de doctorat inédite, Université du Québec à Montréal.
- Parent, V., Guay, M-C., Lageix, P., & Achim, A. (2007). Cognitive remediation impacts on children with conduct disorder. *Annual Review of Cybertherapy and Telemedicine : Transforming Healthcare Through Technology*, 5, 90-98.
- Pearson education. (2011). *Coaching manual: Cogmed working memory training*. Repéré à <http://cogmed.com/wp-content/uploads/2010/07/Coaching-manual-US-1.0.9.pdf>
- Pearson education. (2016). *Cogmed working memory training*. Repéré à <http://www.cogmed.com>
- Peijnenborgh, J. C. A. W., Hurks, P. M., Aldenkamp, A. P., Vles, J. S. H., & Hendriksen, J. G. M. (2016). Efficacy of working memory training in children and adolescents with learning disabilities: A review study and meta-analysis. *Neuropsychological Rehabilitation*, 26(5-6), 645-672. doi:10.1080/09602011.2015.1026356
- 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
- Randall, L., & Tyldesly, K. (2016). Evaluating the impact of working memory training programmes on children – a systematic review. *Educational and Child Psychology*, 33(1), 34-50.
- Raven, J. C., Court, J. H., & Raven, J. (1998). *Manuel des ravens: progressive matrices couleur*. Paris: ECPA.
- Roberts, G., Quach, J., Spencer-Smith, M., Anderson, P. J., Gathercole, S., 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
- 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

- Schwaighofer, M., Fischer, F., & Bühner, M. (2015). Does working memory training transfer? A meta-analysis including training conditions as moderators. *Educational Psychologist, 50*(2), 138-166. doi:10.1080/00461520.2015.1036274
- Seigneuric, A., & Ehrlich, M. (2005). Contribution of working memory capacity to children's reading comprehension: A longitudinal investigation. *Reading and Writing, 18*(7), 617-656. doi:10.1007/s11145-005-2038-0
- Seigneuric, A., Ehrlich, M., Oakhill, J. V., & Yuill, N. M. (2000). Working memory resources and children's reading comprehension. *Reading and Writing, 13*(1), 81-103. doi:10.1023/A:1008088230941
- Shah, P., & Miyake, A. (1996). The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: General, 125*(1), 4-27. doi:10.1037/0096-3445.125.1.4
- Shaul, S., & Nevo, E. (2015). Different speed of processing levels in childhood and their contribution to early literacy and reading abilities. *Early Childhood Research Quarterly, 32*, 193-203. doi:10.1016/j.ecresq.2015.03.006
- Shipstead, Z., Hicks, K. L., & Engle, R. W. (2012a). Cogmed working memory training: Does the evidence support the claims? *Journal of Applied Research in Memory and Cognition, 1*(3), 185-193. doi:10.1016/j.jarmac.2012.06.003
- Shipstead, Z., Hicks, K. L., & Engle, R. W. (2012b). Working memory training remains a work in progress. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition, 1*(3), 217-219. doi:10.1016/j.jarmac.2012.07.009
- Siegel, L. S. (1994). Working memory and reading: A life-span perspective. *International Journal of Behavioral Development, 17*(1), 109-124. doi:10.1177/016502549401700107
- 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:10.2307/1131037
- Simons, D. J., Boot, W. R., Charness, N., Gathercole, S. E., Chabris, C. F., Hambrick, D. Z., & Stine-Morrow, E. A. L. (2016). Do 'Brain-training' programs work? *Psychological Science in the Public Interest: a journal of the American Psychological Society, 17*(3), 103-186. doi:10.1177/1529100616661983

- Smith, E. E., & Jonides, J. (1997). Working memory: a view from neuroimaging. *Cognitive Psychology*, 33(1), 5-42. doi:10.1006/cogp.1997.0658
- Statistique Canada (2007). *L'enquête sur la participation et les limitations d'activités de 2006 : rapport analytique*. Ottawa, Canada.
- St Clair-Thompson, H., & Holmes, J. (2008). Improving short-term and working memory: Methods of memory training. Dans N. B. Johansen (Ed.) *New research on short-term memory* (pp. 125-154). New-York, NY: Nova Science Pub Inc.
- 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
- Studer-Luethi, B., Bauer, C., & Perrig, W. J. (2016). Working memory training in children: Effectiveness depends on temperament. *Memory & Cognition*, 44(2), 171-186. doi:10.3758/s13421-015-0548-9
- Swanson, H. L., & Berninger, V. (1995). The role of working memory in skilled and less skilled readers' comprehension. *Intelligence*, 21(1), 83-108. doi:10.1016/0160-2896(95)90040-3
- Swanson, H. L., & Howell, M. (2001). Working memory, short-term memory, and speech rate as predictors of children's reading performance at different ages. *Journal of Educational Psychology*, 93(4), 720-734. doi:10.1037/0022-0663.93.4.720
- Swanson, H. L., Howard, C. B., & Saez, L. (2006). Do different components of working memory underlie different subgroups of reading disabilities? *Journal of Learning Disabilities*, 39(3), 252-269. doi:10.1177/00222194060390030501
- Swanson, H. L., Zheng, X., & 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.
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2012). *Using Multivariate Statistics* (6^e éd.). Boston, MA: Pearson.
- Tam, H., Jarrold, C. Baddeley, A. D., & Sabastos-DeVito, M. (2010). The development of memory maintenance: Children's use of phonological rehearsal and attentional refreshment in working memory tasks. *Journal of Experimental Child Psychology*, 107(3), 306-324. doi:10.1016/j.jecp.2010.05.006
- The Psychological Corporation (2004). *WISC-IV^{CND} - Canadian manual*. Toronto, ON: Harcourt Assessment.

- Therrien, H., Parent, V., Achim, A., & Guay, M-C. (2011, mai). *Rééducation des capacités de mémoire de travail chez des élèves dyslexiques du primaire : résultats d'une étude pilote et discussion concernant ce type d'intervention*. Communication présentée au 79^e congrès annuel de l'ACFAS, Sherbrooke, Qc.
- Therrien, H., Turcotte, F. M., Parent, P., & Guay, M-C. (2013, Septembre). *Rééducation des capacités de mémoire de travail en milieu scolaire auprès d'élèves du primaire présentant des difficultés d'apprentissage en lecture et en écriture*. Communication présentée au colloque étudiant du collectif CLÉ, Sherbrooke, Qc.
- 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
- Unsworth, N., & Engle, E. 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:0.1037/0033-295X.114.1.104
- Vallar, G., & Baddeley, A. D. (1984). Fractionation of working memory: Neuropsychological evidence for a phonological short-term store. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 23 (2). 151-161. doi:10.1016/S0022-5371(84)90104-X
- 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*, 54(5), 433-447. doi:10.1111/j.1365-2788.2010.01285.x
- 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
- Varvara, P., Varuzza, C., Sorrentino, A. C. P., Vicari, S., & Menghini, D. (2014). Executive functions in developmental dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8(120). doi:10.3389/fnhum.2014.00120
- Wang, S., Allen, R. J., Lee, J. R., & Hsieh, C. E. (2015). Evaluating the developmental trajectory of the episodic buffer component of working memory and its relation to word recognition in children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 133, 16-28. doi:10.1016/j.jecp.2015.01.002

- Wass, S. V., Scerif, G., & Johnson, M. H. (2012). Training attentional control and working memory – Is younger, better? *Developmental Review*, 32(4), 360-387. doi:10.1016/j.dr.2012.07.001
- Wechsler, D. (2005a). *WIAT-II^{CND-F} – Test de rendement individuel de Wechsler-deuxième édition – version pour francophones du Canada*. Toronto, ON: Pearson.
- Wechsler, D. (2005b). *WIAT-II^{CND-F} – Test de rendement individuel de Wechsler-deuxième édition – version pour francophones du Canada – tableaux de normes et de conversion*. Toronto, ON: Pearson.
- Wechsler, D. (2005c). *WISC-IV^{CDN-F} - L'échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants - quatrième édition: version pour francophones du Canada*. Toronto, ON: Harcourt Assessment.
- Wechsler, D. (2006). *Échelle non verbale d'aptitude de Wechsler, version canadienne*. Toronto, ON : Harcourt Assessment.
- Wechsler, D. (2007). *WISC-IV^{CDN-F} - L'échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants - quatrième édition: version pour francophones du Canada – manuel de normes québécoises*. Toronto, ON: Harcourt Assessment.
- Wechsler, D. (2008). *WIAT-II^{CND-F} – Test de rendement individuel de Wechsler-deuxième édition – version pour francophones du Canada – manuel des normes québécoises*. Toronto, ON: Pearson.
- Westerberg, H., & Klingberg, T. (2007). Changes in cortical activity after training of working memory – a single-subject analysis. *Physiology & Behavior*, 92(1-2), 186-192. doi:10.1016/j.physbeh.2007.05.041
- Wiebe, S. A., Sheffield, T., Nelson, J. M., Clark, C. A. C., Chevalier, N., & Epsy, K. A. (2011). The structure of executive function in 3-year-olds. *Journal of Experimental Child Psychology*, 108(3), 436-452. doi:10.1016/j.jecp.2010.08.008
- Wilson, A. M., Armstrong, C. D., Furrrie, A., & Walcot, E. (2009). The mental health of Canadians with self-reported learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 42(1), 24-40. doi:10.1177/0022219408326216
- Woolley, G. (2011). *Reading comprehension: Assisting children with learning difficulties*. Brisbane, Australia: Springer. doi:10.1007/978-94-007-1174-7

Appendice A

Dépliant explicatif du projet de recherche

Déroulement du programme

- ✦ *Le programme est d'une durée de 6 semaines, impliquant 4 séances d'entraînement par semaine, d'une durée d'environ 30 minutes chacune.*
- ✦ *Les séances ont lieu directement à l'école de votre enfant à des moments pré-déterminés avec le personnel scolaire afin de ne pas nuire au fonctionnement de votre enfant dans la classe.*
- ✦ *Les séances ont lieu sous la supervision active d'un intervenant formé à l'utilisation de ce programme.*
- ✦ *Le programme implique aussi deux évaluations cognitives d'une durée d'environ 2h00 chacune, soit avant et après les 6 semaines d'entraînement, et ce, toujours à l'école de votre enfant.*

Comment nous contacter?

- ✦ *Si vous êtes intéressés à ce que votre enfant participe à ce projet, vous n'avez qu'à signer le formulaire de consentement ci-joint et à la retourner à l'école par le biais de votre enfant.*
- ✦ *Si vous souhaitez obtenir de plus amples renseignements au sujet du projet de recherche, contactez nous :*
- ✦ *Véronique Parent, Ph.D.
Professeure
Département de psychologie
Université de Sherbrooke
Campus de Longueuil*
- ✦ *450-463-1835, poste 61616*

Programme informatisé d'entraînement de la mémoire de travail



Un programme intensif permet-il de favoriser le développement des capacités d'apprentissage de l'élève ?

Département de psychologie



Un projet de recherche pour qui?

- ✦ Pour les élèves de 1^{re} et de 2^e année du primaire...
- ✦ Qui aiment les activités à l'ordinateur...
- ✦ Et qui auraient du plaisir à participer à un projet de recherche.

Un projet de recherche...pourquoi?

- ✦ Les difficultés d'apprentissage constituent souvent un obstacle à la réussite et à la persévérance scolaire puis elles se développent souvent dès les premières années de scolarisation, d'où l'importance d'intervenir tôt.
- ✦ Parmi les variables pouvant expliquer ces difficultés, la mémoire

de travail suscite de plus en plus l'intérêt... En effet, la mémoire de travail est un important prédicteur des performances scolaires à plus long terme.

- ✦ Par ailleurs, à ce jour, bon nombre d'études ont démontré qu'il est possible d'améliorer la mémoire de travail par un entraînement cognitif spécifique.

L'entraînement cognitif c'est quoi?

- ✦ Il s'agit d'une technique d'intervention relativement récente qui a pour objectif de favoriser le développement, par le biais d'activités de stimulation présentées sur l'ordinateur, de certaines fonctions cognitives, comme la mémoire de travail.



La mémoire de travail c'est quoi?

- ✦ Une fonction cognitive qui permet d'emmagasiner et de manipuler mentalement l'information lors de la réalisation d'une tâche cognitive.
- ✦ Cette fonction est sollicitée dans un grand nombre d'activités cognitives : le raisonnement, la résolution de problèmes, la lecture, l'écriture, l'écoute en classe... Donc, dans l'apprentissage...

Objectifs de l'étude : quels sont-ils?

- ✦ Évaluer l'efficacité d'un programme d'entraînement cognitif centré sur le développement de la mémoire de travail auprès d'élèves en début de scolarisation.
- ✦ Évaluer si l'entraînement de la mémoire de travail permet l'amélioration du rendement scolaire.
- ✦ L'objectif ultime étant ici de développer une intervention pouvant être utilisée suffisamment tôt dans le cheminement scolaire de l'enfant pour viser la prévention des difficultés scolaires.

Appendice B

Formulaire d'information et de consentement

FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT

Votre enfant est invité(e) à participer à un projet de recherche. Le présent document vous renseigne sur les modalités de ce projet de recherche. S'il y a des mots ou des paragraphes que vous ne comprenez pas, n'hésitez pas à poser des questions. Pour participer à ce projet de recherche, vous devrez compléter la fiche d'inscription ci-jointe et signer le consentement à la fin de ce document et nous vous en remettrons une copie signée et datée.

Titre du projet

Comment un programme informatisé visant l'entraînement de la mémoire contribue-t-il au développement des capacités d'apprentissage chez les élèves en début de scolarisation ?

Personnes responsables du projet

Véronique Parent, M.Ps., Ph.D., Professeure au département de psychologie
Université de Sherbrooke, Campus de Longueuil

Financement du projet de recherche

Le chercheur a reçu des fonds de l'Université de Sherbrooke et du *Fond de Recherche sur la Société et la Culture* (FQRSC) pour mener à bien ce projet de recherche. Les fonds reçus couvrent les frais reliés à ce projet de recherche.

Objectifs du projet

Les difficultés d'apprentissage constituent souvent un obstacle à la persévérance et à la réussite scolaire de l'élève puis elles se développent dès les premières années de scolarisation, d'où l'importance d'intervenir tôt. Parmi les facteurs pouvant expliquer ces difficultés, la mémoire ou plus précisément la mémoire de travail, constitue un élément important. En effet, la mémoire de travail, qui permet non seulement de retenir de l'information, mais également de la manipuler, est un important prédicteur des performances scolaires à plus long terme. Par ailleurs, plusieurs études ont démontré qu'il était possible d'améliorer la mémoire de travail par le biais d'un entraînement effectué à l'aide d'exercices informatisés. Le présent projet s'inscrit dans ce contexte et a pour objectif de démontrer l'impact d'un entraînement de la mémoire de travail sur ces mêmes capacités puis, de par les liens qu'ils entretiennent, sur le niveau de fonctionnement intellectuel et les apprentissages scolaires, chez des élèves du 1^{er} cycle du primaire.

Raison et nature de la participation

Puisque votre enfant fréquente l'école régulière, qu'il est âgé de 6 à 8 ans et qu'il n'a pas de problèmes spécifiques d'apprentissage, il est invité à participer à l'étude. Plus spécifiquement, votre enfant fera partie d'un des deux groupes formés pour l'étude. Le premier groupe dit « expérimental » recevra le programme d'entraînement de la mémoire de travail dans un premier temps et le deuxième, appelé groupe « comparaison », recevra pour sa part l'intervention après le groupe « expérimental » soit environ 6 semaines après le début de l'étude. L'assignation de votre enfant dans un ou l'autre de ces groupes s'effectuera de façon tout à fait aléatoire (au hasard). Lorsque les groupes seront formés, nous vous aviserons, par écrit, du groupe dans lequel se trouve votre enfant.

La participation de votre enfant à l'intervention visant l'entraînement de la mémoire de travail implique 24 sessions durant lesquelles votre enfant effectuera des exercices informatisés afin de développer sa mémoire de travail. Le rythme des sessions est de quatre sessions d'environ 30 minutes chacune par semaine, pendant six semaines. Les sessions d'entraînement sont effectuées directement à l'école de votre enfant. Le programme informatisé employé dans cette étude est un programme expérimental.

La participation de votre enfant à ce projet implique également trois rencontres d'évaluation à l'école de votre enfant pour mesurer les effets du programme

d'entraînement de la mémoire de travail sur ses capacités de mémoire de travail et son rendement scolaire. La durée maximale de ces évaluations est d'environ 120 minutes. De manière plus spécifique, une première évaluation a lieu au début du projet, une seconde, une fois l'intervention terminée (après 6 semaines) et finalement, une troisième, 6 mois après l'arrêt de l'intervention.

Avantages pouvant découler de la participation

Les résultats d'études récentes suggèrent que l'entraînement de la mémoire de travail peut améliorer certains processus cognitifs, tel que la mémoire de travail en soi et le raisonnement logique (utile notamment lors de la résolution de problèmes mathématiques). Également, les résultats escomptés sont que l'amélioration des capacités en mémoire de travail puisse entraîner une amélioration significative du rendement scolaire. En participant à ce programme d'intervention à l'ordinateur, les participants pourront également développer certaines habiletés utiles au travail sur ordinateur. À cela s'ajoute le fait qu'elle contribuera à l'avancement des connaissances entourant la réussite et la persévérance scolaire.

Inconvénients et risques pouvant découler de la participation

La participation de votre enfant à la recherche ne devrait pas comporter d'inconvénients significatifs, si ce n'est que, comme le programme se réalise directement dans le milieu scolaire, il est probable que le temps d'entraînement empiète sur une autre activité (heure du repas, récréation, période en classe, etc.). Toutefois, tous les enseignants des élèves participant au programme en classe seront contactés par un membre de l'équipe de recherche et ils tenteront ensemble de privilégier des périodes d'entraînement cognitif qui minimisent les inconvénients pour l'élève. Enfin, il n'y a aucun risque connu relié à la participation.

Droit de retrait sans préjudice de la participation

Il est entendu que la participation de votre enfant à ce projet de recherche est tout à fait volontaire et que vous et votre enfant restez libres, à tout moment, de mettre fin à la participation de ce dernier sans avoir à motiver votre décision ni à subir de préjudice de quelque nature que ce soit.

Advenant que vous souhaitiez que votre enfant ne participe plus à l'étude ou que votre enfant souhaite se retirer de l'étude, demandez-vous que les documents écrits le concernant soient détruits?

Oui Non

Il vous sera toujours possible de revenir sur votre décision. Le cas échéant, la chercheuse vous demandera explicitement si vous désirez la modifier.

Confidentialité, partage, surveillance et publications

Durant la participation de votre enfant à ce projet de recherche, la chercheuse responsable ainsi que son personnel recueilleront et consigneront dans un dossier de recherche les renseignements le concernant. Seuls les renseignements nécessaires à la bonne conduite du projet de recherche seront recueillis. Tous les renseignements recueillis au cours du projet de recherche demeureront strictement confidentiels dans les limites prévues par la loi. Afin de préserver l'identité de votre enfant et la confidentialité de ces renseignements, il ne sera identifié(e) que par un numéro de code. La clé du code reliant le nom de votre à son dossier de recherche sera conservé par la chercheuse responsable du projet de recherche.

La chercheuse principale de l'étude utilisera les données à des fins de recherche dans le but de répondre aux objectifs scientifiques du projet de recherche décrits dans ce formulaire d'information et de consentement.

Les données du projet de recherche pourront être publiées dans des revues scientifiques ou partagées avec d'autres personnes lors de discussions scientifiques. Aucune publication ou communication scientifique ne renfermera d'information permettant d'identifier votre enfant. Dans le cas contraire, votre permission vous sera demandée au préalable.

Les données recueillies seront conservées, sous clé, pour une période n'excédant pas 5 ans. Après cette période, les données seront détruites. Aucun renseignement permettant d'identifier les personnes qui ont participé à l'étude n'apparaîtra dans aucune documentation.

À des fins de surveillance et de contrôle, le dossier de recherche de votre enfant pourrait être consulté par une personne mandatée par le Comité d'éthique de la recherche Lettres et sciences humaines, ou par des organismes gouvernementaux mandatés par la loi. Toutes ces personnes et ces organismes adhèrent à une politique de confidentialité.

Enregistrement audio

Une partie des réponses de votre enfant seront enregistrées et cet enregistrement sera écouté uniquement par la personne qui évaluera votre enfant et sera détruit à la suite de son écoute. En fait, nous nous intéressons à la prononciation des mots de votre enfant (comme dans la lecture d'un texte qui lui sera demandé) et cet enregistrement permettra seulement à l'évaluatrice ou à l'évaluateur de voir si elle ou il a bien noté la première fois la prononciation des réponses données par votre enfant à ces tests.

Nous autorisez-vous à procéder à cet enregistrement afin de s'assurer de la qualité des données recueillies?

Oui Non

Résultats de la recherche et publication

Vous serez informé des résultats de la recherche et des publications qui en découleront, le cas échéant, par le biais d'un court dépliant explicatif, transmis par le biais du milieu scolaire. Nous préserverons l'anonymat des personnes ayant participé à l'étude.

À votre demande, si vous le souhaitez, il vous sera également possible de recevoir un bref résumé des résultats d'évaluations de votre enfant.

Utilisation secondaire des données

La quantité des données recueillies pourra servir de matériel pour des questions de recherche qui ne font pas l'objet de cette demande et pourra alimenter, par exemple, des travaux de thèses ou d'autres articles scientifiques.

Initiales du participant : _____ Initiales des parents du participant : _____

Dans cette éventualité, autorisez-vous les responsables de ce projet à utiliser les données ici recueillies auprès de vous et de votre jeune, et ce, de manière tout à fait confidentielle?

Oui Non

Surveillance des aspects éthiques et identification du président du Comité d'éthique de la recherche Lettres et sciences humaines

Le Comité d'éthique de la recherche Lettres et sciences humaines a approuvé ce projet de recherche et en assure le suivi. De plus, il approuvera au préalable toute révision et toute modification apportée au formulaire d'information et de consentement, ainsi qu'au protocole de recherche.

Vous pouvez parler de tout problème éthique concernant les conditions dans lesquelles se déroule votre participation à ce projet avec la responsable du projet ou expliquer vos préoccupations à **Mme Dominique Lorrain**, présidente du Comité d'éthique de la recherche Lettres et sciences humaines, en communiquant par l'intermédiaire de son secrétariat.

Consentement libre et éclairé

Je, _____ (*nom en caractères d'imprimerie*), en ma qualité de parent de _____ (*nom de votre enfant*), déclare avoir lu et/ou compris le présent formulaire et j'en ai reçu un exemplaire. Je comprends la nature et le motif de la participation de mon enfant au projet. J'ai eu l'occasion de poser des questions auxquelles on a répondu, à ma satisfaction.

Par la présente, j'accepte librement que mon enfant participe au projet.

Signature du parent ou tuteur :

Nom :

Date :

Message à l'attention de l'enfant

Tu es invité(e) à participer à un projet de recherche qui aura lieu à ton école. Plus précisément, tu seras invité(e) à faire des exercices à l'ordinateur pendant six semaines

afin de développer ta mémoire. De plus, un membre de l'équipe de recherche ira te rencontrer à deux ou trois reprises pour faire des exercices qui ressemblent à ce que tu fais à l'école et qui visent à voir comment tu apprends. Il est important pour nous que tu bien d'accord à participer à ce projet.

Déclaration de responsabilité des chercheurs de l'étude

Je, _____ chercheuse principale de l'étude, déclare que, ainsi que mon équipe de recherche, sommes responsables du déroulement du présent projet de recherche. Nous nous engageons à respecter les obligations énoncées dans ce document et également à vous informer de tout élément qui serait susceptible de modifier la nature de votre consentement.

Signature de la chercheuse principale de l'étude : _____

Date : _____

Appendice C
Certificat d'éthique

CERTIFICAT D'ÉTHIQUE

Numéro du projet : 2011-67

Titre du projet : Entraînement de la mémoire de travail comme mesure d'intervention visant le développement des capacités d'apprentissage des élèves en début de scolarisation

Projet subventionné Projet non subventionné Projet de maîtrise ou de doctorat

Organisme subventionnaire : Fonds institutionnel de l'Université de Sherbrooke et Fonds de recherche sur la société et la culture

Nom de l'étudiante ou de l'étudiant :

Nom de la directrice ou du directeur :

Nom du ou de la responsable : Véronique Parent

DÉCISION : Favorable Unanime Majoritaire
 Défavorable Unanime Majoritaire

DÉCISION DIFFÉRÉE :

SUIVI ÉTHIQUE :

6 mois 1 an

ou

sous la responsabilité de la directrice ou du directeur du projet

COMMENTAIRES :

Olivier Laverdière
Président du comité d'éthique de la recherche
Lettres et sciences humaines

Date : 29 novembre 2016