

Dyslexie et déficits de la mémoire à court terme/de travail : implications pour la remédiation

S. MAJERUS*,**, M. PONCELET*

*,** Université de Liège.

* Fonds de la recherche scientifique – FNRS. Prof. Steve Majerus, Maître de Recherches F.R.S.-FNRS. Unité de recherche psychologie et neurosciences cognitives – PsyNCog. Université de Liège. Boulevard du Rectorat, B33, 4000 Liège, Belgique. Email : smajerus@uliege.be

RÉSUMÉ : Dyslexie et déficits de la mémoire à court terme/de travail : implications pour la remédiation

Les déficits de la mémoire à court terme ou de la mémoire de travail constituent un trouble fréquemment associé à la dyslexie. Les études récentes ont mis en évidence que ces déficits concernent non seulement la capacité à maintenir les informations phonologiques, mais également les capacités de maintien de l'ordre séquentiel dans lequel les informations ont été présentées. Ce dernier déficit semble caractériser à la fois la modalité auditivo-verbale et la modalité visuelle et risque d'aggraver les troubles des apprentissages verbaux des enfants dyslexiques. Nous présentons des pistes potentielles pour la remédiation des déficits de la mémoire à court terme/de travail tout en soulignant le manque d'études empiriques qui auraient tenté de déterminer l'efficacité de ces pistes de remédiation dans le contexte de la dyslexie.

Mots clés : *Mémoire à court terme – Mémoire de travail – Dyslexie – Rééducation.*

SUMMARY: xxxx

Short-term/working memory deficits are frequently associated with dyslexia. Recent studies show that these deficits do not only involve the ability to maintain phonological information, but also the ability to maintain the serial order in which the information has been presented. The deficit for maintaining serial order information appears to characterize both verbal and visuo-spatial modalities and may further reduce verbal learning abilities in children with dyslexia. We present possible intervention methods for remediating short-term / working memory deficits and highlight the lack of empirical studies that would have tried to determine the efficacy of these intervention methods in the context of dyslexia.

Key words: *Short-term memory – Working memory – Dyslexia – Training.*

RESUMEN: xxxx

xxxx

Palabras clave: xxx

La dyslexie n'est pas seulement caractérisée par des difficultés de lecture et d'orthographe, mais également par des déficits associés, dont notamment les troubles de la mémoire à court terme¹ (MCT) (Avons & Hanna, 1995 ; Brady *et al.*, 1983 ; Snowling *et al.*, 1996). Il est important de ne pas sous-estimer ces déficits, car ils pourraient aggraver les difficultés d'apprentissage de la lecture déjà présentes, et mener à des difficultés dans les apprentissages verbaux de manière générale. En effet, une série d'études a montré que les capacités de la MCT pour des informations verbales prédisent les capacités d'apprentissage de la lecture, du vocabulaire et du calcul (Attout, Noël & Majerus, 2014 ; Gathercole & Baddeley, 1993 ; Leclercq & Majerus, 2010 ; Majerus & Boukebza, 2013 ; Martinez-Perez, Majerus & Poncelet, 2012a). Pour ces raisons, il est important d'identifier les troubles de la MCT auprès d'enfants dyslexiques et de mettre en place des interventions qui leur permettent de progresser le mieux possible dans les apprentissages malgré leurs limitations au niveau de la MCT. Avant d'aborder les interventions potentielles pour prendre en charge les troubles de la MCT, il est cependant crucial de se pencher d'abord sur la nature des déficits de la MCT dans la dyslexie.

La nature des déficits de la MCT dans la dyslexie

Déterminer la nature des déficits de la MCT dans la dyslexie n'est pas une tâche facile dans la mesure où les troubles langagiers qui caractérisent la dyslexie pourraient eux-mêmes être à l'origine des difficultés de la MCT, surtout en ce qui concerne la MCT verbale. La dyslexie est caractérisée par des altérations des représentations phonologiques ou de l'accès à celles-ci (Ramus *et al.*, 2003 ; Ramus, Marshall, Rosen & van der Lely, 2013 ; Serniclaes, Van Heghe, Mousty, Carré & Sprenger-Charolles, 2004 ; Szenkovits & Ramus, 2005). Ces altérations pourraient mener à des difficultés à encoder les informations de manière rapide et correcte dans des tâches de MCT auditivo-verbales. De nombreuses études ont en effet montré que les performances dans les tâches de MCT verbales sont améliorées pour des stimuli langagiers qui sont facilement activables dans le système langagier tels que des mots lexicalement fréquents versus peu fréquents (voir Majerus, 2013 pour une revue de littérature plus détaillée). Une manière de résoudre la question de l'origine des déficits de la MCT dans la dyslexie est de distinguer d'un côté, les informations à retenir et leurs caractéristiques phonologiques et sémantiques (aspect « item »), et, d'un autre côté, l'ordre sériel dans lequel les informations à retenir ont été présentées (aspect « ordre sériel »). En effet, c'est surtout le maintien de l'aspect « item » qui est sensible à l'influence des connaissances langagières alors que l'aspect « ordre sériel » est censé dépendre de processus distincts du système langagier (Majerus, Norris & Patterson, 2007 ; Nairne & Kelley, 2004). Ainsi, si les problèmes de la MCT

dans la dyslexie sont la conséquence de troubles phonologiques sous-jacents, alors un déficit devrait être observé surtout pour le maintien de l'information « item » phonologique. Si des déficits supplémentaires et indépendants des connaissances langagières caractérisent les difficultés dans les tâches de MCT, alors des problèmes au niveau du maintien de l'information « ordre sériel » devraient également être observés, et ceci surtout pour des séquences où l'ordre des informations est arbitraire et ne peut pas être rattaché à des structures linguistiques existantes. Majerus et Cowan (2016) ont récemment réalisé une synthèse de la littérature sur toutes les études contrastant les aspects « item » et « ordre sériel » en MCT auprès d'enfants dyslexiques ou d'adultes présentant une histoire de dyslexie développementale. Cette synthèse de littérature a montré la présence de difficultés à la fois pour les aspects « item » et « ordre sériel » dans les performances aux tâches de MCT verbale auprès d'enfants et d'adultes dyslexiques, même si le nombre d'études auprès de populations d'enfants est encore relativement faible. De manière importante, le déficit pour l'aspect « ordre sériel » est également observé dans des tâches de MCT visuo-spatiale, ce qui écarte la possibilité que les difficultés en MCT chez le sujet dyslexique soient uniquement la conséquence des troubles phonologiques sous-jacents (Hachmann *et al.*, 2014 ; Romani, Tsouknida & Olson, 2015). En outre, Martinez-Perez, Poncelet, Salmon et Majerus (2015) ont observé que les difficultés pour le traitement de l'ordre sériel en MCT verbale et visuo-spatiale chez de jeunes adultes avec une histoire de dyslexie étaient liées à une moindre activation du sillon intrapariétal droit, dont l'importance pour le traitement de l'ordre sériel en MCT a été démontrée dans d'autres études auprès du sujet typique (Majerus *et al.*, 2006).

L'observation de difficultés au niveau du traitement de l'ordre sériel dans la dyslexie est importante d'un point de vue fonctionnel, car de nombreuses études, réalisées auprès de l'enfant tout-venant, ont montré que c'est particulièrement cet aspect de la MCT qui prédit les capacités d'apprentissage verbal et numérique, deux domaines qui sont caractérisés par le traitement d'informations séquentielles (séquences de phonèmes, séquences de correspondances graphème-phonème, séquences de chiffres, séquences d'éléments dans une suite logique ou problème arithmétique...). En effet, les tâches de MCT maximisant la rétention de l'ordre des informations (tâche de reconstruction de l'ordre sériel ; voir Majerus (2014) et www.ppc.ulg.ac.be/evaluation.htm pour des tâches disponibles en français) prédisent de manière plus robuste le niveau de vocabulaire, la vitesse d'apprentissage d'un nouveau vocabulaire et de nouvelles représentations orthographiques, les premiers pas en lecture par décodage, et le calcul mental que des tâches de MCT maximisant la rétention de l'information item phonologique (répétition de non-mots isolés et courts après un bref délai, voir également www.ppc.ulg.ac.be/evaluation.htm) (Attout, Noël & Majerus, 2014 ; Majerus, Poncelet, Greffe & Van der Linden, 2006 ; Leclercq & Majerus, 2010 ; Martinez-Perez *et al.*, 2012a ; Binamé & Poncelet, 2016 ; Binamé, Danzio & Poncelet, 2015). Il semble donc important de tenir compte de ce déficit en MCT pour l'ordre sériel afin d'aider l'enfant

¹ Nous ne faisons pas ici de distinction entre les termes « mémoire à court terme » et « mémoire de travail », les deux termes renvoyant au stockage à court terme d'informations et les processus qui définissent cette capacité.

dyslexique à progresser dans ses apprentissages de manière optimale malgré ses difficultés.

La rééducation de la MCT dans la dyslexie

D'emblée, il faut noter qu'à l'heure actuelle il existe extrêmement peu d'études qui ont évalué l'efficacité et la validité de la rééducation de la MCT dans la dyslexie. Nous allons présenter ici plusieurs pistes de rééducation possibles, et les mettre en relation avec la nature des déficits de la MCT identifiés dans la dyslexie. Nous attirons l'attention du lecteur sur le fait que la majorité des pistes de rééducation présentées doivent être considérées comme des propositions hypothétiques dont la pertinence et l'efficacité restent à être évaluées. Notons également que nous discutons ici uniquement des méthodes de prises en charge pertinentes dans le cadre de la dyslexie ; pour une présentation plus complète des différents outils de rééducation de la MCT actuellement disponibles, voir Majerus (2016) et Majerus, Poncelet et Van der Kaa (2016).

Récapitulation subvocale et autres stratégies

Une des rares approches qui a été évaluée de manière empirique dans la dyslexie est l'optimisation du contrôle stratégique des processus mis en œuvre dans des tâches de MCT. Parmi ces stratégies figure la récapitulation articulatoire, qui permet de rafraîchir les informations à maintenir via leur répétition subvocale (Baddeley & Hitch, 1974 ; Logie, Della Salla, Laiacona, Chalmers & Wynn, 1996). Cette stratégie est utilisée de manière plus spontanée et systématique chez l'enfant à partir de 7 ans (Gathercole, 2002). Swanson, Kehler et Jerman (2010) ont entraîné des enfants avec ou sans troubles de la lecture à utiliser les stratégies les plus pertinentes en fonction de différents types de tâches de MCT verbale et visuo-spatiale à réaliser ; à côté de la récapitulation articulatoire, les enfants avaient le choix entre des stratégies de groupement (*chunking*), d'association ou d'élaboration des informations à maintenir. Les résultats ont montré qu'après entraînement, les enfants présentaient une augmentation de leurs performances dans des tâches de MCT verbale et visuo-spatiale, mais, de manière cruciale, la différence de performance initiale entre les deux groupes persistait, indiquant que l'entraînement n'a pas permis d'augmenter les capacités de la MCT chez les enfants avec troubles de la lecture. Ce résultat n'est pas surprenant, car au départ les enfants dans les deux groupes ne se distinguaient pas en termes de connaissance des stratégies à utiliser dans des tâches de MCT. En d'autres termes, l'entraînement proposé ici n'a pas ciblé de manière spécifique les processus qui sont à l'origine des déficits de la MCT chez les enfants dyslexiques.

Drill au maintien d'informations phonologiques

Étant donné que la dyslexie est caractérisée d'abord par des difficultés au niveau de l'analyse et de l'accès aux des représentations phonologiques et/ou de l'accès à celles-ci, et que ces difficultés ont des répercussions sur le maintien de l'information « item » phonologique en MCT, il semble intéressant de cibler davantage cet aspect de la MCT

verbale dans le cadre de la rééducation. Il existe des techniques de rééducation qui ont été spécifiquement développées pour le maintien de l'information phonologique « item », et ceci plus particulièrement auprès du patient aphasique (Majerus, Attout, Artielle & Van der Kaa, 2015). Une série d'études ont montré qu'un entraînement intensif à la répétition immédiate ou différée d'informations phonologiques telles que des non-mots ou des mots peut augmenter les capacités de la MCT verbale de manière importante chez le patient aphasique, jusqu'à aboutir à une normalisation des performances dans certains cas (Harris, Olson & Humphreys, 2014 ; Majerus, Van der Kaa, Renard, Van der Linden & Poncelet, 2005 ; Kalinyak-Fliszar, Kohen & Martin, 2011 ; Koenig-Bruhni & Studer-Eichenberger, 2007 ; Van der Kaa & Majerus, 2007). Il est cependant prématuré de transposer ces résultats à la rééducation de la MCT verbale chez l'enfant dyslexique. En effet, un patient aphasique a des capacités de MCT verbale qui étaient intactes avant la survenue de l'accident cérébral, et les déficits qui s'en suivent sont souvent très importants ; il existe donc un potentiel de récupération assez important. Chez l'enfant dyslexique, les performances en MCT verbale sont faibles dès les premiers moments du développement cognitif, et on ignore si un entraînement intensif au maintien à court terme d'informations phonologiques est à même de développer les capacités de la MCT verbale pour les amener au même niveau que chez l'enfant non dyslexique. Par ailleurs, les patients aphasiques décrits dans les études ci-dessus présentaient un problème spécifique du maintien des informations phonologiques, alors que les enfants dyslexiques présentent également très souvent des problèmes au niveau de la perception des informations phonologiques. Ainsi, la nature du déficit n'est pas tout à fait comparable entre les deux populations.

Dans ce contexte, une stratégie intéressante pourrait consister à cibler directement les difficultés au niveau de l'analyse phonologique chez l'enfant dyslexique, en supposant qu'il y aura également un effet sur le maintien à court terme d'informations phonologiques qui, comme nous l'avons vu, dépendent de l'intégrité des processus d'analyse phonologique. Il existe actuellement quelques études qui ont élaboré un programme d'entraînement des processus d'analyse phonologique chez l'enfant dyslexique, en visant notamment une réduction de la perception allophonique qui empêche l'installation de représentations phonémiques stables (Serniclaes *et al.*, 2004 ; Serniclaes, Collet & Sprenger-Charolles, 2015). Le principe de ces rééducations consiste à faire écouter à l'enfant différentes variantes acoustiques d'un même phonème et de lui faire apprendre que les différentes variantes acoustiques (allophoniques) représentent en réalité un même phonème (Bogliotti, 2005 ; Collet *et al.*, 2012). Les études utilisant ce type de paradigme sont cependant encore rares et leurs effets positifs sur le traitement phonologique, observés notamment chez Collet *et al.*, (2012), doivent encore être répliqués. De manière importante, aucune de ces études n'a évalué l'effet de ce type de rééducation sur les performances dans les tâches de MCT verbale.

Tableau 1. Description des principales techniques de remédiation de la mémoire à court terme/de travail (MCT) pertinentes dans le contexte de la dyslexie.

Composante ciblée	Description	Études d'efficacité auprès de patients cérébrolésés avec déficits de la MCT	Études d'efficacité auprès de sujets dyslexiques
Processus de récapitulation articulatoire	Rafraîchissement des informations à mémoriser via leur répétition subvocale	Efficacité limitée Closset & Majerus, 2007	Pas efficace Swanson <i>et al.</i> , 2010
Maintien item phonologique	Entraînement intensif à la répétition immédiate ou différée d'informations phonologiques (non-mots, mots)	Efficacité certaine Harris <i>et al.</i> , 2014 ; Majerus <i>et al.</i> , 2005 ; Kalinyak-Fliszar <i>et al.</i> , 2011 ; Koenig-Bruhin & Studer-Eichenberger, 2007 ; Van der Kaa & Majerus, 2007	Pas d'étude
Précision et stabilité des représentations phonologiques	Apprentissage des catégories phonémiques et de leurs caractéristiques acoustiques	Non applicable	Efficacité mitigée Bogliotti, 2005 ; Collet <i>et al.</i> , 2012
Maintien de l'ordre sériel	Entraînement à la reconnaissance de l'information « ordre sériel » dans des séquences de mots	Efficacité mitigée Salis, 2012 ; Salis <i>et al.</i> , 2017	Pas d'étude
Maintien de l'ordre sériel	Utilisation d'un repère visuospatial pour structurer et ancrer l'information « ordre sériel »	Pas d'étude	Pas d'étude
MCT verbale et visuospatiale	Batteries informatisées pour l'entraînement fonctionnel et indifférencié de la MCT	Pas efficace méta-analyses : Hitchcock & Westwell, 2017 ; Melby-Lervåg <i>et al.</i> , 2016 ; Von Bastian & Oberauer, 2014	Pas efficace Shiran & Breznitz, 2011
MCT verbale et visuospatiale	Entraînement fonctionnel de la MCT, en distinguant les aspects verbaux, visuo-spatiaux et exécutifs	Efficacité certaine avec effet général Vallat <i>et al.</i> , 2005 ; Vallat-Azouvi <i>et al.</i> , 2009	Pas d'étude

Entraînement du traitement sériel en MCT

Un autre aspect important à considérer pour la rééducation de MCT chez l'enfant dyslexique est l'aspect « ordre sériel » de la MCT, étant donné qu'un nombre croissant d'études indique des difficultés plus particulières à ce niveau, et ceci à la fois pour la rétention de l'information « ordre sériel » en MCT verbale et visuo-spatiale. La littérature est particulièrement pauvre en ce qui concerne les stratégies de rééducation de la composante sérielle de la MCT. Une seule étude a utilisé un paradigme d'entraînement impliquant le maintien de l'ordre sériel, et ceci de nouveau auprès de personnes aphasiques (Salis, 2012 ; Salis, Hwang, Howard & Lallini, 2017). Le paradigme d'entraînement consistait à présenter deux listes contenant les mêmes mots, mais dont l'ordre sériel avait été changé ou non ; les patients aphasiques devaient décider si l'ordre des mots était le même dans les deux listes ou non. Cet entraînement a permis d'augmenter les performances dans les tâches de MCT verbale (non entraînées) de manière légère à importante chez 6 patients aphasiques. Mais comme l'étude ne ciblait pas directement le traitement de l'ordre sériel en MCT, il est difficile de déterminer si l'entraînement avait un effet général ou a amélioré de manière spécifique les capacités pour le maintien de l'ordre sériel. Le paradigme d'entraînement en question, utilisant le jugement et la reconnaissance, avait en effet été choisi à cause des difficultés de production langagière des patients plutôt qu'à cause d'une mise en évidence de déficits spécifiques au niveau du traitement de l'ordre sériel. Notons que Smith (2015) a proposé une rééducation expérimentale du maintien de l'ordre sériel auprès d'enfants porteurs d'un syndrome de Down, en utilisant une stratégie d'ancrage visuo-spatial. La stratégie consiste à proposer à l'enfant

une scène visuelle qui est structurée de manière linéaire et qui contient plusieurs points de repère (par exemple, une route qui passe devant une maison, une montagne, une personne, un arbre). Quand l'enfant entend une séquence de mots, il doit associer chaque mot avec chaque objet successif qui se trouve sur la route, en parcourant la route de gauche à droite. Au moment du rappel, l'enfant place son regard au début de la route, et rappelle successivement chaque mot associé à chaque objet devant lequel il passe en parcourant la route. Cette stratégie, qui spatialise l'information liée à l'ordre sériel, pourrait en effet être très intéressante dans la mesure où nous savons que l'ordre sériel, même dans des tâches de MCT auditivo-verbale, utilise des codes spatiaux : Van Dijck et collaborateurs ont montré que lorsque les stimuli d'une liste de mots à retenir sont réactivés pendant la phase de maintien pour une catégorisation sémantique (par exemple, est-ce que le mot « X » était un fruit ou un outil ?), alors la catégorisation sémantique va être plus rapide avec la main gauche pour les mots qui avaient été présentés au début de la liste, et plus rapide avec la main droite pour les mots qui avaient été présentés à la fin de la liste (Van Dijck & Fias, 2011 ; Van Dijck, Abrahamse, Majerus & Fias, 2013). Ces résultats indiquent que des repères spatiaux organisés selon la dimension gauche-droite interviennent dans le codage des informations et de leur ordre de présentation dans une tâche de MCT. Un entraînement plus explicite à l'utilisation de ce type de repère visuo-spatial pourrait augmenter les capacités à maintenir l'ordre sériel en MCT. Cependant, nous manquons actuellement d'études qui auraient utilisé ce type de stratégie pour améliorer les capacités à maintenir l'ordre sériel en MCT chez l'enfant dyslexique. Par ailleurs, nous ignorons à l'heure actuelle les processus

exacts qui sous-tendent les déficits de la MCT pour l'ordre sériel dans la dyslexie.

Stimulation globale de la MCT dans la dyslexie

Actuellement, une approche très populaire de la rééducation ou de l'optimisation de la MCT consiste à soumettre les enfants à des programmes d'entraînement généralisés de la MCT via des programmes informatisés tels que Cogmed (Klingberg, Forssberg & Westerberg, 2002) ou Jungle Memory (Alloway, Bibile & Lau, 2013). Ces programmes sont faciles d'utilisation, et les exercices proposés s'adaptent automatiquement au niveau de difficulté de l'enfant. L'inconvénient de ces programmes est qu'ils ne ciblent pas spécifiquement une composante précise de la MCT, mais entraînent tous les aspects de manière plus globale, y compris les aspects exécutifs et attentionnels. Étant donné que des difficultés visuo-attentionnelles ont été observées dans certains cas de dyslexie (Valdois, Bossé & Tainturier, 2004), cette approche pourrait éventuellement convenir pour certains enfants dyslexiques. Cependant, vu qu'aucune composante n'est ciblée directement, ce type d'entraînement pourrait ne pas être particulièrement efficace. C'est ce que les dernières méta-analyses sur les études de rééducation de la MCT semblent suggérer. Pour les études ayant utilisé ce type de batterie d'entraînement dans des populations à développement typique ou atypique, les méta-analyses révèlent des résultats décevants, les effets d'entraînement étant en général nuls ou faibles (Hitchcock & Westwell, 2017 ; Melby-Lervåg, Redick & Hulme, 2016 ; Von Bastian & Oberauer, 2014). Une étude seulement a utilisé ce type de procédure d'entraînement auprès de jeunes adultes présentant une histoire de troubles de la lecture (Shiran & Breznitz, 2011). Après entraînement, les performances à des tâches de MCT verbales et visuo-spatiales et de lecture ont augmenté dans le groupe de personnes avec troubles de la lecture et dans un groupe contrôle de normo-lecteurs, mais la différence de performance entre les deux groupes restait stable ; ceci indique que les effets observés auraient pu être dus à des effets test-retest plutôt qu'à une augmentation réelle des capacités de la MCT verbale ou visuo-spatiale. Finalement, citons l'existence d'une approche intermédiaire développée par Vallat *et al.* (2005). Vallat *et al.* ont développé un programme de rééducation non informatisée ciblant les différentes composantes du modèle de la mémoire de travail de Baddeley, en distinguant notamment la boucle phonologique (MCT verbale), le calepin visuo-spatial (MCT visuo-spatiale) et l'administrateur central (contrôle attentionnel et exécutif) (Vallat-Azouvi, Pradat-Diehl & Azouvi, 2009). Ce programme présente des exercices censés stimuler de manière plus spécifique chacune de ces composantes et semble présenter une bonne efficacité auprès du sujet cérébrolésé avec déficits de la MCT importants. Cependant, dans la mesure où tous les exercices ciblent à la fois les aspects stockage et traitement, il ne permet pas de cibler spécifiquement le maintien des informations, et ne distingue pas les aspects « item » et « ordre ».

Aménagements et prothèses mentales

Étant donné le manque de travaux ayant déterminé l'efficacité de la rééducation de la MCT dans la dyslexie, et étant donné le manque d'efficacité plus général des batteries informatisées d'entraînement de la MCT, la stratégie actuellement la plus intéressante à adopter face aux difficultés de la MCT dans la dyslexie est probablement l'adaptation de l'environnement et l'utilisation de prothèses mentales. Dans un contexte scolaire, il est important que l'enseignant soit mis au courant des difficultés de la MCT associées à la dyslexie, et qu'il adapte ses interactions et activités d'enseignement en fonction de ces difficultés, en privilégiant par exemple l'utilisation de phrases courtes, comportant des mots parmi les plus familiers et qui sont simples sur le plan stylistique (voir également <http://www.fondation-lamap.org/node/51365>). Il est important pour l'enseignant de veiller à ne pas donner trop d'informations en même temps lors des consignes orales, à découper les consignes en plusieurs phrases courtes, et à répéter les consignes. Un support écrit ou graphique pour les consignes sera également d'une aide très précieuse pour l'enfant dyslexique qui pourra ainsi relire les consignes et « décharger » sa MCT. Pour l'enfant dyslexique, l'utilisation de prothèses mentales tels que des carnets de notes pourra également être profitable : l'enfant pourra ainsi fixer par écrit ou sous forme visuelle les informations qu'il a du mal à retenir mentalement. Cependant, cette dernière stratégie ne sera efficace que si les limitations de la MCT ne sont pas trop importantes, car les ressources de la MCT sont nécessaires au moment même de la prise de notes. De nouveau, cette stratégie aura plus de chance de fonctionner si les informations à noter sont courtes et se suivent à un rythme qui n'est pas trop soutenu. L'enfant dyslexique pourra également compenser ses difficultés d'apprentissage d'informations verbales, dues à un encodage instable et/ou partiel des informations à apprendre en MCT, par un apprentissage répété. L'enfant dyslexique aura effectivement besoin de plus d'expositions qu'un enfant non dyslexique pour acquérir une matière donnée, et il faut donc prévoir un plus grand nombre de répétitions, et ceci surtout pendant les premières phases de l'apprentissage. En effet, des études ont montré que des patients avec difficultés de la MCT verbale vont présenter une courbe d'apprentissage plus faible pour l'apprentissage d'un nouveau vocabulaire, mais à force d'augmenter le nombre d'expositions à l'information à apprendre, un apprentissage satisfaisant peut néanmoins être atteint, à condition cependant que le déficit en MCT phonologique item ou sérielle ne soit pas trop important (Attout, Van der Kaa, George & Majerus, 2012 ; Baddeley, 1993 ; Freedman & Martin, 2001).

CONCLUSIONS

Notre niveau de connaissances concernant l'efficacité de la rééducation de la MCT dans la dyslexie est actuellement extrêmement faible. Nous commençons à mieux comprendre la nature des déficits de la MCT dans la dyslexie, mais il reste encore de nombreuses études à réaliser avant de pouvoir affirmer avec certitude quel type d'intervention va améliorer le fonctionnement de la MCT dans la

dyslexie, et quel type d'intervention est inefficace. Un élément très important à considérer ici est la multiplicité et l'hétérogénéité des déficits de la MCT dans la dyslexie. Les études rapportées plus haut montrent que globalement, les enfants et adultes dyslexiques présentent des difficultés au niveau de la MCT item phonologique et au niveau de la MCT ordre sériel. Ces résultats sont cependant basés sur des études de groupe, et tous les enfants ne vont pas nécessairement présenter les mêmes déficits. Par exemple, Martinez-Perez *et al.* (2012b) ont observé que les déficits de la MCT pour l'ordre sériel concernaient à peu près la moitié des sujets de leur échantillon d'enfants dyslexiques, certains enfants obtenant des scores similaires à ceux des enfants tout-venants. Par ailleurs, les enfants dyslexiques peuvent présenter des déficits dans des domaines cognitifs connexes tels que les aspects visuo-attentionnels qui peuvent interférer avec le fonctionnement de la MCT (Valdois *et al.*, 2004). Ainsi, pour qu'une stratégie de prise en charge soit efficace, il faut qu'elle cible de manière précise la ou les composantes qui sont déficitaires. Il serait en effet peu utile de stimuler une composante qui est intacte.

L'avancement dans le domaine de la rééducation de la MCT auprès de l'enfant dyslexique pourra bénéficier de collaborations actives entre chercheurs et cliniciens. Par ailleurs, étant donné l'hétérogénéité des déficits de la MCT observés auprès de l'enfant dyslexique, les études futures ne devront pas négliger les études de cas uniques ou multiples. En effet, les études de groupe pourraient conclure à une absence d'efficacité d'une prise en charge de la MCT, alors qu'elles n'ont pas pu cibler de manière suffisamment précise les déficits spécifiques et variables présentés par les différents sujets inclus dans les études. Une approche par étude de cas sera probablement plus efficace à ce niveau, à condition qu'une analyse approfondie des déficits de la MCT ait été réalisée, et que l'étude de cas suive un cadre méthodologique rigoureux (Lane & Gast, 2014 ; Salis *et al.*, 2017 ; Shrubsole, Worrall, Power & O'Connor, 2017).

REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié du support du gouvernement de la Communauté française de Belgique (Convention ARC 12/17-01-REST) et du Fonds de la recherche scientifique FNRS (F.R.S.-FNRS PDR T.1003.15).

RÉFÉRENCES

- ALLOWAY, T., BIBILE, V. & LAU, G. (2013). Computerized working memory training: Can it lead to gains in cognitive skills in students? *Computers in Human Behavior*, 29, 632-638.
- ATTOU, L., NOEL, M. P. & MAJERUS, S. (2014). The relationship between working memory for serial order and numerical development: a longitudinal study. *Developmental Psychology*, 50, 1667-1679. doi:10.1037/a0036496
- ATTOU, L., VAN DER KAA, M.A., GEORGE, M. & MAJERUS, S. (2012). Dissociating short-term memory and language impairment: The importance of item and serial order information. *Aphasiology*, 26 (3-4), 355-382.
- AVONS, S. E. & HANNA, C. (1995). The memory-span deficit in children with specific reading disability: Is speech rate responsible? *British Journal of Developmental Psychology*, 13, 303-311.
- BADDELEY, A.D. (1993). Short-term phonological memory and long-term learning: A single case study. *European Journal of Cognitive Psychology*, 5, 129-148.
- BADDELEY, A.D. & HITCH, G.J. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (pp. 47-90). San Diego, CA: Academic Press.
- BINAME, F., DANZIO, S. & PONCELET, M. (2015). Relative Ease in Creating Detailed Orthographic Representations Contrasted with Severe Difficulties to Maintain Them in Long-term Memory Among Dyslexic Children. *Dyslexia*, 21, 361-370. doi:10.1002/dys.1506
- BINAME, F. & PONCELET, M. (2016). Order Short-Term Memory Capacity Predicts Nonword Reading and Spelling in First and Second Grade. *Reading and Writing*, 29, 1-20.
- BOGLIOTTI, C. (2005). *Perception allophonique et dyslexie*. (PhD), Université Denis Diderot - Paris 7, Paris.
- BRADY, S., SHANKWEILER, D. & MANN, V. (1983). Speech perception and memory coding in relation to reading ability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 35, 345-367.
- CLOSSET, A. & MAJERUS, S. (2007). Rééducation de la mémoire phonologique à court terme : application chez une enfant de 10 ans. In G. Aubin, F. Coyette, P. Pradat-Diehl, C. Vallat-Azouvi (Eds.), *Neuropsychologie de la mémoire de travail* (pp. 323-349). Marseille : Solal.
- COLLET, G., COLIN, C., SERNICLAES, W., HOONHORST, I., MARKESSIS, E., DELTENRE, P. & LEYBAERT, J. (2012). Effect of phonological training in French children with SLI: perspectives on voicing identification, discrimination and categorical perception. *Research in Developmental Disabilities*, 33, 1805-1818. doi:10.1016/j.ridd.2012.05.003
- FREEDMAN, M.L. & MARTIN, R.C. (2001). Dissociable components of short-term memory and their relation to long-term learning. *Cognitive Neuropsychology*, 18, 193-226.
- GATHERCOLE, S.E. (2002). Memory development during childhood years. In A. D. Baddeley, M. D. Kopelman & B. A. Wilson (Eds.), *The Handbook of Memory Disorders* (pp. 475-500). Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd.
- GATHERCOLE, S.E., BADDELEY, A.D. (1993). Phonological working memory: A critical building block for reading development and vocabulary acquisition? *European Journal of Psychology of Education*, 8, 259-272.
- HACHMANN, W. M., BOGAERTS, L., SZMALEC, A., WOUmans, E., DUYCK, W. & JOB, R. (2014). Short-term memory for order but not for item information is impaired in developmental dyslexia. *Ann Dyslexia*, 64, 121-136. doi:10.1007/s11881-013-0089-5
- HARRIS, L., OLSON, A. & HUMPHREYS, G. (2014). The link between STM and sentence comprehension: A neuropsychological rehabilitation study. *Neuropsychological Rehabilitation*, 24, 678-720. doi:10.1080/09602011.2014.892885
- HITCHCOCK, C. & WESTWELL, M.S. (2017). A cluster-randomised, controlled trial of the impact of Cogmed Working Memory Training on both academic performance and regulation of social, emotional and

- behavioural challenges. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 58, 140-150. doi:10.1111/jcpp.12638
- KALINYAK-FLISZAR, M., KOHEN, F. & MARTIN, N. (2011). Remediation of language processing in aphasia: Improving activation and maintenance of linguistic representations in (verbal) short-term memory. *Aphasiology*, 25, 1095-1131. doi:10.1080/02687038.2011.577284
- KLINGBERG, T., FORSSBERG, H. & WESTERBERG, H. (2002). Training of working memory in children with ADHD. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24, 781-791. doi:10.1076/jcen.24.6.781.8395
- KOENIG-BRUHIN, M. & STUDER-EICHENBERGER, F. (2007). Therapy of short-term memory disorders in fluent aphasia: A single case study. *Aphasiology*, 21, 448-458. doi:10.1080/02687030600670593
- LANE, J.D. & GAST, D.L. (2014). Visual analysis in single case experimental design studies: brief review and guidelines. *Neuropsychological Rehabilitation*, 24, 445-463. doi:10.1080/09602011.2013.815636
- LECLERCQ, A.L. & MAJERUS, S. (2010). Serial Order Short-Term Memory Predicts Vocabulary Development: Evidence from a Longitudinal Study. *Developmental Psychology*, 46, 417-427.
- LOGIE, R.H., DELLA SALLA, S., LAIACONA, M., CHALMERS, P. & WYNN, V. (1996). Group aggregates and individual reliability: The case of verbal short-term memory. *Memory and Cognition*, 24, 305-321.
- MAJERUS, S. (2013). Language repetition and short-term memory: An integrative framework. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 357. doi: 310.3389/fnhum.2013.00357.
- MAJERUS, S. (2014). L'Évaluation de la mémoire à court terme. In X. Seron & M. Van der Linden (Eds.), *Traité de neuropsychologie clinique* – 2^e édition (pp. 166-177). Marseille : Solal.
- MAJERUS, S. (2016). Optimisation et rééducation de la mémoire de travail : une synthèse critique. *A.N.A.E.*, 141, 167-174.
- MAJERUS, S., ATTOUT, L., ARTIELLE, M. A. & VAN DER KAA, M.A. (2015). The heterogeneity of verbal short-term memory impairment in aphasia. *Neuropsychologia*, 77, 165-176. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2015.08.010
- MAJERUS, S. & BOUKEBZA, C. (2013). Short-term memory for serial order supports vocabulary development: New evidence from a novel word learning paradigm. *Journal of Experimental Child Psychology*, 116, 811-828. doi:10.1016/j.jecp.2013.07.014 24056204
- MAJERUS, S. & COWAN, N. (2016). The Nature of Verbal Short-Term Impairment in Dyslexia: The Importance of Serial Order. *Frontiers in Psychology*, 7, 1522. doi:10.3389/fpsyg.2016.01522
- MAJERUS, S., NORRIS, D. & PATTERSON, K. (2007). What do patients with semantic dementia remember in verbal short-term memory? Sounds and order but not words. *Cognitive Neuropsychology*, 24, 131-151.
- MAJERUS, S., PONCELET, M., GREFFE, C. & VAN DER LINDEN, M. (2006). Relations between vocabulary development and verbal short-term memory: the importance of short-term memory for serial order information. *Journal of Experimental Child Psychology*, 93, 95-119.
- MAJERUS, S., PONCELET, M. & VAN DER KAA, M.A. (2016). La rééducation de la mémoire à court terme. In X. Seron & M. Van der Linden (Eds.), *Traité de neuropsychologie clinique, Tome II - 2^e édition* (pp. 91-104). Louvain-la-Neuve : DeBoeck.
- MAJERUS, S., PONCELET, M., VAN DER LINDEN, M., ALBOUY, G., SALMON, E., STERPENICH, V. & MAQUET, P. (2006). The left intraparietal sulcus and verbal short-term memory: Focus of attention or serial order? *NeuroImage*, 32, 880-891.
- MAJERUS, S., VAN DER KAA, M. A., RENARD, C., VAN DER LINDEN, M. & PONCELET, M. (2005). Treating verbal short-term memory deficits by increasing the duration of temporary phonological representations: A case study. *Brain and Language*, 95, 174-175.
- MARTINEZ-PEREZ, T., MAJERUS, S., MAHOT, A. & PONCELET, M. (2012b). Evidence for a specific impairment of serial order short-term memory in dyslexic children. *Dyslexia*, 18, 94-109. doi:10.1002/dys.1438
- MARTINEZ-PEREZ, T., MAJERUS, S. & PONCELET, M. (2012a). The contribution of short-term memory for serial order to early reading acquisition: Evidence from a longitudinal study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 111, 708-723.
- MARTINEZ-PEREZ, T., PONCELET, M., SALMON, E. & MAJERUS, S. (2015). Functional Alterations in Order Short-Term Memory Networks in Adults With Dyslexia. *Developmental Neuropsychology*, 40, 407-429. doi:10.1080/87565641.2016.1153098
- MELBY-LERVAG, M., REDICK, T. S. & HULME, C. (2016). Working Memory Training Does Not Improve Performance on Measures of Intelligence or Other Measures of "Far Transfer": Evidence from a Meta-Analytic Review. *Perspectives in Psychological Sciences*, 11, 512-534. doi:10.1177/1745691616635612
- NAIRNE, J.S. & KELLEY, M.R. (2004). Separating item and order information through process dissociation. *Journal of Memory and Language*, 50, 113-133.
- RAMUS, F., MARSHALL, C. R., ROSEN, S. & VAN DER LELY, H.K. (2013). Phonological deficits in specific language impairment and developmental dyslexia: towards a multidimensional model. *Brain*, 136, 630-645. doi:10.1093/brain/aw356
- RAMUS, F., ROSEN, S., DAKIN, S. C., DAY, B. L., CASTELLOTE, J. M., WHITE, S. & FRITH, U. (2003). Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain*, 126, 841-865.
- ROMANI, C., TSOUKNIDA, E. & OLSON, A. (2015). Encoding order and developmental dyslexia: a family of skills predicting different orthographic components. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 68, 99-128. doi:10.1080/17470218.2014.938666
- SALIS, C. (2012). Short-term memory treatment: Patterns of learning and generalisation to sentence comprehension in a person with aphasia. *Neuropsychological Rehabilitation*, 22, 428-448. doi:10.1080/09602011.2012.656460
- SALIS, C., HWANG, F., HOWARD, D. & LALLINI, N. (2017). Short-Term and Working Memory Treatments for Improving Sentence Comprehension in Aphasia: A Review and a Replication Study. *Seminars in Speech and Language*, 38, 29-39. doi:10.1055/s-0036-1597262
- SERNICLAES, W., COLLET, G. & SPRENGER-CHAROLLES, L. (2015). Review of neural rehabilitation programs for dyslexia: how can an allophonic system be changed into a phonemic one? *Frontiers in Psychology*, 6, 190. doi:10.3389/fpsyg.2015.00190
- SERNICLAES, W., VAN HEGHE, S., MOUSTY, P., CARRÉ, R. & SPRENGER-CHAROLLES, L. (2004). Allophonic mode of speech perception in dyslexia. *Journal of Experimental Child Psychology*, 87, 336-361.
- SHIRAN, A. & BREZNITZ, Z. (2011). The effect of cognitive training on recall range and speed of information processing in the working memory of dyslexic and skilled readers. *Journal of Neurolinguistics*, 24, 524-537.
- SHRUBSOLE, K., WORRALL, L., POWER, E. & O'CONNOR, D.A. (2017). Recommendations for post-stroke aphasia rehabilitation: an updated systematic review and evaluation of clinical practice guidelines. *Aphasiology*, 31, 1-24.
- SMITH, E.A. (2015). *Exploring the nature of verbal short-term memory in Down syndrome and developing potential routes for intervention*. PhD thesis, University of Bristol, Bristol.
- SNOWLING, M., GOULANDRIS, N. & DEFTY, N. (1996). A longitudinal study of reading development in dyslexic children. *Journal of Educational Psychology*, 88, 653-669.
- SWANSON, H.L., KEHLER, P. & JERMAN, O. (2010). Working memory, strategy knowledge, and strategy instruction in children with reading disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 43, 24-47. doi:10.1177/0022219409338743
- SZENKOVITS, G. & RAMUS, F. (2005). Exploring dyslexics phonological deficit I: lexical vs sub-lexical and input vs output processes. *Dyslexia*, 11, 253-268.
- VALDOIS, S., BOSSE, M.L. & TAINURIER, M.J. (2004). The cognitive deficits responsible for developmental dyslexia: review of evidence for a selective visual attentional disorder. *Dyslexia*, 10, 339-363. doi:10.1002/dys.284

- VALLAT, C., AZOUVI, P., HARDISSON, H., MEFFERT, R., TESSIER, C. & PRADAT-DIEHL, P. (2005). Rehabilitation of verbal working memory after left hemisphere stroke. *Brain Injury*, 19 (13), 1157-1164. doi:10.1080/02699050500110595
- VALLAT-AZOUVI, C., PRADAT-DIEHL, P. & AZOUVI, P. (2009). Rehabilitation of the central executive of working memory after severe traumatic brain injury: two single-case studies. *Brain Injury*, 23, 585-594. doi:10.1080/02699050902970711
- VAN DER KAA, M. A. & MAJERUS, S. (2007). Évaluation et rééducation du versant « phonologique » de la mémoire à court terme. In G. Aubin, F. Coyette, P. Pradat-Diehl & C. Vallat-Azouvi (Eds.), *Neuropsychologie de la mémoire de travail* (pp. 87-111). Marseille : Solal.
- VAN DIJCK, J.P., ABRAHAMSE, E.L., MAJERUS, S. & FIAS, W. (2013). Spatial attention interacts with serial-order retrieval from verbal working memory. *Psychological Science*, 24, 1854-1859.
- VAN DIJCK, J. P. & FIAS, W. (2011). A working memory account for spatial-numerical associations. *Cognition*, 119, 114-119.
- VON BASTIAN, C. & OBERAUER, K. (2014). Effects and mechanisms of working memory training: a review. *Psychological Research*, 78, 803-820. doi:10.1007/s00426-013-0524-6